

ATIK SU ARITMA FİLTRE KEKİNİN ÇİMENTODA KULLANIMI

Utilization of Wastewater Sludge in Cement

İlkay Bengü ÇELİK^o
Muammer ÖNERⁿ

ÖZET

Atık su arıtma tesislerinde filtre keki olarak elde edilen çamur, kaçınılmaz bir yan üründür. Kentleşme arttıkça çamur atımı da gittikçe büyüyen bir problem haline gelmiştir. Bu atığın yeniden değerlendirilmesi amacı ile çalışmada, filtre kekinin çimentoya doğrudan ve dolaylı olarak katılabilirliği araştırılmaktadır. Örnekler Ankara Atık Su Arıtma Tesisi'nden (Avrupa'da ikinci en büyük tesis) elde edilmiş, fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri belirlenmiştir. Ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 kuru filtre keki ve filtre keki külü içeren örneklerde ilk dayanım, priz alma ve hacim genişmesi testleri yapılmış, sonuçlar filtre keki içermeyen kontrol örnekleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu kuru filtre keki maksimum %5 oranında katılabilirken, filtre keki külünün %20'ye kadar çimento özelliklerini bozmadan katılabildiği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Atık Su Çamuru, Basınç Dayanımı, Filtre Keki Külü, Portland Çimentosu, Priz Alma

ABSTRACT

In wastewater treatment plants sludge, obtained as filter cake, is an inevitable by-product. Sludge disposal is becoming an ever increasing problem as the cities get highly urbanized. With the aim of recycling this waste, in this work possibility of direct and indirect addition of the sludge into cement is studied. Sludge samples were taken from Ankara Wastewater Treatment Plant (second largest plant in Europe) and physical, chemical and mineralogical properties of the sludge were determined. Initially strength, setting and soundness tests were carried out on samples having 5%, 10%, 15% and 20% dry sludge and sludge ash by weight, the results were compared with those of the reference sample. The comparison reveals that ; maximum addition of the dry sludge can be only 5% while sludge ash is added up to 20% without deteriorating cement properties.

Keywords: Wastewater Sludge, Compressive Strength, Sludge (Filter Cake) Ash, Portland Cement, Setting

^{t*} Araş.Gör., Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Beytepe, ANKARA
^{'''}Prof. Dr., Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Beytepe, ANKARA

1. GİRİŞ

Atık su, insanoğlunun yeme, içme ve korunma gibi yaşamının devamını sağlayan çeşitli faaliyetlerinin kaçınılmaz bir ürünüdür. Atık suyun fiziksel, kimyasal veya biyolojik yöntemlerle arıtılması sonucu ağırlıkça yaklaşık %10-30 katı içeren bir filtre keki atığı elde edilmektedir. Bu atık uygun koşullarda depolanmadığı takdirde havayı, toprağı ve suyu kirleterek doğayı ve canlıların yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir.

Yüksek endüstriyel aktivite ve yaşam standardındaki artış, beraberinde atık miktarındaki artışı meydana getirmektedir. Yaşamın ana atık ürününü oluşturan kent atıkları, şehir kanalizasyonuna bağlı nüfus artışına göre artmaktadır. Bu atıkların işlenmesi ve bertaraf edilmesi gittikçe ciddi bir toplum sorunu haline gelmektedir (Uchikawa ve Obana, 1995). Yakın zamana kadar filtre kekinin toprak altına doldurularak, deniz kıyılarına boşaltılarak veya tarımsal alanlara serilerek bertaraf edildiği bilinmektedir. Fakat dünyada çevre sağlığını korumaya yönelik ciddi sınırlamaların getirilmesi ve atığın boşaltılacağı boş alanların seyrekleşmesi, atığın doğrudan çevreye verilmesini engellemiştir. Bu anlamda, atığın hacmini azaltan, kokusuz ve tesirsiz hale getiren yakma yöntemi atık boşaltım problemine alternatif bir çözüm olmaktadır (Tay ve Show, 1997).

Dünyada atık suyun işlenmesi ve filtre keki atığının değerlendirilmesinde özellikle Japonya ve Singapur başı çekmektedir. Singapur gibi küçük bir ada ülkesinde 6 adet (Tay, 1987), sadece Tokyo'da ise 15 adet atık su işleme tesisi bulunmaktadır (Yasuda, 1991). Elde edilen filtre keki miktarı ve yakma oranı olarak, yılda 4.560.000 ton kuru madde filtre keki ve % 55'lik yakma oranı ile Japonya önde gelmektedir (Toraman, 1999). Japonya'da 62.000 ton filtre keki külü ve 28.000 ton endüstriyel atık kullanılarak yılda 110.000 ton çimento üretecek bir tesisin de Taiheiyo Cement ve Mitsui&Co kuruluşlarının ortaklığıyla 2001 yılında üretime başladığı bilinmektedir (Anon (a), 2001).

Uçucu kül, talaş, fırın atıkları ve bazı kimyasallar gibi bir çok atık maddenin yapı işlerinde katkı malzemeleri olarak kullanılabilirdiğinden yola çıkılarak, filtre kekinin (FK) ve yakma sonucu oluşan filtre keki külünün (FKK) de yapı malzemeleri olarak kullanılmasının atık

problemine çözüm olacağı düşünülmektedir (Monzo vd., 1999). Bu çerçevede FK ve FKK'nin farklı kullanım şekilleri üzerine Çizelge 1'de belirtilen çalışmalar yapılmıştır.

Son yıllarda kentleşmenin hızla geliştiği bir kent olan Ankara, Avrupa'nın ikinci büyük atık su arıtma tesisine sahiptir. Tesis, Ankara'nın tüm evsel ve endüstriyel atık sularının arıtılması amacı ile tasarlanmıştır. Sakarya Nehri ve bu nehir üzerindeki barajların kirliliğinin %50'si Ankara'nın atık sularından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle Ankara Atık Su Arıtma Tesisi Sakarya Nehri Havzası için hayati önem taşımaktadır. Ankara'nın şu andaki nüfusu yaklaşık 4 milyondur ve 2025 yılında yaklaşık 6 milyona ulaşması beklenmektedir. 2025'de nüfusun yaklaşık % 98'i kanalizasyon şebekesine bağlanacaktır. Tesisten elde edilen filtre keki miktarı 1997 yılı itibariyle 400 m³/gün olurken, bu rakamın 2025 yılı itibariyle 900 m³/gün olacağı tahmin edilmektedir (Ankara Merkezi Atık Su Arıtma Tesisi Proje Raporu, 1997). Elde edilen filtre keki %40'a kadar organik madde içermesi sebebiyle, tesisin 10 km yakınlıkta kadar civar köylerde gübre malzemesi olarak şu anda değerlendirilmekte, yapı malzemesi ve yakıt olarak değerlendirilmesine ilişkin çalışmalar sürdürülmektedir (Ayvaz, 2003). Önümüzdeki yıllarda, önemli bir çamur problemi yaşanacağı öngörülerek, FK ve FKK'nin çimentoda katkı maddesi olarak kullanılabilirliği bu çalışmada araştırılmaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLAR

Temsili örnekler; ASKİ'ye bağlı Ankara Merkezi Atık Su Arıtma Tesisi'nde elde edilen filtre kekinden, farklı çalışma dönemlerinde alınmıştır. Malzemenin özelliğini belirlemek için, örnekler üzerinde ilk olarak fiziksel, kimyasal ve mineralojik karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Çalışılan özellikler sırasıyla verilmiştir.

2.1. Fiziksel Özellikler

105°C'de kurutulmuş filtre keki (FKF) ve 550°C'de yakılma sonucu elde edilen FKK'nin özgül ağırlık, yığın yoğunluğu, nem içeriği, uçucu madde, kül, bağlı karbon yüzdeleri, ısı değeri gibi fiziksel özellikleri saptanmış, sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. FK ve FKK'nin Farklı Alanlarda Kullanımı

FK'deki Organik İçeriğin Kullanılması

Doğrudan Kullanım

Kompost olarak: FK içindeki bileşiklerin gübreleyici etkilerinin olması nedeniyle kullanımı kabul edilmiştir. Özellikle Tokyo'da tarımsal ürünler üzerinde yapılan deneylerde kompostun etkileri incelenmiş ve ürünler güvenli bulunmuştur. Tokyo'da Minami Tama adında bir atık su işleme tesisi çamurdan kompost üretmektedir (Yasuda, 1991).

Kurutulduktan Sonraki Kullanım

Yakıt olarak: Ana prensip FK içindeki yanabilirlerden yararlanarak enerjinin kullanılmasıdır. Örneğin, 4000-4500 kCal/kg'lık bir kalorifik değere sahip olan kuru kek hemen hemen düşük kalorifik değerli bir kömürle aynıdır, bu nedenle yakıt olarak kullanılabilir (Yasuda, 1991).

FKK'deki İnorganik İçeriğin Kullanılması (Yakma Yöntemi)

FKK'nin Tuğla Yapımında Kullanılması

Herhangi bir katkı maddesi olmadan sadece FKK kullanarak tuğla üreten teknoloji Japonya'da oldukça önem kazanmış, 8 adet tam ölçekli çalışan tuğla tesisi üretime geçirilmiştir. Günlük üretim kapasitesi 5500 adet tuğlayı bulan tesislerde yüksek basınç altında FKK preslenmekte ve uygun sıcaklık olarak belirlenen 1020-1080°C'de yakılmaktadır. Normal tuğla dayanım değerlerine eşdeğer tuğlalar üretilmektedir (Okuno ve Takahashi, 1997).

FKK'nin Betonda Kullanılması

FKK betonda çimento yerine kısmi olarak kullanılmaktadır. Betona katılan FKK oranı arttıkça priz süresi uzamakta fakat belirtilen standartların dışına çıkmamaktadır. 28. gün basınç dayanımlarına bakıldığında %10'luk bir FKK katılımı, FKK katılmamış örneğin dayanımı ile aynı sonuçları vermektedir. Ancak duraylılık ve hacimsel değişim gibi uzun dönem özelliklerin de incelenmesi gerekmektedir (Tay, 1987; Remondvd., 1999).

FKK'nin Hafif Ağırlıklı Agrega Malzemesi Olarak Kullanımı

1050-1100°C'de yakma sonucunda FKK hafif ağırlıklı iri ve ince agregalar üretilmektedir. FKK agregalarının düşük ısı iletkenliğe ve ateşe karşı yüksek dirence sahip olmaları, betonun ısı izolasyonu ve ateşe korunum özellikleri açısından uygun gözükmektedir. FKK'den diğer bir agregada elde etme şekli ise kille karıştırıp yakma şeklindedir (Tay ve Show, 1992).

FKK'nin Bağlayıcı Olarak Kullanılması

FK'nin belli oranlarda kireçtaşı tozuyla karıştırılıp yakılması prensibine dayanmaktadır. Araştırmalar sonucunda yüksek dayanımı verecek en uygun karışım kompozisyonu, yanma sıcaklığı, yanma süresi ve kür koşulları belirlenmiş, buna göre elde edilen bu bağlayıcının en yüksek dayanımı, %50 karışım, 1000°C'de 4 saat yanma ve hava ile kürlenme koşullarının verdiği görülmüştür (Tay ve Show, 1992).

FKK'den Cüruf Elde Edilmesi

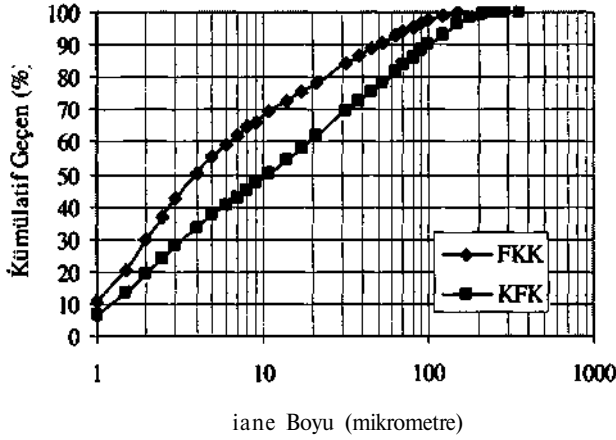
FK'nin 1400-1500°C'de yakılmasıyla ergimiş cüruf elde edilmektedir. Bu malzeme hızlı soğutularak granule cürufa dönüştürülmektedir. Ergimiş cürufu kademeli soğutarak kristal formda cüruf elde edilmesi ve bunun yapı malzemesi olarak kullanılması için yöntemler geliştirilmektedir (Yasuda, 1991).

Çizelge 2. KFK ve FKK Örneklerinin Fiziksel Özellikleri

İncelenen Özellikler	(KFK)	(FKK)
Özgül Ağırlık	2,27	2,63
Yığın Yoğunluğu (g/cm ³)	0,95	0,83
Nem İçeriği (%)	2,02	0,71
Uçucu Madde (%)	19,63	9,01
Kül (%)	78,35	90,28
Bağlı Karbon (%)	0,00	0,00
Isı Değeri (kCal/kg)	Isı yükselmesi	Isı yükselme
	gözlenmedi	gözlenmedi

Atık suyun arıtılması işlemi sırasında gaz çıkışından dolayı örneklerin yığın yoğunluklarının çok düşük olduğu görülmekte; örneklerde herhangi bir ısı yükselmesinin gözlenmemesi de yakıt olarak kullanılamayacaklarına işaret etmektedir.

KFK ve FKK örneklerinin tane boyu dağılımları lazer difraksiyonu tane boyu analiz yöntemi ile belirlenmiş, dağılımlar Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. KFK ve FKK örneklerinin tane boyu dağılımları

Aynı özgül yüzey alanına sahip (-3000 cm²/g) KFK ve FKK örneklerinin tane boyu dağılımları incelendiğinde; FKK'nin daha ince bir dağılım verdiği görülmüştür. Bu husus dayanımın artmasında etkindir.

2.2. Kimyasal ve Mineralojik Özellikler

KFK ve FKK örneklerinde, atomik absorpsiyon

yöntemi kullanılarak kimyasal kompozisyon ve ağır metal içerikleri belirlenmiş, sonuçlar Çizelge 3 ve 4'de verilmiştir.

Çizelge 3'de verilen kimyasal kompozisyon sonuçlarına göre, KFK ve FKK örneklerindeki SiO₂+CaO yüzdelerinin sırasıyla yaklaşık 50 ve 58 gibi büyük bir oran oluşturması dikkat çekicidir.

Çizelge 4'de ise, her iki örnekte bulunan ve Türk Çevre Mevzuatı'nda (Anon(c), 1999) tarımda kullanılacak arıtma çamurunda kabul edilebilecek maksimum ağır metal içerikleri belirtilmektedir. Değerler karşılaştırıldığında, özellikle KFK'nin ağır metal içeriğinin kadmiyum hariç düşük olduğu görülmektedir. Bu sonuca göre Ankara'da atık suların daha çok evsel kaynaklı olduğu söylenebilir.

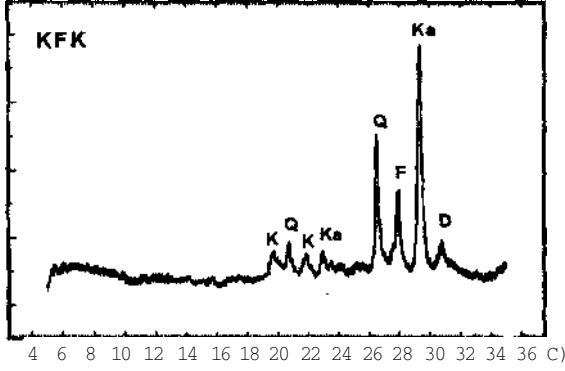
Çizelge 3. KFK ve FKK Örneklerinin Kimyasal Bileşimleri

Kimyasal Bileşen, %	(KFK)	(FKK)
MgO	2,04	2,32
Al ₂ O ₃	9,84	11,24
SiO ₂	30,09	35,52
CaO	19,87	21,62
Fe ₂ O ₃	4,87	5,52
SO ₃	2,23	2,63
K ₂ O	1,27	1,50
Na ₂ O	0,81	0,95
TiO ₂	0,62	0,94
Mn ₂ O ₃	0,14	0,19
P ₂ O ₅	4,57	5,36
Kızdırma Kaybı	23,5	12,10

Çizelge 4. KFK ve FKK Örneklerinin Ağır Metal İçerikleri ve Arıtma Çamurunda İzin Verilen Sınır Değerler

Ağır Metal	KFK (mg/kg)	FKK (mg/kg)	Sınır Değer (mg/kg)
Bakır	520	2540	1200
Çinko	2170	3445	3000
Kurşun	920	385	1200
Nikel	450	11470	1200
Kadmiyum	70	440	20
Krom	240	850	1200

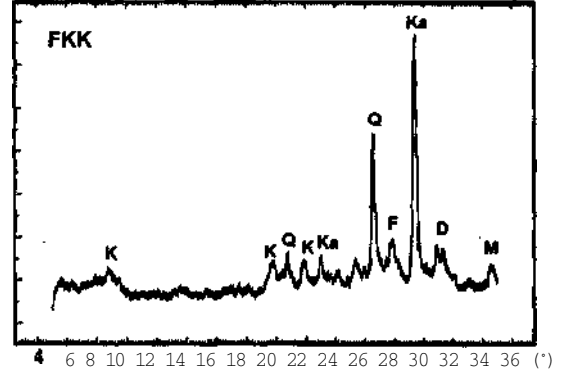
KFK ve FKK örneklerinin mineralojik özellikleri X-ışınları Difraksiyonu (XRD) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Analizler Şekil 2 ve 3'de sunulmuştur.



Şekil 2. KFK örneğinin XRD analizi (Ka: Kalsit, Q: Kuvars, K: Kil, F: Feldispat, D: Dolomit)

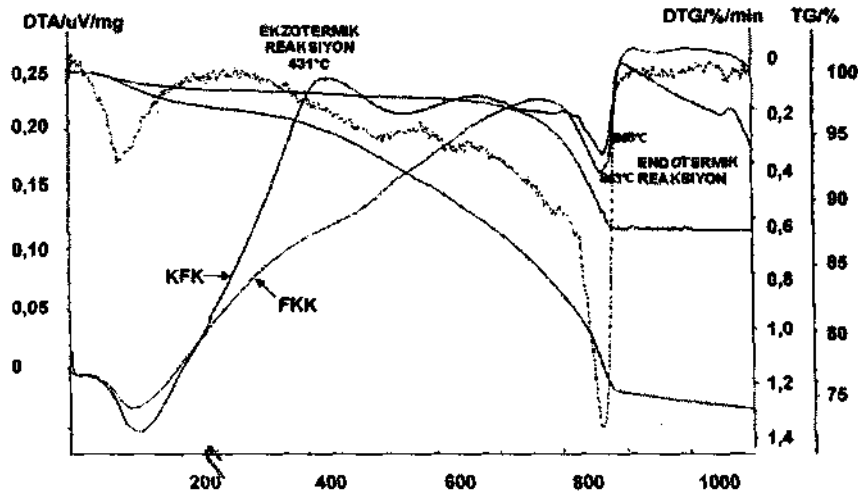
XRD analizleri; KFK ve FKK örneklerinde kalsit, kuvars, feldispat, kil ve dolomit minerallerinin bulunduğunu göstermektedir. FKK'de bu minerallerin yanısıra mika da bulunmaktadır. Analizlerdeki yüksek kuvars ve kalsit pikleri, yukarıda belirtilen SiO_2+CaO yüzdelерinin büyüklüğünü doğrulamaktadır.

Çalışmada filtre keki malzemesi, 105°C'de kurularak, 550°C'de ise yakılarak iki farklı şekilde kullanılmaktadır. Bu anlamda örneklerde sıcaklık artışına bağlı olarak meydana gelebilecek fiziksel değişimleri ve kimyasal



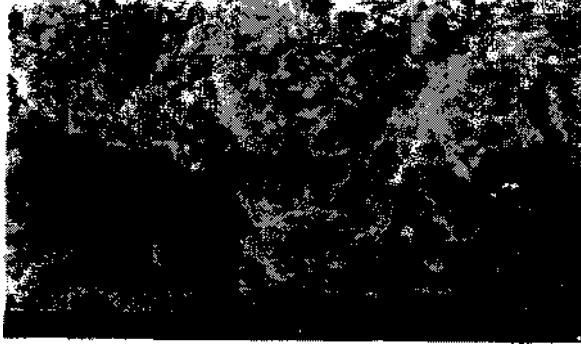
Şekil 3. FKK örneğinin XRD analizi (Ka: Kalsit, Q: Kuvars, K: Kil, F: Feldispat, D: Dolomit, M: Mika)

tepkimleri görebilmek amacı ile Termal Analiz işlemi gerçekleştirilmiş, Diferansiyel Termal Analiz (DTA) termogramında KFK ve FKK örnekleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Şekil 4). Buna göre, KFK termogramında 431°C de bir ekzotermik tepkime gözlenirken, FKK termogramında böyle bir olaya rastlanmamıştır. Bunun nedeni, 431°C'de KFK içindeki organik maddelerin uzaklaşmasıdır, FKK'ise 550°C'deki yakma işleminin bir ürünü olduğundan bu tepkimenin termogramda görülmemesi normaldir. 860°C civarında meydana gelen endotermik tepkimenin ise örneklerdeki karbonatların parçalanmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu analiz sonucundan yola çıkılarak KFK'nin organik içeriğinden arındırılması için seçilen 550°C sıcaklığının yeterli olduğu söylenebilir.

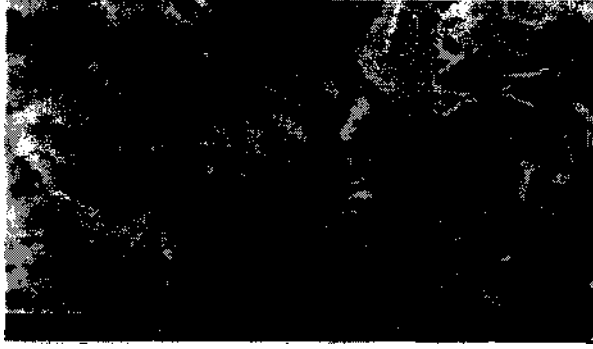


Şekil 4. KFK ve FKK örneklerinin DTA termogramları

FK ve FKK örneklerindeki mineral fazlarının tane büyüklüklerini ve yüzey morfolojisini belirlemek için Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) analiz yöntemi kullanılmış, fotoğraflar Şekil 5 ve 6'da verilmiştir.



Şekil 5. KFK örneğinin taramalı elektron mikroskop analiz fotoğrafı



Şekil 6. FKK örneğinin taramalı elektron mikroskop analiz fotoğrafı

Taramalı Elektron Mikroskop analiz yöntemiyle elde edilen KFK ve FKK fotoğraflarında (Şekil 5 ve 6), FKK'nin çok gözenekli olduğu görülmektedir. Yakma işlemi sırasında malzemenin bir hayli yüksek olan organik içeriğini kaybettiği ve gaz çıkışının gerçekleştiği düşünüldürse gözenekli yapıda olması normaldir. KFK ise henüz organik içeriğini kaybetmemiş olmasından dolayı daha yoğun ve düzensiz bir kristal yapıya sahiptir.

2.3. KFK ve FKK İçeren Çimento Örneklerinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Özgül yüzey alanları yaklaşık 3000 Blaine (cm²/g) olacak şekilde öğütülerek hazırlanan KFK ve FKK'yi içeren çimento örneklerinin standart dayanım testleri, priz alma süresi ve

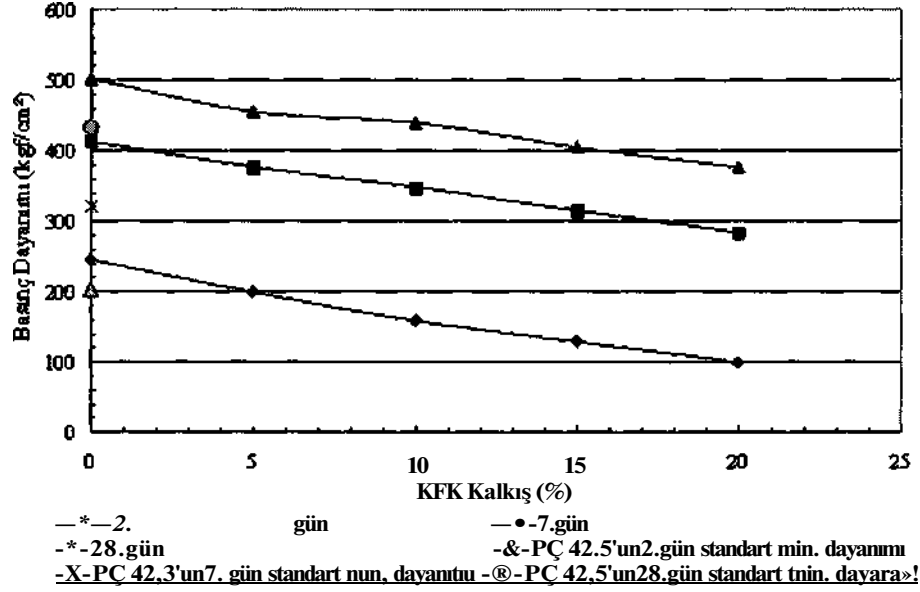
hacim genişmesinin belirlenmesi standartlar çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

KFK ve FKK için yapılan standart dayanım testlerinde, TS 24 no'lu (1985) "Çimentoların Fiziki ve Mekanik Deney Metotları" standardı kullanılmıştır. Buna göre Portland Çimento (PC) 42,5'a ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 oranlarında KFK katılmış, hazırlanan harçtan 40*40*160 mm'lik kalıplar dökülmüştür. Farklı katılım yüzdeleri için her birinden dört adet numune hazırlanmış, sonuçların ortalaması alınmıştır. KFK katılmadan dökülen bir kalıp da kontrol örneği olarak seçilmiştir. Kalıplar su altında kür koşullarına bırakılmış, 2., 7. ve 28. gün kür süreleri sonunda basınç dayanımları ölçülmüştür. %5'lik bir KFK katkısı, kontrol örneğinin dayanım değerinin üstünde çıkmaktadır. Katılan KFK yüzdesi arttıkça dayanım değerlerinde düşmeler gözlenmekte, dayanımlar kontrol örneği dayanımının altına inmektedir (Şekil 7).

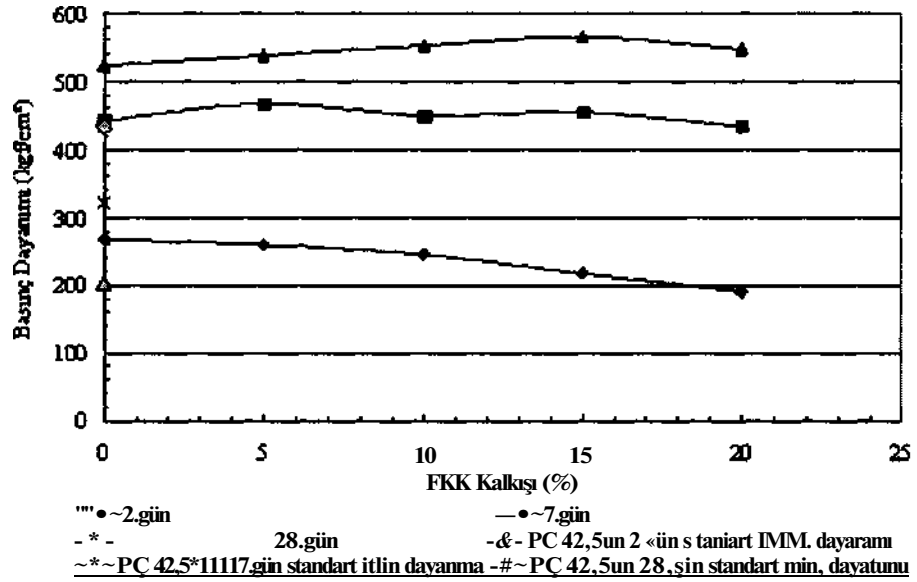
KFK katılmış çimento örneklerinin dayanım testlerinin yanı sıra priz başlama ve sona erme süreleri ve hacim genişmesinin belirlenmesi deneyleri de gerçekleştirilmiş, sonuçlar Çizelge 5'de verilmiştir. PC 42,5'un TS 3441 (1994)'e göre ilk priz süresi minimum 60 dakika, son priz süresi ise maksimum 10 saat olabilmekte, maksimum 10 mm'lik bir hacim genişmesi ise kabul görmektedir. Sonuçlara bakıldığında standartların dışında bir değer olmadığı, fakat KFK katmanın priz başlama ve sona erme sürelerinde gecikmeye neden olduğu görülmektedir. Bu gecikmenin de KFK'nin organik içeriğinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Filtre kekinin 550°C'de yakılması ile elde edilen kül örneği FKK ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 oranlarında PC 42,5'a katılarak TS 24 (1985)' no'lu standarda göre dayanım testleri, priz başlama ve sona erme süresi ve hacim genişmesini belirleme deneyleri tekrarlanmıştır. Buna göre FKK katılmış çimento örneklerinin dayanım değerleri kontrol örneğinin, değerleriyle uyum göstermiştir (Şekil 8). FKK'nin çimentoya %15-20 oranlarında katılmasıyla çimentonun dayanımında herhangi bir azalma görülmediği açıktır. Kül katılımının priz alma süresini kuru kekinki kadar olmasa da geciktirdiği, fakat değerlerin hacimsel genişme değerleriyle birlikte yine standartlar çerçevesinde yer aldığı görülmektedir (Çizelge 5).

KFK ile yapılan deneylerden farklı olarak, FKK katılan örneklerin ve kontrol örneğinin TS 687



Şekil 7. FKK katılan çimento örneklerinin basınç dayanım değerleri



Şekil 8. FKK katılan çimento örneklerinin basınç dayanım değerleri

(1994) no'lu "Çimento-Kimyasal Analiz Metotları" standardına göre 7. ve 28. gün hidrasyon ısı belirlenmiş, sonuçlar Çizelge 6'da verilmiştir. Sonuçlar; 7. ve 28. gün sonunda FKK katılım oranı arttıkça hidrasyon ısısının azaldığını, bu anlamda olumlu bir etki yarattığını göstermiştir. Çünkü hidrasyon sırasında meydana gelen kimyasal olaylarda açığa çıkan ısı miktarı çimentonun kullanılmasında çok önemli olabilmektedir.

3. SONUÇLAR

Çalışmalar sonucunda FKK'nin çimentoya %20 oranında katılabilir olması konunun daha detaylı araştırılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu anlamda, kuru filtre kekinin, çimentonun ana bileşeni olan klinkerin elde edilmesi sürecinde de kullanılabilirliğinin araştırılması ve çalışmanın tesis ölçekte denenebileceği öneri olarak sunulabilir (Çelik, 2000).

Çizelge 5. KFK ve FKK Örneklerinin Prizlenme Süresi ve Hacim Genleşme Test Sonuçları

Örnekler	Priz başlama ve sona erme süresi (saat)		Hacim genleşmesi (mm)	Örnekler	Priz başlama ve sona erme süresi (saat)		Hacim genleşmesi (mm)
	İlk priz	Son priz			İlk priz	Son priz	
Kontrol Örneği (PC 42,5)	2,40	3,25	0	Kontrol Örneği (PC 42,5)	2,35	3,35	0
PC 42,5+%5 KFK	3,55	5,00	1	PC 42,5+%5 FKK	4,25	5,50	1
PÇ42,5+%10KFK	4,30	6,25	1	PÇ42,5+%10FKK	5,40	7,45	1
PÇ42,5+%15KFK	5,35	8,10	4	PÇ42,5+%15FKK	5,55	8,20	2
PC 42,5+%20 KFK	6,05	9,15	3	PC 42,5+%20 FKK	5,55	8,35	2

Çizelge 6. FKK Katılan Örneklerin Hidratasyon Isıları

Örnekler	Hidratasyon Isısı (Cal/g)	
	7.gün	28.gün
Kontrol örneği (PC 42,5)	73,28	97,76
PC 42,5+%5 (FKK)	71,14	96,23
PÇ42,5+%10(FKK)	69,09	93,08
PÇ42,5+%15(FKK)	69,49	96,84
PC 42,5+%20 (FKK)	66,14	90,81

KATKI BELİRTME

Yazarlar, bu çalışmada tasarlanan bazı deneylerin yapılması konusunda göstermiş oldukları tüm yardım ve ilgilerinden dolayı Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği çalışanlarına; örneklerin sağlanması konusundaki yardımlarından ötürü Ankara Merkezi Atık Su Arıtma Tesisi personeline teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Anon (a), 2001; Environmental Report, <http://www.taiheiyo-cement.co.jp/english/>
- Anon(b), 1997; Ankara Merkezi Atık Su Arıtma Tesisi Proje Raporu.
- Anon(c), 1999; Türk Çevre Mevzuatı.
- Ayvaz, Ş., 2003; Kişisel görüşme, Ankara Merkezi Atık Su Arıtma Tesisi, Ankara.
- Çelik, i. B., 2000; "Ankara Merkezi Atık Su Arıtma Tesisi Atığının Çimentoya Katılabilme Olanaklarının Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, s. 75.
- Monzo, J., Paya, J. ve Borrachero, M. V., 1999; "Experimental Basic Aspects for Reusing Sewage Sludge Ash (SSA) in Concrete Production", Proceedings of Creating with Concrete, Dundee, Scotland, s. 47-56.

Okuno, N. ve Takahashi, S., 1997; "Full Scale Application of Manufacturing Bricks from Sewage", Water Science Technology, Cilt 36, Sayı 11, s: 243-250.

Remond, S., Pimienta, P., Rodrigues, N. ve Bournazel, J. P., 1999; "Assessing the Properties of Mortars Containing Municipal Solid Waste Incineration Fly Ash", Proceedings of Creating with Concrete, Dundee, Scotland, s. 319-326.

Tay, J. H., 1987; "Sludge Ash as Filler for Portland Cement Concrete", Journal of Environmental Engineering, Cilt 113, Sayı 2, s. 345-351.

Tay, J. H. ve Show, K. Y., 1992; "Reuse of Wastewater Sludge in Manufacturing Non-Conventional Construction Materials-An Innovative Approach to Ultimate Sludge Disposal", Water Science Technology, Cilt 26, Sayı 5-6, s. 1165-1174.

Tay, J. H. ve Show, K. Y., 1997; "Resource Recovery of Sludge as a Building and Construction Material- A Future Trend in Sludge Management", Water Science Technology, Cilt 36, Sayı 11, s. 259-266.

Toraman, Y., 1999; "Proses ve Atık Su Arıtma Çamurlarının Bertarafı için Alternatif Bir Yaklaşım: Yakma", Çevre Teknolojisi Dergisi, Cilt 21, s. 29-32.

TS 24, 1985; "Çimentoların Fiziki ve Mekanik Deney Metotları".

TS 687, 1994; "Çimento-Kimyasal Analiz Metotları".

TS 3441, 1994; "Klinkerler-Portland Çimentosu Klinkeri".

Uchikawa, H. ve Obana, H., 1995; "Ecocement-Frontier of Recycling of Urban Composite Wastes", World Cement, Kasım, s. 33-40.

Yasuda, Y., 1991; "Sewage Sludge Utilization Technology in Tokyo", Water Science Technology, Cilt 23, s. 1743-1752.