

Biyokütle Bileşenlerinin Isıl Özelliklerinin Önemi

Meltem Kızılca Çoruh¹

Özet

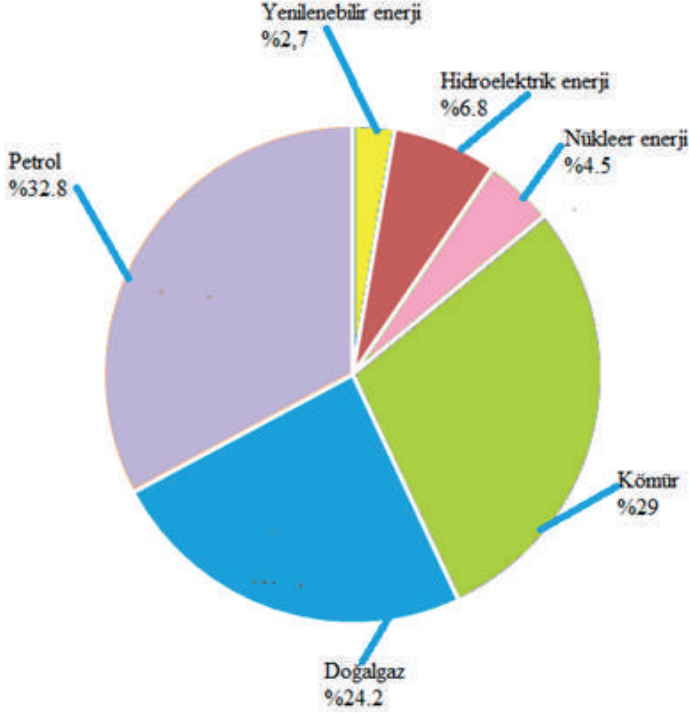
Enerji, dünyada gerekse ülkemizde endüstrinin, üretimin, gelişmenin ve kalkınmanın en temel vazgeçilmez unsurlarından biridir. Enerji gereksinimi sanayileşmeye, teknolojik gelişmelere ve nüfus artışına bağlı olarak artmaktadır. Böylece, geleneksel enerji kaynaklarından fosil yakıtların rezervleri sınırlı ve yakın gelecekte tükenecek olması, çevre kirliliği ve tabiatın tahribi yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının önem kazanmasına yol açmıştır. Böylece çevreyi kirliletmeyen, düşük maliyette yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından olan gelişen ve gelişmekte olan ülkeler için geniş uygulama alanı sunan biokütledir. Biokütle kaynaklarını meydana getiren bileşenler karmaşık ve heterojen bir yapıya sahiptir. Bu bileşenlerin yapılarında ki fiziksel ve kimyasal farklılık, biokütle kaynaklarının yakıtlara dönüşümüyle bu bileşenlerin farklı davranmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle bu bölümde uygun teknolojiler ve yöntemler kullanarak çevreye daha az zararlı, yenilenebilir, güvenli ve sürekli bir enerji kaynağı olan biyokütlenin bileşenlerinin termal özelliklerinin önemine yer verilecektir.

1. GİRİŞ

Dünya nüfusun artması ve gelişen teknolojiyle birlikte, enerji ihtiyacı sürekli artmaya devam etmektedir. Enerji ihtiyacının büyük bir kısmı; petrol, doğal gaz ve kömür gibi yenilenemeyen veya geleneksel fosil enerji kaynaklarından; diğer kısmı ise yenilenebilir enerji kaynaklarından (biyokütle, rüzgâr, güneş, jeotermal, dalga enerjisi, vb.) karşılanmaktadır (Şekil 1). Yakın bir gelecekte tükenen fosil enerji kaynakları rezervleri sınırlıdır (Hayat *et al.*, 2009; Kavaz ve Karagöl, 2017). Ayrıca yapılan araştırmalar kömür rezervlerinin 240, petrolün 40 ve doğal gazın ise 60

1 Dr. Öğr. Üyesi, Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Bölümü, 25240 Erzurum, Türkiye, mkizilca@atauni.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-8734-2502

yıl sonra tükeneceğini göstermektedir. Fosil enerji kaynaklarının büyük miktarlarda tüketilmesi ve yüksek kalitede enerji ihtiyacından kaynaklanan en büyük zarar kullanımları sonucu atmosfere yayılan CO_2 , SO_x ve NO_x emisyonlarının büyük miktarlarına ulaşmasına sebep olmakta, böylece sera etkisi, asit yağmurları ve küresel ısınma gibi önemli çevresel ve iklimsel problemlere sebep olmaktadır (Lee et.al., 2022). Önemli fosil enerji kaynaklarından petrol ve doğal gaz kaynak rezervleri belirli coğrafyalarda zengindir. Fakat dünya genelinde bu enerji kaynaklarının ithalatının sürekli artmasıyla enerji ihraç eden ülkelerin sayısı giderek azalmaktadır. Böylece enerjide fazlaca dışa bağımlılık, hem sanayileşmiş hem de sanayileşmekte olan ülkelere ekonomik ve siyasi yönden etki etmektedir (Berdysheva *et al.*, 2021). Bu olumsuz etkileri azaltmak için son yıllarda bilim adamları tarafından alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunabilirliği ve kullanımına yönelik araştırmalar giderek artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri biyokütle olup, yeri ve önemi gittikçe artmaktadır. Biyokütle enerjisinin en büyük avantajı tükenmeyen ve her yerde yetiştirilen bir kaynak olmasıdır (Saleem, 2022; Simsek and Simsek 2013) Ayrıca biyokütle karbonun doğal döngüsünü bozmayan ve fosil yakıtlara göre çevreye verdiği zararın düşük olması ile çevre sorunlarına temiz çözümler getirmektedir. Özellikle biyokütlenin yanması sonucu açığa çıkan CO_2 ve SO_2 miktarları düşük olduğundan çevreyi etkileri çok azdır. Biyokütlenin yakın gelecekte fosil enerji kaynaklarına tercih edilmesinin nedeni; dünyayı büyük bir kaosa sürüklemesi beklenen küresel ısınmanın olumsuz yönde etkilerine biyokütlenin katkısı çok düşük olacaktır (Calkins, 2009; Zhang *et al.*, 2010). Biyokütle dönüştürme işlemleri fiziksel, termokimyasal ve biyokimyasal olarak üç temel kategoriye ayrılabilir. Fiziksel işlemler öğütme, filtrasyon, kurutma ve ekstraksiyondur. Termokimyasal işlemler ise doğrudan yakma, gazlaştırma, piroliz, karbonizasyon ve sıvılaştırma (Xu *et al.*, 2021).



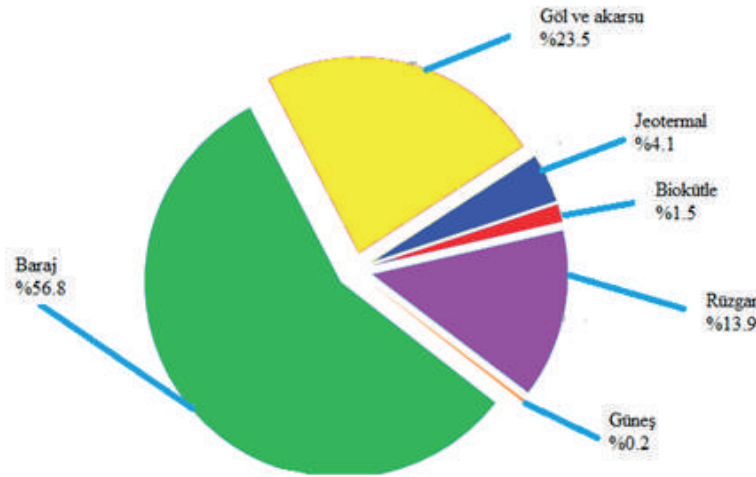
Şekil 1: Dünya enerji kaynaklarının dağılımı

Piroliz termokimyasal yöntemlerden en çok kullanılanıdır. Piroliz, organik maddenin inert atmosfer, vakum, indirgen veya yükseltgen ortamlarda katalizörlü ya da katalizörsüz olarak, termal etki ile ayrıştırma işlemidir. Biyokütle piroliz proseslerinin tasarımı, optimizasyonu ve kontrolü için parametrelerin incelenmesine ek olarak, kinetik mekanizmanın açıklığa kavuşturulması büyük önem taşımaktadır. Piroliz işlemi bir katı hal bozunmasıdır ve bu amaçla kinetik parametreleri Termogravimetri (TG) ve diferansiyel termogravimetri (DTG) gibi termal analiz teknikleri ile belirlenir (Orfao and Martins, 2002; Tonbul and Yurdakoc, 2002). İzotermal veya izotermal olmayan koşullarda yapılabilecek termogravimetrik analiz sayesinde, katıların ayrışması sırasında oluşan ağırlık kaybı verileri kullanılarak, toplam reaksiyon kinetiğini temsil eden bozunma aşamaları için kinetik ve kinetik parametreler veya temel bileşenlerin bozulması ayrı ayrı belirlenebilir (Kızılca and Copur, 2016). Aynı zamanda termal analiz teknikleri spektroskopik metodlar ile birlikte kullanılmasıyla termal bozunma sonucu açığa çıkan gazların da eş zamanlı olarak belirlenmesi mümkündür. Bu bölümde uygun teknolojiler ve yöntemler kullanarak

çevreye daha az zararlı, yenilenebilir, güvenli ve sürekli bir enerji kaynağı olan biyokütlenin bileşenlerinin termal özelliklerinin önemine yer verilecektir.

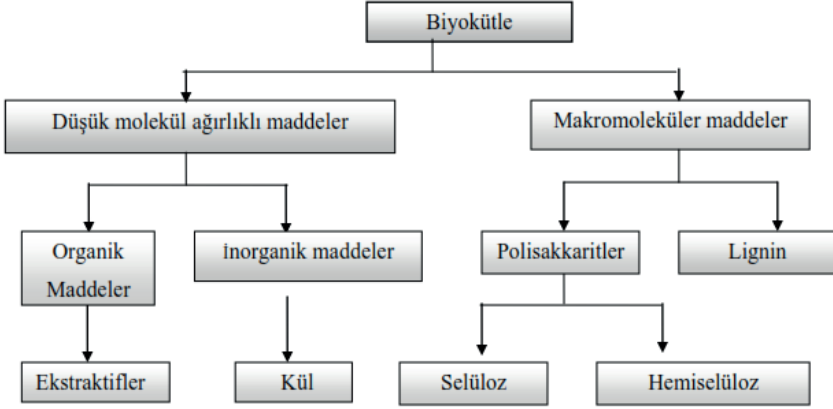
2. BİOKÜTLE

Biyokütle yapısında karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O), azot (N) ve az miktarda da (S) bulunduran hidrokarbon malzeme olarak ifade edilebilir. Aynı zamanda bazı biokütle çeşitleri de kayda değer oranlarda yapısında inorganik türler bulundurmaktadırlar. Alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarından en büyük potansiyele sahip biokütledir. Biokütle dönüşüm teknolojileriyle enerji üretmek için biokütle hammadde ürünleri olarak; orman ürünleri (ağaç atıkları, enerji ormanları vb), yağlı bitki ve tohumlar (ayçiçeği, soya, kolza vb), karbonhidratlı bitkiler (patates, çavdar, buğday, arpa, mısır, şeker pancarı, şeker kamışı vb), elyaf bitkileri (keten, pamuk, kenevir, kenaf, vb), bitkisel atıklar (kabuk, sap, kök, saman, dal vb), hayvansal atıklar (mezbaaha atıkları, dışkı, vb) ile kentsel ve endüstriyel atıklar değerlendirilerek enerji üretilebilmektedir. Biokütle yenilenebilir, çevre dostu, sosyo-ekonomik gelişme sağlayan, her yerde yetiştirilebilen, taşıtlar için yakıt sağlayabilen, elektrik üretilebilen, yerli ve milli bir enerji kaynağıdır. 2015 yılından itibaren Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları Şekil 2’de gösterildiği gibi mevcut enerji kaynaklarının yaklaşık %32’sini oluşturmaktadır.



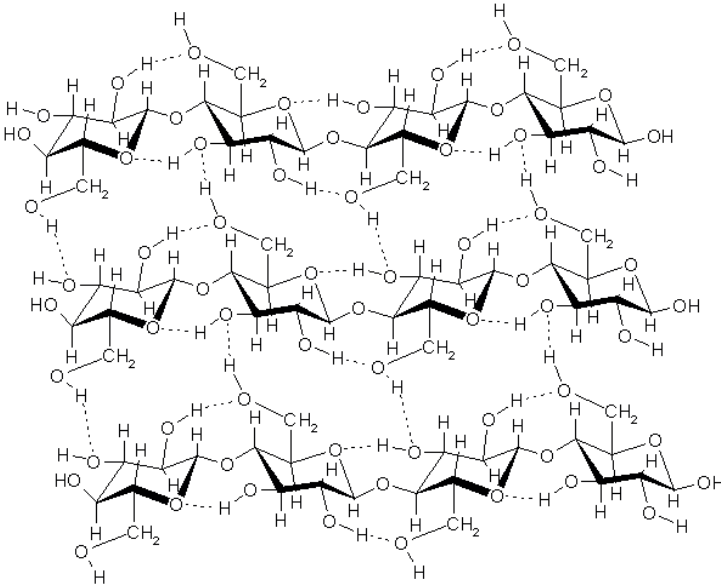
Şekil 2. Türkiye’deki yenilenebilir enerji kaynakları

Biokütlenin temel bileşenleri Şekil 3’te verilmiştir. Biokütlenin en temel üç ögesi selüloz, hemiselüloz ve lignindir (Budak, 2017; Boztepe, 2011).



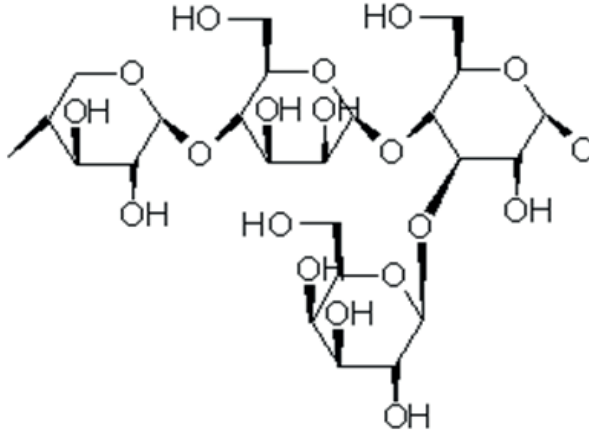
Şekil 3. Biokütle temel bileşenleri

Selüloz ($C_6H_{10}O_5$) bitkilerin hücre yapısında bulunan bitkilerin sert ve kuvvetli olmasını sağlayan bir polisakarittir. Selülozun yapısı tüm odunsu ve otsu bitkisel kaynaklarda aynı ve beta 1-4 bağı ile bağlı beta-D glikoz şekerlerden oluşan düz zincir şeklinde olduğu kabul edilmektedir (Şekil 4). Kâğıt, kozmetik, plastik, medikal, film, besin yardımcı malzemeleri ve tekstil elyafları gibi geniş bir uygulama alanına sahiptirler. Molekül ağırlıklarının daha düşük olması ve selüloza göre daha yüksek çözünürlüğe sahip olmasından dolayı kolay hidrolize olabilirler. Selülozun termal sıcaklığı $315-400^{\circ}C$ 'dir.



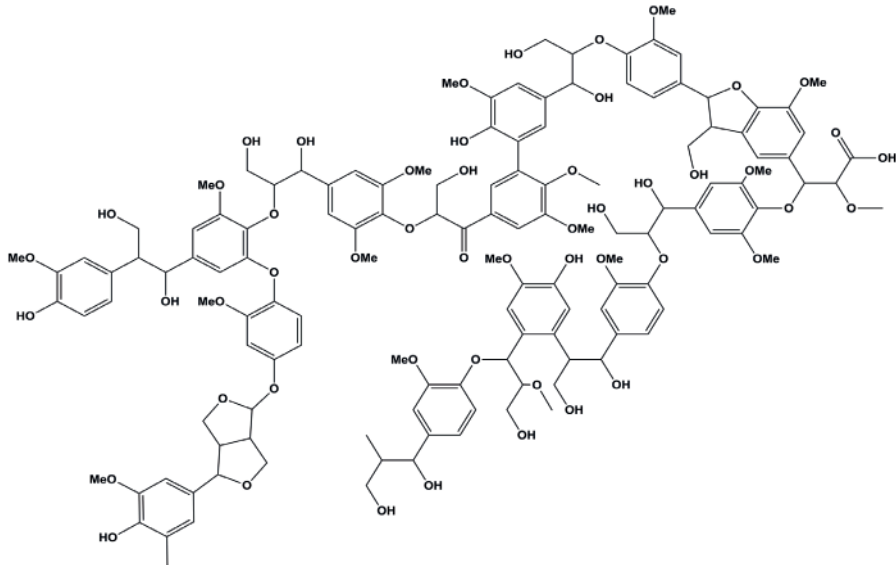
Şekil 4. Selülozun kimyasal yapısı

Selülozdan sonra bitkinin yapısında olan daha kısa zincir yapısında olup farklı türde şeker bağlarından oluşan dallanmış bir polimer olan hemiselülozdur (Şekil 5). Hemiselüloz ($C_5H_8O_4$)_n, selüloza göre daha kompleks bir yapıya sahiptir. Hemiselülozun termal bozunma sıcaklığı 220-315°C'dir.



Şekil 5. Hemiselülozun kimyasal yapısı

Lignin $C_9H_{10}(OCH_3)_{0,9-1,7}$ selüloz ve hemiselüloza göre yüksek oranda dallanmış, aromatik bir polimerdir (Şekil 7). Ligninin, selüloz ve hemiselüloza göre termal bozunma sıcaklığı oldukça yüksektir ve 160-900°C'dir.



Şekil 6. Lignin kimyasal yapısı

2.1. Piroliz

Biokütle direk yakılarak veya çeşitli süreçlerde yakıt kalitesi artırılarak, mevcut yakıtlara eşdeğer özelliklerde alternatif karbon ve hidrojen bakımından zengin, kolay taşınabilir ve depolanabilir, yüksek ısı değerli özelliklere sahip biyoyakıtlar elde edilerek enerji teknolojisinde değerlendirilmektedir. Günümüzde, artan nüfusa bağlı olarak fosil yakıt kullanımından kaynaklanan büyük CO₂, SO_x ve NO_x emisyonlarından kaynaklı çevre sorunlarıyla ilgili büyük bir endişe vardır. Bu nedenle yeni ve yenilenebilir enerjiye, özellikle biokütle enerjisine daha fazla değer verilmektedir. Diğer taraftan özellikle atmosfere salınan bu gazların oluşturduğu çevresel ve iklimsel etkilerden dolayı belirmen emisyon sınır oranları ve çevre teknolojilerinin gereklerinin uluslararası sınırlamalar bakımından yerine getirilmesi gerekliliği de ortaya çıkmaktadır (Riahi *et al.*, 2007). Yeni teknolojiler, enerji kaynaklarını çeşitlendirerek ve enerji tasarrufu sağlayarak enerji üretim süreçlerini daha verimli hale getirerek CO₂, SO_x ve NO_x gazlarının emisyonunun azaltılması hedefini gerçekleştirmeye izin vermelidir. Bu sebeple, yenilenebilir enerji kaynağı olarak biokütlenin tercih edilmesi, ulusal ve küresel enerji güvenliği için gereken yerel ve yenilenebilir doğal bir kaynaktır. Ayrıca gelişmekte olan ülkelerin birçoğunun ekonomisi tarıma dayanmaktadır. Bu açıdan ele alındığında bir enerji kaynağı olarak biokütle kaynaklarının kullanılması oldukça önem kazanmaktadır.

Biokütle hammaddelerin bir bölümü ya yanma mekanizmalarında doğrudan yakma ya da kullanım alanı geniş daha değerli yakıt veya diğer gaz ürünlerine dönüştürmek için kimya endüstrisinde kullanılmaktadır. Bir bölümü de gübreleme gibi çeşitli amaçlarla tüketilmektedir. Mevcut yapılan araştırmalar, Biokütle atıklarının yakılarak kazandırılmasının ekonomik olmadığını yapılan araştırmalar göstermektedir. Bu atıkların tekrar kazandırılmasında en etkili yöntem hiçbir oksitleyicinin mevcut olmadığı bir ısı bozunma işlemi olan pirolizdir. Ayrıca, değerlendirilmesi zor biokütle hammaddelerinin daha değerli ürünler elde edilmesinde doğrudan yakmaya göre, yüksek enerji yoğunluğu, katı, sıvı ve gaz ürünlerin elde edilmesi, depolanması, taşınması ve kolay yakılabilir olmaları pirolizin üstünlüğünü sağlamaktadır (Çağlar and Demirbas, 2000; Sharma *et al.*, 2004). Piroliz sonucunda katı, sıvı ve gaz olarak elde edilen ürünlerin özellikleri ve dağılımı; proses parametrelerine ve kullanılan biyokütle çeşidine bağlıdır. Pirolizi etkileyen parametreler: sıcaklık, basınç, ısıtma hızı, ortamdaki sürüklenen gaz, reaktör geometrisi, tutma süresi ve katalizör kullanımıdır (Demirbas, 2004; Ravindranath, and Hall, 1995). Piroliz ürün verimini, hammaddelerin organik ve inorganik yapısı, parçacık büyüklüğü, nem oranı, gözenek yapısı, sabit karbon miktarı ve elementel bileşimi etkiler. Biyokütle hammadde

kaynaklarının termal bozunma davranışı, kimyasal bileşimine ve yapısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Başlangıç malzemelerinin kristal yapıları ve polimerizasyon derecesiyle birlikte termal bozunma davranışını tanımlamada ayrılmaz unsurlardır. Yukarıdaki parametrelere paralel olarak, deneysel olarak türetilen kinetik parametreler aynı zamanda sıcaklık, basınç, partikül boyutu, ısıtma hızı ve ortam gaz ortamını içeren spesifik piroliz şartlarına da bağlıdır (Samolada *et al.*, 1990). Bu yöntemlerde en önemli amaç ısı değeri yükseltmek için nemin uzaklaştırılmasıdır. Isıl değeri yükseltmek biokütledeki oksijen su olarak uzaklaştırılmalıdır. Bu ise bileşenlerin termal bozunması sonucu meydana gelmektedir. Termal bozunma sonucu elde edilen yakıtların depolanması, dağıtımı, külsüz, külsüz ve çevreye daha az zarar vererek yanmaları, taşınması ve yakılması diğer önemli üstünlükleridir. Piroliz işlemiyle gerçekleşen sıcaklık yükselmesinin sonucu meydana gelen kütle kayıplarının en yüksek olduğu ve kütle kayıplarının bittiği son sıcaklık değerleri ve sıcaklıklardaki dönüşüm miktarları, biyokütle kaynaklarının türlerine göre farklılık göstermektedir.

3. SONUÇ

Enerji, dünyada gerekse ülkemizde endüstrinin, üretimin, gelişmenin ve kalkınmanın en temel vazgeçilmez unsurlarından biridir. Enerji gereksinimi sanayileşmeye, teknolojik gelişmelere ve nüfus artışına bağlı olarak artmaktadır. Böylece, geleneksel enerji kaynaklarından fosil yakıtların rezervleri sınırlı ve yakın gelecekte tükenecek olması, çevre kirliliği ve tabiatın tahribi yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının önem kazanmasına yol açmıştır. Böylece çevreyi kirletmeyen, düşük maliyette yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından olan gelişen ve gelişmekte olan ülkeler için geniş uygulama alanı sunan biokütledir. Biokütle kaynaklarını meydana getiren bileşenler karmaşık ve heterojen bir yapıya sahiptir. Selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi majör bileşenlerin farklı termal özelliklere sahip olduğu; bu bileşenler dışında biokütle hammaddelerinde bulunan organik ve inorganik bileşenlerin farklı oranlarda bulunduğu belirlenmiştir. Bu bileşenlerin yapılarında ki fiziksel ve kimyasal farklılık, biokütle kaynaklarının yakıtlara dönüşümüyle bu bileşenlerin farklı davranmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle biyokütle bileşenlerinin termal özelliklerinin incelenmesi konusu önem teşkil etmektedir.

KAYNAKLAR

- Ashraf Chaudhry ,M., Raza,R., Hayat, S.A.(2009). Renewable energy technologies in Pakistan: Prospects and challenges, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 6–7, 1657-1662.
- Berdysheva S, Ikonnikova S. (2021). The Energy Transition and Shifts in Fossil Fuel Use: The Study of International Energy Trade and Energy Security Dynamics. *Energies*, 14(17), 5396. <https://doi.org/10.3390/en14175396>
- Boztepe, A. (2011). Çeşitli biyoatık malzemelerin gazlaştırılması ve elde edilen ürünlerin karakterizasyonu Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Budak, M. S. (2017). Biyokütleden hızlı piroliz yöntemi ile biyoyakıt eldesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.
- Calkins, M. (2009). Materials for sustainable sites, John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, 14-24.
- Çağlar, A., Demirbaş, A. (2002) Hydrogen Rich Gas Mixture from Olive Husk via Pyrolysis, *Energy Conversion and Management*, 43, 109 - 117.
- Demirbas A. (2004). Combustion characteristics of different biomass fuels, *Progress in Energy and Combustion Science*, 30 (2), 219-230.
- Jiang, G., Xu, D., Hao, B., Liu, Lu., Wang, S., Wu, Z. (2021). Thermochemical methods for the treatment of municipal sludge. *Journal of Cleaner Production*, 311, 127811.
- Karagöl, E.T., Kavaz İ. (2017). Dünyada Ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji, *Analiz*, Sayı: 197.
- Kızılca M., Copur M., 2016. Investigation of the Thermal Decomposition Kinetics of Chalcopyrite Ore Concentrate using Thermogravimetric Data, *Chemical Engineering Communications*, 203, 692-704.
- Ling,J.L.J., Kim, H.W., Go, E.S., Oh, S.S., Park, H.J., Jeong, C.S., Lee, S.H. (2022). Analysis of operational characteristics of biomass oxygen fuel circulating fluidized bed combustor with indirect supercritical carbon dioxide cycle, *Energy Conversion and Management*, 259,115569.
- Orfao,J.M., Martins, F.G. (2002). Kinetic analysis of thermogravimetric data obtained under linear temperature programming, a method based on calculations of the temperature integral by interpolations. *Thermochimica Acta*, 390(1-2), 195-211.
- Ravindranath, N.H. Hall, D.O. (1995) Biomass energy, and environment—a developing country perspective from India, Oxford University Press, Oxford.
- Riahi, K., Grübler, A., Nakicenovic, N.(2007). Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization, *Technological Forecasting and Social Change*, 74 (7), 887-935.

- Saleem, M. (2022). Possibility of utilizing agriculture biomass as a renewable and sustainable future energy source. *Helikon*, 8(2). e08905.
- Samolada M.C., Stoicos T., Vasalos I.A., 1990. An investigation of the factors controlling the pyrolysis product yield of greek wood biomass in a fluidized bed. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 18, 127-141.
- Sharma R., K., Wooten J. B., Baliga V. L., Lin X., Chan W. G., Hajaligol M. R. (2004). Characterization of Chars from Pyrolysis of Lignin, *Fuel*, 83, 1469–1482.
- Simsek, H. A., Simsek, N. (2013). Recent incentives for renewable energy in Turkey, *Energy Policy*, 63, 521-530,
- Tonbul, Y., Yurdakoç, K. (2001). Thermogravimetric Investigation of the Dehydration Kinetics of KSF, K10 and Turkish Bentonite, *Turkish Journal of Chemistry*, 25, 333-339.
- Zhang L., Xu C. (2010). Champagne P., Overview of recent advances in thermo-chemical conversion of biomass. *Energy Conversion and Management*, 51, 969–982.