

BİYOKÜTLENİN ÇİMENTO SANAYİNDE ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMASI



İÇİNDEKİLER

ŞEKİLLER.....	3
TABLolar.....	4
1 GİRİŞ.....	5
2 BİYOKÜTLE POTANSİYELİ	9
3 ÇİMENTO TESİSLERİ	18
4 BİYOKÜTLENİN ÇİMENTO KLİNKER FIRININDA KULLANMA POTANSİYELİ	25
5 BİYOKÜTLE HAZIRLAMA İŞLEMİ.....	32
6 KLİNKER FIRINDA BİYOKÜTLE KULLANIMI VE SERA GAZI AZALTIMI	39
6.1 MESSEBO ÇİMENTO UYGULAMASI	48
6.1.1 Yakıt Değişimi.....	48
6.1.2 CO ₂ Azaltımı.....	50
6.1.3 Geri Dönüşü	50
6.1.4 Messebo Biomass Project.....	50
7. BİYOKÜTLE KULLANMA EKONOMİSİ.....	51
8. KAYNAKLAR.....	53

ŞEKİLLER

Şekil 1.1 Modern Kuru Proses Çimento Üretimi	5
Şekil 2.1 Yanma Odalı Pelet Kazanı	10
Şekil 2.2 Tarımsal Atıkların Bölgelere Göre Dağılımı	13
Şekil 3.1 Çimento Üreten Ülkeler Ve Kapasiteleri	19
Şekil 3.2 Türkiye'deki Çimento Fabrikaları Haritası	21
Şekil 3.3 Çimento Üretiminde Enerji Tüketimi.....	24
Şekil 4.1 Çeşitli Biyokütle Bakıyelerinin Kömürün Yerine Kullanılabilirlik Miktarları.....	27
Şekil 4.2 Biyokütle Karbon Dönüşüm	31
Şekil 5.1 Biyokütle Bakıyesi Ara Depolama.....	34
Şekil 5.2 Tarladan Çimento Tesisine Biyokütle Taşınması İşlemi	35
Şekil 5.3 Biyokütlenin Çimento Sanayinde Kullanım Adımları	36
Şekil 5.4 Biyokütle Balyalama Ünitesi	37
Şekil 5.5 Biyokütlenin Balyalanması	37
Şekil 6.1 Biyokütlenin Çimento Sanayinde Kullanımı	39
Şekil 6.2 Biyokütle Bakıyesinin Fırına Beslenmesi.....	42
Şekil 6.3 Çimento Sanayi Yakma Prosesi Ve Biyokütlenin Kullanımı	43
Şekil 6.4 Biyokütlenin Kullanımı.....	44
Şekil 6.5 Biyokütlenin Kullanımı.....	44
Şekil 6.6 Biyokütle Besleme Sistemi	45
Şekil 6.7 Biyokütle Besleme	46
Şekil 6.8 Balyalanmamış Susam Kabuğu Ve Sapı Geçici Depolama Görüntüsü	49

TABLolar

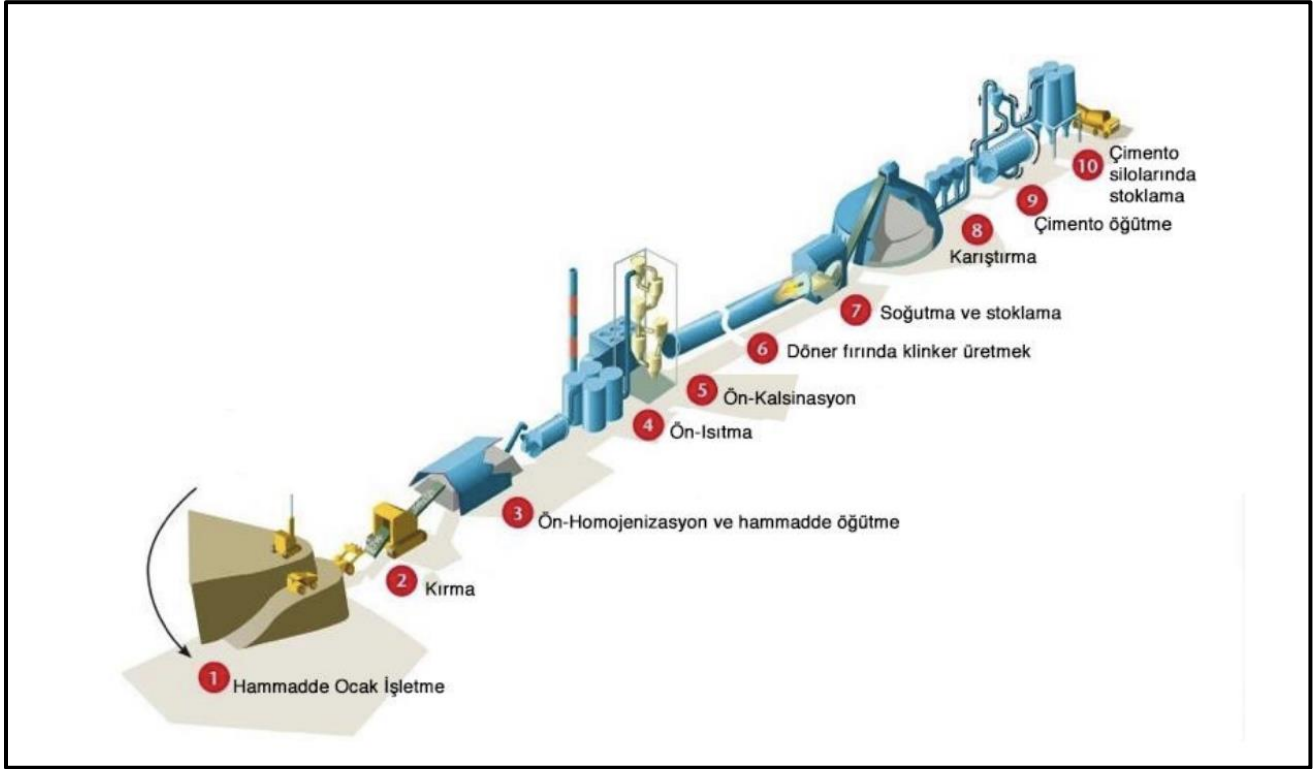
Tablo 1.1 Değişik Fırın Proseslerinde Isı Tüketimi	6
Tablo 2.1 Biyokütle Türleri, Üretim Miktarı, Kullanılabilir Miktarı Ve Isıl Değeri	12
Tablo 2.2 Biyokütle Bakiyelerinin Kimyasal Özelliği Ve Kalorifik Değeri	14
Tablo 2.3 Çeşitli Biyokütle Bakiyelerinin, Dönüşüm Atıklarının Ve Orman Artıklarının Nihai Analizleri Ve Kalorifik Değeri.....	15
Tablo 2.4 Biyokütle Bakiyelerinin Ve Orman Artıklarının Özellikleri	16
Tablo 3.1 Enerji Tüketim Değeri	22
Tablo 3.2 Çimento Fırın Tiplerine Göre Tipik Ortalama Isı Girdileri	23
Tablo 3.3 Çimento Fırın Tiplerine Göre Tipik Ortalama Isı Girdileri	23
Tablo 4.1 Tarımsal Biyokütle Bakiyesinin En Yakın Ve Nihai Özelliği.....	28
Tablo 4.2 Alternatif Yakıt Olarak Biyoyakıt Bakiyelerinin Karakteristikleri.....	29

1 GİRİŞ

Türkiye Çimento sektörü hızla gelişen bir sektördür ve inşaat sektörünün lokomotifidir. Kurulu kapasite olarak 2015 verilerine göre Avrupa da birinci ve Dünya da altıncı sırada bulunmaktadır. Sektör, son yirmi yılda kurulu klinker kapasitesini iki kattan fazla arttırarak 76 milyon tonun üzerine çıkartmıştır. Sağlanan yıllık ortalama %4-5 üzerindeki hızlı büyüme çevreye karşı duyarlı mevcut en iyi teknolojiler ile gerçekleştirilmiştir.

Dünyada enerji amaçlı olarak %14 oranında biokütle kullanılmaktadır.

Şekil 1.1’de modern bir çimento tesisinin (ön kalsinasyon ile kuru proses kullanan çimento tesisi) üretim prosesini göstermektedir.



Şekil 1.1 Modern Kuru Proses Çimento Üretimi

Gelişmiş ülkelerde ortalama kuru sistem klinker ünitesinde enerji tüketimi, çeşitli operasyon ve teknolojik parametrelere bağlı olarak 2,88-2,926 kJ/ton klinker ile 3.55-4,180 kJ/ton klinker arasında enerji harcanmaktadır. Çin’de daha yüksek ortalama enerji tüketimine ek olarak 0.08 ton CO₂/ton klinker üretimine veya yaklaşık 99 Milyon ton CO₂/yıl fazla sera gazı salınımına yol açmaktadır.

Yeni tesisler ve büyük iyileştirmeler, mevcut en iyi teknikler (BAT) kullanarak, çok kademeli ön ısıtıcılar ve ön kalsinatörlü kuru işlem fırınlarında enerji tüketimi 2,900 ila 3,300 GJ/t klinker arasında değişmektedir.

Çimento sanayi değişik proses tiplerinin termik enerji gereksinimleri Tablo 1.1’de verilmektedir. Günümüzde mevcut en iyi tekniklere (MET)’e uyum için kuru proses + ön ısıtıcı + ön kalsinasyon sistemlerine sahip atıktan türetilmiş yakıt kullanma kabiliyetine sahip fırınlar kullanılmaktadır.

Tablo 1.1 Değişik Fırın Proseslerinde Isı Tüketimi

Özgül Termal Enerji Talebi (MJ/ton klinker)	Proses
3000 - <4000	Kuru proses, çok kademeli (üç ila altı kademeli) siklonlu ön ısıtıcılar ve ön kalsinasyon fırınları için
3100 - 4200	Kuru proses, siklon ön ısıtıcılı döner fırınlar için
3300 - 5400	Yarı-kuru/yarı-yaş prosesler (Lepol fırın) için
5000'e kadar	Kuru proses uzun fırınlar için
5000 - 6400	Yaş proses uzun fırınlar için
3100 - 6500 ve üstü	Şaft fırınlar için ve özel çimentoların üretimi için

Türkiye, önemli tarım ülkelerinden biridir. Tarımsal üretim esnasında önemli miktarda biyokütle bakiyesi, orman artığı, yatak altlığı ve dönüşüm atığı oluşmaktadır. Biyokütle bakiyesi, orman artığı, yatak altlığı ve dönüşüm atığı tekniğine uygun doğru şekilde yönetilirse yegâne yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Yerel ölçekte Enerji Çiftlikleri Projesi ile oluşturulacak biyokütle bakiyelerini çimento gibi enerji yoğun sanayilerde kullanmak mümkündür. Enerji Çiftlikleri Projesi ile tarımsal alanları, bazı orman bölgeleri, dönüşüm tesisleri ve hayvan çiftliklerini, biyoyakıt bakiyesi, orman artığı, dönüşüm atığı ve yatak altlıkları üretimi noktaları haline dönüştürerek yerel ölçekte ekonomik olarak temin edilmesi dahil kalkınmaya katkı sağlamak, sera gazı karbon dioksit (CO₂) emisyonunu ve fosil yakıt bağımlılığını azaltmak, yenilenebilir enerji kaynağını ve yeşil yakıt uygulamasını hayata geçirmek ve çimento tesisleri üzerindeki negatif etkiyi minimize etmek mümkündür.

Toprağın ekosistemini ve doğasını koruyarak, karbonun toprakta birikmesini sağlayarak ve özellikle azot kaybı oluşmadan biyokütle bakiyesi ve orman artığı üretmek mümkündür.

Anız yakılmasına dur demek için anızlar minimum boyutta kesilerek anız hasadı yapılırsa çimento sanayinde alternatif yakıt olarak kullanılabilir ve hem de toprakta ikinci ürün üretilebilir.

Kırsal bölgelerde yeni iş alanları, ekonomik fırsatlar ve gelir kaynakları oluşturmak, tarım arazilerinde oluşan ve organik madde olan biyokütle bakiyelerini, orman artıklarını, yatak altlıklarını ve dönüşüm atıklarını, doğru yönetmek, tekniğine uygun şekilde verimli yakılmasını sağlamak, ekonomik girdi haline dönüştürmek, sera gazı karbon dioksit (CO₂), emisyonunu azaltmak, enerji yoğun çimento sanayinde fosil yakıt tüketiminde dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla Türkiye’de önemli bir potansiyeldir.

Çimento sanayinde biyokütle bakiyesi, orman artığı, yatak altlığı ve dönüşüm atığı gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanıldığı oranda net sıfır karbon azaltımı sağlanabilir. “**Net sıfır karbon ayak izi**” sahibi olmak, bir kuruluşun ölçülen karbon emisyonlarına eşdeğer karbon dengeleyici üreterek veya satın alarak (biyokütle kullanarak) net sıfır karbon emisyonlarının elde edilmesini ifade eder.

Belçika, Fransa, Almanya, Hollanda ve İsveçre çimento tesislerinde kullandıkları toplam enerjisini fosil yakıt yerine alternatif enerji kaynağı kullanarak %35’inden %70’ine ikame oranlarına çıkardı.

Dünya’da sanayileşmiş önde gelen biyokütle tüketen ülkelerden ikisi Finlandiya ve İsveç’tir. Biyokütle, Finlandiya’nın toplam birincil enerji tedarikinin %19,4’ünü ve bölge ısıtmasında yakıt karışımının %7,9’unu karşılamaktadır. İsveç’te, biyokütle toplam birincil enerji arzının %15’ini ve bölge ısıtmasında yakıt karışımının %53’ünü oluşturmaktadır. Finlandiya ve İsveç’ten gelen önemli bir ders, biyokütle bakiyesi pazarlarını geliştirmek için güçlü ve istikrarlı teşvikler yararlı olmuştur. Biyokütle bakiyeleri pellet ve briketleme gibi ön işleme tabi tutulduktan ve belli kalite elde edildikten sonra ısınmada yakıt olarak kullanılmaktadır. Biyokütle, ısınma amaçlı yakıt olarak kullanılacaksa soba, kazan gibi yakma sistemi teknolojisi geliştirilmeli ve sistemin yanma verimliliği yüksek olmalı, üstten yakmalı olmalı, hava sızdırmaz ve hava/yakıt oranı kontrol edilebilir olmalıdır.

Diğer yandan Norveç'teki Norcem çimento tesisi 2004-2005 projesini revize etmiş ve fosil yakıt yerine yılda 100.000 ton biyokütle bakiyesi kullanmaktadır.

Dünya'da biyokütle bakiyesini, orman artığını, dönüşüm atığını ve hayvan yatak altlığını çimento sanayinde kullanan onlarca firma bulunmaktadır.

Yenilenebilir biyokütle bakiyesi, orman artığı ve dönüşüm atığının üretilmesiyle verimli ve kontrol edilebilir enerji kaynağı olarak kullanılması ile ekolojik denge korunmuş olur.

Dünya'da 2011 yılında enerji endüstrisi 2,1 milyar ton biyokütle tüketmiştir. Avrupa Birliği'nin 2011 yılında tarım ve ormancılıktan elde edilen yaklaşık 1,8 milyar ton biyokütle ve biyoenerji üretimine (elektrik enerjisi, ısı ve biyoyakıtlar) yaklaşık 25 milyon ton ayrılmış 2 milyar ton biyokütle kullanacağı tahmin edilmektedir. Dünya çapında üretilen biyoenerji, yılda yaklaşık 480 milyon ton atık (normal olarak biyokütle külü olarak bahsedilecek) üreten biyokütlenin doğrudan yanmasından (yani yakma) kaynaklanır.

Uluslararası Enerji Birliği'ne (IEA) üye ülkeler 2050'li yıllarda enerji gereksinimlerinin % 25-50'sini biyoenerji ile karşılamak için büyük projeler yürütmektedirler.

Dünya çapındaki çimento endüstrisi, hem geleneksel fosil yakıtlara olan enerji bağımlılığını azaltmak hem de olumsuz çevresel etkileri azaltmak için alternatif yakıtların kullanımını arttırmayı amaçlamaktadır.

Türkiye'de çimento sanayi ile çevresindeki toprağı işleyen çiftçiyi buluşturarak biyokütle bakiyeleri, yatak altlığı, orman artığı ve dönüşüm atığı yenilenebilir enerji amaçlı kullanılır, böylece çiftçi toprağı güvenle bağlanır, toprağını kullanır, ilave gelir elde edilir ve tarımsal üretimde verimlilik artırılır. Çimento sanayi, yerel biyokütle bakiyesini, orman artığını, yatak altlığını ve dönüşüm atığını alternatif enerji amaçlı kullanarak ithal fosil yakıtta daha az bedel ödeyebilir, enerji arz güvenliği sağlanabilir, enerjide dışa bağımlılık ve sera gazı CO2 emisyonu azaltılabilir, yerel kalkınmaya katkıda bulunulur ve çimento tesisleri üzerinde çevresel baskılar minimize edilir.

2 BİYOKÜTLE POTANSİYELİ

Biyokütle bakiyesini, yatak altlığını, orman artığını ve dönüşüm atığını enerji amaçlı olarak doğru yönetebilmek için potansiyel kaynakları çevresel etkiler dahil tekno-fizibilite çalışmasıyla iyi tespit etmek gereklidir.

Türkiye'deki tarımsal atıkların %90'ını temsil eden mevcut tarımsal biyokütle bakiye potansiyeli, toplam enerji tüketiminin kabaca %22–27'sine eşit olduğu tespit edilmiştir. Biyokütle bakiyeleri, orman artıkları, yatak altlığı ve dönüşüm atığı önemli alternatif enerji hammaddesi olduğu halde maalesef yeterli ölçüde teknolojiye uygun şekilde verimli olarak kullanılmamaktadır.

Biyokütle dünyada önemli enerji kaynağıdır. Biyokütle;

1. Isınmada yakıt olarak kullanılabilir. Uçucu madde içeriği yüksek olan biyokütle bakiyesini, orman artığını ve dönüşüm atığını ön işleme dahi tabi tutulmadan, bağlantı yerlerinden ve kapağından hava sızdıran ve alttan tutuşturmalı soba ve kazanlarda kontrolsüz şartlarda doğrudan ısınma amaçlı yakıt olarak kullanılması ile uçucu maddeler yanmadan gaz fazına geçerek bacadan salındığı için bölgede ciddi hava kirliliğine ve sağlık harcaması artmasına neden olmaktadır. Ayrıca yanma hızı kontrol edilemediği için birim zamanda aşırı yakıt tüketimine ve oda sıcaklığının ani değişmesine neden olur.
2. Biyokütle ve orman artığı, pellet ve briket haline getirildikten sonra hava sızdıran ve alttan tutuşturmalı soba ve kazanlarda kullanılması halinde, yine uçucu maddeler yanmadan gaz fazına geçip bacadan salındığı için hava kalitesini kötüleştirir ve aşırı yakıt tüketimine neden olur. Hava sızdırmaz, üstten yakmalı, ızgara aralığı uygun boyutta, yanma bölgesi yalıtımlı ve hava/yakıt oranı ayarlanabilir olan soba ve kazanlarda pellet ve briketin yakılması ile yerleşim bölgesinin hava kalitesinde önemli iyileşme sağlanır. Ayrıca oluşan külün çevreyle uyumlu değerlendirilirse fevkalade önemlidir.



Şekil 2.1 Yanma Odalı Pelet Kazanı

3. Biyokütle, çimento tesislerinin yakınına kurulacak termik santrallerde enerji amaçlı yakıt olarak kullanılabilir. Doğrudan yakma tesislerinde enerji üretim verimliliği yaklaşık %25'dir. Bazı iyileştirmelerle bu değer %30 çıkarılabilir. Oluşan ısı doğru yönetilirse verimlilik çok daha yüksek olabilir. Önemli miktarda kül oluşur. Külün çimento sanayinde doğru ve tekniğine uygun yönetilmesi mümkündür. Biyokütleinin sürdürülebilir şekilde üretilmesi ve kullanılması sera gazı CO₂ emisyonunu azaltacaktır. Ayrıca kombine ısı ve güç üretim (CHP) tesisinde biyokütle değerlendirilebilir. Bir ton çimento üretmek için yaklaşık 99 kWh elektrik enerjisi ihtiyacı, kurulacak biyokütle termik santralinden sağlanabilir.
4. Biyokütle, gazlaştırma tekniği ile çalışan termik santrallerde enerji amaçlı kullanılabilir ve enerji üretim verimliliği yaklaşık %35'dir. Oluşan ısı tekniğine uygun doğru yönetilirse verimlilik çok daha yüksek olur. Oluşan kül çimento sanayinde doğrudan kullanılabilir. Çimento üretiminde ihtiyaç olan elektrik enerjisi kurulacak biyokütle gazlaştırma santralinden sağlanabilir.
5. 3 ve 4 nolu maddelerdeki tesisler çimento tesisleri yakınında kurulursa elde edilen elektrik enerjisi ve oluşan kül çimento tesislerinde enerji ve alternatif hammadde olarak kullanılabilir.

6. Çimento tesisleri, yakıt amaçlı olarak biyokütleyi kullanabilir. Klinker fırınına veya uygun besleme yerine biyokütle homojen ve dengeli olarak beslenmelidir. Yanma verimliliği yaklaşık %98'dir. Kül, klinkerin bileşeni olarak kullanılır. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak sürdürülebilir şekilde kullanılması sera gazı CO2 net emisyon değeri kullanıldığı oranda azaltacaktır.

İsveç'te biyokütleden üretilen elektrik enerjisinin payı, %32'dir. Dünyada biyokütleden enerji ve ısı üretimi doğanın dengesi korunduğu için **Yeşil Enerji** olarak kabul görmektedir.

Tarım arazilerinde biyokütle bakiyesi, dönüşüm atığı, orman artığı ve yatak altlığı olarak;

- ✓ Mısır sapı, buğday sapı, arpa sapı, yulaf sapı, günebakan sapı, pamuk sapı, tütün sapı, fasulye sapı, soya fasulyesi sapı, tütün sapı, kanola sapı, kenevir sapı, çeltik sapı,
- ✓ Kolza tohumu, yağı alınmış ayçiçek tohumu,
- ✓ Çeltik kabuğu, yer fıstığı kabuğu, fıstık kabuğu, fındıkkabuğu,
- ✓ Sera atıkları (Antalya ve benzeri bölgeler),
- ✓ Meyve suyu üretiminde oluşan çilek, vişne, şeftali, kayısı çekirdekleri,
- ✓ Soya fasulyesi yaprağı,
- ✓ Tavuk ve büyükbaş hayvan yatak altlığı vb.,
- ✓ Orman artığı,

gibi bakiyeler, artıklar ve atıklar oluşmaktadır.

Tarım faaliyetleri sonucu oluşan tarla bazlı bakiyeler: saplar, saman, tavuk kumu, üstler ve yapraklardır. Dönüşüm proseslerinde oluşan proses bazlı atıklar: kabuk, çekirdek, küspe, gliserin, talaş ve hayvan yatak malzemesidir.

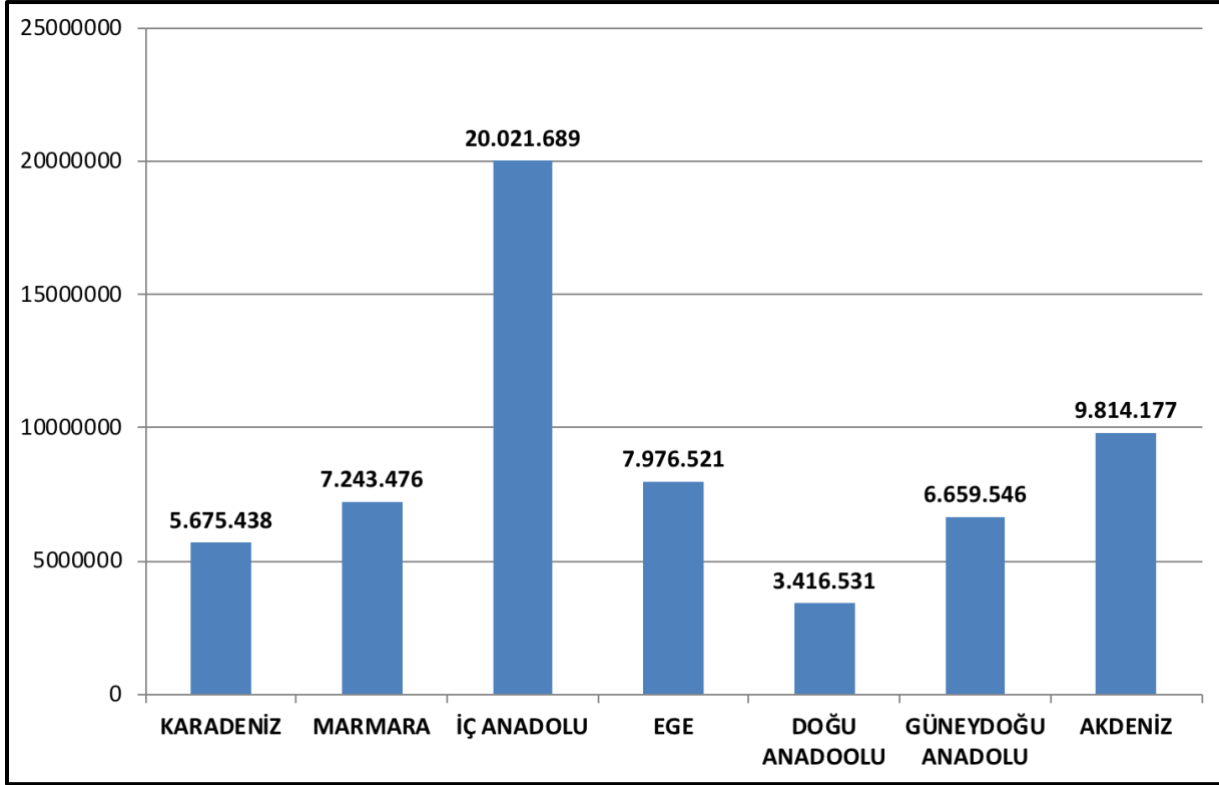
2014 yılında yapılan bir çalışmaya göre Türkiye'de oluşan gerçek biyokütle bakiyesi miktarı, alternatif enerji amaçlı kullanılabilir miktarı ve birim ısıl değeri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 Biyokütle Türleri, Üretim Miktarı, Kullanılabilir Miktarı ve Isıl Değeri

Ürünler	Atıklar	Üretim (ton)	Alan (ha)	Toplam Atıklar (ton)		Kullanılabilir Atık (ton)	Kullanılabilirlik (%)	Birim Isıl Değeri (MJ/kg)	Toplam Isıl Değeri (GJ)
				Teorik	Gerçek				
Buğday	Saman	22.439.042	9.424.785	29.170.755	23.429.907	3.514.486	15	17,9	62.909.299
Arpa	Saman	8.327.457	3.732.992	9.992.948	8.963.012	1.344.452	15	17,5	23.527.910
Çavdar	Saman	253.243	145.907	405.188	358.040	53.706	15	17,5	939.855
Yulaf	Saman	322.830	150.459	419.678	321.236	48.185	15	17,4	838.419
Mısır	Sap	2.209.601	565.109	5.911.902	4.970.259	2.982.155	60	18,5	55.169.868
	Sömek			596.592	1.907.307	1.144.384	60	18,4	21.056.666
Pirinç	Saman	331.563	59.879	582.555	209.532	125.719	60	16,7	2.099.507
	Kabuk			88.527	77.747	62.198	80	12,98	807.330
Tütün	Sap	181.382	222.691	362.763	410.778	246.467	60	16,1	3.968.119
Pamuk	Sap	2.292.988	680.177	6.317.181	2.520.281	1.512.169	60	18,2	27.521.476
	Çırçır atığı			481.527	732.220	585.776	80	15,65	9.167.394
Ayçiçeği	Sap	836.269	545.963	2.341.554	2.259.121	1.355.472	60	14,2	19.247.702
Yer fıstığı	Saman	55.241	25.167	127.054	28.638	22.910	80	20,74	475.153
	Kabuk			27.621					
Soya	Saman	28.795	15.064	60.468	21.872	13.123	60	19,4	254.586

Tablo 2.1 incelendiği zaman Türkiye’de kullanılabilir miktarda yaklaşık yılda 12 702 000 ton biyokütle bakiyesi oluştuğu anlaşılmaktadır.

Başka bir çalışmada Türkiye’de tahminen toplamda yılda 27,84 milyon ton tarımsal bakiyenin ve atığın oluştuğu tespit edilmiş ve bölgelere göre dağılımı Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2 Tarımsal Atıkların Bölgelere Göre Dağılımı

27,84 milyon ton/yıl tarımsal atık yanında dönüşüm atığı ve hayvan yatağı atığı, çimento, kireç ve termik santral gibi tesislerde alternatif enerji kaynağı, yakılarak veya gazlaştırılarak yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Biyokütle bakiyeleri ve dönüşüm atıkları fosil yakıt yerine kullanıldıkça dışa bağımlılık azalacaktır.

Diğer bir çalışmada ise kırsalda oluşan 50-55 milyon ton/yıl biyokütle atığı, yatak altığı, orman artığı ve dönüşüm atığı çimento gibi enerji yoğun sanayilerde ve yenilenebilir enerji üretiminde kullanılırsa bu Türkiye'nin enerji tüketiminin %22-27 eşittir.

Türkiye'de yılda yaklaşık alt ısı değeri 3.000 Kcal/kg olan 5 milyon ton orman artığı olduğu tahmin edilmektedir.

Bir diğer çalışmada çeşitli biyokütle bakiyelerin ve kömürlerin kimyasal özelliği ve kalorifik değerleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2 Biyokütle Bakıyelerinin Kimyasal Özelliği Ve Kalorifik Değerleri

YAKIT TİPİ	% ANALİZ						TAKRİBİ ANALİZ			LHV (MJ/kg)
	C	H	O	N	S	KÜL	VM	FC	KÜL	
BİYOKÜTLE										
Buğday sapsarı	46,70	6,30	41,20	0,40	0,10	5,30	79,63	16,75	3,62	18,40
Arpa sapsarı	46,30	6,40	43,40	0,30	0,10	3,50	73,84	18,84	7,32	17,10
Çavdar sapsarı	47,80	6,00	41,20	0,40	0,10	4,50	83,02	15,01	1,97	17,70
Yulaf	46,30	6,02	43,47	0,13	0,11	3,97	78,88	17,04	4,08	17,70
Pirinç	41,78	4,63	36,57	0,70	0,08	16,24	69,33	17,25	13,42	15,30
Mısır	45,60	5,40	43,36	0,30	0,04	5,30			5,30	16,80
Mısır koçanları	46,58	5,87	45,46	0,47	0,01	1,61	80,10	18,54	1,36	17,60
Mısır gövdeleri	43,65	5,56	43,31	0,61	0,01	6,86	75,17	19,25	5,58	16,50
Pamuk Sapsarı	47,05	5,35	40,77	0,65	0,21	5,97	73,29	21,20	5,51	17,20
Çin kılıçotu (miscanthus sinensis)	47,20	6,50	41,70	0,70	0,13	2,70	81,00		2,70	17,50
Bazı Linyit Kömürler										
Elbistan	47,36	3,57	13,28	1,78	5,82	28,19	39,34	32,47	28,19	11,30
Kangal	41,61	2,78	9,77	1,71	5,63	38,50	38,70	22,80	38,50	11,50
Seyitömer	54,07	3,53	14,34	1,74	1,45	24,87	36,55	38,58	24,87	15,20
Soma	28,51	2,50	12,03	0,65	0,80	55,51	17,66	26,83	55,51	5,50
Tunçbilek	63,74	4,58	9,25	2,47	1,37	18,59	25,72	55,69	18,59	14,50
Yatağan	48,79	3,12	18,41	1,22	5,11	23,35	33,15	41,50	23,35	13,70

Tablo 2.2 incelendiği zaman kuru bazda biyokütle bakiyesi, orman artığı ve dönüşüm atıklarının çoğunun yerli kömürlerin kalorifik değerinden yüksek, kül ve kükürt oranlarının ise düşük olduğu görülmektedir.

Çeşitli biyokütle bakıyelerinin ve dönüşüm atıklarının nihai analizleri ve kalorifik değerleri Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.3 Çeşitli Biyokütle Bakiyelerinin, Dönüşüm Atıklarının ve Orman Artıklarının Nihai Analizleri ve Kalorifik Değerleri

Biyoküteller	C	H	O	N	Kül	HHV	
						Deney	Hesaplanan
Zeytin kabuğu	50	6,2	42,2	1,6	3,6	19	18,8
Fındık kabuğu	52,9	5,6	42,7	1,4	1,4	19,3	19,2
Fındık tohumu	51	5,4	42,3	1,3	1,8	19,3	19,2
Yumuşak odun	52,1	6,1	41	0,2	1,7	20	19,8
Sert odun	48,6	6,2	41,1	0,4	2,7	18,8	19
Buğday samanı	45,5	5,1	34,1	1,8	13,5	17	17,3
Odun kabuğu	53,1	6,1	40,6	0,2	1,6	20,5	20,3
Atık malzemesi	48,3	5,7	45,3	0,7	4,5	17,1	17,2
Mısır koçanı	49	5,4	44,6	0,4	1	17	17,3
Çay atıkları	48,6	5,5	39,5	0,5	1,4	17,1	17,2
Mısır istifi	-	-	-	-	3,7	17,8	-
Çam odunu	51,9	6,1	40,9	0,3	1,5	20,1	19,7
Kayın odunu	49,5	6,2	41,2	0,4	1,4	19,2	19
Tütün lifi	-	-	-	-	17,2	15	-
Aylandız odunu	49,5	6,2	41	0,3	1,7	19	18,9
Tütün sapı	-	-	-	-	2,4	17,7	-

Tablo 2.3 incelendiği kül oranlarının oldukça düşük ve kuru bazda kalorifik değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Çeşitli biyokütle bakiyesi örneklerinin uçucu madde, nem, kül ve kalorifik değeri Tablo 2.4'de verilmiştir.

Tablo 2.4 Biyokütle Bakıyelerinin ve Orman Artıklarının Özellikleri

Biyoküteller	Kararlı Karbon	Uçucu Madde	Kül	Nem	Hesaplanan HHV
Zeytin Kabuğu	26,1	70,3	3,6	9,2	19,2
Fındık Kabuğu	28,3	69,3	1,4	9,0	19,7
Fındık Tohumu	27,0	71,2	1,8	6,8	19,4
Yumuşak Odun	28,1	70,0	1,7	8,8	19,6
Sert Odun	25,0	72,3	2,7	7,8	19,0
Buğday Samanı	23,5	63,0	13,5	8,5	18,7
Odun Kabuğu	31,8	66,6	1,6	8,8	20,4
Atık Malzemesi	16,8	78,7	4,5	11,0	17,4
Mısır Koçanı	12,5	86,5	1,0	12,1	16,6
Çay Atıkları	13,6	85,0	1,4	6,5	16,8
Mısır İstifi	17,6	78,7	3,7	10,6	17,6
Çam Odunu	28,3	70,2	1,5	7,6	19,7
Kayın Odunu	24,6	74,0	0,4	7,4	18,9
Tütün Lifi	11,2	72,6	17,2	8,4	16,3
Aylandız Odunu	24,8	73,5	1,7	8,1	19,0
Tütün Sapı	18,0	79,6	2,4	8,9	17,6

Türkiye’de yılda 3,24 milyon ton pamuk sapı yan ürün olarak ortaya çıkmaktadır. Pamuk üretimi/pamuk sapı üretim oranı 2.755’dir. Pamuk sapının nem oranı %12’dir. Pamuk sapının tarlada toplandığında yoğunluğu yaklaşık 140 kg/m³’dür. Bir hektar pamuk tarlasında yaklaşık 3,3-3,4 ton pamuk sapı oluşmaktadır. Örneğin, Hatay ili ova bölgesinde yılda yaklaşık 200 bin ton pamuk sapı oluşmaktadır. Bu önemli bir alternatif enerji kaynağı maddesidir. Toplanan pamuk sapının açıkta depolanmasında mahsur yoktur.

Türkiye’de yaklaşık 200 bin ton/yıl çeltik kabuğu oluşmaktadır. Çeşitli ülkelerde çeltik kabuğu çimento tesislerinde alternatif yakıt olarak kullanılmaktadır. Çeltik kabuğu çimento fabrikalarında alternatif enerji kaynağı olarak kullanılabilir ve 80 bin ton/yıl fosil yakıt petrokok ithalatı azaltılabilir.

Hektar başına 2 ton oluşan susam sapı, (balyalı hale getirildiğinde yoğunluğu 0.7 ton/m³, en düşük kalorifik değeri 3519 Kcal/kg (14.7 MJ/kg), nem içeriği %6,1 (%3,2), kül oranı %6,1, uçucusu %74,1, sabit karbon %16,6), çimento sanayinde fosil yakıt yerine biyokütle olarak kullanılabilir ve sera gazı CO₂ emisyonu azaltılabilir.

Türkiye’de 2014 yılı verilerine göre 263.146 da. alanda susam ekimi yapılmıştır ve yılda yaklaşık 52.629 bin ton susam sapı biyokütle bakiyesi oluşmuştur.

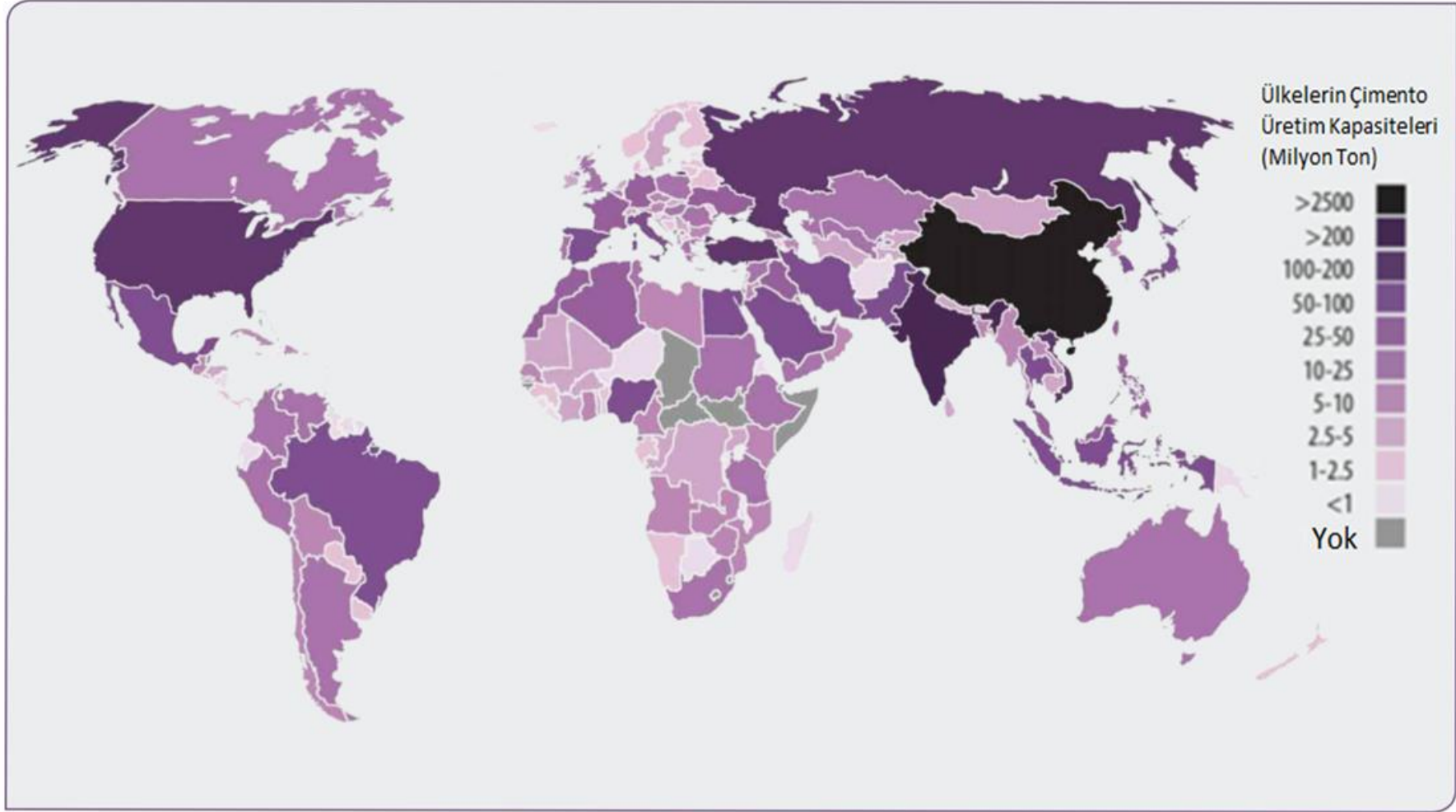
Türkiye’de yaban otu dahil biyokütle bakiyesi, orman artığı ve dönüşüm atığı bölgesel bazda türü, kapasitesi, yeterli miktarda temin edilebilirliği ve potansiyelini içerir dağılım Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak ve GIS veri analizi yapılarak haritası çıkarılmalıdır. Bu çalışma ile projenin uygulanabilirliğini ve karlılığı ortaya çıkarabilir.

Biyokütle bakiyesinin yoğunluğu düşük olduğu için bir yerden diğer yere taşınması için ön işleme tabi tutarak yoğunluğunu artırmak gereklidir.

Tarım arazilerinde oluşan biyokütle bakiyelerinin ve orman artıklarının toplanması ve geçici depolanması çiftçiler için verimli, uzun vadeli sözleşmelerle, cazip ve sürdürülebilir şekilde üretilmesi sağlanırsa verimlilik yüksek olur, kırsal kalkınma ve yöre insanının toprağa bağlanması sağlanabilir.

3 ÇİMENTO TESİSLERİ

Dünya’da 159 ülkede çimento fabrikası bulunmaktadır. 141 ülkede klinker üretiliyor ve 18 ülke sadece ithal klinker öğütülüyor. Çimento üreten ülkeler ve bölgeler, toplam çimento kapasitesi ile renk kodlu olarak Harita incelendiği zaman en fazla çimento üretiminin olduğu ülkenin Çin olduğu görülmektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Çimento Üreten Ülkeler ve Kapasiteleri

'de görüldüğü gibi Türkiye'nin çimento üretim potansiyeli 135 milyon ton/yıldır.

Global çimento rehberine göre Çin dışı ülkelerde 2087 adet çimento fabrikası var. Çin'de ise 861 adet çimento fabrikası bulunmaktadır.

Türk çimento sanayisi 2014 yılı itibarıyla 52 entegre tesis, 18 öğütme-paketleme tesisi, 15 bin çalışanı ve 70 milyon tonun üzerindeki üretimi ile Avrupa'nın en büyük sektördür.

Türkiye'de çimento tesisleri dağılımı Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2 Türkiye'deki Çimento Fabrikaları Haritası

Çimento sanayi enerji yoğun sanayi kollarından biridir. Global olarak sanayi sektöründe tüketilen enerjinin %12-15'i çimento tesislerinde tüketilmektedir. Bu yüzden çimento sektöründe enerjinin verimli ve tasarruflu kullanılması ve alternatif enerji kaynaklarının uygulamaya konması fevkalade önemlidir.

Sektörde toplam maliyetlerin %38'ini yakıt, %21'ini elektrik enerjisi oluşturmaktadır. Türk çimento sanayiinde kullanılan yakıtın yaklaşık %70'i petrokok ve %28'u ise kömür oluşturmaktadır.

Çimento sanayinde fosil yakıtların %90 klinker fırınında tüketilmektedir. Çimento üretiminde toplam giderlerin %55-60'ni enerji oluşturmaktadır.

Global sera gazı CO₂ salınımının %5-7'dan ve endüstrinin ise %26'dan çimento sanayi sorumludur.

1990 yılında çimento tesislerinde elektrik enerjisi tüketimi 116 kWh/ton iken bazı iyileştirmelerle bu değer 104 kWh/tona düşürülmüştür.

1 ton çimento üretmek için yaklaşık üst kalorifik değeri 6200 Kcal/kg olan yaklaşık 105 kg kömür veya (eşdeğeri petrokok) ve 99 kWh elektrik enerji tüketilir. Çimento sanayinde önemli giderlerden biriside elektrik enerjisidir.

Tablo 3.1 Enerji Tüketim Değerleri

Enerji Tüketimi	
Yakıt (*1)	105
Elektrik Gücü (kWh)	99
(*1) : üst kalorifik değeri 6.200 kcal/kg olan kömürün kg eşdeğeri	

Diğer yandan çeşitli diğer çalışmalarda çimento sanayinde enerji tüketimi Tablo 3.2 **Error! Reference source not found.** ve Tablo 3.3 verilmiştir.

Tablo 3.2 Çimento Fırın Tiplerine Göre Tipik Ortalama Isı Girdileri

Fırın Tipi	Isı Girişi, MMBtu/ton Çimento
Islak	5,5
Uzun Kuru	4,1
Ön Isıtıcı	3,5
Ön Isıtıcı/Ön Yakmalı	3,1

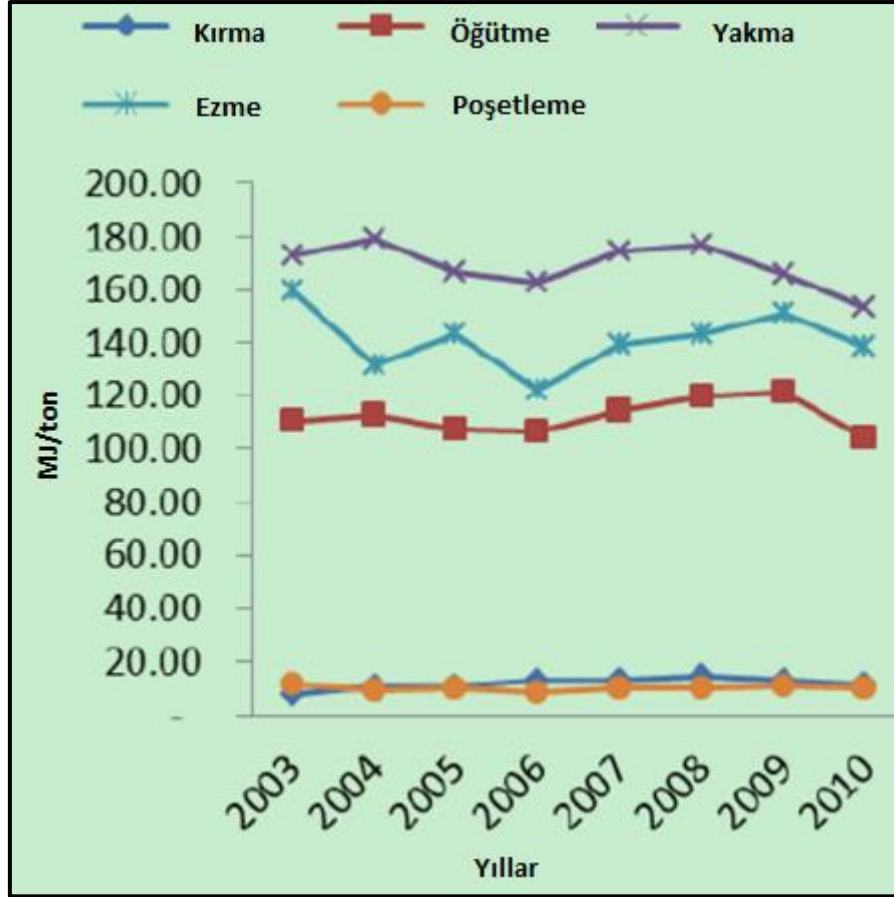
Tablo 3.3 Çimento Fırın Tiplerine Göre Tipik Ortalama Isı Girdileri

Fırın Tipi	Ortalama Yakıt Tüketimi (GJ/t)
Islak Fırınlar	6,0
Kuru Fırınlar- Tek Kademeli Ön Isıtıcı	4,5
Kuru Fırınlar- Çok Kademeli Ön Isıtıcı	3,6

Birim dönüşüm;

- ✓ 1 GJ = 0,947 MMBtu,
- ✓ 1 kcal = 0,0041868 MJ,
- ✓ 1GJ = 1000 MJ

Çimento üretiminin, yıllara göre, hangi kademesinde üretilen çimento miktarı başına ne kadar enerji tüketildiği Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3 Çimento Üretiminde Kademelerinde Enerji Tüketimi

2017 yılında Türkiye’de çimento sanayi sektöründe yaklaşık 4,35 milyon ton ithal petrokok, 3.13 milyon ton ithal linyit kömürü (steam coal) ve 1,04 milyon ton yerli kömür kullanılmıştır.

Dünya’da sudan sonra en fazla kullanılan malzeme betondur ve betonun ana bileşeni çimentodur. 1950 yıllarda yılda 2 milyar ton beton kullanılırken bugün yılda 25 milyar ton tüketilmektedir. 2020 yılında çimento tüketiminin 3,4 milyar ton/yıl olması hesaplanmaktadır.

4 BİYOKÜTLENİN ÇİMENTO KLİNKER FIRININDA KULLANMA POTANSİYELİ

Türkiye’de yaklaşık 27,84 milyon ton/yıl kullanılabilir tarımsal atık ile 5 milyon ton orman artığı olduğu tahmin edilmektedir. Tablo 4.1 incelendiği zaman biyokütle bakiyelerinin kalorifik değerlerinin farklı olduğu görülmektedir.

Biyokütle bakiyesi, orman artığı, yatak altlığı ve dönüşüm atığının çimento sanayinde kullanılması halinde;

- ✓ Biyokütle bakiyesi, orman artığı ve dönüşüm atığı oluşması minimize edilecek ve yerel tarımsal bakiye ve atık sektörü oluşacak,
- ✓ Yerel tarımsal kalkınmaya katkı verilecek,
- ✓ Fosil yakıtta olan bağımlılık azalacak,
- ✓ Klasik (liner) ekonomiden döngüsel ekonomiye geçiş sağlanacak,
- ✓ Biyokütlenin kullanıldığı oranda sera gazı CO₂ emisyonu azalacak,
- ✓ Çimento sanayinin çevresel ve sosyal etkisi azalacak,
- ✓ Hem tarım alanlarında hemde çimento sanayinde Sıfır Atık Projesi fiili olarak uygulanacak,
- ✓ Ana bileşeni organik madde olan biyokütle bakiyesi hızlı yanacak, tam okside olacak ve bozulacak,
- ✓ Yanma sonucu minimum oranda oluşan kül klinker bileşeni olarak kullanılacak,

Çimento sanayinde alternatif yakıt olarak kullanılacak biyokütle bakiyesi, orman artığı, yatak altlığı ve dönüşüm atığı özelliklerini garanti altına almak için kalite güvence sistemi uygulanması ve çimento fırınlarında ham madde ve/veya yakıt olarak kullanılan her atığın fiziksel ve kimyasal özelliği analizi:

- ✓ Kalite sürekliliği,
- ✓ Karlılığı,
- ✓ Temin edilebilirliği,
- ✓ Sürekliliği,
- ✓ Kullanılabilirliği,
- ✓ Emisyon limitleri garantiliği,

- ✓ Ağır metal garantiliği,
- ✓ Ekonomikliği,
- ✓ Pişirebilirliği,
- ✓ Reaktivite,
- ✓ Elemanların içeriği (Na, K, Cl, S, alkali ve fosfat),
- ✓ Kül kompozisyonu ve içeriği,
- ✓ Klorür içeriği (%0,6 den az olması istenir)
- ✓ Kalorifik değer (tipik olarak 1910 Kcal/kg üzerinde olması),
- ✓ Fiziksel özellikler (boyutu, yoğunluğu, homojenliği),
- ✓ Fırında taşlama yapma özelliği,
- ✓ Oranlama teknolojisi,
- ✓ Nem içeriği

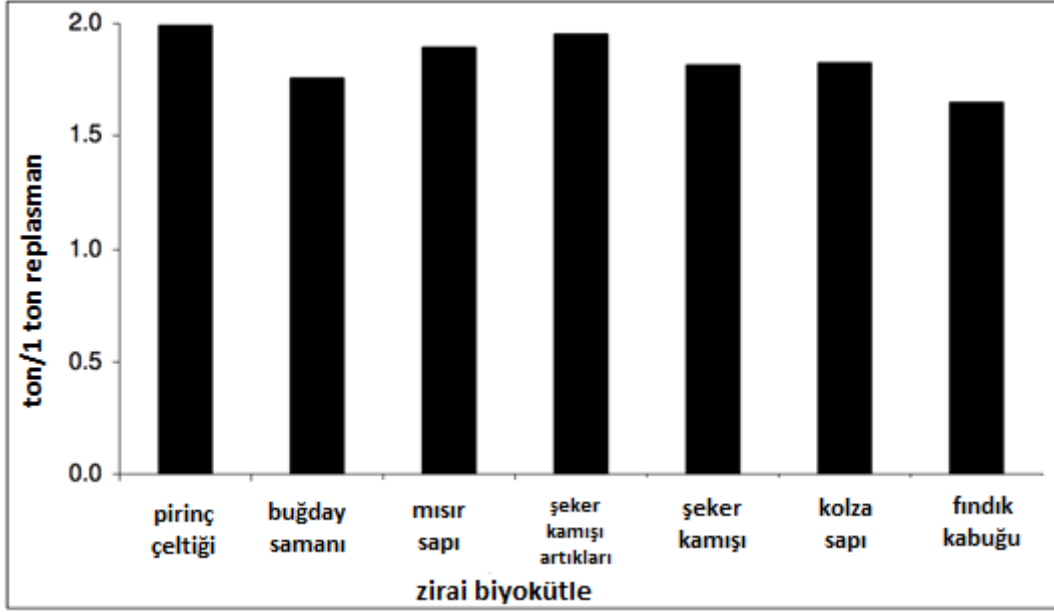
önceden bir çalışma yapılarak tespit edilmelidir. Yakıt olarak kullanılacak biyoküttele nem oranı önemlidir. Biyokütlenin nem oranı arttıkça yakıtın kalorisini düşürecek ve ilave yakıt tüketimini artacaktır.

Küresel ölçekte, tarımsal biyokütle bakiyeleri, 2001 yılında çimento üretiminde kullanılan yakıt ikamelerinin %0.25'ini oluşturmaktadır.

Lafarge grubu, alternatif yakıt üzerine yaptığı çalışma ile ton çimento üretimi başına CO₂ emisyonunu 628 kg'dan 611 kg'a düşmüştür.

Bir ton kömürün yerini almak için gerekli olan tarımsal biyokütle bakiyelerinin miktarı, bakiyenin enerji değerine ve su içeriğine bağlıdır. Tablo 4.2'de bildirilen ortalama değerlere ve 26.3 GJ/ton'luk bir varsayılan en düşük kalori değerine sahip kömüre dayalı olarak, ton başına 1,6 ile 2 ton arasında değişen biyokütle bakiyesi kullanılabilir.

Çeşitli biyokütle bakiyelerinin kömürün yerine kullanılabilir miktarları Şekil 4.1'de verilmiştir. Kömürün en düşük kalorifik değeri 26,3 MJ/kg'dır. Biyokütle bakiyesinin ısı değeri değişkendir ve 14 ile 21 MJ/kg arasında değişmektedir.



Şekil 4.1 Çeşitli Biyokütle Bakiyelerinin Kömürün Yerine Kullanılabilirlik Miktarları

Türkiye'deki çimento tesislerinde kalorifik değeri 6200 Kcal/kg olan 3,13 milyon ton/yıl ithal linyit kömür veya kalorifik değeri 7200 Kcal/kg olan 4,35 milyon ton/yıl petrokok yerine kalorifik değeri %20'e eşdeğer olacak şekilde yaklaşık kuru bazda alt ısı değeri 14 GJ/ton olan biyokütle bakiyesi, orman artığı, yatak altlığı ve dönüşüm atığı kullanılmak istendiğinde yaklaşık;

- ✓ En az 3.382.000 ton ton/yıl (kuru bazda) biyokütle bakiyesi veya orman artığı kullanılabilir,
- ✓ %40 oranında ithal kömür yerine biyokütle bakiyesi kullanıldığı kabul edilerek ithal kömür miktarı 3.130.000 ton/yıl'dan 2.422.000 ton/yıla düşer ve ithal linyit kömür miktarı 708.000 ton/yıl azalır. Ekonomik değeri yaklaşık 84.960.000 dolar/yıl tasarruf edilir (ithal kömür 120 dolar/ton alındı).
- ✓ %60 oranında petrokok yerine biyokütle kullanıldığı kabul edilerek petrokok miktarı 4.350.000 milyon ton/yıl'dan 3.346.000 ton/yıla düşer ve petrokok miktarı 1.004.000 ton/yıl azalır. Ekonomik değeri yaklaşık 140.560.000 dolar/yıl tasarruf edilir (petrokok 140 dolar/ton alındı).
- ✓ Fosil yakıt yerine %20 oranında biyokütle bakiyesi kullanıldığı zaman toplamda ithal yakıttan **225.520.000 dolar/yıl** tasarruf sağlanır.
- ✓ Biyokütle bakiyesi 40 dolar/ton temin edildiğinde **135.280.000 dolar/yıl** ödenir. *Ayrıca bu değer yurt içinde kalır ve;*
- ✓ Çimento sektörünün ekonomik getirisi yaklaşık 90.240.000 dolar/yıl olur.

- ✓ Biyokütle kullanıldığı için %20 oranında sera gazı CO2 emisyonu azalır.
- ✓ Enerji arz güvenliği sağlanır.
- ✓ İthal kömür fiyat indirme opsiyonu artar,

Tarımsal biyokütle bakiyesinin en yakın ve nihai özelliği Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Tarımsal Biyokütle Bakiyesinin En Yakın ve Nihai Özelliği

	Pirinç Sapı	Mısır Yaprağı	Kahve Sapı	Mısır Sapı	Hindistan Cevizi Kabuğu	Buğday Samanı	Zeytin Çekirdeği	Soya Sapı	Şeker Kamışı Posası	Badem Kabuğu
Yaklaşık Analiz (ağır. %)										
Nem	9,96	15	10	35	4,4	8,5	9,2	6,3	-	9,7
Kül	20,6	7,63	2,4	3,25	3,1	13,5	3,6	5,1	11,27	3,36
Uçucu Madde	54,7	65,19	78,5	54,6	70,5	63	70,3	70	-	66,9
Kararlı Karbon	15	12,19	19,1	7,15	22	23,5	26,1	19	14,95	20
Kuru bazda nihai analiz (ağır. %)										
C	34,9	39,68	47,5	42,5	51,2	45,5	50	45,4	44,8	51,6
H	5,46	4,95	6,4	5,04	5,6	5,1	6,2	6,7	5,35	8,5
Nem	0,11	0,65	-	0,75	0	1,8	1,6	0,9	0,38	1,08
S	-	0,16	-	0,18	0,1	-	-	0,1	0,01	-
O	38,9	31,77	43,7	42,6	43,1	34,1	42,2	46,9	39,55	38,82
Kalorifik Değer MJ/kg	13,5	10,39	18,39	10,7	14	17	19	-	17,3	29,86

Biyokütle bakiyesi kullanarak yılda **708.000 ton/yıl ithal linyit kömürden ve 1.004.000 ton/yıl ithal petrokok tasarruf sağlanacak** ve bedel ödenmeyecek ve yerli biyokütle bakiye kaynaklarının kullanılması sağlanacaktır. **Yılda ithal fosil yakıttan 225.520.000 dolar/yıl tasarruf edilecektir.**

Tablo 4.1, çimento üretimi için alternatif yakıtlar olarak tarımsal biyokütlenin temel özelliklerinin bir özetini sunmaktadır. Biyokütle genellikle ikincil yakıt olarak kullanılır, bu nedenle ön ısıtıcıda ikincil ateşleme sırasında enjekte edilir.

Diğer yandan alternatif yakıt olarak kullanılacak çeşitli biyokütle bakiyelerinin en düşük kalorifik değeri, su muhtevası, karbon emisyon faktörü, bilgileri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2 Alternatif Yakıt Olarak Biyoyakıt Bakiyelerinin Karakteristikleri

Yakıt	Değişim Oranı (%)	Enerji İçeriği (LHV) (GJ/kuru ton)	Su İçeriği (%)	Karbon Emisyon Faktörü (ton C/ton)	CO ₂ (ton/ton kömür yerine)
Pirinç Sapı	35	13,2 ; 16,2	10	0,35	-2,5
Buğday Samanı	20	15,8 ; 18,2	7,3 ; 14,2	0,42	-2,5
Mısır Sapı	20	9,2 ; 14,7 ; 15,4	9,4 ; 35	0,28	-2,5
Şeker Kamışı Atıkları	20	15,8	< 15	0,34	-2,5
Şeker Kamışı Posası	20	14,4 ; 19,4	10,0-15,0	0,39	-2,5
Kolza Sapı	20	16,4	12,6	0,39	-2,5
Fındık Kabukları	20	17,5	9,2	0,48	-2,5
Palmiye Kabuğu	20	11,9		0,36	-2,5

Biyokütle bakiyesinin nispeten düşük kalorifik değeri alev dengesizliğine neden olabilir, ancak bu durum, daha düşük ikame oranları, hava akışını ve alev şeklini ayarlama kabiliyeti ile aşılmaktadır.

Buğday sapı, buğday samanı ve pirinç kabuğu gibi biyokütle içinde bulunan halojenlerin (örneğin klorür) mevcudiyeti, fırında taşlaşma ve aşınmaya neden olabilir; ancak çalışmalar, kükürt içeren yakıtlarla (örneğin, kömür) birlikte ateşleme biyokütle bakiyesinin, ocaklarda alkali ve klor bileşikleri oluşumunu önlediğini göstermiştir. Bununla birlikte, %30-40 gibi çok yüksek oranda kullanıldığı zaman kül tortuları fırında ısı transferini azaltabilir.

Biyokütlenin üretimi mekâna ve zaman bağlı olarak değiştiği için, çimento üretiminde malzemenin kullanımının fizibilitesini ve potansiyel faydalarını değerlendirmede önemli bir faktördür. Birçok küçük arazi sahipliğinde olduğu gibi, biyokütlenin yüksek oranda dağıldığı durumlarda, toplama ve ulaşım maliyetleri ve buna bağlı yakıtla ilgili emisyonlar, çimento fırınındaki karbon emisyonlarının azaltılmasına büyük ölçüde karşı çıkabilir.

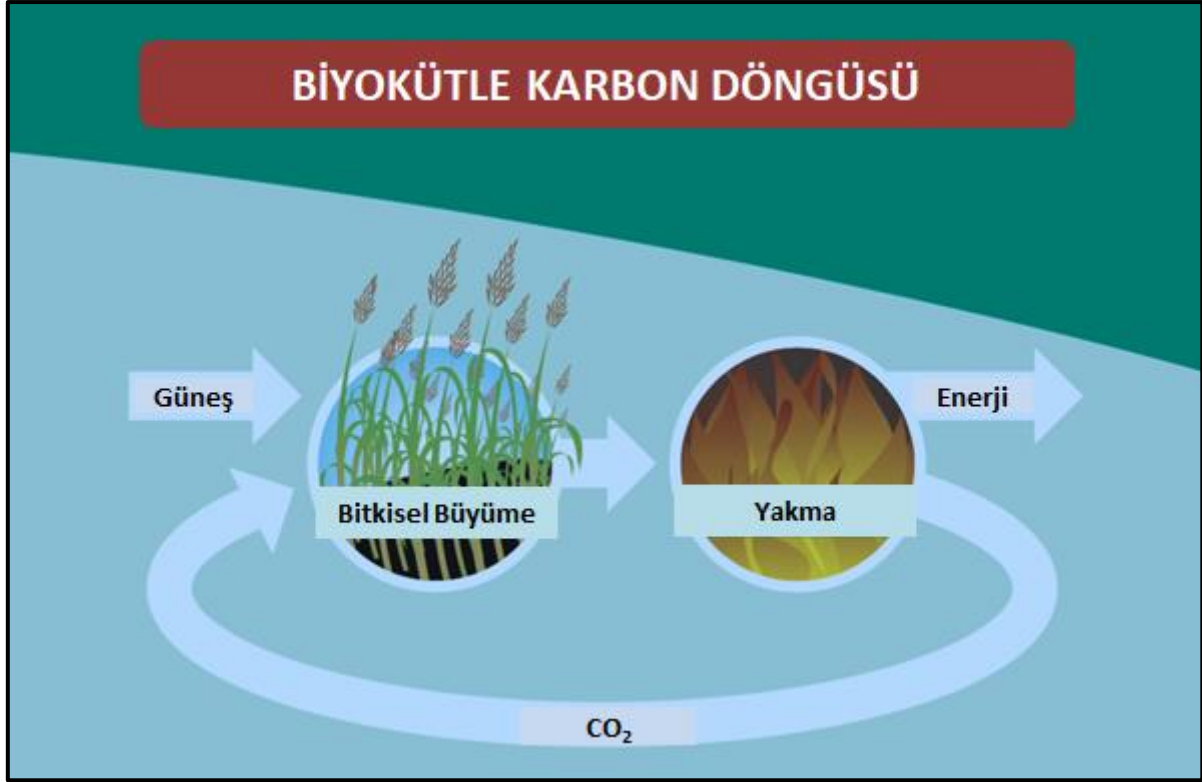
Biyokütle bakiyeleri ve dönüşüm atıkları, petrokoktan daha düşük kalorifik değerlere sahip olduğundan, yanma esnasında daha fazla hava ve brülör tasarımına uyum gerekebilir.

Kalorifik değerinin yüksek oranda dalgalanması, yakıt olarak biyokütle bakiyesi, orman artığı ve dönüşüm atığının kullanımında önemli bir başka engeldir. Kömür ile birlikte ateşlenen biyokütle, fırınlarda alkali ve klorür bileşikler oluşumunu önler. Bu nedenle bazı biyokütle (buğday samanı, sapı ve pirinç kabuğu gibi) içinde klorür içeriği önemli bir sorun değildir.

Düşük yoğunluklu biyokütleden yüksek yoğunluklu yakıt üretmek için bazen yüksek basınç ve sıcaklık uygulanmak gerekebilir.

Daha önceki uygulamalar, petrokok ve linyit kömürü gibi fosil yakıt yerine %20 oranında biyokütle bakiyesi, orman artığı ve dönüşüm atığı kullanılması halinde çimento klinker fırını için oldukça uygun olup ilave bir yatırıma gerek olmadığı tespit edilmiştir. Biyokütle, yüksek oranlarda kullanıldığında fırında alev dengesini ve sıcaklık kontrolünü zorlaştırabilir. Bununla birlikte, %50'den daha büyük ikame oranlarda kullanılacaksa ancak biyokütle kullanımı için özel olarak tasarlanmış kazanlar gerektirmektedir.

Biyokütle bakiyesi, orman artığı ve dönüşüm atığı yanarken enerjinin yanında salımladığı CO₂'i yeni bir ürün büyürken fotosentez yoluyla eşdeğer miktarda emdiği için net CO₂ nötr sürdürülebilir yenilenebilir yeşil bir yakıttır (Şekil 4.2) . Karbonun havadan yutulması için fosil yakıtlar yerine sürdürülebilir biyokütle bakiyesi, orman artığı ve dönüşüm atığı kullanılabilir.



Şekil 4.2 Biyokütle Karbon Dönüşüm

Biyokütle, çimento sanayinde ne oranda kullanılırsa o oranda sera gazı CO₂ salınımı azalır. Aynı zamanda biyokütle kullanıldığı oranda baca gazında SO_x, NO_x, dioksin, furan ve ağır metal kirletici emisyonları azalır. SO_x azalması klinker kalitesini iyileştirir. Fosil yakıtların yakılmasıyla yüksek yanma sıcaklığından dolayı oluşan NO_x gibi kirleticileri filtre etmek pahalıdır. Fırında biyokütle bakiyesi ve orman artığı kullanılmasıyla kömür miktarının dengelenir, cüzi miktarda sıcaklık düşer ve fırında kül miktarının azalması ve biyokütle içinde bulunan amonyak (NH₃), indirgeyici ajanda gibi davranarak NO_x'i N₂ indirgeyerek bacada NO_x emisyonunu %40 oranında düşürür.

Biyokütle bakiyesinin, orman artığının ve dönüşüm atığının klinker fırınında yanma verimliliği %98'dir. Yanma sonucu oluşan kül klinker bileşenin olarak kullanıldığından atık kül oluşumu söz konusu değildir.

5 BİYOKÜTLE HAZIRLAMA İŞLEMİ

Çimento tesislerinin yarıçapı 100 km hinterlant içinde biyokütle bakiyeleri ve atıklarının oluştuğu yerler, türleri, miktarları, nem oranı, kalorifik değerleri ve temin edilebilirlikleri ile ilgili çalışma yapılmalıdır.

Tarlalarda dönüm başına oluşan biyokütle bakiyesi;

- ✓ Miktarı,
- ✓ Kuru ve orijinal bazda kalorifik değerleri,
- ✓ Hasat edilebilirliği,
- ✓ Ara depolama sistemi ve maliyeti,
- ✓ Ekonomik olarak transfer etme sistemi,
- ✓ Geçici depolama alanlarında toplanan biyokütle miktarı,
- ✓ Balyalama maliyeti ve depolama maliyeti,
- ✓ Çimento tesisine taşıma maliyeti,
- ✓ Çimento tesisinde nasıl depolanacağı,
- ✓ Depolama maliyeti,
- ✓ Klinker fırınına beslemenin nasıl yapılacağı,
- ✓ Yakma maliyeti ve geri dönüşüm maliyetleri,

gibi veriler önceden tespit edilmeli ve ekonomik değerlendirilmesi yapılmalıdır. Biyokütle mevsimsel olarak oluştuğu için doğru ve tekniğine uygun yönetilmesi gereklidir. Hasat döneminde oluşan biyokütle bakiyesinin mevsimsel durumu iyi değerlendirilmelidir.

Biyokütle bakiyeyi toplama, kaynakları dağınık ve bakiye yoğunluğu düşük (0.1-0.3 ton/m³) olduğu için, en yüksek maliyetlerden birisini ulaşım oluşturmaktadır.

Biyokütle depolama seçenekleri;

- ✓ Üretim sahasında hiçbir depolama yapılmadan doğrudan tesise götürülür.
- ✓ Üretim sahasında geçici depolanır ve ihtiyaç olduğunda tesise nakledilir.
- ✓ Toplu bir depolama tesisinde depolanır ve daha sonra ara depolama yerinden çimento tesisine taşınır.

Yukarıda sıralanan esaslara göre biyokütle bakiyesi için önce ulaşımı kolay ve ekonomik olan yerler seçilmeli ve oluşturulmalı, biyoküteller buralarda geçici olarak toplanmalı, sonra geçici yerlerden minimum maliyetle taşınmalı, geçici depolama alanlarında depolanmalı, taşıma maliyetini düşürmek için uygun şekilde geçici depolama yerleri yapılarak belli kuruluğa gelmesi sağlanmalı, mobil parçalama aracı ile belli iş programı çerçevesinde boyutları küçültülmeli, mobil balyalama aracı ile balyalama işlemi yapıldıktan sonra çimento tesislerine taşınması daha ekonomik olabilir. Bu yüzden optimum ara toplama, geçici depolama, parçalama ve balyalama organizasyonu planlanmalıdır. Arz güvenilirliğine bağlı olarak, 15 gün ila 3 aylık bir süre için biyokütle bakiyesi çimento tesisi sahasında depolanmalıdır.

Her bir kamyon yükü başına 20 tonda gevşek biyokütle bakiyesi yüklendiği varsayımından yola çıkarak, 9 TL/GJ/100 km'lik bir nakliye maliyeti gerekir.

Biyokütle geçici depolama tesisleri opsiyonları;

Üretim yerinde, orta saha veya tesiste kullanılan biyokütle geçici depolama sisteminin türü, biyokütlenin maliyetini ve kalitesini büyük ölçüde etkileyebilir. En pahalı depolama sistemleri, hiç şüphesiz, yüksek biyokütle kalitesini korumak açısından en verimli olanlardır. En yüksek maliyetle en düşük maliyete kadar sıralanan tipik geçici depolama sistemleri şunlardan birisi olabilir;

- ✓ Kırma taş zemine sahip kapalı yapı,
- ✓ Kırma taş zemine sahip açık yapı,
- ✓ Tekrar kullanılabilir muşamba kapatılan kırma taş zemin yapı,
- ✓ Kırma taş üzerinde açık alan yapı,
- ✓ Dışarıda korumaz yapı,
- ✓ Toprak altı yapı,

Tüm yıl boyunca enerji üretme ihtiyacına karşı mevsimsel üretimi nedeniyle biyokütle bakiyesinin geçici depolanması genellikle gereklidir. Bu nedenle, tesis için sürekli ve düzenli bir biyokütle tedarikini sağlamak için, her ikisi de sisteme maliyet ekleme eğilimi olan depolama veya çoklu besleme stokları gerekmektedir.

Biyokütle besleme stoklarının elleçlenmesi ve istikrarlı bir şekilde depolanması maliyetinin azaltılması, hem biyokütle işleme tesislerine büyük miktarlarda biyokütle sağlayabilen sürdürülebilir bir altyapının geliştirilmesi için kritik öneme sahiptir. Biyokütle yakıtlarının

depolanması ve taşınması pahalıdır ve kapasite ile artar. Biyokütle yakıtı için en uygun yakıt depolama türü, mevcut alana ve yakıtın fiziksel özelliklerine bağlıdır.



Şekil 5.1 Biyokütle Bakiyesi Ara Depolama

Uzun süre %20'nin üzerinde nem içerecek şekilde biyokütle saklanırsa ayrışmaya başlar, kalorifik değerini düşer ve kendiliğinden yanma riski artar. Bu nedenle, alınan malzeme nemi %20'nin üzerinde ise, yoğunlaşmadan önce bakiyenin serilerek kurutulması gerekir. Kurutma yöntemi, çevresel koşullar, malzemenin başlangıçtaki nem içeriği, verim seviyesi, malzemenin boyutu, yoğunlaştırma ekipmanı vb. gibi çeşitli faktörlere bağlıdır.

Biyokütlenin fosil yakıtlar yerine alternatif yakıt ve/veya daha az karbon olarak kullanılmasını sağlamak için toplama, geçici depolama, balyalama, taşıma ve taşıma sistemleri dahil olmak üzere yeni makine kurulumu için yatırım yapılması gerekmektedir.

Tarımsal biyokütle bakiyesi miktarına bağlı olarak toplama ve yoğunlaştırma sürecinin önemli bir bileşeni olabilir. Örneğin, pamuk sapları gibi malzemeler tarlalarda yaygın olarak dağınık olarak bulunmaktadır ve bunların geçici bir yere toplanıp nakledilmelidir.

Tarladan çimento tesisine biyokütle taşınması işleminde kullanılan iş makineleri;

1. Kesici, parçalayıcı, toplayıcı kangaro tipi makine ile budanmış biyokütle kesilir,
2. Budanmış biyokütle trayler traktöre yüklemesi yapılır,
3. Budanmış biyokütlenin toplama merkezine taşınması trayler traktör ile yapılır,
4. Balyalama operasyonunu yapmak için kızak yükleyici ile balyalama ünitesine besleme yapılır,
5. Balyalanmış prosopis biyokütle trayler kamyonu yüklenir ve çimento tesisine taşınır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 Tarladan Çimento Tesisine Biyokütle Taşınması İşlemi

Susam sapı biyokütlesi için toplama, taşıma, balyalama, parçalama, nemini azaltmak için uygun şartlarda geçici depolama ve çimento tesisinde besleme işlemi Şekil 5.3’de verilmiştir.



Şekil 5.3 Biyokütlenin Çimento Sanayinde Kullanım Adımları

Genel olarak, çoğu ekstrüzyon tipi yoğunlaştırma ekipmanı, hammaddenin ıslak bazda %10-20 nem içeriğinde olmasını gerektirir. Eğer besleme stokunun nem içeriği çok yüksekse (%20'nin üzerinde), fazla suyu yoğunlaştırmak için gerekli olan yüksek basınç ve bunun sonucunda oluşan sürtünme ısı birikmesi nedeniyle aşırı derecede ısıtılmış bir sıvı haline gelir. Su, yoğunlaştırıcıdan çıktıkça buharlaşmaya başlar.

Çoğu yoğunlaştırma ekipmanı, gelen besleme malzemesinin maksimum parçacık boyutunun, ortaya çıkan briket veya peletin çapının en fazla %25'ini oluşturmasını gerektirir. Örneğin, 50 mm çapında briket üreten bir pistonlu ekstrüder, 12 mm'lik bir maksimum parçacık boyutu kısıtlamasına sahiptir. Hammadde büyüklüğü azaltma genellikle bir çekiçli değirmen ile sağlanır. Testere tozu ve benzeri büyüklükteki diğer malzemeler hariç, diğer tüm malzemeler, optimum briketleme sonuçlarına ulaşmak için %10-20 oranında ince taneli 6-8 mm ebatlarında ezilmelidir. Birçok kırma ve taşlama ekipman piyasada mevcut, biyokütle malzemeleri için çekiç fabrikaları en uygun olarak kabul edilir. Bunlar çeşitli ebatlarda, saatte birkaç kg/saat ile 10-15 ton/saat arasındadır.

Biyokütle bakiyeleri hafiftir. Biyokütle bakiyeleri geçici depolama alanında, hidrolik pres makine ile sıkıştırılır. Ekonomik taşıma için balyaların yoğunluğu 0,7 ton/m³ düşük ve nem içeriğinin %20'den yüksek olmaması tavsiye edilir. Balyaların minimum yer kaplaması ve ağırlığının artırılması için bu yapılmalıdır. Bu yüzden balyalama makinelerinin kapasitesini doğru belirlemek gereklidir.



Şekil 5.4 Biyokütle Balyalama Ünitesi



Şekil 5.5 Biyokütlenin Balyalanması

Balyalama ünitesinden konveyör bantlar ile parçalama makinesine biyokütle balyası adı verilir.

Biyokütle bakiyesinin ısı değeri 14 ila 21 MJ/kg arasında ve benzer şekilde nem içeriği %6 ila %12 arasında olması tavsiye edilir.

Bir dönüm tarlada yaklaşık 4 ton biyokütle bakiyesi olduğu kabulünden hareketle;

- Bir ton kuru biyokütle bakiyesinin kalorifik değeri 18 GJ/ton, dönüm başına, 72 çiftlikte balyalama dahil GJ, dönüm başına 150 \$ veya 2.08 \$/GJ gelir elde edilir.

Pelletleme bedeli; \$50/ton veya \$2.8/GJ'dir

Pelletleri taşıma;

- ✓ 30 ton, 540 GJ/kamyon (eksi su)
- ✓ Km başına maliyet; \$5/km, \$0.93/GJ/100km (AB normlarında)
- ✓ 200 km mesafe için yakıtı FOB fiyatı \$ 6,74 / GJ

Her bir kamyon yükü başına 20 tonda gevşek biyokütle varsayımından dolayı matematiksel olarak, 1.4 \$/GJ/100 km'lik bir nakliye maliyetiyle sonuçlanır (ayrıca, gerekirse pelletlerin yeniden öğütülmesi için saha maliyetinden de kaçınılması gerekir).

Besleme sisteminin bağlı olarak pülvarize veya küçük balyalar halinde biyokütle bakiyesi, orman artığı ve dönüşüm atığı hazırlanır.

6 KLİNKER FIRINDA BİYOKÜTLE KULLANIMI VE SERA GAZI AZALTIMI

Dünya çapında faaliyet gösteren 2.948 çimento fabrikası fırınlarında 100 milyon tondan fazla atıktan türetilmiş biyokütle bakiyesinin yakıldığı tahmin edilmektedir. Biyokütle dahil olmak üzere atık, çimento sanayi için bir alternatif enerji kaynağıdır.

Gelişmiş ülkelerde bazı çimento tesisleri enerji tüketimini 1990 yılına göre 2012 yılında %18 azaltmıştır. Yani, 1990 yılında bir ton klinker üretimi başına 4,260 GJ/ton enerji tüketilirken 2012 yılında enerji tüketimi 3,505 GJ/tona düşmüştür. Böylece enerji daha verimli olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Benzer şekilde, alternatif yakıt tüketimi (biyokütle bakiyesi ve dönüşüm atığı dahil) 1990 yılında %2 iken 2012 yılında %14'e çıkmıştır. Alternatif yakıt kullanım artış oranı %620'dir.

Tarımsal biyokütle, dünyadaki çimento endüstrisindeki ısı enerjisi ikamelerinin %0,25'ini oluşturuyordu. Tarımsal biyokütle ile değiştirilen fırın yakıtının payı yaklaşık %5'e ulaştı ve yavaş yavaş artmaktadır.

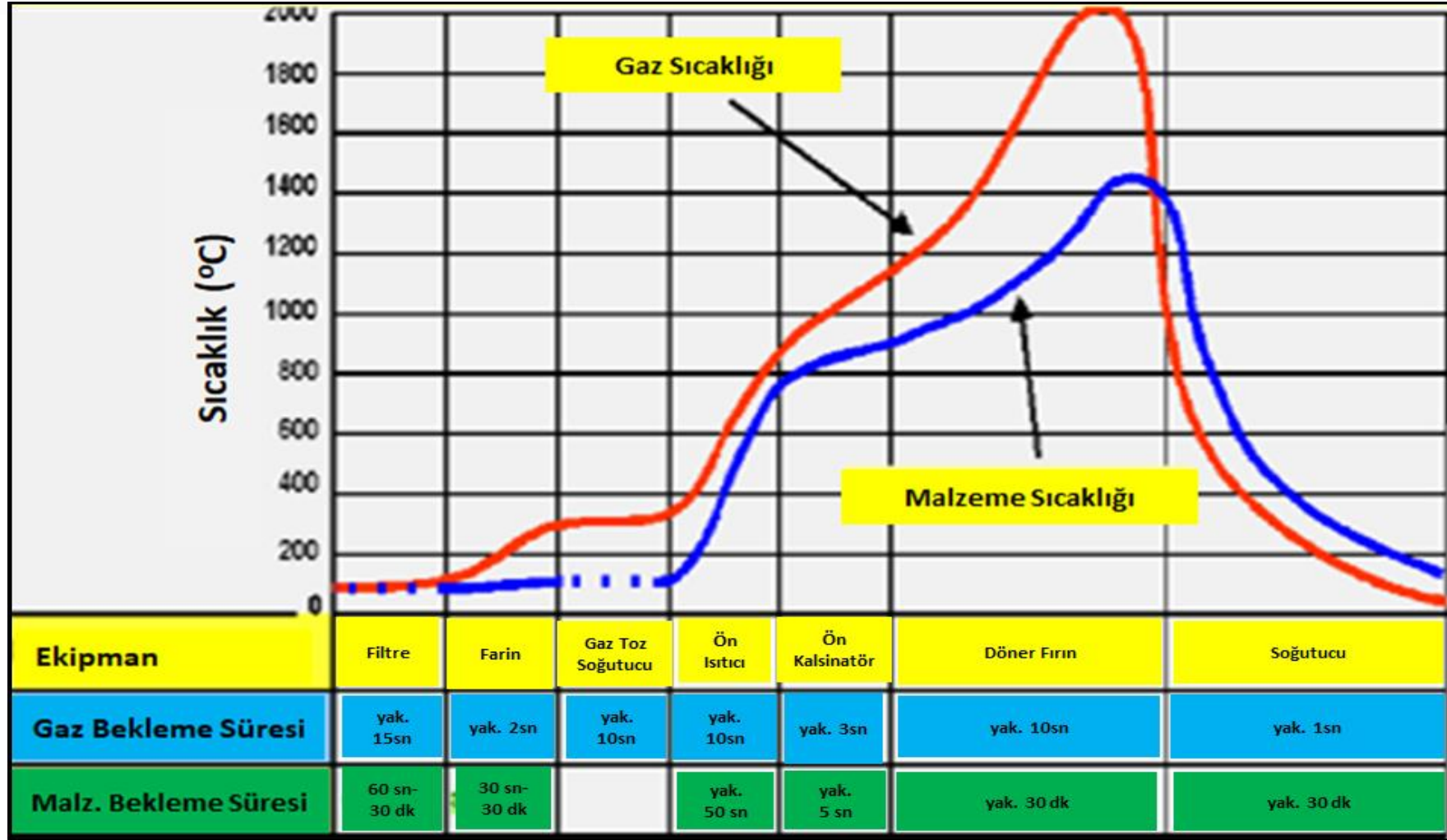
Çimento fabrikalarında daha düşük karbonlu yakıtların kullanılması halinde, özellikle %20 oranında, tesiste minimum değişiklik gerekir. Fosil yakıtlara kıyasla, her bir alt karbon yakıtının kaynak, işleme ve tam ölçekli ticari işlemeyle ilişkili çevresel bileşenleri ölçülmelidir. Biyokütle bakiyesinin depolama alanlarından yönlendirilmesinin faydalarını ölçecek ve her bir yakıtı enjekte etmek için çimento üretim sürecinde optimum noktaları belirleyecektir.

Lafarge, 2020 yılına kadar Kanada'daki çimento tesislerinde %30-50 oranında daha düşük karbon yakıtı, fosil yakıtı ikame olarak kullanmayı hedeflemektedir.

Çimento sektöründeki biyokütle bakiyesi, orman artığı, yatak altığı ve dönüşüm atığı kullanılarak karbon ayak izini azaltmak için yenilikçi çözümlerdir.

Biyokütle bakiyesi şekil, boyut, nem seviyeleri ve mineral içerikleri yereller ve kullanım senaryoları arasında büyük farklılıklar gösterir. Klinker fırınında yanma verimliliği üzerinde negatif etki yapmamak üzere biyokütle bakiyesi, orman artığı ve dönüşüm atık beslemesi homojen olmalıdır.

Çimento sanayinde klinker fırınlarında ön ısıtıcı ile döner fırın arasında malzeme sıcaklığı 400 ila 1300 °C ve alev sıcaklığı ise 400 ila 2000 °C arasında değişmektedir (Şekil 6.1) Bu yüzden klinker fırınlarında alev sıcaklığı bekleme süresi yaklaşık 14 saniye olduğu için biyokütle bakiyesi, orman artığı, yatak altlığı ve dönüşüm atığının yanması sonucu dioksin, furan gibi kanser yapıcı tehlikeli gaz kirleticiler oluşmaz.



Şekil 6.1 Biyokütlenin Çimento Sanayinde Kullanımı

Biyokütle bakiyesi, orman artığı ve dönüşüm atığı çimento sanayinde alternatif yakıt olarak kullanılabilir önemli bir potansiyeldir.

Bölüm 5’de detayları verilen şekilde hazırlanan biyokütle bakiyesi, orman artığı, yatak altlığı ve dönüşüm atığı ön ısıtıcılar/ön kalsinatörler ile fırın arasında düzenlenmiş yanma odalarından direk yakıt olarak beslenebilir. Fırının ve ön ısıtıcılar/ön kalsinatörlerin, özellikle yanma odasının modifikasyonu, ön işleme sistemindeki biyokütle bakiyelerin kullanılması için çoğunlukla gerekir. Besleme sisteminin bağlı olarak pülvarize veya küçük balyalar halinde biyokütle bakiyesi, orman artığı ve dönüşüm atığı hazırlanır.

Biyokütle bazlı alternatif yakıtların kullanımı daha yeni başlamış olduğundan, biyokütle yakıtlarının çimento endüstrisine sunduğu tüm avantajları karşılamak için üstesinden gelinmesi gereken zorluklar vardır. Bunlar arasında “faaliyet gösterecek bir topluluk ruhsatı” elde etmek, yasal onay almak ve akaryakıt tedarikçisi ve kullanıcısı için ekonomik faydaların doğru dengesini sağlayan potansiyel arzlara erişim sağlamak bulunmaktadır.

Çimento üretimi enerji yoğun sanayi olduğu için enerji tüketim maliyetini düşürmek için biyokütle dahil alternatif enerji kaynaklarını kullanmak gereklidir.

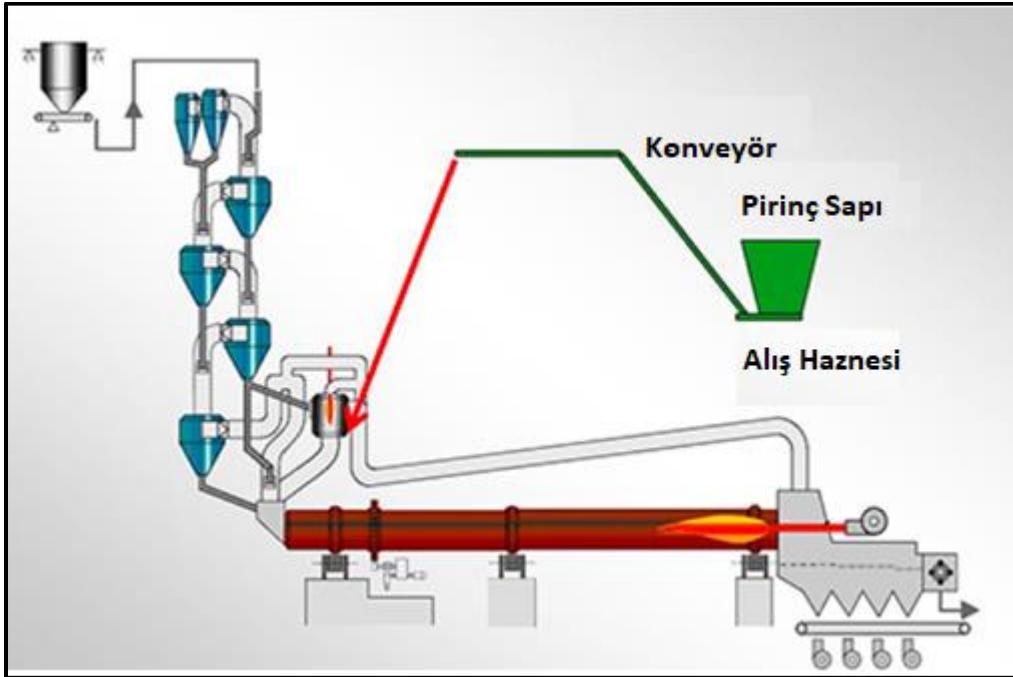
Biyokütle gibi katı maddeler, klinker fırınına kalsinasyon bölgesinden beslenir. Uzun fırınlarda, biyokütle gibi katı atıkların fırının orta kısmından içeri beslendiği ve ön ısıtıcı/ön kalsinatör fırınının yüksek sıcaklık bölümünde besleme rafına besleme yapıldığı anlamına gelmektedir.

Biyokütlenin verimli yakılması ve tam enerjiye dönüşmesi için uygun sıcaklık ve yeterli bekleme süresinin olduğu yerden besleme yapmak gereklidir. Biyokütle gibi maddeler, ana brülör veya ikincil brülör ile beslenmelidir. Kısaca sıcaklığın 850 °C üzerinde olduğu yerden besleme yapılması tavsiye edilir.

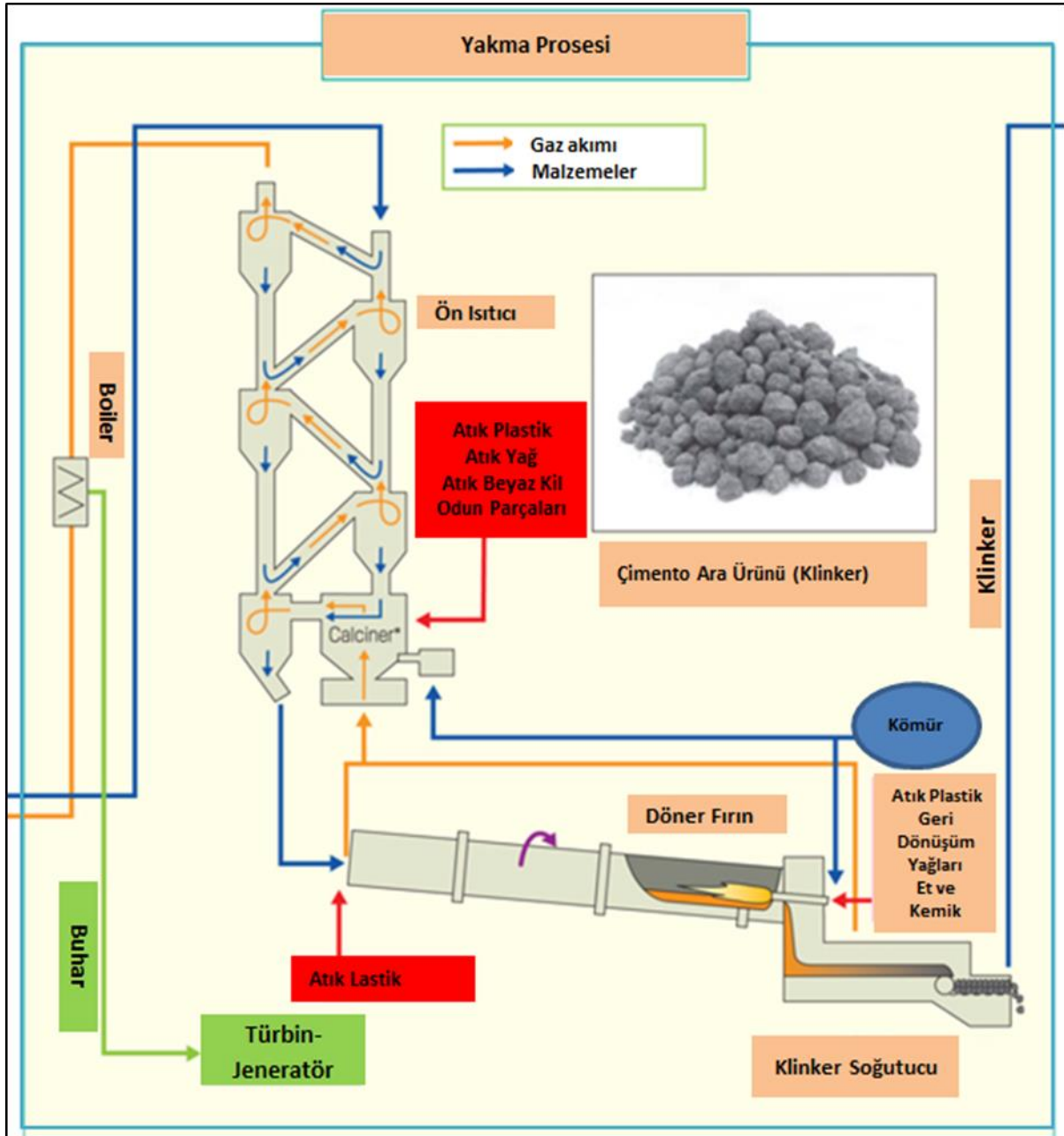
Biyokütle, çimento ve benzeri tesislerde alternatif yakıt olarak kullanılacaksa, içinde bulunma ihtimali olan taş, toprak ve metal gibi maddeler giderilmeli (temizlenmeli), doğal yöntemle yüksek kuruluğa getirilmeli ve homojenize edilmelidir. Biyokütle boyutu ortalama 150 mm olmalı, pellet veya briket hale getirilebilir ama ilave maliyet demektir. Bunun yerine balyalamak daha uygun ve ekonomiktir. Biyokütle bakiyesi, pulverize veya yumru katı formda kullanılabilir. Yakıt besleme sistemi ve tesis modifikasyonu, katı biyokütle formuna göre tasarlanmalıdır. Biyokütle, ön kalsinasyon ünitesinden sisteme beslenmektedir. Bu kademedeki besleme yapılarak kurutma, termal enerji dahil çeşitli işlemler için avantajlı olur.

Klinker fırınına elle besleme, basit besleme noktası (manhole) ve basit taşıma sistemi ile besleme yapılabilir. Ürün kalitesi için besleme hızı homojen olmalıdır.

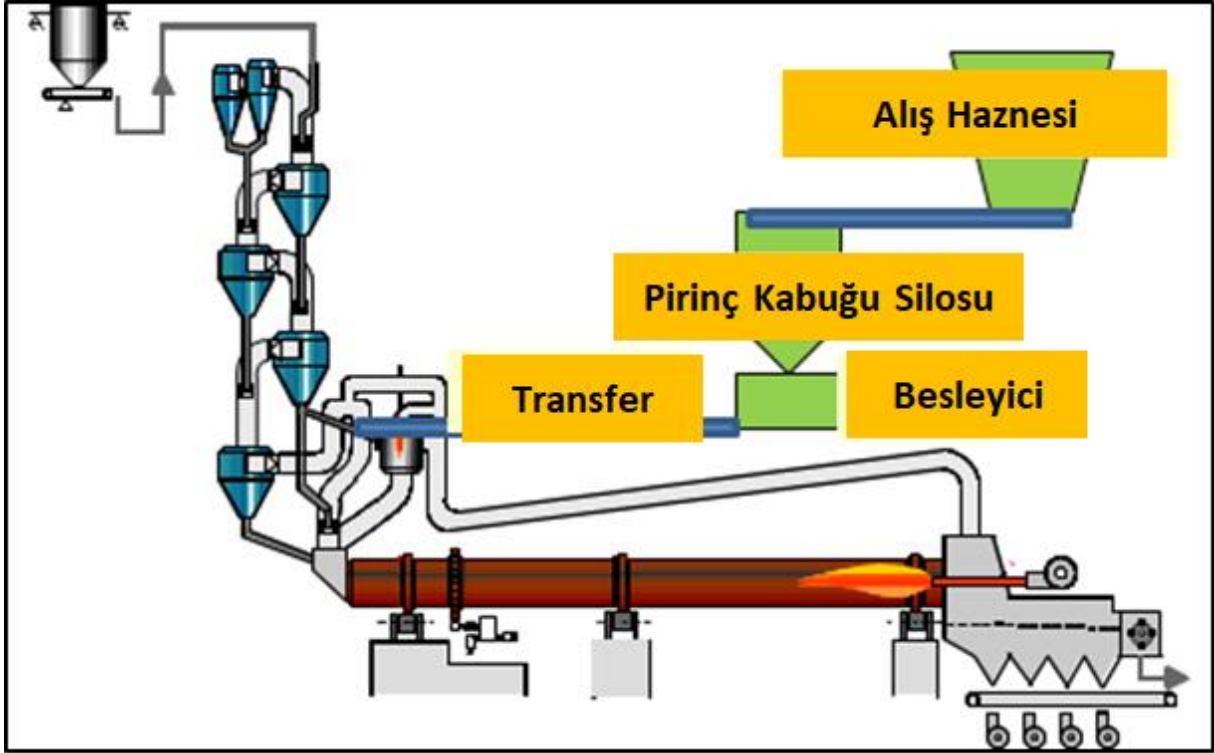
Ön işleme tabi tutulan ve hazırlanan biyokütle bakiyesinin ve dönüşüm atığının fırına besleme şekilleri, Şekil 6.2, Şekil 6.3, Şekil 6.4, Şekil 6.5, Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’de verilmiştir.



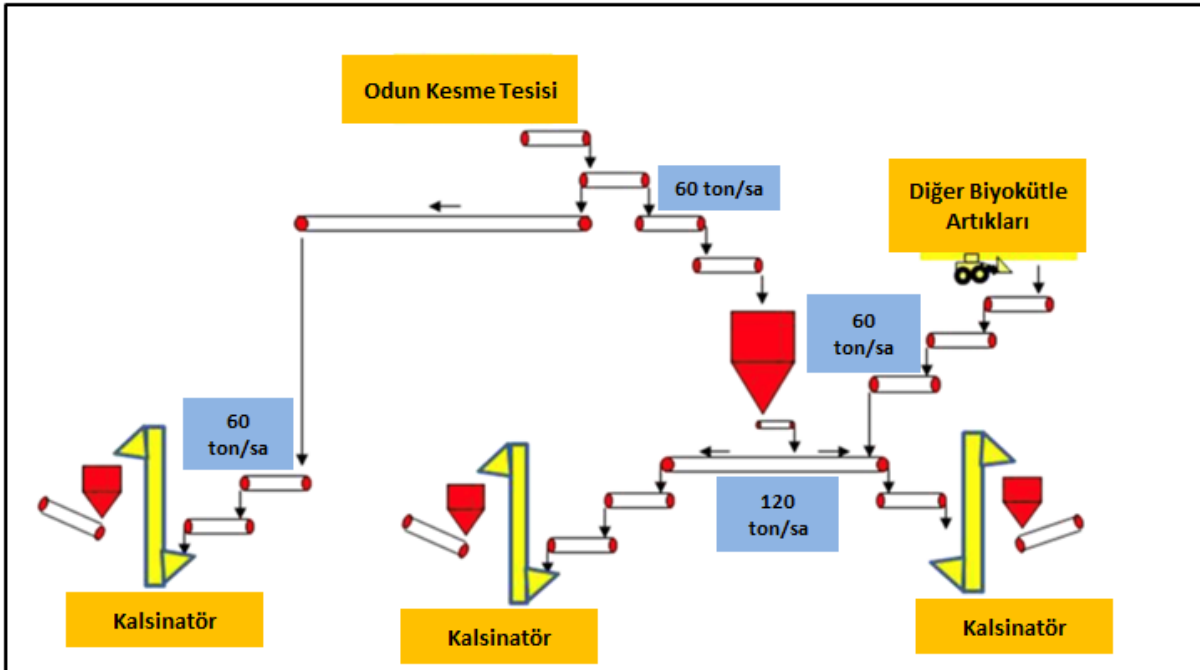
Şekil 6.2 Biyokütle Bakiyesinin Fırına Beslenmesi



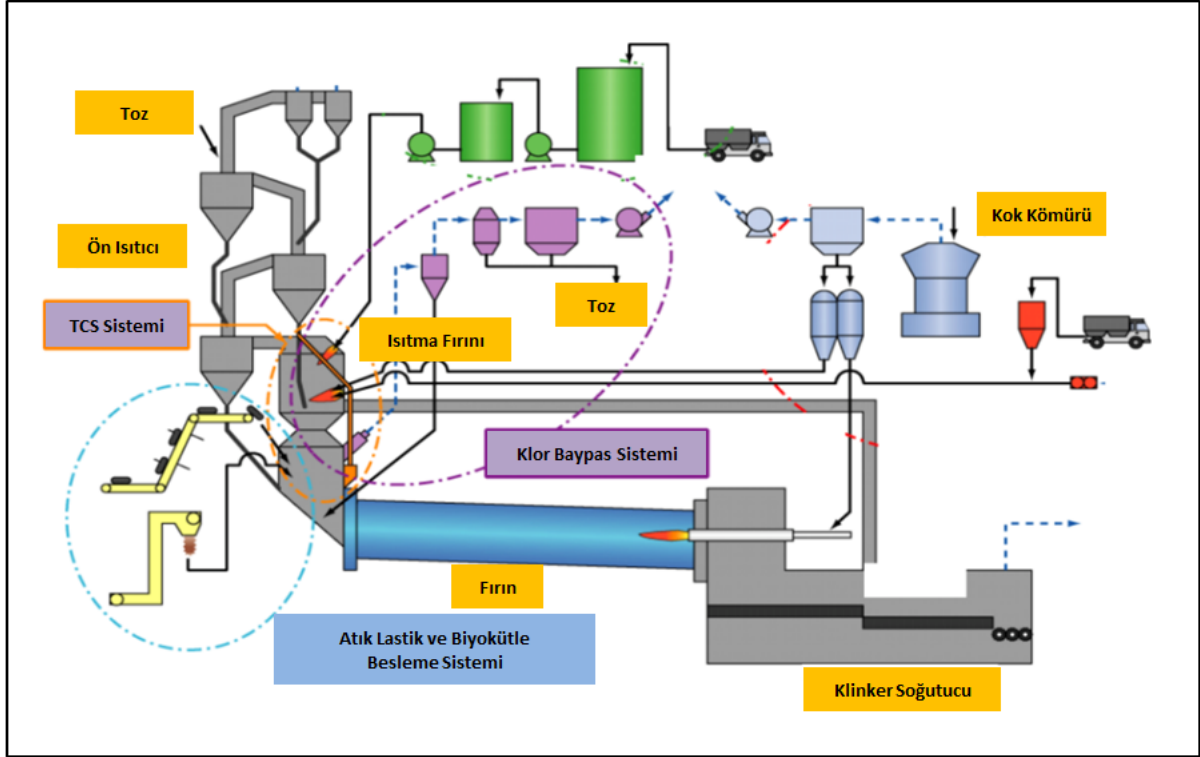
Şekil 6.3 Çimento Sanayi Yakma Prosesi ve Biyokütleinin Kullanımı



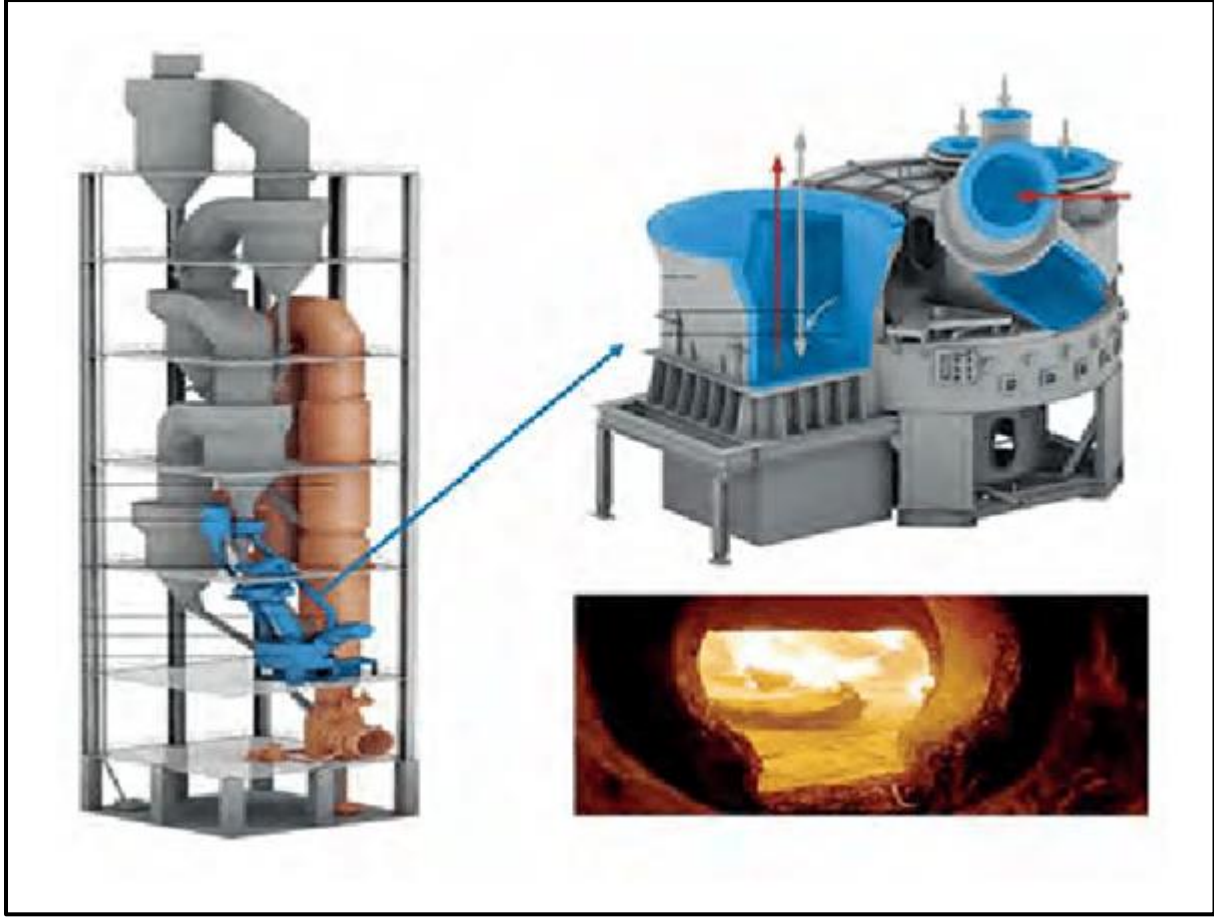
Şekil 6.4 Biyokütlenin Kullanımı



Şekil 6.5 Biyokütlenin Kullanımı



Şekil 6.6 Biyokütle Besleme Sistemi



Şekil 6.7 Biyokütle Besleme

Biyokütle bakiyesi ve orman artığı zamanla değişme eğilimlidir. Bu nedenle biyoküteller bozunmaya başlamadan önce kullanılmasına özen gösterilmelidir. Yani, ilk beslenecek kısımda olacak şekilde depolanan eski biyokütle öncelikle fırına beslenmelidir. Yeni biyokütle ise zamanı geldiğinde kullanılacak şekilde depolanmalıdır. Biyokütle iletimi ile ilgili olarak, farklı malzemelerin akış davranışı oldukça değişkendir, bu nedenle, çimento fırın operatörleri, fırının içine sürekli ve uygun bir ısı değerini kolaylaştıracak yakıt enjekte etme, besleme, yöntemini seçmelidir.

Kısa süreli eylem planında çimento klinker fırınında %15-20 oranında petrokok veya kömüre ikame yöresel biyokütle bakiyesi, orman artığı veya dönüşüm atığı kullanılabilir. Tesiste %15-20 oranın biyokütle kullanılması halinde klinker fırınında ilave yatırıma gerek yoktur. Daha yüksek oran uzun vadede kullanılabilir. Biyokütle kullanılarak ciddi ekonomik kazanç ve istihdam sağlanır.

Çimento sanayinde tarımsal atıklar alternatif yakıt olarak kullanılarak ithal linyit kömüre ve petrokok'a olan bağımlılık, **azot oksit (NOx) ve sera gazı CO₂ salınımı** azaltılabilir. Daha çevreci yakıt kullanılması ve **yeşil çimento** üretilmesi sağlanabilir. Tarım arazilerinde sıfır atık projesi uygulanabilir.

Çimento sanayinde alternatif yakıt kaynağı olarak biyokütle bakiyesi kullanıldığı zaman SOx ve NOx kirletici emisyonları azalacağı için bu kirleticileri arıtmak için maliyet önemli ölçüde düşer. **Dioksin ve furan gibi kanser yapıcı kirleticiler minimize olur**. Ayrıca ağır metal kirletici emisyonu azalır.

Her bir kamyon yükü başına 20 ton gevşek biyokütle bakiyesi yüklendiği varsayımından yola çıkarak, 9 TL/GJ/100 km'lik (AB ülkelerinde uygulanan) bir nakliye maliyeti gerekir.

Benzer şekilde, alternatif yakıt tüketimi (biyokütle bakiyesi ve dönüşüm atığı dahil) 1990 yılında %2 iken 2012 yılında %14'e çıkmıştır. Alternatif yakıt kullanım artış oranı %620'dir.

Her bir çimento fabrikasının bulunduğu yörede ne tür biyokütle var, özelliği nedir, miktarı nedir, temin edilebilirliği mümkün mü, toplama, geçici depolama, balyalama ve tesisi taşıma maliyeti ne olacak, kömür/petrokok maliyeti ile karşılaştırılması yapılmalıdır. Kısa ve orta vadeli planlama yapmak için bunun yapılması gereklidir.

Biyokütle bakiyesi ve dönüşüm atığının klinker fırınında kullanılmasıyla;

- ✓ Ton çimento üretimi başına CO₂ emisyonlarını azaltmak,
- ✓ Doğal kaynakların kullanımını optimize etmek,
- ✓ Yeni teknoloji yeni çimento özelliklerine imkan sağlamak,
- ✓ Doğal minerallerin kullanımını artırmak,
- ✓ Fırın performansını korumak, hatta iyileştirmek,
- ✓ Klinker kalitesini korumak,
- ✓ Baca gazı sınır değerlerini sağlamak,

mümkündür.

Birçok ülkede sera gazı CO₂ emisyonunu azaltmak için çimento üretiminde düşük karbonlu alternatif yakıtlar kullanılmaya başlanmıştır.

Biyokütle bakiyeleri ve dönüşüm atıkları çimento sanayinde alternatif enerji amaçlı değerlendirilebilir. Çimento tesislerinin;

- ✓ Yaklaşık 100 km yarıçap içinde yeterli miktarda biyokütle bakiyesi, orman artığı ve dönüşüm atığı olup olmadığı (ekonomik taşıma aralığı),
- ✓ Kullanılacak biyokütle bakiyesi, orman artığı ve dönüşüm atığının fiziksel ve kimyasal özelliği,
- ✓ Yanma sonucu oluşacak külün kimyasal özelliği ve klinker kalitesi üzerindeki pozitif veya negatif etkisinin ne olacağı,
- ✓ Biyokütlenin çimento fırınına yakıt olarak nasıl besleneceği,
- ✓ Biyokütle hazırlama üniteleri, fırına besleme ünitesi ve ne kadar beslenebileceği,
- ✓ Biyokütlenin ne kadar fosil yakıt (kömür veya petrokok) ve sera gazı CO₂ azaltacağı,
- ✓ Biyokütle sistemine geçiş için yatırım ve işletme maliyetinin ne olacağı,
- ✓ Tesisin kendini ne kadar sürede amorti edeceği,
- ✓ İyi uygulamaların yapıldığı ülkelerdeki tecrübelerin ne olduğu,

tespit edilmesi/belirlenmesi gereklidir.

6.1 MESSEBO ÇİMENTO UYGULAMASI

6.1.1 Yakıt Değişimi

Susam kabuğu kullanmanın yararı sadece Messebo çimento fabrikasında kullanılan kömür miktarını azaltmaya değil, aynı zamanda çevre korumasına da yardımcı olur. Yakıt değişimi adım adım %60'a kadar çıkmaktadır. Şu anda tesis gerekli olan %40 ısı için tasarlanmış tüm makine ve ekipmanları monte etmiştir. Messebo çimento fabrikası için tasarlanmış ön işleme sistemi için ortalama enerji tüketiminin 750 Kcal/kg klinker ve ithal kömürün ısıtma değerinin 6000 Kcal/kg kömür olması, Messebo çimento fabrikasının saatlik yakıt tüketimi olması varsayılmaktadır. Saatte 125 ton klinker üretim kapasitesi ile 15.63 ton/saat ithal kömür olduğu tahmin edilmektedir. Bu ithal kömürün %40'ını susam kabuğu ile değiştirmek, yaklaşık 9.26 ton/saat susam kabuğu yakıtı gerektirecektir (4050 Kcal/Kg ısıtma değeri varsayılarak). Bu, saatlik bazda işlemek için önemli miktarda yakıttır.

Fırın hattı-2'nin fosil yakıt tüketiminin %40'ı düşünüldüğünde, 6.25 ton/saat kömüre eşdeğer değerinin 9.26 ton/saat susam kabuğu ile değiştirilmesidir. Ortalama susam kabuğu maliyetinin ton başına 67,45 dolar olması varsayılırsa, saatlik susam kabuğu yakıtı maliyeti, bu nedenle yaklaşık olarak 624,587 dolar olur.

Kömürün mevcut fiyatının ton başına 160 dolar olması düşünüldüğünde, saatlik bazda %40 oranında yer alan kömürün maliyeti yaklaşık 1.001 dolardır.

Yakıt değişiminden tahmin edilen net tasarruf, bu nedenle, saatte 368 dolardır. Hat-2'nin günde 3000 ton klinker üretme kapasitesine sahip olması ve buna bağlı olarak saatte 125 ton klinker üretimi yapılabilmesi için fabrikada klinker klinkeri başına 0.3 dolar kazanabilmektedir.

Geçici depolama tesisinde susam sapı ve kabuğu 16.6 t/saat kapasiteli balyalama makinesi ile 450 kg/balya olacak şekilde balyalanır ve çimento tesislerine balyalanarak taşınır.

Balyalanmamış susam sapı ve kabuğu geçici depolama görüntüsü **Şekil 6.8**'de verilmiştir.



Şekil 6.8 Balyalanmamış Susam Kabuğu ve sapı Geçici Depolama Görüntüsü

6.1.2 CO₂ Azaltımı

Hat-2 kömürünün %40'ını susam kabuğu ile değiştirmenin bir sonucu olarak Messebo, fosil yakıt kömürünün yanmasından salınan CO₂ azaltılabilir. Kömürün CO₂ emisyon faktörü yaklaşık 96 kg/GJ'dir ve ithal kömürün ortalama ısıtma değeri 6000 Kcal/kg kömürdür ve susam kabuğunun yerini aldığı %40 kömür miktarının 45.000 ton/yıl olduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenle, tahmini CO₂ emisyon azaltımı yılda yaklaşık 108,452 ton CO₂ olacaktır.

6.1.3 Geri Dönüşü

CO₂ emisyonlarının azaltılması, Messebo çimento fabrikasının CDM'den (*Temiz Kalkınma Mekanizması*) gelir elde etmesini sağlayabilir. %40 oranında yakıt değişimi ile yılda en az 45.000 ton/yıl kömür yer değiştirebilir ve yaklaşık 108,452 ton/yıl CO₂ azaltılabilir. Bu düşüşle birlikte CDM'den elde edilen gelir (US \$ 14 / ton CO₂ seviyesinde) 1.518.328 ABD doları/yıl civarında olacaktır.

6.1.4 Messebo Biomass Project

Biyokütle bakiyesinin ve orman artığının alternatif yakıt olarak kullanılmasının avantajları arasında yenilenemeyen fosil yakıtların kullanımının azaltılması, fosil yakıt kullanımını dengeleyerek sera gazı emisyonlarında azalma, daha önce boşa harcanan malzemedan daha yüksek kaynak değerinin geri kazanılması, bazı durumlarda şiddetli rüzgar etkisini en aza indirecek şekilde depolama sahasının korunması, NO_x, SO_x, kül içeriğinde azalma (kömür değiştirme) nedeniyle tamamlayıcı alternatif materyalleri kullanma yeteneği, teknik ve toplumsal perspektiften (diğer alternatif yakıtlara kıyasla) yakıt bileşimi ile ilgili daha az endişe ve genel geliştirilmiş çevre performanstrır. Daha düşük bir yakıt maliyeti ile mali doğanın ek faydaları da gerçekleştiriliyor.

Bu yığınlar doğal olarak havalandırılmış ve ağır rüzgar etkileri en aza indirilecek şekilde depolanmalıdır.

7. BİYOKÜTLE KULLANMA EKONOMİSİ

Çimento klinker ünitesinde fosil yakıt yerine kullanılacak biyokütle, orman artığı, dönüşüm artığı, yatak altlığı veya alternatif yakıtlar, ortalama %20 oranında kullanılacaksa sistemde bir değişiklik yapılmadan kullanılabilir ve fizibil olduğu tespit edilmiştir.

Biyokütle bakiyesi orman artığı, yatak altlığının ve dönüşüm atığının çimento sektöründe kullanmanın avantajları;

- ✓ Doğal kaynak koruma ve toplam emisyon azaltımını sağlamak,
- ✓ Tarımsal bakiye, yatak altlığı, dönüşüm atığı ve orman artığı malzemenin kullanımını artırmak (yakıt olarak),
- ✓ Çevresel sürdürülebilir tarımsal atık yönetimini sağlamak,
- ✓ Tarımsal atıkların önemli ölçüde enerji amaçlı kullanılmasını sağlamak,
- ✓ Uygun alternatif malzemelerin kullanılması ile emisyonda herhangi bir olumsuz etki oluşturmamak,
- ✓ Çevresel, sosyal, ekonomik olarak eşitliği teşvik etmek,
- ✓ İklim dostu yeşil ekonomi stratejisini geliştirmek,
- ✓ Yerelde insanlara iş imkanı ve yerel kalkınmaya katkı (küçük ve mikro işletmelere),
- ✓ Sera gazı CO₂ ve metan (CH₄) emisyonlarını azaltmak,
- ✓ %40 oranında NO_x salınımını azaltmak,
- ✓ Karbon ticaretinden gelir elde etmek,
- ✓ Sosyo ekonomik ve ekolojik sürdürülebilirliği sağlamak,
- ✓ Döviz çıktısını azaltmak,

Biyokütle kullanımının önündeki engeller arasında, yeni işleme ve elleçleme ekipmanı için (hem sahada hem de arazide) sermaye maliyeti, biyokütle bakiyesi, orman artığı ve dönüşüm atığı kaynaklarının dağınık doğasından kaynaklanan nakliye ve lojistik, yakıtın kalitesini yönetme gibi süreç sorunları yer almaktadır. Fırında refrakter tuğla kaplamalarda aşınma, fırın halkası oluşumu, düşük üretim oranları ve değişen malzeme reçetesidir.

Çimento sanayinde fosil yakıtın (kömür ve petrokok) bir kısmının yerini alacak şekilde biyokütle kullanıldığı zaman fosil yakıt bağımlılığı ve sera gazı karbon dioksit salınımı azaltılır.

Kömür genelde %60-80 oranında, biyokütle ise %40-50 oranında karbon içerir. Biyokütle yenilebilir enerji kaynağı olduğu için kullanıldığı miktarda CO₂ salınımı sıfırdır.

Biyokütle bakiyeleri, orman artıkları, dönüşüm atığı, yatak altlığı ve diğer atıkları alternatif enerji (çimento sanayinde alternatif yakıt, yakma metodu ile enerji üretimi ve gazlaştırma ile enerji üretimi) amacıyla kullanılabilir, fosil yakıtta (kömür ve petrokok) dışa bağımlılık ve sera gazı CO₂ salınımı azaltılabilir.

Çiftçiler, çimento tesisleri ile anlaşarak biyokütle atıklarını çevreyle uyumlu değerlendirerek, uzun vadeli sözleşmeler yapılarak gelir elde edebilirler, toprağa bağlanabilir, tarımsal üretim artabilir, gelir elde edebilirler ve tarımsal kalkınmaya katkı sağlanabilir. Ayrıca sera gazı CO₂ için yutak alanları oluşturabilirler.

Biyokütle atıkları üretildikleri yerde belirli kuruluğa getirildikten sonra balyalama yapılarak çimento tesislerine taşınması daha ekonomik olacaktır. Biyokütlenin yanması sonucu oluşan kül ise klinkerin ana bileşenlerinden biri olarak kullanılır.

Laotian çimento fabrikasında 0.75 ton/saat pirinç kabukları beslemesi yapıldı ve yanmada hiçbir sorun yaşanmadı. Çimento üretim prosesine ve ürün kalitesine hiçbir olumsuz etki oluşturmadı ve %98 yanma verimliliği kaydedildi.

Çimento sanayi için kurulacak biyokütle tesislerinin bakım, elektrik tüketim, taşıma, işleme, toplama maliyeti TL/yıl olarak hesaplanmalıdır.

Biyokütle kullanmanın amacı, üretim maliyetini ve sera gazı CO₂ emisyonunu düşürmektir ve istihdamı artırmaktır.

Yerel tüketimde dikkate alınarak kömür ve petrokok ikame bölgede ne kadar biyokütle olduğu tespit edilmelidir. Biyokütle, mevsimsel olduğu için depolama sistemi oldukça önemlidir.

Enerjide dışa bağımlığı, NO_x kirletici salınımını ve sera gazı CO₂ emisyonunu azaltmak için fosil yakıt yerine %20 oranında biyokütle yakıt olarak kullanılabilir.

Türk çimento sektöründe atıktan enerji üretimi gelişmemiştir. Avrupa'da atıklardan elde edilen enerji üretim oranı %30 civarındayken, Türkiye'de bu oran %7 düzeyindedir.

8. KAYNAKLAR

1. https://www.researchgate.net/publication/301563874_Misir_sapi_yerfistiği_kabugu_v_e_benzeri_bitkisel_artikların_malc_olarak_yabancı_ot_mucadelesinde_kullanımı
2. <http://biyoder.org.tr/biyoenenerji/biyokutle/tarimsal-atiklar/>
3. <https://www.eesi.org/topics/bioenergy-biofuels-biomass/description>
4. <http://www.nrcan.gc.ca/energy/publications/efficiency/industrial/6003>
5. "Biomass Utilization in Cement Kiln", JCM Feasibility Study (FS) 2014 – Final Report,
6. "Biomass Energy For Cement Production: Opportunities In Ethiopia", United Nations Development Programme, 2009.
7. "Messebo Biomass Project", 2016.
8. "Use of Biomass as a Fossil Fuel Replacement in Australian Cement Kilns", WARNKEN ISE, 2003.
9. Ayhan Demirbaş, "Calculation of higher heating values of biomass fuels", Fuel Vol. 76, No. 5, pp. 431-434, 1997.
10. Azad Rahman ↑, M.G. Rasul, M.M.K. Khan, S. Sharma, "Recent development on the uses of alternative fuels in cement manufacturing process", 20 December 2014.
11. "Use of Alternative Fuels in Cement Manufacture: Analysis of Fuel Characteristics and Feasibility for Use in the Chinese Cement Sector", Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, June 2008.
12. Axumawi Ebuy Teka, "Utilization of Alternative Fuels in Cement Pyroprocessing: the Messebo Factory case study in Ethiopia", 2015.
13. Azad Rahman, M.G. Rasul, M.M.K. Khan, S. Sharma, "Impact of alternative fuels on the cement manufacturing plant performance: an overview", Procedia Engineering 56 (2013) 393 – 400.
14. "Transitioning to more Sustainable Cement Production Biomass Combustion Trial Results", Cement 2020.
15. "Demonstration of Equipment for Effective Use of Biomass and Waste at a Cement Plant in Malaysia —Reducing Use of Coal by 25%", <http://www.nedo.go.jp/english/index.html.jp>, 2014.
16. T.C. Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı, Entegre Çevre (Eçi) Tabi Çimento Üretim Tesislerinin Uyum Durumları Ve Gerekliklerin Belirlenmesi Projesi, Nihai Rapor, 2017.

17. Azad Rahman, M.G. Rasul, M.M.K. Khan and S. Sharma, “Cement Kiln Process Modeling to Achieve Energy Efficiency by Utilizing Agricultural Biomass as Alternative Fuels”,
18. L. M. Farag, H. K. Abd El-Hamid, “Rice Husk as a Substitute Fuel in Cement Kiln Plant”, International Journal of Energy Engineering Vol. 5 Iss. 2, PP. 16-27, Apr. 2015.
19. “Burning Alternative Fuels In Rotary Cement Kilns”, 2006 IEEE.
20. “A blueprint for a climate friendly cement industry”, WWF International.
21. “Case Study: Siam Cement Biomass Project” SCG Cement, 24 January 2012.
22. Clean Development Mechanism Project Design Document Form (CDM-PDD), Version 03 - in effect as of: 28 July 2006.
23. Roland Pomberger and Renato Sarc, “Use of Solid Recovered Fuels in the Cement Industry” Use of SRF in the Cement Industry.
24. I. Malico, J. Carrajola, C. Pinto Gomes, J.C. Lima, “Biomass residues for energy production and habitat preservation. Case study in a montado area in Southwestern Europe”, Journal of Cleaner Production xxx (2015) 1-8.