

İçindekiler

1. GİRİŞ	4
2. ORTAK YAKMA	7
2.1. Çimentoda Yakma	7
2.2. Termik Santralde Yakma	14
3. MONO YAKMA	16
3.1. Çok Katlı Fırın (Herresoff) Sistemi.....	16
3.2. Akışkan Yataklı Yakma.....	17
3.3. Gazlaştırma	20
3.4. Piroлиз	20
3.5. Döner Fırın	21
4. KAYNAKLAR	23

Şekil Listesi

Şekil 1.1 Büyük Ölçekli Atıksu Arıtma Tesisi Çamur Yönetimi	5
Şekil 1.2 Yakarak Çamur Bertarafı Prosesleri	6
Şekil 2.1 Çimento Tesislerinde Sadece Fosil Yakıt Yakılması Ve Alternatif Yakıt Kullanılması Halinde Başta Sera Gazı Salımı Olmak Üzere Sera CO ₂ Salımı Ve Diğer Kirletici Emisyonlar	8
Şekil 2.2 Çimento Sanayinde Çamur Susuzlaştırma Sistemi Çalışma Prensibi	10
Şekil 2.3 Portland Çimento Üretim Süreçleri ve Susuz Çamur Direk Enjeksiyonu.....	11
Şekil 2.4 Arıtma Çamurunun Termik Santralde Yakılarak Bertarafı.....	15
Şekil 3.1 Çok Katlı Fırın (Herresoff) Sistemi	16
Şekil 3.2 Akışkan Yataklı Çamur Yakma Diyagramı	19
Şekil 3.3 Akışkan Yataklı Yakma Fırın Sistemi	20
Şekil 3.4 Proliz Prosesi.....	21
Şekil 3.5 Yatay Endirekt Kurutma Sisteminin Akış Şeması	22

Tablo Listesi

Tablo 2.1 Almanya'daki Çimento Fabrikalarında Alternatif Yakıt Ve Hammadde Olarak Kullanılan Kuru Bazda Çamur Miktarının Yıllara Göre Değişimi	9
Tablo 2.2 Çimento Sanayinde Yakılacak Çamurun Özellikleri	12
Tablo 2.3 Arıtma Çamuru Yakılan Tesislerde Baca Gazı Sınır Değerleri.....	13

1. GİRİŞ

Arıtma çamurları, genel olarak, susuzlaştırma ve kurutma işleminden sonra yakılır. Tekil yakma sistemlerinde, çimento gibi tesislerin atık ısı kullanılarak susuzlaştırılmış çamur, kurutma amacıyla kullanılabilir ve kurutulan çamur daha sonra yakılır.

Çamur yakmanın avantajları;

- ✓ Su kaynaklarını kirletme riski azalır.
- ✓ Depolama alanına ihtiyaç olmaz.
- ✓ Düşük çamur kalite izleme maliyeti sağlanır.

Riskler;

- ✓ Baca gazı, arıtılmazsa partikül madde ve cıva kirliliği gibi hava kirliliği oluşturur, bunları arıtma maliyetini yüksektir,
- ✓ Oluşan kül, çöp depolamada depolanması uygun olmayabilir,
- ✓ Ciddi yatırım gerekir.
- ✓ Ciddi işletme maliyeti gerekir.

Çamurların yakılması, organik katı maddelerin tamamen oksitlenmiş son ürünlere, özellikle de karbondioksit, su ve küle dönüştürülmesini içerir.

Enerji üretimi: Yakma, anaerobik çürütme, gazlaştırma ve piroliz prosesinden çıkan proses gazının uygun yöntemle yakılarak buhar türbini, gaz türbini ve/veya gaz motoru ile elektrik enerjisine çevrilerek geri kazanılabilir. Ancak enerji üretimi ile geri kazanım yöntemi yukarıda belirtilen pek çok çamur arıtım yönteminin bir arada ve/veya ardı ardına kullanımı ile mümkün olmaktadır. Yakma işlemi ya sadece çamur yakılarak yapılır veya evsel atık, kömür gibi maddelerle birlikte yakılır.

Normalde yakma öncesinde çamurun stabilize edilmesi gereksizdir. Çamur ayrıca tekil yakılabileceği gibi, belediyenin katı atıklarıyla birlikte ortak olarak da yakılabilir.

En çok kullanılan yakma işlemleri;

- ✓ Akışkan yataklı fırınlar,
- ✓ Çok hücreli fırınlar,
- ✓ Siklonik fırınlar,
- ✓ Ortak yakma fırınları,

içerir.

Çamur yakmada en önemli kriterler, çamur içindeki nem oranı çamurun kalorifik değeri ve yanma sonucu oluşan bakiye kül oranıdır. Çamur yakma işleminde ele alınan en temel parametrelerden biri çamurun nem oranıdır. %30-50 katı madde (%50-70 nem) içeriğine sahip çamur keki kendiliğinden, yani ilave yakıt gerektirmeden yakılabilir. Ancak kalorifik değerinin 2500 kcal/kg civarında olması tavsiye edilir. %20-30 katı madde (%70-80 nem)

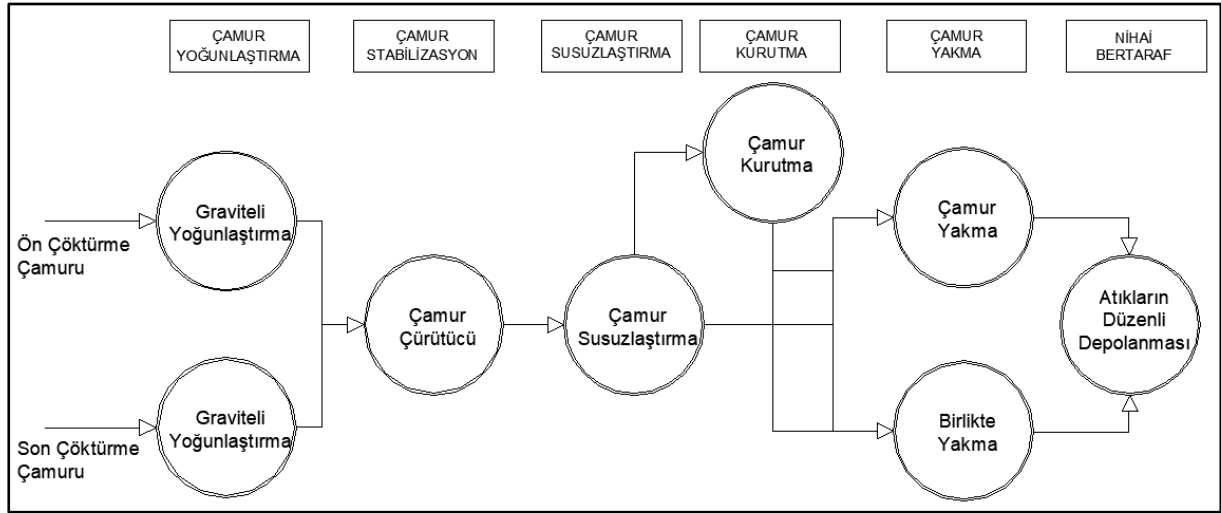
Arıtma Çamurunun Yakılması

içeriğine sahip bir çamuru yakmak için ilave yakıtı ihtiyaç duyulur. Kuru çamurun tipik ısı değeri, kül oranına bağlı olarak, 3-5 MJ/kg KKM'dir.

Çamur yakma tesislerinde 850-950 °C sıcaklıkta çamur yakılır. Çamur 850 °C altında yakılması tavsiye edilmez. Yakılırsa tesiste ve çevresinde koku kirliliği oluşur. 950°C'nin üzerinde ise sinterleşme oluşacağı için yine tavsiye edilmez. Yakma esnasında minimum %6 oranında oksijenli ortamın olması gerekir.

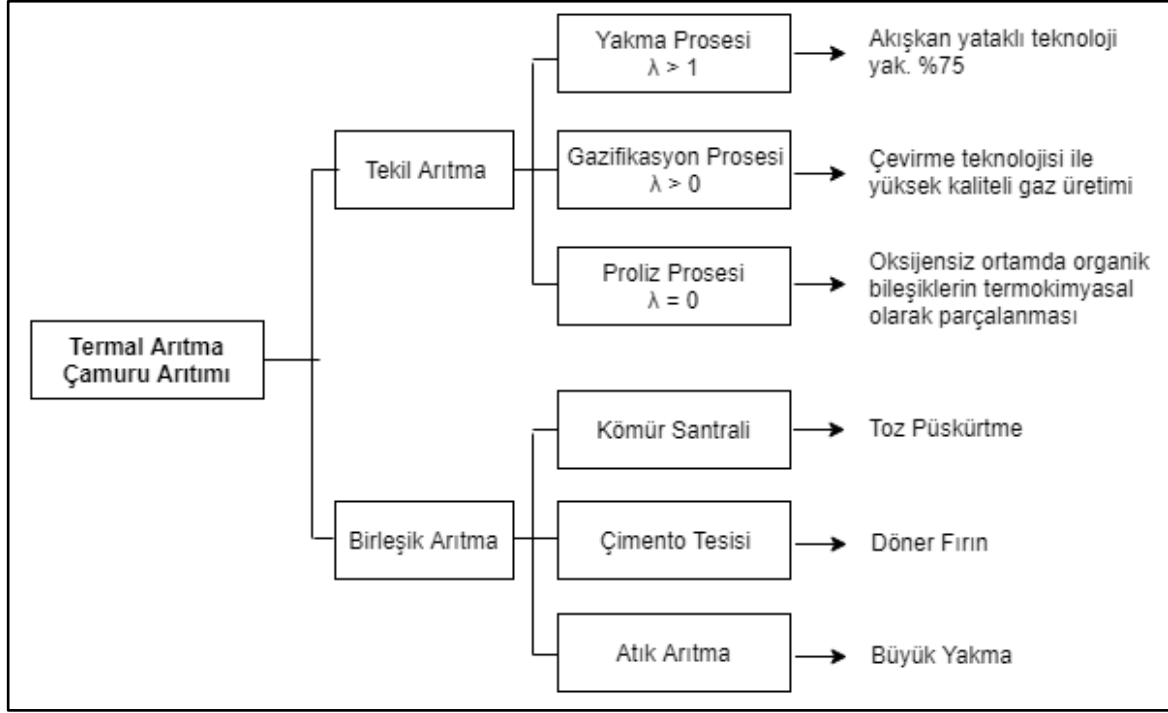
Almanya'da 20 adet çamur yakma tesisi var ve toplam kapasite kuru bazda 580.000 ton'dur.

Susuzlaştırma ve kurutma proseslerini takiben çamur tek başına ya da ortak yakma proseslerine tabi tutularak oluşan küllerle birlikte depolanabilir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Büyük Ölçekli Atıksu Arıtma Tesisi Çamur Yönetimi

Yakararak çamur bertarafı prosesleri Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2 Yakarak Çamur Bertarafı Prosesleri

2. ORTAK YAKMA

Ortak yakma tesislerinde çamur diğer katı, sıvı ve gaz yakıtlarla veya atıklarla karıştırılarak yakılır. Kömür ile susuzlaştırılmış çamur karıştırılarak yakılabilir. Çamur ağırlıkça %3, %5 ve %10 oranında kömürle karıştırılarak yakıldığı zaman baca gazı kirleticilerinde fazla bir sorun olmadığı tespit edilmiştir. Bu tür bertaraf için uzun süreli anlaşma yapılmalı ki yatırım buna göre yapılabilir.

Çamur yakma işleminde ele alınan en temel parametrelerden biri çamurun nem oranıdır. %30-50 katı madde (%50-70 nem) içeriğine sahip çamur keki kendiliğinden, yani ilave yakıtla gerek kalmadan yakılabilir. %20-30 katı madde (%70-80 nem) içeriğine sahip bir çamuru yakmak için ilave yakıtla ihtiyaç duyulur. Bu yüzden, yakma işleminden önce, çamurun nem içeriği mekanik susuzlaştırma veya termal kurutma ile azaltılmalıdır.

Almanya'da arıtma çamuru, kömür veya evsel atıkla birlikte yakılmaktadır. Bu durumda, arıtma çamuru minimum miktarda fosfor içerir. Önemli besi kaynağı fosfor da geri kazanılamaz.

İsveç ve Finlandiya gibi ülkelerde arıtma çamuru, ağaç kabuğu veya diğer odun bazlı malzemelerle birlikte yakılır. Kül içerisinde önemli miktarda fosfor vardır ve bu fosfor geri kazanılmaktadır.

Arıtma çamurlarının atıklarla birlikte yakılması avantajlıdır. Fırın kapasitesi en az 25.000 ton KKM/yıl olacak şekilde dizayn edilmelidir. Optimum boyutta 200.000-250.000 ton KKM/yıl olmalıdır.

Ortak yakma tesislerinin enerji verimliliği çamurun ve yakılacak diğer maddenin özelliğine bağlı olarak yaklaşık %70-85'dir. Ortak yakmada çamur oranı %5-15 arasında olabilir. Ancak %20'yi aşmaması istenir. Yatırım maliyeti 60 milyon Euro ile 100 milyon Euro arasında değişir.

Yanma prosesinin en önemli dezavantajları yakma prosesinin ayrıca yönetilmesi gereken kül artıkları üretmesi, dioksin ve furan oluşumu ile baca gazı arıtımının yüksek işletme maliyetidir.

2.1. Çimentoda Yakma

Çimento, dünyanın en yaygın kullanılan inşaat malzemesidir. 2019 yılında, küresel üretim 4.086 milyon ton üretildi. Kömürün çimento endüstrisinde enerji kullanımını karşılamak için kullanılan yakıtın %31-42'sini oluşturmaktadır. Buna göre, global ölçekte 4.086 milyon ton çimento üretimi için 1.267-1.716 milyon ton arasında değişen toplam yakıt enerji arzı gerektirir.

Çimento tesisleri global sera gazı emisyonunun %6'dan sorumludur.

Bir kg klinker üretmek için genel olarak 860 kcal enerjiye ihtiyaç vardır. Fosil yakıt yerine kurutulmuş arıtma çamuru gibi atıkların yakılması ile sera gazı CO2 emisyonunu azaltmak mümkündür. Klinker üretiminin %5 oranında veya kullanılan fosil yakıtın en fazla %20

Arıtma Çamurunun Yakılması

oranında ortalama %90 KKM (kuru katı madde) içeren arıtma çamur, fosil yakıt yerine kullanıldığında, çamur besleme sistemi hariç, sistem fırında ve baca gazı arıtımı için ilave değişikliğe gerek yoktur. Böylece kurutulmuş arıtma çamurunun enerjisi yanında alternatif hammadde olarak kullanılarak ekonomik olarak bertaraf edilir.

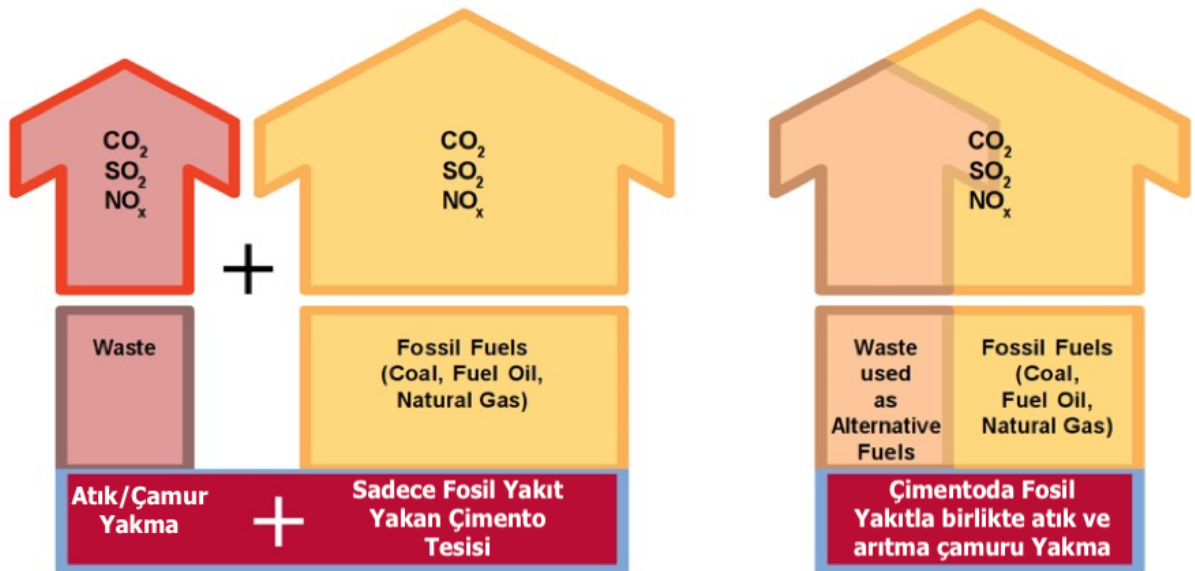
Gelişmiş ülkelerde 20 yıldan fazla arıtma çamurları çimento fırınlarında yakılarak bertaraf edilmektedir. Fırın içinde homojen karışım, yüksek sıcaklık, uzun bekleme süresi, fazla oksijen ve alkali çevrenin olması kurutulmuş evsel çamur yakılması için önemli avantajdır. Ayrıca yanma esnasında çoğu kirleticiler solidifiye olur.

Çimento sanayi enerji yoğun sanayi sektörüdür. Bu yüzden kalorifik değeri yüksek olan arıtma çamurlarının çimento sanayinde ilave yakıt veya alternatif hammadde olarak kullanılarak hem enerji yoğunluğu ve sera gazı salınımı azaltılmaktadır hemde kireç taşı yerine az miktarda da olsa alternatif hammadde olarak kullanılabilir.

Arıtma çamuru en az %90 oranında kurutulduktan sonra 10-12 MJ/kg (yaklaşık 2.500 kcal/kg) kalorifik değere ve %40-%80 arasında organik maddeye sahip kurutulmuş arıtma çamurunu çimentoda enerji kaynağı olarak kullanmak mümkün.

Kalorifik değeri yüksek olan arıtma çamurlarının çimento sanayinde ilave yakıt ve hammadde olarak yakılması Avrupa'da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Alternatif yakıt olarak kullanımı: Çamurun çimento fabrikalarında yakılması, çamur bertarafı konusunda başka bir seçenektir. Çimento sanayi farklı atıkları yakıt seçeneği olarak kullanabilir ve bu yolla fosil yakıtların kullanımından tasarruf edebilir ve atıkları değerlendirerek belediye atıkları sorununa katkıda bulunabilir. Fosil yakıt kaynaklı sera gazı salınımı da önemli oranda azaltılır.



Şekil 2.1 Çimento Tesislerinde Sadece Fosil Yakıt Yakılması Ve Alternatif Yakıt Kullanılması Halinde Başta Sera Gazı Salımı Olmak Üzere Sera CO₂ Salımı Ve Diğer Kirletici Emisyonlar

Arıtma Çamurunun Yakılması

Bazı çimento tesisleri susuzlaştırılmış arıtma çamurlarını kurutmak için tesislerinde kurutma tesisi kurmaktadır. Böylece çimento sanayi kendi atık ısısını çamur kurutma amacıyla kullanarak çamur kurutma maliyetini minimize etmektedirler. Ancak burada atıksu arıtma tesisi ile çamur kurutma tesisi arasındaki mesafe oldukça önemlidir.

Çamur, ağır metal ve kalıcı organik kirleticiler bakımından tarımsal toprak için sınır değerlerinin altında ise stabilize edildikten sonra genel olarak gübre olarak kullanılır. Ancak Türkiye’de stabilize arıtma çamurlarının tarım arazilerinde kullanılması yasaktır. Ancak kirleticiler sınır değerlerin altında veya üzerinde olsa bile alternatif metot olarak çimento gibi geri kazanımı ve yakma tesislerinde bertarafı yapılır.

Temel bir kural olarak, çimento fırınına maksimum arıtma çamuru besleme oranı, çimento fabrikasının klinker üretim kapasitesinin %5’ini geçmemelidir. %5 oranında kullanıldığında çimento yakma tesisi için ek bir düzenlemeye gerek yoktur. 2.000 ton/gün kapasiteli bir çimento fırını için, en fazla 100 ton KKM/gün kuru çamur beslenmesi tavsiye edilir.

27 AB ülkesinde 10 milyon ton/yıl (kuru bazda) ve Amerika’da 16 bin adet atıksu arıtma tesisinde 40 milyon ton/yıl arıtma çamuru oluşmaktadır.

Türkiye’de yılda yaklaşık 4 milyon ton (%25 susuzlaştırılmış, %90 kurulukta ise 1,1 milyon ton) arıtma çamuru oluşmaktadır.

2008/98/EC direktifi çamurun çöp depolama alanında kullanılmasını kısıtlamıştır. Türkiye’de geçici süre izin verilmiştir.

Almanya’da çimento üretim kapasitesi 33 milyon ton/yıldır. Almanya’daki çimento fabrikalarında alternatif yakıt ve hammadde olarak kullanılan kuru bazda çamur miktarının yıllara göre değişimi Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1 Almanya’daki Çimento Fabrikalarında Alternatif Yakıt Ve Hammadde Olarak Kullanılan Kuru Bazda Çamur Miktarının Yıllara Göre Değişimi

Yıllar	Birim	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Kullanım	tonKKM/yıl	4.000	48.000	157.000	238.000	254.000	267.000	263.000	276.000
Isıl Değer	MJ/kg	11	4	3	4	4	4	4	4

Tablo 2.1 incelendiğinde, Almanya’da 2003 yılında kuru bazda 4 ton/yıl arıtma çamuru bertaraf edilirken 2010 yılında bu miktar 276.000 ton/yıla çıkmıştır. Son 7 yıl içinde çimento tesislerinde yakılan çamur miktarı 69 bin kat artmıştır.

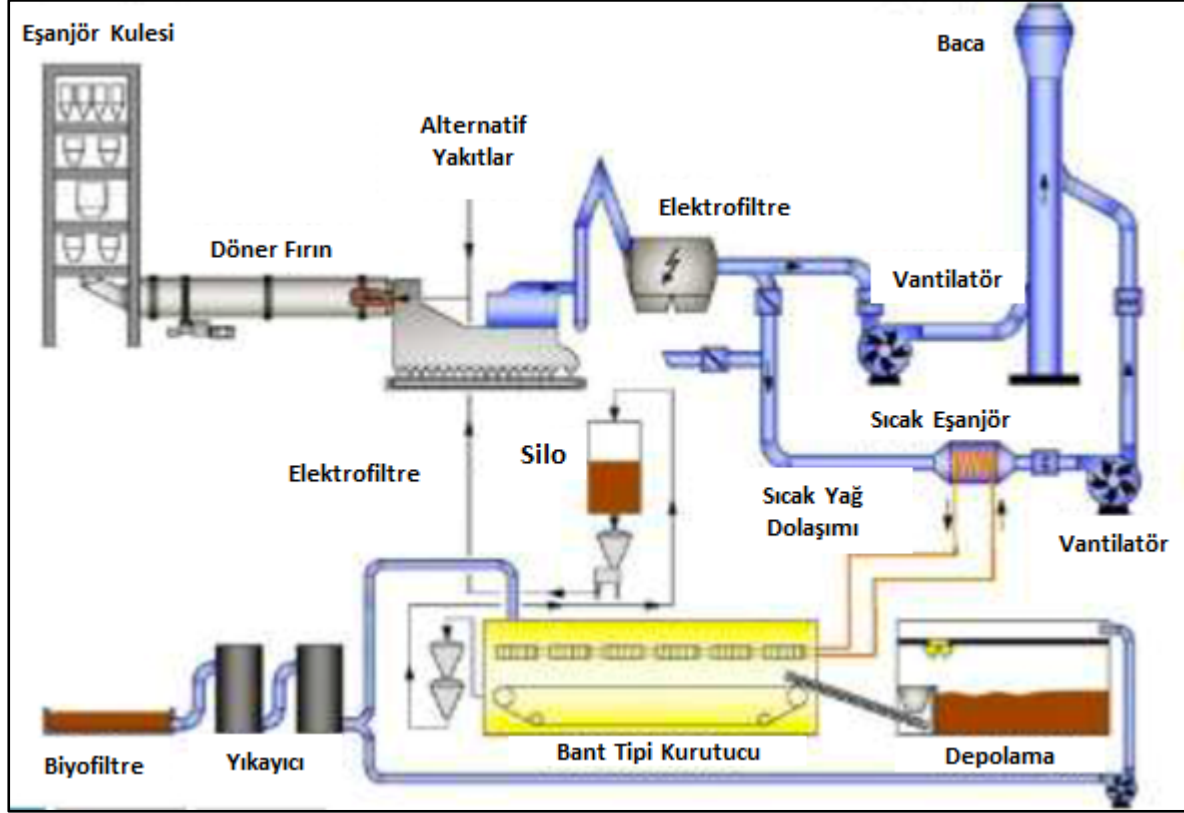
Türkiye’de çimento üretim kapasitesi yaklaşık 70 milyon ton/yıldır. Türkiye’deki çimento tesislerinde ilave bir ön işleme gerek olmaksızın yaklaşık 584.454 ton KKM/yıl çamur yakılabilir. KKM: Kurutulmuş Katı Madde demektir. Türkiye şartlarında yılda 46 milyon nüfusun arıtma çamurunu çimento tesislerinde yakmak mümkündür.

Tuğla ve kiremit imalatı: Çamur aynı zamanda kil tuğlaların, cüruf tuğlaların ve çatı kiremitlerinin imalatında da kullanılabilir. Bu yapı malzemesi kilden ve kerpiç çamurundan

Arıtma Çamurunun Yakılması

oluşur. Bileşenler genellikle karıştırılır, preslenir, kurutulur ve ardından tünel fırında yakılır. Susuzlaştırılmış çamur diğer hammaddelerle birleştirilebilir.

Çimento tesislerinde çamur susuzlaştırma ve yakma prosesi Şekil 2.2’de verilmiştir.

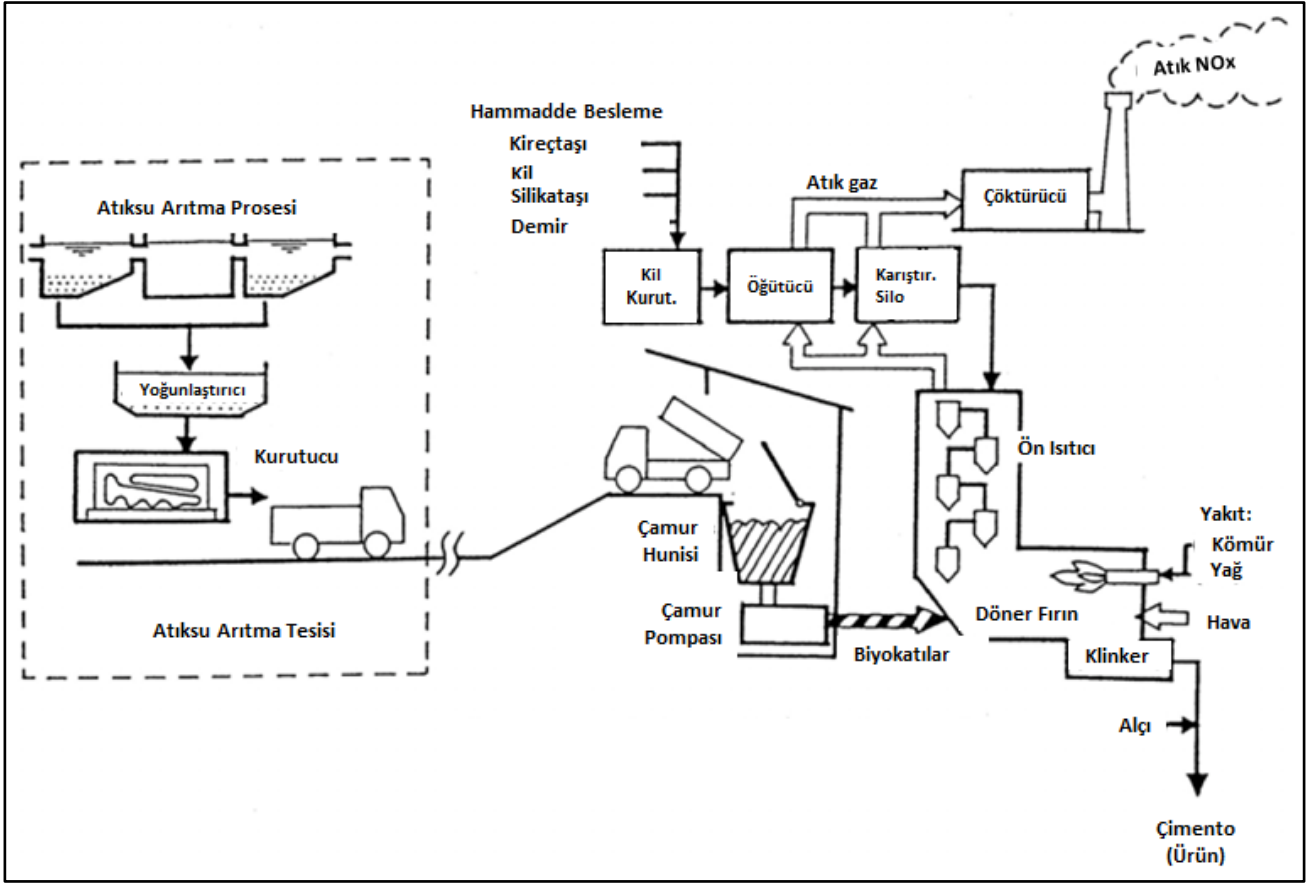


Şekil 2.2 Çimento Sanayinde Çamur Susuzlaştırma Sistemi Çalışma Prensibi

Japonya’da uygulanan bir Portland çimento fabrikası genellikle **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**’da gösterildiği gibi üç işlemden oluşur. Bunlar arasında;

- ✓ Kireçtaşı, kil, silika kumu ve demir cevheri gibi hammaddelerin öğütülmesi gereken hammaddelerin öğütülmesi işlemi,
- ✓ Öğütülmüş hammaddeler, klinker üretmek için kömürle çalışan bir fırında yaklaşık 1.450 ° C’de piro işlenir
- ✓ Bir klinker alçı taşı karışımının portland çimentosu olarak öğütüleceği son işlemdir.

Çimento tesisinde susuzlaştırılmış çamur yakma işlemi Şekil 2.3’te verilmiştir.

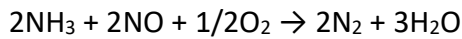


Şekil 2.3 Portland Çimento Üretim Süreçleri ve Susuz Çamur Direk Enjeksiyonu

Susuzlaştırılmış çamurun direk çimento tesisinde kullanılmasının dezavantajı, yüksek oranda su içeren çamurun taşıma maliyetinin oldukça yüksek ve ilave fosil yakıt ihtiyacı olmasıdır. Kısa mesafeler için uygulanabilir ancak kurutulması ve koku kirliliğine dikkat edilmelidir.

Kısa mesafeli yerlerde çimentoda çamur yakma sistemi uygulanarak ilave çamur yakma tesisi kurulmasına gerek olmaması önemli bir avantajdır.

Klinker üretimi esnasında bir ton klinker başına yaklaşık 0,3-4,7 kg NO_x oluşur. Kurutulmuş çamur, ön kalsine ünitesinden veya fırın girişinden beslendiğinde çamur içinde bulunan amonyum, azot oksitle reaksiyona girerek NO_x emisyonunu ortalama %40 oranında NO_x emisyonu azalır.



Böylece NO_x'leri arıtmak için ilave arıtma tesisi yatırımına ve işletmesine ve maliyetlerine gerek kalmaz.

Çimentoda yakılacak çamur, klinkerin kimyasal özelliğini bozmamalı ve bacada kirletici gazlar sınır değerlerini aşmamalıdır. Bunun için çimentoda yakılacak çamurun özellikleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2 Çimento Sanayinde Yakılacak Çamurun Özellikleri

Parametreler	Limitler
Klorür	<%1.0
Halojenler (F ₄ Br+I)***	<%1.0
Kükürt	<%1.5
PCB/PCT (ppm)	<5
Cıva (ppm)	<10
Krom (6)	Sızıntıda <2
Fosfor**	Tercih edilen aralık %0.3-0.5
Cd+Tl+Hg (ppm)	<100
CaO+SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ +SO ₃ (külde) %	>80
A/S* = ((K ₂ O/94) + (Na ₂ O/62)- (Cl/71))/(SO ₃ /80	0.8-1.2

*:A/S: Alkali/Sülfür

** :Üretilen klinker için fosfor bileşiği, P₂O₅, %0,5'den düşük olmalı,

***: Florür konsantrasyonunun %0,5 oranında olması erken erime noktasını düşür, dayanımı artırır. Daha yüksek oranda olması tavsiye edilmez.

Çimento tesislerinde kullanılacak alternatif yakıt ve hammadde olarak kullanılacak kuru bazda çamur içinde klorür konsantrasyonu, Cl<%0,1-0,2 olmalıdır. Aksi durumda klorür konsantrasyonu arttıkça çimentonun korrozif etkisi ve kemerleşme artar ve baca gazında HCl gazı konsantrasyonu artarak ilave arıtma yapmak gerekebilir. Çimentonun ana bileşenlerinden olan CaO, klor oluşumunu sınır ve kendi kendine arıtır. Diğer yandan çamur içinde klorür konsantrasyonunun yüksek olması, kalıcı kirleticilerden olan dioksin oluşumunu artırır.

Yukarda verilen problemi çözmek için atık içerisinde klorür içeriği yüksek ise klor baypas sistemi ile klorü uzaklaştırmak, kemerleşmeyi önlemek ve dioksin ve furan oluşmasını önlemek mümkündür. Bu ayrı bir çalışmada detaylı olarak verilmiştir.

Toplam sülfür, S<%1-2,5 olması istenir. Fazla toplam kükürt baca gazında SO₂/SO₃ konsantrasyonunun artmasına ve baca gazında ilave desülfürizasyon ünitesinin yapması gerektirir.

Yüksek oranda SO₂ ve HCl'nin nemli ortamda, fırın gazının çok aşındırıcı bir atmosfer olmasını sağlar, döner fırın kabukları ve kalsiner kabuğunun aşınmasına neden olabilir.

PCB <50 ppm, cıva konsantrasyonu <10 ppm, toplam (kadmiyum, talyum ve cıva) konsantrasyonu <100 ppm ve toplam ağır metal <2500 ppm'den az olmalıdır. Özellikle cıva ve kadmiyum sınır değerlerin üzerinde olduğu zaman klorürle reaksiyona girerek gaz fazına geçer.

Arıtma Çamurunun Yakılması

Eğer arıtma çamuru muhtevasında %1'den düşük halojenli organik madde bulunan atıkların yakılması durumunda ise gerekli minimum sıcaklık 1100 °C, alıkoyma zamanı ise en az 2 saniye olmalıdır. Çimento tesisleri genel olarak bu şartları sağlamaktadır.

Çimento tesislerinde arıtma çamurunun yakılabilmesi, klinker kalitesinin korunması ve klor gazı oluşmasını önlenmesi için çamur içinde halojenli organik maddeler %1'den fazla olmamalıdır (Tabi ki klor bypas ünitesi kurulmuyorsa).

Emisyon limit değerlerine uygunluk göstermesi gereken ölçüm sonuçları, aşağıdaki koşullarda standart hale getirilir: Sıcaklık 273 °K, basınç 101,3 kPa, %10 oksijen, kuru bazdaki toplam emisyon limit değerleri aşağıdaki tablodaki değerleri sağlamalıdır.

Arıtma çamurlarının yanması sonucu oluşan baca gazı kirleticileri Tablo 2.3'de verilen sınır değerlerini aşmamalıdır.

Tablo 2.3 Arıtma Çamuru Yakılan Tesislerde Baca Gazı Sınır Değerleri

Günlük Ortalama Değer* (mg/m ³)	Çimento Sanayinde Beraber Yakma Sınır Değeri
Toplam Toz	30
HCl	10
HF	1
Mevcut Tesisler İçin	800
Yeni Kurulacak Tesisler İçin	500
Cd + Ti	0,05
Hg	0,05
Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V	0,5
Dioksin ve Furanlar (ng/m ³)	0,1
Kükürt dioksit (SO ₂)	50
TOC**	10
CO**	Üyeler Tarafından Belirlenir
*: Sürekli ölçümlerde 1 günlük ortalama değer	
**: TOC ve SO ₂ oluşmadığı yetkili kurum ve kuruluşlar tarafından belgelenirse	

İsviçre gibi ülkelerde arıtma çamurları %90 kuruluğa getirildikten sonra %60'ı kadarı çimento tesislerinde yakılarak değerlendirilmekte ve bu yolla giderimi sağlanmaktadır. Arıtma çamurlarının Japonya, ABD ve Avrupa ülkelerinde çimento tesislerinde bertarafı hızla yayılmaktadır.

2.2. Termik Santralde Yakma

Termik santrallerde, yakıt karışımındaki belediye kurutulmuş arıtma çamurunun miktarı genellikle %10'u geçmez. Yakıt içinde %1'e kadar %90 oranında kurutulmuş çamur beslenmesi halinde santralde önemli bir değişiklik yapmaya gerek yoktur. Baca gazı ve kül içindeki bakiye organik maddeler sınır değerlerini sağlamalıdır. Tesisatın operasyonel parametreleri aynı kazanda tek başına kömür yakma ile karşılaştırıldığında;

- ✓ Uçucu kül emisyonuna,
- ✓ Uçucu külden ağır metal içeriğine,

dikkat edilmelidir. Belediye arıtma çamurunun kömür ile birlikte yakılması, çamur kullanımı için çok ilginç bir çözüm gibi görünse bile, konu üzerinde nispeten az sayıda araştırma çalışması ve uygulama yapılmıştır.

Pulverize kömür kazanlarında kömürlü kuru arıtma çamurunun birlikte yakılması, böyle bir süreç için teknolojik seçeneklerden biri olabilir.

Termik santralde çamurun yakılmasını tamamlamak için yanma odasında alev sıcaklığı en az 2 saniye 850 °C'da kalmalı ve türbülanslı karıştırma sağlanmalıdır.

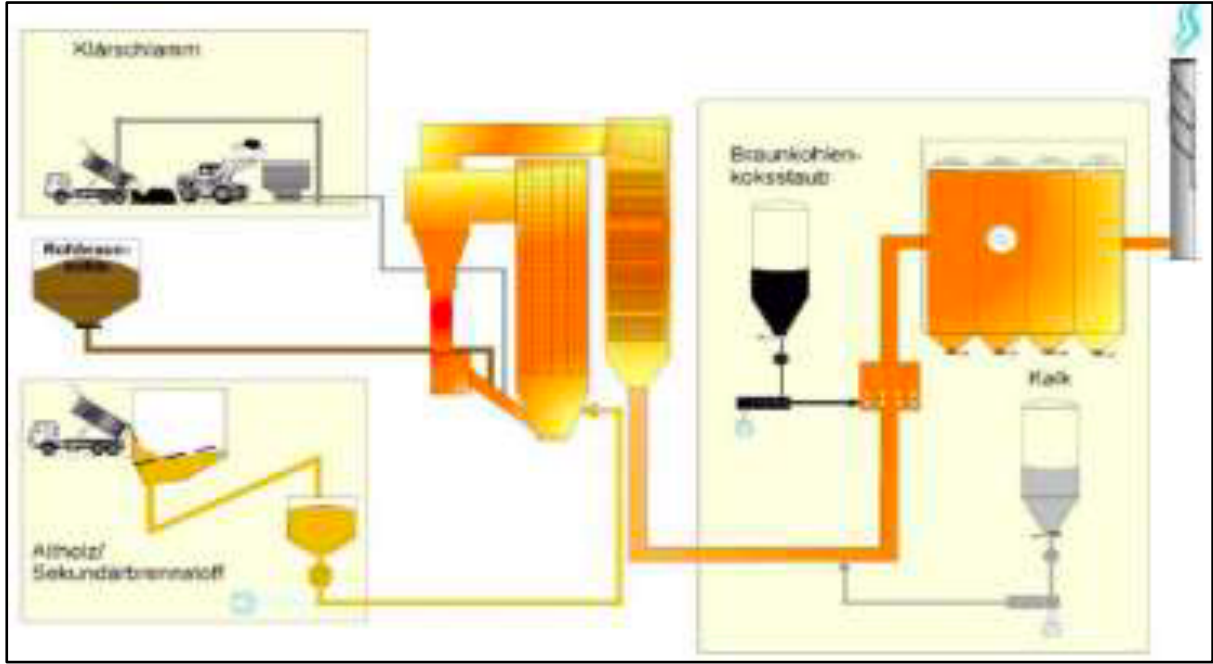
Sıcaklık, basınç düşüşü, CO ve O₂ seviyeleri ve (mevcut ise) ızgara hızı gibi kritik yanma parametrelerini izlemek için sistemler kurulmalıdır.

Çamur besleme, ızgara hızı ile birincil ve ikincil havanın sıcaklığı, hacmi ve dağılımını ayarlamak için kontrol ekipmanları temin edilmelidir.

Yanma sonucu oluşan kül ve taban külü içinde yanıcı toplam organik karbon (TOC) miktarı, %3'den fazla olmamalıdır.

Çamur yakmalı termik santrallerde çamur besleme sisteminin kurulması gereklidir.

Linyit kömürü kullanarak enerji üreten termik santrallerde susuzlaştırılmış çamurun yakılarak bertaraf edilmesi ile ilgili proses akım şeması Şekil 2.4'de verilmiştir.



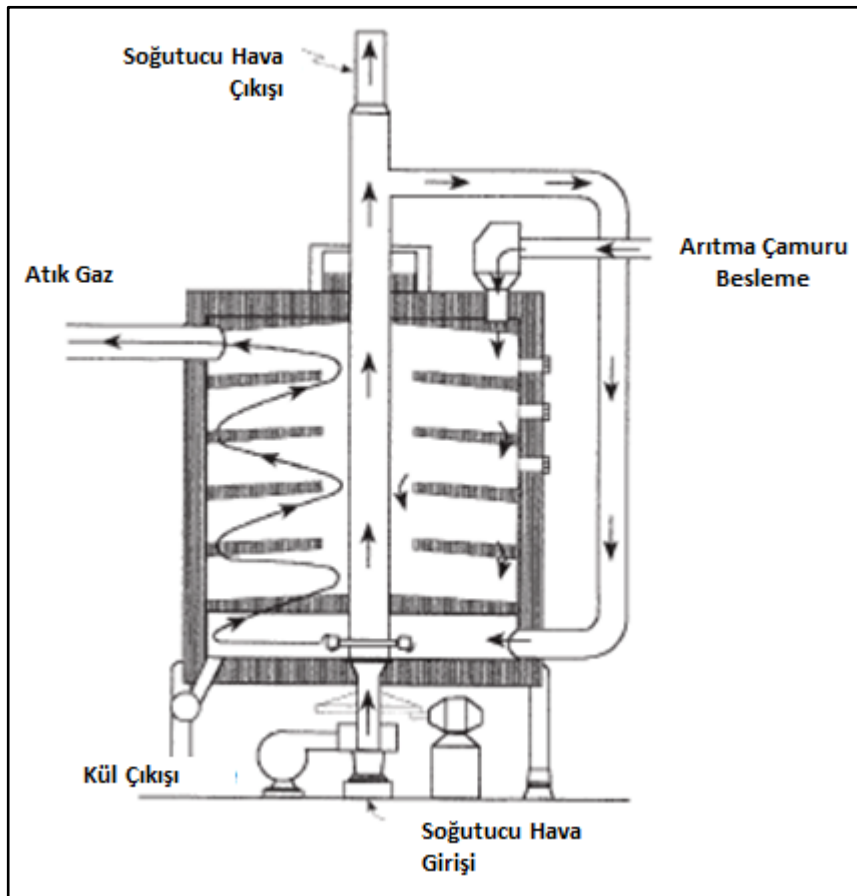
Şekil 2.4 Arıtma Çamurunun Termik Santralde Yakılarak Bertarafı

3. MONO YAKMA

3.1. Çok Katlı Fırın (Herresoff) Sistemi

Çok Katlı Fırın (Herresoff) Sistemi yakma, enerji geri kazanmaksızın yapılan yakma işlemidir. Çünkü yakma sonucu yeterli enerji elde edilemez. Çamurun kalorifik değeri genelde 3 MJ/kgKKM'dir. Bu nedenle, tek yanma, yakıt alımı, karıştırma ve besleme sistemleri, destek brülörleri içeren bir fırın ve petrol, doğal gaz veya kömür gibi başlangıç yakıtları veya sindirimden biyogazdan oluşur.

Yanma odaları, üç bölgenin oluşturulmasını sağlayan 6 tepsideen oluşmaktadır. Kurutma için üst, ortada gerçek yanma ve alt kısım soğutma bölgesi olarak gerçekleşir. Yanma odasında sıcaklık 850-950 °C arasında değişmektedir.



Şekil 3.1 Çok Katlı Fırın (Herresoff) Sistemi

Çok katlı fırın (Herresoff) yakma sistemi, ortak yakma sisteminden nispeten daha ekonomiktir, fakat işletme maliyeti çok yüksektir. Bu yüzden yatırımın geri dönüşü (amortisi) yoktur.

Önemli besi maddelerinden biri olan fosfor mono yakma, oluşan kül içinden özellikle fosfor geri kazanılması için oldukça uygundur. Mono yakma tesislerinde bazı iyileştirmeler ile gelecekte fosfor geri kazanılabilecektir. Buda önemli bir avantaj sağlayacaktır.

Çok katlı fırın (Herresoff) yakma sistemi, yakma fırınlarının yatırım maliyeti, 20 ila 40 milyon Euro arasında değişir.

3.2. Akışkan Yataklı Yakma

Akışkan yataklı yakma teknolojisi %100 çamur (mono yakma) veya %10–50 çamur ve geri kalanı diğer katı yakıtlar (ortak yakma) için kullanılabilir. Akışkan yatak teknolojisinde yanma, akışkanlaştırıcı ağızlıklardan oluşan bir kazan ızgarası katından, bir ateşe dayanıklı astarlı fırın ve bir akışkanlaştırılmış kum yatağından oluşan bir ocakta gerçekleştirilir.

Yakıt (çamur), akışkanlaştırılmış yatağın üzerindeki fırına mekanik veya hidrolik olarak beslenir. Akışkanlaştırma, bir nozul ızgarasından üflenmiş birincil hava ile yapılır. Kum, fırının tabanında bir metre derinliğinde kabarcıklanma tabakası olarak kalır. Akışkanlaştırılmış yatakta yakıt (çamur) kurutma, uçuculaştırma, tutuşma ve yanma meydana gelir.

Yatağın üstündeki boş alandaki sıcaklık (freeboard) genellikle 850 ile 950 °C arasındadır. Akışkan yatak malzemesinin üzerinde, serbest levha, yanma bölgesinde gazların tutulmasına izin verecek şekilde tasarlanmıştır. Yatakta, sıcaklık düşüktür. Yaklaşık 650 °C veya daha yüksektir.

İki farklı enjeksiyon seviyesine bölünebilen ikincil hava ile gerçekleştirilen yanma aşamaları;

- Kalan çamur ve daha büyük yakıt parçacıkları, kum yatağının içinde yakılır.
- Yanma aşamaları iki farklı enjeksiyon seviyesine bölünebilen ikincil hava ile gerçekleştirilir.
- Kalan çamur ve daha büyük yakıt parçacıkları kum yatağının içinde yakılır.

Kazana sürekli olarak yeni bir kum beslemesi yapılması gerekir, çünkü akışkan yatak teknolojisindeki ana yanma akışkanlaştırılmış bir kum yatağında gerçekleşir ve kumun yanma kısmı alt kül sisteminden uzaklaştırılır ve bir kısım baca gazları ile uçar. Bu genellikle bir besleme sistemi ile bir kum silosu sağlayarak yapılır. Gerekirse, kumun bir kısmı, alt kül çıkarma sisteminin yanında yer alan bir geri dönüşüm sistemi aracılığıyla da geri dönüştürülebilir. Daha detaylı bilgi üreticilerden alınabilir.

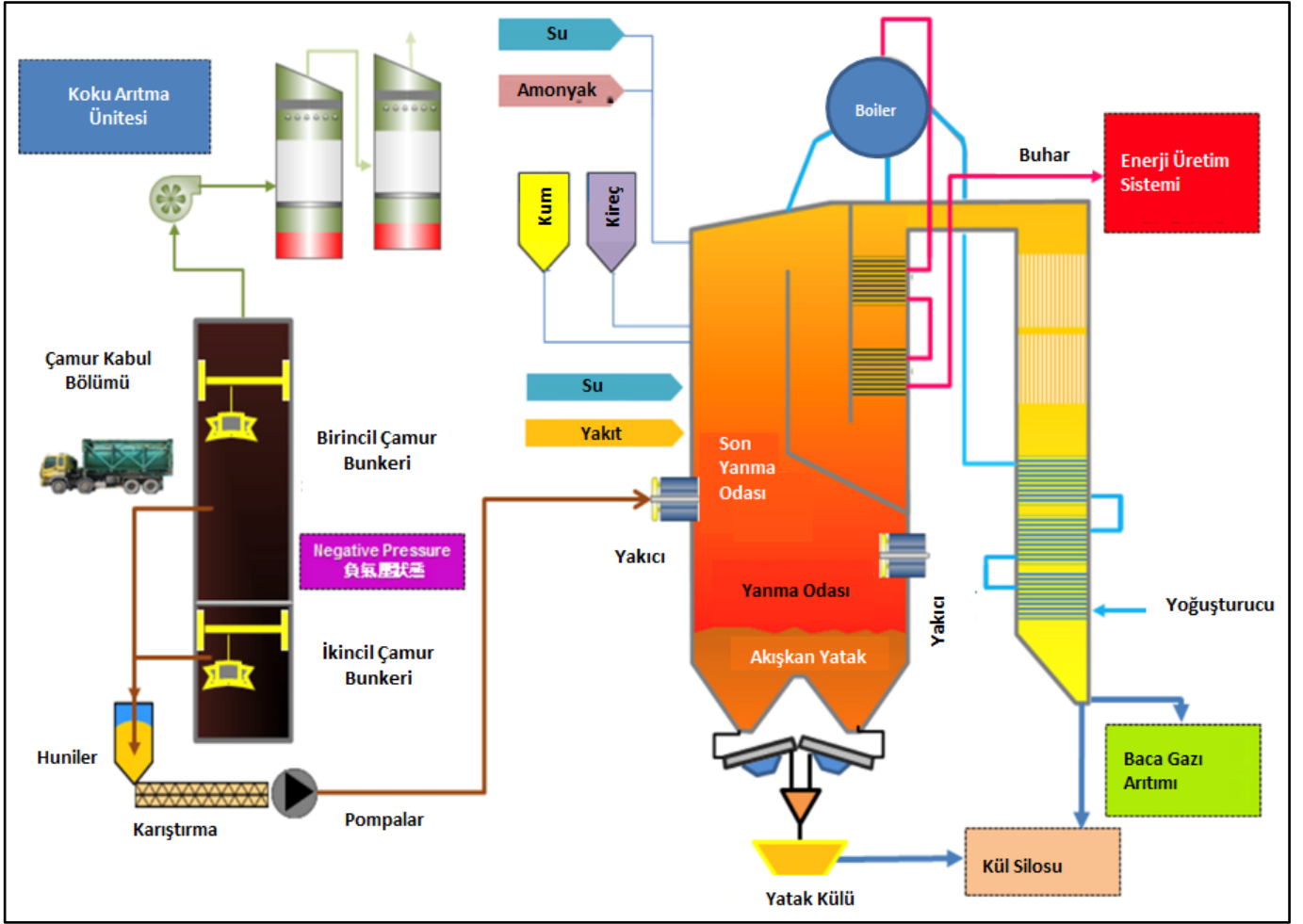
Yatırım maliyeti, enerji geri kazanımı ve diğer faktörlerin kapasitesine ve türüne bağlı olarak 20 milyon Euro ile 40 milyon Euro arasında değişir. Ekipmanların teknik ömrü genellikle 20-25 yıldır.

Primer ve sekonder hava üfleyiciler, akışkan yatak dolaşımı ve baca gazı ekipmanları nedeniyle kurulu güç 400-600 kW'dır. Bu ünite işleminin elektrik enerjisi tüketimi (yaklaşık 400–1200 kWh/t KKM), toplam atık su arıtımı tüketimine kıyasla önemli olabilir; ayrıca, ekipman sürekli olarak çalıştırılmalıdır. Çamur yakma işlemi için hiçbir kimyasal madde gerekmez. Atıksu arıtma tesisinin normal işleyişinin ötesinde bu ünite prosesi 4-5 kişilik daha fazla insan gücü, ek beceriler ve özel yeterlilikler-termal prosesler, basınçlı kaplar, patlama riski bölgelerinin bakımı vs. için gereklidir.

Arıtma Çamurunun Yakılması

Avrupa Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Bürosu'nun Atık Yakma konulu Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanı (BAT-BREF)'na göre, yüksek yanma verimi ve düşük miktarda baca gazı oluşumu sayesinde arıtma çamuru yakma için mevcut en iyi teknoloji akışkan yataklı reaktörlerdir. Gelişmeye açık ve yenilikçi bir yaklaşım olarak akışkan yatak teknolojisi, çamur yakma işlemi için son yıllarda dünyada uygulanan en yaygın teknolojidir. Arıtma çamurlarının günümüzde bir atık yerine enerji kaynağı olarak değerlendirildiği çamur yakma tesislerinin sayısı her geçen gün artış gösteriyor.

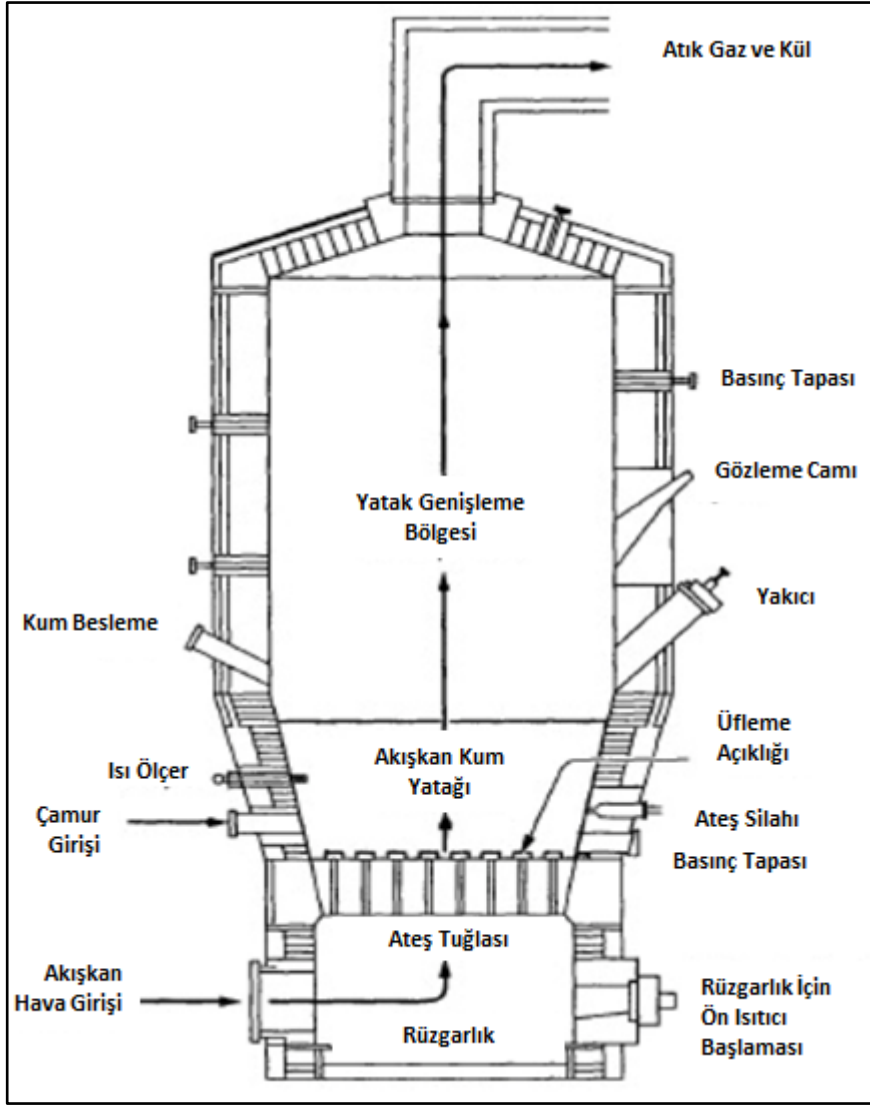
Akışkan yataklı çamur yakma teknolojisi, sıcak hava kabarcıklı yatağındaki çamuru askıya alır, bu sayede çamurları hızla kumla karıştırmak ve yanma için gerekli olan oksijeni sağlamak üzere havaya püskürtülür. Yakma fırınındaki termal gazlar, organik kirletici maddelerin emisyonlarını kontrol etmek için en az 2 saniye boyunca 850 °C'nin üzerinde bir sıcaklığa ulaşır. Baca gazlarında belirli kirletici maddeleri daha da azaltmak için, kireç asidik kirletici maddeleri yakalamak için enjekte edilirken, nitrojen oksit emisyonlarını azaltmak için amonyak ilave edilir. Yanma sonucu kalan kül, orijinal kurutulmuş çamur hacminin yaklaşık %10'u oranındadır. Küller kapalı kamyonlar tarafından bertaraf edilmek üzere çöp depolama alanında günlük örtü malzemesi veya inşaat malzemesi veya çimentoda hammadde olarak kullanılmak üzere nakledilir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Akışkan Yataklı Çamur Yakma Diyagramı

Akışkan yataklı yakma sistemi akım silindirik çelik kabuktan yapılmış tabanda akışkanlığı sağlamak için kum yatağı, yatak 20-35 basınçta hava ile akışkan tutulur. Yatak sıcaklığı 760 °C ile 820 °C arasında değişir. Proses sürekli kontrol edilir. Akışkan yataklı yakma akım şeması Şekil 3.3'de verilmiştir.

Yakma sistemi devreye alınırken, dur kalk durumlarında ve bakım onarım esnasında yakıt olarak doğal gaz gibi yakıtlar kullanılır. Ayrıca yanma esnasında yeterli sıcaklık ortam şartları oluşmazsa doğal gaz gibi fosil yakıtlar ilave yakıt olarak kullanılır. Çamur yakma işleminde daima doğal gaz gibi enerji kaynağı kullanılır. Buda ilave işletme maliyeti demektir.



Şekil 3.3 Akışkan Yataklı Yakma Fırın Sistemi

3.3. Gazlaştırma

Gazlaştırma, çamurun bir gazlaştırma ajanı ile yanabilir gaz ürünlere termokimyasal dönüşümüdür. Yanma prosesine göre en önemli avantajları üretilen proses gazı hacimsel olarak daha düşük ancak kalorifik olarak daha yüksek yanabilir gaz üretmesi ve NO_x ve SO_x gibi kirleticilerin salım miktarının daha az olmasıdır. Gazlaştırma prosesinin ana ürünleri yanabilir sentetik gaz (syngaz)dır (CO_2 , CO , H_2 , CH_4 , H_2O). Sentetik gaz ile gaz türbinlerini veya gaz motorlarını kullanarak yanmaya göre daha verimli bir biçimde enerji elde edilmesi nedeni ile arıtım metodunun yanı sıra geri kazanım yöntemi olarak değerlendirilmektedir.

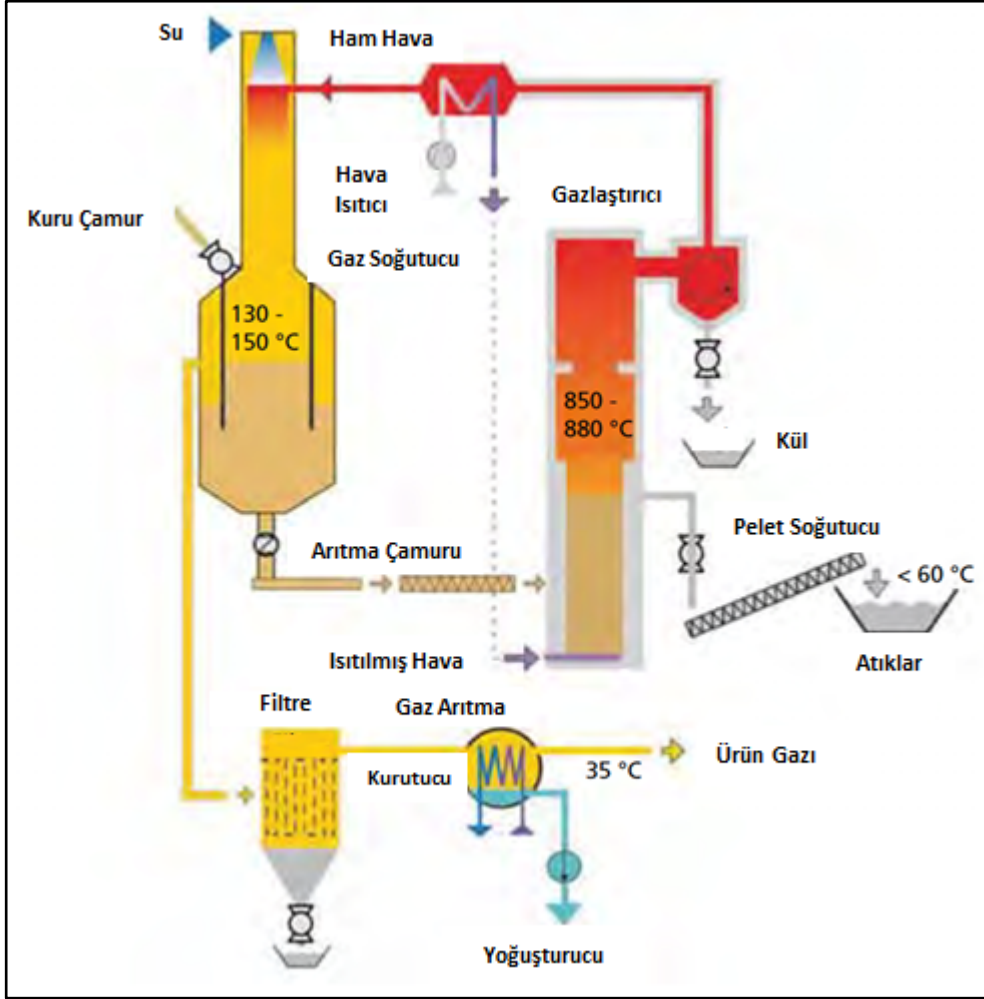
3.4. Piroliz

Piroliz, çamurun içerisindeki organik maddelerin tamamen oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıklarda (350-700 °C) bozunması ile yanabilir gaz ürünlere termokimyasal dönüşümüdür. Yanabilir gaz üretimi yanında pirolitik veya biyoyağ çıkışı bulunmaktadır. Petrol gibi, pirolitik

Arıtma Çamurunun Yakılması

veya “biyo-yağ” da kolaylıkla taşınabilir ve artırılarak pek çok farklı ürüne dönüştürülebilir. Pirolizis en önemli avantajlarından biri pirolizis yan ürünleri ve proses atıklarının stabilizasyon materyali vb. olarak kullanılabilirliğidir. Ayrıca yakma tesislerine göre daha düşük kapasitelerde fizibil bir yöntem olarak modüler tesisler ve inşa kolaylığı bulunmaktadır.

Proliz prosesi Şekil 3.4’te verilmiştir.

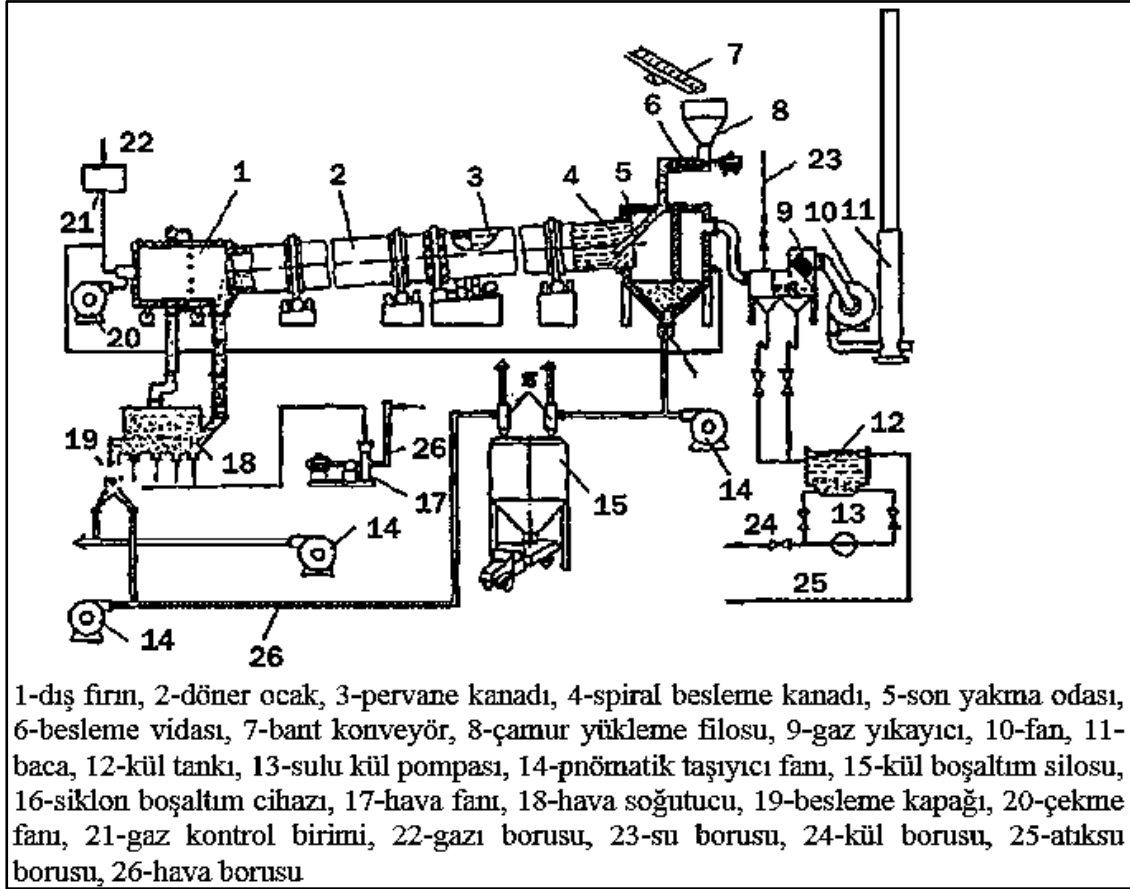


Şekil 3.4 Proliz Prosesi

3.5. Döner Fırın

Döner fırınlar (veya tambur fırınlar) çeşitli sanayi alanlarında kullanılmakta ve seri olarak üretilmektedir. Döner fırınlar çoğunlukla çimento klinkeri, claydite (keramzit/genleşmiş kil) kalsinasyonu ve arıtma çamuru - kentsel katı atık karışımını yakmak için kullanılır. Şekil 3.5’te döner fırınlı bir çamur yakma sistemi şematik olarak gösterilmiştir. Döner fırın (tambur), 2-4°’lik bir eğimle, alt taraftaki dış fırına doğru yerleştirilir. Fırın silindir şeklinde olup, refrakter tuğlalarla kaplanmış ve gaz-sıvı yakıt brülörleri ile donatılmıştır. Fırın rulmanlar üzerinde dönmektedir. Bu da tamburun tamirini ve gerekirse kaplamanın yenilenmesini

kolaylaştırmaktadır. Susuzlaştırılmış çamur (kentsel katı atıklarla birlikte yakılıyorsa ikisi beraber) tamburun üst kısmından beslenir.



Şekil 3.5 Yatay Endirekt Kurutma Sisteminin Akış Şeması

Çamur kurutma alanı boyunca ilerlerken kurur, yakma alanında yanar ve ısı açığa çıkar. Sıcak cüruf/kül bir açıklıktan dış fırın bölümüne dökülür ve akabinde hava ile soğutma ünitesine girer. Buradan pnömatik konveyörlerle silolara taşınır ve kül depolama alanına dökülür. Kül bazen çamurun susuzlaştırılmasında şartlandırıcı olarak kullanılır.

Cürufu/külü 100°C'ye soğuttuktan sonra, sıcak hava yanma işleminde kullanılmak üzere fırına geri gönderilir. Küçük toz parçacıkları ve kurutma alanında açığa çıkan uçucu organik maddeler baca gazları ile dışarı taşınır. Gerekirse, organik maddeler yükleme odasının özel bir bölümünde tekrar yakılır ve koku giderimi yapılabilir. Kurutma alanında, baca gazları 200-220°C sıcaklığındadır ve çamurun nem oranı %65-85'ten %30-40'a düşer. Uzunluğu genellikle 8-12 m'yi geçmeyen yakma alanında, sıcaklık 900-1000°C'ye ulaşır.

Döner fırınların üstünlükleri; düşük ısı ve baca gazı partikül emisyonları, yüksek kül ve nem içeriğine sahip çamurların işlenebilmesi, yakma sisteminin döner tambur bölümünün açık alanda (fırın ve yükleme odaları genellikle bina içinde bulunur) kurulabilmesidir. Zayıflıkları ise boyutlarının çok büyük olması, oldukça ağır olmaları, yüksek ilk yatırım maliyetleri ve işletmelerinin göreceli olarak karmaşık olmasıdır.

4. KAYNAKLAR

1. “Good practices in sludge management”, Project on Urban Reduction of Eutrophication (PURE), www.purebalticsea.eu.
2. Dr. Born - Dr. Ermel GmbH – Engineers, “Advances in thermal Sewage Sludge Treatment in Germany/Europe”, 2015
3. Rokuro Tomita, “Contribution of Japanese Cement Industry towards Addressing Environmental Issues”
4. EPA - Incineration. 2003.
5. D. Fytli, A. Zabaniotou, “Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 12 (2008) 116–140
6. T. Taruya, N. Okuno and K. Kanaya, “Reuse of sewage sludge as raw material of Portland cement in Japan”
7. International Best Practices for PreProcessing and CoProcessing Municipal Solid Waste and Sewage Sludge in the Cement Industry, Ali Hasanbeigi, Ph.D, Presentation at the ECEEE Summer Study in Industry September 2012
8. 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, 2013, 5, 906-910.
9. AZAD RAHMAN, M.G. RASUL, M.M.K. KHAN and S. SHARMA, “Industrial Waste as Alternative Fuel in Cement Industry: Its Impact on Environment”, Recent Researches in Environmental and Geological Sciences.
10. Max Vaccaro – Pillard E.G.C.I. (France), “BURNING ALTERNATIVE FUELS IN ROTARY CEMENT KILNS”, . 2006, IEEE
11. A. Zabaniotou, C. Theofilou, “Green energy at cement kiln in Cyprus—Use of sewage sludge as a conventional fuel substitute” Renewable and Sustainable Energy Reviews 12 (2008)
12. Ashley Murray, Lynn Price, “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, 2008.
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. K.T. Kaddatz, M.G. Rasul, Azad Rahman, “Alternative fuels for use in cement kilns: process impact modelling”, Procedia Engineering 56 (2013) 413 – 420
15. “ARITMA ÇAMURLARININ ÇİMENTO SANAYİNDE ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMASI”, MNE PROJE, 2019.

16. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının ÇED Alanında Kapasitesinin Güçlendirilmesi için Teknik Yardım Projesi, Sözleşme N° 2007TR16IPO001.3.06/SER/42, ATIK YAKMA, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü ARALIK 2017.
17. “Thermal Treatment of Sewage Sludge– State of the Art and Evaluation of the Variants”, Jörn Franck, Josef Lux, Guomin Zhang and Ralf Wittstock, www.born-ermel.de
18. KEN OKAZAWA, MASATO HENMI, KENICHI SOTA, “ENERGY SAVING IN SEWAGE SLUDGE INCINERATION WITH INDIRECT HEAT DRYER”, <http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/nawtec/1986-National-Waste-Processing-Conference/1986-National-Waste-Processing-Conference-18.pdf>.
19. Pratik Ashwekar, Ying Jiang, Hui Pan, Dr. Lincoln Pratson, “Feasibility Study of Energy Recovery by Incineration – A Case Study of the Triangle Wastewater Treatment Plant, Master of Environmental Management degree in the Nicholas School of the Environment of Duke University, 2017.
20. ÇEVRESEL ETKİLER VE ALINACAK ÖNLEMLER KILAVUZU-ATIK YAKMA TESİSLERİ, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, 2017.
21. Takahiro Murakami, Yoshizo Suzuki, Hidekazu Nagasawa, Takafumi Yamamoto, Takami Koseki, Hitoshi Hirose, Seiichiro Okamoto, “Combustion characteristics of sewage sludge in an incineration plant for energy recovery”, Fuel Processing Technology 90 (2009) 778–783.
22. Technical Guide on the treatment and recycling techniques for sludge from municipal waste water treatment, German Environment Agency. 2016.