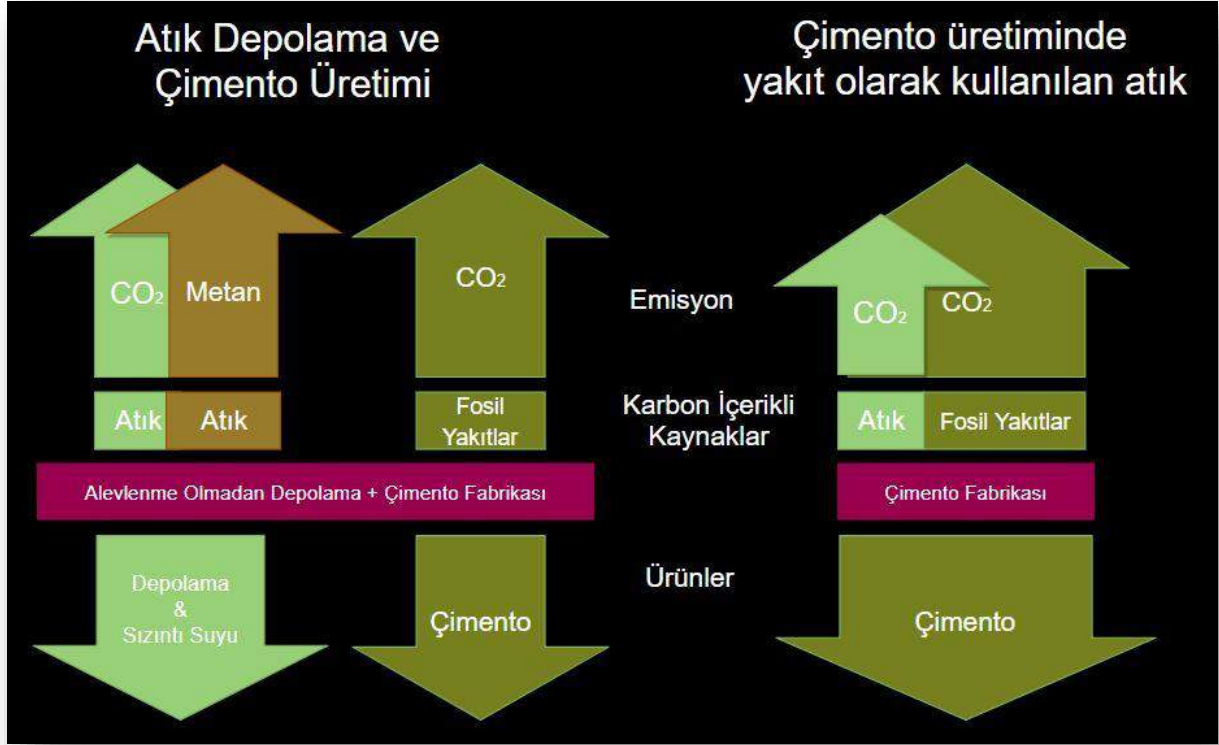


# ÇİMENTO TESİSLERİNİN ATIK ISISI KULLANILARAK

## ARITMA ÇAMURLARINI KURUTMA



**Prof. Dr. Mustafa ÖZTÜRK**  
Müsteşar  
Çevre ve Şehircilik Bakanlığı

2018-ANKARA

## İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ .....	3
2. SUSUZLAŞTIRILMIŞ ÇAMUR VE KURUTULMUŞ ÇAMUR.....	5
2.1. Çamur İçindeki Nem ve Kalori İlişkisi.....	6
3. ÇİMENTO BACASI ISISI .....	11
4. ISI EŞANJÖRLERİ .....	13
5. KURUTUCU SİSTEMLER.....	15
6. ÇAMUR SUSUZLAŞTIRMA İŞLEMİ .....	18
7. EVSEL ARITMA ÇAMURUNUN DOĞRUDAN BESLENMESİ.....	21
7.1. Çamur Besleme Oranının Kalsinatör Kalitesi Üzerine Etkisi .....	22
7.2. Çamur Besleme Hızının Fırın İşletimine Etkisi .....	23
7.3. Çamur Besleme Hızının Gaz Emisyonuna Etkisi .....	23
7.4. Petrokokla Harmanlama .....	24
8. KAYNAKLAR .....	25

# 1. GİRİŞ

Çimento sektörü ülkemizin belli başlı büyük sektörleri arasında yer almaktadır. Ülkemizin geneline dağılmış olarak faaliyet gösteren çimento tesislerinin üretim kapasitesi 100 milyon tonun üzerindedir. Mevcutta 53 adet çimento fabrikasının 34 adedi ek yakıt kullanmak üzere Bakanlığımızdan “Atık Yakma ve Beraber Yakma” çevre lisansı almıştır. Bu tesisler, atıksu arıtma çamurlarını kurutmak için ideal tesislerdir.

Çimento sanayi enerji yoğun bir sanayi koludur. Klinker üretimi için teorik ısı talebi yaklaşık 1760 kJ / kg klinker (kuru üretim metodu) iken gerçek ısı tüketimi 3000 ila 4000 kJ / kg klinker arasındadır. Çimento sanayinde üretim maliyetinin %30-40’ını enerji tüketimi oluşturmaktadır. Aynı zamanda çimento sanayi sera gazı CO<sub>2</sub> emisyonu yoğun bir sanayi koludur.

Bir ton klinker üretimi esnasında yaklaşık olarak 849 kg CO<sub>2</sub> salınmakta olup, bugün dünyada yılda 1,6 milyar ton sera gazı CO<sub>2</sub>’nin %6’sı çimento sanayi bacalarından salındığı bilinmektedir.

AB ülkelerinin yılda 8 milyon ton (kuru madde olarak) belediye çamuru üreteceği tahmin edilmektedir. Polonya’da, 2010 yılında stabilize edilmiş atık çamur miktarı 613.000 ton (kuru madde olarak) seviyesine ulaşmış ve bu miktar ortalama 30.000 ton/yıl (kuru madde) olarak artmıştır.

Susuzlaştırılmış bazda (%25 kuru) ise yaklaşık 50 milyon tondur. Amerika’da üretilen kuru bazda çamur miktarı 7 milyon ton/yıl’dır. 2020 yılında 27 AB ülkesinde bu miktar kuru bazda 13.5 ton/yıl, Amerika’da ise 10 milyon ton/yıl olacaktır. Avrupa Birliği ülkelerinde ortalama kişi başına günde 90 g kuru çamur oluşmaktadır. (90 g/kişi/gün)

TÜBİTAK KAMAG 1007 “Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi” projesi kapsamında yapılan çalışmalardan faydalanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda ve Bakanlığımızın “Çamur Eylem Planı” çalışması doğrultusunda ülkemizde yıllık olarak 2013 yılında arıtma çamuru miktarının 595,269.79 ton olduğu saptanmıştır. 2017 yılında ise 692,433.47 tona çıkması beklenmektedir. En büyük kentsel çamur miktarı Marmara Bölgesinde oluşmaktadır. Marmara Bölgesini sırasıyla; İç Anadolu, Ege ve Akdeniz bölgeleri takip etmektedir.

Arıtma tesis sayısı arttıkça arıtma çamuru miktarı da o oranda artmaktadır. Bugün dünyanın en önemli sorunlardan biride arıtma çamurlarının geri kazanılması ve bertarafıdır.

Atık yönetiminde ve global enerji temininde atıkların ve biyokütlelerin geri dönüşümü ve enerji geri kazanımı oldukça önemlidir.

## 2. SUSUZLAŞTIRILMIŞ ÇAMUR VE KURUTULMUŞ ÇAMUR

Atıksu arıtma tesisinde pres filtre, belt fitre veya santrifüjle susuzlaştırılmış çamur, %90 oranında kurutulduğu zaman;

- Koku kirliliği minimize olur.
- Çamur stabilize olur ve tarımda gübre olarak kullanılabilir.
- Hijyen hale dönüşür ve patojenler giderilir.
- Devam eden biyolojik aktivasyon önlenir.
- Besi maddesi konsantrasyonu artar.
- Kalorifik değeri artar ve alternatif yakıt olarak kullanılabilir.
- Çamur hacmi ve miktarı %75 oranında azalır.
- Taşıma maliyeti minimize olur.
- Yeşil enerji kaynağı olarak kullanılır

%75-80 oranında nem içeren arıtma çamurlarının kalorifik değerleri oldukça düşüktür.

Çamuru kurutarak;

- Kalorifik değeri artırılır.
- %30< Kuru Çamur <%45 oranında özel fırınlarda kendiliğinden yanma özelliği kazanır.
- %60< Kuru Çamur <%90 (en düşük kalori; 8400 kJ/kg) çöp yakma tesislerinde yakılabilir.
- Kuru Çamur > %85 ise prolizi ve gazifikasyonu mümkün olur.

Kurutma esnasında arıtma çamurunun sıvı fazdan katı faza geçiş durumu Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Çamur Kurutma Esnasında Çamur Fazındaki Değişim

→Siccity	artışı					→
(%MS	<10	10-40	40-60	60-90	>90	
Durumu	Sıvı	Viskoz sıvı- pastamsı	Glue faz (sticky)	Granler katı	Kuru katı	

Çimento sanayinde önemli miktarda atık ısı oluşmaktadır. Çimento sanayisi bacasındaki atık ısı kullanılarak düşük sıcaklıkta susuzlaştırılmış çamurların kurutulması için yeni bir teknoloji geliştirilmiştir.

Türkiye’de evsel atıksu arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurları pres filtre, belt filtre veya santrifüjle susuzlaştırma işlemi yapıldıktan sonra yaklaşık %75 oranında nem içermektedir. Bu özellikteki çamurun çimento tesislerinde ek yakıt olarak kullanılması halinde ilave yakıt tüketimi anlamına gelmektedir.

## 2.1. Çamur İçindeki Nem ve Kalori İlişkisi

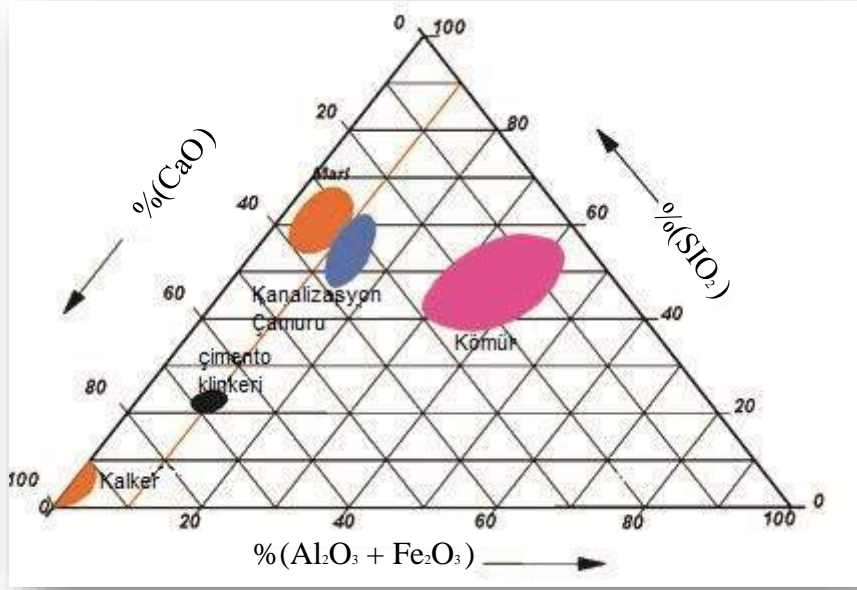
Evsel atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarının içerdiği su muhtevasına bağlı olarak kalorifik değerlerdeki değişim Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Arıtma çamurunun İçerdiği Su muhtevası ile Kalorifik Değeri Arasındaki İlişki

Su Muhtevası (%)	Kalorifik Değer (Kcal/kg)
0	3200-3600
10	2700-2900
20	2000-2300
30	1300-1800
40	800-1100
50	400-650
60	200-350
70	50-150
80	-50 ila -150
90	-250 ila 400

Tablo 2 incelendiği zaman arıtma çamuru içindeki nem oranı azaldıkça çamurun kalorifik değerinin arttığı görülmektedir.

Şekil 1 çamur, kömür, klinker ve hammaddenin kimyasal kompozisyonunu göstermektedir. Şekil 1 incelendiği zaman çamurun kompozisyonu marl ile kömür arasında olduğu görülmektedir. Bu yüzden çimento sanayinde çamur alternatif hammadde olarak kullanılabilir.

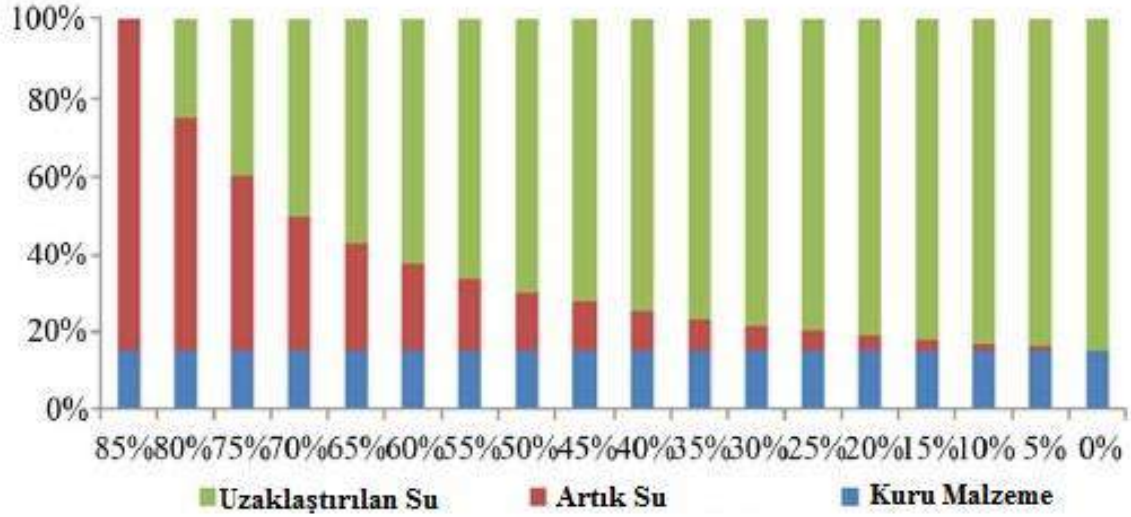


**Şekil 1.** Çamur, Kömür, Klinker ve Hammadde Kompozisyonu

Susuzlaştırılmamış çamuru kurutmak ekstra enerji gerektiğinden dolayı gaz sıcaklığı düşer ve gaz hacmi artar. Eğer klinker kalitesi uygun oluyorsa %75-80 nemli çamuru çimento tesislerinde beslemek teknik olarak fizibildir. Ancak yüksek nemli çamuru çimento fırınında kullanmak ekstra enerji gerektirir.

Çamurun su muhtevası azaldıkça ve organik madde oranı arttıkça kalorifik değeri artmaktadır. Organik madde oranı düşük olan ve yüksek oranda nem ihtiva eden arıtma çamurlarının kalorifik değerleri de o nisbette düşüktür.

Susuzlaştırılmamış arıtma çamurunu çimento tesislerine taşımak maliyetlidir. Diğer yandan çamur içindeki nem muhtevası azaldıkça çamur hacminde önemli miktarda azalma olduğu Şekil 2’de verilmiştir. Çamur içindeki nemin %85’den %50’ye düşmesi durumunda katı madde hacminin %70 oranında azaldığı görülmektedir (Şekil 2). Yeni susuzlaştırma teknolojileriyle çamur içindeki nemi %40-50’lere düşürmek mümkündür.



**Şekil 2.** Çamur içindeki Nem Miktarı Azaldıkça Çamur Hacmindeki Değişim

Şekil 2 incelendiğinde; yaklaşık olarak %85 oranında nem içeren çamur kurutulduğu zaman çamur hacminin de yaklaşık olarak %85 oranında azaldığı görülmektedir.

Arıtma çamurlarının kurutulması konusunda iki seçenek değerlendirmeye alınmaktadır. %70-80 oranında su içeren çamurların çimento fabrikasının atık ısı ile kurutulması birinci seçenek olarak ortaya konmaktadır. Fabrikalardan bir tanesi kurutma tesisi kurmuş, ilgili belediyece gerekli ödemeler yapılmıştır. Buna rağmen tesisin ekonomik geri dönüşünün 7-10 yıl gibi uzun ve ekonomik olmayan bir süreç aldığı görülmüştür. İkinci seçenek çamurların kurutulup çimento fabrikalarına sevkiyatının sağlanmasıdır. Genellikle belediyeler arıtma çamuru kurutma, taşıma ve/veya yakıt olarak kullanım maliyetleri için bir bütçe ayırmak istememektedir.

Arıtma çamuru gibi düşük kalorili atıkları yakmak için yatırım yapan çimento fabrikalarına yüksek kalorili atık kullanımı konusunda öncelik sağlanmalıdır. Bu öncelik fabrikaların çamur ve benzeri düşük kalorili atıkları tesise kabul etmeleri konusunda teşvik unsuru olabilecektir.

Ayrıca çimento fabrikalarında çamur kurutma tesisi kurulması ve işletilmesi konusunda atıktan türetilmiş yakıt (ATY) tesisleri veya benzeri özel müteşebbislere imkân tanınması, bu işlerle uğraşmak istemeyen çimento fabrikaları için bir alternatif olarak değerlendirilebilir.

Atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurları, çimento sanayinde oluşan atık ısı kullanılarak hem kurutulur, hem alternatif yakıt olarak kullanılır hem de çimento üretiminde hammadde veya stabilize gübre olarak kullanılır. Arıtma çamurları böylece doğal kaynak yerine



kullanılacağı için işletme maliyeti düşer. Böylece sera gazı CO<sub>2</sub> emisyonu düşürülür ve enerji amaçlı doğal kaynakların kullanımını minimize edilebilir.

Çeşitli çalışmalara göre, birincil çamurun “13.30-17.50 MJ/kg kuru madde” olan kalorifik değeri, metan fermantasyon işleminden sonra kalan çamurun kalorifik değeri yaklaşık “6.7–12.0 MJ / kg kuru madde”ye düşer. Burada temel olay atık ısının enerjiye dönüştürülmesidir. Atığın, çimento ve termik santral atık ısısı ile enerjiye dönüştürülmesi önemli bir çevre yatırımıdır. Bu avantajın yanında klasik çamur kurutma tesislerinde işletme maliyetlerinin %80’ini enerji gideri oluşturmaktadır.

Arıtma çamurunu 120 °C altında kurutmak fizibildir. Böylece çamur içindeki nem içeriği %10’nun altına düşürülebilir.

Çimento sanayi baca gazının termal ısısı atık ısı olarak atmosfere atılmaktadır. Baca gazının termal ısısı kullanılarak çamur kurutmak hem ekonomik hem de çevreci bir uygulamadır. Çamurdaki su muhtevası %70-80’den %20’nin altına indirilebilir. Elde edilen ürün fosil yakıt yerine alternatif yakıt olarak kullanılabilir. Besi maddeleri bakımından zengin olan bazı arıtma çamurları var ki kurutulduktan sonra tarımsal alanlarda gübre olarak kullanılabilir.

%20’den az su içeren kurutulmuş çamur, birincil enerji kaynağı kullanılmaksızın hem yakıt hemde alternatif hammadde olarak kullanılabilir. Çimento sanayinde kullanılan standart yakıtların en düşük kalorifik değeri 2000-4500 Kcal/kg arasında değişmektedir.

%10 altında nem içeren kurutulmuş çamur, briket yapımında kullanılabilir. Ayrıca gübre olarak kullanılmakta olan kurutulmuş çamur, kömürle karıştırılarak çimento ve termik santral gibi yakma tesislerinde alternatif yakıt olarak da kullanılabilir. Kurutulan çamur, %10-15 oranında kil ile karıştırılarak briket üretilir. Elde edilen bu briket de yakıt olarak kullanılabilir.

Çimento sanayinde en önemli hususlardan birisi de yanma sonucu oluşan külün çimentoda hammadde olarak kullanılmasıdır.

%25-35 kuruluğa sahip evsel atıksu arıtma çamurunun, verimli ve ekonomik taşıma yarıçap mesafesi maksimum 150 km’dir. Aksi durumda taşıma maliyetinden dolayı çamuru çimento tesislerinde yakmak uygun değildir.

Çimento fırınları atıkları birlikte yaktığı zaman baca gazında sera gazı emisyonu artmamaktadır. Aksine, yakma fırınları ve depolama alanlarından kaynaklanan sera gazı

emisyolları azalır. Örneğin, atık çamurun direk yakılması sırasında bir miktar N<sub>2</sub>O (gölme gazı) açığa çıkar. 1 ton N<sub>2</sub>O sera gazı, sera gazı etkileri açısından 300 ton CO<sub>2</sub> sera gazına eşdeğerdir. Çimento fırınlarının yüksek ısı verimine bağlı olarak, birlikte işlemenin, atık çamur için en çevre dostu bertaraf yöntemi olduğu düşünölmektedir.

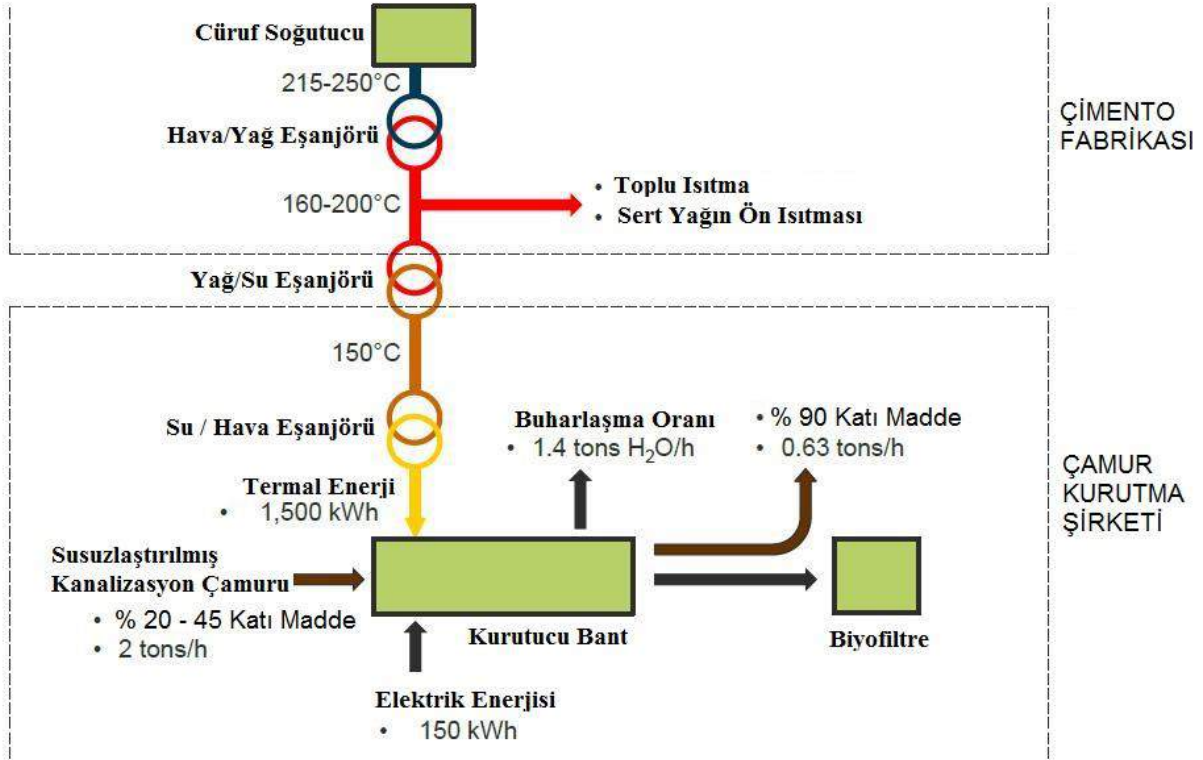
Almanya'da yapılan bir çalışmada çimento sanayiinde çamur yakılmadığı ve çamur yakıldığı sırada, bir ton kuru çamurun tonu başına CO<sub>2</sub>-kg eşdeğerinin karşılaştırılması sonucu elde edilen sera gazı emisyonları ve atık yakıt verileri Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Baca Gazı Emisyonları Ve Atık Yakıt Veriler

	2010 yılındaki seviye "Arıtma Çamuru Yakıldığında"	2000'den beri değişim Arıtma Çamuru Yakıldıktan Sonraki Değişim
<b>TOZ</b>	265 g/t cüruf	-0,39
<b>NO<sub>x</sub></b>	1354 g/t cüruf	-0,2
<b>SO<sub>x</sub></b>	418 g/t cüruf	-0,43
<b>Atık Yakıt</b>	0,205	1,05

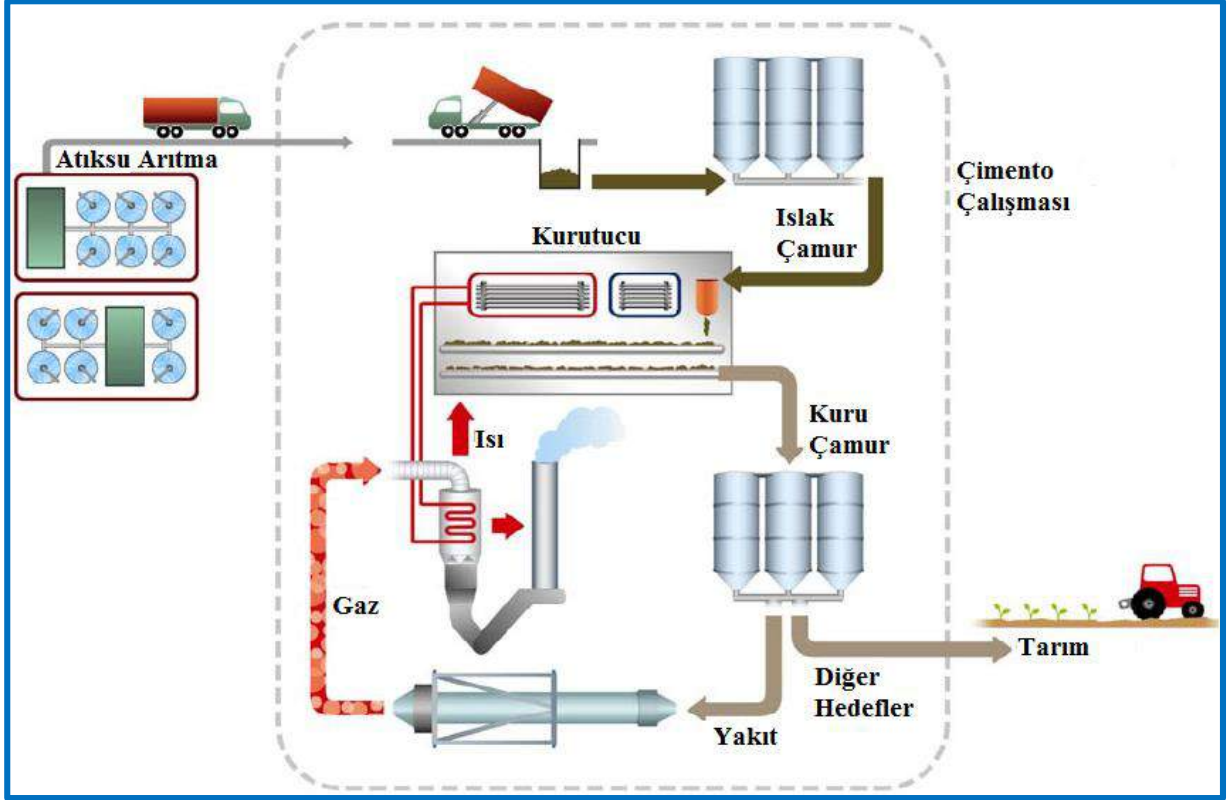
### 3. ÇİMENTO BACASI ISISI

Çamur kurutma tesislerinde işletme maliyetinin ortalama %54'lük kısmını enerji giderleri, %28'ini yatırım maliyetleri, %2 bakım onarım, %7'sini operatör giderleri ve %9'unu diğer giderler oluşturmaktadır. Diğer yandan çimento sanayinde önemli miktarda atık ısı atmosfere atılmaktadır. Çimento sanayinde atık ısının geri kazanımı ile ilgili detay Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Atık Isının Geri Kazanımı

Şekil 3 incelendiği zaman çimento sanayi bacasında önemli miktarda atık ısı oluşmaktadır. Çamur kurutma sisteminde bir kg suyu buharlaştırmak için 3000-3750 BTU ısı gereklidir. Şekil 2 incelendiği zaman 2 ton/saat (%20-45 kurulukta) çamuru %90 kuruluğun üzerine çıkarmak için 1500 kWh termal enerjiye ihtiyaç olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.** Baca Gazı Kullanılarak Çamur Kurutma

Çimento sanayi düşük sıcaklıklı hava akımlarının (streamlerinin) durumu, Sococim'in çoğu son ürün hatlarına uygulanır. Baca gazı, 115-250 °C sıcaklığa ve 200.000 – 500.000 Nm<sup>3</sup>/saat debiye sahiptir. Bu hava akımı (stream) için ısı tranfer oranı, Q Denklem 1 kullanılarak hesaplanır. Daha somut çalışmak için baca gazı giriş sıcaklığı 115 °C ve sıcaklığı 25 K ( $\Delta T$ ), hava-hava ısı değiştiricilerin kullanıldığı kabul edildi. Çevre basınç 1 bar, havanın nisbi yoğunluk ( $\rho = 0.9 \text{ kg/m}^3$ ) ve ısı kapasitesi ( $c_p = 1.0138 \text{ kJ/kgK}$ ) kabul edilmiştir.

$$Q=V \rho c_p \Delta T \quad (1)$$

450.000 Nm<sup>3</sup>/h sıcak gaz gerçekte 2.8 MW ısı transfer oranına sahiptir. Teorik olarak 1 kg suyu buharlaştırmak için 2.26 MJ (= 627 Wh) enerjiye ihtiyaç vardır. Gerçekte bu değer ise 3.3–4.0 MJ/kg su (916–1,100 Wh/kg) arasında değişir.

## 4. ISI EŞANJÖRLERİ

Çimento tesislerinde elektrofiltre ile baca arasına atık ısıyı transfer etmek için ısı eşanjörü (değıştirici) yerleştirilir.

Çimento sanayi baca gazı atık ısısı, hava-hava, yağ-hava veya buhar-hava ısı eşanjörü çamur kurutmada kullanılmaktadır. Bu sistemi ekonomik olarak kurmak mümkündür.

Çamur kurutmada hava-hava, su-hava veya yağ-hava ısı eşanjörleri kullanılır. Isıyı transfer etmek için yağ, su veya hava kullanılır. Termal ısıyı başka bir yere transfer etmek ve kullanmak için kullanılır. Benzer uygulama su ve hava ile de yapılabilir. Termal yağ belli bir ortamda transfer edilir. Yağ/su/hava daha uzun mesafelere transfer edilerek çamur içindeki nem uzaklaştırılabilir.

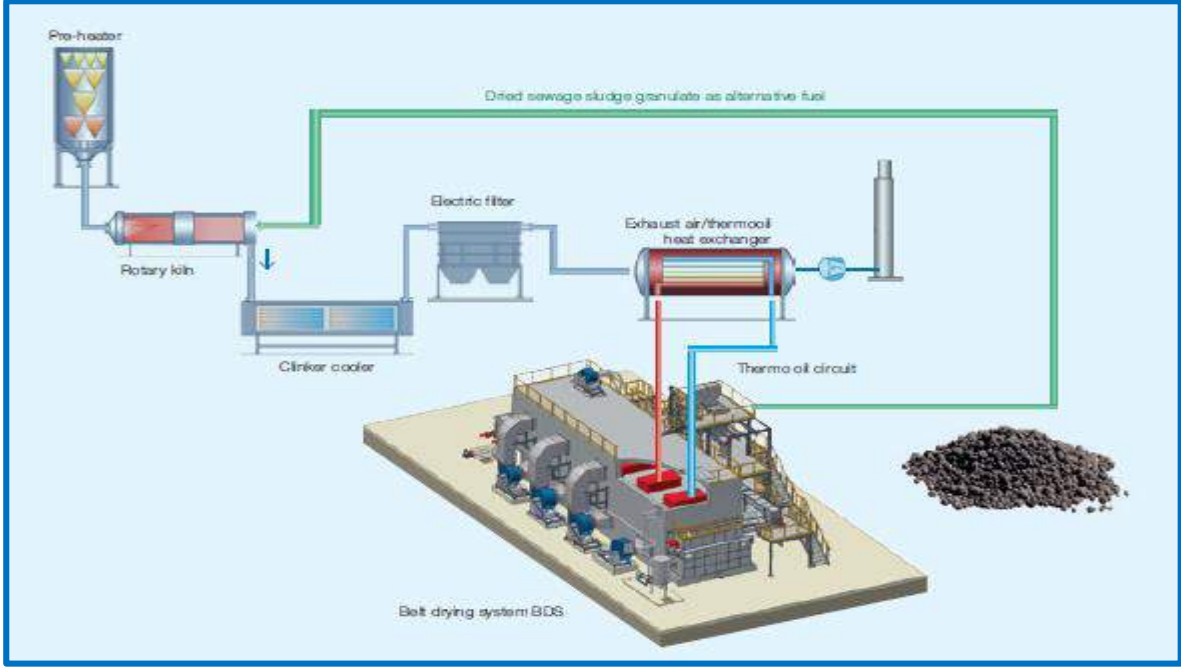
Atık ısıyı geri kazanmak için genellikle flat plate hava-hava ısı eşanjörü kullanılmaktadır. Isı, hava hava ısı eşanjörleri veya döner ısı eşanjörleri kullanılarak düşük sıcaklık hava streamleri (100-200 °C) geri kazanılabiliyor. Hava-hava ısı eşanjörleri nispeten basit teknolojilerdir.

Çimento sanayinde düşük sıcaklıkta (90/75 °C) baca gazı atık ısısı, ısı eşanjörleri ile kapalı sistemde resirküle edilerek çamur ve atık kurutmak amacıyla kullanılabilir. Kapalı sistem içindeki hava ventilasyon sistemi ile itilir ve çamur içindeki nem hidroskopik denge yolu ile çamurdan su alınır. Nemli sıcak hava tünelin içindeki eşanjörlerde kondense edilir. Çamur içindeki nem gaz fazına geçirilerek uzaklaştırılır. Böylece çamur kurutmak için ayrıca bir enerjiye ihtiyaç duyulmaz.

Kurutma havası resirküle edilir, soğuyan hava tekrar 85 °C kadar ısıtılır ve çamur kurutma ünitesinde tekrar çamur kurutma amacıyla verilir. Böylece baca ısısı değerlendirilmiş olur.

Termal çamur kurutma sistemi, sürekli kapalı sisteminde düşük sıcaklıkta (80/60 °C) sıcak hava konveksiyon baz alınarak kurutma işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu sistemle çamur yanında biyokütle gibi malzemeler, çöpler gibi farklı atıkların kurutulması mümkündür. Bant tipi kurutma sistemlerinde 90-150 °C derece arası ısıya ihtiyaç vardır. Pedal ve helezon tipi kurutmalarda bu değer 170-190 °C çıkmaktadır.

Isı değıştiriciler ile sıcak ortamdan soğuk ortama ısıyı taşımak mümkündür.



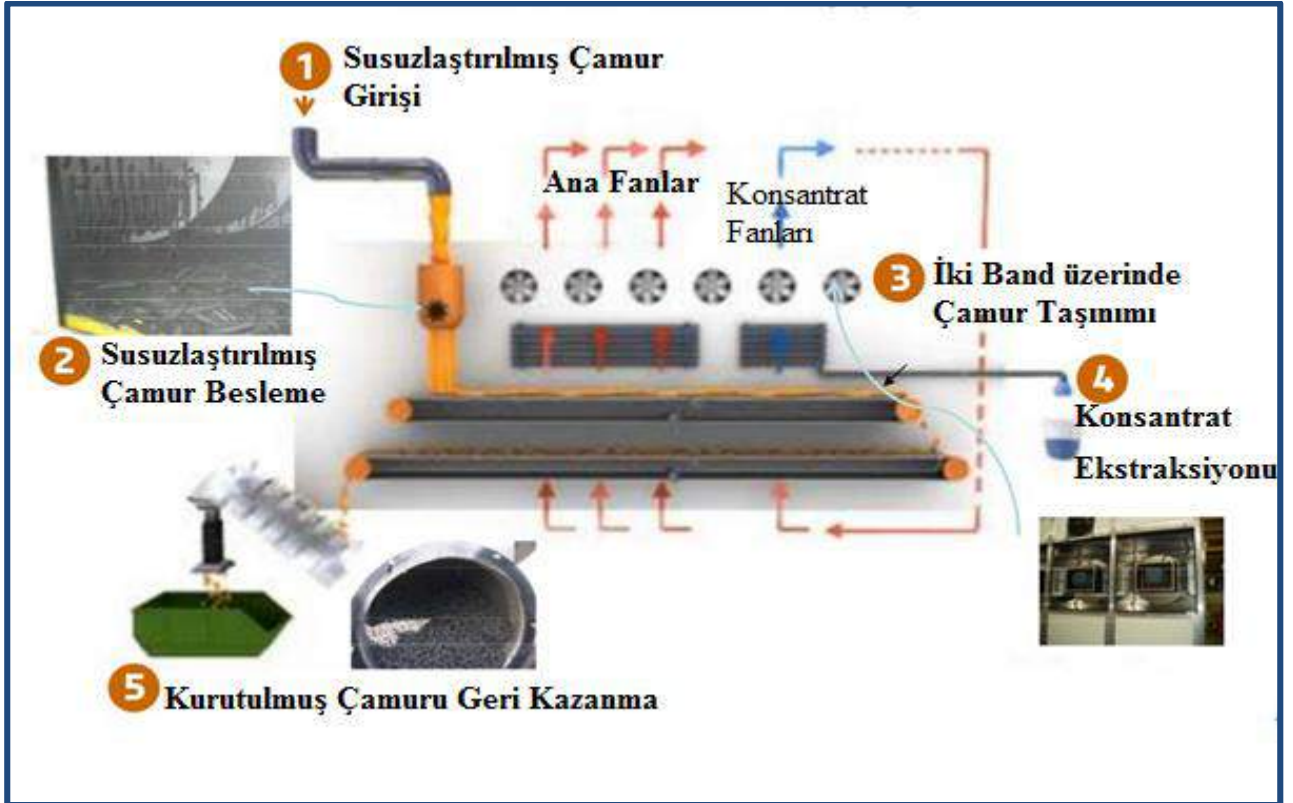
**Şekil 5.** Isı Eşanjörleri ile Sıcak Ortamdan Soğuk Ortama Isıyı Taşıma

## 5. KURUTUCU SİSTEMLER

Çamurlar genelde döner (rotary) kurutucularda ve bant kurutucularda kurutulmaktadır.

Bant tipi çamur kurutma dünyada en fazla kullanılan çamur kurutma sistemidir. Bant tipi çamur kurutmada çamur ekstruder ile ortalama 5-15 mm çapta ve 15 mm kalınlıkta homojen olarak bant üzerinde dağıtılır. Bant Tipi kurutucular değişkenlik göstermektedir. Çamur 5-15 mm çapında granül halde banta serilebilir. Ancak nozullarla makarna şeklinde ya da parça parça bantın üstüne çamurun serildiği sistemlerde bulunmaktadır. Granül olarak serilen sistemler geri besleme olan bant tipi sistemler, makarna tipi sistemler ise geri beslemenin olmadığı ya da az olduğu sistemlerdir.

Düşük sıcaklıkta atık ısı bant kurutucusunda verimli ve ekonomik olarak kullanılmaktadır. Farklı besleme sisteminden dolayı farklı kalitede yüksek miktarda ürün elde edilir. Basit dizayn ile yüksek kalitede ürün elde edilebilir.



**Şekil 6.** Arıtma Çamuru Susuzlaştırma (Çift bantlı sistem)

Çimento sanayinde çamuru kurutmak için çamur bir siloda veya bunkerde depolanır. Buradan ekstruderden geçirilerek kurutma sistemi tünelinin başından sisteme verilir. Belli genişlik ve

uzunluğa sahip kontrollü bant konveyör üzerinden sıcak hava ile temas ederek çamur kurutulmaya çalışılır. Bu işlem esnasında toz oluşmaz.

Çamur, kurutma ünitesine verilmeden önce 1 cm çapında granül haline getirilir. Hava ile kurutulmuş örnekleri 10 °C/dakika bir ısıtma oranında hava akımında (streaminde) ısıtılır.

İlk kurutma ekipmanı, spiral flights, kaldırma flights ve zincir hammerlı bir döner kurutucudur. Bu çamur kurutma tesisinin çapı 2,2 m, uzunluğu ise 24 m ve 1,5° eğimlidir. Çamurun ilk çamur kurutma ünitesinde kalış süresi yaklaşık olarak 50 dakika ve ikinci çamur kurutma ünitesinin çapı 2 m, uzunluğu 20 m ve eğimi 1.5 derecedir. İkinci ünite de çamurun hidrolik bekleme süresi 30 dakikadır.

Düşük sıcaklık kurutma prosesi ile çamur içindeki diğer kirleticilerin sıyrılması önlenir. Diğer kirleticilerin su fazına geçmesi önlenir. Böylece daha temiz su elde edilir. Dolayısıyla çamur fazından su fazına daha az malzeme sürüklenir.

Endüstriyel ısı pompaları ile ısı geri kazanmak ve yakıt tüketimini minimize etmek mümkündür.

Isı pompaları ile düşük kalite yüksek kaliteye transfer edilir. Sıcak hava sirkülasyonu 75-90 °C arasında gerçekleşir. Bu sistemlerde ısı pompaları kullanılır.

Düşük sıcaklıkta kurutma yapıldığı için emisyonlar çok düşüktür. Kurutucu dahili hava çoğu geri dönüştürüldüğü için egzoz gazında ısı kaybı minimum seviyededir.

Kurutucuya sıcak hava sirkülasyonu ısı eşanjörlerinden gelir. Isı eşanjörlerin içindeki suyun sıcaklığı 90 °C ve üzerindedir. Çamurdaki nem muhtevasına bağlı olarak nem buhar halinde ekstrakte edilir. Sonra bu ekstrakte edilen buhar soğuk ısı eşanjörlerinde yoğunlaştırılır. Soğuk ısı eşanjörünün içinde su veya yağ girişı ile çıkışı arasındaki ısı farkı 30-50 °C derece aralığındadır. Dolayısıyla çıkış sıcaklığı girişin maksimum 50 °C altında olmalıdır.

Kurutma tüneli içinde sıcak gazın hızı ortalama 0,55 m/sn ve bant hız üzerinde çamurun hızı 0.5 cm/sndir. Sıcak gaz çamur yatağı arasından aşağıdan yukarı veya yukarıdan aşağı doğru hareket eder. Bant üzerinde partiküllerin askıda kalması istenmez.

Bant hızı 0,2-0,7 m/dakika aralığında ayarlanabilmektedir. Bant hızı kontrol edilebilir frekans kontrollü gear motor ile kontrol edilebilmelidir. Böylece farklı nem ortamına adaptasyona



mümkün olur. Peletleme için, kuru ürünün sabit bir nemde olması gereklidir. Ürünün ilk nem içeriği değişken olduğu için otomatik bir nem kontrolü yapılmalıdır.

Çamur kurutma sisteminde iki tür besleme vardır. Bu beslemeler volümetrik veya gravimetrik ölçülendirme esasına göre yapılır. Volümetrik ölçümler band üzerinde hacim ve band hızı esasına dayanır. Gravimetrik ölçümler ise tartım esasına dayanır. Volümetrik ölçüm esasına dayanan sistemler daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Volümetrik beslemede birim zamanda sabit hacimde besleme yapılır.

Bant tipi çamur kurutma sistemlerinde çamur içinde nem buharlaştırma kapasitesi 8 ton/saate kadar çıkabilir

Kurutma tüneline verilen sıcak hava, kurutma tüneli içerisinde saatte yaklaşık 4 kez devir daim edilerek, havanın rutubet ile doyması ve çamur bünyesindeki suyun buharlaşarak hava fazına geçmesi sağlanır.

Rutubet ile doymuş hava, baca gazı fanı ile kurutma tüneline çekilir. Bünyesinde rutubet ihtiva eden bu hava akımı, hem rutubetinin alınması hem de içerisindeki muhtemel toz kirleticilerin yıkanması için ıslak yıkama prensibi ile çalışan bir yoğuşma ünitesine girecektir. Bu ünite, temiz su ile yıkanan hava, daha sonra tekrar ısıtılmak üzere sıcak hava kazanına iletilir.

Kurutma bantları ve çamur ile temas eden tüm kısımlar AISI 316Ti paslanmaz çelikten üretilmelidir.

Bant malzemesi perfore paslanmaz çelik 316Ti'dir. Üstteki bantın çamura temas eden kısmı PFA teflon ile kaplanmıştır.

Serilen çamurun yüksekliği 40 ila 100 mm arasında değişmektedir.

Bekleme süresi 25 ile 75 dakika arasındadır. Bu süre, giren çamurun su muhteviyatı ve çıkışta istenen kuruluk oranına göre PLC tarafından otomatik olarak ayarlanabileceği gibi, işletmeci manuel olarak bekleme süresini kolaylıkla değiştirebilir.

## 6. ÇAMUR SUSUZLAŞTIRMA İŞLEMİ

Çimento döner fırınına doğrudan beslenen yaklaşık %80 oranında su içeriğine sahip susuzlaştırılmış çamur beslenmesi, çimento üretiminde kömür tüketimini artırır. Çamurun zararsız bertarafını sağlayabilir, ancak daha az kaynak kullanımını gerçekleştirmez.

Huaxin, kimyasal kondisyon ve mekanik susuzlaştırma teknolojisinin toplanması ve entegre edilmesi temelinde bir susuzlaştırma sistemi geliştirdi. Huangshi Huahu evsel atıksu arıtma tesisi 2011 yılında işletmeye alınmıştır. Tesiste 100t/d kapasiteli çamur susuzlaştırma tesisi kuruldu ve çamurun nem içeriği %80'den %50'ye indirildi. %50 oranında su içeren çamur, herhangi bir ekstra yakıt beslemeden çimento fırınında kolaylıkla bertaraf edilebilmektedir.

Huangshi atıksu arıtma tesisinde oluşan arıtma çamuru susuzlaştırma tesisinde, yaklaşık 10.500 ton çamur bertaraf etmiştir. Böylece yerel çamur bertarafı sorununa etkili bir çözüm sunmaktadır.

Şekil 7'de, Huangshi çamur susuzlaştırma sisteminin proses akış şemasını göstermektedir. Burada atıksu arıtma tesislerinden gelen ıslak çamur, çamur drenaj tesisine nakledilmekte, bir çamur çukuru boşaltılmakta ve daha sonra bir kazıyıcı konveyör vasıtasıyla bir çamur tankına taşınmaktadır. Daha sonra çamur bir arıtma tankına aktarılır, ardından çamurun susuzlaştırma özelliklerini iyileştirmek için bazı kimyasalların eklenmesi sağlanır. Şartlandırma işleminden sonra çamur, şartlandırılmış çamur tankına taşınır ve filtre presleme için depolanır. Sonunda, şartlandırılmış çamur, çamurun su içeriğini %50'ye kadar azaltabilen özel bir çamur filtre presine pompalanır. Çamur keki bant konveyör tarafından taşınır ve bertaraf edilmek üzere çimento fabrikasına gönderilir. Filtre suyu atıksu arıtma tesisine tekrar verilir.



Şekil 7. Çamur Sususlaştırma

Evsel atıksu arıtma çamuru, susuzlaştırma işleminden sonra Hafin Huangshi sisteminde daha fazla kurutulur. Kurutma sistemi, Hafin Huangshi fabrikasında kullanıma girmek üzere ve devreye alma aşamasındadır.

Proses akışı şu şekildedir:

- Çamur kekini parçalamak (su içeriği <math><50\%</math>),
- Bunları çimento fabrikasından düşük sıcaklıkta atık ısı kullanarak bağımsız olarak geliştirilmiş bir ön ısıtma cihazına iletmek,
- Çamurun %50'nin altında su içeriğine kadar kurutmak,
- Cep ve vida pompası ile bunları kalsine aktarmak,
- Kurutulmuş çamuru fırında yakmak.
- Çamur kurutma işleminde oluşan egzoz gazını, belirlenen standartlara ulaşmak için egzoz gazı arıtma sisteminden geçirilir.

Bertaraf yolu;

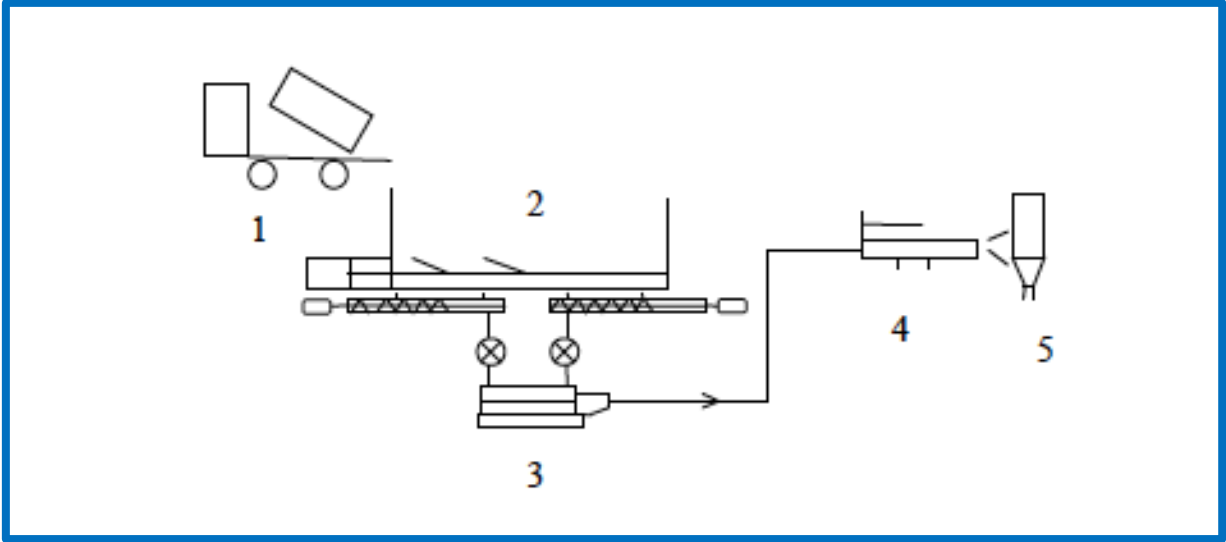
- Nakliye maliyetini azaltabilir,
- Lojistik işlemi sırasında ikincil kirliliği önlenebilir,
- Çimento fırınının atık ısını tamamen kullanabilir,
- Atık çamur ısısı etkin bir şekilde kullanabilir,
- Çamurun kaynak kullanımını sağlayabilir.

## 7. EVSEL ARITMA ÇAMURUNUN DOĞRUDAN BESLENMESİ

Evsel atıksu arıtma tesis sayısı ve kapasitesi arttıkça arıtma çamuru miktarı da o oranda artmaktadır. Çamur için en yaygın bertaraf seçenekleri arasında depolama, kompost ve yakma yer almaktadır. Pratik uygulamada çamur bertaraf teknolojileri önemli bir rol oynamaktadır, ancak bazı dezavantajları vardır. Güvenli ve etkili bir şekilde arıtmak, süreçte önemli bir sorun haline gelmiştir.

Gelişmiş ülkelerde ortak atık işleme tesisleri, özellikle gelişmiş ülkelerde 20 yıldan fazla bir süredir uygulanmaktadır. Avrupa, Japonya, ABD ve Kanada gibi ülkeler/bölgeler, belediye atıkları ve arıtma çamurlarını yüksek sıcaklık, uzun kalma süresi, fazla oksijen, iyi karıştırma, herhangi bir enerji ve hammaddenin verimli bir şekilde yakılarak geri kazanılması önemli bir avantajdır.

Susuzlaştırılmış çamur, Yue Bao çimento fabrikası çevresindeki belediyelerin atıksu arıtma tesislerinden elde edildi. Bu çamurun nem içeriği yaklaşık %80'di. Susuzlaştırılmış çamur, yüksek nem içerdiği ve düşük kalorifik değere sahip olduğu için çimento fabrikasına taşınabilir çamur tankı inşa edildi. Ve yüksek basınçlı pompalarla susuzlaştırılmış çamur kalsinin tabanına doğrudan beslemesi yapıldı. Çimento Fabrikası, 3200 t/d klinker üretim tesisi yeniden kurulmuş ve beraberinde 150 t/d çamur işleme hattı yapılmış 5 aşamalı ön ısıtıcı kulesine sahip ve kalsinatörlü döner fırındır. Proses akışı, Şekil 8'de verilmiştir. Evsel atık su arıtma tesisinden gelen %80 su içeren çamuru çimento fabrikasına taşınır, depolanır ve daha sonra doğrudan çamur püskürtme memeli yüksek basınçlı pompalar aracılığıyla kalsinin altından sisteme besleme yapılır.



**Şekil 8.** Çimento fırın birlikte işlemenin şematik sunumu; 1. Kamyon, 2. Çamur Tankı, 3. Pompa, 4. Çamur Püskürtme Tabancası, 5. Kalsinatör

### 7.1. Çamur Besleme Oranının Kalsinatör Kalitesi Üzerine Etkisi

Çimento fabrikaları genellikle, klinker üretiminde kömürün yerini almak veya artırmak için çamur kullanıldığında ürün kalitesi ve yakıt tüketimi üzerindeki etkisi ile ilgilenir. Bu nedenle, çamur ilaveli ve çamur ilavesiz çimento klinkerlerinin fiziksel özellikleri ve mineral bileşimleri analiz edilmiş ve çamur ilavesinin etkisini değerlendirmek amacıyla karşılaştırılmıştır.

Tablo 3'te listelendiği gibi, çamur ilaveli ve ilavesiz iki tip çimentonun nitelikleri hemen hemen aynı olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, her iki çimento türü Çin'in ortak Portland çimento standardını karşılamaktadır. Bu nedenle, alternatif yakıt olarak çamur kullanımı klinker kalitesini olumsuz etkilemektedir. Çimento klinkerinin başlangıç ve son ayar süreleri daha uzundur. Bu nedenle, alternatif yakıt olarak çamur kullanımı klinker kalitesini olumsuz yönde etkilememiştir.. Çamurdaki bazı kimyasal bileşenler, Zn, P ve Pb gibi bileşikler dahil, klinker hidrasyon reaksiyonunu geciktirebilir; bununla birlikte, çimentolama süresinin uygun şekilde gecikmesi, çimentonun performansını etkilememiştir. Aksine, bu gecikme inşaat için elverişlidir.

**Tablo 4.** Çamurlu ve Çamur Olmadan Yapılma Çimentoların Kimyasal Bileşimi (%)

Numune	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	f-CaO	R <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Cl
Çamurlu	21,07	5,55	3,49	63,5	4,3	1,52	0,49	0,57	0,19
Çamursuz	21,1	5,09	3,26	62,8	4,2	1,48	0,51	0,54	0,16

## 7.2. Çamur Besleme Hızının Fırın İşletimine Etkisi

Bu tesiste, ıslak çamur besleme noktası, kalsinatör tabanının altındadır. Şekil 8'de gösterildiği gibi, keza besleme oranı çamur yanması üzerinde bir anahtar faktördür. Gaz sıcaklığı ve hızı yayılmaya ve yanmaya yardımcı olur. Nem içeriği, su buharlaşması (2.257 kJ / kg su) nedeniyle oluşan ısı kaybına bağlı yanma prosesi üzerinde olumsuz bir etki yapar, bu da çamur yanması sırasında açığa çıkan net enerji miktarını azaltır. Bu durum Tablo 4'te görüldüğü gibi bu çalışmada elde edilen sonuçlarla desteklenmiştir. Tablo 3'te görüldüğü gibi, çamur hacminin 0 t / s dan 6 t / saat'e çıkmasıyla kömür tüketimi artmış, verim azalmıştır.

**Tablo5.** Tablo Çimento Fırını Çamurlu ve Çamursuz

Numune	Çamur Besleme Oranı t/h	Kömür Tüketimi t/h	Hammadde t/h
1	0	16,2	201
2	4	17,1	196
3	6	18,3	190

## 7.3. Çamur Besleme Hızının Gaz Emisyonuna Etkisi

Çamur, kalsine beslendiğinde NO<sub>x</sub>'in çıkış konsantrasyonu azaldı ve SNCR ile ilgili amonyak da belirgin kütle düşüşü oldu. Temel prensip, susuzlaştırılmış biyosolitlerin doğal olarak oluşan amonyak içeriğini reaktif olarak kullanmasıdır. Çamur, yüksek bir uçucu verim gösterir. Yanmanın ilk aşamalarında, birçok uçucu madde üretmek üzere hipoksik koşullar altında türlerin (HCN, NH<sub>3</sub>, CO ve CmHn) indirgenmesi ile birçoğu serbest hale geçer.

#### **7.4. Petrokokla Harmanlama**

Atıksu arıtma tesisi susuzlaştırma ünitesinden çıkan çamur kalsinatöre farklı sistemlerle taşınarak kalsinatörde petrokok ile karıştırılmalı ve sonra çimento döner fırınına besleme yapılarak yakıt olarak kullanılmalıdır.



## 8. KAYNAKLAR

1. Yeqing Lia., Huanzhong Wang, Jiang Zhang, Jiajun Wang, Lan Ouyang, “The industrial practice of co-processing sewage sludge in cement kiln”, *Procedia Environmental Sciences* 16 ( 2012 ) 628 – 632.
2. Liu HaiBing, Gu Jun, Han Li, Wang Ping, Zhang Nan, Cai WenTao, “Industrial Practice of Sewage Sludge Pump directly into Cement Kiln”, *International Conference on Advances in Energy and Environmental Science (ICAEES 2015)*.
3. Heidelberg Cement-Waste processing achievements in Asia, <http://www.globalcement.com/magazine/articles/658-heidelbergcement-waste-processing-achievements-in-asia>, 2012.
4. Yeqing Li, Huanzhong Wang, Jiang Zhang, Jiajun Wang, Ouyang Lan, “Co-Processing Sewage Sludge in Cement Kiln in China”, *Journal of Water Resource and Protection*, **5**, **906-910**, 2013.