

Kömüre Dayalı Termik Santral Uçucu Küllerinden Otoklav Yöntemi ile Hafif Tuğla Üretimi

T. Çiçek & M. Tannverdi

Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak. Maden Müh. Bölümü Bornova, izmir

ÖZET: Ülkemizde her yıl yaklaşık 10 milyon ton uçucu kül, kömüre dayalı termik santrallerde elektrik enerjisi üretiminde atık olarak ortaya çıkmaktadır. Büyük miktardaki bu uçucu küllerin çok az bir kısmı çimento ve beton üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada termik santraller için büyük bir sorun teşkil eden uçucu küllerin hafif ve ısı yalıtımı yüksek tuğla olarak değerlendirilebilirle imkanları araştırılmıştır. Uçucu kül, kum ve sönmüş kireç karışımlarının yüksek basınçta buhar ile kürlenmesi yöntemi kullanılarak çeşitli deney şartlarında tuğla örnekleri elde edilmiş ve bu örnekler testlere tabi tutulmuştur. Çalışmada, termik santral uçucu küllerinden inşaat sektöründe kullanılabilen nitelikte tuğlalar üretilebileceği konusunda ümit verici sonuçlar elde edilmiştir.

ABSTRACT: Yearly about 10 million tonnes of fly ash is produced as waste in coal fired thermal power plants in Turkey. Only a small amount of these are utilized as raw material in the production of cement and concrete. In this study, the utilization of the fly ash in the production of light weight bricks is investigated. Fly ash, sand and hydrated lime mixtures were steam autoclaved under different test conditions for production of brick samples. The results of this study suggest that it is possible to produce light weight bricks from fly ash.

1. GİRİŞ

Uçucu kül mikronize kömür ile çalışan termik santrallerde ortaya çıkan ve ülkemizde genellikle termik santral yakınlarındaki büyük alanlara atık olarak yığılan bir malzemedir. Ülkemizde özellikle linyit kömürü ile çalışan santrallerden uçucu küller 10 milyon tona varan miktarlarda atık olarak ortaya çıkmaktadır. Bu açıdan bakıldığında uçucu küller çevresel bir sorun olarak görülmektedirler. Bu küllerin çeşitli özellikleri araştırmacılar tarafından incelenmiş ve çoğunun endüstride ve inşaat sektöründe kullanılabilir kalitede oldukları tespit edilmiştir (Bayat, 1998). Ülkemizde ve dünyada uçucu küllerin değerlendirilmesi amacıyla çeşitli araştırmalar yapılmış ve bu araştırmalar süregelmektedir. Araştırmalar neticesinde uçucu küller için özelliklerine bağlı olarak çimento, seramik, boya, plastik, tarım, çevre ve inşaat sektörlerinde bir çok uygulama alanları bulunmuştur (Baykal ve Döven 2000, Tütünlü ve Atalay, 2001, Iyer ve scot 2001, Pimraska ve ark.

2001, Pron ve ark. 2002, Toktay ve Çetin 1991). Ülkemizde uçucu kül daha ziyade uçucu küllü çimento ve beton üretiminde kullanılmaktadır. Ancak kullanılan miktarlar bu sektörlerin isteği standartlara uygun kalitedeki uçucu külün teminindeki zorluklardan ötürü diğer ülkelere kıyasla çok azdır. Ülkemizde uçucu kül kullanımının sadece bu sektörlerle sınırlı kalmasının diğer başlıca sebebi uçucu küllerin diğer sektörlerde kullanımına yönelik Ar-Ge çalışmalarının yetersizliğidir.

Kum/kireç tuğlaları (sand/lime bricks) gibi yapı malzemesi üretiminde malzemenin sertleştirilmesi $CaO-SiO_2-H_2O$ (C-S-H) oluşumuna dayanır (Ball ve Carroll 1999, Baoju ve ark. 2001, Peng ve ark. 1999) Kalsiyum silikat hidrat (C-S-H), $Ca(OH)_2$ ile SiO_2 in 125-200 °C sıcaklıklarda ve yüksek buhar basıncında bünyesine su alarak tepkimeye girmesi ile oluşur. Bu reaksiyonda öncelikle kireççe zengin bir Tobermorit jeli oluşur. Bu fazın tahmini içeriği

C7S4H₂, olup, ilerleyen reaksiyon ile daha fazla SiO₂ in bünyeye alınması ile kireç oranı daha düşük bir kalsiyum silikat hidrat olan C₂S₃H₂ fazı ve sonunda C₂S₃H₂ oluşur (Al-Wakeel ve ark., 1999). Yüksek oranda SiO₂ içeren uçucu küllerin kireçle ile karıştırılıp buharla kürlenme ile yapı malzemesi üretiminde kullanılması fikrinin dayanağı genelinde kalsiyum silikat hidrat oluşumudur. Klimesch ve Ray (Klimesch ve Ray, 1998) tarafından yapılan bir araştırmada Al₂O₃ in varlığında CaO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O (C-A-S-H) fazının da oluştuğu gözlenmiştir. Bu sebepten uçucu küllerde bulunan Al₂O₃ in de kireç bazlı, buharla kürlenmiş malzeme üretiminde kalsiyum alümin silikat hidrat oluşumuna katkısı olabileceği tespit edilmiştir.

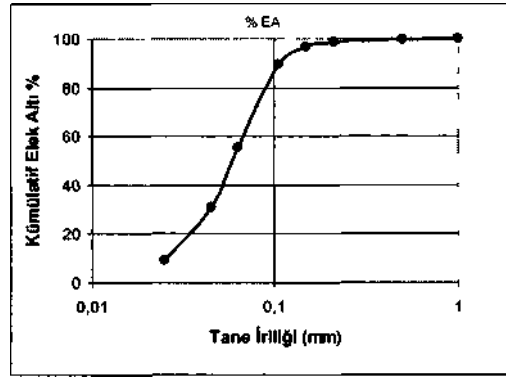
2. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada Seyitömer Termik Santraline ait uçucu külün, kum ve kireç ile değişik oranlarda karıştırılarak yüksek basınç altında buharla kürlenerek tuğla yapımında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Seyitömer Termik Santralinden alınan uçucu külün kimyasal özellikleri Çizelge 1 de ve tane boyut dağılımı Şekil 1 de verilmiştir. Çalışmalarda % 99 SiO₂ içeren kuvars kumu, % 75-80 SiO₂ içeren yıkanmış doğal kum ve % 95 Ca(OH)₂ içeren sönmüş toz kireç kullanılmıştır.

Çizelge 1. Seyitömer uçucu küllerinin kimyasal kompozisyonu.

Kömür Tipi	Linyit
Yığın Yoğunluğu (g/cm ³)	0,90
SiO ₂ (%)	57,21
Al ₂ O ₃ (%)	20,39
Fe ₂ O ₃ (%)	10,89
CaO (%)	2,75
MgO (%)	4,96
K ₂ O (%)	1,36
Na ₂ O (%)	0,40
TiO ₂ (%)	0,81
Kızdırma Kaybı (%)	0,94
Cd (ppm)*	-
Pb (ppm)*	79.0
Zn (ppm)*	112.6
Cu (ppm)*	98.8
Cr (ppm)*	454.5
Ni (ppm)*	1975.9
Mn (ppm)*	790.4

•(Bayat. 1998)



Şekil 1. Seyitömer uçucu külü tane boyu dağılımı

Çalışmaların ilk bölümünde kum katkısı olarak 200 mikron altına öğütülmüş % 99 SiO₂ içeren kuvars kumu kullanılmıştır. Bu aşamada optimum uçucukül/kum/kireç karışım oranı, presleme basıncı, buhar basıncı, ve kürlenme süresinin tespiti hedeflenmiştir. Bu amaçla Çizelge 2 de verilen hammadde karışım oranlarında ve deney şartlarında her tip tuğla için 10 adet tuğla örnekleri elde edilmiştir.

Hazırlanan yaklaşık 100 g ağırlığındaki uçucukül+kum+kireç karışımları % 14 civarında nem içerecek şekilde su ile karıştırıldıktan sonra 4.5 cm çapında silindirik kalıba dökülerek preslenmiştir. Elde edilen silindirik tuğla örnekleri ELE marka max. 4 MPa basınca sahip otoklavda kürlenmiştir. Otoklavdan alınan tuğlalar bir gün süreyle açık havada bekletildikten sonra örneklerin ELE marka tek eksenli basınç cihazında basınç dayanımları tespit edilmiştir. Tuğlaların basınç dayanımları tesbit edilirken her tuğla tipi için hazırlanan tuğlalardan 5 adedi kınlarak elde edilen dayanım değerlerinin ortalaması alınmıştır. Ayrıca tuğla örneklerinin yoğunluk, su emme ve genleşme/büzülme oranları gibi özellikleri de tespit edilmiştir.

Çizelge 2 Test Parametreleri

Tuğla Kodu	Kuars Kumuru (%)	Uçucu Kül (%)	Kireç (%)	Nem (%)	Presleme Basıncı (kgf/cm ²)	Otoklav Basıncı (MPa)	Otoklav Sure (saat)	Numune sayısı
T 1	0	90	10	14	<5		9	10
T 2	10	80	10	14	<5		9	10
T 3	20	70	10	14	<5		9	10
T 4	30	60	10	14	<5		9	10
T 5	40	50	10	14	<5		9	10
T 6	20	72	8	14	<5		9	10
T 7	20	70	10	14	<5		9	10
T 8	20	68	12	14	<5		9	10
T 9	20	66	14	14	<5		9	10
T 10	20	68	12	14	<5		9	10
T 11	20	68	12	14	100		9	10
T 12	20	68	12	14	200		9	10
T 13	20	68	12	14	250		9	10
T 14	20	68	12	14	300		9	10
T 15	20	68	12	14	200	05	9	10
T 16	20	68	12	14	200	1	9	10
T 17	20	68	12	14	200	15	9	10
T 18	20	68	12	14	200	2	9	10
T 19	20	68	12	14	200	15	3	10
T 20	20	68	12	14	200	15	6	10
T 21	20	68	12	14	200	15	9	10
T 22	20	68	12	14	200	15	12	10
T 23	20	68	12	14	200	15	6	10
T 24*	20	68	12	14	200	15	6	20*

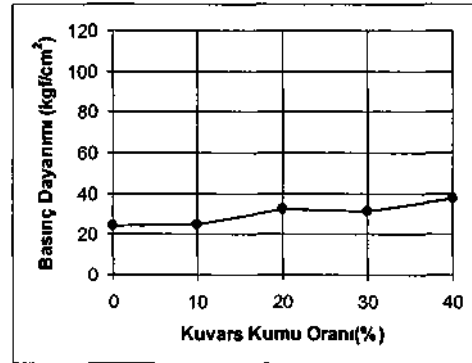
* HerDoğal kum tane fraksiyonu için (-0 1, - 0,2, - 0,5 and - 1 mm) 5 er adet tuğla yapılmıştır

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Kum Katkısının Tuğla Basınç Dayanımı Üzerine Etkisinin Tespiti

Kum katkı oranının etkisinin araştırılması için Çizelge 2 de T1, T2, T3, T4 ve T5 olarak kodlandırılan tuğla örnekleri hazırlanmıştır. Bu örneklerin basınç dayanımı test sonuçları Şekil 2 de verilmiştir. Kum katkı oranı arttıkça tuğlaların dayanımı da artmıştır. T5 kodlu tuğla örneklerinde (% 40 Kuvars kumu + % 50 Uçucu kül + % 10 kireç) basınç dayanımı 37,4 kgf/cm² olarak en yüksek değerine ulaşmıştır. Ancak T3 kodlu tuğla örneklerinde (% 20 Kuvars kumu + % 70 Uçucu kül + % 10 kireç) bu değer % 86'sı (32,1 kgf/cm²) elde edildiğinden ve çalışmanın amacının mümkün olduğu kadar yüksek oranda uçucu külü

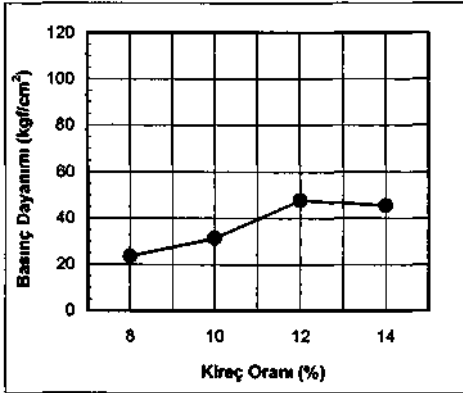
değerlendirmek olduğundan % 20 kum katkısı optimum olarak alınmıştır.



Şekil 2 Kuvars kumu oranının basınç dayanımına etkisi

3.2 Kireç Oranının Tespiti Amacıyla Yapılan Basınç Dayanımı Testleri

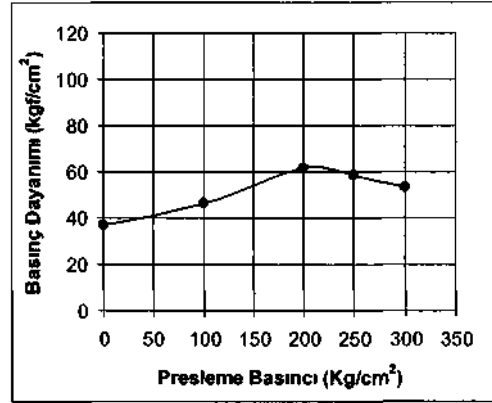
Optimum % 20 kuvars kumu katkı oranında, kireç miktarının tuğlanın dayanımına etkisini görmek ve en uygun kireç oranını belirlemek için hazırlanan T6, T7, T8 ve T9 kodlu tuğla örneklerinin basınç dayanım test sonuçları Şekil 3 de verilmiştir. Bu testlerde en yüksek basınç mukavemeti % 12 kireç katkısında $47,5 \text{ kgf/cm}^2$ olarak elde edilmiştir. % 12 den fazla kireç katkısının tuğla dayanımına olumlu bir etkisinin olmadığı tespit edildiğinden çalışmanın bundan sonraki aşamasında kireç oranı % 12 olarak uygulanmıştır.



Şekil 3 Kireç oranının basınç dayanımına etkisi

3.3 Presleme Basıncının Etkisi

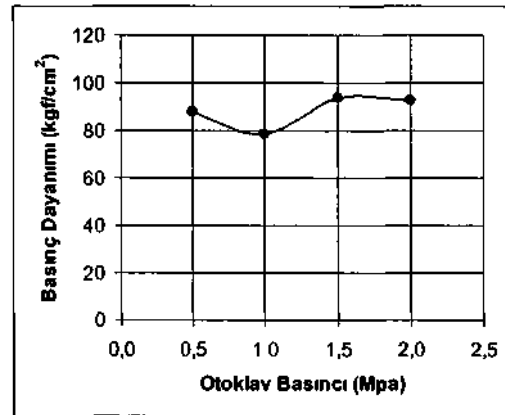
% 68 uçucu kül, % 20 kuvars kumu ve % 12 kireç içeren karışım ile <5, 100, 200, 250 ve 300 kgf/cm^2 basınç altında preslenerek elde edilen tuğla örneklerinin (T10 - T14 kodlu tuğla örnekleri) basınç dayanımları Şekil 4 de verilmiştir. 200 kgf/cm^2 presleme basıncında en yüksek basınç dayanımına ($61,7 \text{ kgf/cm}^2$) ulaşılmıştır. 200 kgf/cm^2 den sonra basınç dayanımında azalma meydana gelmiştir. Bunun nedeni 200 kgf/cm^2 üzerindeki presleme basıncında örnekte meydana gelen yapısal deformasyona bağlanabilir.



Şekil 4 Presleme basıncının tuğla basınç dayanımına etkisi

3.4 Otoklav Basıncının Etkisi

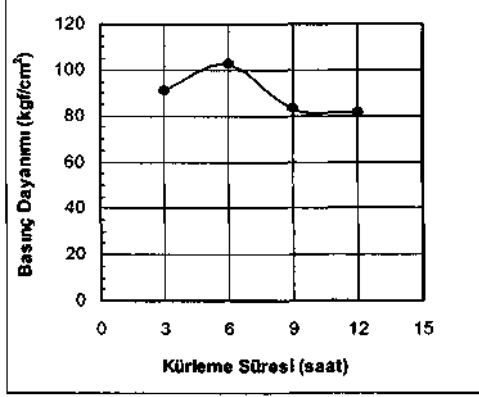
Otoklav basıncının etkisinin araştırılması için Çizelge 2 de T15 - T18 olarak kodlandırılan tuğla örnekleri hazırlanmıştır. Bu örneklerin basınç dayanım test sonuçları Şekil 5 de verilmiştir. Bu deney sırasında 1,5 MPa buhar basıncından daha yüksek basıncın tuğlanın basınç dayanımını olumlu yönde etkilemediği tespit edilmiştir. Her ne kadar daha düşük basınçlarda da sağlam tuğlalar elde edilsede en uygun otoklav buhar basıncının 1,5 MPa olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 5 Otoklav basıncının basınç dayanımına etkisi

3 5 K rleme S resinin Etkisi

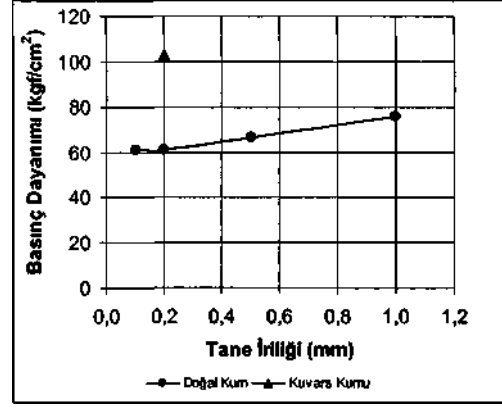
K rleme süresinin basınc dayanımına etkisi incelendiğinde (T19- T20 kodlu tuğla örnekle) 6 saatlik k rleme s residen sonra basınc dayanımında yaklaşık % 20 oranında azalma olduğu görülmüştür (Şekil 6). Bu sebepten 6 saatlik k rleme süresinin daha uygun olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 6. K rleme süresinin basınc dayanımına etkisi.

3 6 Doğal Kum Katkısının ve Kum Tane Boyutunun Tuğla Basınc Dayanımına Etkisi

Doğada bol miktarda bulunan ve  g t lm Ő kuvars kumundan daha ekonomik olan dere kumunun kum katkılı ucu cu k ll  tuğla yapımında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla farklı tane boyutlarında (-1, -0.5, -0.2, - 0.1 mm) sınıflandırılmıŐ doğal kum ile belirlenen optimum deney koŐullarında tuğla örnekle elde edilmiştir. Bu tuğlalara ait basınc dayanımı test sonuçları Şekil 7 de verilmiştir



Şekil 7. Doğal kum ile yapılan tuğlalarda kum tane iriliğinin basınc dayanımına etkisi

Şekil 7 de Doğal kum ile yapılan tuğlalann - 0.2 mm kuvars kumu ile yapılanlara oranla daha az dayanım gösterdiği görülmektedir. Doğal kum ile yapılan tuğlalann dayanımlarının d Őuk olması bu kumun içerdiği SiO2 oranının daha az olmasına bağlanabilir.

3 7 Su Emme Testleri

Su emme testlerinin sonuçları izelge 3'de verildiği gibidir. Buradan da g r ld ği üzere aynı deney Şartlarında hazırlanan tuğlalann su emme değerleri genel tuğla standartlarına göre oldukça yüksektir. Bu nedenle bu tuğlalann yapı sektöründe kullanılması uygun görülmemektedir. Su emme oranlarının daha d Őuk seviyelere çekilebilmesi için tuğlaya hidrofobik özellik kazandırabilecek malzemelerin de katkı olarak kullanılması gereği ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 3. Su emme deney sonuçları

	% su emme oranı
-0.2 mm kuvars kumu	40.5
-0.1 mm(doğal kum)	34.7
-0.2 mm(doğal kum)	34.5
-0.5 mm(doğal kum)	34.1
-1 mm (doğal kum)	32.8

3.8 ısı iletim katsayısının tespiti

Optimum şartlarda hazırlanmış uçucu küllü tuğlaların ısı iletim katsayıları SHOWA DENKO marka Shotherm QTM tipi cihazı ile Hot-wire yöntemiyle tespit edilmiştir. Kuvars kumu katkılı uçucu küllü tuğlanın ısı iletim katsayısı 0,34 W/m.°K ve doğal kum katkılı tuğlanın ise 0,36 W/m.°K olarak tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Seyitömer uçucu külleriyle yapılan deneysel çalışmalar sonucunda optimum deney koşulları elde edilen tuğla özellikleri (T 23 ve T24 kodlu tuğlalar) Çizelge 4 te verilmiştir.

Çizelge 4. Deney sonuçları

	Kuvars -kumu - 0.2 mm	Doğal kum - 1 mm
Kum (%)	20	
Uçucu Kül (%)	68	
Kireç (%)	12	
Nem (%)	14	
Presleme Basıncı (kgf/cm ²)	200	
Otoklav Basıncı (MPa)	1.5	
Kürleme Süresi (saat)	6	
Yoğunluk (g/cm ³)	1.14	1.27
Basınç Dayanımı (kgf/cm ²)	102.5	78.0
Isı Yalıtımı W/m ² .°K	0,34	0,36
Su emme oranı (%)	40.5	32.8

Bu çalışmada şu önemli sonuçlara varılmıştır:

- Seyitömer uçucu küllerinin buharda küreme yöntemi ile tuğla üretiminde kullanılabilmesi tespit edilmiştir.
- Yüksek oranda SiO₂ içeren kum katkısının tuğla dayanımına olumlu bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. En uygun kuvars kumu veya doğal kum katkı oranının % 20 civarında olduğu belirlenmiştir.
- Optimum sönmüş kireç katkı oranı % 12 olarak tespit edilmiştir
- Presleme basıncının tuğla basınç dayanımına olan etkisinin büyük olduğu ancak 200 kgf/cm² den daha yüksek

basınçların tuğlanın dayanımı olumsuz yönde etkilediği görülmüştür.

- Optimum otoklav buhar basıncı ve küreme süresi 1.5 Mpa ve 6 saat olarak tespit edilmiştir.
- Kuvars kumu katkısı ile yapılan uçucu küllü tuğlaların basınç dayanımları 100 kgf/cm² civarında iken doğal kum katkısı ile yapılan tuğlalarda basınç dayanımları 80 kgf/cm² olarak daha düşüktür.
- Kuvars kumu katkılı uçucu küllü tuğlaların yoğunlukları 1.15 g/cm³, doğal kum katkılı tuğlaların yoğunlukları ise 1.27 g/cm³ civarındadır. Buradan görüldüğü üzere bu tuğlalar geleneksel tuğlalardan (yoğunluk 1.5-1.8 g/cm³) daha hafiftirler.
- Uçucu küllü tuğlaların ısı iletim katsayısı 0.34 W/m.°K olduğu tespit edilmiştir. Bu tuğlaların TS 704 ve TS 705 standartlarında tanımlanan tuğlalara (1800 kg/m³ pişmiş tuğlada: 0.7 W/m.°K)göre ısı yalıtımının çok daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- Bu çalışmada elde edilen uçucu küllü tuğlaların su emme oranları % 30-40 arasındadır.
- Yapılan hesaplarda uçucu küllü ve kum katkılı tuğlaların üretiminde kullanılan ısı enerjisi sarfiyatı 100 kcal/kg dan daha azdır. Bu değer geleneksel tuğla üretiminde kullanılan ısı enerjisinin yaklaşık 5 ila 8 de biri kadardır.

Sonuç olarak bu çalışmada geliştirilen tuğla tipinin ekonomiye katmadığı getirecek bir ürün olarak inşaat sektöründe kullanılabilmesi görülmektedir. Bu tip tuğlaların üretimi ile termik santral uçucu küllerinin çevresel olumsuzluklarını en aza indirmenin de yolu açılmış olacaktır. Ayrıca geleneksel tuğla üretiminde kullanılan kilin elde edildiği kil ocaklarının ve pişirmede ortaya çıkan atık gazların çevreye verdiği rahatsızlıkta da azalma olacaktır. Bu tuğlaların hafif ve ısı yalıtımı yüksek olmaları sebebiyle inşaat ve bina iklimlendirme maliyetlerinde azalma kaydedilecektir.

Daha hafif, ısı yalıtımı daha yüksek ve su emme oranı daha düşük tuğla elde etmek için çalışmalar devam etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada desteklerinden dolayı Öztüre Holding A.Ş ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Al-Wakeel, E.I., El-Korashy, S.A., Uossef, H.N., 1999. *Promotion effect of C-S-H phase nuclei on budding cadmm silicate hydrate phase*, Cement & Concrete Research, V.21, p. 173-180
- Ball, M. C., Carroll, R. A., 1999. *Studies of hydrothermal reactions of UK pulverized ashes. Part 1 • reactions between pulverized fuel ash and calcium hydroxide*, Advances in Cement Research, V.11, No. 2, p. 53-61
- Bayat, O., 1998. *Characterisation of Turkish fly ashes*, Elsevier Science Ltd Fuel, V. 77, N. 9-10, p. 1059-1066
- Baykal, G., Döven, A.G., 2000. *Utihation of fly ash by pelletization process; theory, application areas and research results*, Elsevier Science Ltd. Resources Conservation & Recycling, V.30, p. 59-77
- Baoju, L., Youjun, X., Shiqiong, Z., Jian, L., 2001. *Some factors affecting early compressive strength of steam-curing concrete with ultrafine fly ash*, Elsevier Science Ltd Cement and Concrete Research V. 31, p. 1455-1458
- Iyer, R.S., Scott, J.A., 2001. *Power station fly ash - a review of value-added utilization outside of the construction industry Resources*, Elsevier Science Ltd Conservation and Recycling V.31, p. 217-228
- Klimesch, D.S., Ray, A., 1998. *Effect of quartz particle size on hydrogarnet formation during autoclaving at 180 °C in the CaO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O system*, Cement and Concrete Research, V. 28, N. 9 P. 1309-1316
- Peng, G., Feng, N., Chan, S.Y.N, 1999. *Formation and Strehgth of crystalline calcium silicate hydrate prepared by single autoclaving process*, Advances in Structural Engineering, V.2, No. 3, p. 191-197
- Poon, CS., Kou, S.C, Lam, L., 2002. *Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks*, Elsevier Science Ltd Construction and Building Materials V.16, Issue 5, p. 281-289
- Pimraksa, K., Wilhelm, M., Kochberger, M., Wruess, W., 2001. *A New Approach to the Production of Bricks Made of 100% Fly Ash*, International Ash Utilization Symposium, <http://www.flyash.info/agenda.html>
- Tütünlü, F., Atalay, Ü., 2001. *Utilization of Fly Ash in Manufacturing of Building Bricks*, International Ash Utilization Symposium, <http://www.flyash.info/agenda.html>
- Toktay, M., Çetin, B., 1991. *Preslenmiş, buhar kürü uygulanmış uçucu kül-kireç tuğlalarının dayanım ve su emme özellikleri*, Teknik dergi, TMMOB. İnşaat Mühendisleri Odası, C. 1, s. 385-394