

SEYİTÖMER UÇUCU KÜLÜNÜN YAPI TUĞLASI ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ÖN ARAŞTIRMASI

İsmail Demir¹, M. Serhat Başpınar², Gökhan Görhan¹, Erhan Kahraman¹

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Afyonkarahisar/Türkiye

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Afyonkarahisar/Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada Seyitömer Uçucu Külü'nün (UK) yapı tuğlası üretimine uygunluğu araştırılmıştır. Bu amaçla mineralojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Çalışmada ince (A) ve kaba (B) olarak kodlanan küllerin $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ değer toplamı sırasıyla %78,85 ve %79,18 olarak belirlenmiştir. Buna göre her ikisi de ASTM C-618'e göre F tipi UK sınıfına girdiği belirlenmiştir. Tuğla kilinde SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 değerleri sırası ile %52,33, %20,27 ve %7,27 olarak belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan UK ve tuğla kilinin mineralojik yapıları XRD tekniği ile incelenmiştir. Numunelerin temel olarak kuvars, anhidrit, hematit, magnetit, anortit ve tridimit fazlarından oluştuğu gözlenmiştir. Tuğla kilinin mineralojik yapısının ise başlıca kuvarstan oluştuğu ve montmorillonit, klinoklar ve illit gibi kil mineralleri ile birlikte muskovit minerali içerdiği gözlenmiştir. Her iki numunenin ve tuğla kilinin tane boyutu dağılımı Lazer tane boyutu analiz cihazı ile belirlenmiştir. Buna göre tuğla kilinde $\text{Kd}_{50}=7\ \mu\text{m}$, (A) numunesi $\text{Ad}_{50}=28\ \mu\text{m}$ ve (B) numunesi $\text{Bd}_{50}=60\ \mu\text{m}$ olarak belirlenmiştir. UK örneklerin morfolojik özellikleri SEM tekniği ile incelenmiştir. Buna göre küresel şekilli tanecikler olmakla birlikte daha çok düzensiz şekilli taneciklerden oluşmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Uçucu Kül, Kil, Tuğla, Fiziksel ve Kimyasal Özellikler.

PRELIMINARY INVESTIGATION OF SEYITOMER FLY ASH FOR USE IN BUILDING BRICK MANUFACTURING

ABSTRACT

In this study, the utilization of Seyitömer Fly Ash in brick manufacturing was studied. For these purpose mineralogical, physical and chemical properties of the fly ash was determined by instrumental methods. The total $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ amount of the two type of fly ashes which were coded as fine (A) and course (B) were measured as %78,85 and %79,18 respectively. According to the results, both fly ashes are suitable for the F type fly ash classification as stated in ASTM C-618. SiO_2 , Al_2O_3 and Fe_2O_3 amount of the clay were detected as %52,33, %20,27 and %7,27 respectively.

Mineralogical structure of the flay ash and clay were investigated. It was observed that, fly ash contains mainly quartz, anhydrite, hematite, magnetite, anorthite and tridimite. Clay is containing quartz as a major phase and other phases like montmorillonite, clinochlore and illite. Particle size distribution of the fly ash and clay were measured by laser particle size analyzer. Mean particle size of the fine fly ash was found to be as $28\ \mu\text{m}$, $60\ \mu\text{m}$ for course fly ash and $7\ \mu\text{m}$ for clay. Morphological structure of the fly ashes was investigated by SEM techniques. It was observed that, in addition to the rounded shapes particles, fly ash contains irregularly shaped particulates.

Keywords: Fly Ash, Clay, Brick, Physical and Chemical Properties.

1. GİRİŞ

Uçucu kül, kömürle çalışan termik santrallerinde ortaya çıkan bir atık üründür. Termik santrallerde çok ince öğütülerek yakılan kömürden aşağıda belirtilen üç farklı külün elde edilmesi mümkündür: 1) Göreceli olarak iri taneli olup baca gazları ile taşınamayan ve kazan tabanına düşen “taban külü”, 2) Siklon tipi ocaklarda yakılan kömürün suda soğutularak uzaklaştırılması ile elde edilen “ham kül” ve 3) Çok ince taneli olup baca gazları ile taşınan uçucu kül (UK) [1].

Tane şekli ve büyüklük dağılımında, kömürün orijini ve üniform olması, kömürün pulverizasyon durumu, yanma koşulları (sıcaklık ve oksijen seviyesi), yanmanın üniformluğu ve toz toplama sistemi tipi gibi prosese bağlı faktörler etkili olmaktadır [2]. Kullanılan kömürün kalitesi, mineralojisi, kömürün pulverizasyon sistemi ve ortamı, soğutma sistemi ve etkinliği, toz toplama sisteminin çalışma verimi UK’ün kimyasını ve mineralojisini, puzolanik davranışını etkilemektedir [3]. UK’lerin sınıflandırılmasında, kimyasal bileşen yüzdesine göre esas alınarak ASTM C 618 ve TS EN 197-1 standartları baz alınmaktadır [4-6]. ASTM C618 standardına göre UK’ler F ve C olarak iki sınıfa ayrılırlar: a) F sınıfına, bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi %70’den fazla olan UK’ler girmektedir. Aynı zamanda bu küllerde CaO yüzdesi %10’un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılırlar. F sınıfı UK’ler, puzolanik özelliğe sahiptirler. B) C sınıfı UK’ler ise, linyit veya yarı bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı %50’den fazla olan küllerdir. Aynı zamanda, C sınıfı UK’lerde $\text{CaO} > \%10$ olduğu için bu küller yüksek kireçli UK olarak da adlandırılırlar. C sınıfı UK’ler, puzolanik özelliğin yanı sıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler.

Genellikle, düşük CaO içeren küller başta camısı faz ve minör olarak da kuvars (SiO_2), mullit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), manyetit (Fe_3O_4), hematit (Fe_2O_3) içermekte; yüksek CaO’li UK’ler kuvars, hematit, anhidrit (CaSO_4), serbest kireç, C_3A ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), CS ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), C_2S ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), gehlenit ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$), mellilit ($\text{Ca}_2(\text{MgAl})(\text{AlSi})_2\text{O}_7$), merwinit ($\text{Ca}_3(\text{Mg})(\text{SiO}_4)_2$), gibi mineraller ve camısı faz içermektedir. Bu bileşenlerin yanı sıra yüksek kireçli küllerde kalsit, portlandit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), trisülfo alüminat ($4\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) ve mullit’de bulunabilmektedir. Her iki külden de, alkali feldspatlara rastlanmaktadır [7, 8]. UK’lerin yapısının büyük bir bölümü (%60-%90’ı) amorf durumdadır. Geri kalan bölümünde; mullit, kuvars, magnetit, hematit gibi kristaller yer alabilmektedir [10,11]. Küresel olmayan tanecikler, kömürden gelen ve yanma reaksiyonlarına katılmamış mineraller (kuvars, feldspatlar gibi), düzensiz şekilli ve gözenekli yapılardan (kil kalıntıları, yanmamış karbon gibi) oluşmaktadır [12]. Uçucu külün tuğla hammaddesi olarak kullanımı ile ilgili farklı araştırmacıların yaptıkları çok sayıda deneysel çalışma bulunmaktadır [13–22].

Bu çalışmada Seyitömer (Kütahya) UK’ünün fiziksel, kimyasal, mineralojik ve morfolojik özellikleri incelenerek yapı tuğlası üretiminde ana hammadde olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada kullanılan ve iki farklı kodla belirtilen UK (Seyitömer - Kütahya) ve tuğla kili numunelerinin kimyasal analizleri ACME (Kanada) laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan UK ve tuğla kilinin kimyasal bileşimleri.

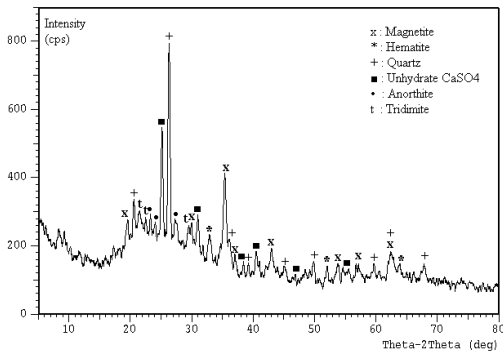
Oksit (%)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	LOI	TOTAL
UK (A)	51,02	16,61	11,04	5,48	7,45	0,56	1,98	0,80	4,20	99,14
UK (B)	52,25	14,79	12,14	5,77	6,94	0,54	1,22	0,75	4,70	99,10
Tuğla kili	52,33	20,27	7,27	2,18	3,30	0,89	3,77	0,97	8,70	99,68

(A) ve (B) küllerinin $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ toplamı sırasıyla %78,85 ve %79,18 olduğu ve ASTM C-618’e göre F tipi UK sınıfına girdiği belirlenmiştir. Maksimum kızdırma kaybı F sınıfı küller için %6 seviyesinde olup bu değer her iki UK’de de %6’dan küçüktür. Çalışmada kullanılan UK’ün pişme

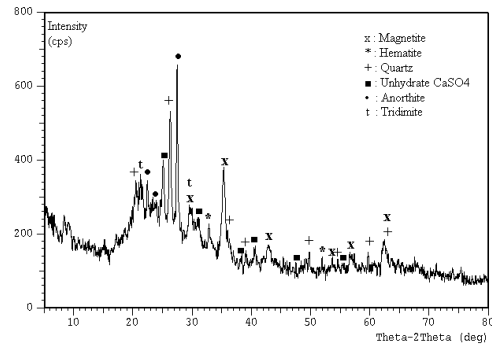
davranışı hakkında kimyasal özellikler bakımından çeşitli yargılara varmak mümkündür. Gerek (A) ve gerekse (B) numunesi UK analizindeki Fe_2O_3 miktarı oldukça yüksek düzeyde olup tuğla kiline göre daha fazla demir oksit içeriğine sahiptir (Çizelge 1). Buna göre UK' den yapılan test numunelerin pişirim sonrası renkleri kırmızımsı tuğla rengini almada sorun oluşturmaması beklenir.

Pişmiş toprak ürünlerde mukavemet gelişimi genel olarak karmaşık sinterlenme mekanizmaları ile gerçekleşir. Vitrifikasyon yani camsı faz oluşumu geleneksel seramik bünyelerde sıvı faz sinterlemesini destekleyen en önemli mekanizmaların başında yer alır. Pişirim esnasında sıcaklığın etkisiyle özellikle alkali ve toprak alkali oksitler içeren mineraller kolayca eriyerek sıvı faz oluşturur ve şekillenme sonrası gözeneklerin kapanmasıyla yoğunlaşma ve mukavemet gelişimi sağlanır. Çizelge 1'deki küllerin alkali oksit miktarları (K_2O+Na_2O) (A) numunesinde %2,54, (B) numunesinde %1,76 ve tuğla kilinde %4,66 mertebesindedir. Küllerden yapılan ürünlerin pişirimi sırasında sıvı faz sinterlemesini desteklemesi açısından alkali oksit miktarları tuğla kiline göre dezavantajlı olarak görülse de, küller içerisindeki önemli ölçüde toprak alkali oksitlerin varlığı sıvı faz oluşumunun destekleneceği görüşünü kuvvetlendirmektedir.

Çalışmada kullanılan UK' lerin X-ışınları difraktogramları Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir. Kül numunelerinin temel olarak kuvars, anhidrit, hematit, magnetit, anortit ve tridimit mineral fazlarından oluştuğu gözlenmiştir. Her iki kül numunesin X-ışınları difraktogramında özellikle $2\theta = 20^\circ$ ve 30° arasındaki tepe, küllerin kristallik derecesinin düşük olduğunu, kristal olmayan amorf yapıların varlığını işaret etmektedir.



Şekil 1. UK (A) numunesinin X-ışınları difraktogramı.

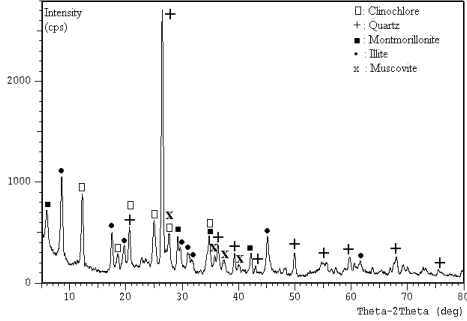


Şekil 2. UK (B) numunesinin X-ışınları difraktogramı.

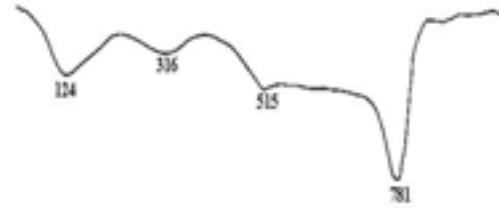
Şekil 1 ve Şekil 2'de verilen UK' lerin mineralojik yapıları karşılaştırıldığında mineral tipi açısından temel olarak büyük bir farklılık gözlenmemektedir. Fakat difraktogram üzerinden piklerin şiddetleri karşılaştırıldığında farklı küllerin mineral içeriklerinin pik şiddetleri arasında önemli farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Örneğin (A) numunesinde kuvars miktarının (B) numunesine göre daha yüksek olduğu pik şiddetlerinden anlaşılabilir. Bununla birlikte en önemli farklılıklar anortit ve anhidrit fazları arasındadır. (A) numunesinde daha fazla anhidrit fazı varken, (B) numunesinde ise daha fazla anortit fazı olduğu görülmektedir. Kuvars fazının varlığının yanında her iki kül numunesinde de kuvarsin termal dönüşümü ile oluşmuş tridimit fazlarının varlığı da tespit edilmiştir. Küllerin mineralojik özellikleri incelendiğinde demir oksit içeriklerinin başlıca magnetit ($FeO.Fe_2O_3$) ve hematit (Fe_2O_3) halinde buldukları tespit edilmiştir. Her iki kül numunesinde de plastik özelliğe sahip ve şekillendirmeyi kolaylaştıracak kil minerali türlerine rastlanmamıştır.

Tuğla kili esas olarak plastik olmayan UK' ün kalıplanmasını kolaylaştırmak ve pişirme sıcaklığını düşürmesi amacı ile kullanılmaktadır. Tuğla kilinin mineralojik yapısının başlıca kuvarstan oluştuğu ve montmorillonit, klinoklar ve illit gibi kil mineralleri ile birlikte muskovit minerali içerdiği gözlenmiştir (Şekil 3).

Kil numunede DTA eğrisi üç bölümde incelenebilir. Buna göre: Başlangıçta tabakalar arasındaki serbest suyun kaybindan kaynaklanan ve yaklaşık 124 °C’de endotermik pik gelişmiştir. Yaklaşık 316- 515 °C aralığında kristal su kaybindan kaynaklanan ikinci endotermik pik gelişmiştir. Son endotermik pik 780°C’de gelişmiş ve ergime başlamıştır (Şekil 4).

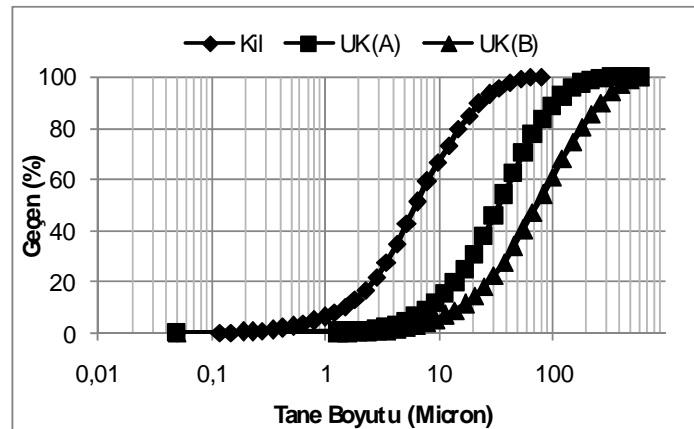


Şekil 3. Tuğla kilinin X-ışınları difraktogramı.



Şekil 4. Çalışmada kullanılan tuğla kilinin DTA eğrisi.

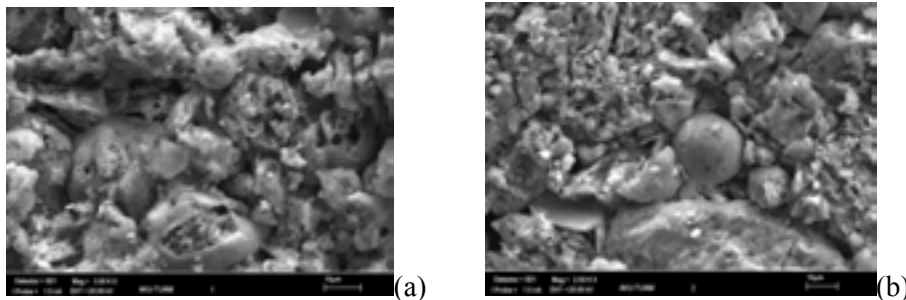
Kil ve UK malzemenin ince tane boyutu analizleri “Master Sizer X Ver. 1.2b” marka, Lazer tane boyutu analiz cihazı ile yapılmış ve Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. Tuğla kili, UK (A) ve UK (B) numunelerinin tane boyutu dağılımı.

Buna göre tuğla kili için $d_{50}=7 \mu\text{m}$ ’ dir. UK (A) numunesinin $d_{50}=28 \mu\text{m}$ ve (B) numunesi için $d_{50}=60 \mu\text{m}$ ’dir. (B) numunesinin daha iri tane yapısına sahip olduğu belirlenmiştir.

UK örneğin mikro yapısına ilişkin SEM görüntüleri Şekil 6.a ve b’ de verilmiştir. Buna göre küresel şekilli tanecikler olmakla birlikte daha çok düzensiz şekilli taneciklerden oluşmaktadır. Görüntülerdeki taneciklerin kısmen hidrate olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6. Uçucu külün morfolojik yapısına ait SEM görüntüleri.

2.1. Deney Örneklerinin Üretilmesi:

Hammadde karakterizasyon çalışmaları tamamlandıktan sonra ön deneyler için 4 farklı karışım hazırlanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Deney örneklerinin kütlece karışım oranları.

Numune kodu	Uçucu kül (%)	Tuğla Kili (%)
A	70	30
B	80	20
C	90	10
D	100	--

Örneklerin şekillendirilmesinde “blok üretim makinesi” kullanılmış olup a) (10x10x10) cm boyutunda dolu gövdeli küp numuneler, b) (19x10x8,5) cm boyutlu dolu gövdeli prizma numuneler olmak üzere iki farklı boyutta üretilmiştir. Örnekler üç farklı sıcaklıkta (1000, 1050 ve 1100 °C) pişirilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Farklı sıcaklıklarda pişirilen örneklerin bazı fiziksel özellikleri çizelge 3’te verilmiştir.

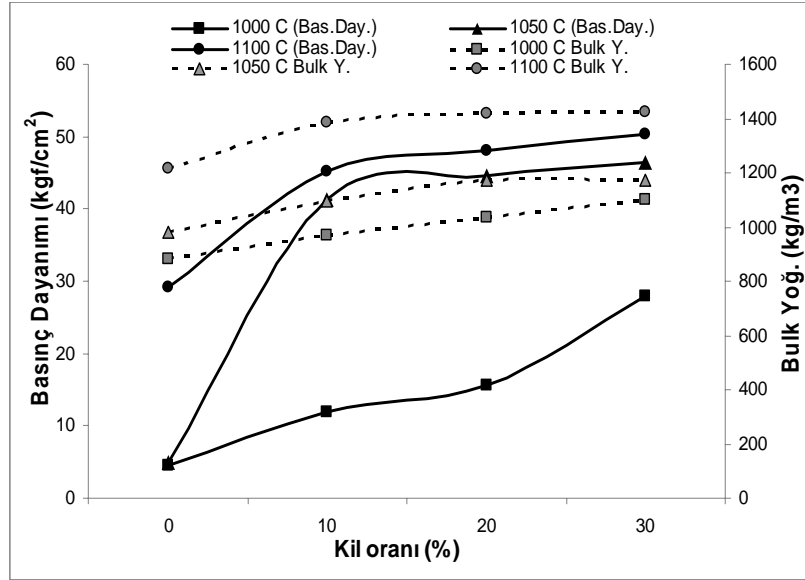
Çizelge 3. Farklı sıcaklıklarda pişirilen örneklerin bazı fiziksel özellikleri.

Karışım Oranları	Sıcaklık (°C)	Porozite (%)	Su emme (%)	Bulk yoğ. (kg/m ³)	Ateş zayılatı (%)
% 100 UK	1000	51,21	58,63	879,5	7,04
	1050	47,43	48,43	981,2	7,06
	1100	34,07	28,49	1219,1	7,76
% 90 UK + % 10 Kil	1000	46,09	47,59	967,9	7,82
	1050	40,89	37,67	1093,5	7,45
	1100	19,39	14,19	1387,6	8,19
% 80 UK + % 20 Kil	1000	46,46	44,86	1036,6	8,12
	1050	36,75	31,74	1171,2	8,31
	1100	13,27	9,50	1419,7	8,84
% 70 UK + % 30 Kil	1000	43,54	39,55	1101,5	10,07
	1050	36,28	29,89	1171,2	10,46
	1100	16,15	11,46	1426,5	11,78

Aynı karışım serileri için pişirme sıcaklığının artması ile birlikte su emme değerlerinde azalma gerçekleşmiştir. Su emme değerlerini etkileyen diğer etken ise karışıma giren tuğla kilidir. Karışımındaki kil miktarı arttıkça su emme değerlerinde azalma gerçekleşmiştir. Tuğla kilinin sinterlemeye olumlu katkı yaptığı belirlenmiştir. Bulk yoğunluk değerleri en küçük 1000 °C de ve %100 uçucu küllü seride elde edilmiştir. Buna karşılık en büyük değer 1100 °C de ve %30 kil katkılı seride gerçekleşmiştir (Çizelge 3). Karışıma giren tuğla kili miktarı arttıkça bulk yoğunluk değerlerinde artış gerçekleşmiştir. Tuğla kilinin pişmiş ürün bünyesinde sinterlemeyi artırarak daha çok camsı faz üretilmesini sağlayıp daha yoğun bünye oluşumunu katkı sağlamıştır. Aynı biçimde pişirme sıcaklığında meydana gelen artış pişmiş bünyede daha yoğun bir yapının oluşmasını sağlamıştır. Karışıma giren uçucu kül oranı arttıkça ateş zayılatı değerlerinde azalma gerçekleşmiştir. Uçucu külün mineralojik yapısında pişirim esnasında ağırlık kaybına yol açacak bileşenlerin kil malzemeye göre daha düşük olması böyle bir davranışın temel nedeni olduğu düşünülmektedir. Buna karşılık kil miktarındaki artış ateş zayılatı değerlerini arttırmıştır. Buna kil bünyede bulunan karbonatların sinterleme sırasında kalsinasyonu, organiklerin yanması ve kristal suyun bünyeden ayrılmasının yol açtığı bilinmektedir.

3.1. Örneklerin Basınç Dayanımı Değerleri

Basınç mukavemet değerlerini etkileyen iki faktör belirlenmiş olup bunlar pişirme sıcaklığı ve karışımda bulunan tuğla kili miktarıdır. Örneklerin özellikle 1000 °C 'deki basınç dayanımı değerleri oldukça düşük çıkmıştır (Şekil 7). Pişirme sıcaklığının 1050 ve 1100 °C'ye çıkması ile basınç mukavemeti değerlerinde kısmi artışlar sağlanmıştır.



Şekil 7. Örneklerin basınç dayanımı ve birim ağırlık değerleri.

Bu çalışmada uçucu külün ve tuğla kilinin karakterizasyon çalışması yapılarak yapı tuğlası üretiminde kullanılabilirliğine ilişkin deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan ön deneylerden uçucu küle belli oranlarda tuğla kili ilave edilerek yapı tuğlası üretiminde kullanılabileceği anlaşılmıştır. Pişmiş örnekler üzerinde SEM tekniği ile mikroyapı incelemeleri ve XRD tekniği ile gelişen faz yapılarının incelenmesi uygun olacaktır. Ayrıca örneklerin ısı yalıtım değerlerine ilişkin çalışmaların yapılması da gereklidir.

4. TEŞEKKÜR

Yazarlar desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederler (TUBİTAK Proje no. 106M002).

5. KAYNAKLAR

1. Tütünlü, F. ve Atalay, Ü., (2001) *Utilization of Fly Ash in Manufacturing of Building Bricks*, International Ash Utilization Symposium.
2. ACI Committee 226, 1987, *Use of Fly Ash in Concrete*, ACI Materials Journal, C.84, No. 5, s. 381-409.
3. Ikeda, K. and Tomisaka, T. (1990) *Physical Properties of FGL*, Proceedings of Silicer Vol. 90, Nürnberg, pp. 84-91.
4. ASTM C618: *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use a Mineral Admixture in Concrete*, Annual Book of ASTM Standards, No.4 1998)
5. TS EN 197-1: Çimento-Bölüm 1: *Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Mart 2002.
6. RILEM Committee 73-SCB: *Final Report on Siliceous by-products for Use in Concrete*, Materials and Structures, C.21, No.121, S. 69-80, 1988.

7. Hubbard F.H. at all., *Pulverized Fly Ash for Concrete: Compositional Characterization of UK PFA*, Cement and Concrete Research, C.15, s. 185-198, No:1, 1985,
8. Enders M., *The CaO Distribution to Mineral Phases in a High Calcium Fly Ash from Eastern Germany*, Cement and Concrete Research, C.26, No.2, s.243-250, 1996].
9. Hewlett P.C: *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*, Fourth Edition, Arnold, 1998.
10. Roy, D. M., Luke, K., Diamond, S., *Characterization of Fly Ash and its Reaction in Concrete-Technical Considerations*, Concrete Ins., ICA, September, pp. 51-59.
11. Lane, R. O., Best, J. F., 1982, "Properties and Use of Fly Ash in Portland Cement Concrete", Concrete Ins.,ACI, July, pp. 81-82.
12. Diamond, S., 1986, "Particle Morphologies in Fly Ash", *Cement and Concrete Research*, C.16, No.4, s. 569-579.
13. Demir, İ., Orhan, M., "Kalorifer Cürufunun Hafif Tuğla Üretiminde Kullanılması" 11. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, 2002.
14. Demir, İ., Orhan, M. ve Akbulut. H., Use of Furnace –Waste Materials In Light Brick Production, Kapadokya, Turkey, 2002.
15. Ersoy B., Başpınar M., S., Demir İ., and Evcin A., *Effect of BaCO₃ Addition on the Sintering Behavior of Different Types of Fly Ash*, SWEMP 2004, p 574-577, Antalya- Turkey
16. Pimraksa K., Wilhelm M., Kochberger, M. and Wruss W., *A new approach to the production of bricks made of 100 % fly ash*, Tile and Brick Int., Vol.16, no.6, pp. 428-432, 2000.
17. R. L. Day, R. C. Joshi, R. J. Slota, and B. W. Langan, " *Engineering and Micro structural Studies of Western Canadian Fly Ash Bricks*. Material Research society Symposia Proceedings (1986) [65] 45-47.
18. H. D. Deford, G. P. Wirtz, *Extrusion of lightweight Construction materials from fly ash*, Ceram. Eng. Sci proc. 14 (1993) [1-2] 298-308.
19. Guler R, Patla P, Hess TR., *Properties of fly ash bricks produced for environmental applications*. Environ Sci Health 1995;30(3): 505–24.
20. Mukherji SK, Machhoya BB. *The utilization of fly ash in the preparation of ceramic tableware and artware*. Br Ceram 1993; 92(6):254–7.
21. Esir Ö., (2005), *Uçucu Külün Tuğla Killerinin Sinterleme Özelliklerine Etkisi*, Tüksek lisans tezi, Afyon Kocatepe üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 2005.
22. Demir İ, Erten Ö., Başpınar M. S. ve Orhan M, *Uçucu külün tuğla killerinin sinterleme özelliklerine etkisi*, Sakarya, s. 1141-1149, 2005.

