

# **SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ ÜRETİMİ**

## **SUSTAINABLE ENERGY PRODUCTION**

---

*Azize AYOL*  
*Özgün TEZER*



# SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ ÜRETİMİ

*Azize AYOL*  
*Dokuz Eylül Üniversitesi*

*Özgün TEZER*  
*Dokuz Eylül Üniversitesi*

## Özet

Küresel kalkınma ve ekonominin gerektirdiği enerji talebinin karşılanması ve bunun yanında çevresel etkilerin değerlendirilerek sürdürülebilir enerji sistemlerinin uygulanması hem ülkemizde hem de tüm dünyada önemli bir politika gündemi oluşturmaktadır. Artan nüfusun ihtiyaçları karşılanırken, çevreye ve doğal kaynaklara verilen zararlar erken dönemde göz ardı edilmiş olup, bu yaklaşım günümüzde önemli küresel çevre sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Dünyanın birincil yakıt kaynakları olarak görülen fosil kaynakların azalması, kullanıldığında ise küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi çevreye verdiği zararlar düşünüldüğünde, yenilenebilir kaynaklara olan ilgi artmıştır. Bununla birlikte bu kaynakların sürdürülebilirlik açısından akılcı planlamalar ile kısa ve uzun vadede hem gerekli enerjiyi karşılamak hem mevcut çevresel etkileri azaltmak konusu oldukça önem kazanmıştır. Bir ülkenin kalkınma seviyesini gösteren en önemli parametrelerden biri olan enerji üretimi, geleneksel yöntemlerin dışında sürdürülebilir bir yaklaşım ile çevre ve insan dostu yöntemler ile sağlanması günümüzde kaçınılmaz bir durum haline gelmiştir. Bu çalışmada, sürdürülebilir enerji üretiminin önemi, Dünya ve Türkiye'deki mevcut durum ve sistemlerin değerlendirilmesi yapılmıştır.

## *Anahtar Kelimeler*

*Sürdürülebilirlik, Enerji, Yenilenebilir enerji kaynakları, Sıfır atık*

## SUSTAINABLE ENERGY PRODUCTION

*Azize AYOL*

*Dokuz Eylül University*

*Özgün TEZER*

*Dokuz Eylül University*

### **Abstract**

Meeting the growing global energy demand and implementing sustainable energy systems that consider environmental impacts are critical policy agendas in both our country and around the world. In the early stages of meeting the needs of the growing population, environmental damages and depletion of natural resources were often ignored, leading to significant global environmental problems today. With the decline of fossil fuel resources, which have been the primary source of energy worldwide, and the harmful environmental effects they cause such as global warming and climate change, interest in renewable resources has increased. However, ensuring the sustainability of these resources requires rational planning to meet short and long-term energy demands while reducing their environmental impact. Today, sustainable and environmentally-friendly methods for energy production have become an inevitable necessity, in addition to traditional methods, in showcasing the development level of a country. This study evaluates the importance of sustainable energy production, the current status and systems worldwide and in Türkiye.

### ***Keywords***

*Sustainability, Energy, Renewable energy sources, Zero waste*

## 1. Giriş

Dünyada ve ülkemizde gerekli enerji talebinin karşılanması için temiz ve yenilenebilir enerjiye geçiş yapılmaya başlanmıştır. Küresel ısınmanın etkilerini azaltmak ve önlemek için, 2031 yılına kadar tüm enerji ve enerji dışı fosil yakıtların ve biyoyakıt emisyonlarının en az %80'inin ve en geç 2050'ye kadar %100'ünün durdurulması gerekmektedir (Jacobson vd., 2019). Dünyada 2050 yılına kadar 9,7 milyara ulaşması muhtemel bir nüfus artışı beklenmektedir (Ayorloo vd., 2022). Nüfusun sürekli artması, diğer birçok ihtiyaçta olduğu gibi enerjide de tüketim ve talebin artmasına neden olmaktadır. Özellikle hızlı sanayileşme ve küresel ekonomik büyüme, enerji tüketimini artırmaktadır (Chen vd., 2015). Nüfus artışına bağlı olarak kişi başına düşen küresel enerji talebinin artması, fosil yakıtların, yenilenebilir alternatiflerinin kaçınılmaz olarak ikame edilmesini daha belirgin hale getirmektedir (Lobata-Peralta vd., 2021). Fosil yakıtlardan elde edilen enerji arzının çoğuna (yaklaşık %80'i), halen en önemli enerji kaynağı olarak petrolün hâkim olduğu söylenebilir (Gajera vd., 2020). Fosil yakıtların yoğun tüketimi nedeniyle, enerji kıtlığı, küresel ısınma ve partiküler madde gibi çevresel sorunlar son yirmi yılda önemli çevre sorunları olarak yerini almıştır (Park vd., 2019). Ayrıca, son yıllarda teknolojik gelişmelerle birlikte de bu çevresel sorunlar, kirlilik ve toksisite nedeniyle sağlık problemlerinde artışlar ortaya çıkmıştır (Chinas-Palacios vd., 2021). Tüm bu talebi karşılamak amacıyla yapılan enerji yatırımlarında çevresel problemleri en aza indirecek çözüm arayışlarının da arttığı gözlemlenmektedir. Bu alanda da sürdürülebilir kalkınma, yalnızca ekolojik yönden değil; ekonomik ve sosyal yönlerden de önemli bir yere sahiptir (Fytili & Zabaniotou, 2008).

Geleneksel enerji kaynaklarının korunumu sağlanırken, yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili yatırımlar teşvik edilmektedir. Sürdürülebilir kalkınma kavramının bugünkü anlamıyla tanımlanması Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun 1987 yılında yayınladığı Ortak Geleceğimiz raporunda yapılmıştır. Sürdürülebilir kalkınma, bugünün ihtiyaçlarını, gelecek kuşakların da kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme olanağından ödün vermeksizin sağlamaktır. Yenilenebilir kaynaklardan enerji, yakıt, ekonomik değeri yüksek kimyasallar ve ileri malzemelerin üretimine yönelik araştırmalar, tüm dünyada enerji ve ekonomik güvenliğin yanı sıra çevresel kazanımların sağlanması açısından öncelikli araştırma konuları arasında yerini almıştır. Bu sebeple araştırmaların odak noktası kademeli olarak temiz, yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli kullanımına kaymış ve enerji yapısının geliştirilmesine yönelmiştir (Ren vd., 2019). Son otuz yılda, sürdürülebilir kalkınma, çevresel ve sosyo-ekonomik kalkınmaya ilişkin temel uluslararası ve ulusal politika girişimlerini destekleyen bir ana akım kavram haline gelmiştir. Yüzyılın başında Binyıl Kalkınma Hedefleri (Millennium Development Goals, MDGs) gibi büyük sürdürülebilirlik gündeminin uygulanması ve ardından 2015 yılında Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'nin (Sustainable Developments Goals, SDGs) kabul edilmesi bu konseptte dayanmaktadır. İklim değişikliği ve küresel nüfus artışı, sürdürülebilirlik sorunlarının üstesinden gelmek ve daha sürdürülebilir bir gelecek sağlamak için bütüncül yaklaşımların geliştirilmesine odaklanmıştır. Bu bakımdan, enerji üretim sistemlerinin sürdürülebilirliği, bu büyük sürdürülebilirlik zorluklarının merkezi haline gelmiştir (Turkson vd., 2020). Nitekim Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'nin yedinci hedefi, 2030 yılına kadar herkes için uygun

fiyatlı, güvenilir, sürdürülebilir ve modern enerji hizmetlerinin evrensel olarak erişilebilir olduğu bir dünyayı tasvir etmektedir. Bu çerçevede sürdürülebilir enerji sistemi üç unsur karşılmalıdır: enerji ihtiyaçlarını karşılama, enerji adaletini sağlama ve çevresel sınırlara saygı duyma (Holden, Linnerud & Rygg, 2021). Bu çalışma, enerji üretiminin önemini, Dünya ve Türkiye'deki mevcut durum ve enerji sistemlerinin değerlendirilmesini sürdürülebilir bir enerji üretimi kapsamında ele almaktadır.

## **2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Dünyada ve Ülkemizde Yenilenebilir Enerji Uygulamaları**

Yenilenebilir kaynaklar, çevre dostu bir enerji kaynağı olarak dünya çapında dikkatleri üzerine çekmektedir (Jeong vd., 2020). Yenilenebilir enerji kaynakları, geleneksel bir enerji kaynağı olarak kullanılan fosil yakıtların tükenmesi ve aşırı kullanımı nedeniyle çevreye verdikleri zarar dikkate alındığında, önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Bu kaynakların başında gelen güneş enerjisi; zararlı atık oluşturmaması, kurulumunun ve kullanımının kolay olması gibi özelliklere sahiptir. Dünyada hemen hemen her ülkede güneş enerjisi kullanılmakta ve elektrik üretimi sağlanmaktadır. Dünyadaki şebekeye bağlı diğer bir deyişle on-grid sistemlere bakıldığında, kurulu güç lideri 78 GW üretim ile Çin gelmektedir. Daha sonra Amerika Birleşik Devletleri, Japonya ve Almanya sırasıyla takip etmektedir ([www.enerjiatlası.com](http://www.enerjiatlası.com)). Haziran 2022 tarihi itibarıyla Türkiye'de 8.275 MW kurulu güç bulunmaktadır (<https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>, 15.03.2023). Ülkemizin bulunduğu jeopolitik konum sayesinde güneşli gün sayısının diğer Avrupa ülkelerine göre oldukça fazla olması, güneş enerjisinin kullanımı açısından avantaj sayılmaktadır. Türkiye'de bölgeler bazında inceleme yapıldığında yıllık toplam güneşlenme süresi en yüksek bölgemiz Güneydoğu Anadolu Bölgesi'dir ve bunu sırasıyla Akdeniz, Ege ve İç Anadolu bölgeleri takip etmektedir. Güneş enerjisi santralleri genel olarak iki temel prensip ile çalışmaktadır. Bunların ilki fotovoltaik sistemler, diğeri ise termal sistemlerdir ([www.enerjiatlası.com](http://www.enerjiatlası.com)). Güneş panellerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, sürekli enerji depolama durumunun olmaması ve ışınımın kış aylarında daha az ve geceleri de olmaması başlıca dezavantajları arasındadır. Diğer bir yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgâr enerjisine ilgi son yıllarda çevre korumadaki üstün avantajları nedeniyle hızla artmıştır (Liu vd., 2023). Son zamanlarda, aşırı hava olaylarının sık sık meydana gelmesi, rüzgâr enerjisinin değişkenliğinin ve kesintililiğinin artmasına neden olmaktadır. Bu durum, güç sisteminin gerçek zamanlı olarak dengelenmesini daha da zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, rüzgâr enerjisi tahmininin doğruluğunun artırılması, enerjinin dengeli dağıtımı ve güç sisteminin kararlı çalışması için kilit bir rol oynamaktadır (Zheng vd., 2023). Türkiye'de bulunan mevcut rüzgâr enerji santrallerinin toplam kurulu gücü 10.930 MW'dır. 2021 yılında rüzgâr enerji santralleri ile toplamda 31.137.427.230 KWh elektrik üretimi yapılmıştır ([www.enerjiatlası.com](http://www.enerjiatlası.com), 15.03.2023). Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı daha yaygın olmakla birlikte, biyokütle enerjisi son yıllarda önemli bir konu haline gelmiştir. Özellikle güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisinin 24 saat devamlılığının sağlanamaması ve şartlara göre değişkenlik göstermesi önemli dezavantajlar arasındadır. Bu önemli kaynaklar arasında, karbon enerjisi olarak biyokütle, sürdürülebilir bir kaynak olup

düşük kirletici içeriğine sahip ve oldukça farklı çeşitliliğe sahiptir (Ren vd., 2019). Biyokütlenin en büyük avantajı sürekliliğinin olması ve çok yönlü bir kaynak olmasıdır. En çevre dostu kaynaklardan biri olan biyokütle, dünya çapında neredeyse %14 oranında enerji sağlamaktadır (Yang vd., 2021). Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü (OPEC) tarafından yayınlanan istatistiki verilere göre; 2018 yılında günde 27,5 milyon varil petrol eşdeğeri olan biyokütle enerjisine yönelik küresel talebin, 2040 yılında günde 34,5 milyon varil petrol eşdeğerine çıkması beklenmektedir. Ayrıca, Uluslararası Enerji Ajansı tahminine göre, 2050 yılına kadar küresel enerji tüketiminin %27'si sürdürülebilir bir şekilde biyokütle kaynaklarından sağlanabilecektir (Shahbeik vd., 2022). Fosil yakıtlara alternatif olarak birincil enerji kaynağı olan biyokütlenin birçok avantajı vardır. Bunlar arasında en önemlisi, biyokütle kullanımı sırasında atmosferdeki CO<sub>2</sub> miktarının artmamasıdır. Çünkü yenilenebilir enerji kaynakları karbon nötr olarak kabul edilmektedir. Diğer bir avantaj ise biyokütle, ısı, enerji, gaz ve yakıtla dönüştürülebilen uygun bir hammadde olarak kabul edilmektedir (Gasparaovic vd., 2011). Yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak, biyokütle enerji geri kazanımına uygulanabilir. Ancak, sürdürülebilir çözümler üretmek için ekonomik, akıllı ve yenilikçi araştırmalara ihtiyaç vardır. Özellikle yenilenebilir bir hammadde olarak biyokütle, enerji ve kimyasallar sağlayabilir ve enerji kaynağı olarak kısmen fosil yakıtların yerini alabilir (Jeong vd., 2020). Biyokütle, çeşitli enerji uygulamaları için katı, sıvı ve gazlı ürünlere dönüştürülebildiği için, fosil yakıtların kullanımını azaltmak ve değiştirmek için en çekici ve gelecek vaat eden yenilenebilir enerji olarak kabul edilmektedir. Yaygın olarak bulunmasına ve şu anda kömür, ham petrol ve doğal gazdan sonra dördüncü en büyük enerji kaynağı olmasına rağmen, aynı zamanda dünyanın nihai enerji tüketiminin yaklaşık %14'ünü sağlamaktadır (Situmurang vd., 2019). Biyokütle enerjisi ve ürünleri pazarının 2030 yılına kadar küresel olarak 1,3 trilyon ABD Doları olacağı tahmin edilmektedir ([www.fpac.ca/canadianforestry-industry/forest-products](http://www.fpac.ca/canadianforestry-industry/forest-products), 14.02.2019). Bu nedenle fosil kaynaklı kaynaklar yerine biyokütle bazı kaynaklardan çevresel olarak sürdürülebilir, düşük maliyetli enerji ve ürünlerin üretimine yönelik teknolojilerin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Ayrıca, dünya çapındaki iklim değişikliği nedeniyle biyokütle temelli kaynaklardan enerji/materyal geri kazanımı karbon ayak izi açısından büyük faydalar sağlayacaktır (Yang vd., 2019; Chen vd., 2019). Biyokütleyi enerjiye dönüştürmenin termokimyasal, biyokimyasal ve mekanik ekstraksiyon dâhil olmak üzere başlıca üç yolu vardır. Yakma, piroliz ve gazlaştırma prosesleri termokimyasal dönüşüm teknolojileri olarak tanımlanmaktadır (Ren vd., 2020). Termokimyasal dönüşüm süreçleri genellikle teknik olarak daha değerli olan ısı veya katı petrol gazı veya biyo-yag dönüşümünü içermektedir. Biyokütle gazlaştırma, enerji üretimi ve nakliyesi için alternatif, çevre dostu yakıtlar üretme yöntemidir. Termokimyasal bir süreç olarak gazlaştırmanın katı biyokütleyi yakıtla dönüştürdüğü yaygın olarak bilinmektedir (Chen vd., 2019). Bu işlem, katı biyokütlenin yüksek sıcaklıklarda kısmi oksidasyon yoluyla değerli bir sentez gazına veya gaz yakıtla dönüştürüldüğü dolaylı bir yakma işlemidir (Saleem vd., 2020). Bu bağlamda, biyokütle gazlaştırma, özellikle esnek rotaların oluşturulmasına izin verdiği için düşük maliyetli bir işlem seçeneği olarak görülebilir (AlNouss vd., 2020). Biyokütleden enerji elde etme yöntemleri arasında gazlaştırma en uygun maliyetli ve verimli süreç olarak kabul edilir (Situmurang vd., 2019; Saleem vd., 2020). Diğer bir temiz enerji kaynağı olan hidrojen enerjisi son yıllarda

büyük önem kazanmıştır. Hidrojen enerjisi, çevresel emisyonlar, sürdürülebilirlik ve enerji güvenliği açısından önemli bir bileşeni olarak kabul edilmektedir. Hidrojen, başta doğal gaz, kömür, biyokütle, nükleer enerji olmak üzere çeşitli uygulamalarla üretilebilmektedir. Fosil yakıtların yanlış kullanımı ve iklim değişikliği nedeniyle, birçok gelişmiş ülke düşük karbonlu bir enerji elde etme yöntemlerine geçiş yapmaktadır. Enerji altyapılarını optimize etmek için dögüsel (mevcut malzemeleri ve ürünleri daha uzun bir dögü için paylaşmayı, onarmayı, yenilemeyi, kiralamayı, yeniden kullanmayı ve geri dönüştürmeyi içeren üretim ve tüketim modeli) ekonomi hidrojen enerjisine öncelik vermektedir (Kakran vd., 2023). Hidrojen üretmek ve uygun yönleri olanlardan yararlanmak için çok sayıda teknik mevcuttur. Ana hidrojen kaynağı, hidrojenin %96'sının üretildiği endüstriyel buhar reformasyonu yöntemidir. Fosil yakıt stoklarından hidrojen çıkarmak için köklü bir teknolojidir. Her yıl ABD'nin yaklaşık 10 milyon ton hidrojen ihtiyacı buhar reformasyonu ile karşılanmaktadır. Kalan %4 hidrojen ise elektroliz işlemi ile üretilebilir. Elektroliz işlemi en önemli ve gelişen teknolojidir. Bu yöntemde elektrik enerjisi kullanılarak su hidrojen/oksijene ayrıştırılabilir. Termokimyasal, rüzgâr, biyokütle gazlaştırma ve güneş radyasyonu gibi diğer yöntemler ön araştırma düzeyindedir.: Hidrojenin kantitatif üretimi için daha fazla deneysel kanıtı ihtiyaç duymasına rağmen önemli bir araştırma konusudur. Hidrojen olası bir yakıt olarak düşünülebilir, ancak ticari olarak uygulanabilir hale getirmek için araştırma ve uygulama çalışmalarına devam edilmesi gerekmektedir (Nagar vd., 2023). Güneş ve hidrojen zamanın başlangıcından beri birbirine bağlantılıdır ve sonsuza kadar birlikte enerji üretmeye devam edecektir. Hidrojen enerjisi için sürdürülebilir enerji zinciri, enerji taşıyıcısı olarak hidrojen elde etmek için güneş ışığının veya diğer enerji kaynaklarının toplanmasını içermektedir. Bu enerji taşıyıcısının depolanması, dağıtımı ve kullanımı ya yakıt hücrelerine ya da yanmaya odaklanmış durumdadır. Solar hidrojen, yeşil ve temiz bir enerji taşıyıcısıdır. Elektrolitik hidrojen, sudan üretilir ve daha sonra tekrar suya dönüştürülür. Solar hidrojen, tüm enerji dönüşüm zinciri boyunca çevre dostudur. Su elektrolizi, hidrojen üretmek için yaygın olarak kullanılan bir endüstriyel teknolojidir. Fotoelektron kimyası potansiyel olarak güneş enerjisini depolanabilir bir enerji kaynağı olarak doğrudan hidrojene dönüştürebilir. Büyük boyutlu elektrolizörler, yenilenebilir kesintilerin azaltılması açısından önemli faydalar sağlayabilirken, aynı zamanda ulaşım sektöründeki emisyon azaltımları için hidrojen arabalarının kullanımını arttırmaktadır (Kakran vd., 2023).

### **3. Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Türkiye'nin Enerji Üretimi Üzerindeki Etkisi**

Aralık 2019'da Avrupa Birliği, iklim ve çevre ile ilgili zorluklarla mücadele planlarını içeren Avrupa Yeşil Mutabakatı yayınladı. Bu eylem planı ile birlikte, iklim değişikliğine, çevresel risklere ve ormanların ve okyanusların kirlenmesine bir yanıt olarak, 2050 yılına kadar Avrupa Birliği'nin modern, kaynakları verimli kullanan ve rekabetçi bir ekonomi ile adil ve müreffeh bir topluma dönüşmesi hedeflenmektedir (Hainsch vd., 2022). Avrupa Birliği'ni tamamen karbondan arındırılmış bir ekonomiye dönüştürmeye yönelik bu temel politika stratejisinin enerji sektörüne yönelik hedefleri, önceki Juncker Komisyonu tarafından izlenen Enerji Birliği stratejisine dayanmaktadır (Ringel, Bruch, & Knodt, 2021). Ülkemiz için Yeşil Mutabakat eylem planı kapsamında belirlenen hedefler (1) sınırdaki karbon düzenlemeleri, (2)



yeşil ve dögüsel bir ekonomi, (3) yeşil finansman, (4) temiz, ekonomik ve güvenli enerji arzı, (5) sürdürülebilir tarım, (6) sürdürülebilir akıllı ulaşım, (7) iklim değışikliği ile mücadele, (8) diplomasi ve (9) Avrupa Yeşil Mutabakatı bilgilendirme ve bilinçlendirme faaliyetleridir. Bu kapsamda 9 ana başlık altında toplamda 32 hedef ve 81 eylemi içeren eylem planına ulaşılması hedeflenmektedir (Yeşil Mutabakat Eylem Planı, 2021).

Üretilen enerjinin, elektrik enerjisi gibi ikincil enerji kaynaklarına dönüştürülmesi, sürdürülebilirlik açısından oldukça önemli bir prostedir. Çünkü bu dönüşüm prosesinin seçimi ve sonrasında elektrik enerjisinin kullanımı antropojenik bir emisyon oluşturmaktadır. Sürdürülebilir bir konseptte enerji verimliliğinin optimize edilerek ve oluşan emisyonların kontrolü ve sınırlaması sağlanmalıdır. Türkiye’de 2022 yılında elektrik üretiminin, %34’si kömürden, %22,2’si doğal gazdan, %20,6’sı hidrolik enerjiden, %10,8’i rüzgârdan, %4,7’si güneşten, %3,3’ü jeotermal enerjiden ve %3,7’si diğer kaynaklardan elde edilmiştir (<https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>, 15.03.2023).

#### 4. Genel Değerlendirme

Günden güne azalan fosil yakıt rezervleri, bunların kullanımına bağlı emisyonlar ile birlikte küresel ısınmanın getirdiği çevresel sorunlara bakıldığında, enerji üretimi konusunda sürdürülebilir bir yaklaşımın benimsenmesi artık bir seçim değildir. Enerji taleplerinin çevre dostu yöntemler ile karşılanması için gerekli eylem planları yetkili merciler tarafından oluşturulmaktadır. Buna göre uygun prosesler seçilerek gerek mevcut enerji sistemlerin adaptasyonu gerekse de yenilenebilir enerji sistemlerinin devreye alınması için gerekli finansal destek ve yetkin mühendislik destekleri oldukça önemlidir. Özellikle, hidrojenin üretimi ve ülkemizin yeşil ve temiz bir enerji yaklaşımında hidrojen ekonomisine yoğunlaşması, öncelikli ülke stratejileri arasında bu teknolojilere gerekli yatırımın yapılması kritik önem taşımaktadır.

#### 5. Kaynaklar / References

- Ajorloo, M., Ghodrat, M., Scott, J., & Strezov, V. (2022). Recent advances in thermodynamic analysis of biomass gasification: A review on numerical modelling and simulation. *Journal of the Energy Institute*, 102, 395–419.
- AlNouss A., McKay, G., & Al-Ansari, T. (2020). A comparison of steam and oxygen fed biomass gasification through a techno-economic-environmental study. *Energy Conversion and Management*, 208, 112612.
- Chen, G., Guo, X., Liu, F., Ma, Z., Cheng, Z., Yan, B., & Ma, W. (2019). Gasification of lignocellulosic biomass pretreated by anaerobic digestion (AD) process: an experimental study. *Fuel*, 247, 324–333.
- Chen, J., Fan, X., Jiang, B., Mu, L., Yao, P., Yin, H., & Song, X. (2015). Pyrolysis of oil-plant wastes in a TGA and a fixed-bed reactor: thermochemical behaviors, kinetics, and products characterization. *Biosource Technologist*, 192, 592-602.

- Chinas-Palacios, C., Vargas-Salgado, C., Aguila-Leon, J., & Hurtado-Perez, E. (2021). A cascade hybrid PSO feed-forward neural network model of a biomass gasification plant for covering the energy demand in an AC microgrid. *Energy Conversion and Management*, 232, 113896.
- Fytili, D. & Zabaniotou, A. (2008). Utilization of treatment sludge in EU application of old and new methods-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 116–140.
- Gajera, Z.R., Verma, K., Tekade, S.P., & Sawarkar, A.N. (2020). Kinetics of co-gasification of rice husk biomass and high sulfur petroleum coke with oxygen as gasifying medium via TGA. *Bioresource Technology Reports*, 11, 100479.
- Gasparaovic, L., Hrablay, I., Vojtekova, Z., & Jelemensky, L. (2011). Kinetic study of pyrolysis of wastewater treatment plant sludge. *Chemical Papers*, 65(2), 139–146.
- Hainsch, K., Löffler, K., Burandt, T., Auer, H., Grando, P.C., Piscicella, P., & Zwickl-Bernhard, S. (2022). Energy transition scenarios: What policies, societal attitudes, and technology developments will realize the EU Green Deal?, *Energy*, 239, 122067.
- Holden, E., Linnerud, K., & Rygg, B.J. (2021). A review of dominant sustainable energy narratives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, 110955.
- Jacobson, M.Z., Delucchi, M.A., Cameron, M.A., Coughlin, S.J., Hay, C.A., Manogaran, I.P., Shu, Y., & Krauland, A.K. (2019). Impacts of green new deal energy plans on grid stability, costs, jobs, health, and climate in 143 countries. *One Earth*, 1, 449–463.
- Jeong, Y.S., Choi, Y.K., Kang, B.S., Ryu, J.H., Kim, H.S., Kang, M.S., Rhu, L.H., & Kim, J.S. (2020). Lab-scale and pilot-scale two-stage gasification of biomass using active carbon for production of hydrogen-rich and low-tar producer gas. *Fuel Processing Technology*, 198, 106240.
- Kakran, S., Sidhu, A., Kumar, A., Youssef, A.B., & Lohan, S. (2023). Hydrogen energy in BRICS-US: A whirl succeeding fuel treasure. *Applied Energy*, 334, 120670.
- Liu, L., Liu, J., Ye, Y., Liu, H., Chen, K., Li, D., Dong, X., & Sun, M. (2023). Ultra-short-term wind power forecasting based on deep Bayesian model with uncertainty. *Renewable Energy*, 205, 598–607.
- Lobato-Peralta, D. R., Duque-Brito, E., Villafan-Vidales, H. I., Longoria, A., Sebastian, P.J., Cuentas-Gallegos, A. K., Arancibia-Bulnes, C. A., & Okoye, P. U. (2021). A review on trends in lignin extraction and valorization of lignocellulosic biomass for energy applications. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126123.
- Nagar, R., Srivastava, S., Hudson, S.L., Amaya, S.L., Tanna, A., Sharma, M., Achayalingam, R., Sonkaria, S., Khare, V., & Srinivasan, S.S. (2023). Recent developments in state-of-the-art hydrogen energy technologies – Review of hydrogen storage materials. *Solar Compass*, 5, 100033.
- Park, S., Jae, J., Farooq, A., Kwon, E. E., Park, E. D., Ha, J.M., Jung, S.C., & Park, Y.K. (2019). Continuous pyrolysis of organosolv lignin and application of biochar on gasification of high-density polyethylene. *Applied Energy*, 255, 113801.
- Ren, j., Cao, J.P., Zhao, X.Y., Yang, F.L., & Wei, X.Y. (2019). Recent advances in syngas production from biomass catalytic gasification: a critical review on reactors, catalysts, catalytic mechanisms and mathematical models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 116, 109426.

- Ren, J., Liu, Y.L., Zhao, X.Y., & Cao, J.P. (2020). Biomass thermochemical conversion: a review on tar elimination from biomass catalytic gasification. *Journal of the Energy Institute*, 93,1083-1098.
- Ringel, M., Bruch, N., & Knodt, M. (2021). Is clean energy contested? Exploring which issues matter to stakeholders in the European Green Deal. *Energy Research & Social Science*, 77, 102083.
- Salcem, F., Harris, J., Zhang, K., & Harvey, A. (2020). Non-thermal plasma as a promising route for the removal of tar from the product gas of biomass gasification – a critical review. *Chemical Engineering Journal*, 382, 122761.
- Shahbeik, H., Peng, W., Panahi, H.K.S., Dehghani, M., Guillemin, G.J., Fallahi, A., Amiri, H., Rehan, Raikwar, D., Latineh H., Pandalone, B., Khoshnevisan, B., Sonne, C., Vaccaro, L., Nizami, A., Gupta, V.K., Lam, S.S., Pan, J., Luque, R., Sels, B., Tabatabaei, M., & Aghbashlo, M. (2022). Synthesis of liquid biofuels from biomass by hydrothermal gasification: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 167-112833.
- Situmorang, Y., A., Zhao, Z., Yoshida, A., Kasai, Y., Abudula, A., & Guoqing G. (2019). Potential power generation on a small-scale separated-type biomass gasification system. *Energy*, 179, 19-29.
- Turkson, C., Acquaye, A., Liu, W., & Papadopoulos, T. (2020). Sustainability assessment of energy production: A critical review of methods, measures and issues. *Journal of Environmental Management*, 264, 110464.
- Yang, H., Wang, C., Xu, S., & Liu, R. (2019). Biomass gasification over hematite in a decoupled dual loop gasifier. *Fuel Processing Technology*, 192, 140–146.
- Yang, S., Liang, J., Wang, S., & Wang, H. (2021). High-fidelity investigation of thermochemical conversion of biomass material in a full-loop circulating fluidized bed gasifier. *Energy*, 5442, 00342.
- Yeşil Mutabakat Eylem Planı, (2021). Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. <https://ticaret.gov.tr/data/60f1200013b876eb28421b23/MUTABAKAT%20YE%20C5%9E%20C4%20B0L.pdf>.
- Zheng, H., Hu, Z., Wang, X., Ni, J., & Cui, M. (2023). VMD-CAT: A hybrid model for short-term wind power prediction. *Energy Reports*, 9, 199-211.
- <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> Türkiye Cumhuriyeti Enerji Bakanlığı, 15.03.2023.
- [www.enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik](http://www.enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik). Türkiye Cumhuriyeti Enerji Bakanlığı, 15.03.2023.
- [www.enerjiatlası.com](http://www.enerjiatlası.com). (15.03.2023)
- [www.fpac.ca/canadianforestry-industry/forest-products](http://www.fpac.ca/canadianforestry-industry/forest-products). (14.02.2019).

## Yazarlar Hakkında / About Authors

**Prof. Dr. Azize AYOL | Dokuz Eylül Üniversitesi |  
azize.ayol[at]deu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-2095-1132**

Dr. Azize Ayol Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde çalışmaktadır. Ana çalışma alanı Çevre Mühendisliği ve Çevre Bilimi'dir. Dr. Ayol, 1997 yılından bu yana su, atıksu, atık, çamur, biyokatıların özellikleri ve yenilenebilir enerji uygulamaları üzerine aktif araştırmalarını sürdürmektedir. Delaware Üniversitesi'nde misafir araştırmacı olarak bulunmuştur. Bilimsel liderlik konusunda güçlü bir geçmişe sahiptir ve su/atıksu mühendisliği, atık yönetimi ve endüstriyel atık yönetimi, yenilenebilir enerji, yaşam döngüsü sürdürülebilirlik analizi konularında birçok ulusal ve uluslararası araştırma projesinde yürütücü ve araştırmacı olarak yer almıştır. Avrupa, ABD, Japonya ve Avustralya'dan diğer uluslararası araştırma gruplarıyla birçok araştırma işbirliğine sahiptir. Farklı AB projeleri için aktif değerlendirme uzmanıdır. 2013-2018 yılları arasında TÜBİTAK-ÇAYDAG, danışma/yürütme kurulu üyesi yapmıştır. 2015-2017 yılları arasında Dokuz Eylül Teknoloji Geliştirme Bölgesi-DEPARK yönetim kurulu başkan yardımcısı olarak görev almıştır. Ayrıca 2015-2017 yılları arasında DEPARK Tınaztepe Mühendislik Kampüsü'nün akademik koordinatörlüğünü yürütmüştür. Avrupa Birliği Araştırma Altyapıları Stratejik Formu (ESFRI) Çevre Grubu'nda 2020 yılından bu yana TÜBİTAK adına delege olarak görev yapmaktadır. SCI dergilerinde ve konferans bildirilerinde çok sayıda bilimsel makalesi bulunmaktadır. Ayrıca çok sayıda ulusal ve uluslararası Konferansların Bilimsel Komitesinde yer almaktadır.

**Prof. Dr. Azize AYOL | Dokuz Eylül University |  
azize.ayol[at]deu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-2095-1132**

Dr. Azize Ayol is currently working for Department of Environmental Engineering at Dokuz Eylül University. Her major is the Environmental Engineering and Science. Dr. Ayol has been an active researcher on water/wastewater, waste, sludge, biosolids properties, and renewable energy applications since 1997. She was a visiting researcher at University of Delaware. She has a strong track record of scientific leadership and has been a researcher in many national and international research projects on water/wastewater engineering, waste management, and industrial waste management, renewable energy, life cycle sustainability analysis. She has many research collaborations with other international research groups from Europe, USA, Japan, and Australia. She has been active evaluation expert for different EU Grants. She was also a member of the advisory/executive board of TUBITAK-CAYDAG between 2013-2018. She was on the executive board of Dokuz Eylul Technology Development Zone-DEPARK as vice-chair between 2015-2017. She has acted as a delegate in the ESFRI Environment Group on behalf of TUBITAK since 2020. She has many scientific papers in SCI journals and conference proceedings. She is also on the Scientific Committee of many international and national conferences.

**Dr. Özgün TEZER | Dokuz Eylül Üniversitesi |**

**ozguntezer[at]gmail.com | ORCID: 0000-0003-4631-4585**

Dr. Özgün Tezer, Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Prof. Dr. Azize Ayol ile yaptığı doktora çalışmalarını tamamlamıştır. Dr. Özgün Tezer, 2017-2023 yılları arasında YÖK 100/200 Doktora Burs Programı kapsamında, TÜBİTAK 2211/C ve TÜBİTAK 1001 program/projelerinde doktora bursiyeri olarak görev almıştır. Doktora tezini Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Ağustos 2023 yılında tamamlayıp, Çevre Mühendisliği alanında Doktor unvanını almıştır. Doktora tez konusu farklı kaynaklardan elde edilen biyokütlenin gazlaştırılması, hidrojen eldesi ve yaşam döngüsü sürdürülebilirlik analizi ile ilgilidir. Araştırma alanı, yenilenebilir enerji kaynakları ve gazlaştırma teknolojileri üzerinedir. Yüksek lisans çalışması da yine termal prosesler ve gazlaştırma teknolojileri ile ilgilidir. Lisansüstü eğitimi boyunca şuana kadar 8 adet SCI kapsamında yer alan makale ve 19 adet ulusal ve uluslararası nitelikli bildiri yayımlanmıştır. Birçok ulusal ve uluslararası kongrede sözlü sunum yapmıştır. Aktif olarak araştırmalarını enerji teknolojileri üzerine sürdürmektedir.

**Dr. Özgün TEZER | Dokuz Eylül University |**

**ozguntezer[at]gmail.com | ORCID: 0000-0003-4631-4585**

Dr. Özgün Tezer completed his PhD studies at Dokuz Eylül University, Department of Environmental Engineering with Prof. Dr. Azize Ayol. Dr. Özgün Tezer worked as a PhD scholar in the scope of YÖK 100/200 Doctoral Scholarship Program, TÜBİTAK 2211/C and TÜBİTAK 1001 programs/projects between 2017-2023. She completed his PhD thesis at Dokuz Eylül University, Graduate School of Natural and Applied Sciences in August 2023 and received her PhD degree in Environmental Engineering. Her dissertation topic is related to gasification of biomass from different sources, hydrogen production and life cycle sustainability analysis. Her research area is on renewable energy sources and gasification technologies. Her master's thesis is also related to thermal processes and gasification technologies. During her graduate education, she has so far published 8 SCI articles and 19 national and international papers. She has made oral presentations in many national and international congresses. She actively continues his research on energy technologies.

