

## HALIÇ ÇAMURLARININ İNŞAAT MALZEMESİ ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZLEM ÇELİK\*, İFFET YAKAR ELBEYLİ\*\*, SABRİYE PİŞKİN\*\*

\*İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Avcılar-İSTANBUL

\*\*Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Kimya Müh. Böl., Davutpaşa-İSTANBUL

Geliş Tarihi: 19.12.2002

### THE UTILIZATION OF HALIÇ MUDS IN PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS

#### SUMMARY

In this study, Haliç muds, which were collected for long time in Haliç, were investigated for utilization in the production of briquettes after transportation to another place from Haliç. For this reason, briquettes were manufactured with agglomeration of the Haliç muds, by using thermal agglomeration and hydrothermal agglomeration methods applied under steam pressure. In this production,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  and  $\text{SiO}_2$  components were mixed with Haliç muds at different ratios and their effects on compressive strengths of briquettes were investigated.

#### ÖZET

Bu çalışmada, Haliç'te uzun yıllar biriken çamurların, Haliç'ten çıkarılıp başka bir yere nakledilmesinden sonra, bunların inşaat malzemesi üretiminde değerlendirilmesi araştırılmıştır. Bu amaçla, Haliç çamurundan alınan örneklerin, termik aglomerasyon ve su buharı basıncı altında yapılan hidrotermal aglomerasyon yöntemleriyle aglomerasyonu yapılarak, biriket üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimde haliç çamuruna, değişik oranlarda  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ve  $\text{SiO}_2$  katılarak, karışım oranlarının, hazırlanan biriketlerin basınç dayanımları üzerine etkileri incelenmiştir.

#### 1.GİRİŞ

Bundan yaklaşık otuz beş yıl önce yapılan bir çalışmada, Haliç çamurlarının içerdiği yüksek kil oranı nedeniyle tuğla yapımında kullanılabileceği belirtilmiştir [1]. Yakın zamana kadar Türk endüstrisinin önemli bir kısmının yer aldığı Haliç, yaklaşık 7.5 km uzunluğundadır. Fabrikalar, özellikle Haliç'e dökülen Kağıthane ve Alibeyköy dereleri su toplama alanında yer aldığından, buraya sürüklenen kirlenmiş alüvyonlar, sanayi atıkları ve mezbaha atıkları, Balat-Hasköy hattının kuzeyindeki kısımda devamlı birikme eğilimi göstermiş ve Haliç'in yaklaşık 11 cm dolmasına neden olmuştur. Bu bölgede doğrudan çökme söz konusu olduğundan bataklık oluşumları gözlenmiştir. Haliç'e gelen kirlenmişler, granülometrik olarak kil boyutunda tanelerden oluşmaktadır. Bu kirlenmişlerin çokluğu dolayısıyla üst seviyelerde hemen hemen kolloid kıvamında bir çözelti oluşmuş ve üst tabaka çökeltilerinin konsolide olmasını büyük oranda önlemiştir. Şu anda, Haliç'in Balat-Hasköy hattı kuzeyindeki kısım 5 m su derinliğine kadar taranmış, taranan malzeme hidrolik transport yöntemiyle, 5 km uzaklıkta bulunan Alibeyköy'deki eski bir taş ocağında oluşturulan çamur barajına nakledilmiş ve burada depolanmıştır. Bu bazende taranan malzeme yavaş yavaş çökmekte, açığa çıkan su ayrı bir boru ile Haliç'e gönderilmektedir. Daha önce İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından yaptırılan birtakım etüdlerde bu çamurların, %30'a yakın organik madde ve deniz suyundan dolayı tuz içerdiği ayrıca fabrika atıklarından

## ***Haliç Çamurlarının İnşaat Malzemesi...***

kaynaklanan bir miktar ağır metali bünyesinde bulundurduğu tespit edilmiştir. Çamurun adsorbsiyon özelliklerinin iyi olması, bünyesinde bulundurduğu ağır metallerin dış ortama verilmesini engellemektedir [2]. Bu çamurlardan yapı malzemesi üretilmesi durumunda, içerdikleri mevcut ağır metallerin dış ortama salınıp kirlilik yaratması da önlenmiş olacaktır.

Yüksek sıcaklık ve basınç altında su buharı veya su (sıvı) fazında oluşturulan reaksiyonlara hidrotermal reaksiyonlar denir. Bu reaksiyonlardan yararlanılarak mineral sentezleri için ilk hidrotermal araştırmalar Niggli ve Morey tarafından yapılmıştır [3]. Bu çalışmalar, kil minerallerinin oluşumunu ve hidrolik çimentoların hidratasyon ürünlerini aydınlatması açısından önemlidir. Hidrotermal reaksiyonlardan yararlanılarak yapay mineral ve saf hidrate kristaller üretiminin yanı sıra bu reaksiyonların beton ve harçlar üzerine etkileri de araştırılmıştır. Beton ve harçlarda mukavemetin 100°C'nin üzerinde su buharı etkisiyle arttığı, mukavemet artışında, basınçlı su buharı etkisinde, çimento bileşenlerinin hidratasyonunun hızlanması, kalsiyum silikatların hidratasyonunda açığa çıkan  $\text{Ca(OH)}_2$  ile kuvarzın ( $\alpha\text{-SiO}_2$ ) reaksiyona girmesi ve kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) oluşturmasının etkili olduğu Lea tarafından belirtilmiştir [4]. Türkiye'de hidrotermal aglomerasyon reaksiyonlarının yapı malzemelerine uygulanması hakkında ilk araştırmalar Göksel tarafından yapılmıştır [5]. Bu çalışmada, farklı hidrotermal koşullar altında CaO ve  $\text{SiO}_2$  bileşenlerinin oluşturduğu reaksiyonlar incelenmiş ve çimentonun fiziksel özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan Haliç çamuru hidrolik transportu sağlayan borunun ağzından, belirli aralıklarla alınan numunelerin karıştırılması sonucu elde edilmiş, ortalama bir temsili numunedir. Yapılan çalışmada, Haliç çamurunu biriket üretiminde kullanarak inşaat sektörüne katkı malzemesi olarak kazandırılması amaçlanmıştır.

## **2. DENEYSEL ÇALIŞMA**

Biriket üretiminde ve deneylerde kullanılan aletler ve yöntemler, numunelerin üretim süreci, kullanılan malzemeler ve yapılan deneyler aşağıda verilmiştir.

### **2.1. Kullanılan Aletler ve Yöntemler**

#### **2.1.1. X-Işını Analizi**

Haliç çamurlarının kurutulup öğütülmesiyle hazırlanan örneklerin diyagramının çekilmesi sırasında Philips marka PM 990/00 model X-Işını difraksiyon cihazından faydalanılmıştır. Analizlerde  $\text{CuK}\alpha$  radyasyonu kullanılmıştır (35 kV/20 mA, 2°/dak) [6].

#### **2.1.2. Standart Elek Analizi**

Kurutulmuş Haliç çamurlarının ve kuvarz pudrasının tane büyüklük dağılımının belirlenmesi için manyetik titreşimli Endecotts Serial No: EFL 2000/2/14271 (230V, 500W 430VA) marka elek analiz cihazı ve 2 mm ile 0.038 mm gözenek açıklığına sahip standart elekler kullanılmıştır. Sonuçlar Tablo 1'de verilmektedir.

#### **2.1.3. Kimyasal Analiz**

Haliç çamurunun kurutulmasıyla elde edilen örneğin kimyasal analizi TS 687 numaralı test metoduna göre yapılmış, analiz sonuçları Tablo 2'de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Haliç çamurunun standart elek analizi

Elek Açıklığı (mm)	ElekFraksiyon Ağırlığı (gr)	% Kümülatif Elek Üstü	% Kümülatif Elek Altı
+2,000	-	-	100
-2,000+0,500	580	31,8	68,2
-0,500+0,300	1129	61,9	38,1
-0,300+0,212	1358	74,5	25,5
-0,212+0,150	1647	90,3	9,70
-0,150+0,106	1774	97,3	2,70
-0,106+0,075	1789	98,1	1,90
-0,075+0,053	1809	99,2	0,80
-0,053+0,038	1820	100	0

**Tablo 2.** Kuru Haliç çamurunun kimyasal analizi

Bileşen	% Miktar
SiO <sub>2</sub>	70,95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,37
CaO	3,04
MgO	0,40
SO <sub>3</sub>	1,34
Cl <sup>-</sup>	0,16
Na <sub>2</sub> O	1,77
K <sub>2</sub> O	0,47
TiO <sub>2</sub>	0,82
Kızdırma kaybı	4,73

#### 2.1.4. Aglomerasyon Otoklavı

Haliç çamurlarından hazırlanan biriketlerin aglomerasyonunda 304 paslanmaz çeliğinden yapılmış, 2.5 lt hacmindeki otoklav kullanılmıştır. Bütün kapak ve vanalar 316 paslanmaz çeliğinden, contalar teflondan yapılmıştır. Otoklavda sıcaklığa bağlı olarak su buharı basıncı değişimi Tablo 3’de verilmiştir [7]. Bu otoklavda sıcaklık, Fe-Fe konstantan termoelementi ile ölçülmüş, istenilen su buharı pikrometre yardımı ile sürekli sabit tutulabilmektedir. Isıtma işlemi, dolaylı olarak elektrik ısıtıcı ile üç aşamada yapılmaktadır.

**Tablo 3.** Su buharı basıncı-sıcaklık ilişkisi

Su buharı basıncı (bar)	Sıcaklık (°C)
1	100,0
2	120,1
5	152,4
10	180,5
20	213,1
30	234,6
40	251,1
50	264,7
60	276,5

## ***Haliç Çamurlarının İnşaat Malzemesi...***

### **2.1.5. Termik Aglomerasyon Fırını**

Haliç çamurlarından hazırlanan biriketlerin termik olarak aglomerasyonunda, W.Heraeus Hanau YP 170FNr:68000632 marka (220V, 50Hz Nenntemp, 14A) elektrikli direnç fırını kullanılmıştır. Bu fırın 3kW gücünde olup 1150°C'ye kadar çıkabilmekte ve istenilen sıcaklıkta sabit tutulabilmektedir.

### **2.1.6. Universal Test Cihazı**

Haliç çamurlarından hazırlanan biriketlerin sıkıştırılarak şekillendirilmesinde ve aglomera edilmiş biriketlerin basınç mukavemetlerinin ölçülmesinde Losen Hausen firmasının UHP/ZHP-10 modeli universal test cihazı kullanılmıştır. Biriketlerin hazırlanmasında uygulanan yük hızı ortalama 300 kp/saniye olarak seçilmiştir.

### **2.1.7. Biriket Kalıbı**

Haliç çamurlarından biriket hazırlamada, st 60 kalite çelik malzemeden yapılmış kalıp kullanılmıştır. Kalıp, destek tablası, presleme silindiri, presleme pistonu ve destek tableti olmak üzere beş parçadan meydana gelmiştir. Presleme pistonunun yüzeyi, gerek sıkıştırılan ve gerekse hidrotermal sinterleşme reaksiyonlarından sonra basınç mukavemetleri,  $\text{kp/cm}^2$  olarak ölçülmüştür.

### **2.1.8. Malzeme Karıştırıcısı (Mixer)**

Kurutulmuş haliç çamurlarından kireç ve kuvarz tozu katılımı ile değişik oranlarda karışımların hazırlanmasında TQ P/O No:F13320 / N 23804, REF: H50 marka karıştırıcı (mixer) kullanılmıştır.

## **2.2. Malzemeler**

Karışım oranları Tablo 4'de verilen biriket numunelerinin hazırlanmasında, özellikleri Tablo 1 ve Tablo 2'de verilen Haliç çamuru, özellikleri aşağıda verilen toz kireç ve kuvarz kumu kullanılmıştır.

### **2.2.1. Toz Kirecin Özellikleri**

Hidrotermal reaksiyonlar için çamur + kireç karışımlarının hazırlanması sırasında sönmüş teknik toz kireç kullanılmıştır. Bu kirecin bileşiminde %3.5 asitte (HCl) çözünmeyen madde bulunduğu ve aktif  $\text{Ca(OH)}_2$  oranının %78 olduğu belirtilmektedir.

### **2.2.2. Kuvarz ( $\alpha\text{-SiO}_2$ ) Kum**

Haliç çamurları ile karışımların hazırlanmasında toz kireçle birlikte değişik oranlarda kuvarz pudra da kullanılmıştır. Kuvarz pudra, hidrotermal reaksiyonlar sırasında kireç ile kalsiyum silikat jeli oluşturarak malzemenin dayanımını artırıp artırmayacağını araştırmak amacıyla kullanılmıştır. Karışımlarda kullanılan kuvarz pudra %99.2 saflıkta olup 0.150 mm-0.106 mm arasında ortalama tane boyutuna sahiptir.

### 2.3. Numunelerin Hazırlanması

Deneylerde numuneler on farklı karışım oranına göre hazırlanmıştır. Karışımlarda, Haliç çamurunun kurutulmuş örnekleri esas alınmıştır. Bu örneklerin bazıları doğrudan Haliç çamuru kullanılarak, bazıları ise doğrudan Haliç çamuruna söndürülmüş kireç tozu, bazılarına ise söndürülmüş kireç tozu ve kuvarz pudra karıştırılarak hazırlanmış ve bu karışımlar ağırlıkça %3 su ilavesiyle nemlendirilmiştir. Karışımların ağırlıkça oranları Tablo 4'de verilmiştir.

**Tablo 4.** Aglomerasyon reaksiyonlarında kullanılan ham biriketlerin bileşimleri (ağırlıkça, %)

Numune No.	Haliç Çamuru (%)	Kireç [Ca(OH) <sub>2</sub> ] (%)	Kuvarz Pudra (α-SiO <sub>2</sub> ) (%)
1	100	-	-
2	95	5	-
3	90	10	-
4	85	15	-
5	90	5	5
6	85	5	10
7	80	5	15
8	80	10	10
9	75	15	10
10	70	15	15

### 2.4. Biriketlerin Şekillendirilmesi

Tablo 4'de bileşimleri verilen karışımlar, universal test cihazında sıkıştırılarak silindirler halinde şekillendirilmiştir. Hazırlanan silindirlerin taban alanları basınç dayanımları ölçümünde kolaylık sağlaması için 10 cm<sup>2</sup> olarak seçilmiştir. Biriketleme sırasında 200 kgf/cm<sup>2</sup>'lik sıkıştırma basıncı kullanılarak 10 adet karışım için üçer biriket hazırlanmıştır. 3 cm yüksekliğine sahip biriketler, kalıp içinde sıkıştırma sonrası bekletilmeden çıkarılarak pişirme işlemine geçilmiştir.

### 2.5. Karışımların Biriketlenmesi ve Aglomerasyonu

Tablo 4'de verilen karışımdan 1 numara ile kodlanan ve sadece Haliç çamuru ile hazırlanan numuneler termik aglomerasyona, diğerleri ise hidrotermal aglomerasyona tabi tutulmuştur. Sadece Haliç çamuru ile yapılan hidrotermal aglomerasyonda malzeme dağılma göstermiştir.

#### 2.5.1. Termik Aglomerasyon Çalışmaları

Tablo 4'de 1 numara ile gösterilen doğrudan Haliç çamuru ile hazırlanmış örnekler, 105°C'de 2 saat süreyle etüvde kurutulmuş ve daha sonra fırında 1000°C sıcaklıkta, 4 saat süreyle pişirilmiştir. Elde edilen biriketlerin basınç dayanımları Tablo 5'de verilmiştir.

#### 2.5.2. Hidrotermal Aglomerasyon Çalışmaları

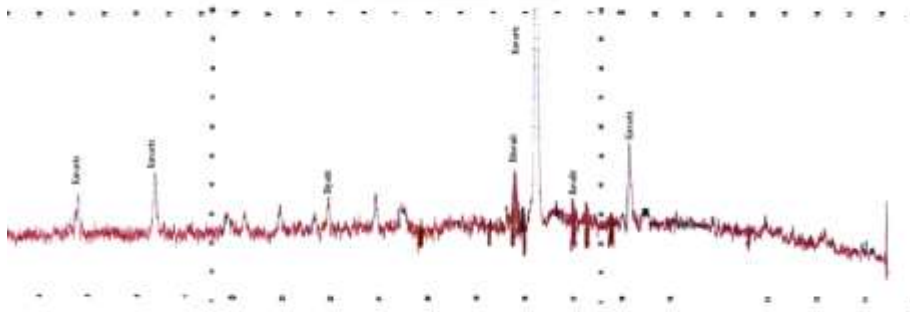
Tablo 4'de gösterilen karışımlardan 200 kgf/cm<sup>2</sup>'lik sıkıştırma basıncı uygulanarak her grup için üçer biriket hazırlanmıştır. Bu biriketler 4 saatlik sabit bir aglomerasyon süresi kullanılarak 5, 10 ve 15 atm su buharı basıncı altında otoklavda aglomera edilmiştir. Otoklavda çıkarılan biriketler 105°C'de 2 saat kurutulduktan sonra basınç dayanımları ölçülmüştür. Gruplarına bağlı olarak biriketlerin aglomerasyon basıncı ve basınç dayanım değerleri Tablo 5'de verilmektedir. Tablo 5'de verilen değerler Şekil 2'de toplu olarak grafik halinde verilmiştir. Biriketlerin

## Haliç Çamurlarının İnşaat Malzemesi...

aglomerasyonu sırasında kullanılan ve suyun buhar basınçlarına karşılık gelen sıcaklık değerleri Tablo 3’de verilmiştir [7].

### 3. SONUÇLARIN TARTIŞILMASI

Haliç çamuru son derece karmaşık mineralojik yapının yanı sıra muhtemelen organik bazı maddelerin de etkisiyle çok belirgin pikler vermemektedir. X-Ray analizi sonucunda Haliç çamurunun yaklaşık olarak %60 kuartz, %20 bitovnit, %5 bavalit (klorit), %10 ellit ve montmorillonit karışımı ve %5 biyotitten oluştuğu ve bunların dışında yapısında kalsit ve aragonit gibi bazı minerallerin de oluştuğu X-Ray analizleri sonucu bulunmuştur.



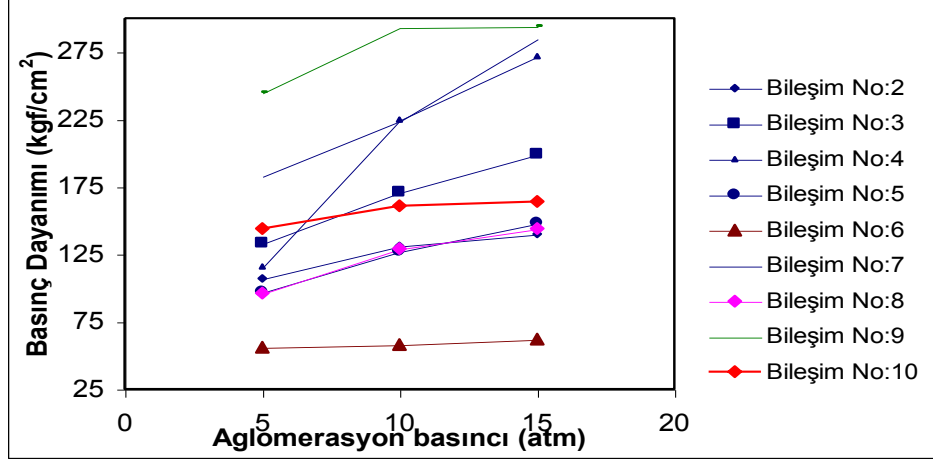
Şekil 1. Kurutulmuş Haliç çamurunun X-ışınları difraksiyonu

Termik aglomerasyon çalışmalarında doğrudan Haliç çamuru kullanılmış ve bunlar şekillendirildikten sonra termik biriket üretimi proseslerinde olduğu gibi bu biriketler ilk önce etüvde 105°C’de 2 saat süreyle kurutulmuştur. Daha sonra elektrik fırından alınan biriketlerin 4 saat süreyle 1000°C’de pişirilmiştir ve bu biriketlerin basınç dayanımları ölçülmüştür. Ortalama basınç dayanımı 198 kgf/cm<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. Haliç çamurundan elde edilen basınç dayanımı, inşaat biriketleri bakımından oldukça iyi bir değerdir. Ancak daha önce bahsedildiği gibi Haliç çamurlarında organik madde miktarı yüksektir. Bu bakımdan elde edilen bazı biriketlerin ortasında muhtemelen organik maddenin bozunma ürünlerinin çıkışının meydana getirdiği zorlamalar nedeniyle biriketlerde zaman zaman çatlama meydana gelmiştir. Oysaki hidrotermal reaksiyonlarla üretilen biriketlerde aglomerasyon sonunda bir çatlama olmadığı görülmüştür. Şekil 2’de görüldüğü gibi 2,3 ve 4 numaralı karışımlardan elde edilen biriketlerin basınç dayanımları, bu sıraya bağlı olarak Ca(OH)<sub>2</sub> miktarı %5,%10 ve %15 olarak yükselmektedir. Doğrudan Haliç çamurunu bir miktar Ca(OH)<sub>2</sub> ile karıştırıp hidrotermal yöntemle aglomera edilerek, yeterli dayanıma sahip biriketler üretilebileceği görülmektedir. Fakat bu çamura katılacak Ca(OH)<sub>2</sub> oranının %15’e çıkarılması ile iyi kalite bir betonun ezilme dayanımına yakın dayanımlara sahip biriketler üretmek mümkün olacaktır (200kgf/cm<sup>2</sup> üzerinde). Şekil 2’de de görüldüğü gibi biriketlerdeki Ca(OH)<sub>2</sub> oranını düşük tutarak SiO<sub>2</sub> arttırmak 6 numaralı karışımda olduğu gibi iyi sonuç vermemektedir. Karışımlarda Ca(OH)<sub>2</sub> oranı ile birlikte SiO<sub>2</sub> oranının artırılması olumlu sonuçlar vermektedir. En yüksek basınç dayanımı değerlerine, %70H.Ç+%15 Ca(OH)<sub>2</sub> +%15 SiO<sub>2</sub> katılarak hazırlanan biriketlerde ulaşılmıştır.

**Tablo 5.** Hidrotermal aglomerasyonlu birikelerin aglomerasyon basıncına bağlı olarak basınç dayanımları

Karışım Numarası	Aglomerasyon Basıncı (atm)	Basınç Dayanımı (kgf/cm <sup>2</sup> )			
		1. numune	2.numune	3.numune	ortalama
2	5	108	107	105	107
	10	113	137	144	131
	15	140	141	146	140
3	5	123	107	110	133
	10	160	175	178	171
	15	194	200	203	199
4	5	120	113	116	116
	10	218	216	240	225
	15	265	290	260	272
5	5	96	101	96	97
	10	129	124	128	127
	15	160	150	141	148
6	5	60	50	58	56
	10	57	58	58	58
	15	62	60	64	62
7	5	177	189	184	183
	10	238	217	217	224
	15	298	282	276	285
8	5	96	101	91	96
	10	122	138	128	129
	15	140	144	148	144
9	5	240	252	242	245
	10	309	296	275	293
	15	315	277	290	294
10	5	150	133	150	144
	10	164	170	161	161
	15	166	160	166	164

## Haliç Çamurlarının İnşaat Malzemesi...



Şekil 2. 200 kgf/cm<sup>2</sup> basınç altında sıkıştırılmış biriketlerin sabit sürede (4saat) aglomerasyon basıncına bağlı olarak basınç dayanımlarının değişimi

#### 4. DEĞERLENDİRME

- Haliç çamuru, mekanik özellikleri bakımından incelendiğinde biriket üretiminde kullanılabilir bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak, mekanik özelliklerinin yanında, dış etkenlere karşı dayanım yani durabilite özelliklerinin de incelenmesi gerekir.
- Haliç çamurlarının biriketlenerek inşaat malzemesi olarak kullanılması, çevreyi koruma ve inşaat sektörüne ucuz malzeme kazandırma açısından önemlidir.
- Bu atığın endüstriye geri kazandırılması için öncelikli olarak düzenli depolanması gerekmektedir.
- Depolama alanına olan gereksinimin yanı sıra 200°C'yi aşmayan buhar basıncıyla yapılan hidrotermal üretim, 1000°C'de yapılan termik üretime göre çok daha ekonomik görülmektedir.
- 1000°C'de yapılan üretimde, 900°C üzerinde oluşan organik yapı ve karbonat parçalanmaları çatlamalara neden olduğundan hidrotermal yöntemle üretim avantajlı görülmektedir.
- Haliç çamurlarından inşaat biriketleri üretilmesi durumunda, çamur içerisinde bulunan kilin (montmorillonit) ağır metal iyonlarını bağlama özelliğine sahip olması, ağır metal iyonlarının da yayılması önleyecektir.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesine olanak sağlayan Prof.Dr.İlker Kayadeniz'i saygıyla anarız.



**KAYNAKLAR**

- [1] Göksel A., “Die Verwertung des Schlammes vom Goldenen Horn zur Herstellung von Ziegeln durch hydrothermale Reaction, Chemier-Ztg.,Chem.Aparatur,89.Nr12., Jahrang 1965.
- [2] Sirman N., Eriş N., Ünlü H., Gergin M.,İstanbul Sanayi Odası Çevre Çalışmaları, 1994.
- [3] Niggli P., Morey G.W., Morey Zeithschrift für Anorganische und Allgemeine Chemie 83,1913, 391-416.
- [4] Lea F.M., The Chemistry of Cement and Concrete, London,1956, p.342.
- [5] Göksel A., Untersuchung der Hydrothermalen Reaction Rev,Fac.Sci.Uni.Istanbul Scr.23,Fasc.1, 1968.
- [6] Perry R.H.,Chilton C.H., Chemical Engineer’s Handbook Fifth Editin McGraw-Hill Book Comp., New York,1976.
- [7] Kayadeniz İ., X-Ray Powder Diffraction Analiz Methodu ve Cihazı, İst.Üni.Yayınları, 1974, 18-22.