

Uçucu kül, kireç ve cam tozu kullanarak blok üretimi Production of block by using fly ash, lime and glass powder

Paki TURGUT^{1*} 

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye.
turgutpaki@yahoo.com

Geliş Tarihi/Received: 20.08.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 20.12.2016
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.70048
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Ülkemizde bulunan Kangal Termik Santrali'nde çok miktarda uçucu kül birikmektedir. Bu santralde üretilen uçucu küller depolama alanlarına dökülmekte, ciddi çevre problemleri ve sağlık sorunlarına sebep olmaktadır. Atık cam da bazı problemler doğurmaktadır. Geri dönüşümü olmayan camların çoğu, çevre dostu bir çözüm olmayan depolama alanına gönderilir. Dolayısıyla, atık cam biyolojik olarak ayrışmadığından, yapı sektöründe kullanılmasına kuvvetle ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, uçucu kül, kireç ve cam tozu kullanılarak yapı blokları üretilmiştir. Bloklar 70 °C sıcaklıkta 24, 48, 72 ve 96 sa.'lik sürelerde kür edildi. Blokların basınç ve yarmada çekme dayanımları, su emme, kılcal su emme ve yoğunluk değerleri belirlendi. Kür süresinin yanında, blok içerisindeki kireç ve atık cam tozu gibi ilave malzemelerin miktarlarının da sonuçlar üzerinde direkt etkili olduğu bulundu. Elde edilen sonuçlar, bu atık malzemeler kullanılarak blok üretilebileceğini gösterdi.

Anahtar kelimeler: Uçucu kül, Kireç, Atık cam, Blok üretimi

Abstract

A large amount of fly ash is accumulating in Kangal Thermal Power Plant in our country. Fly ash produced in this plant is abandoned to the landfills and causes certain serious environmental problems and health hazards. Waste glass also constitutes some problems. The most of non-recyclable glass is sent to landfill that is not an environment-friendly solution. Therefore, there is a strong need to be utilized it in building sector because it is not biodegradable. In this study, masonry blocks were produced by using fly ash, lime and waste glass powder. Blocks were cured for periods of 24, 48, 72 and 96 hours at 70 °C. The compressive and flexural strengths, water absorption, sorptivity and density values of blocks were determined. It was found that curing time and amounts of additional materials that were lime and waste glass powder in the block were directly effective on the results. The results obtained showed that block could be produced by using these waste materials.

Keywords: Fly ash, Lime, Waste glass, Block production

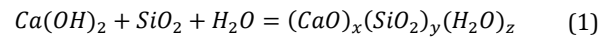
1 Giriş

Ülkemizdeki elektrik enerjisinin bir kısmı kömüre dayalı termik santrallerden elde edilmektedir. Kalorisi düşük linyit kömürlerinin yakıldığı termik santrallerde, baca gazları ile birlikte hareket eden ve elektro filtreler yardımıyla tutulan mikron boyutunda kül tanecikleri oluşmaktadır. Termik santral atığı olan bu kül taneciklerine, uçucu kül ismi verilmektedir. Ülkemizde kömür ile çalışan 39 adet termik santral bulunmaktadır [1].

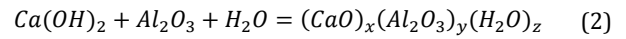
Uçucu küllerin bacalarda tutulması hava kirliliğini kısmen önlemektedir. Bacalarda tutulan küller belirli zaman aralıklarında boşaltılmakta ve betonda mineral katkı olarak kullanılması sakıncalı ise, nemiendirilerek atık depolama alanlarına gönderilmektedir. Bu küllerin atık depolama alanlarına taşınması ve arazide depolanması ilave maliyetleri beraberinde getirmektedir.

ASTM C 618'e göre uçucu küller iki sınıfa ayrılmaktadır. Bunlardan birincisi, bitümlü kömürlerden elde edilen ve SiO₂ (S), Al₂O₃ (A), Fe₂O₃(F) toplamı %70'in üzerinde olan F sınıfı uçucu küldür. Diğeri ise, linyit veya yarı bitümlü kömürlerden elde edilen ve S+A+F değeri %50'nin üzerinde olan C sınıfı uçucu küllerdir. CaO miktarı %10'dan az olan küllere düşük kireçli kül, %10'dan fazla olanlara da yüksek kireçli kül ismi verilmektedir [2]. Kimyasal bileşiminde reaktif silikat, alüminat ve demirin yanında kalsiyum oksit miktarının da fazla olması, C sınıfı uçucu küllere puzolanik özellikle birlikte bağlayıcılık özellikleri de sağlamaktadır [3]. C sınıfı uçucu küllerin su ile reaksiyonu sonucunda, kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jellerinin oluştuğu görülmüştür [3],[5]-[7]. Bağlayıcılık

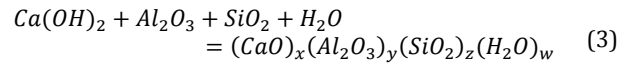
özelliğine sahip uçucu külün reaksiyonu ve oluşan ürünler kapsamlı bir şekilde Pollard ve diğ. [8] tarafından aşağıda verilmiştir.



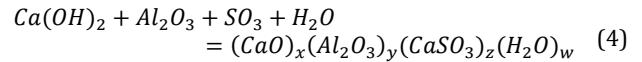
(Kalsiyum-Silikat-Hidrat [C-S-H])



(Kalsiyum-Alüminat-Hidrat [C-A-H])



(Kalsiyum-Alüminat-Silikat-Hidrat [C-A-S-H])



(Kalsiyum-Alüminat-Kalsiyum-Sülfat-Hidrat)

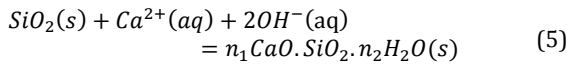
Portland çimentosuz, salt uçucu külden blok ya da briket üretimiyle ilgili sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Berry ve diğ. [3] sadece C sınıfı uçucu kül kullanarak beton üretmiş ve ürettikleri betonun yapısal performansının iyi olduğunu belirtmişlerdir. Turgut [5]-[7], C sınıfı uçucu kül-kalker tozu, uçucu kül-kalker tozu-silis dumanı ve uçucu kül-kalker tozu-cam tozu kullanarak üç farklı yığma yapı bloku üretmiştir. Blokların üretiminde şu yol izlenmiştir; karışımı oluşturan toz malzemeler mikserde önce kuru olarak karıştırılmış, karıştırma devam ederken nemlendirilmiş ve daha sonra çelik

kalıp içerisinde sıkıştırılmıştır. Kalıptan çıkarılan blokların üzerine oda sıcaklığında 48 sa. boyunca günde birkaç defa su püskürtülerek ön küre tabii tutulmuştur. Bu süre sonunda, 7, 28 ve 90 günlük özelliklerinin tespiti için, su dolu kür havuzuna yerleştirilmiştir. Bloklar üzerinde yapılan mekanik ve fiziksel test sonuçlarının ulusal ve uluslararası standartlarda verilen sınır değerlerini sağladığı gözlenmiştir. Tokyay ve Çetin [9], uçucu kül ve kireç karışımından briket üretmişlerdir. Söz konusu çalışmada, uçucu kül ve kireç karışımı nemlendirilmiş, kalıp içerisinde sıkıştırılmış ve üretimden sonra briketlere 6 sa. boyunca buhar kürü uygulanmıştır. Bu sürenin sonunda, briketlerin 28 ve 90 günlük bazı özelliklerini test etmek için deney gününe kadar suda kür işlemi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, uçucu külün duvar blok elemanı üretiminde kullanılabilirliğini göstermiştir. Özetle, mevcut olan blok ya da briket üretimlerinde, rutubetlendirilmiş malzemeyi sıkıştırma tekniği kullanılmış ve malzemeler su içerisinde uzun süreli kür işlemine tabii tutulmuşlardır.

Uçucu küllerin yanında, bir diğer önemli atık malzeme camdır. Atık bir malzeme olan eskimemiş camlar, genellikle pencere camı, kap ve şişe gibi ürünlerden oluşmaktadır. Ülkemizde yıllık olarak 120.000 ton civarında atık cam biriktiği Topçu ve Canbaz [10] tarafından bildirilmiştir. Atık camlardaki renk çeşitliliğinin fazla olmasından dolayı, az bir kısmı geri dönüşümde kullanılmaktadır. Bu camların büyük çoğunluğu ise, doğaya atık olarak terk edilmektedir. Atık cam, toprak içerisinde çözünmeyen bir malzeme olup, doğaya terk edilmesi çevreye zarar vermektedir. Dolayısıyla, atık bir malzeme olan camın uygun alanlarda kullanılması büyük önem taşımaktadır [11].

Atık camların beton agregası olarak kullanılmasına yönelik, son yıllarda birkaç çalışma yapılmış ancak üretilen betonlarda çatlamlar meydana geldiği bildirilmiştir [12]-[14].

Portland çimentosu ile atık cam tozu yer değiştirilerek üretilmiş betonlarla ilgili de sınırlı sayıda araştırma yapılmıştır. Portland çimentosu üretiminde atık camın hammadde olarak kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Buradaki amaç, atık camın içerisindeki silisten yararlanmak olmuştur. Ancak atık cam katkısıyla üretilen çimentoların içerisindeki alkali miktarının arttığı bildirilmiştir. Alkali miktarının artmasının yanında $2CaSO_4 \cdot K_2SO_4$ ürününün oluşması, çimentonun erken priz almasına neden olmuştur. Ayrıca, numunelerin kür sıcaklığının artırılması, cam tozunun puzolanik aktivitesini artırmıştır [15]. Tane boyutu 100 mikronun altında olan cam tozlarının, harç numunelerin basınç dayanımı etkili bir şekilde artırdığı bildirilmiştir [16],[17]. Puzolanik özellik gösteren cam tozunun, Portland çimentosuyla yapmış olduğu kimyasal reaksiyondan oluşan ürün aşağıda verilmiştir [18].



(Kalsiyum-Silikat-Hidrat [C-S-H])

Bu çalışmada, uçucu kül, kireç ve cam tozu kullanılarak bloklar üretilmiştir. Blok üretim metodu literatürde verilenlerden farklı olmuştur. Yani, karışımlarda süper akışkanlaştırıcı kullanılmış ve taze karışımlar kalıp içerisine ya kendiliğinden yerleşmiş ya da masa tipi vibratör kullanılarak yerleştirilmiştir. 70 °C sıcaklıkta kür işlemine tabii tutulmuş ve hızlı bir üretim hedeflenmiştir.

2 Deneysel çalışma

2.1 Malzemeler

Bu çalışmada, ana malzeme olarak Kangal Termik Santral külü kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Söz konusu külün ağırlıkça S+A+F miktarı %44.77 olmuştur. ASTM C 618'e göre [2], S+A+F değeri %50'den büyük ve %70'ten küçük, ağırlıkça SO_3 miktarı da %5'ten küçük olduğundan uçucu kül C sınıfı olarak isimlendirilmiştir. Ancak, bu çalışmada kullanılan külün SO_3 miktarı ağırlıkça %12.06 olmuştur. Kangal Termik Santral külü, C ve F sınıflarına uymamakla birlikte, ağırlıkça S+A+F toplam miktarı olarak C sınıfı uçucu küle yakın olmuştur. Çalışmada hazır torba kireç kullanılmıştır. Atık cam tozu geri dönüşüm firmasından alınmıştır.

Tablo 1: Malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri.

Kompozisyon (%)	Uçucu Kül	Kireç	Cam Tozu
CaO	32.58	70.08	10.14
SiO ₂	26.79	0.87	68.08
Al ₂ O ₃	12.01	0.20	1.25
Fe ₂ O ₃	5.67	0.14	0.15
Na ₂ O	1.56	0.49	13.84
K ₂ O	0.75	-	0.05
MgO	4.34	1.34	5.67
SO ₃	12.06	0.96	0.27
TiO ₂	0.62	-	0.04
Cl ⁻	0.03	0.02	0.03
Serbest CaO	3.46	-	-
Kızdırma kaybı	2.42	25.74	0.42
Yoğunluk	2.35	2.25	2.35
Özgül yüzey (cm ² /g)	2047	5831	2079

2.2 Numunelerin hazırlanması

Bu çalışmada, blokların üretimi için 5 farklı karışım hazırlanmıştır. Karışımlardaki UK, K ve C harfleri sırasıyla uçucu kül, kireç ve cam tozunu göstermiştir. Salt uçucu küllü karışım UK olarak isimlendirilmiştir. UK10K1C4, UK10K2C3, UK10K3C2 ve UK10K4C1 karışımlarının içerisinde, uçucu küle ilaveten değişen miktarlarda kireç ve cam tozu kullanılmıştır. Bu 4 karışımın hepsinde, uçucu kül miktarlarının oranları sabit alınmıştır. Blok numuneleri oluşturan malzemelerin ağırlıkça karışım oranları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Karışım miktarları (kg/m³).

Numune adı	UK	K	C	S	S.A.
UK	1038	-	-	394	16
UK10K1C4	787	79	315	329	18
UK10K2C3	861	172	258	393	19
UK10K3C2	836	251	167	413	19
UK10K4C1	835	334	83	444	19

Karışımların tümünde su/(UK+K) oranı 0.38 alınmıştır. Toplam malzeme ağırlığının (UK+K+C) %1.5'i kadar süper akışkanlaştırıcı (S.A.) kullanılmıştır. Karışımlarda Degussa yapı kimyasalları sanayi A.Ş. firmasının GLENIUM 51, polikarboksilik eter esaslı, yoğunluğu 1.092, pH değeri 7.03 ve katı madde oranı %35.52 olan yüksek oranda su azaltıcı süper akışkanlaştırıcısı kullanılmıştır.

70 °C sıcaklıkta, 24, 48, 72 ve 96 sa. sürelerle etüvde kür edilecek numuneler ayrı ayrı üretilmiştir. Örneğin, ilk önce 24 sa. süre ile kür edilecek numunelere ait taze karışımlar

üretimiştir. Mikser içerisine konulan malzemeler 1 dk. kuru olarak karıştırılmıştır. Bu süre sonunda, su ve süper akışkanlaştırıcı karışıma ilave edilmiş ve ilave olarak 4 dk. daha karıştırılmıştır. UK10K3C2 ve UK10K4C1 karışımları bu süre sonunda akışkan durumda olmasına rağmen, diğer karışımlar nispeten kuru olmuştur. UK10K3C2 ve UK10K4C1 numunelerinin içerisindeki kireç miktarı diğer numunelere kıyasla daha yüksek olmuştur. Kireç ve süper akışkanlaştırıcı arasındaki etkileşimin iyi olması (itme kuvveti), bu iki numunedeki malzemelerin topaklaşmasını önleyerek akışkanlığı artırmış olabilir. Mini çökme-yayılma hunisi yardımıyla ölçülen, UK10K3C2 ve UK10K4C1 karışımlarının yayılma değerleri sırasıyla 37 ve 39 cm olmuştur. Mini çökme-yayılma hunisi kesik koni şekilli olup, iç çapları 10-7 cm ve yüksekliği 6 cm'dir. Akışkan olmayan karışımlar üzerinde, herhangi bir kıvam testi yapılmamıştır. Ancak, UK10K1C4 ve UK10K2C3 karışımları kıyaslandığında, içerisinde kireç miktarı daha fazla olan UK10K2C3 karışımı titreşim esnasında daha kısa sürede akışkan duruma gelmiştir.

Akışkan durumdaki taze karışımlar kalıplara kendiliğinden yerleşmiştir. Ancak diğer taze karışımlar kalıplara doldurulmuş ve masa üstü vibratör kullanılarak sıkıştırılmışlardır. Sıkıştırma işlemi için 1 dk. süreyle titreşim uygulanmıştır.

1 dk.'lık titreşim sonunda kuru karışımların tamamının kalıba yerleştiği ve akışkan duruma geçtiği gözlenmiştir. Kalıp içerisindeki karışımların açık olan yüzey kısmı plastik bir örtüyle kapatılmıştır. Daha sonra, numuneler etüve yerleştirilmiş ve etüvün sıcaklığı 70 °C'ye ayarlanmıştır. 24 sa.'lık kür süresi sonunda, etüv kapatılmış ve numunelerin sıcaklığının kendiliğinden oda sıcaklığına ulaşması sağlanmıştır. 48, 72 ve 96 sa. kür edilecek numuneler için benzer karıştırma işlemleri tekrarlanmıştır.

2.3 Numuneler üzerinde yapılan testler

50 mm küp numuneler üzerinde basınç ve yarmada çekme dayanımı, yoğunluk, su emme ve kılcal su emme testleri yapılmıştır. Toplam numune sayısı 180 adettir. Her bir test için 3 adet numune kullanılmış ve sonuçların ortalaması alınmıştır.

Basınç dayanımı testlerinde 60 adet ve yarmada çekme dayanımı testlerinde de 60 adet olmak üzere, mekanik testlerde toplamda 120 adet numune kullanılmıştır.

Numunelerin basınç dayanımı testinde ASTM C 109 [19], yarmada çekme dayanımında ise, TS EN 12390-6 [20] standartları takip edilmiştir. Oda sıcaklığındaki numuneler kalıptan çıkarılmış ve 2 sa. süreyle rutubetli bir ortamda tekrar bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda, numunelerin yüzeyleri rutubetli bir bezle temizlenmiştir.

Numunelerin basınç ve yarmada çekme dayanımı testleri, 90 ton kapasiteli yük kontrollü preste yapılmıştır. Ortalama yükleme hızı 1800 N/s olmuştur. Presin göstergesi üzerinde numunenin kırılma yükü okunduktan sonra, basınç dayanımı aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır.

$$f_m = \frac{P}{S} \quad (6)$$

Bu bağıntıda, f_m numunenin basınç dayanımıdır (MPa). P numunenin kırılma yükünü (N) ve S numunenin kesit alanını göstermektedir (mm²).

Yarmada çekme dayanımı ise, aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır.

$$f_{ct} = \frac{2F}{\pi l^2} \quad (7)$$

Bu bağıntıda, f_{ct} numunenin yarmada çekme dayanımıdır (MPa). F numunenin yarıma yükünü (N) ve l ise küp numunenin bir kenarının uzunluğunu göstermiştir (mm). Buradaki l uzunluğu, aynı zamanda numunenin yükleme parçasına temas eden kısmının uzunluğu olmuştur.

Yoğunluk, kılcal su emme ve su emme testleri aynı numuneler üzerinde yapılmıştır. Bu testler için toplam 60 adet numune kullanılmıştır. Yoğunluk testlerinden sonra, aynı numuneler üzerinde kılcal su emme testleri yapılmıştır. Kılcal su emme testlerinden sonra, su emme testleri aynı numuneler kullanılarak yapılmıştır.

Numunelerin yoğunluk ve su emme testleri ASTM C 642 [21]'ye göre yapılmıştır. Numuneler 110 °C sıcaklıktaki etüv içerisinde 24 sa. bekletilmiş ve fırın kuru duruma getirilmiştir. Numuneler etüvden çıkarıldıktan sonra, oda sıcaklığına kadar soğumuş ve hassas terazide tartılarak ağırlıkları bulunmuştur. Aşağıda bağıntıda, numunelerin ölçülen ağırlıkları görünen hacmine bölünmüş ve yoğunluk değerleri bulunmuştur.

$$d = \frac{G}{V} \quad (8)$$

Bu bağıntıdaki, d numunenin yoğunluğudur (kg/m³). G numunenin fırın kuru ağırlığı (kg) ve V küp şekilli numunenin hacmidir (m³).

Numunelerin kılcal su emme testleri TS EN 772-11 [22]'e göre yapılmıştır. Fırın kuru durumdaki numunelerin su ile temas eden yüzeyi ve bu yüzeye paralel üst yüzey hariç, diğer tüm yüzeyler deney esnasında suyun buharlaşarak uzaklaşmasını engellemek amacıyla su geçirmez bir bantla kaplanmıştır.

Numuneler saf su içerisine 5 mm batacak şekilde yerleştirilmiş ve 5, 10, 30, 60, 240 ve 1440 dk.'lık sürelerdeki ağırlık artışları ölçülmüştür. Her bir ölçümden önce, numunelerin su ile temas eden yüzeyindeki serbest su nemli bir bezle silinmiştir. Ağırlık artışları 0.01 g hassasiyetli bir tartı ile ölçülmüştür.

Numunelerin başlangıçtaki ağırlıklarına göre, ağırlık farkları hesaplanarak kılcal su emme değerleri bulunmuştur. Kılcal su emme değerleri aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\frac{Q}{A} = k\sqrt{t} \quad (9)$$

Bu bağıntıda, k numunenin kılcal su emme değeridir (cm/s^{0.5}). Numunenin su ile temas eden yüzey alanı A (cm²)'dir. Numunenin su ile temas süresi t (s)'dir. Emilen su miktarı ise, Q (cm³)'dur. En küçük kareler yöntemi kullanılarak, Q/A ve t değerleri arasında lineer ilişki kurulmuş ve kılcallık katsayıları hesaplanmıştır.

Numunelerin su emme değerlerini bulmak için, kılcal su emme testleri tamamlanan numunelerin etrafındaki bantlar sökülmüş, 110 °C sıcaklıktaki etüv içerisinde tekrar 24 sa. bekletilmiş ve kuruduktan sonraki ağırlıkları kaydedilmiştir. Numuneler, sıcaklığı 21 °C olan suyun içerisinde 48 sa. bekletilmiştir.

Bu süre sonunda, su içerisinden çıkarılan numunelerin yüzeyindeki serbest su kuru bez yardımıyla alınmıştır. Aşağıdaki bağıntı kullanılarak, numunelerin ağırlıkça su emme yüzdeleri bulunmuştur.

$$S_a(\%) = \left[\frac{B - G}{G} \right] \times 100 \quad (10)$$

Bu bağıntıdaki, numunenin yüzey kuru suya doymun durumdaki ağırlığı B (kg)' dir. Fırın kuru durumdaki numunenin ağırlığı G (kg)'dir. Numunelerin m^3 cinsinden kg olarak su emme değeri S_h (kg/ m^3) ise, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır[23].

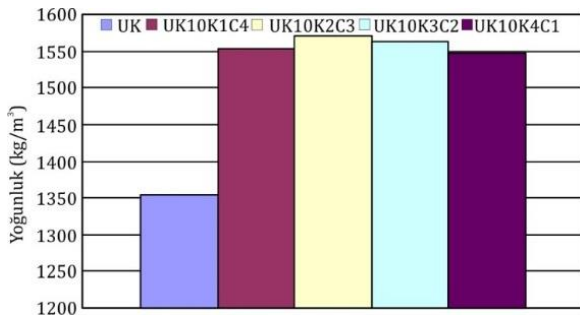
$$S_h = S_a \times d \quad (11)$$

Bu bağıntıdaki d numunenin yoğunluğudur (kg/ m^3).

3 Bulgular ve tartışma

3.1 Yoğunluk

Numunelerin yoğunluk değerleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Numunelerin yoğunluk değerleri.

Kireç ve cam tozu içeren numunelerin yoğunluk değerleri, salt uçucu kül içeren numuneye kıyasla daha yüksek olmuştur. Salt uçucu kül içeren UK numunesinin yoğunluk değeri 1350 kg/ m^3 olurken, diğer numunelerin yoğunlukları 1550 ile 1570 kg/ m^3 değerleri arasında değişmiştir.

Kırılmış UK numuneleri üzerinde gözle yapılan incelemede, değişik büyüklüklerde ve yoğun boşluklar bulunduğu görülmüştür. Karışımlarında kireç kullanılan numunelerde, kireç ve süper akışkanlaştırıcının etkisiyle kalıbın iyi bir şekilde dolduğu ve böylece numuneler içerisindeki boşluk miktarının azaldığı düşünülmüştür.

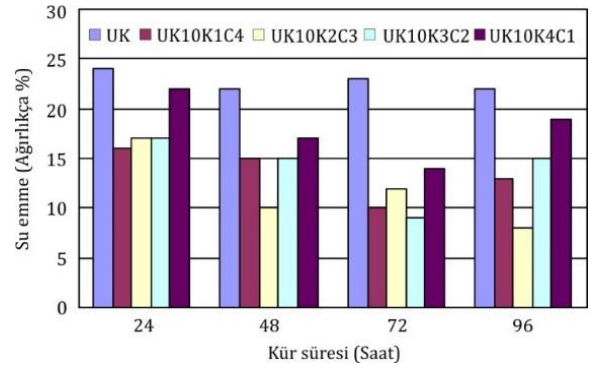
3.2 Su emme

Şekil 2'de numunelerin ağırlıkça % su emme değerleri verilmiştir. Şekil 3'te ise, 1 m^3 numunenin kg olarak su emme değerleri gösterilmiştir.

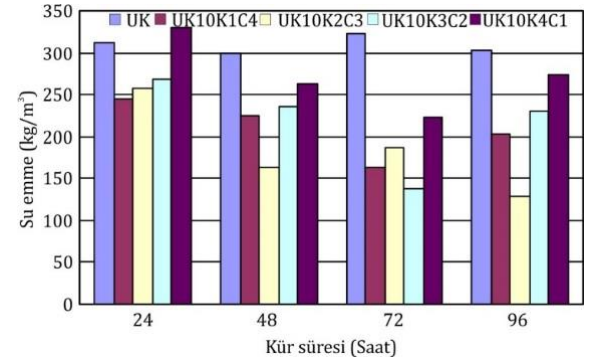
Kireç ve cam tozu içeren numunelerin su emme değerlerinde, kür sürelerinin tamamında azalma olduğu görülmüştür. 24 sa.'lik kür süresinde kontrol numunesi UK'nin su emme değeri ağırlıkça %24 olmuştur. UK10K2C3 numunesinin 96 sa.'lik küründen sonra, su emme değeri en küçük olmuştur ve bu değer %8'dir.

ASTM C 140'a göre [24], yapıların taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan kısımlarında kullanılacak bloklarda su emme değerinin 288 kg/ m^3 'ten daha az olması gerektiği belirtilmiştir. 96 sa.'lik kürde, UK10K2C3 numunesinin su emme değeri 130 kg/ m^3 olmuştur. İkinci en düşük su emme değeri ise 72 sa.'lik küre tabi tutulan UK10K3C2 numunesine aittir ve değeri 139 kg/ m^3 'tür.

Kür süresinin yanında, numuneleri oluşturan toz malzemeler ve malzeme miktarlarının su emme değerleri üzerine etkisinin olduğu gözlenmiştir.



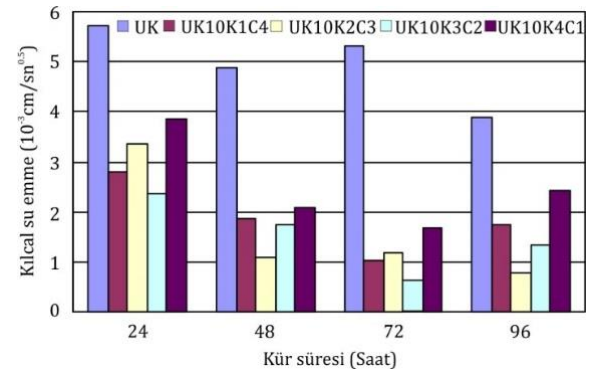
Şekil 2: Ağırlıkça su emme (%).



Şekil 3: Su emme (kg/ m^3).

3.3 Kılcal su emme

Numunelerin kılcal su emme değerleri Şekil 4'te verilmiştir. UK numunelerinin tüm kür sürelerinde kılcal su emme değerleri, diğer numunelerle kıyaslandığında yüksek olmuştur. Kireç ve cam tozu içeren numunelerin kılcal su emme değerlerinde, 72 sa.'lik kür süresine kadar önemli bir azalma gözlenmiştir. Ancak 96 sa.'lik kür süresinde tekrar bir miktar artış olmuştur. 96 sa.'lik kür süresinde kılcal su emme miktarındaki artış, içyapıda meydana gelen kılcal çatlaklardan kaynaklanmış olabilir.



Şekil 4: Kılcal su emme.

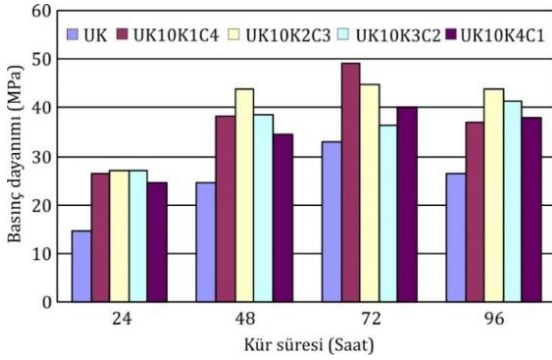
72 sa.'lik kür süresinde, UK10K3C2 numunesinin kılcal su emme değeri en az olmuştur. Bu değer 72 sa.'lik kür süresindeki kontrol numunesi olan UK numunesinden 9 kat daha düşük olmuştur. Uçucu kül, kireç ve cam tozunun birlikte kullanılması, numune içerisindeki hidratasyon ürünlerinin miktarlarını artırmış olabilir. Ayrıca, sertleşmiş Portland çimentosunda oluşan bir ürün olan $Ca(OH)_2$ 'nin boşlukları tıkama özelliğine benzer bir mekanizma, bu numunelerde meydana gelmiş olabilir.

Piyasada yaygın olarak kullanılan bazı yapı malzemelerinin kılcal su emme ($10^{-3} \times \text{cm}/\text{s}^{0.5}$) değerleri bir mukayese yapmak için verilmiştir; Gaz beton: 12.12-13.50, bims beton: 5.41-6.47, normal beton: 5.75-7.64, kalker: 0.56-0.83 ve granit: 0.01-0.17'dir [25]. Bu çalışmada, özellikle cam tozu ve kireç içeren blok numunelerin kılcal su emme değerleri, piyasada en çok kullanılan gaz beton, bims beton ve normal betonun kılcal su emme değerlerinden daha küçük olmuştur.

3.4 Basınç dayanımı

Şekil 5'te numunelerin basınç dayanımı değerleri gösterilmiştir. 72 sa. kür süresine kadar, yaklaşık olarak tüm numunelerin basınç dayanımlarında artışlar meydana gelmiştir. 72 sa.'lik kürde UK10K1C4 numunesinin basınç dayanımı en yüksek olmuştur ve değeri 49.2 MPa'dır. Bu numunedeki cam tozu miktarı, diğer numunelere kıyasla daha yüksek alınmıştır.

C sınıfı uçucu külün su ile reaksiyonu sonucu, Portland çimentosuna benzer olarak C-S-H ve CH yani $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ürününün oluştuğu iyi bilinmektedir. Cam tozunun reaktif SiO_2 miktarı Tablo 1'de görüldüğü gibi ağırlıkça %68.08'dir. SiO_2 'nin CH ile reaksiyonu sonucunda C-S-H oluştuğu daha önceki çalışmada belirtilmişti [7]. C-S-H miktarının artması basınç dayanımda önemli derecede artış sağlamıştır.



Şekil 5: Basınç dayanımı.

Atık cam tozu içeren numunelerin basınç dayanımlarında artışın bir diğer nedeni ise, muhtemelen mikron büyüklüğündeki bu cam tozlarının mekanik etki ile oluşan çatlakların ilerleyiş hızını yavaşlatması olmuştur.

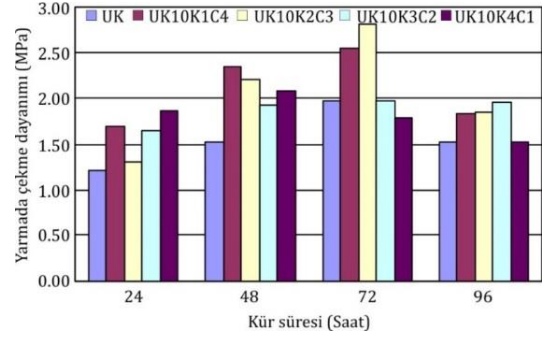
96 sa.'lik kürde bazı numunelerin basınç dayanımında azalmalar gözlenmiştir. Basınç dayanımındaki azalmalar, sıcaklık etkisi ile numuneler içerisinde meydana gelen kılcal çatlamalardan kaynaklanmış olabilir.

Bu çalışmada ana bağlayıcı olarak kullanılan uçucu kül ile yine literatürde ana bağlayıcı olarak kullanılan kireçten yapılmış blokların basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. Fang ve diğ. [26], kireç ve silikat kumu tozu malzemelerinden bloklar üretmişlerdir. Taze karışımlar, boyutları $10 \times 10 \times 5$ cm boyutunda kalıplar içerisinde 20 MPa'lık bir basınçla sıkıştırılmış ve 180 °C sıcaklıkta 8 sa. süre ile kür edilmiştir. Blokların üretiminde kireç/silis kumu tozu oranı 0.50 ile 2.00 arasında değiştirilmiş ve bu değişim oranlarına bağlı olarak basınç dayanımları da sırasıyla 10.2 ile 20.3 MPa arasında değişmiştir. Söz konusu çalışmada, kireç miktarı artınca blokların basınç dayanımlarının arttığı görülmüştür. Ancak, ana bağlayıcı malzeme olarak uçucu kül kullanılan bu çalışmada, artan kireç miktarı ile basınç dayanımı artışı arasında doğrusal bir ilişki olmamıştır.

ASTM C 90 [27]'a göre, yapıların taşıyıcı kısmında kullanılacak blokların basınç dayanımının en az 11.7 MPa olması gerektiği bildirilmiştir.

3.5 Yarmada çekme dayanımı

Numunelerin yarmadaki çekme dayanımı değerleri Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6: Yarmada çekme dayanımı.

72 sa.'lik kür süresinde UK10K1C4 ve UK10K2C3 numunelerinin yarmada çekme dayanımı değerleri, diğer numunelerden belirgin biçimde daha büyük olmuştur. Her iki numunenin içerdiği cam tozu miktarı, diğer numunelerdeki cam tozu miktarlarından daha fazla seçilmiştir. Kür süresinin 72 sa. olmasının yanında, cam tozu miktarlarının yüksek olması da yarmada çekme dayanımını artırmıştır.

Ancak 96 sa.'lik kür süresinde, bu iki numunenin yarmada çekme dayanımında önemli azalmalar meydana gelmiştir. Yarmada çekme dayanımlarındaki azalmanın nedeni, numunelerin içerisinde meydana gelmiş olan muhtemel kılcal çatlakların çekmeye daha duyarlı olmasından kaynaklanmış olabilir. Şekil 5 ve Şekil 6'daki dayanım değerleri değişimleri birbirleriyle yaklaşık olarak uyum içerisinde olmuştur.

BS6373 [28]'te en az eğilmede çekme dayanımının 0.65 MPa olması gerektiği bildirilmiştir. UK10K1C4 ve UK10K2C3 numunelerinin 72 sa.'lik kür süresi sonunda yarmada çekme dayanımı değerleri sırasıyla 2.55 ve 2.81 MPa olup, standartta istenen en az değerden daha büyük olmuştur.

4 Sonuçlar

Yapılan bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır. En uygun kür süresinin 72 sa. olduğu görülmüştür. 72 sa.'lik kür süresi sonunda, kireç ve cam tozu içeren numunelerin genellikle normal ve kılcal su emme değerlerinde azalmalar, basınç ve yarmada çekme dayanımında ise artışlar meydana gelmiştir.

Karışım içerisinde kullanılan kireç miktarına bağlı olarak, süper akışkanlaştırıcı ile birlikte kullanıldığında taze karışımın akışkan duruma geçmesine önemli bir katkı sağlamıştır. Sertleşmiş numunelerde ise, muhtemel CH ürünü boşlukları tıkayarak normal ve kılcal su emme değerlerini azalttığı düşünülmüştür.

5 Kaynaklar

- [1] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. "Bilgi Merkezi". <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> (11.12.1016).
- [2] ASTM International. "Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as A Mineral Admixture in Portland Cement Concrete". West Conshohocken, PA, USA, ASTM C 618, 2017.

- [3] Berry M, Cross D, Stephens J. "Changing the environment: an alternative green concrete produced without portland cement". *Proceedings of Coal Ash Conference, Lexington, KY, USA, 4-7 May 2009*.
- [4] Caldarone MN. *High Strength Concrete: A Practical Guide*. 1st ed. New York, USA, Taylor&Francis, 2009.
- [5] Turgut P. "Masonry composite material made of limestone powder and fly ash". *Powder Technology*, 204(1), 42-47, 2010.
- [6] Turgut P. "Manufacturing of building bricks without portland cement". *Journal of Cleaner Production*, 37, 361-67, 2012.
- [7] Turgut P. "Fly ash block containing limestone and glass powder wastes". *KSCE Journal of Civil Engineering*, 17(6), 1425-31, 2013.
- [8] Pollard TJS, Montgomery MD, Sollar JC, Perry R. "Organic compounds in the cement-based stabilisation/solidification of hazardous mixed wastes-Mechanistic and process considerations". *Journal of Hazardous Materials*, 28(3), 313-27, 1991.
- [9] Tokyay M, Çetin BK. "Preslenmiş, buhar kürü uygulanmış uçucu kül-kireç tuğlalarının dayanım ve su emme özellikleri". *Teknik Dergi*, 2(4), 385-94, 1991.
- [10] Topcu IB, Canbaz M. "Properties of concrete containing waste glass". *Cement Concrete Research*, 34(1), 267-74, 2004.
- [11] Turgut P. "Kireçtaşı ve cam tozunun briket yapımında kullanılması". *7. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, Türkiye, 29 Kasım-1 Aralık 2007*.
- [12] Schmidt A, Saia WHF. "Alkali-Aggregate reaction tests on glass used for exposed aggregate wall panel work". *ACI Materials Journal*, 60, 1235-36, 1963.
- [13] Johnston CD. "Waste glass as coarse aggregate for concrete". *Journal of Testing and Evaluation*, 2(5), 344-50, 1974.
- [14] Meyer C, Baxter S, Jin W. "Alkali-Aggregate reaction in concrete mechanism". *Cement and Concrete Research*, 17(1), 141-52, 1987.
- [15] Xie Z, Xi Y. "Use of recycled glass as a raw material in the manufacture of portland cement". *Materials and Structures*, 35(8), 510-515, 2002.
- [16] Shao Y, Lefort T, Moras S, Rodriguez D. "Studies on concrete containing ground waste glass". *Cement and Concrete Research*, 30(1), 91-100, 2000.
- [17] Shi Y, Wu C, Riefler C, Wang H. "Characteristics and pozzolanic reactivity of glass powders". *Cement and Concrete Research*, 35(5), 987-93, 2005.
- [18] Urhan S, "Alkali silica and pozzolanic reactions in concrete. Part 1: Interpretation of published results and a hypothesis concerning the mechanism". *Cement and Concrete Research*, 17(1), 141-152, 1987.
- [19] ASTM International. "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars". West Conshohocken, PA, USA, ASTM C 109, 2016.
- [20] Türk Standardları Enstitüsü. "Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini". Ankara, Türkiye, 12390-6, 2010.
- [21] ASTM International. "Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete". West Conshohocken, PA, USA, ASTM C 642, 2013.
- [22] Türk Standardları Enstitüsü. "Kâgir Birimler-Deney Metotları-Bölüm 11: Betondan, Yapay ve Doğal Taştan Yapılmış Kâgir Birimlerde Kapiler Su Emme ve Kil Kâgir Birimlerde İlk Su Emme Hızının Tayini". Ankara, Türkiye, 772-11, 2012.
- [23] Onaran K. *Malzeme Bilimi*. İstanbul, Türkiye, Bilim ve Teknik Yayınevi, 1993.
- [24] ASTM International. "Methods of Sampling and Testing Concrete Masonry Units". West Conshohocken, PA, USA, ASTM C 140, 2017.
- [25] Özdemir A. "Bazı yapı malzemelerin kapiler su emme potansiyelleri". *Jeoloji Mühendisliği*, 26(1), 19-32, 2002.
- [26] Fang F, GuY, Kang Q, Wen Q, Dai P. "Utilization of copper tailing for autoclaved sand-lime brick". *Construction and Building Materials*, 25(2), 867-872, 2011.
- [27] ASTM International. "Standard Specification for Load-Bearing Concrete Masonry Units". West Conshohocken, PA, USA, ASTM C 90, 2016.
- [28] British Standard Institutions. "Precast Concrete Masonry Units: Specification for Precast Concrete Masonry Units". BS 6073-Part 1, 1981.