

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE TEKNOLOJİLERİ

Dersi 14

- 11.1 Hidrojen Üretimi
- 11.2 Yeşil Hidrojen
- 11.3 Hidrojenin Arıtılması
- 11.4 Hidrojenin Depolanması
- 11.5 Hidrojenin İletimi ve Dağıtımı
- 11.6 Yakıt Pilleri (Fuel Cells)
- 11.7 Hidrojen Enerji Sistemleri
- 11.8 Trijenerasyon (Elektrik – Isı – Hidrojen)
- 11.9 Hidrojen Traktörü

Prof. Dr. Ayten ONURBAŞ AVCIOĞLU
E-mail: onurbas@agri.ankara.edu.tr
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarım Makinaları Ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü
2017

- ▶ Hidrojen Yunan dilinde su anlamına gelen “hydro” ve oluşturan anlamına gelen "genes" sözcüklerinden türetilmiştir. Hidrojen suda oksijenle ve birçok kimyasal bileşikte karbonla bağ oluşturması nedeniyle yer yüzeyinde en bol bulunan elementlerden birisi olmasına karşın, saf olarak bulunmamaktadır. Atmosferde gaz olarak, moleküler hidrojen çok az miktarda bulunur. Bitki, hayvan dokularında, petrolde ve daha birçok maddede hidrojen bileşik olarak bulunmektedir (Idriss vd, 2015).
- ▶
- ▶ Bitkiler milyonlarca yıldır süregelen fotosentez işlemini kullanarak, ışık, su ve karbondioksitten karbonhidratları ve oksijeni üretmektedir. Tek hücreli canlılar ve bakteriler mikro ölçekte doğal yollarla hidrojen üretmektedirler. Hidrojen yakıldığında sadece su ürettiği için çevre açısından en sürdürülebilir yakıt olarak dikkat çekmektedir (Veziroğlu ve şahin 2008).

► Hidrojenin fiziksel özellikleri:

- Hidrojen atomunun bir proton ve bir elektrondan oluşan en yaygın izotopu dünyanın en hafif elementidir. Hidrojen atomları çoğunlukla H₂ molekülleri formundadır. Hidrojen renksiz, kokusuz, havadan yaklaşık 14 kat daha hafif ve diğer gazlardan daha hızlı difüzyon özelliğine sahip bir gazdır. Hidrojenin fiziksel özellikleri Çizelge 11.1 'de özet olarak verilmiştir. Gaz formundan sıvı formuna -252.77°C'de, sıvı formundan katı formuna -259.2°C'de geçer. Hidrojen 0.09 kg/m³ yoğunluğu ile havadan (1.2 kg/m³) çok daha hafiftir. Katı metalik hidrojen katı olan birçok elementten daha yüksek elektriksel iletkenliğe sahiptir. Gazlar arasında hidrojenin en yüksek ısı kapasitesine (14.4 kJ/kg K) sahip olduğu bilinmektedir (Pant ve Gupta, 2009).

Çizelge 11.1 Hidrojenin bazı fiziksel özellikleri (*)

Özellikler	Değeri	(*) Kaynak
Moleküler ağırlık (g/mol)	2.016	Pant ve Gupta, 2009
Ergime noktası (K)	13.96	Godula-Jopek vd. 2012
Kaynama noktası @ 1 atm (K)	14	Godula-Jopek vd. 2012
Katı yoğunluk @ 4.2 K (kg/m ³)	89	Godula-Jopek vd, 2012
Sıvı yoğunluk @ 20.4 K (kg/m ³)	71	Godula-Jopek vd, 2012
Gaz yoğunluk @ 0°C ve 1 atm (kg/m ³)	0.0899	Godula-Jopek vd, 2012
Gaz ısı iletkenlik @ 20°C ve 1 atm (W/m.K)	0.1825	http://webbook.nist.gov/chemistry/
Gaz viskozite @ 20°C ve 1 atm (g/cm.s)	8.813x10 ⁻⁵	http://webbook.nist.gov/chemistry/
Buharlaştırma ısısı @ 0°C ve 1 atm (J/g)	445.6	Züttel, 2008
Difüzyon katsayısı @ 0°C ve 1 atm (cm ² /s)	0.61	Züttel, 2008
Gaz özgül ısısı @ 25°C (kJ/kg°C)	14.4	Pant ve Gupta, 2009
Sıvı özgül ısısı @ -256°C (kJ/kg°C)	8.1	Pant ve Gupta, 2009
Katı özgül ısısı @ -259.8°C (kJ/kg°C)	2.63	Pant ve Gupta, 2009
Büyük yanma ısısı @ 25°C ve 1 atm (kJ/g.mol)	265.0339	Godula-Jopek vd, 2012
Net yanma ısısı @ 25°C ve 1 atm (kJ/g.mol)	241.9292	Godula-Jopek vd, 2012

► Hidrojenin kimyasal özellikleri

-
- Hidrojen atomu kimyasal olarak çok tepkin olduğu için doğalda serbest olarak bulunmaz. Atomik hidrojen kimyasal olarak çok aktif olduğu için diğer atomlarla kovalent ve iyonik bağlar oluşturmaktadır.
- Atomik hidrojen oda sıcaklığında bile güçlü indirgeme özelliğine sahiptir. Örnek olarak verilirse, hidrojen gümüş, bakır, kurşun, bizmut ve cıva gibi çoğu metal oksitleri ve kloritli bileşenleri ile tepkimeye girer. Hidrojen sodyum ve potasyumun nitratları, nitritleri gibi bazı tuzları indirger.
-
- Moleküler hidrojen su içinde atomik hidrojen halinde çözünür. Hidrojenle kovalent bağ oluşturanlara örnek olarak su (H_2O), hidrojen sülfid (H_2S), amonyak (NH_3), hidrojen den oluşan organik bileşikler verilebilir. İyonik hidritler hidrojen gazı için uygun kaynaklardır. Örnek olarak, kalsiyum hidrit (CaH_2) hidrojen üretimi için çok uygun kimyasaldır. Suda kalsiyum hidritin reaksiyonuyla üretilen hidrojen gazı cankurtaran sallarının şişirilmesi kullanılabilir. (Gavrilyuk, 2013; Idriss vd, 2015). Moleküler hidrojeni atomik hidrojene ayırıştırmak için yüksek sıcaklıklar gereklidir. Doğada hidrojen çoğunlukla oksijen ya da karbonla bağ oluşturmuştur. Bu nedenle, doğal bileşiklerden hidrojen elde etmek için enerjiye gereksinim duyulmaktadır. Dolayısıyla, hidrojen birincil enerji kaynaklarından elde edilen bir enerji taşıyıcısı olarak göz önüne alınmalıdır (Pant ve Gupta, 2009).
-
- Hidrojen oksijenle enerji üretmek amacıyla yanma yada elektrokimyasal olarak tepkimeye girdiği zaman, reaksiyon ürünü olarak su buharı elde edilir. Bu reaksiyon oda sıcaklığında oldukça yavaştır. Ancak platin yada elektrik kıvılcımı gibi katalizörlerle tepkimeler hızlandırılmaktadır.

► Hidrojenin yakıt özellikleri

- Hidrojen geniş sıcaklık aralığında, hacimsel olarak % 4-75 arasındaki konsantrasyonlarda yüksek tutuşma özelliğine sahiptir (Pant ve Gupta, 2009). Yakın gelecekte üretim, depolama ve taşıma konularında güvenlik gibi teknolojik zorluklar aşılırsa, hidrojenin sürdürülebilir yakıt olarak kullanımı söz konusu olacaktır. Hidrojen oksijenle yanınca, içten yanmalı motorlarda patlayarak yada yakıt pillerinde sessiz bir şekilde enerji ve su açığa çıkmaktadır.
- Hidrojen doğal bir yakıt olmayıp, fosil yakıtlar, su, hidrokarbonlar, hidrojen sülfür ve biyokütle gibi değişik hammaddelerden üretilebilen sentetik bir yakıttır. Ayrıca, hidrojen ham petrolün işlenmesinde, kimya sanayinde, gübre üretiminde metalürjide en önemli sanayi gazı olarak kullanılmaktadır. Küresel hidrojen talebinin yaklaşık % 48'si doğal gazdan, %30 petrolden, %18 kömürden, % 4'ü suyun elektrolizinden üretilmektedir (Balat, 2008).
- Hidrojen konvansiyonel doğal gaz, LPG benzin, motorin gibi yakıtlarla karşılaştırılırsa benzer ve farklı özelliklere sahiptir.

► Hidrojenin enerji içeriği



- Hidrojen yakıtlar içerisinde birim kütle başına en yüksek enerji içeriğine sahiptir (Çizelge 11.2). Örneğin ağırlık esasına göre hidrojen (140.4 MJ/kg) benzinden (48.6 MJ/kg) üç kat daha fazla enerji içeriğine sahiptir. Ancak sıvı hidrojenin hacimsel enerji içeriği (8451 MJ/m³) benzine (31150 MJ/m³) oranla çok düşüktür (Pant ve Gupta, 2009). 1 kg H₂ 2.6 kg doğal gaz (metan) ya da 3.1 kg benzin ile aynı enerji miktarına sahiptir (Subramani vd, 2010). Hidrojenin yoğunluğunun düşük olması, özellikle otomotiv uygulamalarında, depolama problemlerine neden olmaktadır. Yeterli sürüş mesafeleri için büyük depo hacimlerine gereksinim duyulmaktadır. Hidrojenin enerji yoğunluğu sıvı ya da gaz olarak depolanmasına, eğer gaz olarak depolanmışsa, hangi basınçta olduğuna göre değişmektedir.

Çizelge 11.2 Hidrojen ve diğer yakıtların karşılaştırılması (Pant ve Gupta, 2009)

Yakıt	LHV (MJ/kg)	HHV (MJ/kg)	A/F	CR (%)	FT (°C)	AIT (°C)
Hidrojen	119.9	141.6	34.3	4.0–75.0	2207	585
Metan	50	55.5	17.2	5–15	1914	540-630
Propan	45.6	50.3	15.6	2.1–9.5	1925	450
Metanol	18.0	22.7	6.5	6.7–36.0	1870	460
Benzin	44.5	47.3	14.6	1.3–7.1	2307	260–460
Dizel	42.5	44.8	14.5	0.6–5.5	2327	180–320

LHV: alt ısı değer, HHV: Üst ısı değer, A/F: Stokiyometrik hava yakıt oranı,
CR: yanma aralığı, FT: Alev sıcaklığı, AIT: Kendi ateşleme sıcaklığı

- ▶ Hidrojen benzinli içten yanmalı motorlarda düşük ateşleme enerjisi ve geniş ateşleme aralığına sahip olması nedeniyle doğrudan kullanılabilir. Ancak hidrojen dizel motorlarda doğrudan kullanılamaz. Dizel motorlar ya ateşleme bujisi ile donatılmalı ya da gazı tutuşturmak için az bir miktar dizel yakıt kullanılmalıdır.
- ▶
- ▶ Hidrojen fosil yakıtların kullanıldığı içten yanmalı motorlarda, türbinlerde ve jet motorlarında, otomobil, traktör, biçerdöver, tren, gemi, denizaltı, uçak ve rokette yakıt olarak kullanılabilir.
- ▶
- ▶ Yakıt pilleri kullanılarak hidrojen doğrudan elektrik enerjisine de dönüştürülebilir. Ayrıca, hidrojen petrol, metalürji, bilgisayar, farmakoloji, gübre, gıda endüstrisi gibi farklı sektörlerde sanayi gazı ve hammadde olarak kullanılmaktadır.
- ▶

► Hidrojenin çevreye etkisi

- Fosil yakıtlarla hidrojenin çevreci yeşil bir kaynak olarak karşılaştırılmasında aşağıdaki faktörler kullanılmaktadır (Dincer ve Acar 2015; Çizelge 11.3):
- Çevresel etki faktörü (EIF): 1 kg yakıtın yakılması sonucu kg olarak açığa çıkan CO₂ miktarı olarak tanımlanır.
- Yeşil etki faktörü (GF): En büyük EIF ve yakıta özgü EIF değerlerine göre hesaplanır.
- Hidrojen içerik faktörü (HCF): 1 kg yakıt içinde kg olarak bulunan H₂ miktarıdır.
- Karbon emisyonlarının azaltılmasında hidrojenin belirgin katkısı olmaktadır. Hammadde içindeki hidrojen içeriğinin artması enerji kaynağının daha yeşil ve çevreci olması anlamına gelmektedir.

Çizelge 11.3 Çevresel etkileri açısından fosil yakıtların ve hidrojenin karşılaştırılması (*)

	Çevre etki faktörü (EIF)	Yeşil etki faktörü (GF)	Hidrojen içerik faktörü (HCF)
Kömür	3.6	0	0
Petrol	3.0	0.15	0.2
Doğal gaz	2.7	0.25	0.3
Hidrojen	0	1	1

*Sayısal veriler (Dincer ve Acar 2015) tarafından verilen grafiklerden uyarlanmıştır.

► Hidrojen ekonomisi kavramı

- Günümüz küresel ekonomisinde birincil enerji kaynaklarının çoğu kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtlardan elde edildiği için küresel ekonomiye karbon ekonomisi adı verilmektedir. Gelecekte tüm sektörlerde, sürdürülebilir ölçekte, ana enerji kaynağının hidrojen olacağını ön gören kavram hidrojen ekonomisi olarak tanımlanmaktadır. Hidrojen ekonomisinin temel dayanağı yeryüzünde her yerde bulunan sudan üretilmesi ve çevreci olmasıdır. Hidrojen yerel olarak üretilir ve depolanabilir. Hidrojenin nakledilebilir olması hidrojene enerji taşıyıcı özelliği kazandırmaktadır (Ball ve Wietsche, 2009).

► Hidrojenin üstün yanlarından bir kaçı aşağıda sıralanmıştır (Dincer ve Acar 2015):

- Sıfır emisyonla sudan üretilmesi,
- Yüksek enerji dönüşüm etkinliğine sahip olması,
- Dünyanın her yerinde bol miktarda mevcut olması
- Farklı formlarda depolanabilmesi,
- Uzun mesafeli taşımaya uygun olması,
- Enerjinin diğer formlarına kolay dönüştürülebilmesi,
- Fosil yakıtlardan daha yüksek ısı değerlere sahip olması.

► Hidrojenin üretiminde negatif yönler aşağıda sıralanmıştır:

- Günümüz teknolojisi ile üretiminin pahalı olması,
- Depolama zorluğu,
- Mevcut altyapıyı değiştirme zorluğu,
- Yüksek tutuşma riski,
- Büyük ölçekli üretiminde fosil yakıtların kullanılıyor olması.

► Hidrojen Çevrimi

► Hidrojen çevriminde temel ilke yenilenebilir enerji kullanılarak sudan hidrojen üretiliyor olmasıdır. Bu hidrojenin bir kısmı depolanmakta, bir kısmı oksijenle tepkimeye girerek güç geliştirilmesinde kullanılmakta, atmosfere su olarak geri dönmektedir. Bu çevrimde su aktif rol oynamakta ve sera gazı salımı olmayan yeşil enerji elde edilmektedir (Şekil 11.1). Hidrojen çevriminde sürdürülebilir, yenilenebilir ve temiz yakıtın üretilmesi için en önemli bileşen suyun var olmasıdır.

► Hidrojen çevriminin dört aşaması geleceğin hidrojen ekonomisinin gerçekleşmesinde rol oynayacaktır:

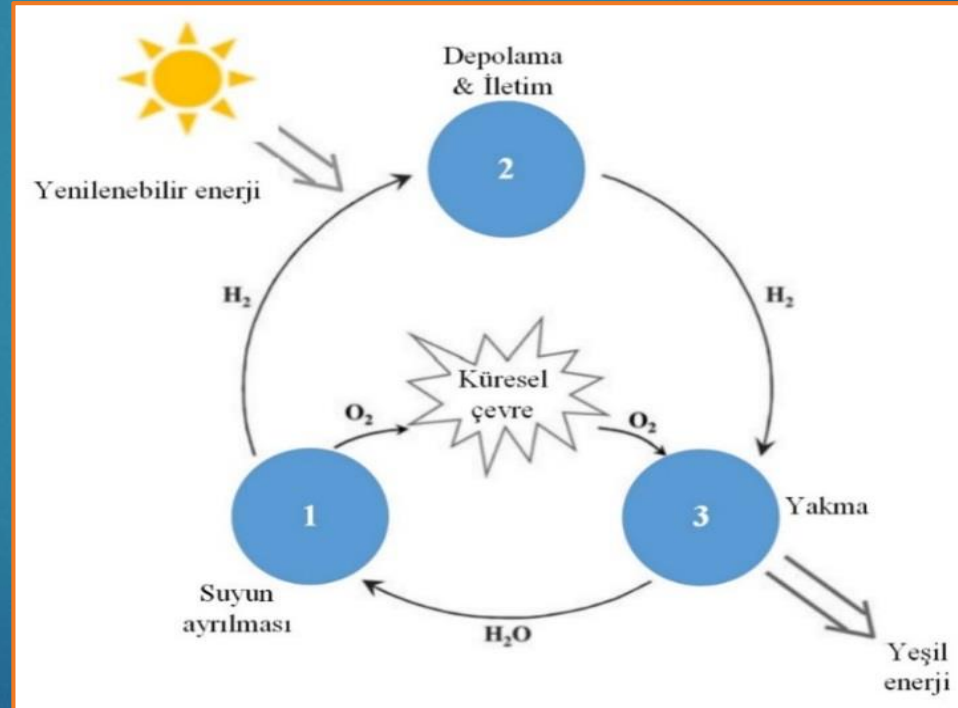
► Hidrojen üretimi,

► Hidrojenin depolanması,

► Hidrojenin iletimi ve dağıtımı,

► Hidrojenin yararlı güce dönüştürülmesi.

►

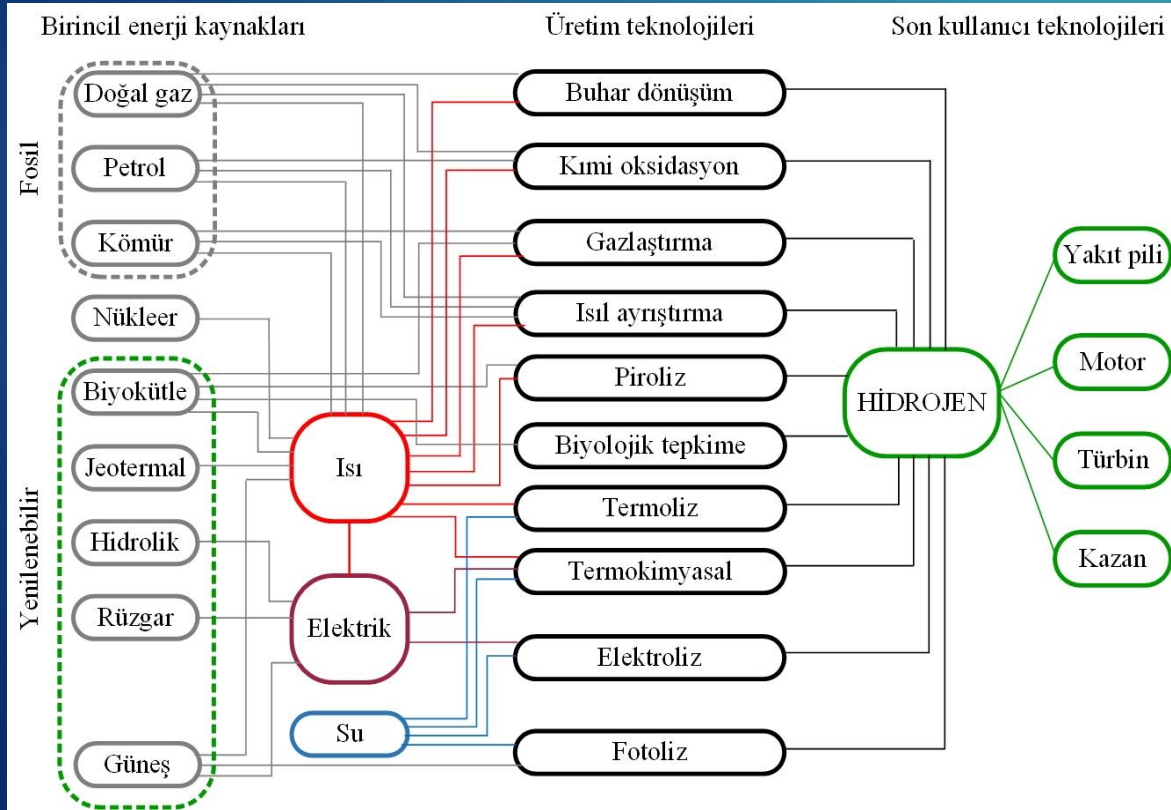


Şekil 11.1 Hidrojen çevrimi (Speight, 2008)

11.1 Hidrojen Üretimi

11

- ▶ Hidrojen doğal bir enerji kaynağı olmadığı için üretilmesinde enerji gereklidir. Hidrojen üretiminde fosil (kömür, petrol, doğal gaz vd), nükleer, yenilenebilir (güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle, hidrolik, gelgit, dalga vd.) enerji kaynakları kullanılmaktadır.
- ▶ **11.1.1 Üretim yöntemleri**
- ▶ Hidrojenin üretimi için kimyasal, termokimyasal, elektroliz, termoliz, fotoliz ve biyolojik olmak üzere çok sayıda yöntem kullanılmaktadır. Teknolojik ve ekonomik açıdan sürdürülebilir hidrojen üretiminde bugün için fosil kaynaklar aktif rol oynamaktadır. Uygulamada yaygın olarak kullanılan hidrojen üretim yolları Şekil 11.2'de şematik olarak gösterilmiştir. Burada enerji kaynağı olarak fosil, nükleer ve yenilenebilir enerji kaynakları, ısı ve elektrik enerji dönüşümleri, üretim teknolojileri bir arada ele alınmıştır. Hidrojen üretiminde buhar dönüşüm (steam reforming), kısmi oksidasyon, ısıl ayrıştırma (cracking), gazlaştırma, piroliz, termoliz, termo-elektrokimyasal, elektroliz, fotokimyasal, foto-elektrokimyasal, fotoliz gibi teknolojiler kullanılmaktadır.



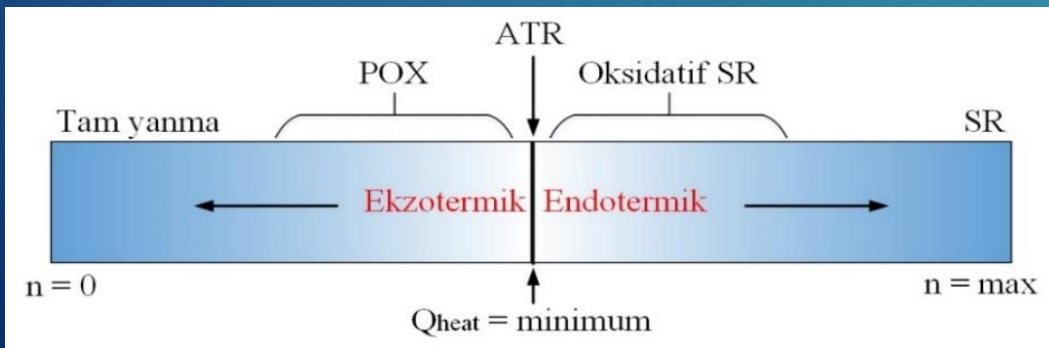
Şekil 11.2 Enerji kaynaklarına göre hidrojen üretim yöntemleri, üretim yolları (Dinçer ve Joshi, 2013'den değiştirilerek uyarlanmıştır.)

► Kısmi oksidasyon (Partial oxidation – POX)

- Kısmi oksidasyon az oksijenle hidrokarbonun hidrojene dönüşümü için kullanılır. Isı kontrollü yanma ile sağlanır. Operasyon için katalizör gerekli değildir. Proses yüksek sıcaklıklarda oluşur. Kısmi oksidasyon hidrokarbonların 1300 – 1500°C sıcaklık ve 3 – 8 MPa basınç aralıklarında maruz bırakıldığı gazlaştırma işlemidir. Kısmi oksidasyonla oluşan gaz karışımı CO, CO₂, H₂O, H₂, CH₄, H₂S (hydrogen sulfide) ve COS (carbon oxysulfide) içerir. Üretilen gazın bir kısmı endotermik prosesler için gerekli ısıyı sağlamak için yakılır. İşlem sıcaklığını 700 – 1000 °C'ye düşürmek için katalizör kullanılabilir (Holladay vd, 2009; Subramani vd, 2010; Kalamaras ve Efstathiou, 2013).

► Oto-termal dönüşüm (Autothermal reforming – ATR)

- Oto-termal dönüşüm hem buhar dönüşüm (endotermik) hem de kısmi oksidasyon (ekzotermik) tepkimelerinin bir arada uygulanmasıdır. Ekzotermik tepkime sonrası elde edilen ısı, buhar dönüşüm prosesinde kullanılmakta olup; bu dönüşüm oto-termal yada termal-nötr olarak adlandırılır. Hidrojen üretimi için kullanılan teknolojilerde ekzotermik ve endotermik çalışma aralığı şekil 11.3'de gösterilmiştir. Burada ana hedef düşük karbon monoksit ve yüksek hidrojen içeriğinin sağlanmasıdır. Maksimum hidrojen etkinliği ve düşük karbon monoksit içeriği buhar dönüşüm işlemiyle sağlanır. Ancak buhar dönüştürme (SR) endotermik bir işlem olup; sürece dışarıdan enerji verilmesi gereklidir. ATR işlemi hızlı şekilde durdurulabilir ya da başlatılabilir. Süreç iyi yönetilirse, SR'den daha fazla hidrojen üretimi yapılabilir (Holladay vd, 2009; Kalamaras ve Efstathiou, 2013).



Şekil 11.3 SR (buhar dönüşüm), POX (kısmi oksidasyon) ve ATR (oto-termal dönüşüm) (Kalamaras ve Efstathiou, 2013)

► Gazlaştırma (Gasification)

- Kömür yada biyokütlenin gazlaştırılması standart CO₂ ayırma yöntemidir. Hidrojen üretimi amacıyla, hammadde olarak kömür ya da biyokütle yüksek basınç ve sıcaklıkta az oksijenli ortamda buharla işleme sokulur. Bu tepkimenin ürünü metan, hidrojen, karbon monoksit, karbon dioksit ve azot içeren sentez gazıdır. Biyokütle içindeki nemin uzaklaştırılması gazlaştırma işleminin ısı verimini azaltmaktadır. Isıl verimi arttırmak için katalizör eklenerek sabit yada akışkan yataklı reaktörler kullanılabilir. Kuru biyokütleden yüksek hidrojen elde etmek için kızgın buhar (900 C) kullanılmaktadır (Holladay vd, 2009). Sentez gazından daha fazla hidrojen elde etmek ve CO'ı CO₂'ye dönüştürmek için WGS işlemine tabi tutulur. Genellikle gazlaştırma tesisleri çok miktarda biyokütleyi işlemek için büyük ölçekte inşa edilmektedir.

► Piroliz (Pyrolysis)

- Ham organik materyal 500 – 900°C sıcaklık aralığında 0.1– 0.5 MPa basınçta oksijen ve havasız ortamda ısıtılır ve gazlaştırılır. Su ve hava olmadığı için CO ve CO₂ oluşmaz ve WGS yada PrOx reaktörlerine gerek yoktur. Eğer hava ve su kullanılacaksa, materyal kurutulmamalıdır (Kalamaras ve Efstathiou, 2013).
- Piroliz prosesleri düşük (< 500°C), orta (500-800°C) ve yüksek (> 800°C) olmak üzere üç sıcaklık aralığına göre tanımlanmaktadır (Kalamaras ve Efstathiou, 2013). Yüksek enerji içerikli organik materyallerin dönüşümü için genellikle hızlı piroliz prosesi tercih edilmektedir. Hızlı piroliz sonucunda katı, sıvı ve gaz formunda proses ürünleri elde edilir. Son yıllarda organik atıklarla kömür karışımının ikili pirolizi yüksek enerji içerikli proses ürünlerinin elde edilmesini sağladığı için tercih edilmektedir.

► **Sulu faz dönüşümü (Aqueous Phase Reforming – APR)**

- Biyokütlenin oksijenle işleme tabi tutularak hidrojen üretilmesi için geliştirilmiş bir teknolojidir. Sulu faz dönüşüm (APR) tepkimeleri konvansiyonel hidrokarbonlardan (600°C) farklı olarak 220-270°C gibi daha düşük sıcaklıklarda ve 20 – 30 MPa basınçta gerçekleştirilir (Holladay vd, 2009). Düşük sıcaklıklar hidrokarbonlar üzerinde istenmeyen tepkimelerin olmaması için tercih edilmektedir. Aynı sıcaklıklarda WGS tepkimesi uygulanarak, düşük CO, CO₂ ve yüksek H₂ içerikli sentez gazları tek reaktörde elde edilmiş olmaktadır. APR'nin düşük sıcaklıklarda ve suyun buharlaştırılmadan uygulanması SR teknolojisine göre enerji tasarrufu sağlaması en önemli üstünlükleridir.

► **Termoliz (Thermolysis)**

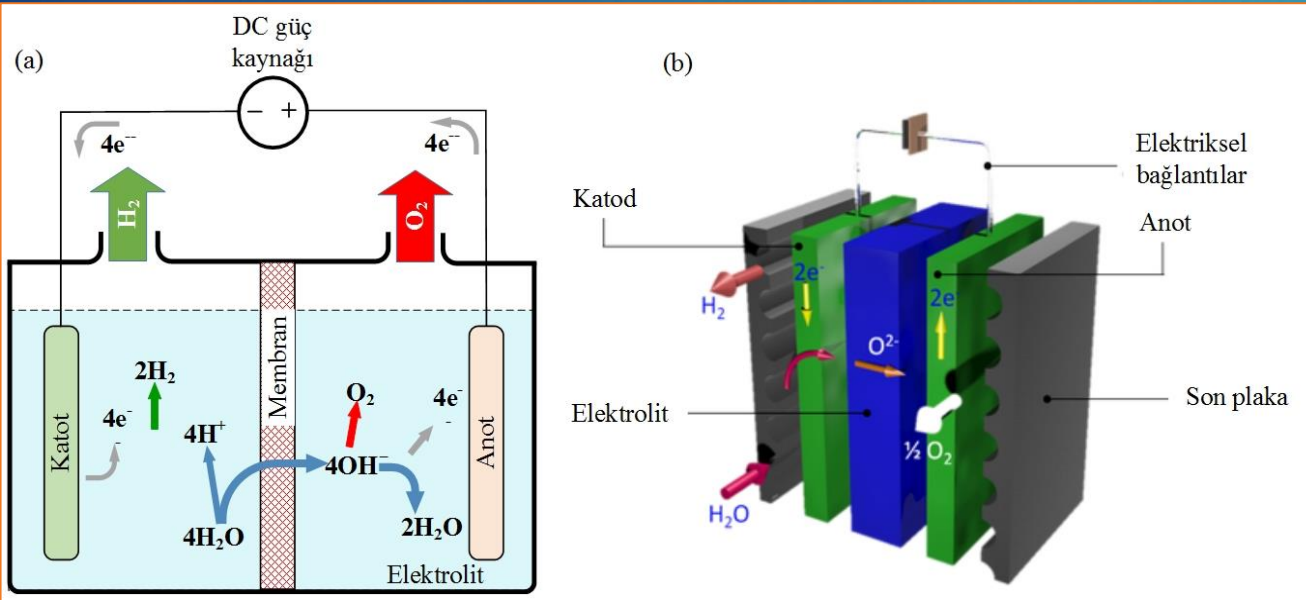
- Su 2500 K seviyelerindeki sıcaklıklarda ısı olarak ayrıştırılabilir. Ayrılma derecesi sıcaklıkla doğrudan ilişkili olup; 2000 K'de % 1, 2500 K'de % 8.5 ve 3000 K'de % 64'e kadar arttırılabilir. Ürün yüksek sıcaklıklardaki gazlardan oluşan bir karışımdır. Burada, sıcaklıkların yüksek olması, yüksek sıcaklığa uygun malzemelere olan gereksinim ve karışımdan hidrojenin ayrılması çözülmesi gereken önemli sorunlar olarak karşımıza çıkmaktadır (Sherif vd, 2014; Dincer, 2012).

► **Termokimyasal çevrimler (Thermochemical cycles)**

- Termolizden daha düşük sıcaklıklarda suyun kimyasal olarak ayrılmasını kapsayan çevrimsel kimyasal tepkimelerle hidrojen üretilebilmektedir. Bunlardan bazıları sülfürik asit – iyot çevrimi, hibrit sülfürik asit çevrimi, hibrit sülfürik asit - hidrojen bromid çevrimi, kalsiyum bromid – demir oksit (UT-3) ve demir klor çevrimi olarak sıralanabilir (Sherif vd, 2014).

► Elektroliz (Electrolysis)

- Suyun oda sıcaklığında elektrokimyasal tepkime sonucunda hidrojen ve oksijen olarak ayrıştırılması işlemine elektroliz adı verilir. Elektroliz cihazı Şekil 11.4'de gösterildiği gibi bir anot, bir katot olmak üzere iki elektrot, güç kaynağı ve elektrolitten oluşur. İki elektrot arasına doğru akım uygulanınca, anottaki su oksijen ve protonlarına (H^+ iyonlarına) ayrılır ve bu sırada elektronlar serbest kalır. Elektronlar güç kaynağının negatif ucundan katoda akar. Suyun elektrolizi sırasında, hidrojen iyonları katoda doğru, hidroksil iyonları anoda doğru hareket eder. Anotta hidroksit iyonları elektronları uzaklaştırır ve bu elektronlar DC kaynağının pozitif ucuna geri döner. Membran kullanılarak, hidrojen ve oksijen gazları sırasıyla katot ve anot tarafında ayrı ayrı toplanabilir. Asit elektrolitlerin aşırı korozyon etkisi nedeniyle potasyum hidroksit suyun elektrolizinde en yaygın kullanılan kimyasaldır. Nikel ucuz olmasının yanı sıra, yüksek aktivitesi nedeniyle tercih edilen elektrot malzemesidir.

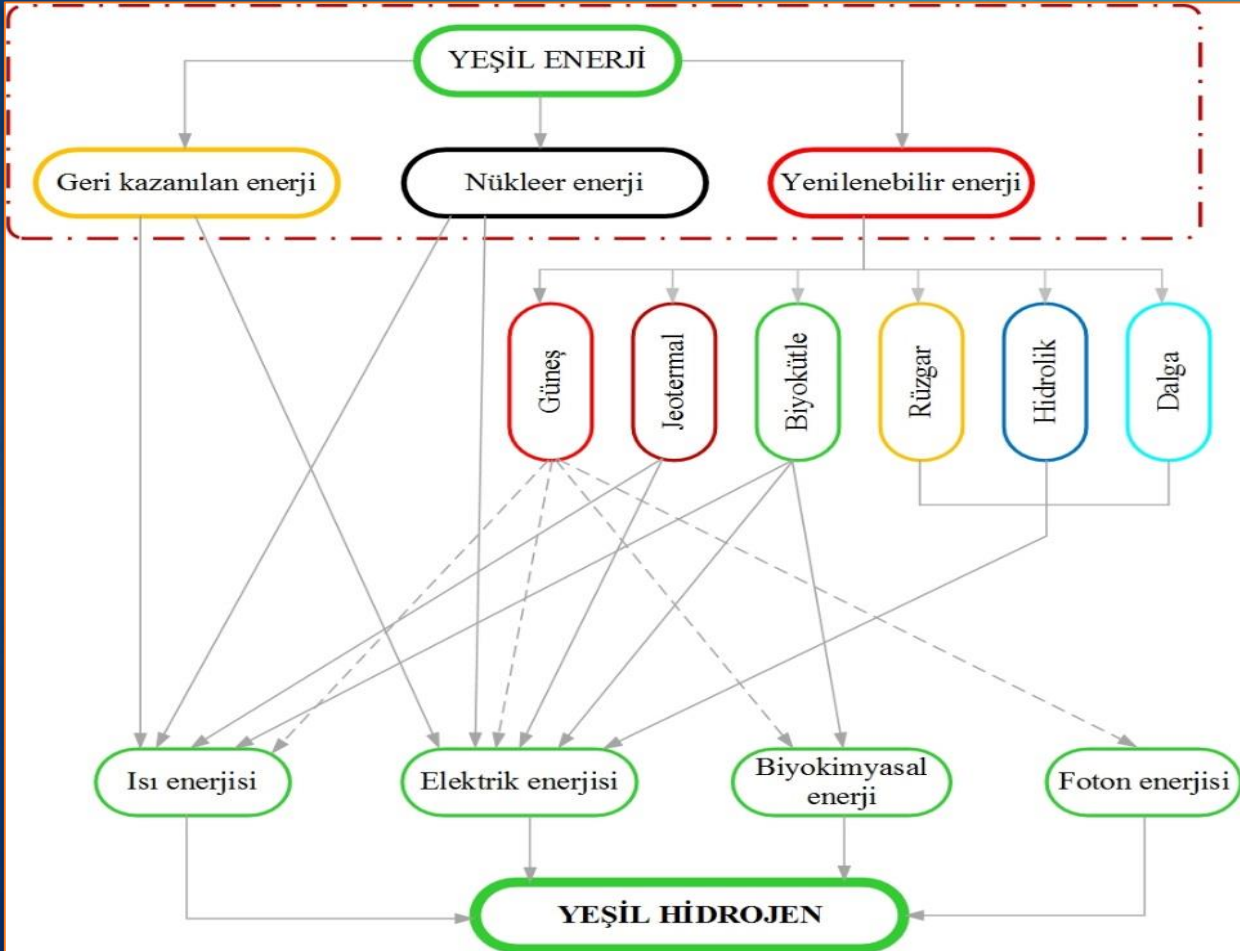


Şekil 11.4 Suyun elektrolizi ile hidrojen üretimi (a) çalışma ilkesi, (b) Elektroliz H_2 üretici (Smolinka, 2015'den değiştirilerek uyarlanmıştır)

- ▶ Elektroliz tekniği ile hidrojen üretimi için genellikle dört yöntem kullanılmaktadır (Ghosh ve Prelas, 2011):
 - ▶ Alkali elektroliz yöntemi (AE)
 - ▶ Proton değişim membran elektroliz yöntemi (PEME),
 - ▶ Katı oksit elektroliz yöntemi (SOE),
 - ▶ Yüksek sıcaklık elektroliz yöntemi (HTE).
- ▶ Endüstriyel ölçekte, fotovoltaik panel yada rüzgar türbini ile birleştirilmiş entegre elektroliz tesisleri kullanılmaya başlamıştır. Katı polimer elektrolitik (SPE) prosesi, yüksek sıcaklıkta [700-1000°C] buharla elektroliz diğer gelişmiş teknolojilerdir (Smolinka vd, 2015).
- ▶ **Plazma arkı ile ayrıştırma**
- ▶ Plazma dönüşümünü tamamlamış artı ve eksi yüklü parçacıklardan oluşan maddenin iyonize olmuş halidir. Elektriksel olarak yüklü parçacıkların varlığı nedeniyle, plazma yüksek gerilim elektrik akımı deşarj ortamı olarak kullanılabilir. Doğal gaz, biyogaz (metan) ısı plazma etkisi altında ayrıştırılabilir. Isıl plazmada iyonlaşmış atomlar ve elektronlar aynı termodinamik sıcaklıktadır. Metan plazma arkı içinden geçerken hidrojen ve karbon olarak ayrıştırılabilmektedir. Karbon kurum olarak ark reaktörünün altından, hidrojen gaz olarak üstünden toplanır (Holladay vd, 2009).

- ▶ Yeşil çevreci hidrojen üretiminde gerekli enerji dört kategoride sınıflandırılmaktadır (Dincer, 2012):
- ▶
- ▶ Isı enerjisi
- ▶ Elektrik enerjisi
- ▶ Foton enerjisi
- ▶ Biyokimyasal enerji
- ▶
- ▶ Hidrojen sera gazı salımı olmayan daha çevreci olan yeşil enerji kaynakları ile üretilebilir. Yeşil enerji kaynakları arasında yenilenebilir enerjiler (güneş, jeotermal, rüzgar, gel-git, dalga, biokütle ve hidrolik), nükleer enerji, geri kazanılan enerjiler (endüstriyel atık ısı, çöp gazı vd) sayılabilir.

- Şekil 11.5'de hidrojen üretiminde kullanılacak dört tip enerjinin temel üretim yolları şematik olarak gösterilmiştir. Yenilenebilir enerji olan güneş enerjisi elektrik, ısı, biyokimyasal ve foton enerjisi kaynağı olarak kullanılmaktadır. Geri kazanılan ısıdan ve çöp gazından ısı ve elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Foton enerjisi sadece güneş enerjisinden karşılanabilir. Biyokimyasal enerji karbonhidrat, glikoz ve şeker formunda organik madde içinde depolanan enerjidir. Biyokimyasal enerji belirli bazı mikroorganizmalar tarafından hidrojen üretecek şekilde ya da kimyasal olarak ısı enerjisine dönüştürülecek şekilde üretilebilir. Nükleer enerji sera gazı salınımına neden olmadığı için yeşil enerji kapsamında değerlendirilmektedir.



Şekil 11.5 Yeşil hidrojen üretim yolları (Dincer, 2012)

Çizelge 11.4 Hidrojen üretimi için gerekli enerji formları, yöntemler, kaynaklar (Dincer, 2012)

19

- ▶ Çizelge 11.4'de hidrojen üretimi için gerekli enerji kaynakları liste olarak verilmiştir. Burada elektrik, ısı, foton ve biyokimyasal gibi enerji formları ya da bunların ikili hibrit kaynakları (elektrik + ısı, elektrik + foton, biyokimyasal + ısı, foton + biyokimyasal) kullanılabilir. Hidrojen kaynağı olarak su, metan, biyokütle, hidrojen sülfid, fosil yakıtlar, biyo-yakıtlar gibi kaynaklar sıralanabilir (Dincer, 2012).
- ▶ Hidrojen ekonomisinde yenilebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı düşük maliyetli hidrojenin üretilmesi önemli rol oynamaktadır. Ancak, bugün için hidrojenin üretim maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle, tam anlamıyla fosil yakıtların yerini alabilecek olgunlaşmış teknolojik seviyeye ulaşmadığı söylenebilir. Ayrıca, fosil yakıtlardan sıfır salımlı yeşil hidrojen üretmek için CO₂ gazının tutulması ve depolanması ve diğer atıkların işlenmesi gerekmektedir.
- ▶ Hidrojen jeotermal (J), biyokütle (BK), rüzgar (R), güneş enerjisi (G) ve nükleer enerji (N) gibi enerji kaynakları ile üretilebilirse, hidrojen sıfır karbon içerikli enerji taşıyıcısı olarak kabul edilmektedir. Hidrojen bugün için insanoğlunun küresel ısınmaya karşı çözüm sağlayabileceği en iyi seçimdir. Hidrojenin çevre dostu, sıfır emisyonlu bir kaynak ve ideal enerji taşıyıcısı olarak sanayide, evlerde, otomobillerde kullanılacak potansiyele sahip olması dikkat çekmektedir. Hidrojenin esas üstünlüğü fosil yakıtlara göre çevreci olmasıdır.

Enerji kaynağı	Hidrojen üretim yöntemi	Hidrojen kaynağı
Elektrik enerjisi	Elektroliz	Su
	Plazma arki ile ayrıştırma	Doğal gaz, biyogaz
Isı enerjisi	Termoliz	Su
	Termokataliz ile H ₂ S ayrıştırma	Hidrojen sülfid
	Termokataliz ile biyokütle dönüştürme	Biokütle
	Termokimyasal proses ile su ayırma	Su
	Termokimyasal proses ile gazlaştırma	Biyokütle
	Termokimyasal proses ile reforming	Biyo-yakıt
Foton enerjisi	Termokimyasal proses ile H ₂ S ayırma	Hidrojen sülfid
	Fotovoltajik elektroliz ile	Su
	Foto-kataliz	Su
	Foto-elektro-kimyasal	Su
Biyokimyasal enerji	Biyo-fotoliz	Su
	Karanlık fermentasyon	Biyokütle
Elektrik + ısı	Enzimatik	Su
	Yüksek sıcaklık ile elektroliz	Su
	Hibrit termokimyasal çevrim	Su
	Termokatalitik fosil yakıt ayrıştırma	Fosil yakıt, biyoyakıt
	Kömür gazlaştırma	Su
Elektrik + foton	Fosil yakıt reforming	Fosil yakıtlar
	Foto-elektroliz	Su
Biyokimyasal + ısı	Termofilik çürütme	Biyokütle
Foton + biyokimyasal	Biyo-fotoliz	Biyokütle, su
	Foto-fermantasyon	Biyokütle
	Yapay fotosentez	Biyokütle, su

- Konvansiyonel (K) ve yenilenebilir enerjiler kullanılarak hidrojen üretiminde kullanılan bazı kimyasal tepkimeler Çizelge 11.5'de verilmiştir.

- **Çizelge 11.5** Hidrojen üretiminde kullanılan teknolojiye göre uygulanan kimyasal tepkimeler (Dayıoğlu, 2015)

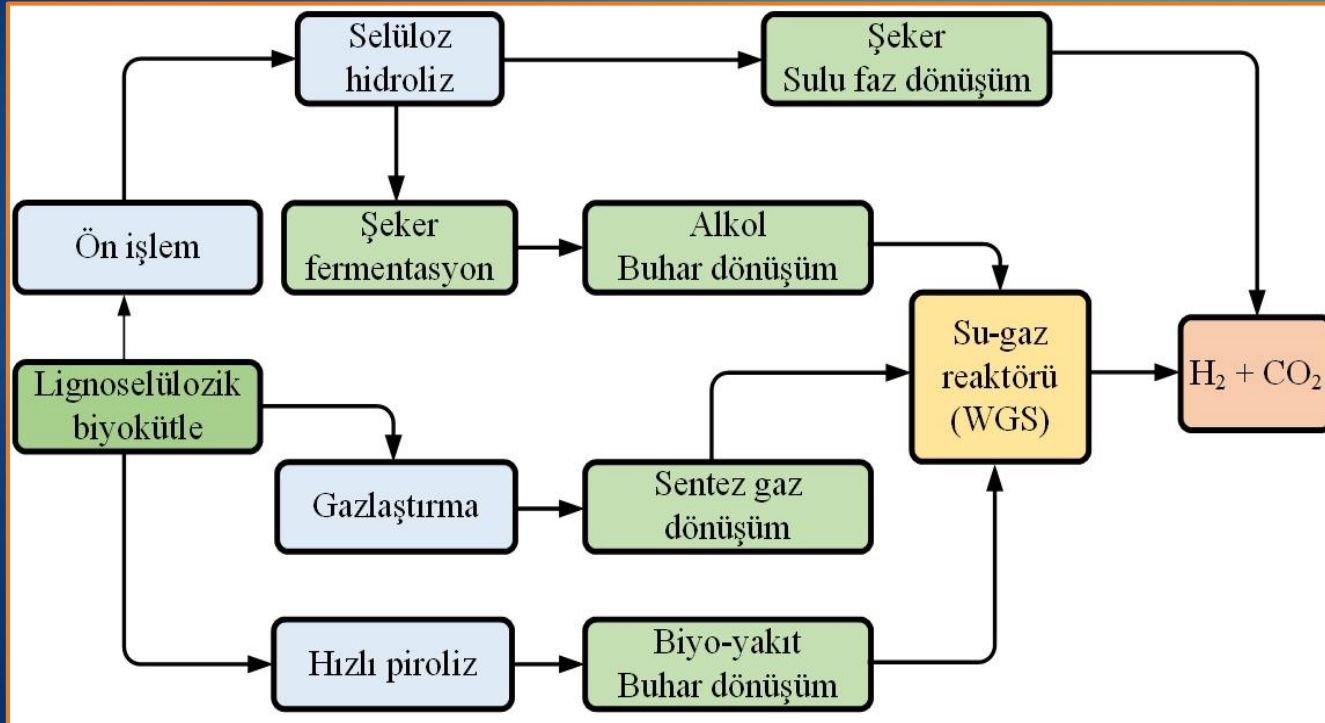
Hidrojen kaynağı	Enerji kaynağı	İşlem	Tepkime
Doğal gaz	K-G-J	SR	$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$
Doğal gaz	K-G-J	Bileşenlerine ayırma (Cracking)	$\text{CH}_4 \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{C}$
Kömür	K-G-J	Gazlaştırma	$(\text{C}) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$
Biyogaz	G-J	SR	$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$
Benzin	K-G-J	POX	$\text{C}_8\text{H}_{18} + 2\text{H}_2\text{O} + 9\text{O}_2 \rightarrow 12\text{CO} + 4\text{CO}_2 + 20\text{H}_2$
Metanol	K-G-J	ATR	$\text{CH}_3\text{OH} + 0.1\text{O}_2 + 0.8\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2.8\text{H}_2$
Benzin	K-G-J	SR	$\text{C}_8\text{H}_{18} + 16\text{H}_2\text{O} \rightarrow 8\text{CO}_2 + 25\text{H}_2$
Etanol	G-J	SR	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CO}_2 + 6\text{H}_2$
-	-	WGS	$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$
Biyokütle	G-J	Piroliz	$\rightarrow \text{CO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2 + \text{hidrokarbon gaz}$
Biyokütle	G-J	Yanma	$\text{C}_6\text{H}_9\text{O}_4 + 6.25\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 4.5\text{H}_2\text{O}_g$
Biyokütle	G-J	ATR + WGS	$\text{C}_6\text{H}_9\text{O}_4 + 5.5\text{H}_2\text{O}_f + 1.25\text{O}_2 \rightarrow 10\text{H}_2 + 6\text{CO}_2$
Biyokütle	G-J	Metanlaştırma	$\text{C}_6\text{H}_9\text{O}_4 + 1.75\text{H}_2\text{O}_f \rightarrow 3.125\text{CH}_4 + 2.875\text{CO}_2$
Biyokütle	G-J	Hidro-gazlaştırma	$\text{C}_6\text{H}_9\text{O}_4 + 11.5\text{H}_2 \rightarrow 6\text{CH}_4 + 4\text{H}_2\text{O}_g$
Biyokütle	G-J	Gazlaştırma	$\rightarrow \text{CO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2 + \text{N}_2$
Su	G-R-J	Elektroliz	$\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2$
Su	G-J	Termokimyasal	$2\text{H}_2\text{O} + \text{Enerji} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$

- ▶ Fosil yakıtlar ve biyoyakıtlar hidrojene dönüştürülürken sera gazı emisyonları oluşmaktadır. Özellikle hidrojenin taşıma sektöründe sıfır karbon salınımlı yakıt olarak kullanımı konusunda sürdürülebilir alternatif teknolojilerin geliştirilmesi gerekmektedir.
- ▶
- ▶ Son yıllarda, fosil yakıtlardan sıfır karbon salınımlı olan daha çevreci hidrojen üretiminde dört yöntem üzerinde çalışmalar yapılmaktadır:
- ▶
- ▶ Biyokütleyle dayalı termokimyasal yöntemlerle hidrojen üretimi,
- ▶ Biyokütleyle dayalı biyolojik yöntemlerle hidrojen üretimi,
- ▶ Güneş, rüzgar enerjilerinden hidrojen üretimi,
- ▶ Karbondioksit tutma teknolojileri,
- ▶ Nükleer enerjilere dayalı suyun elektrolizi.

11.2.1 Biyokütleden hidrojen üretimi

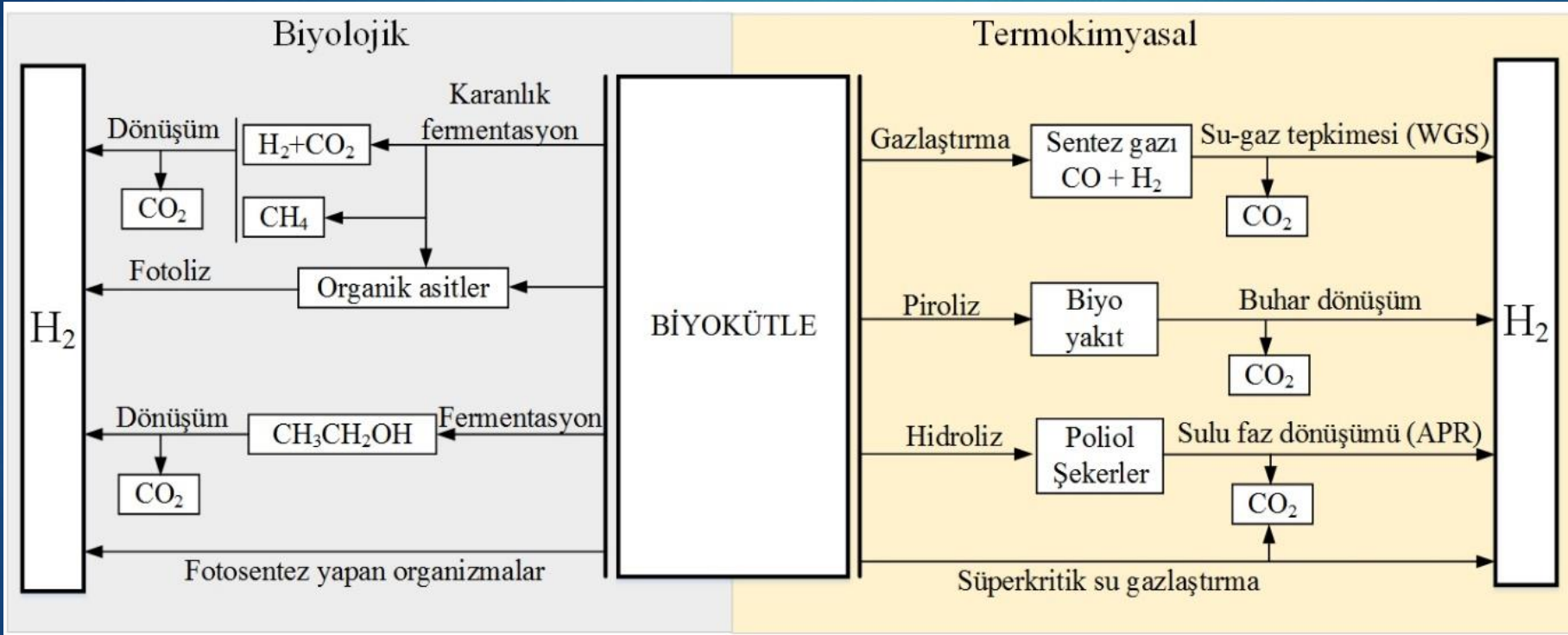
22

- Biyokütlenin termokimyasal olarak H_2 dönüşümünde gazlaştırma, piroliz, hidroliz ve reforming olmak üzere dört temel yöntem uygulanmaktadır. Şekil 11.6'da termokimyasal işleme lignoselülozik biyokütleden hidrojen üretimi şematik olarak gösterilmiştir. Lignoselülozik biyokütle gazlaştırma işlemini etkileyen fiziksel, kimyasal ve morfolojik özelliklere sahiptir. Lignoselülozik biyokütlenin düşük hidrojen içeriğine sahip olması düşük hidrojen üretimine neden olmaktadır. Gazlaştırma işleminin performansını arttırmak için Şekil 11.6'da verilen piroliz ve hidroliz gibi ek işlemler kullanılmaktadır.



Şekil 11.6 Termokimyasal işlemlerle hidrojen üretiminin şematik gösterimi (He vd, 2013'den uyarlanmıştır)

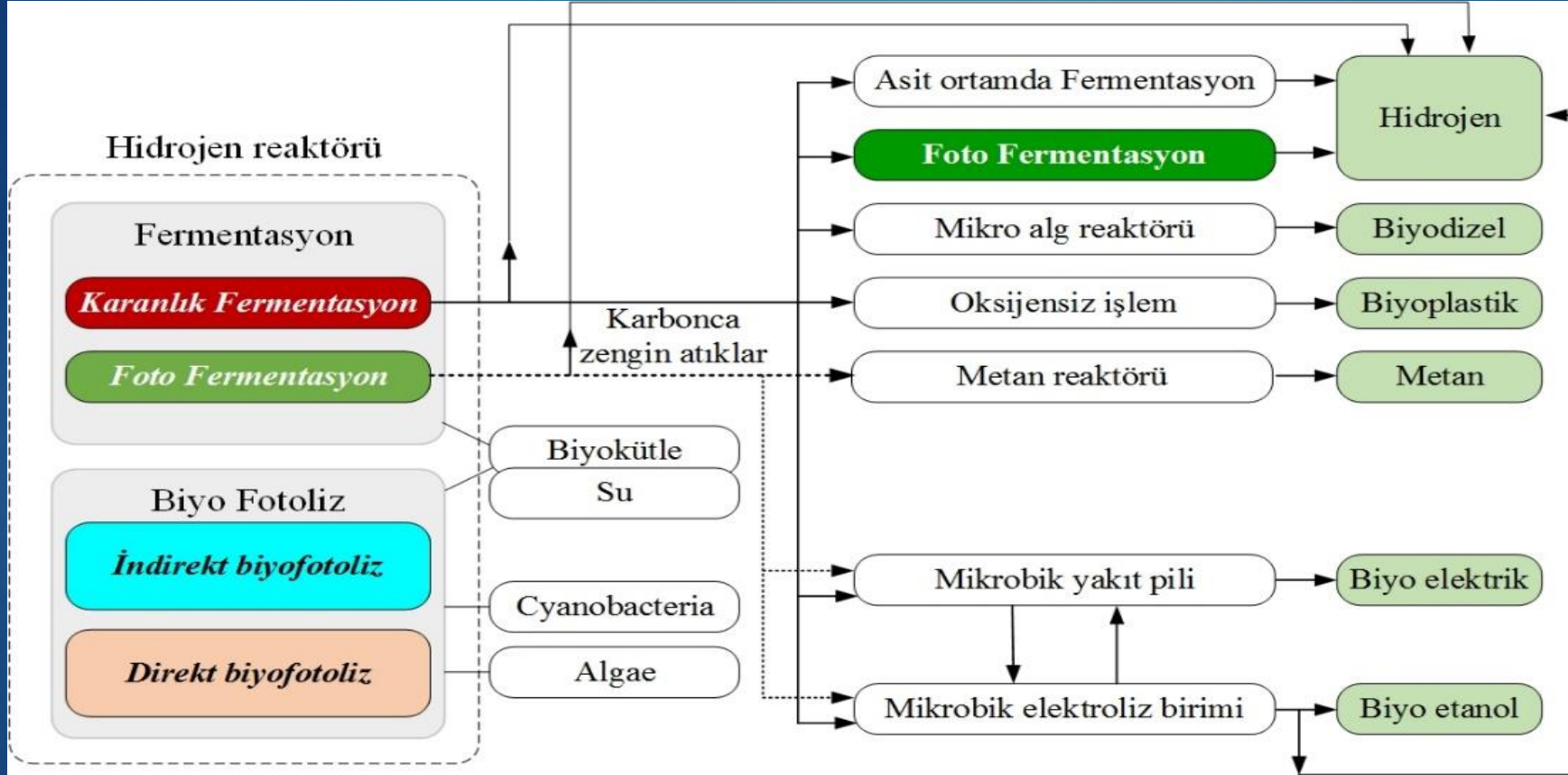
- Tarımsal atık ve artıklardan gelen selülozik, hemiselülozik ve lignoselülozik esaslı biyokütleden hidrojene dönüşüm termokimyasal ve biyolojik proseslere dayalı olarak yapılmaktadır (Şekil 11.7).



Şekil 11.7 Biyokütleden hidrojen üretimi için biyolojik ve termokimyasal işlemler (Martinez-Merino vd, 2013)

- Biyolojik hidrojen üretim yöntemleri aşağıda sıralanmıştır (Chandrasekhar vd, 2015):
-
- **Direkt biyofotoliz:** Güneş enerjisi bitki ve alg üzerinden fotosentez işlemleri sonucunda doğrudan hidrojene dönüştürülür. Alg fotosentez mekanizması ile su moleküllerini hidrojen ve oksijene ayırır. Üretilen hidrojen iyonları hidrojenaz enzimi tarafından hidrojen gazına çevrilir: $(2\text{H}_2\text{O} + \text{"güneş enerjisi"} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2)$.
- **İndirekt Biyofotoliz:** Hidrojen üretiminin iki yada üç aşamada elde edildiği prosesleri kapsamaktadır. İlk aşamada su, karbondioksit ve güneş enerjisinden karbonhidrat ve oksijen elde edilir: $(6\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 + \text{"ışık"} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2)$. İkinci aşamada karbonhidrat, su ve güneş enerjisinden hidrojen üretmek amacıyla Cyanobacteria kullanılır. Cyanobacteria'nın sahip olduğu nitrojenaz ve hidrojenaz enzimlerini kullanarak hidrojen elde edilebilmektedir: $(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 12\text{H}_2\text{O} + \text{"ışık"} \rightarrow 12\text{H}_2 + 6\text{CO}_2)$.
- **Foto fermentasyon:** Organik asitleri, suyu, ışığı kullanarak azotun az olduğu koşullarda nitrojenaz enzimine sahip olan fotofermentatif bakteriler ile hidrojen üretilmektedir: $(\text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{"ışık"} \rightarrow 4\text{H}_2 + 2\text{CO}_2)$.
- **Karanlık fermentasyon:** Hidrojen karbonhidratça zengin ortamda karanlık koşullarda anaerobik bakteriler (Enterobacter, Bacillus, Clostridium) kullanılarak üretilir. Fermentatif prosesler için karbonhidrat (glikoz) ve su girdi olarak kullanıldığında, çıktı olarak organik asitler, (asetik asit) karbondioksit ve hidrojen üretilmektedir: $(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2)$.
- **Mikrobik elektroliz:** Elektroliz prensibine dayalı olarak, hidrojen gazı su, organik asitler ve bakteriler kullanılarak üretilmektedir: Anot: $(2\text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CO}_2 + 8\text{H}^+ + 8\text{e}^-)$; Katot: $(8\text{H}^+ + 8\text{e}^- \rightarrow 4\text{H}_2)$.

- Bu yöntemler birleştirilerek (örneğin foto fermentasyon + karanlık fermentasyon) çok kademeli hidrojen üretimi yapılabilmektedir (Şekil 11.8).



Şekil 11.8 Biyolojik hidrojen üretiminde farklı çevrimler (Chandrasekhar vd, 2015'den değiştirilerek uyarlanmıştır)

11.2.2 Güneş enerjisinden hidrojen üretimi

26

► Güneş enerjisi ile hidrojen üretiminde dört yöntem kullanılmaktadır (Şekil 11.9, Dincer ve Josi, 2013):

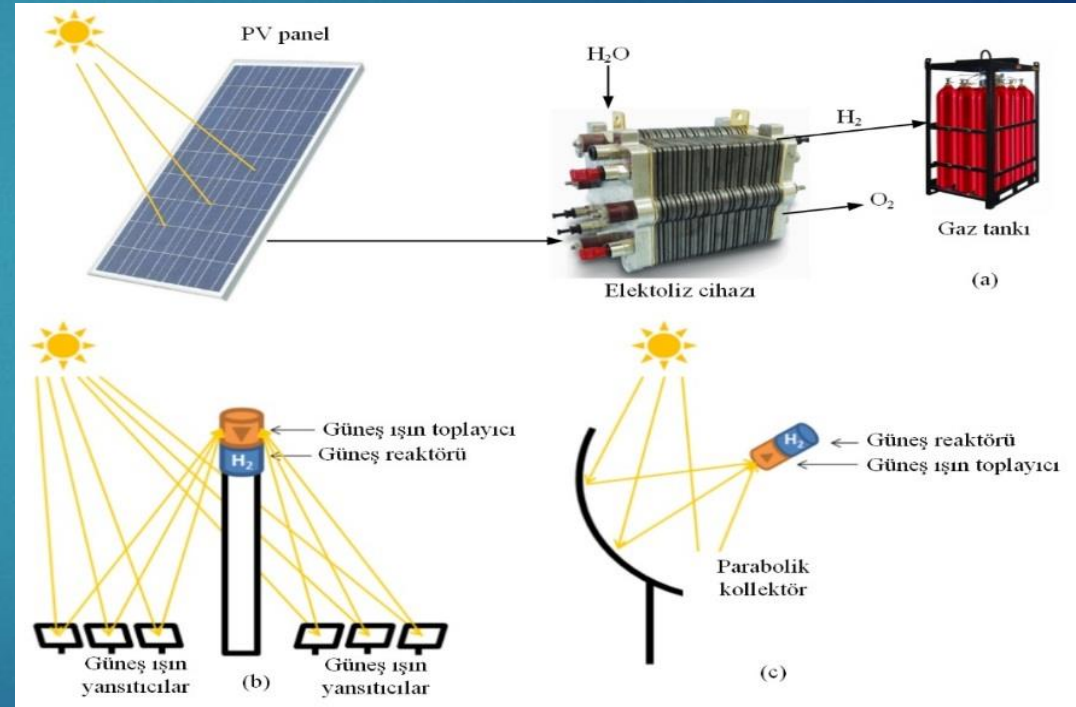
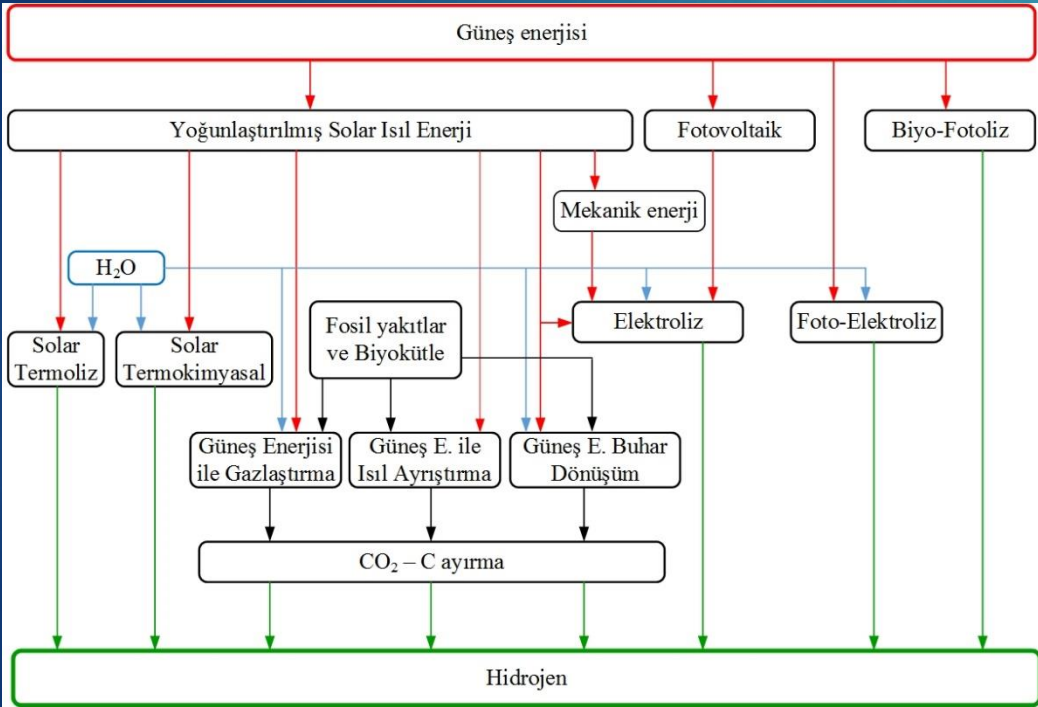
► Fotovoltaik,

► Isıl enerji,

► Foto-elektroliz,

► Biyo-fotoliz.

► Güneş enerjisi ısı ya da elektrik enerjisi üretecek şekilde toplanabilir ve dönüştürülebilir. Bu amaçla fotovoltaik paneller, merkezi solar güç sistemleri, düz ve parabolik güneş kolektörleri, heliostatlar kullanılmaktadır. Fotovoltaik güneş paneli ile suyun elektrolizi yapılarak hidrojen üretilmektedir (Şekil 11.10 a). Hidrojen üretiminde kullanılan termoliz, termokimyasal çevrimler, gazlaştırma, buhar reforming ve ısıl ayrıştırma prosesleri ile hidrojen üretilmesinde yüksek sıcaklık üretmek için enerji kaynağı olarak solar güç sistemleri kullanılmaktadır (Şekil 11.10 b, c).

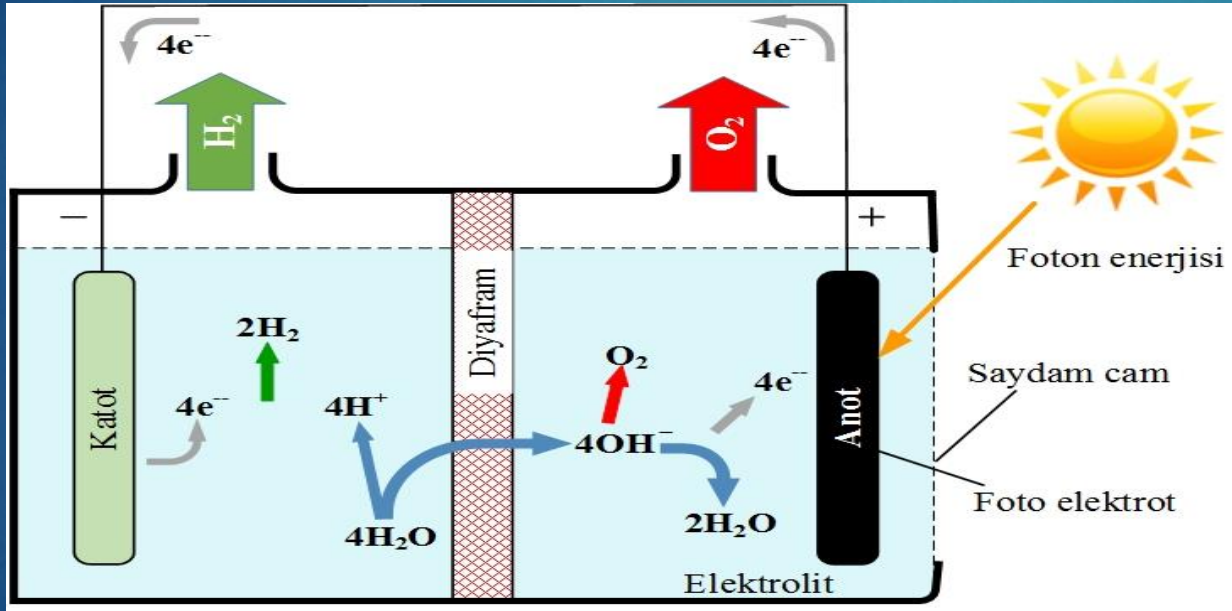


Şekil 11.9 Güneş enerjisinden hidrojen üretim yöntemleri (Dincer ve Josi, 2013)

Şekil 11.10 (a) PV panel ve elektroliz ile solar hidrojen üretimi, (b) Heliostat-solar reaktör hidrojen üretimi, (c) parabolik kollektör-solar reaktör hidrojen üretimi (<http://energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-thermochemical-water-splitting>)

► Foto-elektroliz (Photoelectrolysis)

- Fotoelektroliz ile güneş ışınımı kullanılarak sudaki hidrojen foto elektrokimyasal (PEC) işlemle ayrıştırılmaktadır. Foto-elektroliz uygulamasında Şekil 11.11 'de gösterildiği gibi elektrolit içine daldırılan yarı iletken foto-elektrot (anot) kullanılır. Foto-elektrot birbirinden bağımsız fotovoltmik, katalitik ve koruma katmanlarından oluşmuştur. Bu elektrot üzerindeki fotovoltmik katman ışığı soğurabilen yarıiletken malzeme değildir. Fotovoltmik katman suyun elektrolizi için gerekli olan elektrik enerjisinin üretilmesini sağlar. Hidrojen üretilirken elektronlar elektrolit içine serbest bırakılır.

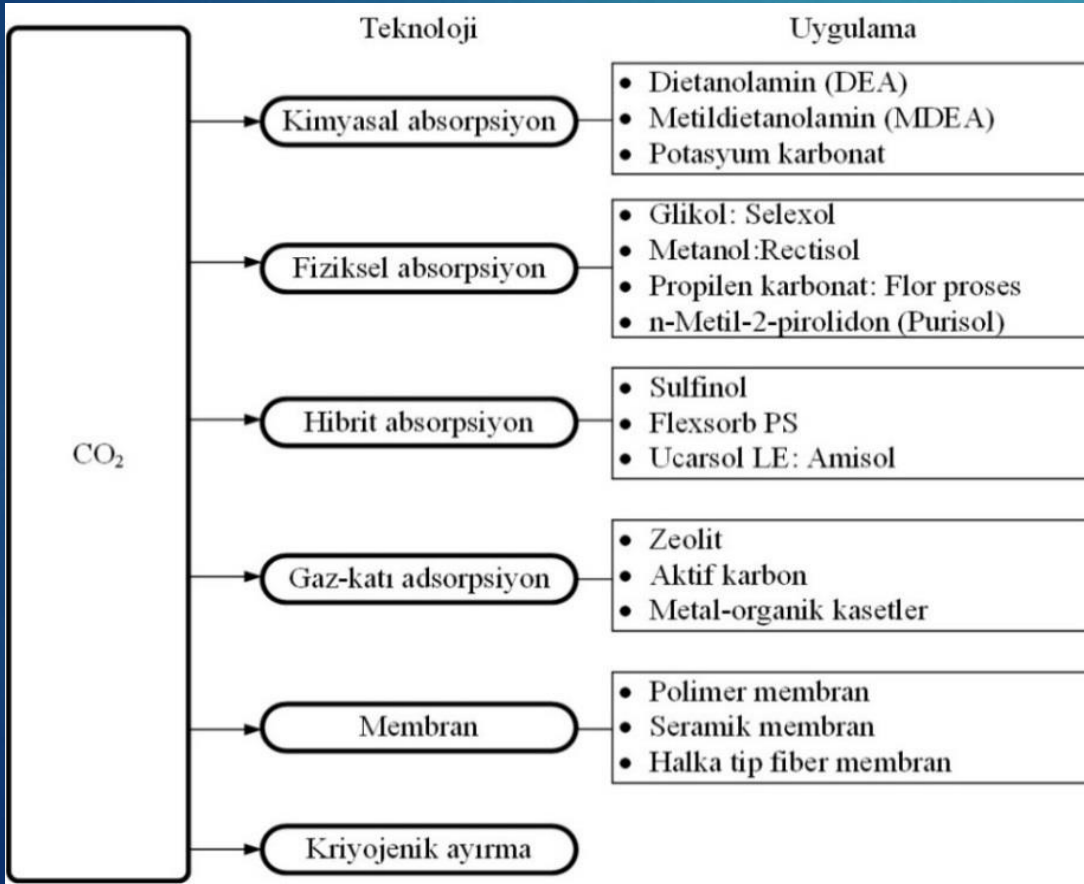


Şekil 11.11 Foto elektroliz ile hidrojen üretimi (Smolinka, 2015'den foto elektroliz için değiştirilerek uyarlanmıştır.)

11.2.3 Karbondioksit tutma teknolojileri

28

- Yeşil hidrojen üretim sürecinde atmosfere bırakılan karbondioksitin tutulması kimyasal, fiziksel ve hibrit absorpsiyon, gaz-katı adsorpsiyon, membranlar ve kriyojenik ayırma teknolojileri kullanılarak sağlanmaktadır. Şekil 11.12'de CO₂ tutma teknolojileri ve geliştirilen uygulamalar özet olarak verilmiştir (Muradov, 2015).



Şekil 11.12 CO₂ tutma teknolojileri (Muradov, 2015).

11.3 Hidrojenin Arıtılması

29

- ▶ Hidrojen üretim sürecinde elde edilen gaz karışımları arasından hidrojeni ayırmak için farklı arıtma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu amaçla hidrojen için aşağıda sıralanan prosesler uygulanabilir (Godula-Jopek vd, 2012):
- ▶ Basınç salınımlı emilim (PSA: pressure swing adsorption),
- ▶ Gaz süzme (gas permeation),
- ▶ Adsorpsiyon
- ▶ Absorpsiyon
- ▶ Distilasyon
- ▶ Kısmi yoğuşma
- ▶ Katalitik oksidasyon (oksijenin uzaklaştırılması için)
- ▶

- ▶ Hidrojenin ucuz ve kolay depolanması hidrojen ekonomisinin geleceğini belirleyecek olan en önemli teknolojik problemdir. Temel problem hidrojenin düşük yoğunlukta olmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, bir benzin deposundaki yakıta eşdeğer enerji depolamak için benzin deposu hacminin 3000 katından fazla olması gerekecektir (Pant ve Gupta, 2009). Normal çevre koşullarında 1 kg hidrojen 11 m³ hacim kaplamaktadır. Hidrojenin gazını depolamak için büyük olan tank hacmi azaltılmalıdır (Godula-Jopek vd, 2012).
- ▶
- ▶ Taşıtlarda yakıt tanklarının güvenli olması ön koşul olarak standartlarda tanımlanmaktadır. Otomobillerde, traktör, kamyon, tren gibi taşıtlarda güvenlik, maliyet, depolama kapasitesi depolama hacmi ve kütle konularını kapsayan çok detaylı çalışmalar yapılmaktadır. Bunların arasında güvenlik öne çıkan konuların başında yer almaktadır. Hidrojen gaz yada sıvı olarak yerüstünde veya yeraltında depolanabilir. Hidrojen normal koşullar altında metal hidrürler, kimyasal hidrürler, karbon malzemeler ya da özel çözeltiler içerisinde depolanabilir.
- ▶ Gaz olarak depolanmasında yüksek basınçlı silindirler kullanılmaktadır. Bu silindirlerin 350-700 bar basınca dayanıklı olarak imal edilmesi istenmektedir (Ghosh ve Prelas, 2011). Hidrojeni sıvı olarak depolanmak için kriyojenik sıcaklığa (-253°C) kadar soğutulması gerekir. Sıvı hidrojen normal kaynama noktasında (-253°C) 70.9 kg/m³ yoğunluğa sahip olduğu için basınçlı gazdan daha fazla enerji yoğunluğuna sahiptir (Ghosh ve Prelas, 2011). Farklı hidrojen depolama formları için enerji yoğunlukları Çizelge 11.6'da verilmiştir (Sørensen, 2012). Çizelge 11.7'de sıkıştırılmış ve sıvı H₂ karakteristikleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Depolama formu	Enerji yoğunluğu		Yoğunluk (kg/m ³)
	MJ/kg	MJ/m ³	
Hidrojen gazı (0.1 MPa)	120	10	0.09
Hidrojen gazı (20 MPa)	120	1900	15.9
Hidrojen gazı (30 MPa)	120	2700	22.5
Hidrojen sıvı	120	8700	71.9
Metal hidritlerde depolanan hidrojen	2.1	11450	5480
Doğal gaz (0.1 MPa)	56	37.4	0.668
Metanol	21	17000	0.79
Etanol	28	22000	0.79

Çizelge 11.7 Sıkıştırılmış ve sıvı H₂ karakteristikleri (*)

Depolama Şekli	Depolama enerjisi (kJ/kg)	Harcanan enerji / Depolanan enerji	Gravimetrik enerji içeriği (MJ/kg)	Hacimsel enerji içeriği (MJ/m ³)
Sıkıştırılmış H ₂ (350 bar)	12264	0.1	8.04	2492
Sıkıştırılmış H ₂ (700 bar)	14883	0.12	7.2	3599
Sıvı H ₂	42600	0.36	16.81	3999

*U.S. DOE Hydrogen and Fuel Cells Program, http://www.hydrogen.energy.gov/annual_progress11.html

- ▶ Hidrojen sıvı formunda ya da yüksek basınç tanklarında ve ısıtılınca hidrojen salınımı yapan bileşiklerde depolanabilir. Bu yöntemlerin uygulanması için enerji gereklidir. Farklı depolama sistemleri aşağıda sıralanmıştır (Pant ve Gupta, 2009; Ghosh ve Prelas, 2011):
- ▶ Hidrojenin gaz olarak depolanması
 - ▶ Yüksek basınçlı silindir
 - ▶ Metal tank
 - ▶ Cam fiberle sarılmış metal tank
 - ▶ Metal gömlekli kompozit
 - ▶ Polimer gömlekli karbon kompozit
 - ▶ Cam mikro-küreler
- ▶ Hidrojenin sıvı olarak depolanması
 - ▶ Kriyojenik sıvı hidrojen
 - ▶ NaBH_4 çözeltileri
 - ▶ Şarj edilebilir organik sıvılar

Karbon ve geniş yüzeyli malzemeler

- Aktive edilmiş odun kömürü
- Karbon nanotüpler
- Grafit nanofiberler
- MOF (Metal organik çatki), Zeolit, vd
- Kafes yapılı hidratlar

Hidrürler

- Kapsüllü NaH
- LiH ve MgH_2 bulamacı
- CaH_2 , LiAlH_4 vd.

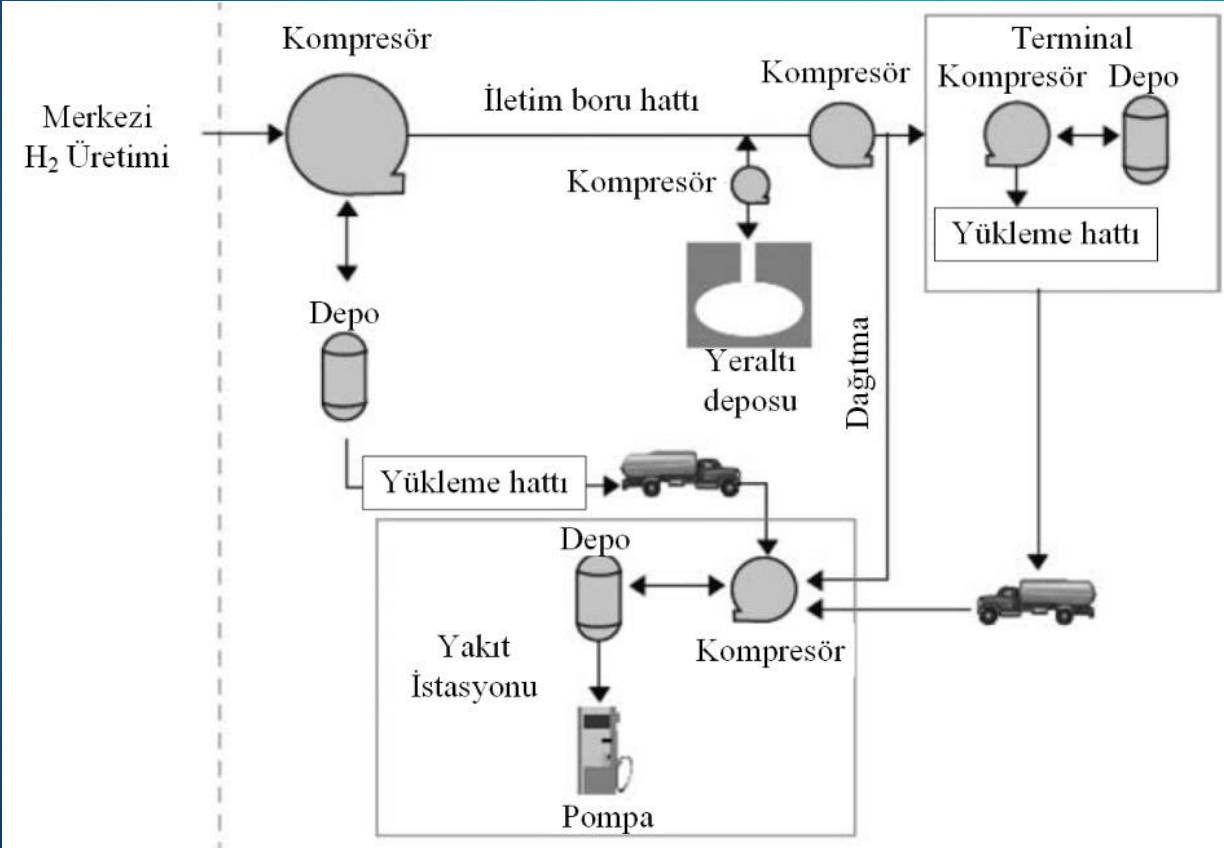
Kimyasal depolama

- Amonyak
- Silikon nitrit
- Amonyak + metal hidrür
- Borhidrür (Sodyum bor-hidrür)
- Amonyak-boran

11.5 Hidrojenin İletimi ve Dağıtımı

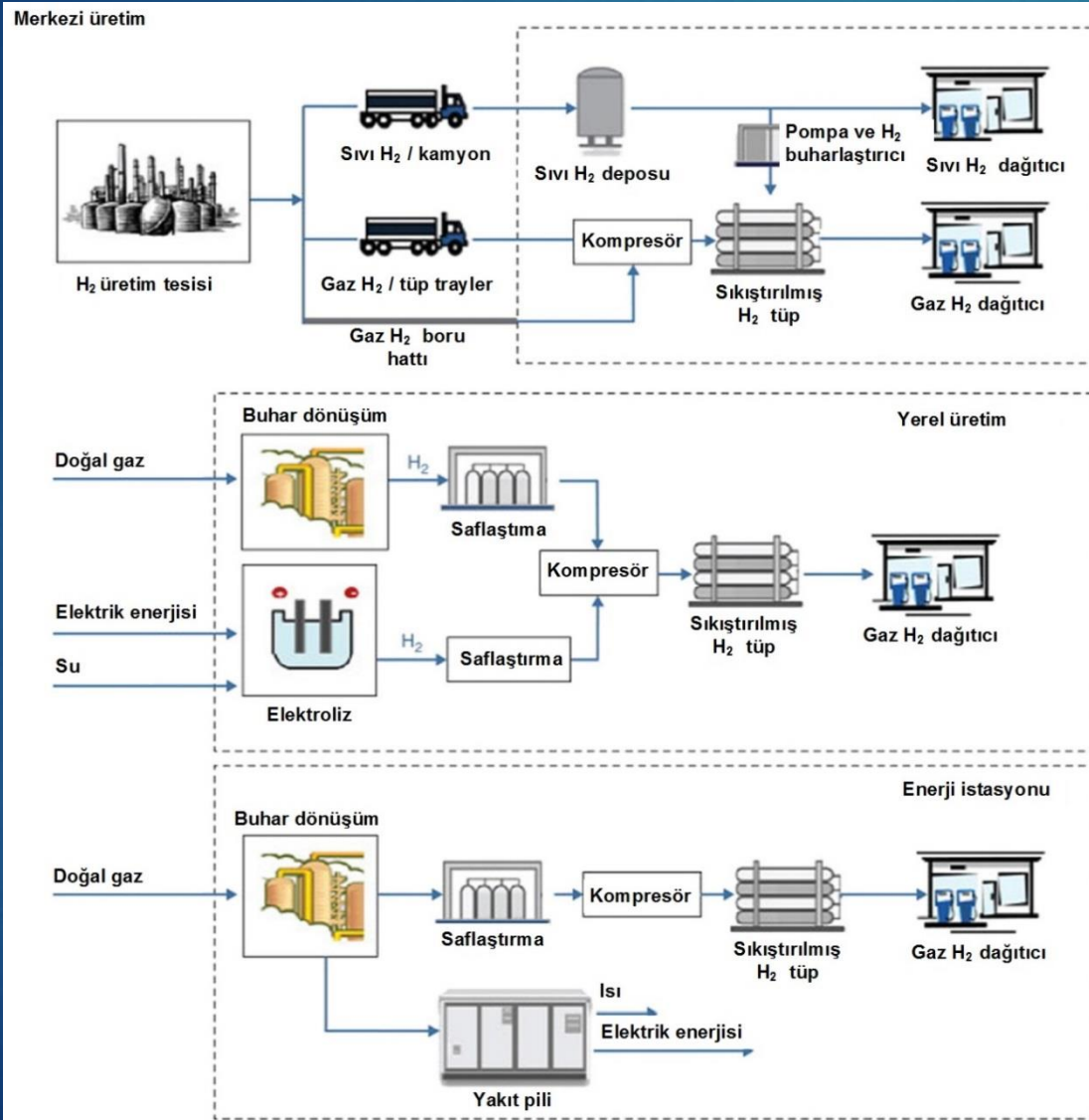
33

- ▶ Hidrojen üretildiği yerden dağıtım bölgesine taşınmalıdır (Şekil 11.13). Hidrojenin boru hatlarıyla, kara-demir-deniz yolu taşımacılığı ile iletiminde ve dağıtımında ana parametre hidrojen yakıtın hacimsel enerji yoğunluğudur. Hidrojenle çalışan otomobil, otobüs ve kamyonlar için ikmal istasyonlarının yaygınlaştırılmasında uygun alt yapının kurulması gereklidir.
- ▶
- ▶ Hidrojenle ilişkili güvenlik konuları hidrojen teknolojilerinin kurulmasında kritik öneme sahiptir. Hidrojenin küçük molekül boyutu nedeniyle, tank sızdırma riskinin azaltılması gereklidir. Hidrojenin depolandığı, taşındığı tüm ortamlarda, patlama riski açısından, hidrojen sızıntısının tespiti için sensörler ve alarm sistemlerinin kullanılması önemlidir.



Şekil 11.13 Hidrojen iletim ve dağıtım hattı, yakıt istasyonu (Godula-Jopek vd, 2012)

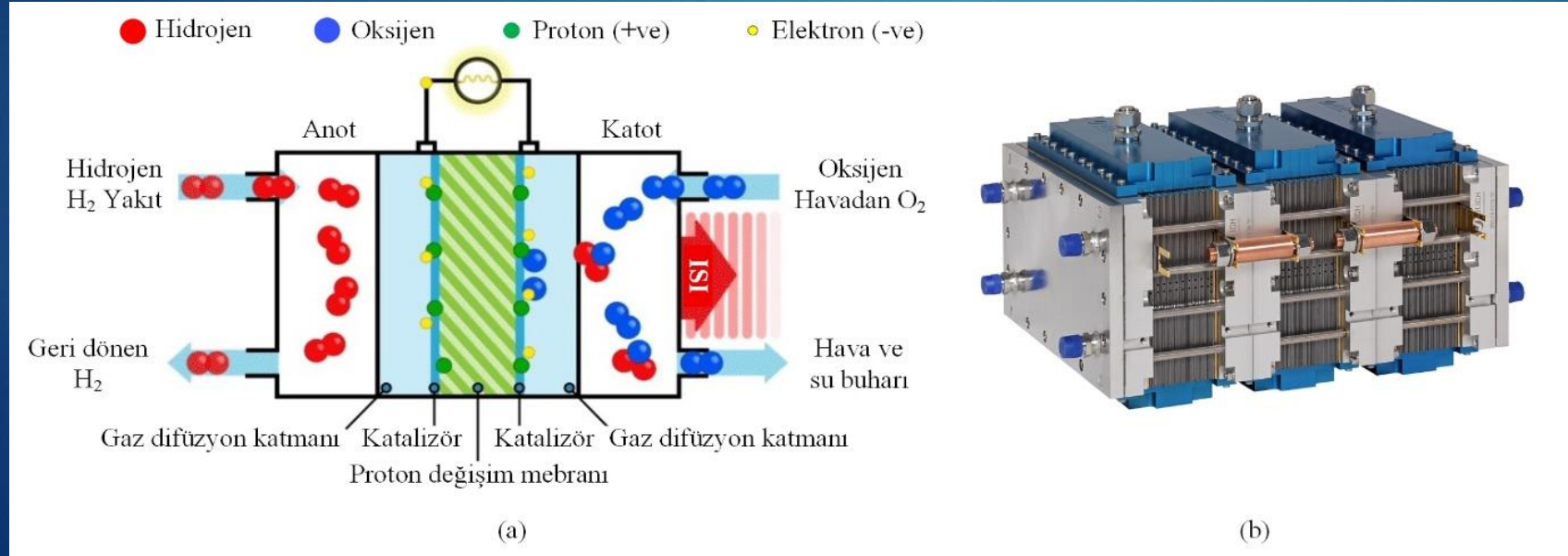
- Merkezi ve yerel hidrojen üretim tesislerinden son kullanıcıya kadar hidrojenin ulaştırılması için Şekil 11.14'de gösterildiği gibi farklı iletim ve dağıtım şemaları kullanılmaktadır.



Şekil 11.14 Merkezi ve yerel hidrojen üretim sistemleri için iletim ve dağıtım şemaları (Conte, 2009)

11.6 Yakıt Pilleri (Fuel Cells)

- ▶ Yakıt pili elektroliz işleminin ters tepkimesi olarak çalışmaktadır. Hidrojen ve oksijenin elektrokimyasal tepkimesi sonucu kimyasal enerjiyi doğru akım elektrik enerjisine dönüştüren üretece yakıt pili adı verilmektedir. Şekil 11.15 (a)'da yakıt pili çalışma ilkesi, (b)'de yakıt pili paketi gösterilmiştir. Yakıt pili iki elektrot (anot-katot), elektrolit ve katalizörlerden oluşur. Yakıt pilinin anoduna yakıt olarak hidrojen, katoduna oksitleyici olarak hava gönderilir. Hidrojen molekülü anot üzerindeki kanalcıklardan geçerken elektron ayrılır ve molekül iyon yapıya dönüşür. Elektrolit içinden elektronlar geçemez, sadece hidrojen iyonunun geçişi gerçekleşir. Elektronlar dış elektriksel devreden katoda iletilir. Katoda gelen oksijen, elektroliti geçerek gelen hidrojen iyonu ve dış devreden gelen elektron ile tepkimeye girerek çevrim tamamlanır. Hidrojen ve oksijenin elektrokimyasal reaksiyonu sonucunda elektrotlar arasında potansiyel farkı oluşur. Açığa su buharı ve ısı enerjisi çıkar. Yakıt pillerinde kullanılan katalizör (Pt yada Pt alaşımları) tepkime hızını artırmak için kullanılır.



Şekil 11.15 (a) Yakıt pili (PEMFC) çalışma ilkesinin şematik gösterimi, (b) Yakıt pili paketi (Dayıoğlu, 2015)

- ▶
- ▶ Yakıt pilleri kullanılan elektrolite ve çalışma sıcaklığına göre farklılık göstermektedir. Uygulamada en yaygın kullanılan yakıt pili tipleri aşağıda sıralanmıştır (Spiegel, 2007):
- ▶
- ▶ Polimer elektrolit membran yakıt pili (PEMFC)
- ▶ Alkali yakıt pili (AFC)
- ▶ Fosforik asit yakıt pili (PAFC)
- ▶ Katı oksit yakıt pili (SOFC)
- ▶ Ergimiş karbonat yakıt pilleri (MCFC)
- ▶ Direkt metanol yakıt pili (DMFC)
- ▶ inko hava yakıt pili (ZAFC)
- ▶ Proton seramik yakıt pili (PCFC)

- Yakıt pilleri küçük ve orta ölçekte taşıma ve güç üretimi uygulamaları için geniş kullanım alanına sahip teknoloji haline ulaşmıştır. Uygulamada yaygın olarak kullanılan yakıt pili tipleri ve teknik özellikleri Çizelge 11.8'de verilmiştir (Spiegel, 2007).

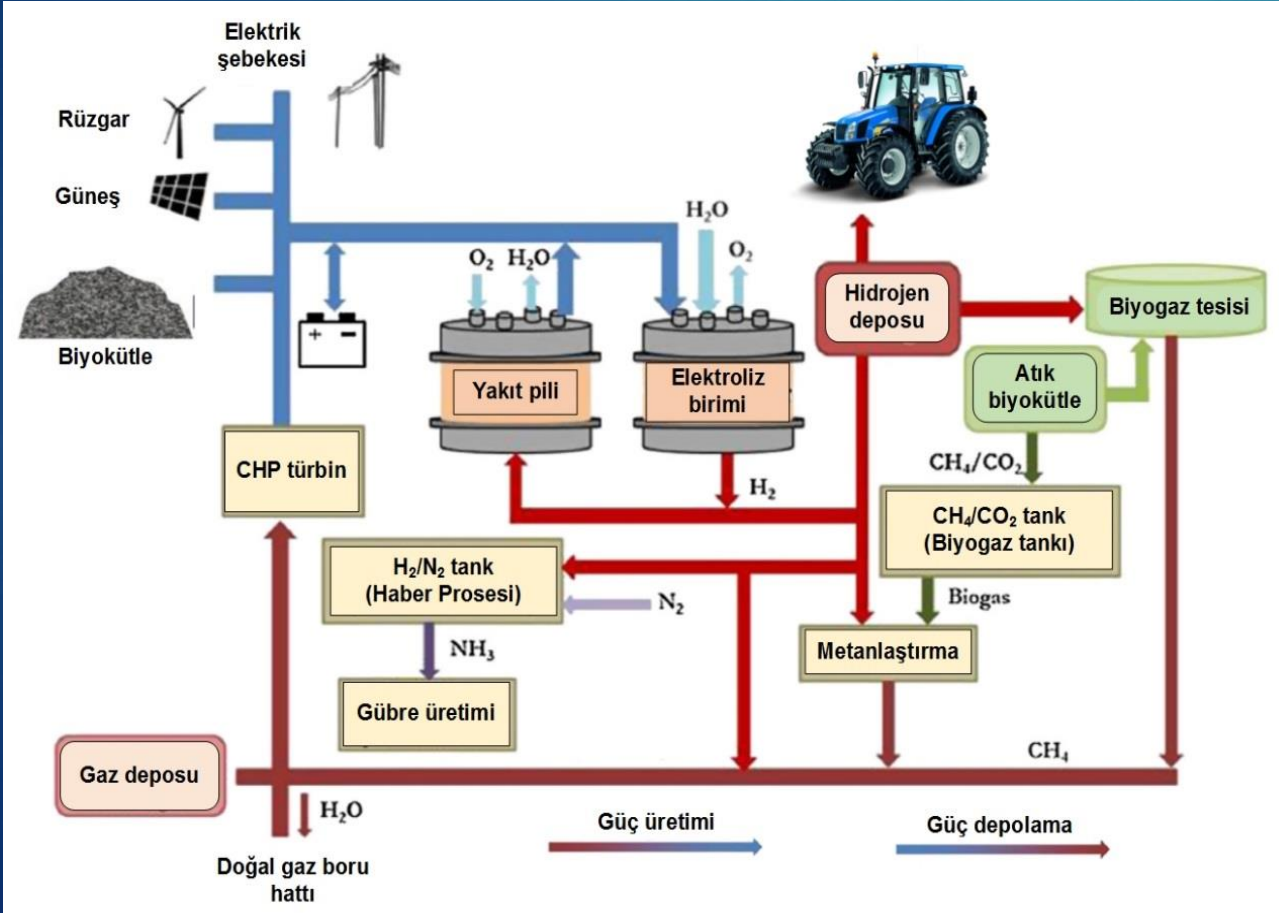
Çizelge 11.8 Yakıt pili tipleri ve teknik özellikleri (Spiegel, 2007)

	Yakıt pili teknolojisi							
	PEMFC	AFC	PAFC	SOFC	MCFC	DMFC	ZAFC	PCFC
Yakıt	H ₂	H ₂	H ₂	CO, H ₂	H ₂ /CO/ reformate	CH ₃ OH+H ₂ O	Çinko oksit	CO, H ₂
Oksitleyici	O ₂ , hava	O ₂ , hava	O ₂ , hava	O ₂ , hava	CO ₂ , O ₂ , hava	O ₂ , hava	O ₂ , hava	O ₂ , hava
Elektrolit	Nafion	KOH	Fosforik asit	YSZ	Li/NA/K Karbonat	Nafion	KOH	BCY10 seramik
İyon	H ⁺	OH ⁻	H ⁺	O ²⁻	CO ₃ ²⁻	H ⁺	OH ⁻	O ²⁻
Anot katalizör	Pt	Pt yada Ni	Pt	Ni/YSZ	Ni	Pt/Ru	Zn	Pt, Ni kaplama
Çalışma sıcaklığı	20 -100°C	20 -250°C	150 -220°C	600 -1000°C	620-660°C	20 -100°C	700°C	500 -700°C
Çalışma basıncı	1-3 atm	1-4 atm	3-10 atm	1 atm	1-10 atm	1-3 atm	1atm	1 atm

11.7 Hidrojen Enerji Sistemleri

38

- Yenilenebilir enerjiler arasındaki güneş ve rüzgar günün zamanına ve mevsimlere göre kesiklidir. Enerji üretimi ve talebi arasındaki dengeyi sağlamak için konvansiyonel (kömür, doğal gaz) ve diğer yenilenebilir enerjiler (biyokütle, biyogaz) kullanılarak hibrit hidrojen üretimi yapılabilir. Bu amaçla, suyun elektrolizi sonucu hidrojen üretimi ve depolanması, yakıt pili ile elektrik üretimi, gübre üretimi, ısı-güç sistemlerinin birleştirildiği tesisin şematik gösterimi Şekil 11.16'da verilmiştir.



Şekil 11.16 Suyun elektrolizi ve yakıt pili teknolojilerinin kullanıldığı güç üretimi ve depolama tesisi şematik gösterimi (Mittelstadt vd, 2015'den değiştirilerek uyarlanmıştır.)

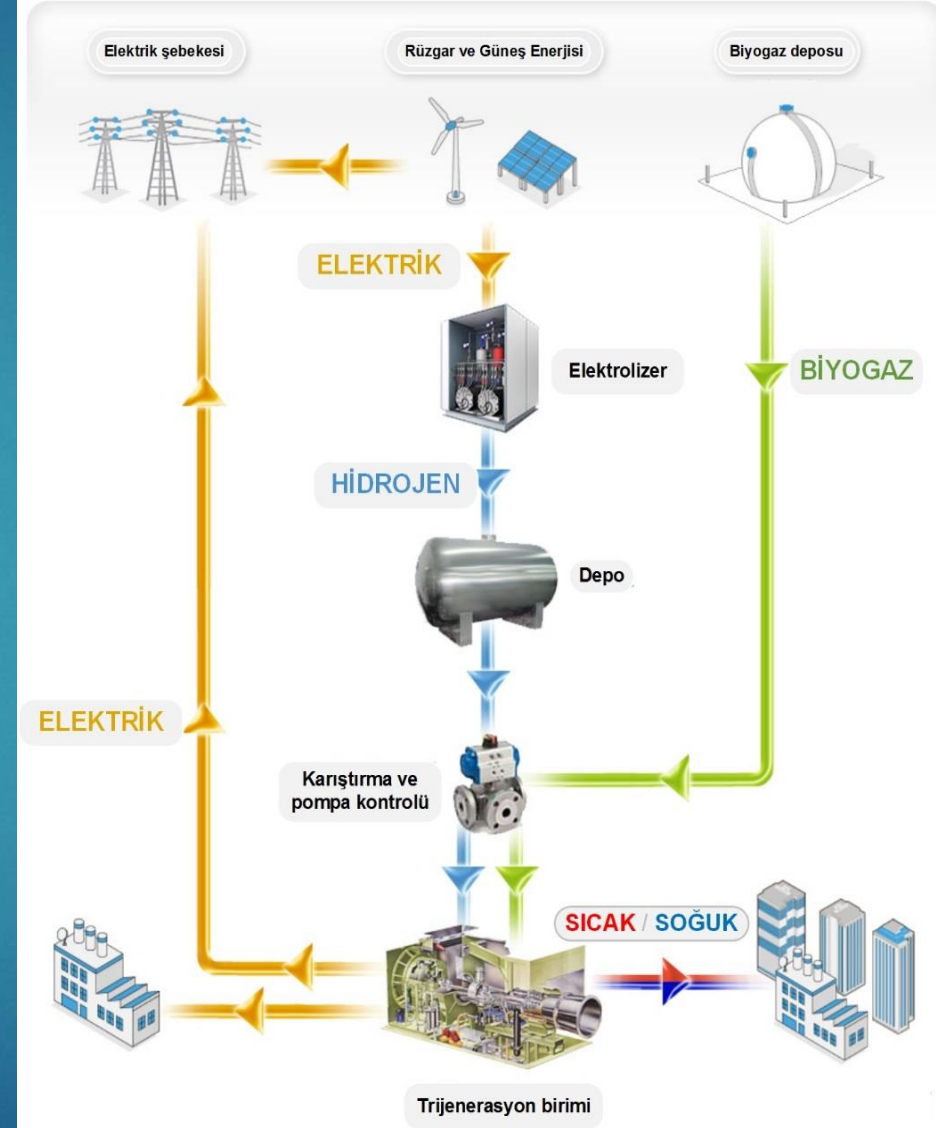
- ▶ Hidrojen enerji sistemlerinin proseslere göre verimleri Çizelge 11.9'da verilmiştir.
- ▶
- ▶ **Çizelge 11.9** Hidrojen üretim seçenekleri ve proses verimleri (Hughes ve Agnolucci, 2012)
- ▶

Proses	Girdi	Verim (%)
Elektroliz	Su, Elektrik	65-75
Biyo-elektroliz	Biyolojik madde, atık	60-80
Buhar dönüşüm (SR)	Metan	50-75
Gazlaştırma	Kömür	75
Gazlaştırma	Biyokütle	50-64

11.8 Trijenerasyon (Elektrik – Isı – Hidrojen)

40

- Trijenerasyon (trigeneration) ile elektrik, ısı ve soğutma üçlü proste üretilebilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı olarak, sürdürülebilir ölçekte, trijenerasyon teknolojisi elektrik-ısı-hidrojen üretimi için de kullanılabilir (Şekil 11.17).



Sekil 11.17 Yenilenebilir enerjilerden trijenerasyon (elektrik – ısı – hidrojen)
(<http://www.ciac-it.com/~avtciac/index.php/en/recherche-developpement/station-hybride-energie-renouvelable>)

- ▶ New Holland firması hidrojenle çalışan NH2 tarım traktörünü iki farklı model (T6000: 75 kW ve T6140: 100 kW) olarak geliştirmiştir (Şekil 11.18).



Şekil 11.18 Hidrojen traktörü (NH2)

(http://agriculture.newholland.com/PublishingImages/cnhimg/we/Hydrogen/NH2_90014_INB.pdf)

KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M.**, 2003a. Biyokütle Enerjisinin Global Potansiyeli, Biyoenerji Politikaları, Avrupa Birliği ve Türkiye. IEGE Enerji Sempozyumu ve Sergisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Denizli.
- Acaroğlu, M.**, 2003b. Alternatif Enerji Kaynakları. Atlas Yayın Dağıtım, ISBN: 975-6574-25-9, İstanbul.
- Acaroğlu, M.** 2003b. Alternatif Enerji Kaynakları. Nobel Basımevi, Ankara.
- Acaroğlu, M., Oğuz, H., Ünalı, M.**, 2004. Türkiye için Alternatif Bir Yakıt, Biyoetanol, Yakıt Olarak Kullanımı ve Emisyon Değerleri. Biyoenerji Sempozyumu, İzmir.
- Adıgüzel, A.O.**, 2011. Lignoselülozik Biyokütleden Biyoetanol Üretimi. Yüksek Lisans Semineri. Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Adıyaman, Ç.**, 2012. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Politikaları, Yüksek Lisans Tezi. Niğde Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Niğde.
- Aguilar, F.J., Gonzalez, A., Revilla J., De Leonj, Porcel O.**, 1997. Agricultural Use of Municipal Solid Waste on Tree and Bush Crops. Agric. Eng. Res.,67:73-79.
- Ağaçbiçer, G.**, 2010. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Ekonomisine Katkısı ve Yapılan SWOT Analizler, Yüksek Lisans Tezi. ÇOMÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çanakkale.
- Akbin, H. M.**, 2012. Kanola Yağından Hidrotalsite Tutuklanmış Lipaz İle Biyodizel Üretimi, Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Akdoğan, M.**, 2006. Enerji Kaynakları ve Doğu Karadeniz'in Hidroelektrik Potansiyel Dengesi Etüdü, Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Akgün, A.**, 2006. Mikrodenetleyici Tabanlı Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretim Sisteminin Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Akkoyunlu, A.**, 2006. Türkiye'de Enerji Kaynakları ve Çevreye Etkileri, Türkiye'de Enerji ve Kalkınma Sempozyumu, İstanbul, 26 Nisan 2006.
- Akmeşe, D.**, 2006. Güneş Panelinden Beslenen Bir DA Motorun Çalıştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Akova, İ.**, 2008. Yenilenebilir Enerji Kaynakları", Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Akpınar, E.**, 2005. Nehir Tipi Santrallerin Türkiye'nin Hidroelektrik Üretimindeki Yeri, Erzincan Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt: 7, Sayı:2, Erzincan.
- Aksay, C.S., Ketenoğlu, O. ve L. Kurt**, 2005. Küresel Isınma ve İklim Değişikliği. Selçuk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Dergisi, Sayı 25, s.29 -41, Konya.

Aksoy,L., 2010. Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel ve Üretim Prosesleri. Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (2) 45-52.

Alkan, S., 2013. Bir Açık Deniz Rüzgar Türbini İçin Yüzer Platform Sistemi Tasarımı ve Demirleme Sisteminin Hidrodinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi. Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın.

Altınır, M., 2011. Uluslararası Karbon Piyasaları ve Türkiye Karşılaştırması, Yüksek Lisans Tezi. İ.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Altıntop, N. ve D. Erdemir, 2012. "Investigating the Development of Solar Energy Systems Market in Turkey," International 100 % Renewable Energy Conference and Exhibition - IRENEC 2012, İstanbul.

Altıntop, N. Ve D. Erdemir, 2013. Dünyada ve Türkiye'de Güneş Enerjisi ile İlgili Gelişmeler. Mühendis ve Makina, cilt 54, sayı 639, s. 69-77.

Alvarez M., Mace J., Llabres P., 2000. Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. Bioresource Technology, 74, 1, 3-16.

Anonim, 2002. Sürdürülebilir Kalkınma ve Nükleer Enerji Raporu-Ekim 2002, TAEK Yayınları, s.27.

Anonim, 2004. Çevresel Etki Değerlendirmesi ve Planlama Genel Müdürlüğü, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Türkiye Çevre Atlası s.216-217.
http://www2.cedgm.gov.tr/dosya/cevreatlasi/atlasin_metni.pdf,

Anonim, 2006a. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları Türkiye Çevre Vakfı, Ankara.

Anonim, 2006b. Konya Seker Fabrikası Haber Bülteni, Konya Şeker Toprağın Tadı, 3 (7): 14-18.

Anonim, 2007. Hidrolik ve Yenilenebilir Enerji Çalışma Grubu, Hidrolik Enerji Alt Çalışma Grubu Raporu, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara.

Anonim, 2008. Nükleer Enerjinin Alternatif Kullanım Alanları. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, TAEK Halkı Bilinçlendirme Broşürleri.
<http://www.taek.gov.tr/belgeler-formlar/func-directinfo/261/>

Anonim, 2009a. Kömür Sektör Raporu 2009. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, , s.3
http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Sektor_Raporu_TKI

Anonim, 2009b. Dünyada ve Türkiye'de Güneş Enerjisi. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi DEK-TMK YAYIN NO: 0011/2009.

Anonim, 2009c. Biyokütle Enerji- Pellet Üretimi Isparta İli Proje Tasarısı. Orman Genel Müdürlüğü. www.ogm.gov.tr

Anonim, 2010a. IEA, Enerji İstatistikleri El Kitabı 2010, s.73.

http://www.iea.org/stats/docs/statistics_manual_turkish.pdf

Anonim, 2010b. Linyit Sektör Raporu 2010. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.

http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Sektor_Raporu_TKI_2010.pdf

Anonim, 2011a. TPAO Ham Petrol ve Doğalgaz Sektör Raporu. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, s.17. http://www.tpao.gov.tr/tpfiles/userfiles/files/sectorraporu_2010.pdf

Anonim, 2011b. Çevre ve Temiz Enerji: Hidroelektrik Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

Anonim, 2011c. Yenilenebilir Enerji Raporu. T.C. Doğu Marmara Kalkınma Ajansı, Kocaeli.

Anonim, 2011d. Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Çalışmaları Raporu “Yeşil Enerjiye Geçiş”, TEVEM, 2010.

Anonim, 2011e. DSİ Genel Müdürlüğü 2010 Yılı Faaliyet Raporu. http://www.dsi.gov.tr/docs/stratejik-plan/2010_faaliyet_raporu.pdf

Anonim, 2012a. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Önemi. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.

<http://www.solar-academy.com/menus/Yenilenebilir-Enerji-Teknolojileri-Kaynaklari-Onemi.164622.pdf>

Anonim, 2012b. Konya’da Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Malzeme Üretilbilirlik Araştırması 2. Güneş Enerjisi Yeryüzü Enerji Sistemleri Ltd. Şti., Konya.

Anonim, 2012c. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Enerji Raporu 2011.

Anonim, 2012d. Konya’da Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Malzeme Üretilbilirlik Araştırması 5. Jeotermal Enerji Yeryüzü Enerji Sistemleri Ltd. Şti., Konya.

Anonim, 2012e. Konya’da Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Malzeme Üretilbilirlik Araştırması 4. Biokütle Enerjisi Yeryüzü Enerji Sistemleri Ltd. Şti., Konya.

Anonim, 2013a. World Energy Outlook 2013, Türkiye Tanıtımı TUSİAD-T/2013/12/544, İstanbul.

Anonim, 2013b. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Görünümü. Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Dunyada_ve_Turkiyede_Enerji_Gorunumu.pdf

Anonim, 2014a. Türkiye’nin Enerji Görünümü ve Geleceği. ESIAD, İzmir. <http://esiad.org.tr/wp-content/uploads/2014/02/O%C4%9Fuz-T%C3%BCrky%C4%B1lmaz-T%C3%BCrkiyenin-Enerji-G%C3%B6r%C3%BCn%C3%BCm%C3%BC-ve-Gelece%C4%9Fi.pdf>

Anonim, 2014b. Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu. Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, Ankara.

Anonim, 2014c. 2013 Yılı Elektrik Üretim Sektör Raporu. EÜAŞ.

http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fSekt%c3%b6r+Raporu%2fEUAS-Sektor_Raporu2013.pdf

Anonymous, 2007. The European Anaerobic Digestion Network, Information/AD basics/Benefits/ Local Economic Development, <http://www.adnett.org/>

Anonymous, 2010. Biyogaz Üretimi ve Kullanımı El Kitabı. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe – FNR, Gülzow.

Anonymous, 2012. Key World Energy Statics 2011 IEA.

http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2011/key_world_energy_stats.pdf

Anonymous, 2013, Annual report and form 20-F 2012. BP.

http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/investors/BP_Annual_Report_and_Form_20F_2012.pdf

Anonymous, 2014a. BP statistical review of world energy, BP.

http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statisticalreview/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf

Anonymous, 2014b. REN21 Renewables 2014 Global Status Report http://www.ren21.net/portals/0/documents/resources/gsr/2014/gsr2014_full%20report_low%20res.pdf

Arıkan, Y., 2007. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü, Bölgesel Çevre Merkezi, REC Türkiye, Nisan 2006, Ankara.

Arnott, M., 1985, The Biogas/Biofertilizer Business Handbook, Peace Corps, Information Collection and Exchange, Reprint R-48.

Ataman, A. R., 2007. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Kamu Yönetimi ve Siyaset Anabilim Dalı, Ankara.

Atçı, M. E., 2012. Türkiye’nin Enerji Yatırımlarının Planlanması Sürecinin Bulanık AHP Yöntemi İle Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Azbar, N., 2013. Kentsel Katı Atıkların Biyoenerji ve Gübre Üretimi İle Çevre Dostu Kullanım Seçenekleri. TMMOB 2. İzmir Kent Sempozyumu 28-30 Kasım 2013, İzmir.

Balat, M., 2007. Status of Fossil Energy Resources: A Global Perspective, Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 2:1, 31-47.

Balat, M. 2008. Possible Methods for Hydrogen Production, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 31:39–50

Ball, M., Wietsche, M., 2009. The Hydrogen Economy: Opportunities and Challenges, Cambridge University Press

Barbour, B. G., 1999. Terrestrial Plant Ecology. A.W. Longman, NewYork.

Barreca, A., 2016. Türkiye Cumhuriyeti Ulusal Sera Gazı Envanter Sisteminin Güçlendirilmesi ve İyileştirilmesi: Yasal, Teknik ve Kurumsal (LTI) Analiz: Türkiye UES: Mevcut Durum, Boşluklar ve İhtiyaçlar, Güçlükler ve Fırsatlar, 21 Ocak 2016, Ankara.

<http://www.task-ghg.com/tr/wp-content/uploads/sites/2/2016/02/LTI-Analysis-part2-TR.pdf>

Başaran, K., 2013. Bulanık Mantık Kontrollü Otonom ve Şebeke Bağlantılı Rüzgâr-Güneş Hibrid Güç Sisteminin Optimizasyonu ve Adnan Menderes Üniversitesi Kampüs Alanında Uygulanması, Doktora Tezi. E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Başçetinçelik, A., Öztürk, H.H., Karaca, C., Kaçira, M., Ekinci, K., Kaya, D., Baban, A., 2005, Interim Report Of Exploitation Of Agricultural Residues in Turkey. Life 03 Tcy/ Tr /000061.

Bektaş, A., 2013. Binalarda Rüzgar Enerjisi Kullanımının Farklı Bölgeler Açısından Değerlendirilmesine Yönelik Bir Çalışma: TOKİ Tarımköy Projesi Örneği, Yüksek Lisans Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Boyacı, B., 2007. Dolaşım Akışkan Yatakta Düşük Sıcaklıklarda Orman Ürünlerinden Oluşan Gaz Ürünlerin deneysel İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Boyd, R., 2000. Internalising Environmental Benefits of Anaerobic Digestion of Pig Slurry in Norfolk, University of East Anglia, www.green-trust.org/PigSlurryADProject.pdf

Buğutekin, A. 2007. Atıklardan Biyogaz Üretiminin İncelenmesi. Doktora Tezi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul.

Bulut, B., 2006. Tarıma Dayalı Alternatif Yakıt Kaynaklarından Biyoetanol ve Türkiye İçin En Uygun Biyoetanol Maddesi Seçimi, Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Can, S., 2011. Alternatif Enerji Kaynaklarının Yönetilmesi: Çanakkale İli Örneği, Yüksek Lisans Tezi. ÇOMÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çanakkale.

Chandrasekhar, K., Lee, Y., Lee, D. 2015. Biohydrogen Production: Strategies to Improve Process Efficiency through Microbial Routes, Int. J. Mol. Sci. 2015, 16, p: 8266-8293

Charlier, R. H. and C. W. Finkl, 2009. Ocean Energy, Tide and Tidal Power, Springer Science and Business Media LLC. Publications, Germany.

Chen, Y., Inbar, Y. 1993. Chemical and spectroscopial analyses of organic matter transformations during composting in relation to compost maturity. P 551-600. In: Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects. Eds. H.A.J. Hoitink and H.M. Keener. Columbus, OH: Renaissance Publications.

Clément, A., Mc Cullen, P., Falcão, A., Fiorentino, A., Gardner, F., Hammarlund, K., Lemonis, G., Lewis, T., Neilsen, K., Petroncini, S., Pontes, M.T., Schild, P., Sjöström, B.O., Sorensen, H.C., Thorpe, T., 2002. Wave energy in Europe: Current status and perspectives, Renewable and Sustainable Energy Reviews.

Cormos, C.C., 2009. Assessment of hydrogen and electricity co-production schemes based on gasification process with carbon capture on storage, International Journal of Hydrogen Energy, 34:6065-6077p.

Coşkun, 2011. Türkiye'deki Jeotermal Kaynaklar İçin Güç Santrallerinin Termodinamik Analizi ve Optimizasyonu Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.

Çalışkan, E., 2011. Fotovoltaik Sistemler İçin DSP Temelli Güneş Çeviricisi Tasarımı ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Çelik, B., 2011. Pellet Üretim Tesisinin Fizibilitesi: Bartın Örneği, Yüksek Lisans Tezi. Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın.

Çelik, L., 2009. Çevre Finansmanı Kapsamında Emisyon Ticareti ve Karbon Piyasasının Türkiye'ye Yansımaları SAÜ, Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.

Çelik, S. N., 2012. Türkiye'nin Enerjide Dışa Bağımlılığının Azaltılmasında Enerji Kaynaklarının Önemi, Yüksek Lisans Tezi. Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.

Çetin A., 2014. Ülkemizin Jeotermal Enerji Kapasitesi ve Yapılabilecekler, GÖNDER.

www.gonder.org.tr/wp.../06/JEOTERMAL-ENERJİ-Ayşegül-Çetin.pdf

Çiçek, M. E., 2012. Sürdürülebilir Kalkınma Çerçevesinde Türkiye'nin Enerji Politikaları ve Nükleer Gerekliklik, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

Çokan, M., 2010. Dalga Elektrik Santralleri.

www.dektmk.org.tr/pdf/enerji_kongresi_11/112.pdf

Çolak, Ş.Ç., 2010. Fotovoltaik Paneller Yardımı ile Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretiminin Maliyet Analizi ve Gelecekteki Projeksiyonu", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Dağıstan, H., 2006. Yenilenebilir Enerji ve Jeotermal Kaynaklarımız, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye 10. Enerji Kongresi.

Dalkır, Ö. Ve E. Şeşen, 2011. Çevre ve Temiz Enerji: Hidroelektrik, Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, MRK Matbaacılık ve Tanıtım Hizmetleri Ltd. Şti., Ankara.

Dayıoğlu, M. A., 2013. Biyokütleden Sürdürülebilir Biyoyakıt Üretimi: Biyorafineri Yaklaşımı, Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 9 (4), 313-320.

Dayıoğlu, M. A., 2015. Alternatif Enerji Sistemlerinin Tasarımı, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans - Doktora Ders Notları.

Demirbaş, A., 2001. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuel and chemicals, Energy Conversion and Management, Turkey, 1357-1378.

Demirbaş, A., 2008. Importance of biomass energy sources for Turkey, Energy Policy, 36, 834-842.

Dincer, I., Acar, C. 2015. Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability, *International Journal of Hydrogen Energy*, 40, (34): 11094–11111

Dincer, I., Joshi, A. S., 2013. Solar Based Hydrogen Production Systems, page: 1:141, Springer.

Dincer, I. 2012. Green methods for hydrogen production, *International Journal of Hydrogen Energy*, 37 (2): 1954–1971.

Dolun, L., 2002. Türkiye’de Elektrik Enerjisi Üretimi ve Kullanılan Kaynaklar, Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş. Yayınları, 2002: 50, Ankara.

Elibüyük, U. Ve İ. Üçgül, 2014. Rüzgâr Türbinleri, Çeşitleri Ve Rüzgâr Enerjisi Depolama Yöntemleri Süleyman Demirel Üniversitesi YEKARUM e-DERGI (Journal of YEKARUM) Yıl 2014/Cilt 2/Sayı 3.

Erdal, L., 2011. Enerji Arz Güvenliğini Etkileyen Faktörler Ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Alternatifi, Doktora Tezi. Adnan Menderes Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aydın.

Erdoğan, D. ve A. Onurbaş, 1994. Küçük Güçlü Bir Dizel Motorunun Yakıt Olarak Kullanılan Bazı Bitkisel Yağlarla Ölçülen Performans Değerleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yıllığı Cilt: 44, Fasikül No: 1-2, s.7-16,

Eriksson, S. ve M. Prior, 1990. The briquetting of agricultural wastes for fuel. FAO Environment and Energy Paper 11, FAO of the UN, Rome-Italy.

Ersoy, Y., 2007. İzmir Evsel Çöpünden Biyometan Şeklinde Enerji Geri Kazanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi. E.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Ertas, M., 2014. Biyoetanol Üretimi İçin Tarımsal Atıkların Enzimatik Hidroliz Yöntemi İle Şekerlere Dönüştürülmesi.
http://depo.btu.edu.tr/dosyalar/sanayi/Dosyalar/MURAT_ERTAS.pdf

Ertürk, H., 1996. Çevre Bilimlerine Giriş, Ceylan Matbaacılık, Bursa.

Eryaşar, A., 2007. Kırsal kesime Yönelik Bir Biyogaz Sisteminin Tasarımı, Kurulumu, Testi ve Performansına Etki Eden Parametrelerin Araştırılması. Doktora Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, İzmir.

- Eskicioğlu, A. V.**, 2013. Bitkisel Atıklardan Kompost Gbre Üretim Sisteminin Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Etemođlu, A.B, Can, M., Kılıç, M.**, 2004. Ülkemiz jeotermal kaynaklarının ikinci kanun verim değerlerine bağlı sınıflandırılması. Uludağ Üniveritesi Mühendislik-Mimarlık Fakóltesi Dergisi, 9 (1), 93-101.
- Gavrilyuk, A.** 2013. Hydrogen Energy for Beginners, page: 316, CRC Press
- Ghosh, T. K., Prelas, M. A.** 2011. Energy Resources and Systems Volume 2: Renewable Resources, Chapter 8: Hydrogen energy, page: 495-629, Springer
- Godula-Jopek, A., Jehle, W., Wellnitz, J.**, 2012. Hydrogen Storage Technologies: New Materials, Transport, and Infrastructure, 254 page, Wiley
- Gomez, E., Rani, D.A., Cheeseman, C.R., Deegan, D., Wise, M. and Boccaccini, A.R.**, 2009. Thermal plasma technology for the treatment of wastes: A critical review, Journal of Hazardous Materials, 161:614–626p.
- Goncaloğlu, B. İ., Ertürk, F. ve A. Ekdal**, 2000. Termik Santrallerle Nükleer Santrallerin Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Açısından Karşılaştırılması, Ekoloji Çevre Dergisi, Sayı 34 I Ocak-Şubat-Mart 2000, s.27.
- Gökdemir, M., Kömürcü, M.İ. ve T. U. Evcimen**, 2012. Türkiye’de Hidroelektrik Enerji ve HES Uygulamalarına Genel Bakış. Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Yayını, c.471: 22, Ankara.
http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/d8c5e9986a1c41b_ek.pdf?dergi=260
- Gökkuş, G.**, 2014. Rüzgar Enerjisi Üretim Sistemlerinde İzleme ve Hata Kontrol Sistemleri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Gönen, S. Ö.**, 2010. Kömür-Biyokütle Karışımlarının Briketlenmesi, Yüksek Lisans Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Görmez, K.**, 2003. Çevre Sorunları ve Türkiye, 3.Baskı, Gazi Kitabevi.
- Graw, K. U.**, 1995. Wellenenergie-Ein hydromechanische Analyse, Institut für Grundbau, Abfall-und Wasserwesen, Berginsche Universität-Gesamthochschule wuppertal, ISSN0179-9444, 332p.
- Grozdev, M.**, 2010. Alternatif Enerji Kaynakları: Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Güçlü, S.**, 2009. Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüs Çevre Aydınlatma Elektrik Enerjisinin; Güneş Enerjisi ile Sağlanması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Gülay, A. N.**, 2008. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye'nin Geleceği ve Avrupa Birliği İle Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, izmir
- Güler, Y.**, 2003. Dünya Stratejik Enerji Kaynakları, Enerji Stratejileri ve Türkiye, İstanbul.
- Gürbüz, A.**, 2003. Avrupa Birliği'nde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı ve Ülkemizdeki Durum, AB'nin Enerji Politikası ve Türkiye'ye Yansımaları Çalıştayı-3. Ulusal Politika Araştırmaları Vakfı, Ankara.
- Hatunoğlu, E.E.**, 2010. Biyoyakıt Politikalarının Tarım Sektörüne Etkileri. DPT. Uzmanlık Tezleri İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Md. Ankara.
- He, L, Yang, J., Chen, D.**, 2013. Chapter 6: Hydrogen from Biomass: Advances in Thermochemical Processes, Page: 112-133, Renewable Hydrogen Technologies: Production, Purification, Storage, Application and Safety, by edited Luis M Gandia, Gurutze Arzamedi, Pedro M Dieguez, Elsevier
- Henderson, R.**, 2005. Design, simulation, and testing of a novel hydraulic power take-off system for the Pelamis Wave energy converter, Renewable Energy 31/2, pp 271-283.
- Holladay, J.D., Hu, J., King, D.L., Wang, Y.** 2009. An overview of hydrogen production Technologies, Catalysis Today 139, 244–260
- Huang, H. and Tang, L.**, 2007. Treatment of organic waste using thermal plasma pyrolysis technology, Energy Conversion and Management, 48:1331–1337p.
- Hughes, N, Agnolucci, P.** 2012. 4.03 - Hydrogen Economics and Policy Pages 45–75, In: Ali Sayigh, Editor-in-Chief, Comprehensive Renewable Energy, Oxford, Elsevier
- Hüseyinoğlu, A.**, 2006. Sürdürülebilir Kalkınma İçin Nükleer Enerjinin Önemi, Tasam Yayınları, İstanbul.
- Idriss, H., Scott, M., Subramani, V.** 2015. Introduction to hydrogen and its properties, page: 3-19, Compendium of Hydrogen Energy Volume 1: Hydrogen Production and Purification Edited by Velu Subramani, Angelo Basile and T. Nejat Veziroglu, Woodhead Publishing Series in Energy: Number 83
- İnan, F.İ.**, 2012. Hayvansal Atıkların ve Arıtma Çamurlarının Stabilizasyonunda Kullanılan Kompostlama Ve Anaerobik Çürütme Proseslerinin Verimliliklerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- İşbir, E.G.**, 1986. Şehirleşme ve Meseleleri, Birinci Baskı, Ankara, Ocak Yayınları.

- İşler, A.**, 2012. Aspir Yağı Etil Esteri ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, Doktora Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kadioğlu, S. ve Z. Telliöğlu**, 1996. Enerji Kaynaklarının Kullanımı ve Çevreye Etkileri, I. Enerji Sempozyumu, 12-14 Kasım 1996, Ankara.
- Kalamaras, C. M., Efstathiou, A. M.** 2013. Hydrogen Production Technologies: Current State and Future Developments, Article ID 690627, p: 1-9, Conference Papers in Energy, Hindawi Publishing.
- Kalınca, Y.**, 2011. Biyokütle esaslı hidrojen üretim sistemlerinin eksergoekonomik analizi ve yaşam döngüsü değerlendirilmesi, Doktora Tezi. E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kaliyan, N., Morey, R.V.**, 2009. Factors affecting strength and durability of densified biomass products, Biomass and Bioenergy (33) 337-359.
- Kaltschmitt, M., Streicher, W. ve A. Wiese**, 2007. Renewable Energy: Technology, Economics and Environment, New York: Springer Berlin Heidelberg.
- Karaca, C.**, 2009. Çukurova Bölgesindeki Tarıma Dayalı Sanayi Atıklarının Enerjiye Dönüşüm Olanaklarının İncelenmesi. Doktora Tezi. Ç. U. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Karagöz, P.**, 2013. Lignoselülozik Atıkların Ko-fermantasyonla Biyoetanole Dönüştürülmesi: Ön Artım ve Fermantasyon Proseslerinin İncelenmesi ve İyileştirilmesi, Doktora Tezi. GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Karakaya, E. Ve M. Özçağ**, 2012. Sürdürülebilir Kalkınma ve İklim Değişikliği: Uygulanabilecek İktisadi Araçların Analizi, s.2.
<http://www.econturk.org/Turkiyeekonomisi/manas.pdf>
- Karaosmanoğlu, F.**, 2004. Enerjinin Önemi, Sınıflandırılması ile Kaynak İhtiyaç Dengesi ve Gelecekteki Enerji Kaynakları. Dünya ve Türkiye'deki Enerji ve Su Kaynaklarının, Ulusal ve Uluslararası Güvenliğe Etkileri Sempozyum Bildirileri, Harp Akademileri Yayınları, s.14-15.
- Karaosmanoğlu, F.**, 2006. Biyoyakıt Teknolojisi ve İTÜ Araştırmaları, ENKÜS 2006- İTÜ Enerji Çalıştayı ve Sergisi, 22-23 Haziran, İstanbul.
- Karayılmazlar, S., Saraçoğlu, N., Çabuk, Y., ve R. Kurt**, 2011. Biyokütlelenin Türkiye'de Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, Cilt: 13, Sayı: 19, 63-75.
- Kaya, T.**, 2011., Türkiye'de Su Gücü ve Küçük Hidroelektrik Santraller, Nevşehir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, c.1: 208.
- Keleş, R. Ve C. Hamamcı**, 2005. Çevre Politikası, 5.Baskı, İmge Kitabevi Yayınları, Ankara.
- Keleş, R.**, 2008. Kentleşme Politikası, 10.Baskı, İmge Kitabevi, Ankara.

- Keskin, M. H. ve K. M. Güleren, 2013. Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti'ndeki Rüzgar Enerjisi Üretiminin Güncel Bir Analizi, Mühendis ve Makina, Cilt: 54, Sayı: 639, s. 57-68.
- Kılıç, F.Ç. ve Kılıç, M.K.**, 2013. Jeotermal Enerji ve Türkiye. Mühendis ve Makina, cilt 54, sayı 639, s. 45-56.
- Kocaman, F. Ö.**, 2009. Türkiye'de Sivil Toplum Kuruluşlarının Küresel Isınmaya Bakışı ve Faaliyetleri, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyoloji Anabilim Dalı, Ankara.
- Koç, E., Şenel, M. C.**, 2013. Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme, Mühendis ve Makina, cilt 54, sayı 639, s. 32-44.
- Koçtürk, D. ve A. Onurbaş Avcıoğlu, A.**, 2012. Benzin Motorlarında Biyoetanol Kullanımının Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi Cilt: 4 Sayı: 2 Sayfa: 065-074, Ankara
- Korkmaz, S.**, 2010. Kristal silisyum güneş pili ve CIS tipi ince film güneş pili organik boya esaslı ince film güneş pili performanslarının atmosfer koşullarında incelenmesi ve verimlerinin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Kurian, V. J. ve Ganapathy C.**, 2010. Monopile Foundations for Offshore Wind Turbines.
- Kürklü, A. ve S. Bilgin**, 2005. Biyokütle Briketleme Makinaları ve Uygulamaları: Literatür Taraması. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı: 252-256, 19-21 Ekim 2005, Mersin.
- Laçiner, S. ve G. Kılıç**, 2010. AB-Türkiye İlişkileri ve Avrupa'nın Enerji Güvenliği. Yeni Dönemde Türk Dış Politikası-Uluslararası IV. Türk Dış Politikası Sempozyumu Tebliğleri, Uşak Yayınları, s.14, Ankara.
- Lovelock, L.**, 2011. Nuclear Power is the Only Green Solution.
<http://www.ecolo.org/media/articles/articles.in.english/love-indep-24-05-04.html>
- Mançuhan, C.**, 2013. Hava Sızdırmalı Güneş Kolektörleri. Termodinamik Dergisi Sayı 253, s.60-64.
- Martinez-Merino, V., Gil, M.J., Cornejo, A.**, 2013. Chapter 5: Biomass Sources for Hydrogen Production, page: 87-110, Renewable Hydrogen Technologies: Production, Purification, Storage, Application and Safety, by edited Luis M Gandia, Gurutze Arzamedi, Pedro M Dieguez, Elsevier
- Mert, S.**, 2012. Dalga Enerjisi Dönüşüm Sistemi Tasarımı ve Deneysel Çalışması, Yüksek Lisans Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Minutillo, M., Perna, A. and Di Bona, D.**, 2009. Modeling and performance analysis of an integrated plasma gasification combined cycle (IPGCC) power plant, Energy Conversion and Management, 50:2837–2842p.

Mittelsteadt, C., Norman, T., Rich, M., Willey, J., 2015. PEM Electrolyzers and PEM Regenerative Fuel Cells Industrial View, Chapter 11, page: 159-181, Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing, Edited by Patrick T. Moseley, Jürgen Garche, Elsevier

Muhtaroglu, K.T., 2012. Güneş Enerjisini Elektrik Enerjisine Çeviren Çevre Dostu Sistemin Tasarlanması, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Muradov, N. 2015. Low-carbon production of hydrogen from fossil fuels, page: 489-522, Compendium of Hydrogen Energy Volume 1: Hydrogen Production and Purification Edited by Velu Subramani, Angelo Basile and T. Nejat Veziroglu, Woodhead Publishing Series in Energy: Number 83, Elsevier

Mutlu, Ü., 2012. Farklı Biyokütlelerin Pirolyzi ve Ürünlerin Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi. Anadolu Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.

Okbaz, A., 2011. Yenilenebilir Enerji Teknolojilerinde Yeni Bir Yöntem: VİVACE, Bilim ve Teknik Dergisi, Aralık, 2011: 64.

Onurbaş, A., 1993. Tarımda Kullanılan Sabit Patlamalı Motorlarda Çeşitli Gaz Yakıtların Kullanımını Sağlayacak Karıştırıcı Geliştirilmesi. TÜBİTAK Doğa Dergisi Cilt 17, Sayı 3; s. 559-568, Ankara.

Onurbaş, A. ve Eliçin, A.K., 2010. Ankara'nın Hayvansal Atıklardan Biyogaz Potansiyeli ve Uygun Reaktör Büyüklüğünün Belirlenmesi. 26. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, s.356-362 Hatay

Onurbaş Avcioğlu, A., Türker, U., Atasoy, Z. ve D. Koçtürk, 2011. Tarımsal Kökenli Yenilenebilir Enerjiler-Biyoyakıtlar. Nobel Yayınevi ISBN: 978-605-5426-71-2, 519 s, Ankara.

Onurbaş Avcioğlu, A. & Türker, U, 2012. Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 1557-1561.

Onurbaş Avcioğlu, A. 2012. Yenilenebilir Enerjiler. SGK Değişim Dergisi. Haziran 1012, s. 88-91, Ankara.

Onurbaş Avcioğlu, A. 2012. Tarım Makinelerinde Alternatif Yakıtlar-Biyoyakıtlar. Tarım Türk-Tarım Makinaları Eki, Temmuz-Ağustos 2012, Sayı:36, s.28-32, İzmir.

Onurbaş Avcioğlu, A. Çolak, A. ve Türker, U., 2013. Türkiye'nin Tavuk Atıklarından Biyogaz Potansiyeli. NKÜ Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, Cilt: 10, Sayı:1 (2013) s. 21-28.

Onurbaş Avcioğlu, A., 2013. Tarım Makinalarında Biyoyakıtlar. Tarım Gündem Dergisi. Mart-Nisan 2023, sayı:13. İzmir.

Onurbaş Avcioğlu, A., 2015. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Teknolojileri Ders Notları.

- Öcal, M. R.**, 2012. İTÜ Enerji Enstitüsü Yenilenebilir Enerji Üretim Sistemleri İşaret İşleme ve Analiz Düzenegi, Yüksek Lisans Tezi. İTÜ Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Özay, Y., Ateş, H. ve F. Taner**, 2014. Biyokütle Dönüşüm Süreçleri ISEM2014 Adıyaman.
<http://www.isem2014.com/PastConferences/ISEM2014/ISEM2014/papers/A1-ISEM2014ID166.pdf>
- Özcan, M.**, 2013. Türkiye Elektrik Enerjisi Üretim Genişletme Planlamasında Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Etkileri, Doktora Tezi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Özdemir, M. T., Orhan, A. ve M. Cebeci**, 2011. Çok Küçük Hidrolik Potansiyellerin Enerji Üretim Amacı İle Yerel İmkânlarla Değerlendirilmesi, Ulusal Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Bildiri Kitabı-1, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayını, Elazığ.
- Özgener, Ö.**, 2002. Türkiye’de ve Dünyada Rüzgar Enerjisi Kullanımı. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt: 4 Sayı: 3 sh. 159-173, İzmir.
- Özgöçen, A.**, 2007. Güneş Pilleri Kullanılarak Elektrik Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Öztürk, H.H. and Bascetincelik, A.**, 2006, Energy exploitation of agricultural biomass potential in Turkey, Energy Exploration &Exploitation, 24, 313-330.
- Öztürk, H.H.**, 2008a. Güneş Enerjisi ve Uygulamaları. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Öztürk, H. H.**, 2008b. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Kullanımı. Teknik Yayınevi, ISBN 978-975-523-042-9, Ankara.
- Öztürk, H. K., Yılandı, A. ve O. Atalay**, 2007. Past, present and future status of electricity in Turkey and the share of energy sources, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11, 183–209.
- Öztürk, M.**, 2005. Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Palabıyık, H., ve D. Altunbaş**, 2004. Kentsel Katı Atıklar ve Yönetimi, Çevre Sorunlarına Çağdaş Yaklaşımlar: Ekolojik, Ekonomik, Politik ve Yönetimsel Perspektifler, C. Marin, U. Yıldırım (Ed.), 103-124, Beta, İstanbul,
- Pant, K. K., Gupta R. B.**, 2009. Fundamentals and Use of Hydrogen as a Fuel, page: 3-32, Hydrogen Fuel: Production, Transport, and Storage Edited by Ram B. Gupta, CRC Press
- Panwar, N. L., Kaushik, S. C. ve S. Kothari**, 2011. Role of renewable energy sources in environmental protection: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 1513–1524.
- Pittock.A. B.**, 2005. Climate Change Turning Up The Heat, CSIRO Publishing, 2005, Australia.

- Roddier, B. D. ve Weinstein J.**, 2009. Mechanical Engineering Tecnical Magazine Paper.
- Saraçoğlu, N.**, 2005. Yenilenebilir Çevre Dostu Enerji Kaynağı: Enerji Ormancılığı, <http://dergi.emo.org.tr/altindex.php>
- Saraçoğlu, N. ve G. Gündüz** 2009. Wood Pellets—Tomorrow's Fuel for Europe, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 31:19, 1708-1718.
- Sarıkaya, S.** 2010. Güneş Enerjisi Sektör Raporu. Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı, Van.
- Saxena, R.C., Seal, D., Kumar, S. and Goyal, H.B.**, 2008. Thermo-chemical routes for hydrogen rich gas from biomass: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12:1909-1927p.
- Sherif, S.A., Barbir, F., Veziroglu, T. N.** 2014. Hydrogen Economy, p: 1-16, Handbook of Hydrogen Energy Edditted by S.A. Sherif, D. Yogi Goswami Elias K. Stefanakos, Aldo Steinfeld, CRC Press
- Selici, T., Utlu, Z. ve N. İltan**, 2011. Enerji Kullanımının Çevresel Etkileri Ve Sürdürülebilir Gelişme Açısından Değerlendirilmesi. http://www.emo.org.tr/ekler/f096d0e005a8c79_ek.pdf.
- Severoğlu, A.**, 2010. Katı Biyoyakıt Üretimi. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.
- Smolinka, T. Ojong, E. T.,Garche, J.** 2015. Chapter 8: Hydrogen Production from Renewable Energies Electrolyzer Technologies, page: 103-129, Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing edited by Patrick T. Moseley, Jürgen Garche, Elsevier.
- Sørensen, B.** 2012. Hydrogen and fuel cells: emerging technologies and applications hydrogen and fuel cells emerging technologies and applications, 2nd ed. Academic Press, Elsevier.
- Soydan, D.K.**, 2012. Buğday Saplarından Biyoetanol Üretimi: Asit Hidrolizi ve Enzimatik Hidrolizin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi. GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Speight, J. D.**, 2008. The Hydrogen Cycle, page:43-69, Hydrogen as a Future Energy Carrier edited by Andreas Züttel, Andreas Borgschulte, Louis Schlapbach, Wiley.
- Spiegel, C.**, 2007. Designing and building fuel cells, page: 492, Mc Graw-Hill
- Stafford, D.A., Hawkes, D.L., Horton, R.**, 1981, Methane Production from Waste Organic Matter, CRC Press, Inc., ISBN 0-8493-5223-1, Boca Raton, Florida.
- Steffen, R., Szolar, O., Braun, R.**, 1998. Feedstocks for Anaerobic Digestion, AD-NETT.
- Subramani, V., Pradeepkumar, S. Zhang, L., Liu, K.** 2010. Catalytic Steam Reforming Technology for the Production of Hydrogen and Syngas, p: 14-126, Hydrogen and Syngas Production and Purification Technologies Edited by Liu, K., Song, C., Subramani, V., Wiley.

Şahin, M., 2009. İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Ve Türkiye. Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Rio Sözleşmesi Kapsamında Türkiye'nin Kapasitesinin Değerlendirilmesi Projesi, Ankara.

Şen, Z., 2002. Temiz Enerji ve Kaynakları, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.

Taşyürek, M., ve M. Acaroğlu, 2007. Biyoyakıtlarda (Biyomotorinde) Emisyon Azaltımı ve Küresel Isınmaya Etkisi. Uluslararası Küresel İklim Değişikliği ve Çevresel Etkileri Konferansı, Konya.

Tayşı, Ş., 2012. Türkiye'de Elektrik Üretiminde Kullanılacak Yakıt Türlerinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Karar Modeli, Yüksek Lisans Tezi. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tendero, C., Tixier, C., Tristant, P., Desmanson, J. and Leprince, P., 2006, Atmospheric pressure plasmas: a review, Spectrochimica Acta Part B, 61:2-30p.

Toffler, A., 1996. Üçüncü Dalga, Çev. Ali Seden, Altın Kitaplar Basımevi, İstanbul.

Tolay, M., 2011. Katı Atıklardan ve Biyokütleden Enerji Üretimi Teknolojileri ve Entegre Katı Atık Yönetiminde Yatırım Fizibilite Çalışmaları.
<http://www.dektmk.org.tr/upresimler/MTOLAY.pdf>

Topçu, Y. I. ve F. Ulengin, 2004. Energy for the future: An integrated decision aid for the case of Turkey, Energy, 29, 137–154.

Turan A,Z, 2009, Linyit Biokütle Karışımlarının Oksijen Ortamında Yakılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği ABD Yüksek lisans Tezi.

Turkenburg, W., 2013. Renewable Energy Chapter 11. Utrecht University, the Netherlands. http://www.GEA_Chapter11_renewables_lowres

Türe, S., 2001. Biyokütle Enerjisi, Temiz Enerji Vakfı, 28 s, Ankara.

Türkeş, M., 2008. Küresel İklimin Geleceği ve Kyoto Protokolü. Mülkiye Dergisi, Cilt:32, Sayı: 259, s.104.

Twidell, J. and T. Weir, 2005. Renewable Energy Sources, British Library Cataloguing in Publication Data, UK.

Uçar, S., 2007. Rüzgar enerjisiyle Elektrik Üretimi ve Kayseri İli için Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Uğurlu, Ö., 2006. Türkiye’de Çevresel Güvenlik Bağlamında Sürdürülebilir Enerji Politikaları, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sosyal Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara.

Ulaş, Ö., 2010. Güneş Enerjili Isıtma ve Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi. E. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Ulu, F. 2011. Soma Deniz Kömürü ve Ayçiçeği Kabuğu Yarıkokunun Birlikte Briketlenmesi, Yüksek Lisans Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Uslusoy, S., 2012. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanan Enerji Etkin Binaların Yapı Bileşeni Açısından İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Bölümü, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, İzmir.

Uyar, T.S., 2006 Yenilenebilir Enerji, <http://bugday.org/category.php>

Ünal, T. ve N. Kızılaslan, 2014. Türkiye ve Avrupa Birliği’nde Biyoyakıt. Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı, 28-29 Mayıs 2014, Samsun.

Van Loo, S. ve J. Koppejan, 2008. The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing. ISBN: 978-1-84407-249-1. Earthscan, London,UK.

Veziroğlu, T. N., Şahin, S., 2008. 21st Century’s Energy: Hydrogen energy system, Energy Conversion Management 49:1820–1831

Woods, J. ve D. O. Hall, 1994. Bioenergy for development. FAO Environment and Energy Paper 13. Rome.

Yaldız, O. 2005. Biyogaz Teknolojisi. Akdeniz Üniversitesi Yayın No: 78, Akdeniz Üniversitesi Basımevi, Antalya.

Yapar, M., 2014. Türkiye’de İktisat Politikaları Çerçevesinde Rüzgar Enerjisi Politikalarının Etkinliğinin Analizi: Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Yaşar, B., 2009. Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel Üretim ve Kullanım Olanaklarının Türkiye Tarımı ve AB Uyum Süreci Açısından Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara.

Yerebakan, M., 2010. Güneş Kolektörü Uygulamaları”, İstanbul Ticaret Odası, İstanbul.

Yıldız, Ş., Ölmez, E. Ve A. Kiriş, 2009. Kompost Teknolojileri ve İstanbul’daki Uygulamaları. Kompostlaştırma Sistemleri ve Kompostun Kullanım Alanları Çalıştayı 18-19 Haziran 2009, İstanbul.

Yılmazer, E., 2012. Biyokütle Yarıkoku-Kömür Karışımlarının Yanma Davranımlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yokuş İ., Onurbaş Avcıoğlu A., 2012. Sivas İlindeki Hayvansal Atıklardan Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi. 27. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, 5-7 Eylül, s. 488-499, Samsun.

Yong, T.L.K., Lee, K.T., Mohamed, A.R. and Bhatia, S., 2007, Potential of hydrogen from oil palm biomass as a source of renewable energy worldwide, Energy Policy, 35:5692-5701p.

Züttel, A. 2008. Properties of Hydrogen: Hydrogen gas, page: 71-94, Hydrogen as a Future Energy Carrier edited by Andreas Züttel, Andreas Borgschulte, Louis Schlapbach, Wiley.