



ISSN:1306-3111
e-Journal of New World Sciences Academy
2009, Volume: 4, Number: 1, Article Number: 2A0007

TECHNOLOGICAL APPLIED SCIENCES

Received: July 2008

Accepted: March 2009

Series : 2A

ISSN : 1308-7223

© 2009 www.newwsa.com

Serkan Subaşı

University of Düzce

ssubasi@duzce.edu.tr

Duzce-Turkiye

**PORTLAND KOMPOZE ÇİMENTOLU BETONLARDA UÇUCU KÜL İKAMESİNİN
DONMA-ÇÖZÜLME DAYANIKLILIĞINA OLAN ETKİSİ**

ÖZET

Bu araştırmada portland kompoze çimento ile üretilen betonlarda uçucu kül ikamesinin betonun donma-çözülme dayanıklılığına olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla Düzce Melen Çayından temin edilen kırmataş agrega ile S/Ç oranı 0,6 olan beton karışımı dizayn edilmiştir. Karışımda kullanılan çimento ağırlığına %5, 10, 20 ve 30 oranlarında uçucu kül ikame edilmiş yeni karışımlar hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 1 litre saf suya 250 gr sodyum sülfat ile hazırlanmış olan solüsyon içerisinde 24 saat bekletilmiş ve daha sonra etüvde kurutulularak kütle kayıpları ölçülmüştür. Numuneler kütlelerinin yaklaşık %25'ini kaybedinceye kadar deneye devam edilmiştir. Deney sonucunda elde edilen veriler üzerinde istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır. Sonuç olarak, uçucu kül katılarak elde edilen betonların donma-çözülme dayanıklılığında azalmalar olduğu, %30 oranında uçucu kül ikame edilen karışımın en düşük donma çözünme dayanıklılığına sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Portland Kompoze Çimento, Uçucu Kül,
Donma-Çözülme, Beton, Dayanıklılık

**THE EFFECT of SUBSTITUTION of FLY ASH CONTENT in PORTLAND CEMENT
CONCRETE on FREEZE-THAW DURABILITY**

ABSTRACT

In this study, the effect of fly ash substitution in the concrete produced by using Portland cement on freeze-thaw durability was investigated. For this purpose, mix proportion of the concrete manufactured by using gravel obtained from Melen River and having 0,6 Water/Cement ratio have been designed. The new mix designs which were prepared by substitution of 5%, 10%, 20% and 30% fly ash in place of the cement by weight have been designed. Prepared samples were kept in the solution which is prepared using 250 g sodium sulfate in the 1 liter pure water during 24 hours, and then loss on weight of the concrete samples were determined after the concrete samples were dried in the drying oven. Until the samples lost their mass approximately 25% the experiment is continued. Statistical evaluations have been performed on the values obtained from the test results. As a result, it was seen that freeze-thaw durability of the concrete obtained by substituting the fly ash have decreased, and the mixture prepared by using 30% fly ash ratio have the minimum freeze-thaw durability.

Keywords: Portland Compose Cement, Fly Ash, Freeze-Thaw,
Concrete, Durability



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gelişen teknolojiye paralel olarak günümüzde betonun dayanıklılığını arttırmak amacıyla bilimsel ve teknik çalışmalar devam etmektedir. Son yıllarda, portland çimentolu betonun üretimi ile ilgili olan enerjinin korunumu üzerinde inşaat sektöründe yapılmakta olan araştırmalar, mineral karışımlar gibi düşük enerjili yoğun malzemelerin portland çimentosuna daha fazla enerji kazandırması amacıyla ya doğrudan ya da çimentoyla yer değiştirilerek ilave edilmesi tavsiye edilmektedir [1, 2, 3 ve 4]. Uçucu kül puzolanik özelliği olan ve betonun birçok özelliğini olumlu etkileyen değerli bir beton katkısıdır. Genellikle F sınıfı uçucu kül küresel yapısı nedeniyle betonun işlenebilme özelliğini iyileştirmekte, taze betonda su kusmayı (terleme) azaltmakta, betonun hidrasyon ısısını azaltarak sıcak havalarda kütle betonu dökümüne imkân tanımakta, puzolanik reaksiyon sayesinde betonun uzun dönemli mukavemetine katkıda bulunmakta, betonun geçirimsizliğini 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 [5, 6, 7 ve 8]. Buna karşılık, uçucu kül betonun erken dayanımını düşürebilmekte ve özellikle yüksek kireç içerikli (C sınıfı) uçucu külün betonda yüksek oranda kullanımı ise betonun hacim sabitliğinin bozulmasına yol açabilmektedir [9, 10 ve 11].

Bazı araştırmacıların uçucu küllerin beton özelliklerine etkileri üzerine yaptığı çalışmada, uçucu kül katkılı betonların geçirimsizliğinin katkısız betonlarınkinden daha az olduğu ifade edilmiştir. Donma olayı zararlı etkisini, betonun bileşenlerinden olan agrega taneleri ve çimento hamuru fazlarının her ikisinde gösterir. Eğer donmaya dayanıklı bir beton elde etmek istiyorsak çimento hamurunun kompozitesini büyük, agreganın porozitesi küçük olan malzeme seçilmelidir [8 ve 12]. Uçucu küllü betonların donmaya karşı dayanımı konusunda net ve kesin sonuçlar elde edilememiş, bu da deney şartlarına ve kür süresinin farklılığına bağlanmış olmakla beraber, uçucu küllü betonların normal betonlardan daha fazla kür süresine ihtiyaç duydukları tespit edilmiştir [8, 12 ve 13].

Çimento birçok beton karışımında hacimce en küçük yeri işgal eden bileşen olmakla beraber beton bileşenleri içinde en önemlisidir. Beton üretiminde kullanılacak çimentonun doğru seçilmesinin beton durabilitesi bakımından önemli olduğu bilinmektedir. Özellikle puzolanik katkı maddelerinin kullanıldığı kompoze çimentoların çeşitliliği düşünüldüğünde maruz kalacağı çevre şartlarına uygun çimento seçimi ve bunun diğer beton bileşenleri ile uyumunun bilinmesi önemlidir [4 ve 14].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Günümüz beton üretiminde çok geniş kullanım olanı bulan uçucu kül, beton içerisine doğru miktarda katıldığında ve uygun alanlarda kullanıldığında birçok avantaj sağlamaktadır. Üretilen betonun her şeyden önce maruz kalacağı çevre şartlarına dayanıklı olması gerekmektedir. Beton kullanılacağı yer ve maruz kalacağı çevre şartları açısından değerlendirildiğinde, karışım oranları, üretiminde çimento ve diğer katkı malzemelerinin dikkatle seçilmesi gerektiği bilinmektedir. Beton üretiminde puzolanik aktivitesi olduğundan dolayı çimentodan tasarruf edebilmek için beton içerisine ikame edilerek katılan uçucu külün, özellikle donma-çözülme etkisine maruz kalan açık saha betonları, beton yollar gibi uygulamalarda kullanılmasının uygun olup olmayacağının belirlenmesi gerekmektedir. Bundan dolayı çalışmada kompoze çimento ile üretilen betonlarda yüksek oranda uçucu kül

ikamesinin betonun donma-çözülme dayanımına olan etkisi araştırılmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

3.1. Malzemeler (Materials)

Beton üretiminde bağlayıcı malzeme olarak CEM II/A-M 42,5 R çimentosu kullanılmıştır. Çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. CEM II/A-M 42,5 çimentosuna ait özellikler
(Table 1. Properties of CEM II/A-M 42,5 R cement)

Kimyasal Özellikleri		Fiziksel Özellikleri	
SiO ₂ (%)	19,98	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	3.10
Al ₂ O ₃ (%)	4,73	Özgül yüzey (cm ² /gr)	4280
Fe ₂ O ₃ (%)	2,69	Su/çimento oranı (%)	28.0
CO	61,48		
MgO(%)	2.41	Priz baş. (dak.)	200
SO ₃ (%)	2.30	Priz sonu (dak.)	240
K ₂ O(%)	0.55	Hacim genleşmesi (mm)	0.5
Cl(%)	0.01	Mekanik Özellikleri	
Serbest CaO(%)	0.74	2 Günlük Bas. Day.(N/mm ²)	30.3
Çözünmeyen Kalıntı(%)	0.38	7 Günlük Bas. Day.(N/mm ²)	45.4
Kızdırma kaybı(%)	2.72	28 Günlük Bas. Day.(N/mm ²)	55.8

Beton üretiminde kullanılan agregalar Düzce Küçük Melen dere yatağından elde edilmiştir. Kullanılan agregalar; 0-5 mm Kırma Çakıl Kumu, 5-15 mm Kırma Çakıl ve 15-25 mm Kırma Çakıl olmak üzere üç farklı tane sınıfına sahiptir. Kullanılan agregalara ait elek analizi Tablo 2'de, özgül ağırlık, su emme ve gevşek birim ağırlık değerleri de Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 2. Elek analizi sonuçları
(Table 2. Results of sieve analysis)

Agrega cinsi	Elek Göz Boyutları (mm) / Elekten Geçen %							
	31,5	16	8	4	2	1	0,5	0,25
Taş unu (0-2)	100	100	100	100	74	58	44	21.6
Kırma kum (0-5)	100	100	100	99	74	59	38	11.0
Kırma Çakıl (5-15)	100	100	86	14	0.3	0.2	0.1	0
Kırma Çakıl (15-25)	100	62	0.5	0.1	0	0	0	0

Tablo 3. Özgül ağırlık, su emme ve gevşek birim ağırlık değerleri
(Table 3. Specific gravity, water absorption and density values)

Agrega Cinsi	Özgül ağırlık (kg/m ³)	Ağırlıkça su emme(%)	Gevşek birim ağırlık (kg/m ³)
Kırma Çakıl Kumu	2710	1.2	1610
0-5 Kırma kum	2700	0.9	1490
1 no Kırma Çakıl	2720	0.9	1410
2 no Kırma Çakıl	2730	0.6	1480

Orhaneli Termik Santralinden temin edilen uçucu kül beton içerisine çimento ile ikame edilerek karışımların içerisine katılmıştır. Kullanılan uçucu küle ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Orhaneli uçucu külüne ait kimyasal analiz sonuçları
(Table 4. Chemical analysis results of Orhaneli fly ash)

Bileşenler	(%)	TS EN 197-1	
		V	W
SiO ₂	48,53		
Al ₂ O ₃	24,61		
Fe ₂ O ₃	7,59		
S+A+F	80,73		
CaO	9,48	<%10	>%10
MgO	2,28		
SO ₃	2,48		
K ₂ O	2,51		
Na ₂ O	0,35		
KK	1,69	<%5	<%5
Cl ⁻	0,005		
Serb, CaO	0,11		
Reak, SiO ₂	34,06	>%25	>%25
Reak, CaO	7,58	<%10	>%10

Orhaneli uçucu külü, reaktif kireç miktarının %10'un altında olması nedeniyle TS EN 197-1'e göre silisli uçucu kül (V) sınıfına girmektedir. Standartta istenilen reaktif silis miktarının da %25'in üzerinde olması (%48,30) nedeniyle silisli uçucu kül (V) sınıfı kül koşullarına tamamen uyduğu görülmüştür [14].

3.2. Beton Karışımları (Concrete Mixtures)

Beton karışımlarında kullanılacak agregalar karışım oranları %20 0-2 mm taş unu, %30 0-5 mm kırma kum, %25 5-15 mm kırma taş ve %25 15-25 mm kırma taş olarak belirlenmiştir. C20 beton karışım oranına göre hazırlanmıştır. Bu hususta elde edilen 1 m³ beton karışımı için kullanılacak numune miktarı Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. 1 m³ beton karışım miktarları
(Table 5. Concrete mix proportions)

Malzeme Cinsi	Miktarı
Çimento	300 kg
0-2 mm Taş unu	412 kg
0-5 mm Kırma kum	616 kg
5-15 mm Kırma çakıl	421 kg
15-25 mm Kırma çakıl	421 kg
Su	180 lt

Beton karışımının S/Ç oranı 0,6 olacak şekilde dizayn edilmiştir [15]. Referans karışım içerisindeki çimento miktarının ağırlıkça %5, %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül ikame edilerek toplamda 5 farklı karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan her bir karışımdan 15x15x15 cm boyutlarında küp kalıplara 4 adet olmak üzere toplamda 20 adet küp numune dökülmüştür. Deneylere numuneler 28 gün kür edildikten sonra başlanmıştır.

3.3. Sodyum Sülfat İle Dona Dayanıklılık Deneyi (Freeze-Thaw Resistance Using Sodium Sulfate)

Sodyum sülfat ile dona dayanıklılık (SSDD) deneyi her bir beton türü için hazırlanan 4 adet numune üzerinde yapılmıştır. Deney TS EN 1367-1 "Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri" standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir [16]. Numuneler 250 gr susuz sodyum sülfat tuzu (Na₂SO₄) 1 litre su içerisinde çözdürülerek hazırlanan solüsyon



içerisine daldırılarak 18 saat süre bekletilmiştir. Beton numunelerin sodyum sülfat (Na_2SO_4) çözeltisini bünyesine emmesinden sonra numuneler solüsyondan çıkarılmış ve yıkanarak $105\pm 5^\circ\text{C}$ de değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutulmuş numunelerin ağırlıkları ölçülerek kütle kayıpları belirlenmiştir. Donma-çözülme dayanımı değerleri numunelerin başlangıçtaki ağırlığına oranlanarak % kütle kaybı olarak hesaplanmıştır. Deneyler 5'inci tekrarda %25'lik bir kütle kaybına ulaşıldığı için sonlandırılmıştır.

3.4. İstatistik Metodlar (Statistical Methods)

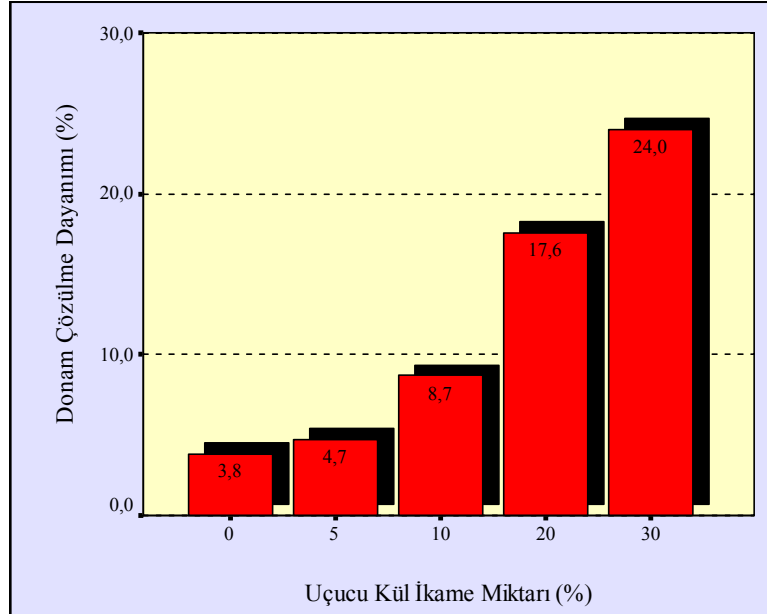
DeneySEL çalışmalar sonucunda 5 farklı beton türü için deney sonuçları elde edilmiştir. SSDD deneyi için 4 grubun ortalamaları arasında fark olup olmadığı varyans analizi tekniği ile belirlenmiş, fark bulunan gruplarda farklılığın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek için çoklu karşılaştırma (multiple comparison) testlerinden Scheffe testi kullanılmıştır. 5 farklı beton türüne ait elde edilen gözlemler arasındaki ilişki derecelerini belirlemek amacıyla regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca verilerin daha iyi değerlendirilebilmesi için çubuk (bar), çizgi ve serpm grafikleri kullanılmıştır [17 ve 18].

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Farklı uçucu kül ikame oranlarına sahip 20 adet $15\times 15\times 15$ cm ebadındaki küp numuneler üzerinde gerçekleştirilen sodyum sülfat ile don dayanıklılık deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Tablo 6'da verilmiştir. Ayrıca ortalama donma-çözülme dayanımı değerlerine ait grafik Şekil 1'de görülmektedir.

Tablo 6. SSDD deneyine ait açıklayıcı istatistikler
(Tablo 6. Descriptive statistics SSDD test)

U.Kül İkame Miktarı (%)	Numune Sayısı	Ortalama Don.Çöz. Dayanımı (%)	Standart Sapma	Standart Hata	Minimum	Maksimum
0	4	3.8475	1.6889	0.8445	2.13	6.13
5	4	4.70	1.4086	0.7043	3.14	6.05
10	4	8.68	2.0988	1.0494	6.14	11.26
20	4	17.575	2.9795	1.4898	14.88	21.69
30	4	24.0075	5.0896	2.5448	17.38	29.49



Şekil 1. Ortalama donma-çözülme dayanımı değerleri
(Figure 1. Mean of freeze-thaw resistance)

U.K. ikame miktarının donma-çözülme dayanımına olan etkisini belirleyebilmek için gruplar arasında varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analiz sonuçlarına göre gruplar arasında sodyum sülfat don dayanımı değerleri bakımından anlamlı bir farklılık olduğu görülmüştür ($p \leq 0,05$). Diğer bir ifadeyle uçucu kül ikame miktarına bağlı olarak SSDD değerlerinin değişmekte olduğu görülmektedir (Tablo 7).

Tablo 7. Varyans analizi sonuçları
(Table 7. Results of varyans analysis)

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Testi	Anlamlılık Düzeyi ($p \leq 0,05$)
Gruplar Arası	1223.012	4	305.753	34.726	0.000
Gruplar İçi	132.069	15	8.805		
Toplam	1355.082	19			

Gruplar arasındaki farklılığın hangi U.K ikameli beton türünden kaynaklandığını tespit etmek amacıyla Scheffe çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Çoklu karşılaştırma testi sonuçları Tablo 8'de verilmiştir.

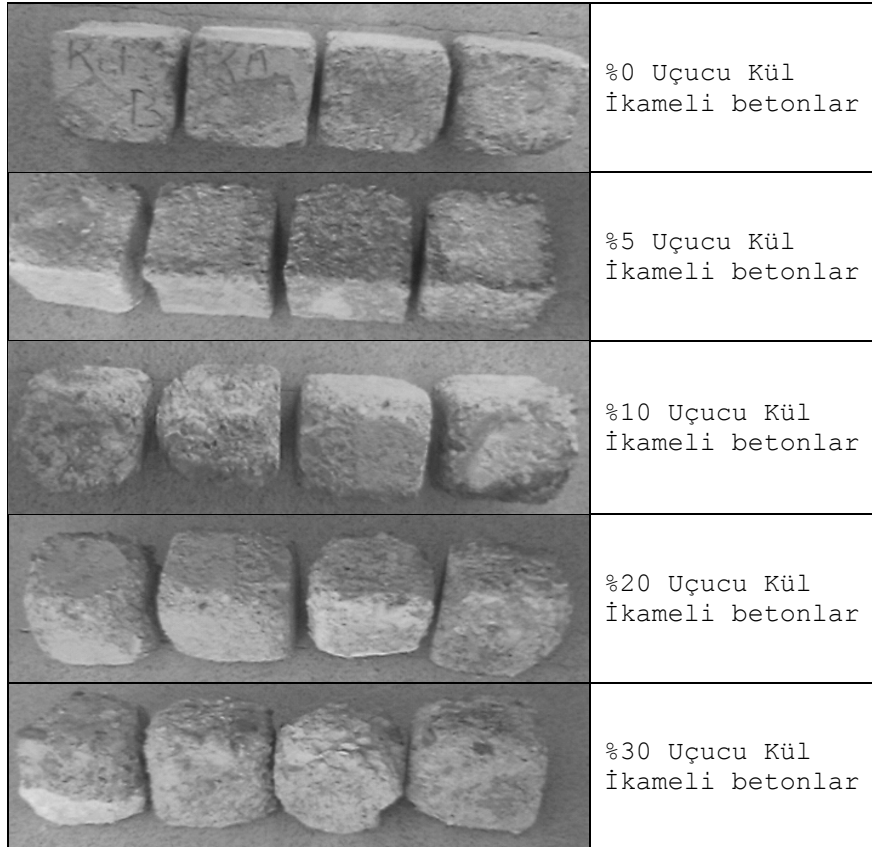
Tablo 8. Çoklu karşılaştırma testi sonuçları
(Table 8. Results of multiple comparison test)

U.Kül İkame Oranı (%)	Numune Sayısı	Farklı Olan Gruplar ($p \leq 0,05$)			
		1	2	3	4
0	4	3.8475			
5	4	4.7000			
10	4		8.6800		
20	4			17.575	
30	4				24.0075

Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre;

- SSDD değerlerinin uçucu kül ikame miktarına bağlı olarak önemli düzeyde değiştiği,
- %30 Uçucu kül ikameli betonların %24 ile en düşük don dayanımına sahip olduğu,
- %0 Uçucu kül ikameli betonların ise %3,8 ile en yüksek don dayanımına sahip olduğu,
- %30 Uçucu kül ikameli betonların, referans numuneye göre don dayanımı değerlerinin %84 oranında daha küçük olduğu,
- %0 ile %5 uçucu kül ikameli betonların SSDD değerleri bakımından istatistiksel olarak birbirinden farklı olmadığı,
- Ancak diğer beton türlerinin birbirinden farklı olduğu,
- Beşinci tekrar sonunda referans betondaki ağırlık kayıplarının %5, %10, %20, %30 uçucu kül ikame betonlara göre sırasıyla %18, %55, %78, %84 oranında daha fazla don dayanımına sahip olduğu,
- Uçucu kül ikame miktarı arttıkça bununla ters orantılı olarak donma-çözülme dayanımının azaldığı
- görülmüştür.

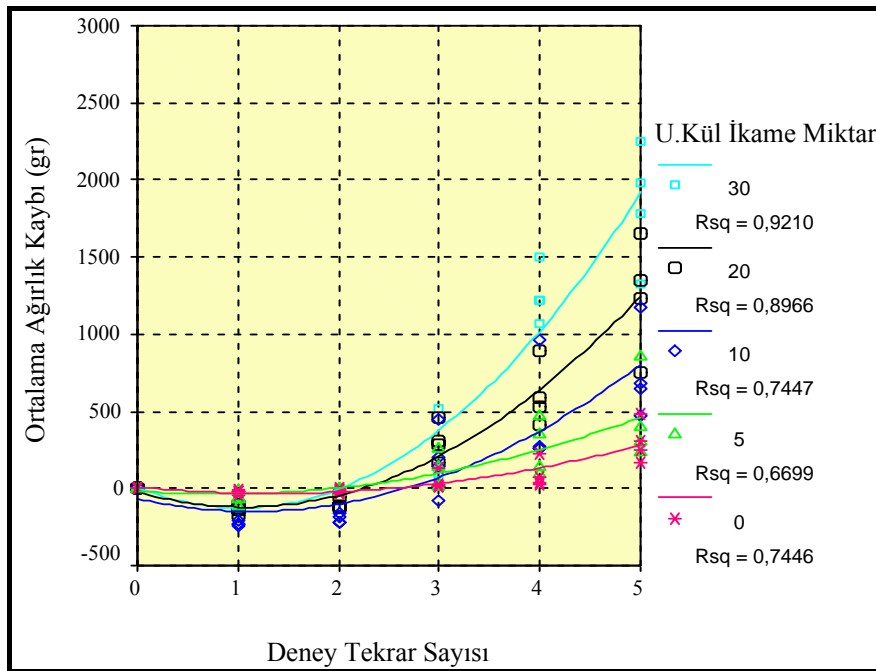
SSDD deneyi sonucunda beton numunelerinde oluşan hasar mekanizmasının neticesi olarak numunelerde parçalanmalar meydana gelmiştir. Deney sonunda hasar gören numunelere ait fotoğraflar Şekil 2'de görülmektedir. Fotoğraflar incelendiğinde uçucu kül ikame miktarı arttıkça donma-çözülmeden dolayı oluşan parçalanmalar ve numunedeki bozulmalar gözle görülebilir boyutlara ulaşmaktadır.



Şekil 2. SSDD deneyi sonunda numunelerde meydana gelen bozulmalar
(Figure 2. Happened damages on samples after SSDD test)

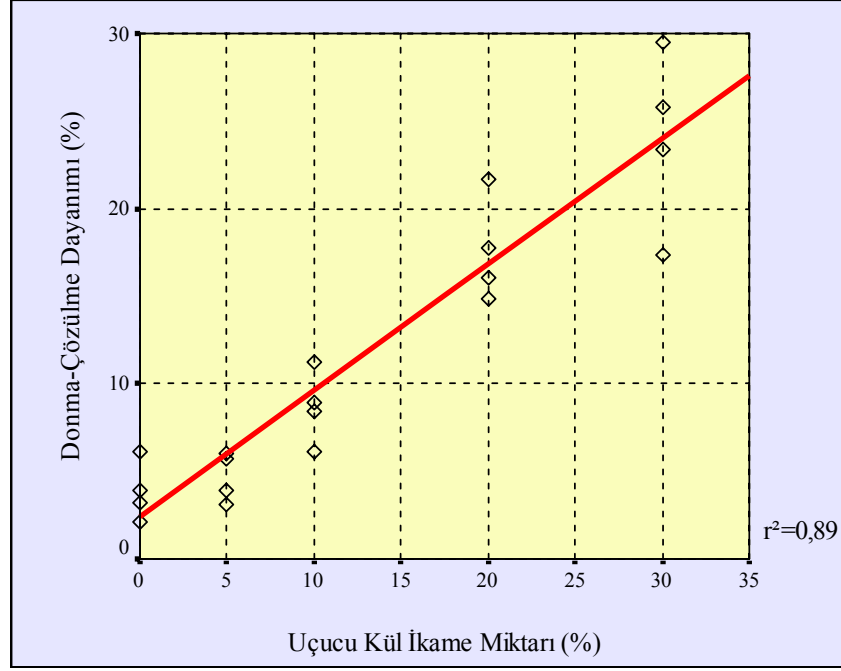
SSDD deneyi süresince her bir deney tekrarında beton numuneler üzerinde meydana gelen kütle kayıplarını değerlendirebilmek için deney tekrar sayıları ve ortalama ağırlık kaybı verileri arasında regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizi sonucunda deney tekrarı ile ağırlık kaybı arasında $Y=a+bX+cX^2$ model denklemi ile ifade edilen 2. derece bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Regresyon analizi grafiği Şekil 3'te görülmektedir. Birinci ve ikinci SSDD tekrarlarında deney numunelerinin tamamında ağırlık artışı görülmüştür. Ağırlık artışının, örneklerin sodyum sülfat çözeltisini absorbe etmesi ve bu süreçte tahribattan dolayı ağırlık kaybı olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. İlerleyen deney tekrarlarında hasar mekanizması daha da güçlenerek betonda parçalanmalara neden olmuştur. Ağırlık kayıpları %5, %10, %20, %30 uçucu kül ikame miktarlarında 2. tekrardan sonra başlarken katkısız beton numunesi 3. tekrardan sonra ağırlık kaybı meydana gelmektedir.

Diğer taraftan uçucu kül ikame miktarına bağlı olarak portland kompoze çimento kullanılan betonlardaki donma-çözülme dayanımlarında meydana gelebilecek hasarın tahmininde kullanılabilecek bir model denklem ortaya koyabilmek için uçucu kül ikame miktarı ile donma-çözülme dayanımları arasında regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizi sonucunda $Y=a+bX$ model denklemi ile ifade edilebilen 1. dereceden bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. Regresyon analizi grafiği
(Figure 3. Graphic of regression analysis)

Uçucu kül ikame miktarı ile donma-çözülme dayanımları arasındaki ilişki grafiği Şekil 4'te görülmektedir. Regresyon analizi sonucunda $r^2=0,89$ determinasyon katsayısına sahip $Y=2,40+0,72.X$ model denklemi bulunmuştur. Denklemde Y=Donma-Çözülme dayanımını, X=Uçucu kül ikame miktarını ifade etmektedir.



Şekil 4. UK ikame miktarı ile SSDD arasındaki ilişki grafiği
(Figure 4. Relation graph between replaced UK and SSDD)

Yüksek kireçli uçucu küllerin betonda kullanımına dikkat edilmesi gerekmektedir. C sınıfı uçucu küllerin kullanımı ile uçucu kül içerisinde genişlemeye neden olan CaO ve MgO gibi bileşiklerin karışım içerisindeki miktarı artmaktadır. Özellikle yüksek miktarda puzolanik katkı içeren kompoze çimentolarla birlikte uçucu kül kullanımı sakınılması gereken bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Hem kompoze çimento hem de uçucu kül beton dayanım kazanma hızını zayıflatmaktadır. Deney verileri üzerinde yapılan değerlendirmelerde uçucu kül ikame miktarının artması ile donma-çözülme dayanıklılığında da önemli azalmaların olduğu görülmektedir. Bu durum diğer araştırmacıların bulguları ile uyum göstermektedir [4, 11 ve 12].

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND SUGGESTIONS)

Portland kompoze çimentosu kullanılan beton karışımına çimento ağırlılığınca %5, %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül ikame edilerek 5 farklı beton türü elde edilmiştir. Hazırlanan küp numuneler sodyum sülfat don dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. 5. deney tekrarında numunelerdeki kütle kaybı %25'e ulaştığı için deney sonlandırılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen veriler üzerinde istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda; portland kompoze çimentolu betonlarda donma-çözülme dayanımının uçucu kül ikame miktarına bağlı olarak önemli düzeyde değiştiği, uçucu kül ikame miktarı arttıkça bununla ters orantılı olarak donma-çözülme dayanımının azaldığı, %30 uçucu kül ikameli betonların %24 ile en düşük, katkısız betonların ise %3,8 ile en yüksek donma-çözülme dayanımına sahip olduğu, %30 oranında uçucu kül ikamesi ile donma-çözülme dayanımının %84 gibi büyük bir oranda azaldığı, uçucu kül ikame miktarı ile donma-çözülme dayanımları arasındaki lineer bir ilişkinin olduğu görülmüştür.

Betonun kullanım amacı ve maruz kalacağı çevre şartları göz önünde bulundurularak çimento tipi ve uçucu kül kullanımına dair karar verilmesi gerekmektedir. İçerisine %5'e kadar uçucu kül ikame edilerek hazırlanan betonların donma-çözülme etkisine maruz kalan açık saha



betonlarının, beton yollar gibi uygulamalarda kullanılmasının uygun olduğu ancak daha fazla uçucu kül ikame edilen betonların kullanımının uygun olmadığı görülmüştür.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Bouzoubaa, N., Zhang, M.H., and Malhotra, V.M., (2000). Laboratory Produced High-Volume Fly Ash Blended Cements; Compressive Strength and Resistance to the Chloride-ion Penetration of Concrete, *Cem. Concr. Res.* 30, 1037-1046.
2. Kropp, J. and Hilsdorf, H.K., (1995). Performans criteria for concrete durability, E&FN span and Chapman & Hall, New York, USA, 5-13.
3. Popovics, S., (1998). Strength and related properties of concrete, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 38-82.
4. Neville, A.M., (2003). Properties of concrete, Fourth and Final Edition, Pearson Prentice Hall, England, 303-306, 391-394, 504-505, 581-585, 605-609, 610-624.
5. Malhotra, V.M. and Mehta, P.K., (2002). High Performance, High Volume Fly Ash Concrete 101 s. Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc., Ottawa.
6. Mindess, S., Jounq, J.F., and Darwin, D., (2002). Concrete, Second Edition Prentice Hall, London, 499-504.
7. Nawy, E.G., (2001). Fundamentals of High-Performance Concrete, Second Edition, John Wiley&Sons, Inc., New York, 204-245.
8. Erdoğan, T.Y., (2003). Beton, METU Press, I. Baskı, Ankara, 66-67, 191-198, 652-677.
9. Baradan, B., Yazıcı, H. ve Ün, H., (2002). Betonarme yapılarda kalıcılık (Durabilite), D.E.Ü. Müh. Fak. Yayınları, I. Basım, Yayın No:298, İzmir, 67-73, 152-153, 158-170, 176-198
10. Sivasundaram, V., Carrette, G.G., and Malhotra, V.M., (1992). Concrete Incorporating High Volumes of ASTM Class F Fly Ashes: Mechanical Properties and Resistance to Deicing Salt-scaling and to Chloride-ion Penetration, *Am. Concr. Inst. SP 132 (1)*, 319-349.
11. Bouzoubaa, N., Zhang, M.H., and Malhotra, V.M., (2001). Mechanical Properties and Durability of Concrete Made with High-Volume Fly Ash Blended Cements Using a Coarse Fly Ash, *Cem. Concr. Res.* 31, 1393-1402.
12. Sun, W. etc, (1999). Damage and Damage Resistance Of High Strength Concrete Under The Action Of Load And Freeze-Thaw Cycles, *Cement and Concrete Research*, Vol.29.
13. Subaşı, S., Arslan, M., and Durmuş, G., (2002). Kalıp yüzeylerinin beton kabuğunun kapilaritesi ve don dayanıklılığı üzerine etkileri, *Hazır Beton Dergisi*, 9(50): 60-68
14. TS EN 197-1, (2002). Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
15. TS 802, (1985). Beton karışımı hesap esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2-11.
16. TS EN 1367-1, (2008). Agregaların ısı ve bozunma özellikleri için deneyler-Bölüm 1: Donmaya ve çözülmeye karşı direncin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,
17. Hicks, C.R., (1985). Deney Düzenlemede İstatistiksel Yöntemler, Çevirenler; Muluk, Z., Toktamış, Ö., Kurt, S., Karaağaoğlu, E., Ankara.
18. Gürbüz, F., Başpınar, E. ve ark., (2003). Tekrarlanan ölçümlü deneme düzenlerinin analizi, Van Yüzüncü Yıl Ün. Yayınları, Van, 7-91.