



Arıtma Çamuru Bertarafında Kullanılan Yakma Yönteminin Dünya ve Türkiye’de Kullanımı

Tuğçe Bay

Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye

Emine Erman Kara

Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye

Sedat Bayseç

Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye

M. Sait Söylemez

Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye

Recep Yumrutaş

Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye

ÖZET

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de önemli bir sorun olan arıtma çamurunun bertarafının, ikincil kirlilik oluşturmayacak yöntemlerle yapılması gerekmektedir. Arıtma çamurlarının bertarafı; düzenli depolama, kompostlaştırma, tarımsal alanlarda-ormanlık arazilerde uygulama ve yakma yöntemi gibi yöntemler kullanılarak sağlanabilmektedir. Kullanılan yöntemlerin çevreye olan etkileri, uygulamadaki kolaylıkları ile ekonomik yönden avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bertaraf yöntemlerinden olan yakma yöntemi; yüksek miktarda enerji kazanımı, fazla kütle ve hacim azaltılması, yanma sonrası düşük emisyon değerleri elde edilmesi gibi, birçok avantajı ile son yıllarda kullanımı gelişmiş ülkelerde giderek artan bir bertaraf yöntemidir. Derleme olarak hazırlanan bu çalışmada, arıtma çamurlarının bertaraf yöntemleri hakkında bilgi verilerek, yakma yönteminin diğer yöntemlere göre farklılıkları, çevreye olan etkileri ve ekonomiye katkıları irdelenmiş, gelişmiş ülkelerde kullanımının önemine dikkat çekilmiştir.

Anahtar Kelimeler: arıtma çamuru, bertaraf, termal kurutma, akışkan yatak, yakma

Method of Incineration as a Means of Getting Rid of Sewage Sludge in Turkey and the World

ABSTRACT

Getting rid of sewage sludge without generating second level pollutions is an important problem throughout the world, as it is so in Turkey. Sewage sludge can be eliminated by proper storage or composting, by consuming it as a support to soil in agricultural fields and forest areas, or can be incinerated. Each such method has different effects on the environment, yet each has different advantages and disadvantages in cost and application, and various levels of difficulty in installment and operation. Among them, incineration is becoming increasingly popular and preferred means of getting rid of sewage

sludge because it provides great amounts of energy gain, provides a great reduction in the mass and volume of the sludge and generates a minimal amount of solid and gaseous end products which may pollute the soil and atmospheric air, and even, of being low cost.

This paper presents a review of the methods used in the elimination of sewage sludge giving emphasis to incineration, stressing its effects on the environment and its cost, as it has already become the most popular method in developed countries.

Key Words: sewage sludge, getting rid, thermal drying, fluidized bed, incineration

1.GİRİŞ

Fiziksel ve kimyasal arıtma süreçlerinde atıksu içinden yüzdürülerek veya çökeltilerek uzaklaştırılan maddeler ile biyolojik arıtma sonunda çözünmüş hâldeki maddelerin, mikroorganizma bünyesine geçirilmesiyle sistemden alınması sonucu ortaya çıkan % 95–99,5 oranında su içeren akışkan özellikteki atıklara arıtma çamuru denilmektedir [1]. Arıtma çamurlarının, uygun arıtma işlemlerinden geçirilip, gerekli çevre sağlığı kriterleri yerine getirilerek bertaraf edilmesi esastır. Arıtım, taşıma, depolama, arazide kullanım amaçlarına yönelik olarak yüksek katı madde içeriğine sahip arıtma çamurunun, doğrudan tesisten uzaklaştırılamaması veya tesis içi döngüye alınamaması gibi nedenlerle çamur yönetimi, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de gittikçe önem kazanmıştır [2]. Eskiden faydalı kullanım kavramı, “arıtma çamurlarının arazi uygulamalarında toprak iyileştirici olarak kullanımı” anlamını taşıırken, günümüzde arıtma çamurlarından anaerobik çürütme ve yakma ile enerji geri kazanımı anlayışına dönüşmüştür. Bu nedenle arıtma çamurları, bir atık olarak değerlendirilmek yerine, yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Çamur yönetim sisteminin geliştirilerek, gerek çamurların yararlı kullanım çerçevesinde değerlendirilmesi, gerekse enerji kaynağı olarak kullanımı ile sürdürülebilirliği önem taşımaktadır [3].

Çevre kirliliğine neden olan kaynaklardan biri olan arıtma çamurlarına uygulanan birim işlem, arıtma yöntemi ve fonksiyonu, Gökal [4]’ın bildirdiğine göre Filibeli [5] tarafından oluşturulan tabloda verilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Arıtma çamuru işleme ve bertaraf yöntemleri [4,5]

Uygulanan birim işlem	Arıtma yöntemi	Fonksiyonu
Ön arıtma işlemleri	Çamurun öğütülmesi Çamur kumsuzlaştırma Çamurların karıştırılması Çamur depolama	İrilik azaltma Kum giderme Karıştırma Depolama
Yoğunlaştırma	Graviteliflotasyon, graviteli bant, dönen tambur yoğunlaştırma Santrifüjleme	Hacim azaltma
Stabilizasyon	Klor oksidasyonu, kireç stabilizasyonu, ısıl işlem, Anaerobik ya da aerobik çürütme, kompostlaştırma	Stabilizasyon Stabilizasyon, ürün geri kazanımı
Şartlandırma	Kimyasal şartlandırma, ısıl işlem, elutrasyon	Çamur şartlandırma
Dezenfeksiyon	Pastörizasyon, uzun süreli depolama	Dezenfeksiyon
Çamurun suyunu alma	Vakum filtre, santrifüj, pres filtre, yatay bant filtre, kurutma yatakları, lagünler	Hacim azaltma
Kurutma	Flaş kurutucu, püskürtmeli kurutma, döner kurutucu, çok gözlü fırınlar	Ağırlık ve hacim azaltma
Isıl işlem	Çok gözlü fırın, akışkan yataklı fırın, katı atıklarla birlikte yakma, yaş oksidasyon	Hacim azaltma
Nihai bertaraf	Arazi iyileştirme, tarımsal amaçlı kullanım, dağıtım ve pazarlama, kimyasal sabitleme, Arazi doldurma, düzenli depolama, lagünleme	Yararlı kullanım Nihai bertaraf

Kurutulmuş çamurun değerlendirme yöntemleri; ısı ve elektrik elde etmek için, tarımsal gübre ve toprak iyileştiricisi olarak, çimento üretiminde ve kömürlü santralde ek yakıt olarak kullanma ve yakma yöntemleridir [1].

Aritma çamurlarının bertaraf yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Aritma çamuru bertaraf yöntemleri avantaj ve dezavantajları [1,4,6]

Avantajlar	Dezavantajlar
Düzenli Depolama	
Uygulanması kolay ve ekonomiktir. Aritma çamurunun suyu alındıktan sonra depolanmasıyla bir miktar hacim azalması sağlanır.	En iyi yerleşim ve işletme koşullarında bile toprak kirliliği oluşabilir. Aritma çamurunun patojen içeriği, kokusu ve gün geçtikçe dolan depolama alanları probleme neden olurken, kapatılan düzenli depolama alanlarında sürekli bakım ve denetim zorunludur.
Kompostlaştırma	
Aritma çamurları biyolojik olarak parçalandığı için hacmi, kütlesi ve nemi azalarak toprak düzenleyicisi haline dönüşebilir. Termofilik kompostlaştırma sonucu elde edilen nihai ürün patojenlerden tamamen arınmış olabilmektedir.	Düzenli depolamaya göre pahalıdır. Zaman alan bir süreçtir ve kalan çamur nedeniyle ikincil bir kirliliğe neden olabilmektedir. Kompostun havalandırılması enerji sarfiyatı gerektirmektedir.
Tarımsal Alanlarda ve Ormanlık Arazilerde Uygulanması	
Aritma çamurları yüksek organik içerikleri nedeniyle bitki gelişimi için gerekli makro ve mikro besin elementlerini bulundurmakta, toprağın su tutma kapasitesini arttırmaktadır. Aritma çamurları toprağa uygulandığında gözenekli ve geçirgen toprak yüzeyi oluşturarak filtrasyonu artırıp yüzey akışını azaltmaktadır.	Aritma çamuru çevreye zararlı olabilecek potansiyel toksik elementleri, patojen mikroorganizmaları ve patojenik mikroorganizmaların yumurtalarını içerebilir. Ayrıca, patojenleri giderilmemiş arıtma çamurlarının kullanımı, halk sağlığı açısından riskler oluşturabilmektedir.
Yakma Yöntemi	
Yakma yöntemi en fazla kütle ve hacim azalması sağlayan yöntemdir. Yakma yöntemi sonrasında karbon dioksit, su buharı ve yüksek miktarda ısı enerjisi elde edilir. Elde edilen ısı tesiste doğrudan veya elektrik enerjisi elde etmek için buhar üretilmesini de sağlamaktadır. Enerji geri kazanımı ve ağır metallerin stabilitesi sağlanır, düşük emisyon değerleri nedeniyle ekolojik bir bertaraf yöntemidir.	Yakma tesislerinin yatırım maliyetleri yüksektir. Emisyon gazlarının işlenmesinin maliyet gerektirmesi. Uçucu ve yanma ürünü olarak ortaya çıkan küllerin bertarafının gerekliliği.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Toprak Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği’nin 13.maddesinin “k” bendine göre atıksu arıtma tesislerinden çıkan çamurun en az % 90 kuru madde değerine kadar kurutulması zorunludur. Bu mevzuatın genel amacı, çamurun analiz edildikten sonra tehlike sınıfına bağlı olarak, öncelikle mümkünse geri kazanımının sağlanması, olmazsa uygun lagünlerde muhafaza edilerek çevre ile temasının kesilmesidir. Ancak, bu seçenek sürdürülebilir olmadığından mevzuat, kapasitesi bir milyon eşdeğer nüfusun üzerinde olan tesislerde oluşan arıtma çamurlarının en az %90 kuru madde değerine kadar kurutulmasını esas almaktadır [7].

Aritma çamurlarının özelliğine göre yakma işlemi arıtma çamurunda direkt yapılabilirdiği gibi ek yakıt kullanılması da gerekebilmektedir. Yakma ya da birlikte yakma sırasında çamurun ek yakıt olarak kullanılması hedefleniyorsa, olabildiğince yüksek kalorifik değere sahip arıtma çamurunun yakma tesisine gönderilmesi esas olmalıdır [3].

Aritma çamurunun çevreye ve toprağa zarar vermeden yok edilmesinde kullanılan yöntemlerden biri olan yakma yöntemi, AB'nin 2000/76/EC numaralı "Atıkların Yakılması" konulu direktifinde arıtma çamurunun da aralarında bulunduğu birçok atık için yakma uygulamasının nasıl olacağı detaylı şekilde açıklanmıştır.

Buna göre arıtma çamurlarının;

- Atık yakma işletmelerinde tek başına yakılması,
- Diğer atıklarla özellikle evsel atıklarla yakılması,

-Enerji üretimi amacı ile çimento fabrikalarında ya da kömür enerjisi ile çalışan fabrikalarda yakılması gerekmektedir.

Suyu alınan çamurun nem içeriği yaklaşık %80 civarındadır, tam yanma sağlamak, çamurun ısı değerini artırmak ve yakma maliyetini düşürmek için, termal kurutma gibi ön işlem yapılması gerekmektedir. Termal kurutma, stabilize çamurun hacminin azaltılması ve kurutulmuş ürünün kokusunun hafifletilmesi gibi avantajlara sahip ve bütün bertaraf yöntemleri için ortak zorunlu bir ara adımdır [8].

Çamurun yakılması çok basamaklı veya akışkan yataklı yakma fırını ile olabilir. Çok aşamalı yakma tesisleri mekanik olarak karmaşık olduğundan, biçimleri nispeten basit olan akışkan yataklı yakma fırınları daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Akışkan yataklı yakma fırını geleneksel yakma ile karşılaştırıldığında; yakıt esnekliği, yüksek yanma verimi, düşük NO_x emisyonları ve yüksek sülfür yakalama verimi gibi avantajlara sahiptir. Bu nedenle akışkan yataklı yakma fırınlarının çamurun yakılması için kullanımı yaygınlaşmaktadır [9].

Yakma yöntemi, kısıtlı düzenli depolama sahaları ve tarımsal uygulamaya getirilen sağlanması gittikçe zorlaşan kriterler nedeniyle, son yıllarda Avrupa Birliği'ne üye ülkelerde çamurun bertarafı için en önemli yöntem olarak görülmeye başlanmıştır. Yakma sırasında çamur içindeki organik maddeler yanarak karbon dioksit ve su buharına dönüşürken ısı da elde edilmektedir. Bu ısı, sistemde doğrudan kullanılabilmesi gibi elektrik enerjisi elde etmek için buhar üretimini de sağlamaktadır. Arıtma çamurunun kütlesini ve hacmini büyük ölçüde azaltan bir bertaraf yöntemi olan yakma yöntemi, çamurların hacmini ve içerisindeki kirleticileri azaltmak için Hollanda, Almanya ve Fransa gibi pek çok ülkede tercih edilmektedir [2].

Yakma tesislerinde yatırım maliyetlerinin yüksek olması, yakma ölçütlerinin sıklığı, emisyon gazlarının işlenmesi ile ilgili maliyetlerin artması ve uçucu küllerle yanma ürünü olarak ortaya çıkan küllerin bertarafı işlemlerinin zorlaşmasına rağmen, arıtma çamurlarının yakılarak bertaraf yönteminin giderek daha fazla kullanılacağı beklenmektedir [1].

Derleme olarak hazırlanan bu çalışmada, arıtma çamurlarının bertaraf yöntemleri hakkında bilgi verilerek, Dünyada ve Türkiye'de arıtma çamurunun bertaraf yöntemleri ve arıtma çamurunun yakma yöntemi ile bertarafının çevreye etkileri ve ekonomiye olan katkıları irdelenerek, gelişmiş ülkelerde kullanımı yaygın olan yakma yönteminin ülkemizde kullanımının sağlayacağı yararların açıklanmaya çalışılmıştır.

1.1.Dünyada ve Türkiye'de Arıtma Çamurlarının Bertarafı

TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) 2012 yılı verilerine göre, Türkiye genelinde belediyeler tarafından kanalizasyon şebekesinden deşarj edilen 4,1 milyar m³ atıksuyun 3,3 milyar m³'ü atıksu arıtma tesislerinde arıtılmış, arıtılan atıksuyun %38,3'üne gelişmiş, %32,9'una biyolojik, %28,5'ine fiziksel ve %0,3'üne doğal arıtma uygulanmış ve arıtılan atıksuyun %52,7'si denize, %39,2'si akarsuya, %1,9'u baraja, %1,1'i göl-gölete, %0,3'ü araziye ve %4,8'i diğer alıcı ortamlara deşarj edilmiştir [10].

Türkiye'de 646 evsel arıtma tesisi mevcut olup, bu tesisler 542 belediye kuruluşuna hizmet vermektedir. Nüfusun %78'inin atıksuyu herhangi bir kademede arıtılmaktadır. Türkiye'de atıksu arıtma tesislerinde uygulanan farklı arıtma seviyelerine göre oluşan çamur, kişi başına 45g katı madde/gün miktarı kabul edilebilir. Günde yaklaşık 2583 ton ve yılda 943.000 ton arıtma çamuru üretildiği tahmin

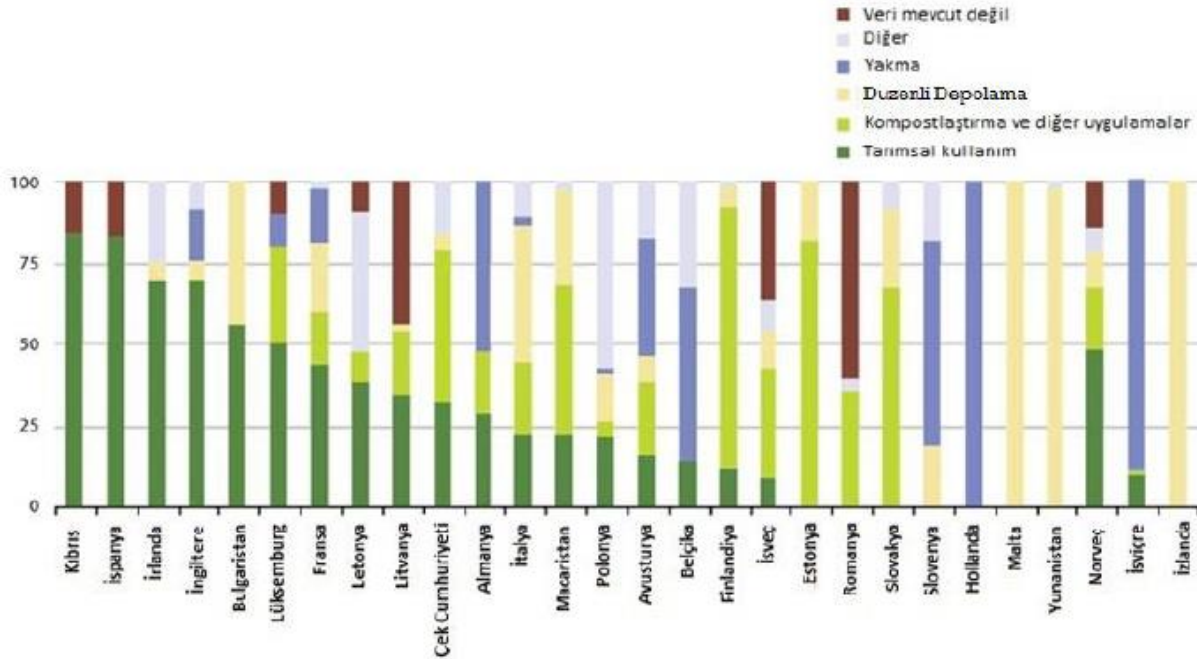
edilebilir. Bu değer yılda Türkiye’de 2008’de üretildiği belirtilen 1.075.000 ton değeri (Atıksu Arıtma Tesislerinde: 500.000 ton/yıl, Sanayi Tesislerinde: 575.000 ton/yıl) ile benzerlik göstermektedir [11].

Dünyada çamur bertaraf yöntemleri bölgeden bölgeye değişim göstermekte olup, özellikle Baltık Denizi’ne kıyısı olan ülkelerde çamurun tarımsal kullanımı veya yakılması, çamurun faydalı kullanımı veya enerji olarak geri kazanımını hedeflediğinden en sık uygulanan bertaraf yöntemleri arasında yer almaktadır. Aynı bölgede kompostlaştırma işlemine tabi tutulmuş veya benzer şekilde hijyeni sağlanmış olan çamur, park ve bahçeler gibi yeşil alanlarda kullanılabilir.

Çamurun içeriğindeki yüksek organik madde konsantrasyonu, çürütme uygulanmış veya çürütme uygulanmamış çamurun, kurutma sonrasında yakma alternatifini ön plana çıkarmaktadır. Pek çok ülkede arıtma çamurlarının düzenli depolama sahalarına gönderilmesi gittikçe daha az kullanılan bir yöntem olup, hatta bazı ülkelerde arıtma çamurlarının besin maddesi ya da enerji kaynağı olarak kullanılmasını engellediği için yasaklanmıştır.

Günümüzde Avrupa Birliği ülkelerinde en yaygın bertaraf yöntemi sırasıyla tarım alanlarında kullanım (%45), yakma yöntemi (%23), düzenli depolama (%18), kompostlaştırma (%7) yöntemidir [3].

Arıtma çamurlarının bertarafı ile ilgili yapılan uygulamalar ülkelere göre değişmektedir (Şekil 1).



Şekil 1: Avrupa Birliği’nde çamur yönetim alternatiflerinin ülke bazındaki dağılımı [3].

Avrupa ülkelerinden Hollanda, Belçika ve İsviçre’de çamurun tarımsal amaçlı kullanımına getirilen yasaklar/kısıtlamalar nedeniyle arıtma çamurunun yakılmasının bertaraf yöntemi olarak ön plana çıktığı görülmektedir. Finlandiya, Estonya ve Norveç gibi ülkelerde kompostlaştırma işleminden sonra yeşil alanlara serme işlemi uygulanmaktadır. Malta Yunanistan, İzlanda gibi ülkelerde arıtma çamurlarının tamamına yakınının düzenli depolamaya gönderilmekte, Almanya’da arıtma çamurlarının büyük çoğunluğu enerji elde etmek üzere yakılarak (%53) değerlendirilmektedir. Yakma alternatifinden sonra gelen bertaraf yöntemleri ise, tarımda uygulama (%30), toprak iyileştirme ve kompostlaştırma (%17) şeklindedir. İsviçre ve Almanya’da arıtma çamurlarının düzenli depolanması yasaklanmış, Danimarka ve Finlandiya’da az bir miktarda çamur düzenli depolamaya gönderilmektedir. Macaristan’da arıtma çamurunun bertarafı, sırasıyla toprak iyileştirme (%52), tarımda kullanım (%40), düzenli depolama (%8) şeklindedir. Avustralya’da çamur bertaraf yöntemi, Avrupa Birliği’ndeki ülkelere benzer şekilde, tarımda kullanım (%60), düzenli depolama (%15), Yeni Zelanda’da arazi ıslahı amaçlı kullanım (%49), düzenli

depolama (%34) ve Amerika Birleşik Devletleri'nde ise tarımda kullanım (%36), düzenli depolama (%28), yakma (%15) şeklindedir (Şekil,1) [3]

Arıtma çamurlarının yakma yöntemi ile bertarafı Japonya'da %55, Amerika'da %25, Danimarka'da %24'dür [12]. Çin'de ekonominin ve sanayinin sürekli gelişimi ile belediye kanalizasyon çamuru üretimi 2010 yılında 4,0 milyon tona ulaşmıştır. Bu değer 2020 yılında 6,0 milyon tona kadar yükselmesi ve Avrupa'da 2020 yılında toplam miktarın 13,0 milyon ton olması beklenmektedir [12]. Atıksu arıtma tesislerinde üretilen arıtma çamuru miktarının yılda %10'dan fazla bir oranda artmaya devam ettiği Çin Halk Cumhuriyeti Çevre Koruma Bakanlığı tarafından belirtilmiştir[8]. Çin'de üretilen arıtma çamurlarının sadece %3,45'inin yakıldığı, % 31,03'ünün düzenli depolandığı, % 13,79'dan fazla arıtma çamurunun hala bertaraf için beklediği rapor edilmiştir. Tarımsal kullanım ve düzenli depolama gibi diğer arıtma çamuru bertaraf yöntemleri sınırlamalarla karşı karşıya olduğundan, arıtma çamuru yakma yönteminin Çin'de gelecek on yılda hızlı bir şekilde artacağı beklenmektedir [13].

Türkiye'de 2010 yılında mevcut evsel/kentsel nitelikli AAT'lerinden oluşan arıtma çamurlarının bertaraf yöntemlerinin çamur miktarlarına göre dağılımı; %29'u kontrolsüz, %26,9'u düzenli, %15'i vahşi depolanma, %13'ü ek yakıt olarak, %6'sı toprakta kullanılmaktadır. Diğer uzaklaştırma yöntemleri %10 civarındadır [3]. TÜİK 2014 verilerine göre arıtma çamuru bertarafında yakma yönteminin kullanılmadığı ve sayısal veri 0 olarak bildirilmektedir [14].

1.2. Yakma Tesisi Çalışma Prensipleri ve Örnekleri

Arıtma çamuru yakma tesislerinde genellikle %90 kuru madde içeriğine sahip kurutulmuş arıtma çamurları yakılmaktadır. Yakma işlemi tesislerin optimum sıcaklık ve basınç şartlarında gerçekleştirilmekte, yanma sırasında çamur içindeki organik maddeler yanarak karbon dioksit ve su buharına dönüşürken, ısı da açığa çıkmaktadır. Tesislerde ek yakıt olarak kullanılacak olan madde yakma işleminden önce arıtma çamuru ile homojen bir şekilde karıştırılmaktadır.

Çeşitli ülkelerde arıtma çamurlarının yakılması konusunda yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Çin'in güneyinde yapılan bir araştırmada, 17 ton/saat yakıt tüketimi, 150 ton/saat buharlaştırma özelliği olan dolaşımli akışkan yataklı bir yakma fırınında, nem içeriği 1.86 kg nem/kg kuru katı, kalorifik değeri 1300 kcal/kg olan arıtma çamuru bir karıştırıcı vasıtasıyla önce %10 kömür ile harmanlanarak beslenmiş, bu karışım öğütme sistemi tarafından öğütüldükten sonra yakılmıştır. Yakma tesisinde gaz emisyonlarını kontrol etmek için hava kirliliği temizleme sistemi olarak elektrostatik filtreler ve yarı-kuru yıkayıcı kullanılmıştır. Yakma işlemi sonucunda arıtma çamuru ve kömürün birlikte yanması sonucunda emisyon değerleri, ulusal sınır değerlerin altında ölçülmüştür. Bu sonuca göre arıtma çamuru ve kömürün birlikte yanmasının çevre kirliliğine neden olmadığı söylenebilir [15].

Çin'de yapılan başka bir çalışmada belediye atıksu arıtma tesisinden alınan susuzlaştırılmış arıtma çamuru yanmaya hazır hale getirilmek üzere taneleştirilerek yakıt elde edilmiştir. Taneleştirilmiş yakıt (PF (Pelletized Fuel)), dairesel kalıplı pelletleme makinesi kullanılarak %10, %30 ve %50 oranlarındaki ahşap talaş ve toz haline getirilmiş arıtma çamurunun yüksek basınç (90-110MPa) ve yüksek sıcaklıkta (120-150°C) birlikte topaklanmasından yapılmış, daha sonra oda sıcaklığına kadar soğutulmuş ve hareketli ızgaralı bir kazanda yakılmıştır. Analiz sonuçlarına göre taneleştirme işleminden sonra yakma yönteminin, arıtma çamurundaki ağır metalin blokesini arttırdığı belirlenmiştir[16].

Pilot ölçekli akışkan yataklı arıtma çamuru ve kâğıdın yanmasını karakterize eden bir çalışmada, akışkan yataklı reaktörde kömür ya da propan gazı gibi yardımcı yakıt kullanılarak yanma karakteristikleri araştırılmıştır. Akışkan yataklı bölge boyunca sıcaklık, kâğıt ve arıtma çamuru besleme oranıyla ilişkili olarak izlenmiştir. 70-90 kg/saat çamur besleme oranı ile arıtma çamuruna kg başına yaklaşık 0,91 L dizel yakıt (ısı içeriği: 10.300 kcal/kg), fribord bölgesinde 850–900°C sıcaklığı korumak ve istikrarlı bir şekilde yanma işlemi sağlamak için harcanmıştır. Sonuç olarak, sistem içinde yanma sırasında en yüksek sıcaklık akışkan yatağın yüzeyinde bulunmuş, kabaca %59,8 su içeren kâğıtlı çamur yardımcı yakıt olmadan yanmış ancak, yaklaşık %79,3 su içeren arıtma çamurunu yakmak için ek yakıt

gerekmıştır. Çamur besleme oranındaki değişikliğe rağmen sıcaklık sabit kaldığından arıtma çamuru kâğıtlı çamura göre daha kararlı yanmıştır [9].

Laboratuvar ölçekli akışkan yataklı bir yakma fırınında yapılan çalışmada, yanma sırasında fribord ve akışkan yatağın sıcaklığı, kurutulan çamurun besleme oranı ve elektrikli ısıtıcının sıcaklığı yaklaşık 850°C’de kontrol edilmiştir. Arıtma çamurunun tekli yanma deneyi ve birliktelyanma deneyleri, %50 kurutulmuş çamur, %50 kömür içeren önceden karıştırılmış bir yakıt kullanarak yapılmıştır. Yanma sonrasında poliklorine dibenzo-p-dioksinler (PCDD), poliklorlu dibenzofuranlar (PCDF’ler) ve polisiklik aromatik hidrokarbonların (PAH) emisyon karakteristiklerine bakılmıştır. Arıtma çamurunun mono-yanmasından gelen baca gazının, arıtma çamurundaki yüksek uçucu madde, sülfür ve azot içeriği nedeniyle, diğer arıtma çamurlarına göre yüksek konsantrasyonlarda SO₂, NO_x ve organik kirleticileri içerdiği belirlenmiştir. Arıtma çamurunun mono yanması sırasında baca gazında 3 halkalı PAH’ların, uçucu külde 5 halkalı PAH’ların dominant olduğu, PAH ve PCDF konsantrasyonlarının kömür ile yanma sırasında belirgin olarak azaldığı belirlenmiştir [13].

Arıtma çamurlarının bertarafı ile ilgili yapılan araştırma sonuçlarına göre, yakma yöntemi, diğer bertaraf yöntemleri ile karşılaştırıldığında, çok daha avantajlı ve ekolojik bir yöntem olarak görülmektedir. Yukarıda verilen örneklerle Avrupa Birliği ülkeleri ile Amerika, Çin, Japonya gibi birçok gelişmiş ülkede çok daha yenilikçi, düşük emisyon değerleriyle çevre dostu olan arıtma çamuru bertaraf yöntemlerinden yakma yöntemini önemli oranda kullanmaya başladığı görülmektedir.

1.2.1. Türkiye’de Yakma Tesisi Örneği

Türkiye’de kullanılan mevcut arıtma çamuru bertaraf yöntemleri arasında yakma yöntemi yok denecek düzeydedir. Türkiye’de ilk ve tek yakma tesisi, 2012 yılında Gaziantep GASKİ (Gaziantep Su ve Kanalizasyon İdaresi) tesislerinde Polyspin A.Ş. (Mennan Makine) tarafından üretilmiş olup, yerli üretim olması nedeniyle ülke ekonomisine katkılar sağlayacak düzeyde düşük maliyete sahiptir. GASKİ Atıksu Arıtma Çamuru Termal Kurutma ve Yakma Tesisi ayrıca, Dünyada termal kurutma ve yakmayı birlikte içeren ilk ve tek yakma tesisidir.

GASKİ Atıksu Arıtma Çamuru Termal Kurutma ve Yakma Tesisinin benzeri olmamakla birlikte, tesisteki işlevleri birlikte gerçekleştiremeyen tesislerin üretim maliyetleri karşılaştırıldığında;

1. İzmir –Çamur Çürütme ve Susuzlaştırma Tesisi İnşaatı ve İşletilmesi Projesi’nin proje değeri tahmini **60 milyon TL** (26 Ağustos 2010’da yapılan ihale KİK tarafından iptal edilmiştir),
2. Bursa Çamur Projesi–1. Kademe Doğu ve Batı Termal Çamur Kurutma Tesisleri Yapımı ve İşletilmesinin proje değeri (iptal edilen ihalede) **20.989.050 Euro**,
3. İnegöl Belediyesi ve İnegöl OSB Çamur Kurutma ve Kojenerasyon Ünitesi Projesi’ninproje değeri **7 milyon USD**,
4. Antalya –Arıtma Çamuru Termal Kurutma ve Kojenerasyon Tesisinin proje değeri **6,5 milyon Euro**,
5. GOSB (Gaziantep Organize Sanayi Bölgesi) –Atıksu Arıtma Çamuru Kurutma ve Yakma Tesisi Projesi’nin proje değeri tahmini **8 milyon TL**,
6. Gaziantep –Arıtma Çamuru Termal Kurutma ve Yakma Tesisi Yapımının proje değeri **8,88 milyon TL**’dir [17].

Yukarıda belirtildiği gibi proje değerleri karşılaştırıldığında GASKİ Atıksu Arıtma Çamuru Termal Kurutma ve Yakma Tesisinin, termal kurutma ve yakmayı birlikte içeren tek tesis olmasına rağmen düşük maliyetli olduğu anlaşılmaktadır.

Atık çamurlarının bertaraf edilmesi, içerisinde bulunan çevresel kirleticiler ve enerji değeri bakımından oldukça önem arz etmektedir. Atık çamurlarda bulunan ve çevre kirliliği bakımından ağır metallerin tehlikeli kirleticiler içerisinde önemli olduğu bilinmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın Resmi Gazete’nin 31.05.2005 tarih ve 25831 sayılı nüshasında yayınlanan “Toprak Kirliliğinin Kontrolü

Yönetmeliği'nde stabilize arıtma çamurunda izin verilen en yüksek ağır metalleri değerleri ile GASKİ Tesisi'nde çamur analiz sonuçları Tablo 3'te verilmiştir [18].

Tablo 3. Evsel atık çamurda bulunan ağır metal değerleri [18]

Ağır Metal	Sınır Değer (mg/kg)	GASKİ Çamuru Değerler (mg/kg)
Kurşun	1200	428.44
Kadmiyum	40	0.862
Krom	1200	1094.54
Bakır	1750	123.64
Nikel	400	53.3938
Çinko	4000	982.85
Civa	25	0.9335

Görüldüğü üzere GASKİ arıtma çamurunda bulunan ağır metal miktarları limitlerin altında olduğu ve çevresel açıdan tehlike oluşturmayacağı anlaşılmaktadır. Söz konusu değerler bu kuru maddenin toprakta depolanacağı varsayımı üzerine düşünülmüştür. Ancak Gaziantep Büyükşehir Belediyesi elde edilecek maddeyi toprakta depolamayacak olup, asfalt çakılı içerisinde, ısı yalıtımı yüksek briket yapımında kullanacağını belirtmektedir.

Tablo 4. GASKİ'de yakma sonucunda elde edilen külün analizi [19]

Parametre (mg/L)	Sınır Değeri			Kül silosu çıkışı analiz sonucu
	İnert atık	Tehlikesiz atık	Tehlikeli atık	
Arsenik	≤0,05	0,05-0,2	0,2-2,5	<0,010
Baryum	≤2	2-10	10-30	0,32
Kadmiyum	≤0,004	0,004-0,1	0,1-0,5	0,008
Krom	≤0,05	0,05-1	1-7	0,002
Bakır	≤0,2	0,2-5	5-10	0,002
Civa	≤0,001	0,001-0,02	0,02-0,2	<0,0023
Molibden	≤0,05	0,05-1	1-3	0,18
Nikel	≤0,04	0,04-1	1-4	<0,0022
Kurşun	≤0,05	0,005-1	1-5	<0,0053
Antimon	≤0,006	0,006-0,07	0,07-0,5	<0,004
Selenyum	≤0,01	0,01-0,05	0,05-0,7	<0,0035
Çinko	≤0,4	0,4-5	5-20	0,018
Klorür iyonu	≤80	80-1500	1500-2500	21,7
Florür	≤1	1-15	15-50	0,4
Sülfat iyonu	≤100	100-2000	2000-5000	1858
Çözülmüş Organik Karbon	≤50	50-80	80-100	1,2
Toplam Çözülmüş Madde	≤400	400-6000	6000-10000	5140
Fenol indeksi	≤0,1	-	-	-

Bölgesel ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak, 300 ton/gün kapasiteli arıtma çamurunun bertarafına yönelik tasarlanan tesiste, GASKİ Genel Müdürlüğü'ne bağlı Merkez Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi, Kızıllıhisar İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi ve Oğuzeli İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinden gelen arıtma çamurları, kurutma fırınında ön kurutmadan geçirildikten sonra, akışkan yataklı kazanda % 99 KM oranına kadar yakılarak, kül elde edilmekte, aynı zamanda yakma sırasında ısı açığa çıkmaktadır. Sistemde atık ısı enerjisinden elektrik üretimi yapılabilecek ve tesisin ihtiyacı olan elektriğin yaklaşık %90'ının tesiste üretilmesi mümkün olabilecektir. Bu oranın Türkiye'deki en yüksek geri kazanım oranı olacağı düşünülmektedir [20].

Kurulan bu yakma tesisinde, mevcut % 27 KM (katı madde) oranında 180-200 ton/gün arıtma çamuru, termal kurutma fırını vasıtasıyla önce % 40 KM oranına çıkarılıp, akışkan yataklı kazan ile 850°C'de yakılarak %99 KM oranı sağlanıp, 10-12 ton/gün kül ortaya çıkmaktadır [21]. Yakma tesisi, yanma sırasında 850-900°C sıcaklığa ulaştıktan sonra kurutma için kullanılan enerjiyi de kendisi üretebilmektedir. Tesiste kazan sıcaklığı 650°C'ye ulaşıncaya kadar dışarıdan motorin kullanılmakta, daha sonra fırın sıcaklığı 850-900°C'ye ulaştığında çamur kendiliğinden yanarak dışarıdan ilave bir yakıtı ihtiyaç duyulmamaktadır. Yakma işlemi sırasında oluşan atık gazların doğaya zarar vermemesi için, baca gazı arıtma sistemi kullanılmaktadır. Nihai olarak %99 KM oranında, ısıl işlem görerek zararlı patojenleri imha edilmiş, hacmi % 90 oranında azaltılmış, çevreye zarar vermeyecek kül muhteviyatında ürün elde edilmekte, bu ürün çöp depolama alanına gömülerek bertaraf edilmektedir.

Tesiste arıtma çamurları kendiliğinden yanmamakta, yanmanın sürekli sağlanabilmesi için günde 1-3 ton Şırnak Linyiti kömür tozu (Isıl değeri 4500KCal/kg, partikül büyüklüğü 0-10 mm) kullanılmaktadır.

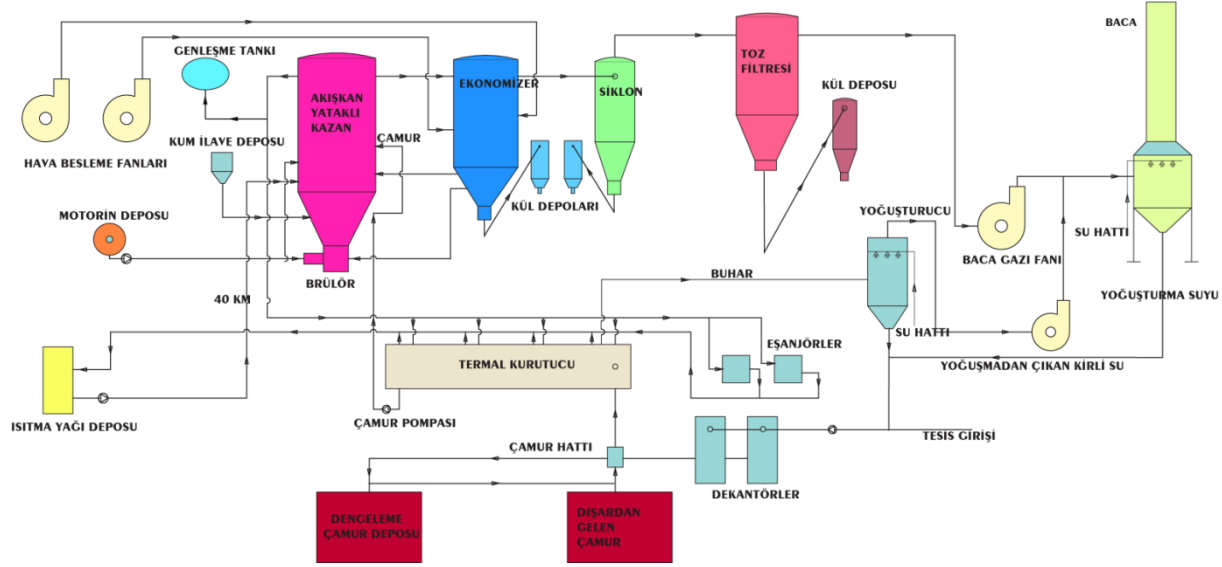


Şekil 2: Gaziantep GASKİ Kanalizasyon çamuru yakma tesisi.

Kömür besleme sistemi otomatik olarak kontrol edilmekte ve fırın sıcaklığı 850°C'nin altına düşüğünde kömür besleme hızı da arttırılmaktadır. Tüm dünyada kullanılan çamur yakma tesislerinde bilinmez durumlarla baş etmek ve fırının sıcaklığının tasarım sıcaklığında tutulabilmesi için mutlaka bu tesiste olduğu gibi var olan besleme donanımı ile fırına otomatik olarak gerektiği miktarda yakıt gönderilmektedir [22]. GASKİ evsel atık çamurunun ısıl değeri 3142 KCal/kg'dır. Bu veriler esas alınarak hazırlanan bir enerji fizibilitesinde çamur yakma tesisinde sürekli olarak her gün 5,274,475 KCal ısı enerjisinin net olarak elde edilebileceği ve bunun da 6.134 MW ısı gücüne karşılık geldiği belirtilmiştir [18]. Ancak, yukarıda çalışma prensibi açıklanan GASKİ Atıksu Arıtma Çamuru Termal Kurutma ve Yakma Tesisinin üretici firmanın belediyeye verdiği teknik şartnamede belirtilen “Tesiste kazan sıcaklığı 650 °C'ye ulaşıncaya kadar dışarıdan motorin kullanılmakta daha sonra fırın sıcaklığı 850-900°C'ye ulaştığında çamur kendiliğinden yanarak dışarıdan ilave bir yakıtı ihtiyaç duyulmamaktadır” maddesinde “fırın sıcaklığı 850-900°C'ye ulaştığında çamur kendiliğinden yanarak dışarıdan ilave bir yakıtı ihtiyaç

duyulmamaktadır” kısmının gerçekleşmemesi gerekçesiyle yakma işlemi durdurulmuştur[23]. Bu sorun yakın zamanda çözülmüş ve tesiste yakma işlemine yakın zamanda yeniden başlanmış, arıtma çamurlarının tesiste yakılması başarılı şekilde gerçekleşmektedir.

TERMAL KURUTMA VE YAKMA SİSTEMİ AKIM ŞEMASI



Şekil 3: GASKİ Termal Kurutma ve Yakma Tesisi Akım Şeması

2.SONUÇLAR

Arıtma çamurunun bertarafı için kullanılan yöntemlerden olan düzenli depolama ve kompostlama yöntemleri kolay uygulanabilir ve düşük maliyetli olmalarına karşın, kalan kirletici çamur nedeniyle ikincil kirliliğe neden olabilen yöntemlerdir. Bu yöntemlerden düzenli depolamada, kullanılan alanın büyüklüğü ve atık kullanımına ulaşımın zorluğu yöntemin dezavantajıdır. Buna karşılık, arıtma çamurlarının yakılması ile hacmi azaltılırken organik kirleticiler ile patojenlerin yok edilmesi, ağır metallerin stabilitesi ve enerji geri kazanımı gibi avantajlar nedeniyle, diğer bertaraf yöntemlerine göre daha yararlı kabul edilmektedir [8].

Yakma yöntemi, düzenli depolama gibi kapatılan alanlarda sürekli bakım ve denetim zorunluluğu gerektirmeyen, tarımsal alanda ve ormanlık arazide kullanım gibi çevreye zararlı olabilecek potansiyel toksik elementleri, patojen mikroorganizmaları ve patojenik organizmaların yumurtalarını içermeyen, aynı zamanda kompostlaştırma yöntemi gibi zamana, iklim koşullarına bağlı olmayan, kokusuz ve sürekli yeni bertaraf alanları gerektirmeyen, çamur içindeki maddeleri inert hale getiren yakma, düşük baca gazı emisyonları ile hava, su ve toprak ekosistemine zarar vermeyen yüksek enerji kazanımlı bir bertaraf yöntemidir.

Bu nedenlerle GASKİ Atıksu Arıtma Çamuru Termal Kurutma ve Yakma Tesisi, benzerlerine göre oldukça düşük maliyetli ve yerli üretim olduğu için, sistemin kontrol ve bakım kolaylığı nedeni ile ülkemizde yaygın olarak kullanılması halinde ekonomimize önemli katkılar sağlanacağı açıktır.

Yakma yöntemi, yakıt esnekliği, yüksek yanma verimi, düşük NO_x emisyonları, yüksek sülfür yakalama verimi ve daha birçok avantajı nedeniyle yüksek maliyetine rağmen, gelişmiş ülkelerde talep görmekte ve ekolojik olarak çevreye katkı sağlamaktadır. Bu nedenle arıtma çamurlarının bertarafında

yakma yönteminin tercih edilmesinin dünya doğasına, başta ülkemiz olmak üzere ülkeler ekonomisine katkısı büyük olacaktır.

3. ÖNERİLER

Arıtma çamuru yakma tesisinde tam yanma sağlamak için sıcaklık, basınç ve arıtma çamurunun nem miktarı optimum olarak tesiste ayarlanmalıdır. Optimum koşullarda tesis işletildiğinde tam verimle çalışacak ve işletme zorluğu çekilmeyecektir. Akışkan yataklı çamur yakma tesisleri, çamurun yanması için ideal ve yüksek verimli olduklarından yaygın kullanımları faydalı olacaktır.

Arıtma çamurlarının bertarafı için kullanılan yöntemlerden yakma yönteminin kullanımı, ülkemizde yok denecek kadar azdır. Nüfus artışına bağlı olarak artan atıksu arıtma çamurlarının bertarafı için, Dünyada yaygın kullanımı olan yakma yönteminin ülkemizde de yaygınlaşmasının sağlanması önem taşımaktadır Yerli üretimimiz olan yakma tesisi diğer ülkelerdeki tesislere göre daha düşük maliyetlidir. Ülkemizde ekonomiye ve çevreye katkı sağlamak için, yerli üretim yakma tesislerinin desteklenip, yaygın olarak kullanılmaya başlanması ile ülkemiz dünyada arıtma çamurlarının bertarafı konusunda hâkim, hatta öncü ülkelerden biri haline gelebilecektir.

Açıklanan nedenlerle, arıtma çamuru bertarafı için yerli üretimlerin desteklenmesi ve tesis işletmesindeki eksikliklerin giderilmesi için konu ile ilgili bilim dallarında çalışan araştırmacıların (çevre mühendisliği, makina mühendisliği, enerji mühendisliği) birlikte araştırmalar yapması ve oluşturdukları projelerin desteklenmesi gerekmektedir.

4.KAYNAKLAR

- [1] Web-1: http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Ar%C4%B1tma%20%C3%87amurlar%C4%B1.pdf, 29 Aralık 2015.
- [2] Web-2: https://www.csb.gov.tr/db/cygm/editordosya/IP_5.pdf, 31 Aralık 2015
- [3] Web-3: https://www.csb.gov.tr/db/cygm/editordosya/IP_12.pdf, 29 Aralık 2015.
- [4] Gökal A.C. (2014). Konya Organize Sanayi Bölgesi Arıtma Çamurlarının Ağır Metaller Açısından İncelenmesi ve Değerlendirilmesi. Necmettin Erbakan Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi (Yayımlanmamış).
- [5] Filibeli A. (1998). Arıtma çamurlarının işlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 255, İzmir.
- [6] Uzun P.ve Bilgili U. (2011). Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanılma Olanakları. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 25(2), 135-146.
- [7] Web-4: <http://www.mennanmakina.com/camur-yakma/>, 29 Aralık 2015.
- [8] Lu S.,Yang L., Zhou F., Wang F., Yan J., Li X., Chi Y. andCen K. (2013). Atmosphericemissioncharacterization of a novelsludgedryingandco-combustionsystem. Journal of Environmental Sciences, 25(10), 2088–2092.
- [9] Yu Y. andChung J. (2015). Combustioncharacteristics of paperandsewagesludge in a pilot-scalefluidizedbed. EnvironmentalTechnology, 36:22, 2903-2910.
- [10] Web-5: <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=16169>, 29 Aralık 2015.

- [11] Samsunlu A. (2015). Türkiye'de Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Bertarafı. *Su ve Çevre Dergisi*, 88.
- [12] Zhu J., Yao Y., Lu Q., Gao M. and Ouyang Z. (2015). Experimental investigation of gasification and incineration characteristics of dried sewage sludge in a circulating fluidized bed. *Fuel*, 150, 441–447.
- [13] Deng W., Yan J., Li X., Wang F., Chi Y. and Lu S. (2009). Emission characteristics of dioxins, furans and polycyclic aromatic hydrocarbons during fluidized-bed combustion of sewage sludge. *Journal of Environmental Sciences*, 21, 1747–1752.
- [14] Web-6: <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=istgosterge>, 08.01.2016.
- [15] Zhang G., Hai J., Cheng J., Cai Z., Ren M., Zhang S. and Zhang J. (2013). Evaluation of PCDD/Fs and metal emission from a circulating fluidized bed incinerator co-combusting sewage sludge with coal. *Journal of Environmental Sciences*, 25(1), 231–235.
- [16] Xiao Z., Yuan X., Li H., Jiang L., Leng L., Chen X., Zeng G., Li F. and Cao L. (2015). Chemical speciation, mobility and phyto-accessibility of heavy metals in fly ash and slag from combustion of pelletized municipal sewage sludge. *Science of the Total Environment*, 536, 774–783.
- [17] Web-7: [https://www.csb.gov.tr/dosyalar/images/file/Deniz%20KURT_Aritma%20Camurlari%20Sunum_110117%20\(1\).pdf](https://www.csb.gov.tr/dosyalar/images/file/Deniz%20KURT_Aritma%20Camurlari%20Sunum_110117%20(1).pdf), 02 Ocak 2016.
- [18] Söylemez M.S., Bayseç S. ., Yumrutaş R., Bilirkişi Raporu, 23 Ağustos 2012.
- [19] Türk Akreditasyon Kurumu, Deney Raporu, 7 Mayıs 2013.
- [20] Web-8: <http://www.suvecevre.com/?pid=27715#.VrijjiPmLTIW>, 8 Şubat 2016.
- [21] Kütük, M.A and Aksoy, M. (2013). A Case Study On Sewage Sludge Incineration Plant: GASKİ. *Proceedings Of The Second International Conference On Water, Energy And The Environment*. Kusadası, Turkey, 21-24, Paper#1.
- [22] Söylemez M.S., Bayseç S., Yumrutaş R., Bilirkişi Raporu, 3 Aralık 2014.
- [23] Kara, E.E., Bay, T., 2016. Arıtma Çamuru Sorunu, Türkiye'nin İlk ve Tek Yakma Tesisi Olan GASKİ Atıksu Arıtma Çamuru Termal Kurutma ve Yakma Tesisi'nin Değerlendirilmesi. *Su ve Çevre Teknolojileri Dergisi*, Şubat, 2016