



**Makale
(Article)**

Uçucu Kül İçeriğinin Beton Basınç Dayanımı ve Geçirimsizliği Üzerine Etkisinin Araştırılması

Kadir GÜÇLÜER, Osman ÜNAL

kgucluer@hotmail.com, unal@aku.edu.tr,

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı eğitimi Bölümü, 03030 Afyonkarahisar/TÜRKİYE

ÖZET

Uçucu kül (UK), termik enerji santralleri içinde öğütülmüş kömürün yakılmasıyla elde edilen, puzolanik özelliği bulunan atık malzemedir. Bu çalışmada uçucu kül içeren beton karışımlarının basınç dayanımları ve geçirimsizlik özellikleri incelenmiştir. Uçucu kül, beton içerisine ağırlık olarak çimentonun %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirilerek ilave edilmiştir. Üretilen beton numunelerde, su/çimento oranı 0,5 ve çimento dozajı 300 kg/m³ alınmıştır. 7, 28 ve 56 günlük 15 cm standart küp numuneler üzerinde, basınç, ultrases geçiş süresi, 60 günlük numuneler üzerinde permeabilite deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde elde edilen sonuçlar şahit numune ile karşılaştırılarak sonuçların uygunluğu belirlenmiştir. Bulunan sonuçlara göre, uçucu kül miktarının %10-20 oranında ağırlıkça çimentonun yerine kullanılması halinde betonun dayanımının arttığı ve geçirimsizlik miktarının azaldığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uçucu kül, beton, dayanım, permeabilite.

Investigation of Effect of Fly Ash Content on the Concrete Compressive Strength and Permeability

ABSTRACT

Fly ash (FA) is obtained from the burning coal in thermal power plants and it's waste material what has the pozzolan properties. In this study, the compressive strength and the permeability properties of concrete mixtures with fly ash were investigated. Fly ash was added in ratios 10 %, 20 % and 30 % by weight into cement. The water/cement ratio and the dosage of the produced concrete samples are 0.5 and 300 kg/m³, respectively. Since the compressive strength and ultrasound velocity tests were used 15 cm standard cube concrete samples which 7, 28 and 56 days aged. The permeability test was made on the concrete samples which 60 days aged. According to the results of present study, it can be observed that, fly ash addition, which was made up to %20 into cement, was increased the compressive strength of the concrete samples. In addition to this, the permeability values of the same concrete samples were decreased.

Key Words: Fly ash, concrete, compressive strength, permeability.

Bu makaleye atf yapmak için

Güçlüer, K., Ünal, O. "Uçucu Kül İçeriğinin Beton Dayanımı ve Geçirimsizliği Üzerine Etkisi" Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2010, 6(1) 11-18

How to cite this article

Güçlüer, K., Ünal, O. "Investigation of effect of fly ash content on the concrete compressive strength and permeability" Electronic Journal of Construction Technologies, 2010, 6(1) 11-18

1. GİRİŞ

Türkiye’de elektrik enerjisi, kömüre dayalı termik santrallerden ve hidroelektrik santrallerinden elde edilmektedir. Son yıllarda bunlara üçüncü olarak doğalgaz santralleri de katılmıştır. Düşük kalorili linyit kömürlerinin yakıldığı termik santrallerde, elektrik üretimi sırasında toz haldeki kömürün yanması sonucu baca gazları ile sürüklenen ve elektro filtreler yardımı ile tutularak atmosfere çıkışı önlenen mikron boyutunda kül tanecikleri meydana gelmektedir. Endüstriyel bir atık olan bu küllere uçucu kül (UK) denilmektedir [1,4].

Uçucu kül puzolanik özeliği olan ve betonun bir çok özeliğini olumlu etkileyen değerli bir beton katkısıdır. Uçucu kül küresel yapısı nedeniyle betonun işlenebilme özeliğini iyileştirmekte, taze betonda su kusmayı (terleme) azaltmakta, betonun hidrasyon ısısını azaltarak kütle betonu dökümüne imkan tanımakta, puzolanik reaksiyon sayesinde betonun uzun dönemli dayanımına katkıda bulunmakta, betonun geçirirnililiğini azaltmakta ve betonun iç ve dış kaynaklı yıpratıcı etkilere dayanıklılığını arttırmaktadır. Bu yararlı özellikleri uçucu külün beton üretiminde yaygın olarak kullanımına ve araştırmaların bu konu üzerinde yoğunlaşmasına yol açmıştır [2].

UK’lar beton teknolojisinde ya çimento ile birlikte doğrudan betona katılarak, ya da betonda kum yerine kullanılabilirler. Çimento üretimi sırasında klinkere katılıp öğütülerek uçucu küllü çimento olarak da değerlendirilebilirler. Kum yerine kullanıldığında özgül yüzey artarsa da kumdan az da olsa tasarruf sağlanır. UK’ların puzolanik özellikleri de olduğundan bunları çimento yerine kullanmak daha avantajlıdır. UK’lar daha büyük özgül yüzey ve inceliğe sahip olduklarından bağlayıcı hacminin artmasını ve çimentodan ekonomi yapılmasını sağlarlar. Araştırmalar ağırlıkça % 20 oranında UK kullanılmasının beton basınç dayanımı açısından olumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir [3].

UK, hem normal ve hem hafif betonda hem de giderek kullanımı yaygınlaşan hazır beton üretiminde gerek katkı gerekse ikame malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bundan başka UK, ön üretim ve ön gerilmeli beton elemanlarının yapımında da kullanılmaktadır[4].

Uçucu küller betonun taze ve sertleşmiş haldeki bir çok özeliğine ve sertleşmiş betonun durabilitesine etki etmektedir. Uçucu küller, diğer puzolanların aksine genellikle taze betonda su ihtiyacını azaltmakta ve işlenebilmeyi iyileştirmektedir. Ancak kullanılan kül miktarı, külün inceliği ve karbon içeriği bu konuda etkileyici faktör olmaktadır[5].

UK’lar küresel bir yapıya sahip olduklarından su gereksinimini arttırmazlar ve düşük bir su-çimento oranı ile istenilen işlenebilirlik sağlarlar. UK’lar sulu ortamda kireci bağladıkları için betonu dış etkilere daha dayanıklı yapar, su geçirirnililiğini azaltır [3]. UK’lar sulu ortamda kireci bağlayarak ekstra tobermorit jellerinin oluşumunu sağlar. Bu jeller beton porozitesini azaltır, dayanıklılığı artırır.

Yapılan çalışmalarda, UK kullanılan betonların geçirirnililiğinin katkısız betondakinden daha az olduğunu görülmüştür [6]. Bu çalışmada, çimentonun uçucu kül ile değişik oranlarda (% 10, 20, 30) yer değiştirilerek betonun dayanımı ve geçirirnililiği üzerine uçucu kül miktarının etkisi araştırılacaktır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1 Kullanılan Malzemeler

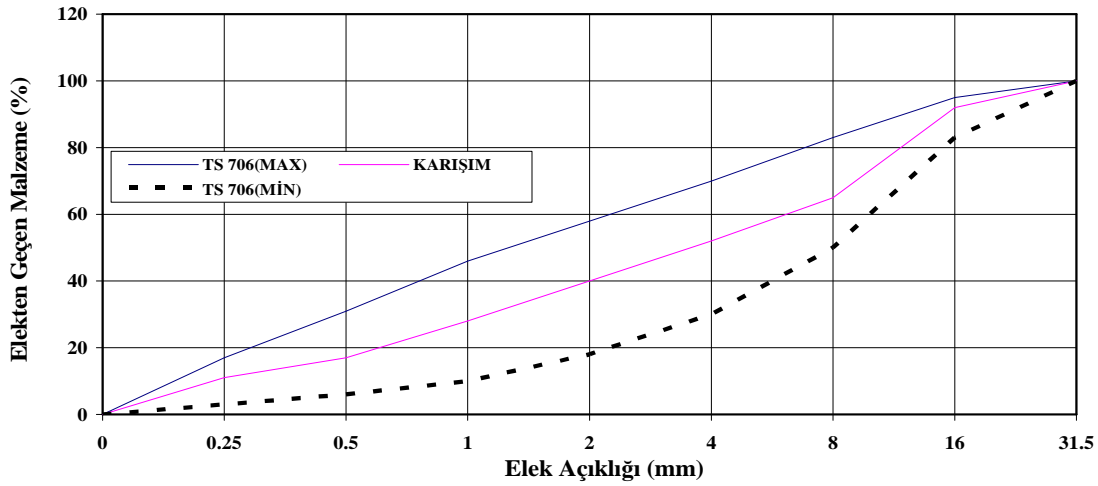
2.1.1. Agregalar

Beton karışımında iri agrega olarak 6-12mm tane dağılımına sahip kırma taş I (KTI) ve 12-22mm tane dağılımına sahip kırma taş II (KTII), ince agrega olarak ise 0-6mm tane dağılımına sahip doğal kum (DK) ve 0-3mm tane dağılımına sahip kırma kum (KK) malzemeleri kullanılmıştır. Beton bileşimine giren

agregaların elek analizleri TS 706 EN 12620'ye göre yapılarak granülometri eğrileri Şekil 1'de ve fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Agregaların granülometri değerleri ve fiziksel özellikleri

Elek Çapı	31.5 (mm)	16 (mm)	8 (mm)	4 (mm)	2 (mm)	1 (mm)	0.5 (mm)	0.25 (mm)	Karışım % oranı	Yoğunluk (kg/dm ³)	Su emme miktarı (%)
Kırma Kum	100	100	100	100	74	48	30	21	20	2.62	2.0
Doğal Kum	100	100	100	98	77	56	35	19	32	2.68	1.03
KTI	100	100	53	2	2	2	2	2	25	2.65	0.65
KTII	100	66	1	1	1	1	1	1	23	2.70	0.52
Karışım	100	92	65	52	40	28	17	11	100		



Şekil 1. Agregaların granülometri eğrisi

2.1.2. Uçucu Kül

Çalışmada üretilen beton numunelerinde Kütahya Tunçbilek termik santraline ait UK kullanılmış olup, kullanılan UK'nın kimyasal özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Tunçbilek UK'sı kimyasal özellikleri

Bileşik adı	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K.K	Rutubet	Cl
%	53.44	21.76	12.52	0.24	2.70	0.48	0.84	0.27	0.008

2.1.3. Çimento

Beton karışımlarında Afyon SET çimento fabrikasının üretimi olan CEM I 42.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun yoğunluğu 3.10 gr/cm³ olup, kimyasal özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. CEM I 42.5 R Portland imentosunun kimyasal özellikleri

Bileşik adı	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K.K
%	20.20	5.80	3.23	64.10	0.44	2.66	2.9

2.2 Beton Karışımı ve Numune Üretimi

UK katkılı betonlarda imento dozajı 300 kg ve su-imento oranı 0.5 alınarak 4 seri karışım üretilmiştir. Bu serilerde karışımlara katılan uçucu kül miktarları imento ağırlığının % 0, % 10, % 20 ve % 30 oranlarında imento miktarları ile yer değiştirilmiştir. Karışımın granülometri eğrisi TS 706 referans eğrileri arasında kalacak şekilde agrega oranları kırma kum % 20, doğal kum % 32, KTI % 25 ve KTII % 23 olarak belirlenmiştir. Üretilen numunelerde UK0 ile referans numuneler, UK10, UK20 ve UK30 ile de UK'lı beton numuneleri gösterilmiştir.

Hazırlanan beton karışımlar masa vibratörü ile 15x15x15 cm'lik küp kalıplara yerleştirilip sıcaklığı 23±2 °C ve % 65 bağlı nemli laboratuvar ortamında 24 saat bekletildikten sonra kalıplarından çıkarılarak normal sıcaklıkta kirece doygun su içerisinde bekletilmişlerdir. 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı deneyleri için her seriden 9 adet 15x15x15 cm lik küp numunesi üretilmiştir. Her seride önce ultrases geçiş hızı, daha sonra basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. 60 günlük numuneler üzerinde geçirirnilik deneyi TS 3455'e göre yapılmıştır.

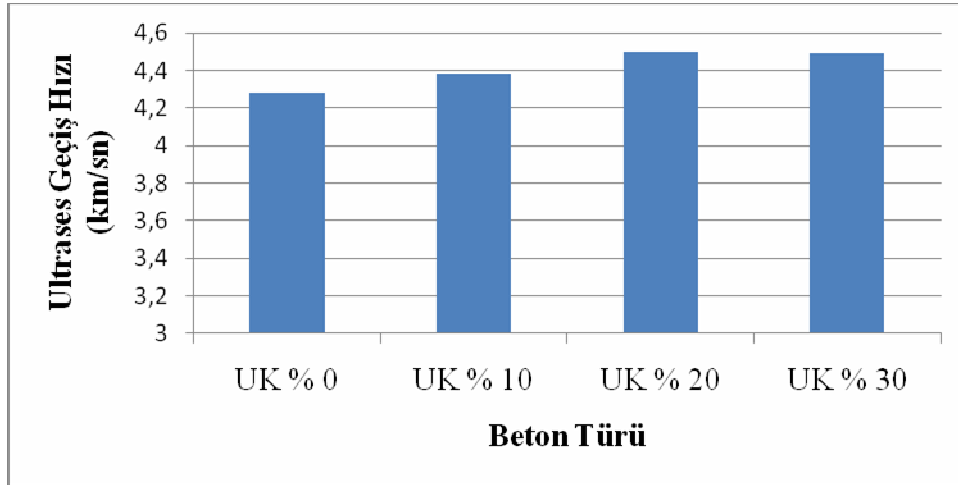
3. DENEY SONUÇLARININ DEğERLENDİRİLMESİ

Yapılan çalışmada, bağlayıcı malzemenin belirli oranları UK ile değiştirilerek üretilen beton numunelerinin dayanım ve geçirirnilik özellikleri araştırılmıştır. Şekil 2'de 7, 28 ve 56 günlük beton numunelerinde yapılan ultrases geçiş hızı deney sonuçları verilmiştir. Uygulamalarda beton kalitesi tahribatsız olarak ultrases hızına bağlı olarak Tablo 4'te verilmiştir. Yapılan çalışmada uçucu kül miktarının beton üretiminde kullanılmasının olumlu sonuçlar verdiği söylenebilir.

Tablo 4. Ultrases hızı deney sonucuna göre beton kalitesinin değerlendirilmesi[6.]

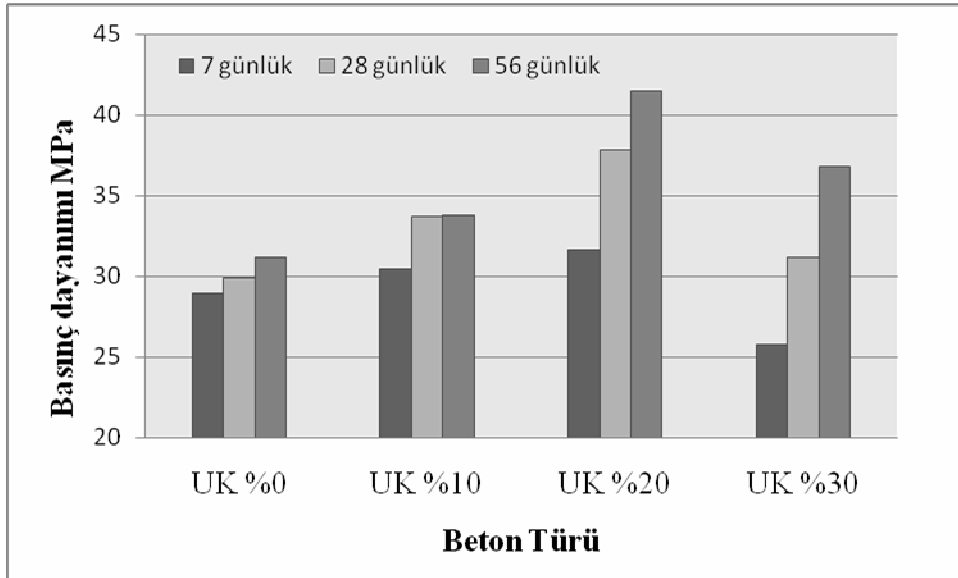
Ses hızı (km/s)	Beton kalitesi
>4.5	Mükemmel
3.5-4.5	İyi
3.0-3.5	Şüpheli
2.0-3.0	Zayıf
<2.0	çok zayıf

Ayrıca Şekil 2. incelendiğinde 23±2 °C su içerisinde saklanmış % 10, % 20 ve % 30 UK'lı betonların referans betonundan yüksek ultrases hızı değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Üretilen betonların kalitesinin iyi olduğu görülmüştür.



Şekil 2. UK miktarının ultrases hızı ile ilişkisi

Şekil 3.'de 7, 28 ve 56 günlük numunelerde uçucu kül miktarının basınç dayanımı ile arasındaki ilişki incelendiğinde, genel olarak beton içerisine katılan uçucu kül basınç dayanımını artırma eğilimindedir. Özellikle %10 ile %20 arasındaki uçucu kül miktarlarında şahit numuneye göre belirgin bir artış eğilimi görülmüştür. Ancak %30 uçucu kül miktarında şahit numuneye göre 28.günden sonra artış olmasına rağmen diğer UK betonlarının değerlerine göre düşüş görülmektedir. %10-20 oranlarda uçucu kül kullanarak üretilen betonda önemli ölçüde ekonomi sağlanması mümkün olabilir.



Şekil 3. Uçucu kül miktarının beton basınç dayanımları ile ilişkisi

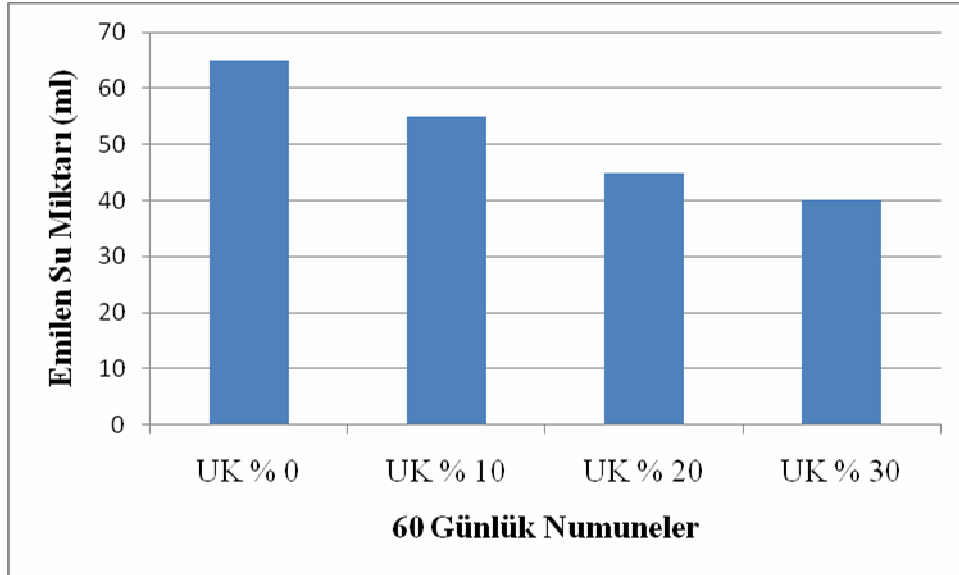
Puzolanik betonun dayanım kazanabilmesi için önce, puzolansız betonun yapımına kıyasla daha az miktarda kullanılmış olan portland çimentosu hidratasyon yapmaya başlamakta, ve daha sonra, ortaya çıkan kalsiyum hidroksit ile puzolanların arasındaki reaksiyonlar yer almaktadır. İlk aşamada, puzolanik betonun içerisindeki portland çimentosunun hidratasyona başlamasıyla bağlayıcılık sağlayan bir miktar C-S-H jeli üretilmekte, ve ikinci aşamada puzolanik reaksiyonların devam etmesiyle yeni C-S-H jelleri ortaya çıkmaktadır. O nedenle, puzolanik betonun ilk günlerde kazanabileceği dayanımın puzolansız betonunkine göre daha azdır. Ancak, puzolanik reaksiyonların oluşması ve yeni C-S-H jellerinin üretilmesiyle, puzolanik betonun nihai dayanımı, puzolansız betonunkinden daha az olmamaktadır [6].

Yapılan çalışmada, geçirimsizlik deneyleri ve geçirgenlik katsayıları hesaplamaları TS 3455'e göre yapılmıştır. Her deney için üretilen 60 günlük beton numunelerden 3'er adet kullanılmış ve bulunan değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

Geçirimsizlik deneyleri sıcaklığı ortalama 25 °C olan laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Deney için TS 3455'e uygun geçirimsizlik aleti ve hava kompresörü kullanılmıştır. Her bir deney numunesi geçirimsizlik aletine yerleştirildikten sonra 72 saat boyunca, her 8 saate bir su seviyesi okunarak deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Geçirimsizlik deney cihazı



Şekil 5. Geçirimsizlik deney sonuçları

Şekil 4'te gösterilen TS 3455'e uygun  hazneli deney cihazında gerçekleştirilen geçirimsizlik deneyleri sonuçlarına göre bulunan değerler Şekil 5'de görülmektedir. Bu sonuçlara göre geçirimsizlik erken yaşlarda daha fazla olmasına rağmen uçucu kül miktarının artmasıyla birlikte azalış göstermektedir. Literatürden de bilindiği gibi betonda kullanılan ince malzeme oranı arttığa beton geirimsizliğinde

azalma gerçekleşmektedir. Bu azalmaya beton bünyesinde bulunan boşlukların miktarı ve yapısının sebep olduğu söylenebilir. İnce malzeme oranı arttıkça beton bünyesinde yer alan boşluk miktarı daha az olmakta ve geçirimsizlik azalmaktadır. TS 3455’de verilen aşağıdaki bağıntıya göre üretilen 60 günlük numunelerin geçirgenlik katsayıları hesaplanarak Tablo 5.’de verilmiştir. Bu değerden yararlanarak değişik günlerdeki geçirgenlik katsayıları belirlenmiştir.

$$K_{60} = \frac{V_s \times L}{t_s \times P \times A} \quad K_{60} = \frac{100 \times K_y}{F_y}$$

K_{60} = 60 günlük betonun geçirgenlik katsayısı (cm/sn)

V_s = t_s saat aralıkla ölçülen toplam su miktarları farkı $V_2 - V_1$ (cm³)

L = Numune yüksekliği (cm)

t_s = V_1 ve V_2 toplam su miktarları ölçümleri esnasında geçen zaman (s)

P = Uygulanan su basıncı (cm su sütunu)

A = Su basıncının uygulandığı deney numunesi yüzeyinin alanı (cm²)

K_y = t günlük betonun geçirimsizlik katsayısı (cm/sn)

F_y = 60 günden farklı yaşlarda yapılan geçirimsizlik deneyi sonuçlarından K_{60} geçirgenlik katsayısını hesaplamak için kullanılan yaşa bağlı çevirme katsayısı

Tablo 5. 60, 90 ve 120 günlük permeabilite katsayıları.

Karışım	60 Günlük	90 Günlük	120 günlük
UK %0	3.20x10 ⁻⁹ cm/sn	2.40x10 ⁻⁹ cm/sn	2.08x10 ⁻⁹ cm/sn
UK %10	2.71x10 ⁻⁹ cm/sn	2.03x10 ⁻⁹ cm/sn	1.76x10 ⁻⁹ cm/sn
UK %20	2.21x10 ⁻⁹ cm/sn	1.65x10 ⁻⁹ cm/sn	1.43x10 ⁻⁹ cm/sn
UK %30	1.97x10 ⁻⁹ cm/sn	1.47x10 ⁻⁹ cm/sn	1.28x10 ⁻⁹ cm/sn

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Beton üretiminde çimento yerine ikame edilen UK miktarı artışına paralel beton dayanımlarında kısmi artışlar elde edilmektedir. Ancak UK oranı %20 den fazla karışımlara katıldığında artırıcı etkinliği azalmaktadır.

Geçirimsizlik betona katılan UK miktarına bağlı olarak zamanla azalma eğilimi göstermiştir. Bu sonuca göre UK’nın inşaat sektöründe baraj,yol, köprü v.b yerlerdeki inşaatlarda su geçirimsizliğinin azaltılmaya çalışıldığı durumlarda çimento ile birlikte kullanılması ile beton özelliklerinin iyileştirildiği görülmüştür.

Tunçbilek UK’sının da diğer UK’lar gibi beton üretiminde % 10-20 oranlarında kullanılmasının basınç dayanımı ve geçirimsizlik üzerine olumlu etkisinin görüleceği dikkate alınarak ekonomik katma değerinin yükselmesi ile ülke ekonomisine yarar sağlanacağı ve atık endüstriyel malzemelerin bu şekilde önemli oranda değerlendirilebileceği düşünülebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Tokyay, M., Erdoğdu, K., ‘‘Türkiye Termik Santrallerinden Elde Edilen Uçucu Küllerin Karakterizasyonu’’, TÇMB, Ankara, 1998.
- [2] Yiğiter H., Aydın S., Yazıcı H., Baradan B., ‘‘C Tipi Uçucu Kül Katkılı Betonların Bazı Fiziksel, Mekanik ve Durabilite Özelliklerinin Araştırılması’’, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [3] Topçu İ. B., Canbaz M., ‘‘Uçucu Kül Kullanımının Betondaki Etkileri’’, Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi, C.XIV, S.2, 2001.
- [4] Aruntaş, H., ‘‘Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli’’, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 21, No 1, 193-203, Ankara 2006.
- [5] Özturan T., ‘‘Beton Üretiminde Uçucu Kül Kullanımının İrdelenmesi’’, Boğaziçi Üniv.
- [6] Erdoğan T.Y., ‘‘Beton’’, METU Press, Mart 2007.
- [7] TS 706 EN 12620 ‘‘Beton Agregaları’’, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2003.
- [8] TS 3455 ‘‘Betonda Geçirgenlik Katsayısı Tayin Metodu’’, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1981.