

Türkiye’de Biyokütle Enerji Santrallerinin Yeşil Kimya, İSG ve Biyofiziksel Perspektifinden Değerlendirilmesi

Fatih Yaşar¹

Yüksel Sarıkaya²

Yakup Budak³

Özet

Yeşil kimya, çevre dostu süreçler ve malzemeler geliştirerek kimyasal üretimde çevresel etkiyi azaltmayı amaçlamaktadır. Plastik yakıtlar, atık plastikleri biyokütle veya diğer yenilenebilir kaynaklarla birleştirerek enerji üretiminde kullanılabilir hale getirmektedir. Biyokütle enerji santrallerinde bu tür yakıtların kullanımı, hem atık yönetimini destekler hem de fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmaktadır. Plastik yakıtlar, piroliz veya gazlaştırma gibi yeşil kimya teknolojileriyle biyokütleden elde edilen yakıtlarla harmanlanabilir. Bu yakıtların içten yanmalı motorlarda veya enerji santrallerinde kullanımı, yanma verimliliği ve emisyon kontrolü açısından optimize edilmelidir. Ancak, bu süreçlerde kullanılan ekipmanlar (örneğin, yakıt besleme sistemleri, reaktörler, filtreler, yüksek sıcaklık ve basınç armatürleri vb.) kimyasal maddelere, yüksek sıcaklıklara ve potansiyel toksik gazlara maruz kalabilir. İSG açısından, bu ekipmanların tasarımı, ergonomisi, bakım prosedürleri ve çalışanların maruz kalabileceği risklerin (kimyasal sızıntılar, yangın, patlama) önlenmesi kritik önemdedir. Orman ve tarımsal atıklar ile kanalizasyon atık çamurunun bertarafında sıklıkla kullanılan biyokütle santralleri, yüksek sıcaklık ve basınçta çalışan kapların bulunduğu tesislerdir. Bu tesislerde boğucu/ tahriş edici/yanıcı toz ve/ veya kimyasal maruziyeti yanında kontrolsüz yanma ve patlama hem çevre hem de insan sağlığı açısından olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir.

- 1 Doktor, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, fatih.yasar@gop.edu.tr, 0000-0001-6005-2257
- 2 Yüksek Mühendis, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği ABD, yuksel2982@hotmail.com, 000-0002-2182-8574
- 3 Profesör Doktor, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, yakup.budak@gop.edu.tr, 0000-0001-7108-5548

Yanma sonucu elde edilen enerjinin elektrik enerjine dönüşüm süreçlerinde karşılaşılabilecek elektrik çarpması ve şokları yanı sıra yüksek frekans ve şiddette titreşim ve/veya sese maruz kalma gibi insanlarda geçici veya kalıcı engellilik durumu oluşturabilmektedir. Yeşil kimya prensiplerinin güvenli şekilde biyokütle enerji santrallerinde kullanımını ele alan bu bölümde, yanma ve enerji üretim süreçlerinde kullanılan ekipmanların çevresel ve sağlık risklerini azaltacak şekilde nasıl tasarlanıp optimize edilebileceğini, İSG standartlarına uygunluğunu ve çalışan güvenliğini sağlama yöntemlerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Mevcut uygulamalar üzerinden harekete geçerek biyokütle enerji santrallerinde karşılaşılan risklerin, İSG yönetim sistemlerinin hem işveren hem işçi hem de çevresel faktörler açısından bir değerlendirme sunulmuştur.

1. GİRİŞ

1.1. Biyokütle Nedir?

Biyokütle yakıtlar, doğada hızlı bir şekilde yenilenebilen kaynaklardan, yani bitkisel materyaller, orman artıkları, hayvan gübreleri, kentsel atıklar ve gıda endüstrisi atıklarından elde edilen enerjiye dönüştürülebilen maddelerdir [1].

Biyokütle enerjisi, yenilenebilir enerji türlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu enerji, biyokütle yakıtlarının yakılmasıyla ortaya çıkan ısı enerjisinden elde edilir. Bu ısı, endüstriyel yüksek basınçlı kazanlarda kullanılarak buhara dönüştürülür ve bu buhar, türbin aracılığıyla elektrik enerjisi üretimini sağlar.

Dünya nüfusunun hızla artması, enerji talebinde büyük bir yükselişe neden olmuştur. Gelişen dünyada enerji ihtiyacının büyük kısmı fosil yakıtlardan karşılanırken, son yıllarda bu yakıtların çevreye verdiği zararlar, yenilenemez olmaları, geri dönüşü olmayan çevresel etkiler ve iklim değişikliği gibi sorunlar, ülkeleri alternatif enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Bu bağlamda, biyokütle enerji kaynaklarının kullanımı da önemli ölçüde artmıştır [2]. Biyokütle yakıtlarının yanma özellikleri dikkate alınarak, biyokütle enerji santrallerinde yanma odalarının tasarımı gerçekleştirilir. Ülkeler, enerji ihtiyaçlarını giderek daha fazla yenilenebilir kaynaklardan karşılamak için yatırımlarını artırmaktadır. Bu nedenle biyokütle yakıtlarıyla enerji üretimi, enerji sektöründe giderek daha fazla önem kazanmaktadır [1].

Zamanla biyokütle enerji üretiminin artması ve yeni tesislerin kurulmasıyla fosil yakıtlara olan bağımlılık azalacak, bu da çevre kirliliğinin önlenmesinde önemli bir rol oynayacaktır [3]. Biyokütle enerji santrallerinde üretim sürecinde, mal kabul işlemleri, yakıt besleme sistemleri, su temini, yüksek basınçlı buhar kazanlarında kullanılan ekipman ve armatürler,

yangın önleme sistemleri, havalandırma birimleri, türbin bölümü ve elektrik sistemleri gibi tüm ekipmanların iş sağlığı ve güvenliği açısından detaylı bir şekilde incelenmesi gerekir. Bu kapsamda, tesislerde kullanılan ekipman ve armatürlerin teknik özellikleri, tanımları, bu ekipmanların yol açabileceği potansiyel iş kazaları ve bu kazaları önlemek için alınabilecek önlemler ile teknik personelin mesleki yeterlilikleri değerlendirilmelidir [4]. Amaç, enerji santrallerinde çalışan personelin kullandığı ekipman ve armatürleri açık ve anlaşılır bir şekilde tanıması, bu ekipmanların prodesteki önemini kavraması, olası kazalar hakkında bilgi edinmesi, arızaların nedenlerini tespit edebilmesi ve iş kazaları ile meslek hastalıklarını önleyecek çözümler sunabilmesidir. Böylece daha güvenli bir çalışma ortamı oluşturulması, gelecekte tesislerde çalışacak personelin elinde yazılı bir rehber bulunması ve çevresel etkilerin en aza indirilmesi hedeflerine ulaşılmış olur.

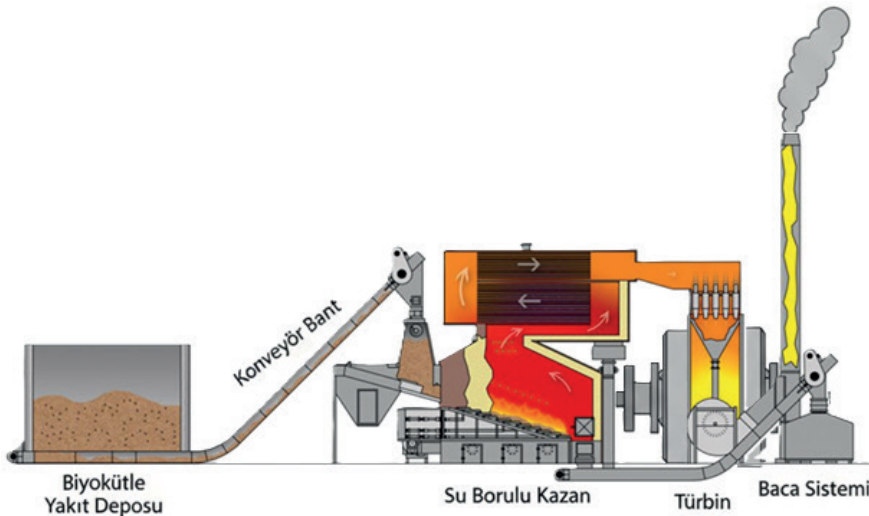
1.2. Biyokütle Enerji Santrali Nedir?

Biyokütle enerji santralleri, orman artıkları, evsel atıklar, gıda artıkları, tarımsal atıklar ve hayvan gübreleri gibi organik materyallerin yüksek basınçlı buhar kazanlarının yanma odalarında yakılmasıyla ortaya çıkan ısı enerjisini kızgın buhara dönüştürerek, bu buharın yüksek basınç altında türbin aracılığıyla elektrik enerjisi üreten tesislerdir [4]. Son yıllarda ülkemizde biyokütle enerji santrallerinin sayısı artmış ve enerji arzındaki payları geçmiş yıllara kıyasla yükselmiştir. Ancak, bu tesislerin kurulum ve üretim süreçlerinde çeşitli iş kazalarıyla karşılaşmaktadır. Bu kazaların azaltılması veya en aza indirilmesi için, tesiste görev alacak personelin mesleki yeterlilik belgelerine sahip olması, işe başlamadan önce kapsamlı iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinden geçmesi şarttır. Ayrıca, tesislerin kurulumundan üretim aşamasına kadar iş güvenliği uzmanlarının denetiminde ilerlemesi büyük önem taşır; aksi halde ciddi iş kazaları meydana gelebilir. Biyokütle tesislerinde elektrik enerjisi üretimi için mal kabul süreçleri, yakıt besleme sistemleri, tesisin ihtiyacı olan suyun iletkenlik ve sertlik değerlerinin düşürülerek hazırlanması, buhar kazanında buhar üretimi için gerekli ekipman ve armatürler ile türbin bölümündeki donanımlar, enerji üretim sürecinin birbirine bağlı halkaları olarak işlev görür. Bu ekipman ve armatürlerin, iş sağlığı ve güvenliğini riske atmayacak şekilde tasarlanması ve montajının yapılması gerekmektedir.

Biyokütle enerji santralleri gibi elektrik üretim tesisleri, çok sayıda ekipman, armatür ve mekanik bileşenin bir araya gelmesiyle oluşturulur. Bu ekipman ve armatürlerin her biri, tesisin işleyişinde kritik roller üstlenir. Bu nedenle, bu bileşenlerin işlevlerinin detaylı bir şekilde öğrenilmesi ve anlaşılması büyük önem taşır. Şekil 1'de, su borulu bir biyokütle enerji santralinin genel donanımlarını gösteren örnek bir akış şeması sunulmuştur.

Bu tür akış şemalarının, operatörlerin bulunduğu kumanda odalarında yer alması, tesisin işleyişinin bütünsel olarak kavranması açısından oldukça değerlidir.

Biyokütle enerji santralleri, orman atıkları, tarımsal artıklar ve kanalizasyon atıkları gibi organik materyallerin yakılmasıyla enerji üreten tesislerdir. Bu tesislerde çalışan personelin sağlığı, operasyonel süreçlerdeki çevresel ve teknik riskler nedeniyle özel bir dikkat gerektirir. Yanma işlemleri, kimyasal maddeler, yüksek sıcaklık ve basınç gibi faktörler, çalışanların fiziksel ve solunum sağlığını tehdit edebilecek çeşitli riskler oluşturur. Bu bölümde, biyokütle enerji santrallerinde çalışan personelin sağlığı açısından karşılaşılan riskler ve alınması gereken önlemler değerlendirilmektedir.



Şekil 1. Biyokütle enerji santrali yakıt deposu, konveyör bant, su borulu kazan, türbin ve baca sistemi şeması

1.2.1. Çalışan Sağlığını Tehdit Eden Riskler

1.2.1.1. Zehirli Gazlara Maruz Kalma

Biyokütle santrallerinde yakıtların yanması sırasında karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x) ve partikül maddeler gibi zararlı gazlar ve tozlar açığa çıkar [5]. Bu emisyonlara uzun süre maruz kalan çalışanlar, solunum yolu hastalıkları (örneğin, astım, bronşit), akciğer fonksiyonlarında azalma ve hatta uzun vadede kanser gibi ciddi sağlık sorunlarıyla karşı karşıya kalabilir [6, 7]. Özellikle baca gazı sızıntıları veya yetersiz havalandırma, bu riskleri artırır [8].

1.2.1.2. Yüksek Sıcaklık ve Basınçla İlgili Riskler

Buhar kazanları, kızgın buhar hatları ve kondensstop sistemleri gibi yüksek sıcaklık ve basınç içeren ekipmanlar yoluyla yanık, haşlanma veya patlama riski oluşabilmektedir [9]. Örneğin, kondensstoplardan çıkan sıcak kondenslerin yetersiz izolasyonu, çalışanların cilt teması yoluyla ciddi yaralanmalara maruz kalmasına neden olabilir [10]. Ayrıca, basınç düşürücü vanaların veya emniyet vanalarının arızalanması, degazör tankı patlamaları gibi ölümcül kazalara yol açabilir.

1.2.1.3. Mekanik ve Fiziksel Tehlikeler

Hava kilitleri, pompalar, vakum transmitterleri ve diğer mekanik ekipmanlarla çalışırken el sıkışması, uzuv kaybı veya mekanik arızalardan kaynaklanan kaza riskleri bulunmaktadır [4]. Özellikle hava kilitlerinin içinde yanmaya devam eden sıcak cürufarla temas, ciddi yanıklara neden olabilir. Ayrıca, yüksekte bulunan buhar sayaçlarına merdivenle erişim gibi güvenli olmayan uygulamalar, düşme riskini artırır.

1.2.1.4. Toz ve Kimyasal Maddelere Maruziyet

Biyokütle tesislerinde yakıt besleme üniteleri ve bunkerlerden kaynaklanan toz birikimleri, solunum yoluyla alındığında sağlık sorunlarına yol açabilir. Bu tozlar, yüksek sıcaklıkta tutuşarak yangın riski oluştururken, aynı zamanda solunum yolu tahrişine ve alerjik reaksiyonlara neden olabilir [11]. Ayrıca, su arıtma ve yumuşatma süreçlerinde kullanılan kimyasallar, deri teması veya solunum yoluyla çalışanların sağlığını olumsuz etkileyebilir.

1.2.1.5. Gürültü ve Titreşim

Pompalar, fanlar ve diğer ekipmanların ürettiği gürültü ve titreşim, uzun süreli maruziyet durumunda işitme kaybı, stres ve konsantrasyon bozukluklarına yol açabilir [12].

1.3. Yeşil Kimya Açısından Biyokütle Enerji Santralleri

Biyokütle enerji santralleri, atıkların bertaraf edilmesi ve enerji üretiminde yenilenebilir bir kaynak olarak değerlendirilmesi açısından önemli bir rol oynasa da, yeşil kimya ilkeleri çerçevesinde çevresel etkileri, insan, bitki ve hayvan sağlığı üzerindeki sonuçları dikkatle incelenmelidir.

Yakıtların kullanımı ve bertaraf süreci açısından değerlendirildiğinde biyokütle santrallerinde kullanılan yakıtlar, genellikle organik atıklardan oluşur ve bu atıkların yakılması, hem enerji üretimini sağlar hem de atık hacmini azaltır. Ancak, bu bertaraf işlemi sırasında önemli çevresel sorunlar

ortaya çıkabilir. Yakıt olarak kullanılan materyallerin toplanması, taşınması ve işlenmesi, yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının yoğun bir şekilde tüketilmesine yol açar. Ayrıca, bu süreçlerde kullanılan kimyasallar, su kaynaklarının kirlenmesine neden olabilir. Örneğin, kanalizasyon atıklarının işlenmesi sırasında açığa çıkan kimyasal maddeler, yerüstü ve yeraltı sularına sızarak ekosistemde ciddi tahribatlara yol açabilir.

Çevresel etkiler açısından değerlendirildiğinde biyokütle santrallerinin yanma süreçleri, baca gazı emisyonları aracılığıyla çevreye zararlı gazların salınımına neden olur. Karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x) ve partikül maddeler gibi emisyonlar, hava kirliliğine katkıda bulunur [13]. Bu gazlar, yağmur yoluyla asit yağmurlarına dönüşerek tarımsal alanlarda toprağın kimyasal yapısını bozup bitki örtüsüne zarar verebilir. Asit yağmurları, tarım ürünlerinin verimini düşürebilir ve gıda zincirini olumsuz etkileyerek hem bitki hem de hayvan sağlığını tehdit edebilir. Ayrıca, bu emisyonlar yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının asitleşmesine neden olarak su ekosistemlerini ve bu kaynaklara bağımlı olan canlıları riske atar.

İnsan sağlığı üzerindeki etkiler bakımından değerlendirildiğinde biyokütle santrallerinden yayılan zararlı gazlar, özellikle solunum yoluyla insan sağlığını olumsuz etkileyebilir. Baca gazındaki partikül maddeler ve zehirli gazlar, solunum yolu hastalıklarının (örneğin, astım, kronik obstrüktif akciğer hastalığı) yanı sıra kardiyovasküler rahatsızlıklar ve hatta kanser gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir [7]. Tesislerin yakınında yaşayan topluluklar, bu emisyonlara uzun süreli maruz kalma nedeniyle daha yüksek risk altındadır. Ayrıca, santrallerde kullanılan kimyasalların su kaynaklarına karışması, içme suyu yoluyla insan sağlığını dolaylı olarak tehdit edebilir.

Bitki ve hayvan sağlığı üzerindeki etkilerine bakıldığında biyokütle santrallerinin çevresel etkileri, bitki ve hayvan sağlığı üzerinde de önemli sonuçlar doğurur. Asit yağmurları, toprağın besin dengesini bozarak bitkilerin büyümesini engelleyebilir ve orman ekosistemlerinde biyoçeşitliliğin azalmasına yol açabilir. Hayvanlar, kirlenmiş su kaynaklarından veya zehirli gazların biriktiği alanlardan doğrudan ya da dolaylı olarak etkilenebilir [14]. Örneğin, su kaynaklarındaki kimyasal kirlilik, balıklar ve diğer sucul canlılar üzerinde toksik etkiler yaratabilir; bu da besin zincirinde bir domino etkisiyle diğer hayvan türlerini ve dolaylı olarak insanları etkileyebilir.

Yeşil kimya ilkeleri, çevresel etkileri en aza indiren, sürdürülebilir ve çevre dostu süreçler geliştirmeyi hedefler. Biyokütle enerji santrallerinde bu ilkeleri uygulamak için aşağıdaki adımlar önerilebilir:

1.3.1. Emisyon Kontrol Sistemlerinin İyileştirilmesi

Biyokütle enerji santrallerinde, yakıtların yanması sırasında açığa çıkan karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x), partikül maddeler ve diğer zararlı gazlar, hem çevresel hem de insan sağlığı açısından ciddi riskler oluşturur [13]. Bu emisyonların kontrol altına alınması, tesislerin çevresel ayak izini azaltmak, çevre ve insan sağlığını korumak ve yasal düzenlemelere uyum sağlamak için kritik bir öneme sahiptir. Yeşil kimya ilkeleri doğrultusunda, emisyon kontrol sistemlerinin iyileştirilmesi, biyokütle santrallerinin sürdürülebilirliğini artıran ve çevresel etkilerini en aza indiren temel bir adımdır. Bu kesimde, emisyon kontrol sistemlerinin iyileştirilmesi için uygulanabilecek stratejiler ve teknolojiler ele alınmaktadır.

1.3.1.1. Emisyon Ölçüm ve İzleme Sistemlerinin Kurulumu

Emisyon kontrolünün ilk adımı, baca gazı emisyonlarının sürekli ve doğru bir şekilde ölçülmesi ve izlenmesidir. Baca gazı analizörleri ve emisyon ölçüm cihazları, karbon monoksit, kükürt dioksit, azot oksitler, oksijen, karbondioksit, partikül madde ve baca gazı sıcaklığı gibi parametreleri ölçerek yanma verimliliğini değerlendirir. Bu cihazlar, tesisin yanma sürecinin optimize edilmesine olanak tanır ve çevresel standartlara uygunluğu sağlar. Örneğin:

İdeal Değerlerin Takibi: Katı yakıtlı sistemlerde karbon monoksit seviyesinin 100 ppm, oksijen oranının %5-6 ve karbondioksit oranının %14 civarında tutulması hedeflenir [15]. Baca gazı sıcaklıklarının ise 130-175 °C aralığında olması idealdir.

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition: Gözetleyici Kontrol ve Veri Toplama Sistemi) Entegrasyonu: Emisyon verilerinin SCADA sistemleri üzerinden gerçek zamanlı olarak izlenmesi, anormal durumlarda hızlı müdahale imkânı sağlar. Bu, hem yanma verimliliğini artırır hem de zararlı emisyonların atmosfere salınımını azaltır [16].

Eski Tesislerde Güncelleme: Yeni kurulan tesislerde emisyon ölçüm cihazları genellikle standart olarak bulunurken, eski tesislerde bu cihazların sonradan eklenmesi veya dışarıdan ölçüm hizmetleri alınması yaygın bir uygulamadır. Ancak, sürekli izleme için tesis içi cihazların kullanımı daha etkili ve güvenilirdir.

1.3.1.2. Gelişmiş Filtreleme ve Temizleme Teknolojilerinin Kullanımı

Biyokütle santrallerinde, baca gazındaki partikül maddelerin ve zararlı gazların azaltılması için ileri filtreleme ve temizleme teknolojileri kullanılmalıdır [17]:

Multisiklon ve Siklon Sistemleri: Bu sistemler, baca gazındaki katı partikülleri ayırmak için kullanılır. Yüksek verimli multisiklonlar, toz ve kül gibi partiküllerin büyük bir kısmını tutarak atmosfere salınımını önler [18].

Torbalı Filtreler: İnce partikül maddeleri yakalamada etkili olan bu filtreleme sistemi biyokütle santrallerinde sıkça tercih edilir. Düzenli bakım ve temizlik, bu filtrelerin etkinliğini artırır [18].

Elektrostatik Filtreler: Elektrik yüküyle partikülleri toplayarak baca gazını temizler. Bu sistemler, özellikle yüksek hacimli toz emisyonlarının kontrolünde etkilidir.

Kimyasal Gaz Temizleme (Scrubber) Sistemleri: Kükürt dioksit ve diğer asidik gazların nötralize edilmesi için ıslak veya kuru scrubber sistemleri kullanılabilir. Bu sistemler, asit yağmuru oluşumunu engelleyerek çevresel etkileri azaltır [19].

1.3.1.3. Yanma Sürecinin Optimizasyonu

Emisyon kontrolü, yalnızca filtreleme sistemleriyle değil, aynı zamanda yanma sürecinin optimize edilmesiyle de sağlanabilir:

Yakıt-Hava Oranının Dengelenmesi: Vakum transmitterleri ve hava kilitleri gibi cihazlar, yanma odasındaki hava- yakıt oranını optimize ederek verimli bir yanma sağlar [20]. Yüksek oksijen seviyeleri, ısının dışarı atıldığını; yüksek karbon monoksit seviyeleri ise verimsiz yanmayı işaret eder. Bu nedenle, yanma odasındaki hava dengesinin sürekli kontrol edilmesi gerekir.

Yakıt Kalitesinin İyileştirilmesi: Daha az kükürt ve kül içeren, ön işleme tabi tutulmuş biyokütle yakıtlarının kullanılması, zararlı emisyonları azaltır. Yakıtın nem içeriğinin kontrol edilmesi de yanma verimini artırır.

Otomatik Kontrol Sistemleri: PLC ve SCADA sistemleriyle entegre edilen otomatik kontrol mekanizmaları, yanma parametrelerini gerçek zamanlı olarak ayarlayarak emisyonları minimuma indirir.

1.3.1.4. Düzenli Bakım ve Denetim

Emisyon kontrol sistemlerinin etkinliğini sürdürebilmesi için düzenli bakım ve denetim yapılması gerekmektedir. Bu amaçla aşağıdaki basamaklar yapılabilir:

Filtre Temizliği: Multisiklon, torbalı filtre ve elektrostatik filtrelerin düzenli olarak temizlenmesi, partikül tutma kapasitesini korur ve tıkanıklık kaynaklı emisyon artışlarını önler.

Hava Kilitlerinin Kontrolü: Hava kilitleri, yanma odasına istenmeyen hava girişini engelleyerek alev püskürmesi ve zehirli gaz sızıntılarını önler. Bu cihazların düzenli bakımı, hem emisyon kontrolünü hem de çalışan güvenliğini artırır.

Kalibrasyon ve Test: Baca gazı analizörleri ve emisyon ölçüm cihazlarının düzenli kalibrasyonu, doğru veri sağlanmasını garanti eder. Ayrıca, tesislerin emisyon değerlerinin yerel ve uluslararası standartlara uygunluğu düzenli olarak denetlenmelidir.

1.3.1.5. Çevresel ve Yasal Uyumluluk

Biyokütle santralleri, çevresel düzenlemelere uyum sağlamak zorundadır. Avrupa Birliği'nin Hava Kalitesi Direktifleri veya Türkiye'de Çevre Kanunu gibi düzenlemeler, emisyon sınırlarını belirler [21]. Bu nedenle:

Tesisler, emisyon sınır değerlerine uygunluğu sürekli olarak belgelemeli ve raporlamalıdır. Çevresel etki değerlendirme (ÇED) raporları, tesislerin kurulum ve işletme aşamalarında emisyon kontrol sistemlerinin yeterliliğini değerlendirmek için kullanılmalıdır. Yenilenebilir enerji teşvikleri, emisyon kontrol teknolojilerine yatırım yapan tesisler için ek bir motivasyon sağlayabilir.

1.3.1.6. Çalışan ve Toplum Sağlığı İçin Önlemler

Emisyon kontrol sistemlerinin iyileştirilmesi, yalnızca çevresel faydalar sağlamakla kalmaz, aynı zamanda çalışan ve çevredeki toplulukların sağlığını korur:

Çalışan Sağlığı: Tesis içinde zehirli gazlara maruziyeti azaltmak için uygun havalandırma sistemleri kurulmalı ve kişisel koruyucu donanımlar (solunum maskeleri, gözlükler) sağlanmalıdır.

Toplum Sağlığı: Emisyonların azaltılması, tesis çevresinde yaşayan toplulukların solunum yolu hastalıkları ve diğer sağlık sorunları riskini düşürür. Ayrıca, asit yağmuru gibi çevresel etkilerin önlenmesi, tarım alanlarını ve su kaynaklarını koruyarak toplum sağlığına dolaylı katkıda bulunur.

Biyokütle enerji santrallerinde emisyon kontrol sistemlerinin iyileştirilmesi, çevresel sürdürülebilirlik, insan sağlığı ve tesis verimliliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Baca gazı analizörlerinin kullanımı, ileri filtreleme teknolojilerinin entegrasyonu, yanma süreçlerinin optimizasyonu ve düzenli bakım uygulamaları, zararlı emisyonların azaltılmasında etkili yöntemlerdir. Bu sistemlerin etkin bir şekilde uygulanması, hem çevresel

düzenlemelere uyumu sağlar hem de çalışanların ve çevredeki toplulukların sağlığını korur. Yeşil kimya ilkeleri doğrultusunda, emisyon kontrolüne yönelik yatırımlar, biyokütle santrallerinin uzun vadeli sürdürülebilirliğini ve toplumsal kabulünü artıracaktır [22].

1.3.2. Su Kaynaklarının Korunması

Biyokütle enerji santralleri, enerji üretim süreçlerinde yoğun su kullanımı gerektiren tesislerdir. Ham suyun kazan besisi suyu olarak hazırlanmasından, soğutma sistemlerine ve atıkların bertarafına kadar birçok aşamada yeraltı ve yerüstü su kaynakları tüketilmektedir. Ancak, bu süreçlerde kullanılan kimyasallar ve atık suların uygun şekilde yönetilmemesi, su kaynaklarının kirlenmesine yol açarak çevresel ekosistemler, insan, bitki ve hayvan sağlığı üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratabilir. Yeşil kimya ilkeleri çerçevesinde, su kaynaklarının korunması, biyokütle santrallerinin çevresel sürdürülebilirliğini artırmak ve ekosistem dengesini korumak için kritik bir önceliktir [23]. Bu kesimde, su kaynaklarının korunması için uygulanabilecek stratejiler, teknolojiler ve yönetim yaklaşımları ele alınmaktadır.

1.3.2.1. Su Kullanımının Optimizasyonu

Biyokütle enerji santrallerinde su, kazan besisi suyu hazırlanması, buhar üretimi, soğutma sistemleri ve kimyasal arıtma süreçlerinde kullanılır. Su tüketimini azaltmak ve kaynakların sürdürülebilir kullanımını sağlamak için aşağıdaki yaklaşımlar benimsenmelidir:

Geri Dönüşüm Sistemleri: Atık suyun arıtılarak yeniden kullanılması, su tüketimini önemli ölçüde azaltır. Örneğin, kondensatlardan çıkan kondens suyunun izolasyonlu borularla toplanarak degazör tankına geri döndürülmesi, su kaybını en aza indirir.

Kapalı Devre Soğutma Sistemleri: Açık soğutma sistemleri yerine kapalı devre sistemlerin kullanılması, suyun buharlaşma yoluyla kaybını önler ve su tüketimini azaltır.

Su Kullanım Verimliliği Analizleri: Tesislerde su tüketiminin düzenli olarak izlenmesi ve analiz edilmesi, gereksiz su kullanımını tespit ederek optimizasyon sağlar. Su sayaçları ve debimetreler, bu süreçte kritik bir rol oynar.

1.3.2.2. Atık Su Arıtımı ve Kimyasal Kirliliğin Önlenmesi

Biyokütle santrallerinde kullanılan kimyasallar (örneğin, su yumuşatma ve arıtma süreçlerinde kullanılan maddeler) atık su yoluyla yeraltı ve yerüstü

su kaynaklarına karışabilir. Bu kirliliği önlemek için ileri arıtma teknolojileri ve yönetim stratejileri uygulanmalıdır:

İleri Arıtma Teknolojileri: Atık suyun biyolojik, kimyasal ve fiziksel arıtma yöntemleriyle temizlenmesi, su kaynaklarına karışan toksik maddelerin miktarını azaltır. Membran filtrasyon, ters osmoz ve aktif karbon filtreleme gibi teknolojiler, kimyasal kirleticilerin uzaklaştırılmasında etkilidir.

Kimyasal Kullanımının Azaltılması: Yeşil kimya ilkelerine uygun olarak, toksik olmayan veya daha az zararlı kimyasalların kullanımı teşvik edilmelidir. Örneğin, biyolojik olarak parçalanabilen arıtma kimyasalları tercih edilmelidir.

Atık Su Depolama ve Kontrolü: Atık suyun kontrollü bir şekilde depolanması ve düzenli analizlerle kirlenme seviyelerinin izlenmesi, su kaynaklarına sızıntı riskini azaltır. Ayrıca, atık suyun doğrudan çevreye deşarj edilmesi yerine arıtma tesislerine yönlendirilmesi sağlanmalıdır.

1.3.2.3. Besi Suyu Kalitesinin İyileştirilmesi

Kazan besi suyunun kalitesi, hem kazan verimliliği hem de su kaynaklarının korunması açısından kritik öneme sahiptir. Kalitesiz besi suyu, kazan içinde kireçlenme, çamurlaşma ve boru tıkanıklıklarına yol açarak su tüketimini artırabilir ve atık su üretimini çoğaltabilir [24]:

Su Yumuşatma ve Arıtma Sistemleri: Ham sudaki kalsiyum, magnezyum ve diğer minerallerin uzaklaştırılması için su yumuşatma sistemleri kullanılmalıdır. İyon değiştirme reçineleri veya kimyasal arıtma yöntemleri, besi suyunun kalitesini artırır.

Blöf Sistemlerinin Etkin Kullanımı: Yüzey ve dip blöf sistemleri, kazan içinde biriken çözünmemiş maddelerin ve çamurun atılmasını sağlayarak suyun iletkenlik değerlerini kontrol altında tutar. Otomatik motorlu blöf vanaları, bu süreci daha verimli hale getirir.

Kimyasal Yıkama: Kazanın düzenli olarak kimyasal maddelerle temizlenmesi, kireçlenme ve birikim sorunlarını önler. Ancak, bu işlemde kullanılan kimyasalların çevre dostu olması ve atık suların uygun şekilde arıtılması önemlidir.

1.3.2.4. Su Kaynaklarının Kirlenmesini Önleyici Tedbirler

Biyokütle santrallerinden kaynaklanan kirlilik, su ekosistemlerini ve dolaylı olarak insan, bitki ve hayvan sağlığını tehdit edebilir. Bu nedenle, aşağıdaki önlemler alınmalıdır:

Sızıntı Önleme: Tesislerdeki kimyasal depolama alanları, boru hatları ve atık su tankları düzenli olarak kontrol edilmeli, sızıntı riskine karşı sızdırmazlık önlemleri alınmalıdır. Örneğin, pislik tutucuların ve boru hatlarının düzenli temizliği, kimyasal birikimlerin su kaynaklarına ulaşmasını engeller.

Asit Yağmuru Kontrolü: Baca gazındaki kükürt dioksit ve azot oksitler, su buharıyla birleşerek asit yağmuruna neden olabilir. Bu durum, su kaynaklarının asitleşmesine ve ekosistemlerin zarar görmesine yol açar. Emisyon kontrol sistemlerinin (örneğin, scrubber sistemleri) kullanımı, asit yağmuru riskini azaltır.

Numune Alma ve Analiz: Tesislerden alınan su numunelerinin düzenli olarak laboratuvar ortamında analiz edilmesi, su kirliliği seviyesinin izlenmesini sağlar. Bu veriler, kirlilik kaynaklarının tespitinde ve önleyicilerin alınmasında rehber olur.

1.3.2.5. Çalışan ve Toplum Sağlığı İçin Su Kalitesinin Önemi

Kirlenmiş su kaynakları, yalnızca çevresel değil, aynı zamanda insan sağlığı açısından da ciddi riskler oluşturur. Tesis çalışanlarının ve çevredeki toplulukların içme suyu veya tarım suyu yoluyla kimyasal maddelere maruz kalması, deri hastalıkları, sindirim sistemi rahatsızlıkları ve uzun vadeli toksik etkilere yol açabilir. Bu nedenle:

Çalışan Eğitimi: Personel, su arıtma ve kimyasal kullanım süreçleri hakkında eğitilmeli, kimyasal maddelerle çalışırken uygun kişisel koruyucu donanımlar (eldiven, maske, tulum) kullanılmalıdır.

Toplum Sağlığı: Tesislerin çevresindeki su kaynaklarının düzenli olarak test edilmesi ve kirlilik durumunda toplulukların bilgilendirilmesi, sağlık risklerini azaltır. Ayrıca, tesislerin su arıtma sistemlerine yaptığı yatırımlar, yerel toplulukların temiz suya erişimini destekleyebilir.

1.3.2.6. Yasal ve Çevresel Uyumluluk

Su kaynaklarının korunması, yerel ve uluslararası çevresel düzenlemelere uyum gerektirir. Türkiye’de Çevre Kanunu ve ilgili yönetmelikler, su kirliliği kontrolü için belirli standartlar belirlemektedir. Avrupa Birliği’nin Su Çerçeve Direktifi (Water Framework Directive) gibi uluslararası düzenlemeler de su kaynaklarının korunmasını teşvik eder. Bu bağlamda:

Tesisler, atık su deşarj limitlerine uymalı ve düzenli raporlama yapmalıdır.

Çevresel etki değerlendirme (ÇED) raporları, su kullanımı ve kirlilik önleme planlarını da içermelidir.

Su tasarrufu ve kirlilik önleme teknolojilerine yatırım yapan tesisler, çevresel teşviklerden faydalanabilir.

Özetle; biyokütle enerji santrallerinde su kaynaklarının korunması, çevresel sürdürülebilirlik, ekosistem dengesi ve insan sağlığı açısından hayati bir öneme sahiptir. Su tüketiminin optimize edilmesi, ileri arıtma teknolojilerinin kullanımı, besi suyu kalitesinin iyileştirilmesi ve kirlilik önleyici tedbirler, su kaynaklarının korunmasında temel stratejilerdir. Bu önlemler, hem çevresel düzenlemelere uyumu sağlar hem de tesislerin uzun vadeli verimliliğini artırır. Yeşil kimya ilkeleri doğrultusunda, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, biyokütle santrallerinin çevresel etkilerini azaltarak daha güvenli ve sağlıklı bir işletme ortamı yaratır.

1.3.3. Yakıt Kalitesinin İyileştirilmesi

Biyokütle enerji santralleri, orman atıkları, tarımsal artıklar, kanalizasyon çamurları ve diğer organik materyaller gibi biyokütle yakıtlarını kullanarak enerji üretir. Yakıt kalitesi, yanma verimliliği, emisyon seviyeleri, tesis ekipmanlarının ömrü ve çevresel etkiler üzerinde doğrudan bir rol oynar. Düşük kaliteli yakıtlar, yüksek kükürt, kül veya nem içeriği nedeniyle verimsiz yanmaya, artan emisyonlara ve ekipman hasarlarına yol açabilir [25]. Yeşil kimya ilkeleri çerçevesinde, yakıt kalitesinin iyileştirilmesi, biyokütle santrallerinin çevresel ayak izini azaltmak, enerji verimliliğini artırmak ve insan, bitki ve hayvan sağlığını korumak için kritik bir öneme sahiptir. Bu bölümde, yakıt kalitesini iyileştirmek için uygulanabilecek stratejiler, teknolojiler ve yönetim yaklaşımları detaylı bir şekilde ele alınmaktadır.

1.3.3.1. Yakıt Seçimi ve Ön İşleme

Biyokütle yakıtlarının kalitesi, içeriğindeki nem, kül, kükürt ve diğer kirleticilere bağlı olarak büyük ölçüde değişir. Yakıt kalitesini iyileştirmek için aşağıdaki yaklaşımlar benimsenmelidir:

Yakıt Türlerinin Seçimi: Düşük kükürt ve kül içeriğine sahip biyokütle materyalleri (örneğin, temiz tarımsal artıklar veya sertifikalı odun peletleri) tercih edilmelidir. Kanalizasyon çamuru gibi yüksek kimyasal içeriğe sahip yakıtlar, yalnızca uygun ön işlemden geçirildikten sonra kullanılmalıdır.

Nem İçeriğinin Azaltılması: Yüksek nem içeriği, yanma verimliliğini düşürür ve daha fazla enerji kaybına yol açar. Yakıtın kurutulması için doğal kurutma (güneş veya hava ile) veya endüstriyel kurutma sistemleri (örneğin, döner tamburlu kurutucular) kullanılabilir. İdeal olarak, biyokütle yakıtlarının nem içeriği %10-20 aralığında olmalıdır.

Ön İşleme Teknolojileri: Yakıtların öğütülmesi, peletlenmesi veya briketlenmesi, homojen bir yapı sağlar ve yanma sürecini optimize eder. Ayrıca, biyokütlenin kimyasal içeriğini analiz ederek toksik maddelerin (örneğin, ağır metaller) uzaklaştırılması için kimyasal yıkama veya filtrasyon gibi yöntemler uygulanabilir.

Sınıflandırma ve Ayırma: Yakıtın içindeki taş, metal veya diğer yabancı maddeler, pislik tutucular ve manyetik ayırıcılar kullanılarak ayrıştırılmalıdır. Bu, hem yanma verimini artırır hem de ekipman hasarlarını önler.

1.3.3.2. Yanma Verimliliğini Artırmak

Yüksek kaliteli yakıtlar, daha verimli bir yanma sağlar ve zararlı emisyonları azaltır. Yakıt kalitesinin yanma sürecine etkisini optimize etmek için şu adımlar atılabilir:

Homojen Yakıt Karışımı: Farklı biyokütle türlerinin karıştırılması, yanma özelliklerini iyileştirebilir. Örneğin, yüksek nem içeren tarımsal atıklar, düşük nemli odun talaşı ile karıştırılarak daha stabil bir yanma sağlanabilir.

Yakıt Besleme Sistemlerinin İyileştirilmesi: Yakıt besleme ünitelerinin (örneğin, bunkerler) sızdırmazlık ve düzenli temizlik işlemleri, yakıtın tozlanmasını ve kirlenmesini önler. Ayrıca, otomatik besleme sistemleri, yakıtın yanma odasına düzenli ve kontrollü bir şekilde ulaşmasını sağlar.

Yanma Parametrelerinin İzlenmesi: Baca gazı analizörleri ve vakum transmitterleri, yakıtın yanma verimliliğini izlemek için kullanılmalıdır. Örneğin, karbon monoksit seviyesinin 100 ppm, oksijen oranının %5-6 ve karbondioksit oranının %14 civarında olması, verimli bir yanmayı işaret eder [15]. Düşük kaliteli yakıtlar, bu değerlerin dışına çıkarak verimsiz yanmaya neden olabilir.

1.3.3.3. Zararlı Emisyonların Azaltılması

Yakıt kalitesinin iyileştirilmesi, çevresel emisyonların azaltılmasında doğrudan etkilidir:

Düşük Kükürtlü Yakıtlar: Kükürt içeriği yüksek yakıtlar, yanma sırasında kükürt dioksit (SO_2) emisyonlarına yol açar ve bu, asit yağmuru oluşumuna katkıda bulunur. Düşük kükürtlü biyokütle materyallerinin kullanımı, bu emisyonları azaltır.

Kül İçeriğinin Kontrolü: Yüksek kül içeriği, baca gazındaki partikül madde miktarını artırır ve filtre sistemlerinin daha sık tıkanmasına neden olur. Kül içeriği düşük yakıtların seçilmesi, hem emisyonları azaltır hem de filtre sistemlerinin bakım maliyetlerini düşürür.

Ağır Metal ve Toksik Madde Kontrolü: Özellikle kanalizasyon çamuru gibi atıklarda bulunan ağır metaller, yanma sırasında toksik emisyonlara yol açabilir. Yakıtın kimyasal analizi ve uygun ön işlemler, bu tür kirleticilerin çevreye salınımını önler.

1.3.3.4. Ekipman Ömrü ve İşletme Verimliliği

Düşük kaliteli yakıtlar, kazan ve diğer ekipmanlarda kireçlenme, korozyon ve tıkanıklık gibi sorunlara yol açarak bakım maliyetlerini artırır ve tesisin ömrünü kısaltır. Yakıt kalitesinin iyileştirilmesi, bu sorunları azaltır:

Korozyon Önleme: Yüksek kükürt veya klor içeren yakıtlar, kazan borularında ve diğer metal yüzeylerde korozyona neden olabilir. Düşük kükürt ve klor içeriğine sahip yakıtların kullanımı, ekipmanların dayanıklılığını artırır.

Blöf Sistemlerinin Etkinliği: Yüksek kaliteli yakıtlar, kazan içinde daha az çözünmemiş madde birikimine yol açar. Bu, yüzey ve dip blöf sistemlerinin daha az sıklıkla kullanılmasına olanak tanır ve su tüketimini azaltır.

Enerji Verimliliği: Daha homojen ve düşük nem içeriğine sahip yakıtlar, daha yüksek kalorifik değer sunar ve enerji üretiminde verimliliği artırır. Bu, tesislerin yakıt sarfiyatını ve işletme maliyetlerini düşürür.

1.3.3.5. Çevresel ve Yasal Uyumluluk

Yakıt kalitesinin iyileştirilmesi, çevresel düzenlemelere uyumu kolaylaştırır ve tesislerin çevresel etkilerini azaltır:

Emisyon Sınırlarına Uyum: Türkiye’de Çevre Kanunu ve uluslararası standartlar (örneğin, AB Hava Kalitesi Direktifleri), emisyon sınırlarını belirler. Yüksek kaliteli yakıtlar, bu sınırlara uyumu kolaylaştırır ve cezai yaptırımlardan kaçınmayı sağlar.

Sürdürülebilirlik Sertifikaları: Biyokütle yakıtlarının sürdürülebilir kaynaklardan temin edilmesi ve uygun şekilde işlenmesi, tesislerin çevresel sertifikalar (örneğin, FSC veya PEFC) almasını destekler.

Atık Yönetimi: Kanalizasyon çamuru gibi atıkların yakıt olarak kullanılması, atık yönetimini iyileştirir, ancak bu yakıtların toksik maddelerden arındırılması için ön işlem şarttır.

1.3.3.6. Çalışan ve Toplum Sağlığı İçin Önemi

Yakıt kalitesinin iyileştirilmesi, çalışanların ve çevredeki toplulukların sağlığını korumada önemli bir rol oynar:

Çalışan Sağlığı: Düşük kaliteli yakıtların yanması sırasında açığa çıkan toz ve toksik gazlar, çalışanların solunum yolu hastalıkları ve cilt tahrişleri gibi sağlık sorunlarıyla karşılaşma riskini artırır. Yüksek kaliteli yakıtlar, bu riskleri azaltır ve daha güvenli bir çalışma ortamı sağlar.

Toplum Sağlığı: Emisyonların azalması, tesis çevresinde yaşayan toplulukların maruz kaldığı hava kirliliği ve asit yağmuru gibi riskleri düşürür. Ayrıca, toksik maddelerden arındırılmış yakıtlar, su ve toprak kirliliğini önleyerek toplum sağlığına katkıda bulunur.

1.3.3.7. Uygulama ve Yönetim Stratejileri

Yakıt kalitesini iyileştirmek için tesislerin aşağıdaki yönetim stratejilerini benimsemesi önerilir:

Yakıt Analizi ve Sertifikasyonu: Yakıtların kimyasal ve fiziksel özelliklerinin düzenli olarak analiz edilmesi, kalite standartlarına uygunluğunu garanti eder. Sertifikalı yakıt tedarikçileriyle çalışmak, bu süreci kolaylaştırır.

Tedarik Zinciri Yönetimi: Sürdürülebilir ve çevre dostu yakıt kaynaklarının seçilmesi, yerel biyokütle kaynaklarının kullanımını teşvik eder ve karbon ayak izini azaltır.

Eğitim ve Farkındalık: Tesis çalışanlarına yakıt kalitesinin önemi ve ön işlem yöntemleri hakkında eğitim verilmeli, yakıt depolama ve işleme süreçlerinde standart prosedürler uygulanmalıdır.

Biyokütle enerji santrallerinde yakıt kalitesinin iyileştirilmesi, yanma verimliliğini artırmak, zararlı emisyonları azaltmak, ekipman ömrünü uzatmak ve çevresel etkileri en aza indirmek için temel bir gerekliliktir. Nem içeriğinin azaltılması, toksik maddelerin ön işleme uzaklaştırılması, uygun yakıt seçimi ve yanma süreçlerinin optimizasyonu gibi stratejiler, hem tesis verimliliğini artırır hem de çevresel sürdürülebilirliği destekler. Yeşil kimya ilkeleri doğrultusunda, yüksek kaliteli yakıtların kullanımı, biyokütle santrallerinin çevresel ve toplumsal sorumluluklarını yerine getirmesine olanak tanır, aynı zamanda çalışan ve toplum sağlığını koruyarak daha güvenli bir işletme ortamı yaratır.

1.3.4. Düzenli Denetim ve Bakım

Biyokütle enerji santralleri, karmaşık sistemler ve yüksek riskli ekipmanlarla çalışır; bu nedenle düzenli denetim ve bakım, tesislerin güvenli, verimli ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir şekilde işletilmesi için kritik bir öneme sahiptir. Bu süreçler, ekipman arızalarını önler, emisyon seviyelerini kontrol altında tutar, iş kazalarını azaltır ve su kaynaklarının korunmasına

katkıda bulunur [26]. Yeşil kimya ilkeleri çerçevesinde, düzenli denetim ve bakım, çevresel etkileri en aza indirirken tesislerin uzun ömürlü olmasını ve enerji üretiminde verimliliği artırmasını sağlar. Bu bölümde, biyokütle enerji santrallerinde düzenli denetim ve bakım süreçlerinin önemi, uygulanacak stratejiler ve bu süreçlerin çevre, çalışan sağlığı ve tesis performansı üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde ele alınmaktadır.

1.3.4.1. Ekipman Denetimi ve Bakım Planlaması

Biyokütle santrallerinde kullanılan kazanlar, pompalar, vanalar, filtre sistemleri, hava kilitleri, vakum transmitterleri ve emisyon ölçüm cihazları gibi ekipmanların düzenli denetimi ve bakımı, tesisin sorunsuz çalışmasını sağlar. Bu süreçler için şu adımlar önerilir:

Periyodik Denetim Programları: Tesislerde haftalık, aylık ve yıllık bakım planları oluşturulmalı, her ekipmanın kullanım kılavuzlarına uygun denetim aralıkları belirlenmelidir. Örneğin, pislik tutucuların süzgeçleri haftalık olarak kontrol edilmeli, blöf vanaları ve emisyon cihazları ise aylık olarak kalibre edilmelidir.

Durum Bazlı Bakım (Condition-Based Maintenance): Sensörler ve SCADA sistemleri aracılığıyla ekipmanların performansı gerçek zamanlı olarak izlenmeli, anormal durumlar (örneğin, pompa kavitasyonu veya filtre tıkanıklığı) tespit edildiğinde hedefe yönelik bakım yapılmalıdır.

Önleyici Bakım (Preventive Maintenance): Potansiyel arızaların önüne geçmek için düzenli bakım yapılmalı; örneğin, kazan borularında kireçlenme veya korozyon oluşumunu önlemek için kimyasal yıkama işlemleri gerçekleştirilmelidir.

Kayıt ve Raporlama: Her denetim ve bakım işlemi detaylı bir şekilde kaydedilmeli, bakım geçmişine dayalı analizlerle gelecekteki bakım ihtiyaçları öngörülmelidir.

1.3.4.2. Emisyon Kontrol Sistemlerinin Bakımı

Emisyon kontrol sistemleri, biyokütle santrallerinin çevresel etkilerini azaltmada kritik bir rol oynar. Bu sistemlerin düzenli bakımı, hem çevresel standartlara uyumu sağlar hem de çalışan ve toplum sağlığını korur:

Baca Gazı Analizörleri ve Emisyon Cihazları: Bu cihazların düzenli kalibrasyonu, karbon monoksit (100 ppm), oksijen (%5-6) ve karbondioksit (%14) gibi ideal emisyon değerlerinin doğru ölçülmesini garanti eder. Kalibrasyon yapılmayan cihazlar, yanlış veriler sunarak verimsiz yanmaya veya çevresel kirliliğe yol açabilir.

Filtre Sistemlerinin Temizliği: Multisiklonlar, torbalı filtreler ve elektrostatik filtreler, baca gazındaki partikül maddeleri tutar. Bu filtrelerin düzenli temizliği ve değiştirilmesi, tıkanıklıkları önler ve emisyonları azaltır. Örneğin, torbalı filtrelerin haftalık kontrolü ve temizliği, partikül emisyonlarını minimumda tutar.

Scrubber Sistemleri: Kükürt dioksit ve diğer asidik gazları nötralize eden scrubber sistemlerinin kimyasal maddeleri düzenli olarak yenilenmeli ve sistemin verimliliği test edilmelidir.

1.3.4.3. Su ve Atık Su Sistemlerinin Bakımı

Su kaynaklarının korunması ve kazan verimliliğinin sürdürülmesi için su ve atık su sistemlerinin düzenli bakımı şarttır:

Besi Suyu Sistemleri: Kazan besi suyu hazırlanmasında kullanılan su yumuşatma ve arıtma sistemleri düzenli olarak kontrol edilmeli, iyon değiştirme reçineleri veya filtreler yenilenmelidir. Bu, kazan içinde kireçlenme ve çamurlaşmayı önler.

Blöf Sistemleri: Yüzey ve dip blöf vanalarının düzenli kontrolü, kazan içinde biriken çözünmemiş maddelerin ve çamurun atılmasını sağlar. Otomatik motorlu blöf vanalarının çalışır durumda olduğundan emin olunmalı, aksi takdirde boru tıkanıklıkları veya kazan susuz kalma riski ortaya çıkabilir.

Atık Su Arıtma: Atık su arıtma sistemlerinin filtreleri ve membranları düzenli olarak temizlenmeli, kimyasal madde seviyeleri kontrol edilmelidir. Atık suyun çevreye deşarj edilmeden önce standartlara uygunluğu analiz edilmelidir.

1.3.4.4. Mekanik ve Güvenlik Ekipmanlarının Bakımı

Biyokütle santrallerinde kullanılan mekanik ekipmanlar, iş kazalarını önlemek ve sistem verimliliğini sürdürmek için düzenli olarak denetlenmelidir:

Hava Kilitleri: Cüruf deşarjı sırasında hava girişini önleyen hava kilitlerinin sıkışmaları veya arızaları, alev püskürmesi ve zehirli gaz sızıntılarına yol açabilir. Bu nedenle, hava kilitlerinin iç mekanizmaları düzenli olarak temizlenmeli ve sıcak cürufarla temas riskine karşı uyarılar yapılmalıdır.

Pompalar ve Vanalar: Pompaların emiş ağzlarındaki pislik tutucuların haftalık temizliği, kavitasyon riskini azaltır. Basınç düşürücü vanalar, emniyet vanaları ve minimum akış vanaları gibi mekanik bileşenlerin düzenli kontrolü, patlama veya susuz kalma gibi riskleri önler.

Buhar Sayaçları ve Sensörler: Buhar sayaçlarının ve ısı sensörlerinin elektriksel bağlantıları kontrol edilmeli, kablolar izolasyonlu ve blendajlı olmalıdır. Ayrıca, yüksekte bulunan sayaçlara erişim için korkuluklu platformlar inşa edilerek güvenli bakım sağlanmalıdır.

1.3.4.5. Çalışan Sağlığı ve Güvenliği İçin Bakım Uygulamaları

Düzenli denetim ve bakım, çalışanların iş sağlığı ve güvenliğini doğrudan etkiler:

Riskli Alanların Denetimi: Yüksek sıcaklık ve basınç içeren alanlar (örneğin, kızgın buhar hatları, kondensatörler) düzenli olarak kontrol edilmeli, izolasyon malzemeleri yenilenmelidir. Bu, yanık ve haşlanma risklerini azaltır.

Toz Kontrolü: Yakıt besleme üniteleri ve bunkerlerde biriken tozlar, yangın ve solunum yolu hastalıkları riski oluşturur. Bu alanların sızdırmazlık kontrolleri ve düzenli temizliği, çalışan sağlığını korur.

Eğitim ve Prosedürler: Bakım ekipleri, her ekipmanın güvenli bakım prosedürleri konusunda eğitilmeli, sistem durdurulmadan riskli müdahalelerden kaçınılmalıdır. Örneğin, hava kilitlerine veya kazan gözetleme kapaklarına bakım sırasında sistemin kapalı olduğundan emin olunmalıdır.

1.3.4.6. Çevresel ve Yasal Uyumluluk

Düzenli denetim ve bakım, çevresel düzenlemelere uyumu destekler ve tesislerin yasal sorumluluklarını yerine getirmesini sağlar:

Emisyon Standartlarına Uyum: Türkiye’de Çevre Kanunu ve uluslararası standartlar (örneğin, AB Hava Kalitesi Direktifleri), emisyon sınırlarını belirler. Düzenli bakım, emisyon kontrol sistemlerinin standartlara uygun çalışmasını sağlar.

Su Kirliliği Kontrolü: Atık su arıtma sistemlerinin düzenli bakımı, su kaynaklarının kirlenmesini önler ve Su Çerçeve Direktifi gibi düzenlemelere uyumu garanti eder.

Denetim Raporları: Tesisler, bakım ve denetim faaliyetlerini detaylı bir şekilde belgelemeli, çevresel etki değerlendirme (ÇED) raporları için bu verileri kullanmalıdır. Bu, hem yasal uyumluluğu sağlar hem de çevresel performansın izlenmesine olanak tanır.

1.3.4.7. Maliyet ve Verimlilik Avantajları

Düzenli denetim ve bakım, tesislerin işletme maliyetlerini düşürür ve enerji verimliliğini artırır:

Ekipman Ömrünün Uzatılması: Korozyon, kireçlenme ve tıkanıklık gibi sorunların önlenmesi, kazan, pompa ve filtre sistemlerinin ömrünü uzatır, böylece yenileme maliyetlerini azaltır.

Enerji Verimliliği: Temiz filtreler ve optimize edilmiş yanma sistemleri, yakıt tüketimini azaltır ve enerji üretiminde verimliliği artırır.

Arıza ve Duruşların Azaltılması: Önleyici bakım, beklenmedik arızaları ve üretim duruşlarını en aza indirir, bu da tesislerin ekonomik performansını iyileştirir.

Düzenli denetim ve bakım, biyokütle enerji santrallerinin güvenli, verimli ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir şekilde işletilmesi için vazgeçilmez bir unsurdur. Emisyon kontrol sistemlerinin, su ve atık su sistemlerinin, mekanik ekipmanların ve güvenlik önlemlerinin düzenli bakımı, çevresel etkileri azaltır, çalışan sağlığını korur ve tesislerin uzun vadeli performansını artırır. Yeşil kimya ilkeleri doğrultusunda, bakım süreçlerinin sistematik bir şekilde uygulanması, çevresel düzenlemelere uyumu sağlar ve tesislerin toplum ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirir. Bu yaklaşım, biyokütle santrallerinin sürdürülebilir enerji üretiminde daha güvenilir ve çevre dostu bir rol oynamasını destekler.

1.3.5. Toplumsal Farkındalık ve Eğitim

Biyokütle enerji santralleri, yenilenebilir enerji üretiminde önemli bir rol oynasa da, çevresel etkileri, insan, bitki ve hayvan sağlığı üzerindeki potansiyel riskleri nedeniyle toplumsal farkındalık ve eğitim, bu tesislerin sürdürülebilirliğini ve toplumsal kabulünü artırmak için kritik bir öneme sahiptir. Yeşil kimya ilkeleri çerçevesinde, çalışanların, yerel toplulukların ve diğer paydaşların biyokütle santrallerinin işleyişi, çevresel etkileri ve sağlık riskleri konusunda bilinçlendirilmesi, hem tesislerin güvenli işletilmesini sağlar hem de çevresel ve sosyal sorumlulukların yerine getirilmesine katkıda bulunur. Bu bölümde, toplumsal farkındalık ve eğitim süreçlerinin önemi, uygulanabilecek stratejiler ve bu süreçlerin çevre, sağlık ve tesis performansı üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde ele alınmaktadır.

1.3.5.1. Çalışan Eğitimi ve İş Sağlığı Güvenliği

Biyokütle enerji santrallerinde çalışan personelin, tesisin karmaşık sistemleri ve potansiyel riskleri hakkında kapsamlı bir şekilde eğitilmesi, iş

kazalarını önlemek ve güvenli bir çalışma ortamı oluşturmak için temel bir gerekliliktir:

Ekipman ve Proses Eğitimi: Çalışanlar, kazanlar, pompalar, hava kilitleri, emisyon kontrol sistemleri, blöf vanaları ve diğer kritik ekipmanların doğru kullanımı ve bakım prosedürleri konusunda eğitilmelidir. Örneğin, hava kilitlerine müdahale sırasında sistemin durdurulması gerektiği veya yüksek sıcaklık içeren buhar hatlarında izolasyonun önemi gibi konular vurgulanmalıdır.

İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) Eğitimleri: Çalışanlar, zehirli gazlara maruziyet, yüksek sıcaklık ve basınç riskleri, toz birikiminden kaynaklanan yangın tehlikeleri ve mekanik ekipmanlarla ilgili riskler hakkında düzenli olarak bilgilendirilmelidir. Kişisel koruyucu donanımların (örneğin, solunum maskeleri, eldivenler, kulak koruyucular) doğru kullanımı konusunda pratik eğitimler verilmelidir.

Acil Durum Prosedürleri: Yangın, gaz sızıntısı, kazan patlaması veya diğer acil durumlar için tahliye planları ve ilk yardım eğitimleri düzenlenmeli, bu senaryolar düzenli tatbikatlarla pekiştirilmelidir.

Kimya ve Çevre Bilinci: Su arıtma ve yumuşatma süreçlerinde kullanılan kimyasalların güvenli kullanımı, atık su yönetimi ve emisyon kontrolü gibi konular, çalışanların çevresel sorumluluklarını anlamalarını sağlar.

1.3.5.2. Yerel Toplulukların Bilgilendirilmesi

Biyokütle santrallerinin çevresinde yaşayan topluluklar, tesislerin çevresel ve sağlık etkileri konusunda bilgilendirilmeli ve bu süreçlere dahil edilmelidir:

Emisyon ve Sağlık Riskleri Hakkında Bilgilendirme: Yerel halk, baca gazı emisyonlarının (örneğin, karbon monoksit, kükürt dioksit) solunum yolu hastalıkları ve asit yağmuru gibi potansiyel etkileri hakkında bilgilendirilmelidir. Tesislerin emisyon kontrol sistemleri ve çevresel uyumluluk çabaları, şeffaf bir şekilde paylaşılmalıdır.

Su ve Toprak Kirliliği Farkındalığı: Tesislerin su kaynaklarına ve tarım alanlarına olan etkileri, yerel topluluklarla açık bir şekilde tartışılmalı, atık su arıtma sistemlerinin önemi vurgulanmalıdır. Örneğin, asit yağmurunun tarım ürünlerine zarar verebileceği ve su arıtma sistemlerinin bu riski nasıl azalttığı açıklanabilir.

Toplumsal Katılım Programları: Tesisler, yerel topluluklarla düzenli toplantılar veya bilgilendirme seminerleri düzenleyerek geri bildirim almalı ve endişeleri ele almalıdır. Bu, tesislerin toplumsal kabulünü artırır ve güven oluşturur.

Çevresel İzleme Raporlarının Paylaşımı: Tesislerin emisyon, su kalitesi ve atık yönetimi verileri, yerel yönetimler ve halkla paylaşılmalı, böylece şeffaflık sağlanmalıdır.

1.3.5.3. Eğitim Programlarının İçeriği ve Yöntemleri

Toplumsal farkındalık ve eğitim programlarının etkili olabilmesi için kapsamlı ve erişilebilir bir içerikle sunulması gerekir:

Etkileşimli Eğitim Modülleri: Çalışanlar için interaktif simülasyonlar, videolar ve uygulamalı eğitimler, karmaşık teknik süreçlerin anlaşılmasını kolaylaştırır. Örneğin, SCADA sistemlerinin kullanımı veya baca gazı analizörlerinin yorumlanması gibi konular görselleştirilerek öğretilebilir.

Dil ve Kültüre Uygun Materyaller: Eğitim materyalleri, çalışanların ve yerel toplulukların diline ve kültürel bağlamına uygun olarak hazırlanmalıdır. Basit ve anlaşılır bir dil kullanımı, teknik bilginin daha geniş kitlelere ulaşmasını sağlar.

Sürekli Eğitim ve Güncellemeler: Teknolojik gelişmeler ve yeni çevresel düzenlemeler doğrultusunda eğitim programları düzenli olarak güncellenmelidir. Örneğin, yeni emisyon kontrol teknolojileri veya su arıtma yöntemleri hakkında yenilikçi eğitimler düzenlenmelidir.

Sertifikasyon Programları: Çalışanlara yönelik iş güvenliği ve çevre yönetimi sertifikasyon programları, hem bireysel yetkinlikleri artırır hem de tesislerin yasal uyumluluğunu güçlendirir.

1.3.5.4. Çevresel ve Sosyal Sorumluluk Eğitimi

Biyokütle santrallerinin çevresel etkilerini azaltmak için toplumsal farkındalık, yalnızca teknik bilgiyle sınırlı kalmamalı, aynı zamanda çevresel ve sosyal sorumluluk bilincini de kapsamalıdır:

Yeşil Kimya İlkelerinin Tanıtımı: Çalışanlar ve yerel topluluklar, yeşil kimya ilkeleri (örneğin, toksik madde kullanımının azaltılması, enerji verimliliği) hakkında bilgilendirilmeli, bu ilkelerin tesis operasyonlarına nasıl entegre edildiği açıklanmalıdır.

Sürdürülebilirlik Farkındalığı: Biyokütle enerjisinin yenilenebilir bir kaynak olarak avantajları ve çevresel riskleri dengeli bir şekilde sunulmalı, yerel toplulukların sürdürülebilir enerji üretimine katkısı vurgulanmalıdır.

Atık Yönetimi Eğitimi: Yakıt olarak kullanılan biyokütle atıklarının doğru şekilde toplanması, işlenmesi ve bertaraf edilmesi, hem çevre kirliliğini azaltır

hem de tesis verimliliğini artırır. Bu süreçlere yerel toplulukların katılımı teşvik edilmelidir.

1.3.5.5. İşbirlikleri ve Dış Paydaşlarla Eğitim

Toplumsal farkındalığı artırmak için tesisler, dış paydaşlarla işbirliği yaparak daha geniş kapsamlı eğitim programları düzenleyebilir:

Üniversiteler ve Araştırma Kurumları: Akademik kurumlarla işbirliği, biyokütle enerjisi ve çevresel etkiler üzerine eğitim programlarının geliştirilmesine katkı sağlar. Örneğin, emisyon kontrolü veya su arıtma teknolojileri üzerine seminerler düzenlenebilir.

Yerel Yönetim ve STK'lar: Yerel yönetimler ve sivil toplum kuruluşlarıyla ortak projeler, toplulukların çevresel farkındalığını artırır ve tesislerin sosyal sorumluluk projelerine katılımını güçlendirir.

Sektörel Eğitim Platformları: Enerji sektörü dernekleri veya çevre odaklı kuruluşlarla işbirliği, tesis çalışanlarına ve yerel halka yönelik profesyonel eğitim programları sunabilir.

1.3.5.6. Çalışan ve Toplum Sağlığı Üzerindeki Etkiler

Toplumsal farkındalık ve eğitim, çalışan ve toplum sağlığını doğrudan etkiler:

Çalışan Sağlığı: Eğitimli personel, zehirli gazlara maruziyet, yüksek sıcaklık riskleri ve mekanik tehlikeler gibi konularda daha bilinçli hareket eder. Örneğin, hava kilitlerine müdahale sırasında sistemin durdurulması gerektiğini bilen bir çalışan, ciddi iş kazalarından kaçınabilir.

Toplum Sağlığı: Yerel toplulukların emisyon ve su kirliliği riskleri hakkında bilgilendirilmesi, sağlık sorunlarının erken tespitini ve önlenmesini sağlar. Örneğin, asit yağmurunun tarım alanlarına etkileri hakkında bilinçli olan çiftçiler, koruyucu önlemler alabilir.

Psikososyal Faydalar: Tesislerin şeffaf iletişim ve eğitim programları, yerel halkta güven oluşturur ve tesislerin çevresel etkilerine yönelik endişeleri azaltır.

1.3.5.7. Yasal ve Çevresel Uyumluluk

Toplumsal farkındalık ve eğitim, tesislerin yasal ve çevresel sorumluluklarını yerine getirmesine de katkı sağlar:

Yasal Uyumluluk: Türkiye’de Çevre Kanunu ve İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, çalışanların eğitimi ve çevresel bilgilendirme süreçlerini zorunlu kılar. Eğitim programları, bu yasal gerekliliklere uyumu destekler.

Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED): Tesislerin çevresel etkilerinin halkla paylaşılması, ÇED raporlarının bir parçası olarak değerlendirilir. Eğitim programları, bu sürecin şeffaflığını artırır.

Sürdürülebilirlik Sertifikaları: Eğitimli personel ve bilinçli toplumlar, tesislerin çevresel sertifikalar (örneğin, ISO 14001) almasını kolaylaştırır.

Toplumsal farkındalık ve eğitim, biyokütle enerji santrallerinin çevresel, sosyal ve operasyonel sürdürülebilirliğini artırmak için vazgeçilmez bir unsurdur. Çalışanların teknik ve güvenlik eğitimleri, yerel toplumların çevresel riskler ve sağlık etkileri konusunda bilinçlendirilmesi, tesislerin hem daha güvenli hem de toplum tarafından daha kabul edilebilir olmasını sağlar. Yeşil kimya ilkeleri doğrultusunda, eğitim programları çevre bilincini güçlendirir, emisyon ve kirlilik risklerini azaltır ve tesislerin uzun vadeli performansını destekler. Bu süreç, biyokütle santrallerinin çevresel ve sosyal sorumluluklarını yerine getirerek daha sürdürülebilir bir enerji geleceğine katkıda bulunmasını sağlar.

Kaynakça

- [1] D. Małgorzata, K. Artur ve P. Stanisław, «Combustion Efficiency of Various Forms of Solid Biofuels in Terms of Changes in the Method of Fuel Feeding into the Combustion Chamber,» *Energies*, cilt 17, no. 12, p. 2853, 2024.
- [2] G. Hêriş, S. Heibatolah ve M. Cosimo, «The Impact of Economic Growth, Population, and Energy Consumption on Environmental Degradation: Evidence from OECD Countries,» *Environmental Science and Pollution Research*, cilt 30, no. 1, p. 94515–94536, 2023.
- [3] P. Preeti, G. Ru, C. Angzu ve P. Rajendra, «Navigating the Energy Transition in India: Challenges and Opportunities Towards Sustainable Energy Goal,» *Water-Energy Nexus*, 2025.
- [4] R. Annette C., C. Sharan L., L. Christopher M., P. Michael K., W. Susan, Q. Will ve L. Ari, «Potential Occupational Exposures and Health Risks Associated with Biomass-Based Power Generation,» *International Journal of Environmental Research and Public Health*, cilt 7, no. 12, pp. 8542-8605, 2015.
- [5] C. Sayın, M. K. Balki ve S. Erdoğan, Yakıtlar ve Yanma, Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., 2021.
- [6] Z. Peng, B. Yu, G. Dong, X. Wang, K. Hou ve Y. Zhou, «Significant co-benefits of air pollutant and CO2 emission reduction from biomass energy utilization in power plants in China,» *Science of The Total Environment*, cilt 887, p. 164116, 2023.
- [7] Z. Lu, L. Yaojie, L. Jin, X. Ran, L. Xinlei, Z. Jinfeng, S. Guofeng, P. Bo, L. Xiangdong ve T. Shu, «Pollutant Emissions and Oxidative Potentials of Particles from the Indoor Burning of Biomass Pellets,» *Environmental Science & Technology*, cilt 58, no. 36, pp. 16016-16027, 2024.
- [8] B. Rahmat, C. F. Puri, E. S. Lubis, E. Krisnawaty, L. Qomariyah ve W. Siregar, «Literature Review: Health Impact of Coal Combustion Emissions in Power Plant on Adult Respiratory Systems,» *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, cilt 13, no. 2, pp. 11-19, 2021.
- [9] S. Zhongyuan, L. Dongfang, Y. Huaxiang, S. Zhiqiang, P. Wanjun, Z. Zhenlei, M. Bingkun ve J. Zhang, «The water hammer in the long-distance steam supply pipeline: a computational fluid dynamics simulation,» *Cogent Engineering*, cilt 9, no. 1, pp. 1-17, 2022.
- [10] A. O. S. a. H. «Boiler Operator Dies after Being Burned in Boiler Explosion,» OSHA, ABD, 2006.
- [11] Ç. Güler ve Z. Çobanoğlu, Enerji ve Çevre, Ankara: TC. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 1997.
- [12] L. Ziba, S. Soudabe, S.-A. Ahmad, M. Amir Houshang ve A. Majid, «Effect of Combined Exposure to Noise and Vibration on Hearing,» *Indian*

- Journal of Occupational and Environmental Medicine*, cilt 23, no. 3, pp. 121-125, 2019.
- [13] W. Mueller, M. Loh, S. Vardoulakis, H. J. Johnston, S. Steinle, N. Precha, W. Kliengchuay, K. Tantrakarnapa ve J. W. Cherrie, «Ambient particulate matter and biomass burning: an ecological time series study of respiratory and cardiovascular hospital visits in northern Thailand,» *Environmental Health*, cilt 19, no. 77, 2020.
- [14] A. Dizdar, E. Dizdar ve C. Dizdar, «Global Environmental Problems,» %1 içinde *Social ecological system approach for improving ecological literacy of youth*, Türkiye, Türkiye Ulusal Ajans, 2019, pp. 32-59.
- [15] T. Yılmaz ve H. Bulut, «Türkiye için yeni dış ortam sıcaklık tasarım değerleri,» %1 içinde *V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İzmir: TMMOB Makina Mühendisler Odası, 2001.
- [16] B. Çakan, «Yenilenebilir enerji ve biyo yakıt tabanlı yakıt hücresi sistemleri ile gemilerde hotel yükleri için enerji ve güç yönetim sistemi tasarımı,» Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, 2025.
- [17] M. T. Lim, A. Phan, D. Roddy ve A. Harvey, «Technologies for measurement and mitigation of particulate emissions from domestic combustion of biomass: A review,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, cilt 49, pp. 574-584, 2015.
- [18] İ. Kul, «Partikül madde özelliklerinin, emisyonlarının ve dağılımının hava kalitesinin kontrolünde yeri ve önemi,» Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 1991.
- [19] B. Comer, E. Georgeff ve L. Osipova, «Air emissions and water pollution,» ICCT Consulting Report, Washington DC, 2020.
- [20] «A computational fluid dynamics investigation of the utilization of waste biomass fuels for syngas production in a downdraft reactor,» *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, cilt 14, no. 4, pp. 1074-1087, 2024.
- [21] T. C. M. B. Sistemi, «Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği,» 2008. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=12188&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>. [Erişildi: 15 Ekim 2025].
- [22] F. V. Boz ve A. Yönetken, «Biyokütle enerji santrallerinde emisyon,» %1 içinde *5th International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences Congress*, Bosnia and Herzegovina, 2021.
- [23] Ö. Demir, M. Yıldız, Ü. Sercan ve C. Ş. Arzum, «Atıksuların Geri Kazanılması ve Yeniden Kullanılması,» *Harran University Journal of Engineering*, cilt 2, pp. 1-14, 2017.
- [24] E. Gödekmerdan, *Kurutulmuş Aritma Çamurunu Biyokömürleştirerek Kullanım Olanaklarının Araştırılması*, İzmir: Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.

- [25] K. Al, «Biyokütle Enerji Santralleri İçin Tarımsal Atıklar: Şanlıurfa İlinde Tarımsal Atık ve Artıkların Değerlendirilmesi,» *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, cilt 4, no. 2, pp. 67-76, 2021.
- [26] S. Karayılmazlar, N. Saraçoğlu, Y. Çabuk ve R. Kurt, «Biyokütlenin Türkiye’de enerji üretiminde değerlendirilmesi,» *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, cilt 13, no. 19, pp. 63-75, 2011.

