

KATI ATIK VE ARITMA ÇAMURLARININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE ALTERNATİF TERMAL TEKNOLOJİLER VE UYGULAMALARI

Ö. Yusuf TORAMAN* ve **Hüseyin TOPAL****

* Proje Dairesi Başkanlığı, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, 06520, ANKARA,
oneryuto@yahoo.com

** Makina Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gazi
Üniversitesi, Maltepe 06570, ANKARA, topal@mmf.gazi.edu.tr

ÖZET

Katı atık ve arıtma çamurlarının tek başına veya diğer yakıtlarla birlikte yakılmasına alternatif teknolojiler araştırmak için iki önemli sebep bulunmaktadır. Bunlar, yanma boyunca oluşan büyük oranlardaki baca gazı emisyonları ve küldür. Yanma sonrası başlangıç kuru kütleinin yaklaşık %50'si kül olarak kalmakta ve bir çok toksik ağır metalleri içermektedir. Böylece külün uzaklaştırılması karmaşık hale gelmektedir. Bu kül miktarını azaltmak için piroliz, yakma ve gazlaştırma işlemlerinin kombinasyonu şeklinde bir çok yeni teknoloji geliştirilmiştir. Bu makalede yeni teknolojiler ve uygulamaları özetlenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Katı atık, arıtma çamuru, gerikazanım, termal teknolojiler

ALTERNATIVE TECHNOLOGIES FOR THERMAL PROCESSING OF SEWAGE SLUDGE AND SOLID WASTES AND APPLICATIONS

ABSTRACT

There are two main forces for the search for alternative technologies to mono/co-combustion of sewage sludges and wastes. These are the large quantity of flue gas and ash formed during combustion. After combustion, up to 50 wt % of the input dry mass of sludge remains as ash and most of the toxic heavy metals in sludge are retained, this complicates ash disposal. To reduce the quantity of ash for disposal, there are several new technologies which are combinations of the three process, i.e. pyrolysis, combustion and gasifications. This paper summarizes the new alternative technologies and applications.

Keywords: Solid waste, sewage sludge, recycling, thermal technologies

1.GİRİŞ

Katı atıklar ve gerek evsel gerekse endüstriyel atıksu arıtma sistemlerinden kaynaklanan arıtma çamurları önemli çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bu atıklar genellikle dört yöntem ile uzaklaştırılmakta ve/veya değerlendirilebilmektedir. Bunlar; düzenli depolama, yakma, kompost -gübre- eldesi ve denize deşarjdır [1]. Denize deşarj ve kısmen de düzenli depolama günümüzde çevre kirliliği oluşumu ve dönüşümsüz olması nedeniyle pek kullanılmamaktadır. Evsel ve endüstriyel arıtma çamurlarının ağır metal içermesi özellikle tarımsal gübre yolu ile uzaklaştırılmasının son derece riskli olduğunu göstermektedir. Yakma yolu ile atık değerlendirme ise son altmış yıldır kullanılmaktadır. İlk tasarımlarda ön-kurutmalı klasik yakıcılar kullanılırken özellikle son yıllarda akışkan yataklı yakıcılar kullanılmaktadır. Yakma prosesinde maliyetler atık içerisindeki su oranıyla yakından ilgilidir. Sebastian ve ark., yardımcı yakıt kullanımının az olduğu ve %32 oranında nem bulunması durumundaki bir çalışmayı rapor etmişlerdir [2]. Japonya'daki bazı akışkan yataklı yakma uygulamalarında işletme maliyetlerinin yarı yarıya azaldığı görülmüştür [3,4]. Ancak yakma uygulamalarının verimli olmasına rağmen çevre sorunlarının yüksek maliyetli yatırımlar gerektirdiği de bilinmektedir. Özellikle arıtma çamurları yaygın olarak kömür yakan enerji üretim tesislerinde asıl (birincil) yakıtla beraber ilave yakıt olarak yakılmak suretiyle uzaklaştırılabilmektedir [5-7].

Katı atıkların ve arıtma çamurlarının termal işlemlerle uzaklaştırılması için gerek endüstride uygulanan gerekse geliştirme aşamasında olan bir çok teknoloji mevcuttur. Bu teknolojiler 3 ana grupta sınıflandırılabilir: 1-Tek başına yakma (mono-incineration), 2-Birlikte yakma (co-combustion) ve 3-Yeni ve alternatif termal işlemler [8-10].

Splithoff ve ark., arıtma çamurunun bir araştırma ölçekli sistemde toz kömür ile birlikte yakılmasını incelemişlerdir. Yanma sonucu oluşan emisyonlar ve katı artıklar üzerinde durulmuş ayrıca çalışmalarında piroliz sonucu oluşan gazın yakma ekonomisi üzerine etkileri tartışılmıştır [11].

Yakma teknolojilerinin uygulanmasında göz önünde bulundurulması gereken ve bu tür uygulamaları sınırlandıran bazı faktörler ise şunlardır:

- Yakma sonrası çamur kuru kütlelerinin %50'ye kadar olan kısmı kül olarak kalmakta ve ayrıca çamurdaki bir çok toksik ağır metal de külün uzaklaştırılmasını karmaşık hale getirmektedir.
- Kurutma boyunca, çamur serbestçe akamadığından %50-60 kuru madde civarında yapışkan faza geçmekte, bu da çamur kurutma prosesini karışık ve masraflı hale getirmektedir.
- Azot, klor, sülfür, dioksin ve furan gibi çamurdaki bileşikler yanma boyunca çeşitli yapılarda gazlı kirleticiler şeklinde serbest kalmaktadır. Emisyon sorununa

karşın sıkı emisyon limitlerini karşılamak amacıyla baca gazı arıtma sistemleri gerekmektedir.

- %70-80 nem içerikli mekanik olarak susuzlaştırılmış çamurun net ısı değeri kendi kendine yanma için yeterli değildir ve ilave yakıt gerektirmektedir.

Yakma ile uzaklaştırma yöntemine karşın, oksijensiz ortamda piroliz ve gazlaşma üzerine dikkat çekilmiş ve bu konuda pek çok araştırmacı tarafından farklı tasarımlar üzerinde çalışılmaktadır [12-14].

2. ALTERNATİF TEKNOLOJİLER

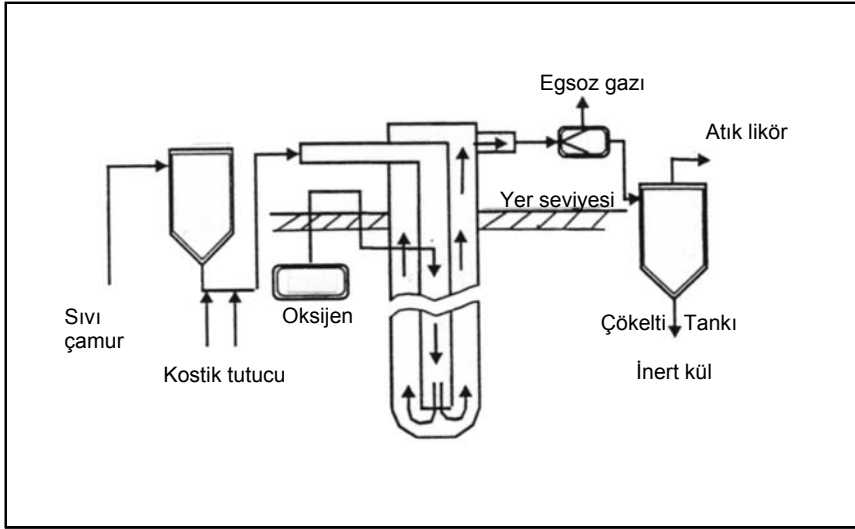
Tek başına/birlikte yakmaya alternatif teknolojiler aramak için çeşitli nedenler vardır. Bunlardan en önemlisi büyük oranlardaki baca gazı emisyonları, çamur yakma boyunca oluşan kül ve ayrıca karmaşık ve pahalı baca gazı arıtma zorunluluğudur. Baca gazı hacmi, baca gazı arıtma tesislerinin boyutunu, sermaye ve işletme maliyetini belirlediği için önemli bir parametredir [15].

Oluşan büyük miktardaki külün uzaklaştırılması çamur değerlendirme maliyetini de artırmaktadır. Burada, hem kül miktarını hem de baca gazı hacmini azaltan alternatif proseslerin tanıtılması amaçlanmaktadır. Alternatif yöntemleri şu şekilde sıralamak mümkündür:

- yaş oksidasyon: organik maddelerin sulu ortamda oksidasyonu işlemidir.
- piroliz: organik maddelerin havasız ortamda termal bozunması işlemidir. Piroliz süresince çamurun organik kısmı faydalı yakıt (piroliz gazı) dönüşmekte ve düşük işletme sıcaklığı da SO₂ ve NO_x oluşumunu engellemektedir. Yarı kok (char) ise depolama alanında depolanabilmekte veya bazı durumlarda gaz temizleme için adsorban malzeme olarak da kullanılabilir [16-18].
- gazlaştırma: Çamurun tek başına ve birlikte yakılması esnasında birim kg kuru-çamur başına 24-30 m³ baca gazı açığa çıkarken, saf oksijenle yapılan gazlaştırma da ise bu değer 1,7 m³'e kadar düşmektedir. Elde edilen sentetik gaz ürün, yakıt olmasının yanında kimya sanayi için de faydalı bir hammaddedir [19].

2.1. Yaş Oksidasyon

Yaş oksidasyon, herhangi yanabilir bir maddenin 120-370°C sıcaklıklar arasında su içeren bir ortamda –sulu fazda- oksitlenmesi esasına dayanır (Şekil 1). Genelde, uygun sıcaklık, basınç (1-22 MPa), reaksiyon süresi ve yeterli basınçlı hava veya oksijen sağlanırsa yüksek yakma verimi elde edilebilir. Yaş oksidasyon süreci ‘Zimpro’ süreci olarak patentlenmiştir. Bu süreç literatürde [20,21] aynı zamanda, *ıslak yakma* veya *ıslak tutuşturma* olarak da anılır. Zimpro süreci, diğer alışılmış yakma sistemlerinde uygulanması gereken ön susuzlaştırma veya kurutma işlemlerini de gerektirmez. Çamurdaki su oranı %99 mertebesinde olabilir. Bu teknoloji ile ilgili en temel bilgilere Hall ve ark. [22], Boon ve Thomas [23],



Şekil 1. Yaş oksidasyon tesisi akış diyagramı [23,24]

vanVertTech Prospectin [24] çalışmalarından ulaşılabilir. Çamurun yaş oksidasyonu genel olarak kullanılan teknolojiler ve uygulamaları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Çamurun yaş oksidasyonu için teknolojiler [24]

| Proses | Sıcaklık, °C | Basınç MPa | Oksitleyici | Kullanım alanı | Uygulamalar |
|-----------|--------------|------------|---------------------|------------------------|-------------------------------------|
| LOPROX | 190 | 1.7 | Saf O ₂ | Atıksu arıtma | Pek çok endüstriyel (BAYER) tesis |
| MODAR | 600 | 25 | Hava | Tehlikeli atık | Laboratuvar uygulaması |
| Osaka Gas | 250 | 9 | Hava | Atıksu ve çamur arıtma | Laboratuvar uygulaması |
| VerTech | 280 | 10.4 | Saf O ₂ | Atıksu ve çamur arıtma | ABD, Hollanda |
| ZIMPRO | 260 | 9-12 | Hava | Çamur şartlandırma | Avrupa, ABD ve Japonya’da 200 tesis |
| KENOX | 250 | 5 | Saf O ₂ | Atıksu arıtma | Kanada |
| Stignas | 300 | 11 | Sıvı O ₂ | Atıksu arıtma | ABD |

İlk endüstriyel uygulama 22,800 ton/yıl katı madde kapasiteli bir tesiste gerçekleştirilmiştir. Ağırlıkça yaklaşık %5 katı madde içeren çamur 3-5 mm tane boyutuna öğütülmekte, homojenleştirilmekte ve saf oksijenle birlikte karışım halinde reaktöre beslenmektedir. Organik maddeler, en düşük 280°C sıcaklıkta ve yaklaşık 10 MPa basınçta dağıtılmaktadır. Bu proseste %70’lik bir kütle azalma elde edilmektedir. Çamurdaki mevcut S, Cl ve P çözünen ve prosesi sıvı formda terk

eden sülfat, klorit ve fosfat bileşiklerine dönüşmekte ve proses boyunca oluşan kül ayrılarak susuzlaştırılmakta ve ayrışan su biyolojik arıtmaya tabi tutulmaktadır.

2.2. Piroliz ve Çamurdan Yağ Üretim Prosesi

Piroliz, organik maddelerin 300-900°C arasında değişen sıcaklıklarda oksijensiz ortamda termal bozunması işlemidir. Piroliz bir seri karmaşık kimyasal reaksiyonlar içerir. Elde edilen piroliz ürünleri ise piroliz gazı, yarı kok ve yağdan oluşur. Gaz, yakıt olarak kullanılabilir. Yarı kok, yakıt olarak yakılabilir veya uzaklaştırılabilir. Yağ ise kimyasal endüstriler için bir hammadde veya yakıt olarak kullanılabilir [25-27].

Atık çamurdan piroliz sonucu yağ üretimi olarak son derece dikkat çekici olan bu proses OFS (oil from sludge) olarak da adlandırılmaktadır[28-30]. OFS, ön kurutma çamurunun oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıklarda ve çamurun organik kısmını buhar haline dönüştüren atmosfer basıncından daha yüksek basınçta ısıtıldığı 2 aşamalı bir prosestir. Bu buharlar hidrokarbonlara dönüştürülür. Çamurdaki yüksek silikat ve bakır içeriği reaksiyon için ilave katalizör görevi görür. Elde edilen yağ yüksek viskoziteye ve ısıl değere (29-38 MJ/kg) sahiptir [28].

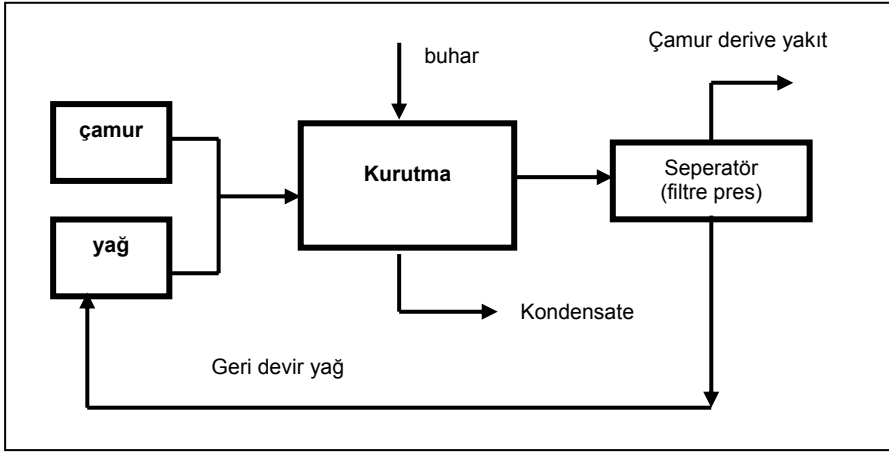
Prosesin avantajları:

- Çamurun küçük hacimli inert artığa dönüştürülmesi,
- Çeşitli kimyasal proseslerde kullanılabilen yüksek kaliteli yağ üretimi,
- Düşük çalışma sıcaklıkları ve ağır metallerin çoğunlukla yan ürünlere bağlanmasından dolayı katran ve dioksin gibi zararlı yan ürünlerin oluşumunun gerçekleşmemesidir.

Almanya'daki bir üniversitede bu proses 300°C gibi düşük bir sıcaklıkta uygulanmış ve kg kuru çamur başına %20-30 yağ üretilmiştir [31,32].

2.3. Çamurdan Türetilmiş Yakıt (C-G Prosesi)

Carver-Greenfield (C-G), kurutma prosesi ile etkin bir kurutma işlemiyle ve çok az enerji kullanarak çamuru yakıtı dönüştürmektedir. Mekanik olarak susuzlaştırılan çamur, suyunkinden daha yüksek kaynama noktasına sahip bir endüstriyel yağ ile karıştırılmakta ve daha sonra ön-kurutma yapılmaktadır. Su içeriği %5'in altına azaltılmış olsa da, yağ, çamur içinde sıvı halde kalmaktadır. Kurutma sonrası yağ filtre presle ayrılmakta ve geri beslenmektedir (Şekil 2). Böylece üretilen çamur yakıt, %87 katı çamur, %9 yağ ve %4 sudan oluşmaktadır. ısıl değeri yaklaşık 16,7-18 MJ/kg'dır. Çalışmalar çamurdaki 2,6 kg suyu uzaklaştırmak için sadece 1 kg buhar gerektiğini ve bunun da klasik kurutucuların normal buhar ihtiyacının %33'ünden daha az olduğunu göstermektedir[33].

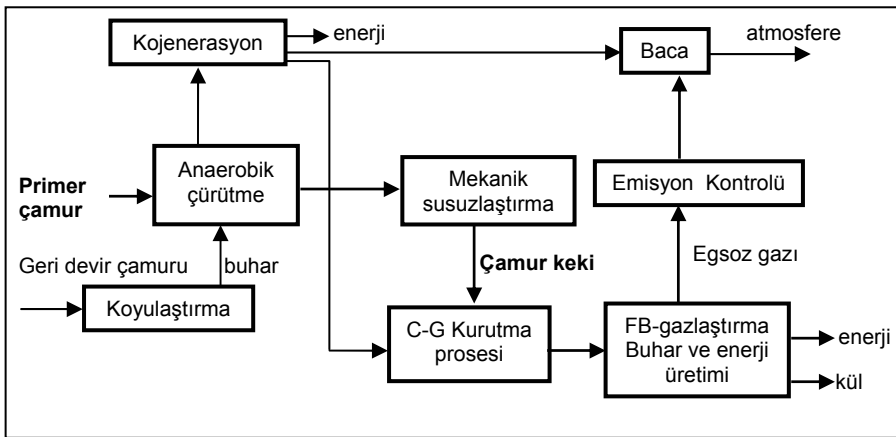


Şekil 2. Çamurdan türetilmiş yakıt (C-G) prosesi [33]

Günümüzde ABD’de 405 ton/gün kuru arıtma çamurundan enerji kazanımı sağlanmaktadır. Çamur önce çürütülmekte, %5’ten %18-20 katı maddeye mekanik olarak susuzlaştırılmakta ve sonra çamur keki C-G ünitesinde kurutulmaktadır. Susuzlaştırılan çamur ilk önce hafif bir çözücü yağ ile karıştırılmakta, çamur daha sonra homojenleştirilmektedir. Kurutma dört aşamalı bir buharlaşma sisteminde gerçekleşmektedir [34]. Prosese ait akım şeması Şekil 3’de verilmiştir.

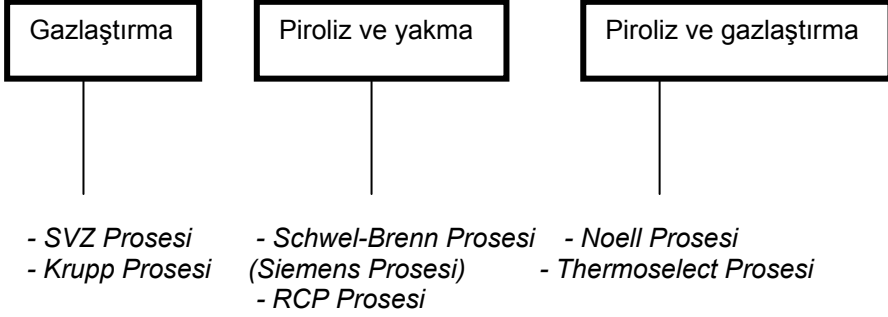
2.4. Gazlaştırma ve Kombine Prosesler

Katı atıkların ve arıtma çamurlarının bertaraf edilmesinde pek çok yeni teknoloji gazlaştırma ve piroliz ile gazlaştırmayı beraber içermektedir. Genellikle Alman



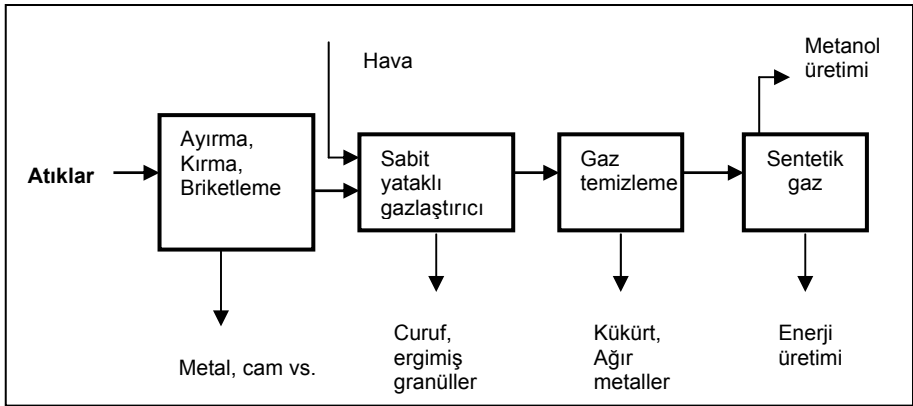
Şekil 3. HERS enerji kazanım tesisi akış diyagramı [34]

firmaları tarafından geliştirilen ve kendi adları ile anılan en son teknolojiler aşağıda belirtilmektedir.



İkincil madde geri kazanım prosesi (SVZ Prosesi): Atıklardan ikincil hammadde kazanımı sağlayan bir prosedir. Ön kurutma çamuru, plastikler, biyokütlesel atıklar, elektronik sanayi atıkları ve tehlikeli atıklar gibi çok çeşitli atık türleri kömürle birlikte gazlaştırılmaktadır. Metalik bileşimler ayrıldıktan sonra, katı atıklar kırma-öğütme ve briketleme/peletleme işlemine tabi tutulmakta ve daha sonra 1360°C’de oksijen ve buharla gazlaştırılmaktadır. Gazlaştırma prosesinden çıkan gaz, hafif yağ ve katran ile CO, H₂, CH₄ ve CO₂ gazlarından oluşmaktadır. Yağ ve katran uzaklaştırılarak temizlenen gaz diğer sıvı atıklarla birlikte 1600-2000°C’de pulverize gazlaştırıcıda gazlaştırılmaktadır. Sentetik gazlar metanol üretimi ve enerji eldesi için kullanılabilir [35,36]. Proses akım şeması Şekil 4’de verilmiştir.

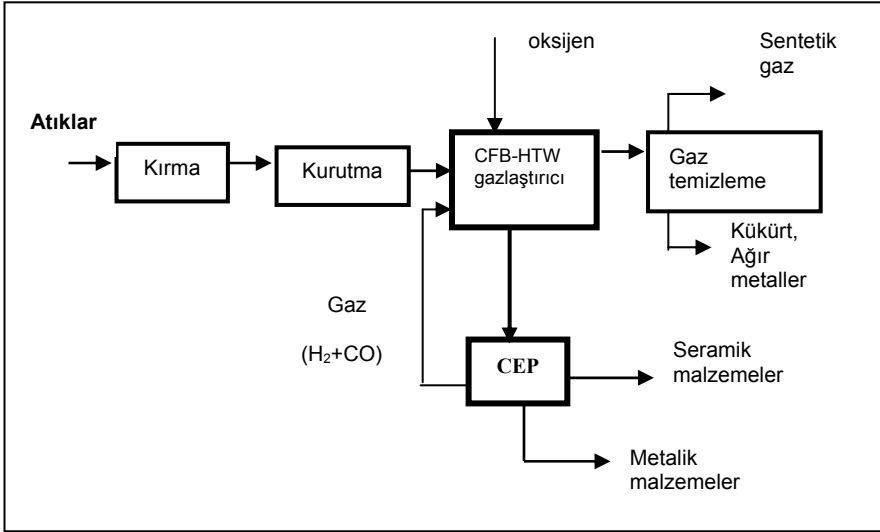
Almanya’da biri katı atıklar için 400.000 ton/yıl kapasiteli yüksek basınçlı sabit yataklı gazlaştırıcı, diğeri sıvı ve çamur benzeri atıklar için 50.000 ton/yıl kapasiteli pulverize yakıt gazlaştırıcı olmak üzere 2 tesis bulunmaktadır. Bu proseste 1999 yılında 100.000 ton metanol üretilmiştir. 1992-1995 yılları arasında 28.000 ton



Şekil 4. SVZ prosesi [35]

çamur birlikte gazlaştırılmış ve gelecekte de 80.000 ton/yıl çamurun gazlaştırılması planlanmaktadır [35].

KRUPP Prosesi (Krupp Uhde PreCon proses): Bazı metalik ve inorganik maddeler ayrıldıktan sonra ufalanan atık %10 nem içeriğine kurutulmakta ve sonra 700-1000°C'deki HTW-CFB gazlaştırıcıya gönderilmektedir (Şekil 5). Tabandaki katı partiküller 1300-1800°C'de çalışan CEP (katalitik ekstraksiyon prosesi) ünitesinde işlenmektedir. Ergitme fırını induksiyon yoluyla ısıtılmakta ve katkı maddesi ve oksijenle desteklenmektedir. Reaksiyonlar ergimenin aşağıda kısaca açıklanan fazlara dönüşümünü sağlamaktadır [37]:



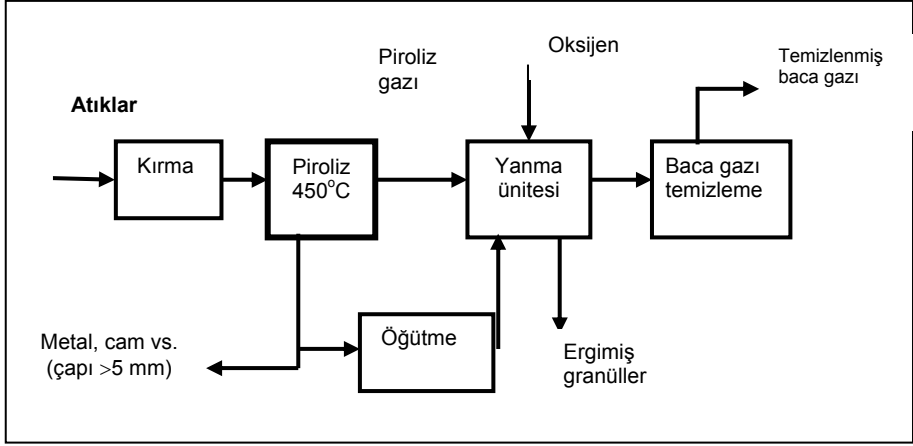
Şekil 5. Krupp prosesi akış şeması [37]

- CaO, SiO₂ ve Al₂O₃'ten oluşan **seramik faz**,
- daha sonra geri kazanılan Fe, Ni ve Cu gibi kalıntı metallere oluşan **metalik faz**,
- ergitmedeki karbonun eserlerinin gazlaştırılmasıyla H₂ ve CO'den oluşan **gaz fazı**.

HTW teknolojisi 1970'li yıllardan itibaren 700-1000°C'de ve yüksek basınçta çalıştırılmaktadır. Tecrübeler 38.000 çalışma saatinde pilot tesiste ve 30,5 ton/saat ve 27 ton/saat kapasitede 2 büyük ölçekli tesiste sırasıyla 1978, 1985 ve 1988 yılından beri çalışmakta olduğunu göstermektedir.

SIEMENS Prosesi (Siemens Schwel-Brenn proses): Piroliz ve yüksek sıcaklık yanmasını içeren bu proses Wolfgang ve ark. [38], Berwein ve Kanczarek [39], Siemens Firması [40] tarafından tanımlanmış ve uygulanmıştır. Ön-kurutma çamuruyla karıştırılan ufalanmış katı atıklar, atıkların ısıtıldığı ve 450°C'de pirolize

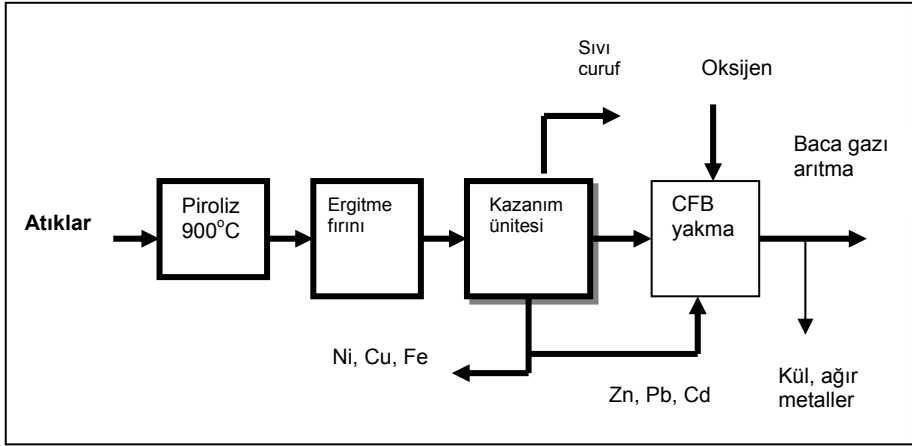
tâbi tutulduğu döner bir karbonizasyon ünitesine beslenmektedir. Artıklar elenmekte ve birisi 5 mm üstü taş, cam ve metalden oluşan ve karbon içermeyen kısım, diğeri ise daha ince parçalardan oluşan ve yaklaşık %30 karbon içeren kısım olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Bu ikinci kısım önce öğütülmekte ve daha sonra karbonizasyon ünitesinde oluşan gaz ile birlikte yakma ünitesine beslenmektedir (Şekil 6). Kül ergimiş yapıda uzaklaştırılmaktadır. Prosesten elde edilen termal enerji, enerji üretimi ve buhar eldesi için atık ısı kazanında kullanılmaktadır [38].



Şekil 6. Siemens prosesi akış şeması [38]

Bu teknoloji Almanya-Ulm-Wiblingen'de pilot ölçekli bir sistemde başarıyla denenmiştir. İlk büyük ölçekli sistem Almanya-Furth'da 100.000 ton/yıl kapasiteli bir tesiste %35 katı madde içerikli 22.000 ton/yıl arıtma çamuru birlikte yakılmaktadır. Belediye çöplerinin imhasında kullanılmak üzere İsviçre ve Almanya'da iki, Japonya'da iki ayrı tesis daha inşâ aşamasındadır [40].

RCP Prosesi (Recycled clean products process of von Roll): Proses ergitme ve yanma ünitelerini ayırmakta ve ürün, geri kazanım için ilave bir aşamadan geçmektedir. Atıklar (%10-15'i çamur olmak üzere) 900°C'de piriliz ve kısmi gazlaştırmanın olduğu karbonizasyon ünitesine beslenmektedir (Şekil 7). Ürünler 1400°C'de tutulan fırında ergitilmekte ve sonra grafit elektrot ile ısıtılarak 1400-1500°C'de tutulan ürün kazanım ünitesine gönderilmektedir. Çinko, kurşun ve kadmiyum buharlaşırken, sıvı formda kazanılan ve nikel, bakır ve demir, bakır ergitme endüstrileri için ham madde olarak kullanılan metaller elde edilmektedir. Proses gazları, yatak malzemesiyle 1000°C'ye hızla soğutulduğu ve yakıldığı dolaşimli bir akışkan yatağa (CFB) geçmektedir. Bu esnada, buharlaşan ağır metaller yeniden oksitlenmekte ve alt akım yakıtı dönüşmektedir.



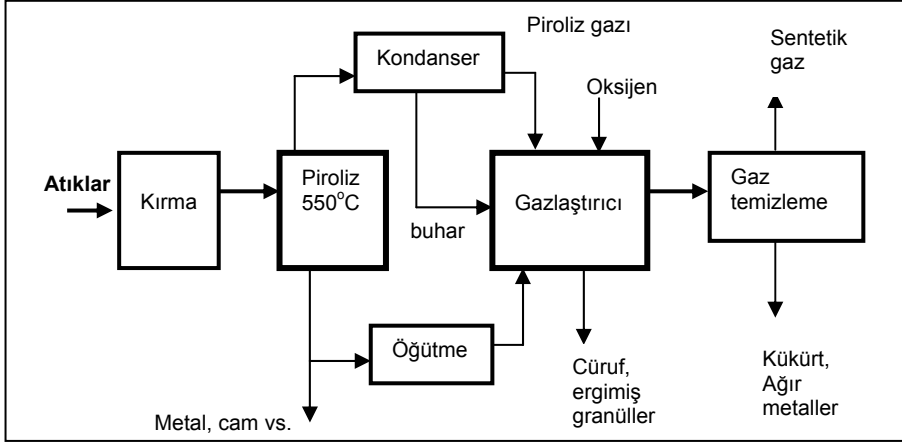
Şekil 7. RCP prosesi akım şeması [41]

Bu teknoloji Almanya'da 6 ton/saat katı atık kapasiteli büyük bir tesiste uygulanmakta ve tesiste 89 kg/saat bakır-demir alaşımı geri kazanılmaktadır.

NOELL Prosesi (Noell conversion process): Noell dönüşüm prosesi, gazlaştırma sonrası piroliz işlemini içerir. Teknolojinin esası, 3,5 MPa'a kadar basınç ve 2000°C'ye ulaşan sıcaklıkta çalışan yüksek basınçlı bir gazlaştırıcıdır. Atıklar kırılmakta ve 550°C'de piroliz edilmektedir. Daha sonra iri boyutlardaki metal, taş ve inorganik maddeler ayrılmakta, kalan ince malzemeler ise pulverize yapıda öğütülerek gazlaştırma ünitesine beslenmektedir. Piroliz gazı ilk önce soğutulmakta daha sonra sıkıştırılarak gaz yakıcıya beslenmektedir. Gazlaştırma için saf oksijen kullanılmaktadır. Birlikte gazlaştırma (co-gasification) için çamur ön kurutmaya tabi tutulmakta, pulverize hale öğütülmekte ve yakma ünitesine pnömomatik olarak beslenmektedir (Şekil 8).

Uygulamada Almanya'da 1988 yılından beri 130 MW'lık büyük ölçekli bir tesis çalışmaktadır. Prosesin temel ürünü, enerji üretimi için gaz türbinlerinde kullanılan ve çoğunlukla CO ve H₂ içeren yüksek kalitede sentetik bir gazdır [43].

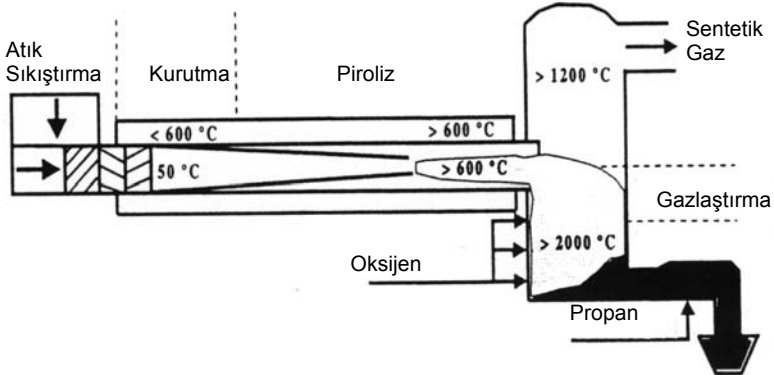
THERMOSELECT Prosesi: Piroliz ve gazlaştırmanın tek bir üniteye gerçekleştirildiği bir teknolojidir. Atık sınıflama ve ayırma kademesi ortadan kalkmakta, arıtma çamurları dahil atıklar, dışarıdan ısıtılan ve 600°C'den daha yüksek sıcaklıkta tutulan uzun bir kanalda hidrolik pres kullanılarak sıkıştırılmaktadır. Atıklar kanala doğru hareket ederken ısıtılmakta, kurutulmakta ve tamamına yakını kanalın sonuna ulaşmaya kadar pirolize dönüşmektedir. Piroliz ürünleri daha sonra malzemelerin 2000°C sıcaklıkta oksijenle gazlaştırıldığı gazlaştırma bölgesine girmektedir. Yüksek kalitede sentetik bir gaz ve ergimiş yapıda bir yan ürün elde edilmektedir. Gaz, dioksin ve furan oluşumunu engellemek için 1200°C'den 90°C'ye hızla soğutulmakta ve daha sonra da temizlenerek enerji



Şekil 8. Noell prosesi akış şeması [42]

üretiminde veya kimya prosesleri için hammadde olarak kullanılmaktadır. Ergimiş yan ürün oksijen ve propan yardımıyla yanma bölgesine doğru akar ve yanma tüm klorlu karbon ve empüritelerin termal bozunmaya uğradığı 1600°C'yi aşan sıcaklıkta gerçekleşir (Şekil 9).

Uygulamada İtalya'da 100 ton/gün kapasiteli bir pilot tesiste çeşitli tecrübeler elde edilmiştir. Almanya'da ise 1999 yılında 225.000 ton/yıl kapasiteli büyük ölçekli bir tesis kurulmuş ve işletilmektedir.



Şekil 9. Thermostelect prosesi akış şeması [44]

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

- 1) Çamurdan yağ üretim prosesi, yağ oksidasyon, gazlaştırma ve kombine prosesler gibi doğrudan yakmaya alternatif teknolojiler baca gazı arıtma ve kül uzaklaştırma maliyeti açısından yakma işlemlerinden daha avantajlı olmaktadır.
- 2) Çamurdan yağ üretim prosesi, çamurun küçük hacimli inert artığa dönüştürülmesi, çeşitli kimyasal proseslerde kullanılabilen yüksek kaliteli yağ üretimi, düşük çalışma sıcaklıkları ve ağır metallerin çoğunlukla yan ürünlere bağlanmasından dolayı katran ve dioksin gibi zararlı yan ürünlerin oluşumunun gerçekleşmemesi gibi avantajlar getirmektedir.
- 3) Çamurun tek başına ve birlikte yakılması esnasında birim kg çamur başına 24-30 m³ baca gazı açığa çıkarken, saf oksijenle yapılan gazlaştırma da ise bu değer 1,7 m³'e kadar düşmektedir. Elde edilen sentetik gazlar metil alkol üretimi ve enerji eldesi için kullanılabilir. Elde edilen sentetik gazlar metil alkol üretimi ve enerji eldesi için kullanılabilir.
- 4) Bu teknolojiler henüz yeni olduklarından diğer yakma yöntemleri kadar denenmemişlerdir.
- 5) Ülkemizde de sayıları her geçen gün artan atıksu arıtma tesislerinden açığa çıkan bu tür atıkların miktarı önemli boyutlara ulaşmış ve uzaklaştırma yöntemleri henüz son zamanlarda araştırılmaya başlanmıştır. Dünyadaki mevcut teknolojilerin ülkemizdeki katı atık ve arıtma çamurlarına uygulanması konusunda çalışmalar başlatılması gerek ekonomik gerekse çevre açısından son derece önem kazanmaktadır.

KISALTMALAR

| | |
|-----|--------------------------------------|
| CFB | : Dolaşımli akışkan yatak |
| FB | : Akışkan yatak |
| OFS | : Çamurdan yağ üretim prosesi |
| C-G | : Çamurdan türetilmiş yakıt |
| SVZ | : İkincil madde geri kazanım prosesi |
| CEP | : Katalitik ekstraksiyon prosesi |
| RCP | : Geri kazanılmış temiz ürün |

KAYNAKLAR

1. Liptak B.G., Bouis P.,A., **Hazardous Waste and Solid Waste**, Lewis Publishers, CRC Press LLC, 2000.
2. Sebastian F., **Environmental Engineers Handbook**, Edited by Liptak B.G., Chilton Book Company, 1974.

3. Henmi M., Okazawa K., and Sota K., "Energy Saving in Sewage Sludge Incineration with Indirect Heat Drier", **National Waste Processing Conference**, Denver, 1986.
4. Otero M., Diez C., Calvo L.F., Garcia A.I., "Analysis of the Co-Combustion of Sewage Sludge and Coal by TG-MS", **Biomass and Bioenergy**, Vol 22, 2002.
5. Vesilind P.A., Ramsey T.B., "Effect of Drying Temperature on Fuel Value of Wastewater Sludge". **Wastewater Management and Reseach**, Vol 14, p.189-196, 1992.
6. Römer R., "Thermal Treatment of Sewage Sludge-Combustion, Drying Energy Recovery, Emissions", **In: Klarschlamm Entsorgung 1, Daten-Dioxine, Entwässerung, Verwertung, Entsorgungsvorschläge**, Düsseldorf: VDI GmbH, p.250-271, 1991.
7. Albertson O.E., Bruno J.M., "Sludge Incineration: Thermal Destruction of Residues", **Proceedings of the Symposium: Water Environment Federation**, Alexandria, USA, 1992.
8. Werther J., Ogada T., "Sewage Sludge Combustion", **Progress in Energy and Combustion Science**, 25; p. 55-116., 1999.
9. Lungwitz H., Werther J., "Alternative Processes for Thermal Treatment and Use of Sewage Sludge", **Thome-Kozmiensky K.J.** Editor. Abfallwirtschaft am Wendepunkt. TK, Neuruppin, p. 717-742, 1997.
10. Ogada T., **Combustion and Emission Characteristics of Sewage Sludge in a Bubbling Fluidized Bed Combustor**, Ph.D. Dissertation, Technical University of Hamburg, Hamburg, 1995.
11. Spliethoff H., ve ark., Ber. Dtsch. Wiss.Ges. Erdoel, Eredgas Kohle, Tagungsber, 1996.
12. Lu G.Q., Low J.C.F., Liu C.Y., Lua A.C., "Surface Area Development of Sewage Sludge During Pyrolysis", **Fuel**, Vol 74 No.3, p.344-348, 1995.
13. Piskorz J., Scott D.S., Westerberg I.B., **Ind.Eng.Chem. Process Des. Dev.** Vol 25, 1986.
14. Bridge T.R., **Environ. Tech. Lett.** Vol 3, 1982.
15. Storm C., ve ark., DGMK Tagungsber, **Proceedings ICCS'97**, Volume 2, p.721-724, 1997.
16. Bridge T.R., "Sludge Derived Oil-Wastewater Treatment Implications", **Environ. Technol. Lett.** Vol 3, 151-156, 1982.
17. Lu G.Q., Low J.C.F., Liu C.Y., "Surface Area Development of Sewage Sludge During Pyrolysis", **Fuel**, Vol 3, p.344-348, 1995.
18. Piskorz J., Scott D.S., Westerberg I.B., "Flash Pyrolysis of Biomass", **Ind. Eng. Chem. Proc. Design Develop**, Vol 25, p.265-270, 1986.
19. Rumphorst M.P., Ringel H.D., "Pyrolysis of Sewage Sludge and Use of Pyrolysis Coke", **J. Anal and Applied Pyrolysis**, 28:p.137-155. 1994.
20. Lendormi T., Prevot C., Doppenbe F., Foussard J.N., "Supercritical Wet Oxidation of Municipal Sewage Sludge Comparison of Batch and Continuous Experiments", **Water Science and Technology**, Vol 44, 5, p.161-169, 2001.

21. Lendormi T., Prevot C., Doppenbe F., Sperandio M., “Wet Oxidation of Domestic Sludge and Process Integration”, **Water Science and Technology**, Vol 44, 10, p.163-169, 2001.
22. Hall J.E., “Sewage Sludge Production Treatment and Disposal in the European Union”, **J CIWEM**, Vol 9, p.335-342, 1995.
23. Boon A., Thomas V., “Resource of Rubbish”, **The Chemical Engineer**, 25-30, 1996.
24. Van Voorneburg F., “Treatment and Disposal of Municipal Sludge in the Nederland”, **J CIWEM**, Vol. 7, p.116-121, 1993.
25. Kaminsky W., Augustin T., Bellmann U., Krüger-Betz M., “Pyrolysis of Industrial and Municipal Sewage Sludges”, **Recycling von Klarschlamm 1. Berlin: EF für Energie-und Umwelttechnik GmbH**, p.309-316, 1987.
26. Kaminsky W., Ying Y., “Chemicals from Biomass Pyrolysis in a Fluidised Bed”, **Advances in Thermochemical Biomass Conversion**, Brigdwater A.V., editor, Vol.2
27. Caballero J.A., Front R., “Characterisation of Sewage Sludges by Primary and Secondary Pyrolysis”, **J. Anal. And Applied Pyrolysis**, 4041, 1997.
28. Loll U., “Sewage Sludge”, **ATV Handbuch**, 4th edn., Berlin, 1996.
29. Kyriakos M., “Flash Pyrolysis of Wood and Dried Sewage Sludge for Liquid Fuel Production”, Grass G., Gosse G., editors, **Biomass for Energy and Industry, 5th EC Conference, Vol. 2, Conversion and Utilisation of Biomass**, p.2611-2615, 1998.
30. Campbell H.W., “Converting Sludge to Fuel-a Status Report”, Hogan et al., editor, **Biomass thermal Processing, Proceedings of the 1st Canada/European Community R. And D. Contractors Meeting**, Ottawa, Canada, 78-85, 1990.
31. Inguanzo M., Dominguez J.A., Menendez C.G., Blanco J.J., “On the Pyrolysis of Sewage Sludge: The Influence of Pyrolysisconditions on Solid, Liquid and Gas Fraction”, **Journal of Analytical and Applied Prolysis**, Vol 63, p.209-222, 2002.
32. Hudson J.A., Lowe P., “Current Technologies for Sludge Treatment and Disposal”, **J CIWEWM**, 10:p.436-440, 1996.
33. Shiota T., “Economical Evaluation of a System for Making a Fuel from Sludge”, **Recycling von Klarschlom. Berlin. EF für Energie**, p.223-239. 1987.
34. Bress D.F., Greenfield B.S., Haug R.T., “Energy from Sludge Derived Fuels” **Energy From Biomass and Wastes**, Instiştute of Gas Technology. p.1173-1182, 1987.
35. Lohse U., “Pelleting and Gasification of Sewage Sludge”, **Umwelt Bd**, 26 (5), 1996.
36. Lungwitz H., “Thermal Treatment of Sewage Sludge – New Trends for the Treatment and Disposal of Industrial and Municipal Sludges”, **Darmstadt Schriftreihe WAR**, 1997.
37. Company Information Booklet-Krupp Uhde PreCon Process, Germany.

38. Wolfgang K., Langer R., Kilian R., Wieling N.,“The Siemens-Pyrolysis/Combustion Plant Process and Material Concept”, **Umwelt Bd**, 21(6):p.361-363, 1991.
39. Berwein H.J., “Siemens-Pyrolysis/Combustion Process for Wastes and Sewage Sludge”, **Ensorgungspraxis**, No 5, p.227-234, 1991.
40. Company Information Booklet-Schwel-Brenn Process Siemens, Germany.
41. Company Information Booklet-Recycled Clean Products von Roll GmbH, Germany.
42. Company Information Booklet-Noell Conversion Process Noell, Germany.
43. Company Information Booklet-Recycled Clean Products, Germany.
44. Company Information Booklet-Thermoselect Process-Thermoselect, Germany.