



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy
2011, Volume: 6, Number: 1, Article Number: 1A0157

ENGINEERING SCIENCES

Received: October 2010

Accepted: January 2011

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2010 www.newwsa.com

Abdulhalim Karaşin¹

Murat Doğruyol²

Dicle University¹

Şirnak University²

karasin@dicle.edu.tr

Diyarbakir-Turkey

SÜLFAT ETKİSİNDE MARUZ BETONDA PUZOLANİK KATKI KULLANIMI

ÖZET

Beton ve betonarme yapıların bozulmasında sülfat etkisi önemli etkilerden biridir. Bu çalışmada, beton harçlarda %20 oranında PÇ 42.5 çimentosunun yerine atık durumdaki puzolanik katkı malzemeyle yer değiştirilerek hazırlanan numuneler ASTM C 1012'ye uygun şekilde hazırlanmış 150 g/l Na₂SO₄ çözeltisinde 5 ay süre ile bekletilmiştir. Ayrıca, bir grup suda kür edilmiş ve basınç dayanımları sülfat çözeltisindekiyle kıyaslamalı olarak sunulmuştur. Puzolanik katkı malzemesini PÇ 42.5 çimentosuyla ağırlıkça (%10-20-30-40) oranıyla karıştırılmasıyla hazırlanan betonlar numunelerden en yüksek basınç dayanımı gösteren numuneyle optimum karışım oranı belirlenmiştir. En yüksek basınç dayanımı, %20- 30 puzolanlı betonlarda elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Puzolanik Malzeme, Basınç Dayanımı, Sülfat Etkisi, Uçucu Kül, Beton

USE OF POZZOLANIC ADDITIONS FOR CONCRETE TO RESIST SULFATE EFFECTS

ABSTRACT

The effect of sulfate is one of the important outside influences in the deterioration of concrete and reinforced concrete structures. In this study, pozzolanic additions were added to changing in ratio 20% by weight of the (PÇ. 42.5) portland cement. Prepared samples were exposed in 150 g / L Na₂SO₄ solution prepared according to ASTM C 1012 for 5 months . In addition, a group were kept in water and compressive strengths are presented as a comparatively. Pozzolanic addition materials were added to portland cement (PÇ 42,5) 0%, 10%, 20%, 30% and 40%by weight of the cement. The highest compressive strength demonstrative of the prepared concrete samples were determined optimum mixing ratio. The highest compressive strength were obtained with 20-30% pozzolanic concrete samples.

Keywords: Pozzolanic Materials, Compressive Strength, Sulfate Attack, Fly Ash, Concrete

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sertleşmiş betondan beklenen, yüksek dayanım ve dayanıklılık ile beraber aynı zamanda da ekonomik olmasıdır. Bu yüzden dayanımı artırmak için beton karışımında çimento miktarı artırılmakta fakat karışımda çimento kullanımının arttırılmasıyla betonun ekonomik boyutu da artmış olmaktadır. Bu nedenle çimento ile benzer özellikler gösteren ve termik santral, demir çelik fabrikalarının yan ürünleri olan yapay puzolan diye adlandırılan uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve silis dumanı gibi atık malzemelerin beton karışımına çimento ile yer değiştirilmesi denenmiştir. Betonun geçirimsizliğini azaltmak, dayanımı ve işlenebilirliği artırmayı sağlamak amacıyla karışımdaki çimento ağırlığının belirli oranı uçucu kül ile ikame edilerek beton üretilmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır (Sun ve ark., 1999).

Toprakta, yer altı suyundan, deniz suyundan, yağmur suyundan ve atık sulardan gelen sülfat iyonları; potasyum, sodyum, magnezyum gibi bazı katyonlarla birlikte kombine bir halde bulunurlar (Al-Akhras, 2006).

Sülfatın betona etkisi, hidrate Portland çimentosu ile sülfat iyonları arasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar yoluyla olur (Al-Amoudi, 1997; Neville, 2004; Nehdi ve Hayek, 2005). Betonun sülfat saldırısından zarar görmemesi için kritik bir bölgenin bulunduğu, çimentonun C₃A miktarının %8'den az, su/çimento oranının 0.45'in altında olması halinde 40 yıllık maruz kalma süresinde hasar oluşmadığı, çimento yerine %25 ve %45 uçucu kül kullanımının genleşmeleri azalttığı belirtilmektedir (Monteiro ve Kurtis, 2003).

Sülfatın şiddetinin etkisini, betonun geçirimsizliği, betonda kullanılan çimentonun cinsi etkilemektedir. Sülfat dayanıklılığını arttırmak için sülfata dayanıklı çimento ile birlikte uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi puzolanik katkıları kullanılabilir.

Puzolan malzeme taze betonun priz süresini geciktirdiği tespit edilmiştir. Priz süresinin geciktirmesi betonun ani sertleşmesinin önüne geçilmesiyle rötire çatlamalarının önüne geçilmesinde olumlu etkisi vardır ancak özellikle beton prizinin gecikmesindeki bir başka sebep olan soğuk hava koşullarında puzolanların kullanılması betonda sertleşmeyi istenmeyen kadar geciktirebilir. Betonun ilk günlerdeki dayanımının ileri döneme göre daha düşük olmasına yol açabilir. Puzolanlar fazla kullanıldıkları zaman zararlı da olabilirler, çimentodan daha ince taneli yapıya sahip olduklarından betonun su ihtiyacını artırırlar, donma çözülmeye karşı direnci düşürürler, prizi geciktirdiklerinden sertleşme ve dayanım kazanma hızını azaltırlar, betonun kuruma büzülmesini arttırırlar (Prince, 1975; Şimşek, 2004).

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

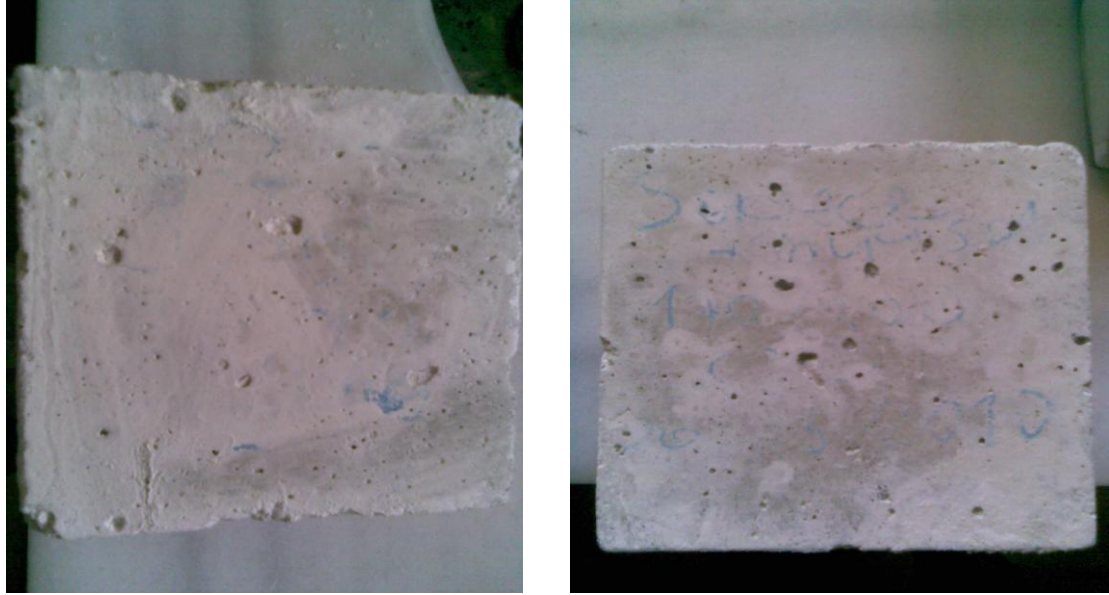
Bu çalışmada, sülfat etkisinde karışımda portland çimentosu ile optimum oranda çimento ile yer değiştirilmiş uçucu kül katkılı beton ile katkısız betonları sülfat kütüne maruz bırakarak sülfatın beton üzerindeki etkisi ve numunelerin zamana bağlı basınç değerleri belirlenmiştir. Puzolanik katkı malzemelerinin optimum kullanım oranı belirlenmiş, dayanıma ve dayanıklılığa etkisi araştırılmıştır.

3. DENEYSEL YÖNTEM (EXPERIMENTAL METHOD)

3.1. Sülfat Etkisi (Sulfate Effect)

Dış kaynaklardan betona giren sodyum sülfat, 3CaO₂Al₂O₃ (C₃A) ile reaksiyona girerek betonda alçıtaşı ve etrenjit gibi yan ürünler oluşur. Çözeltinin konsantrasyonu sülfat atağıyla oluşan ürünlerin miktarını da değiştirmektedir. Düşük konsantrasyondaki sodyum sülfat atağında (< 1000 ppm SO₄⁻²) ilk oluşan ürün etrenjittir. Konsantrasyon arttıkça (>8000 ppm SO₄⁻²) oluşan ana ürün 9alçıtaşıdır. Orta konsantrasyon değerlerinde ise (1000-8000 ppm SO₄⁻²) etrenjit ve alçıtaşının her ikisine birden rastlanmaktadır (Santhanam vd., 2001). Sülfat etkisi sonucu oluşan etrenjit betonda boşluk hacmi oluşturarak betonun basınç dayanımını düşürür. Sülfata

maruz bırakılan betonun karakteristik görünümü, özellikle köşe ve kenarlardan başlayarak tüm yüzeye yayılan beyaz lekeler, beton yüzeyinde çatlaklar ve köşelerinde dökülmelerdir. Sülfat etkisine maruz bırakılan numuneler Şekil 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Sülfat etkisine maruz kalan beton numuneler
(Figure 1. Concrete samples exposed to the effect of sulfate)

3.2. Malzemeler (Materials)

3.2.1. Çimento (Cement)

Beton karışımlarında Limak Ergani Çimento fabrikasının CEM I 42,5 Portland çimentosu kullanıldı. fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. CEM I 42,5 portland çimentosunun özellikleri
(Table 1. The properties of CEM I 42,5 portland cement)

Kimyasal Analiz Sonuçları				
	%		%	
SiO ₂	20,0	MgO	1,42	
CaO	61,61	SO ₃	2,80	
Al ₂ O ₃	5,82	K ₂ O	0,92	
Fe ₂ O ₃	3,62	Na ₂ O	0,18	
Fiziksel Analiz Sonuçları				
40µm (%)	90µm (%)	200µm (%)	Özgül ağırlık(g/cm ³)	Özgül yüzey (cm ² /g)
13,60	0,90	-	3,14	3524

3.2.2. Uçucu Kül (Fly Ash)

Beton karışımlarında Kahramanmaraş Afşin Elbistan termik santraline ait uçucu kül kullanılmış olup, kimyasal analiz sonuçları Tablo 2'te verilmiştir.

Tablo 2. Uçucu kül kimyasal analiz sonuçları
(Table 2. The results of chemical analysis of fly ash)

Bileşik Adı	%	Bileşik Adı	%
SiO ₂	46,51	MgO	0,67
Al ₂ O ₃	25,47	Na ₂ O	0,36
Fe ₂ O ₃	4,88	K ₂ O	1,7
CaO	15,94	SO ₃	2,78
S+A+F>70	76,86	Kızdırma.kayıbı	1,35

Portland çimentosu ile Uçucu külün kimyasal bileşenleri açısından benzer özellik gösterdiği fiziksel özelliklerde çimentodan daha ince taneli yapıya sahip olduğu Tablo 3 ' te karşılaştırılmış olarak gösterilmiştir.

Tablo 3. CEM I 42,5 portland çimentosu ve uçucu külün özellikleri
(Table 3. The properties of CEM I 42,5 portland cement and fly ash)

Bileşik Adı	. CEM I 42,5%	. Uçucu Kül%
SiO ₂	20,0	46,51
Al ₂ O ₃	5,82	25,47
Fe ₂ O ₃	3,62	4,88
CaO	61,61	15,94
MgO	1,42	0,67
Na ₂ O	0,18	0,36
K ₂ O	0,92	1,7
SO ₃	2,80	2,78
Özgül ağırlık(g/cm ³)	3,14	2,36
Özgül yüzey (cm ² /g)	3524	2280

3.2.3. Agregata (Aggregate)

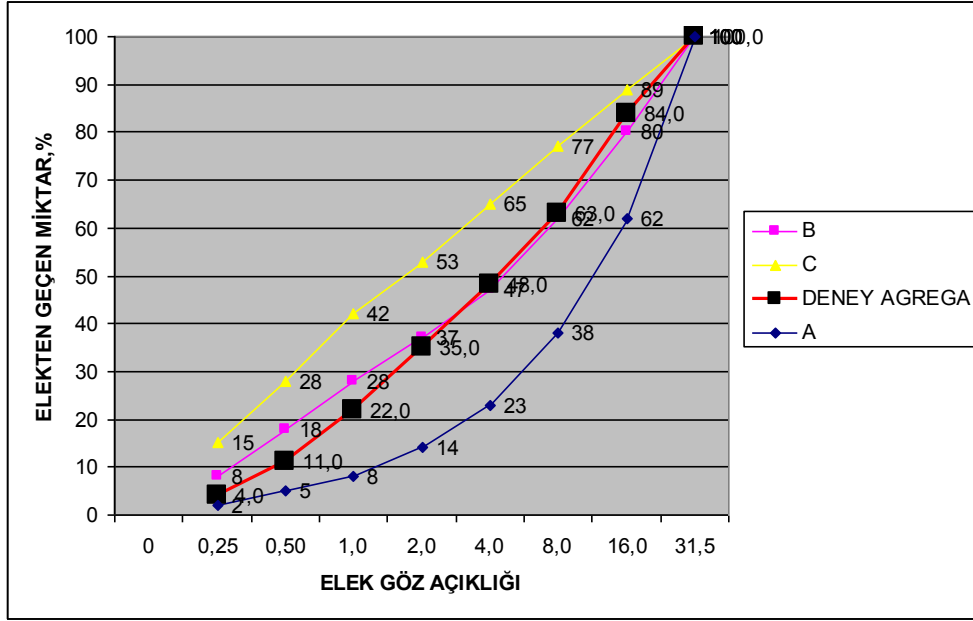
Beton numune üretiminde kullanılan agregata Diyarbakır ilindeki bir beton santralinden temin edildi. Kullanılan iri agregata ve ince agregata dere agregatası ise doğal dere kumudur. İri agregatada doğal dere kırma bazalta nazaran mukavemeti düşüktür fakat doğal dere doğal aşınma uğradığı için betonda işlenebilirliği kolaydır aynı durum iri kırma bazalt için geçerli değildir. Kırma bazaltın aşınmış yüzeyi olmadığından beton karışımında işlenmesi zordur. Deneyde kullanılan agregatanın elek analiz sonucu ve bazı fiziksel özellikleri aşağıdaki Tablo 4' te gösterilmiştir.

Tablo 4. Agregatanın elek analiz sonucu ve fiziksel özellikleri
(Table 4. The result of sieve analysis and physical properties of aggregates)

	Yüzde Geçen Miktar			Kimyasal Katkı
	Dere çakıl (15-30)	Dere Çakıl (7-15)	Doğal Kum(0-5)	
31.5 (mm)	100	100	100	
16 (mm)	43,5	100	100	
8 (mm)	1,1	49,3	100	
4 (mm)	-	12,1	84,8	
2 (mm)	-	6,4	62,1	
1 (mm)	-	1,0	40,5	
0.5 (mm)	-	2,1	19,3	
0.25 (mm)	-	1,2	7,2	
Agregata oranları(%)	28	18	54	
Doygun yüzey kuru özgül ağırlığı	7,746	2,735	2,655	1,170-1,191
Su emmesi	1,2	1,4	1,7	
Los A. Aşınma	% 20 kayıp			

Agregata numunesinin sahip olduğu gradasyonun uygunluğunu kontrol edebilmek için agregatanın maksimum tane boyutu 31,5 mm olan agregata

numunelerinin Türk standardına göre gradasyon sınır değerlerine uygunluğu Şekil 2’de karşılaştırılmıştır.



Şekil 2. Agreganın granülometre eğrisi
(Figure 2. Grading curve for aggregates)

Şekil 2’de A,B,C olarak gösterilmiş üç gradasyon eğrisi bulunmaktadır. Kırmızı çizgiyle gösterilen çizgi, deney agregasının çizgisi olup A ve B eğrileri arasında kaldığından deney agregası ‘çok iyi’ olarak tanımlanmaktadır.

3.3. Yöntem (Method)

Bu çalışmada, sülfat etkisinde çimentonun uçucu kül ile yer değiştirilen ve değiştirilmeyen beton numunelerin basınç değerleri karşılaştırılmıştır.

Sülfat etkisini araştırmak için ASTM C1012’ye göre 50 g/l’lik sodyum sülfat çözeltisi kullanılmalıdır. Ancak, daha önce yapılan çalışmada söz konusu çözeltinin, hazırlanan karışımların sülfat dayanıklılığı açısından farklılıklarını ortaya koymada yetersiz kaldığı gözlenmiştir (Tosun vd., 2003). Bu yüzden kısa süreli bu çalışmada sülfatın yıpratıcı özelliğini çıkarabilmek için 150 g/l’lik sodyum sülfat çözeltisi hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan numunelerin karışım oranları Tablo 5’te verilmiştir.

	Beton numune	Uçucu Kül Katkılı numune
1 m ³		
SU	170 kg	170 kg
ÇİMENTO	300 kg	240 kg
UÇUCU KÜL	-	60 kg
ÇAKIL 15-30	348 kg	348 kg
ÇAKIL 7-15	544 kg	544 kg
KUM 0-5	1013 kg	1013 kg
KİMYASAL KATKI	1,8 kg	1,8 kg

Tablo 5. Numunelerin karışım oranları
Table 5. Mixing ratio of samples

4. BULGULAR (FINDING)

4.1. Taze Beton Deneyleri (Fresh concrete tests)

TS EN 206-1'de yapılan sınıflamaya göre uçucu kül karışımıyla elde edilen numune S3 sınıfı, mineral katkı içermeyen numune ise S4 sınıfıdır. Taze beton sonuçları Tablo 6' da verilmiştir.

Tablo 6. Taze beton sonuçları
(Table 6. The results of fresh concrete)

Taze Beton Sonuçları	
	Çökme-Slump (cm)
UÇUCU KÜL	13
MİNERAL KATKISIZ	18

4.2. Sert Beton Deneyleri (Hard Concrete Tests)

4.2.1. Birim Hacim Ağırlığı (The Density ratios)

Hazır beton üreticisinin hedef değerine göre birim ağırlığa, ± 100 kg/m³ tolerans getirilmiştir. Örneğin beyan edilen değer 2350 kg/m³ ise tolerans sınırları 2350 \pm 100 kg/m³ olmaktadır.

Tablo 7. Küp numunelerin 28 gündeki birim hacim ağırlıklar
(Table 7. Density ratios of samples on 28 days)

	%15 lik Sodyum Sülfat	Su küründe
	g/cm ³	g/cm ³
UÇUCU KÜL	2,40	2,39
MİNERAL KATKISIZ	2,40	2,38

4.2.2. Numunelerin Ağırlık Değişimi (Weight Changes of Samples)

Puzolan katkı malzemeleri çimentodan daha ince taneli olduklarından agregaların arasını daha iyi doldurabilmekte ve betonun yüzeyinde daha az geçirimli bir tabaka oluşturmaktadırlar. Su kürüne ve sülfat kürüne maruz bırakılan numunelerde puzolan katkı kullanılan beton numunede daha az ağırlık artışı olduğu tespit edilmiş bunun nedeni olarak puzolanların betonun geçirimliliğini düşürdüğünü söylenebilir. Numunelerin ağırlık değişimi Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8. Numunelerin ağırlık değişimi
(Table 8. Weight changes of samples)

Numune	Su Kürüne maruz numune ağırlığı 28 gün	Sülfat Çözeltisine Maruz Numune Ağırlığı		
		28 gün	150 gün	Artış %
Uçucu Kül katkılı	8032,7	8108,3	8151,80	0,53
Katkısız	8049,8	8107,3	8170,40	0,77

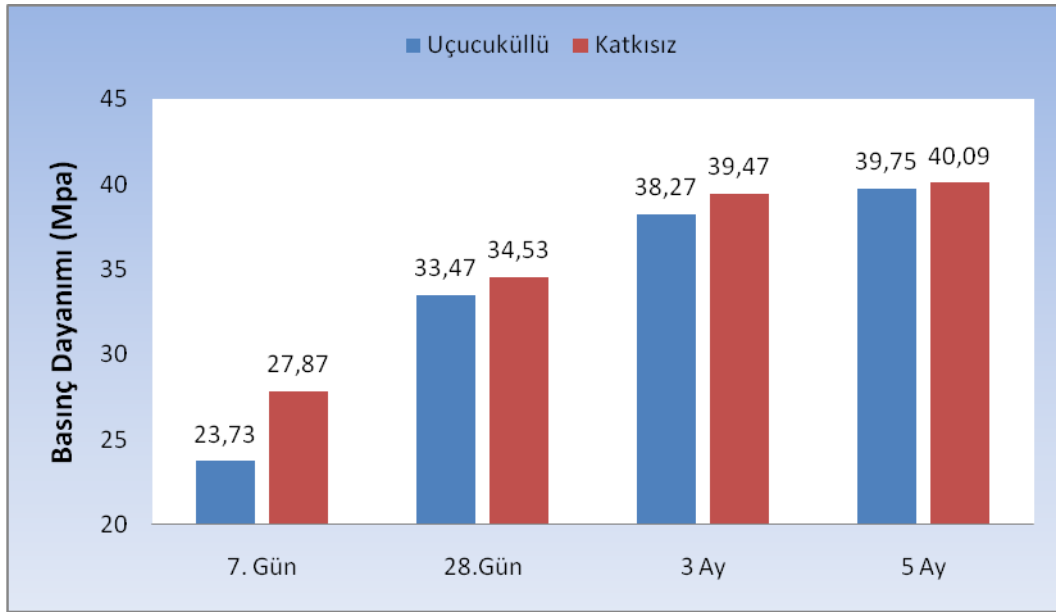
4.2.3. Basınç Dayanımları (Compressive strength values)

Numunelerin basınç dayanımı için yükleme hızı 4,5 kN/mm²/sn olan ELE marka pres kullanıldı. Beton numuneler basınç deneyi uygulanmadan 48 saat kür havuzlarından çıkarıldı ve bu süre sonunda basınç dayanımları TS 3114 ISO 4012'ye uygun olarak belirlendi. Su kürüne ve sülfat kürüne maruz bırakılmış küp numunelerin 28 günlük basınç değerlerinin Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. Basınç dayanım değerleri
(Table 9. Compressive strength values)

	Küp numunelerin 28 Günlük Basınç Dayanımı		
	Su küründe	%15 lik Sodyum Sülfatta	Değişim
	Mpa=N/mm ²	Mpa=N/mm ²	%
UÇUCU KÜL	33,75	33,46	-0,86
MİNERAL KATKISIZ	36,03	34,52	-4,37

Tablo 9'a göre sülfat betonda dayanımı düşürmektedir ancak %20 oranında çimento ile Uçucu Külün yer değiştirilerek hazırlanan numunelerin beton dayanımı daha az etkilendiği görülmektedir. Ayrıca %15 Sodyum sülfat çözeltisine maruz mineral katkısız ve %20 Uçucu Kül katkılı numunelerin ait basınç dayanımı ölçümleri basınç dayanım değerleri Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. %15 sodyum sülfat çözeltisine maruz numunelerin basınç dayanımları
(Figure 3. Compressive strength values of samples exposed to 15% sodium sulfate solution for 150 days)

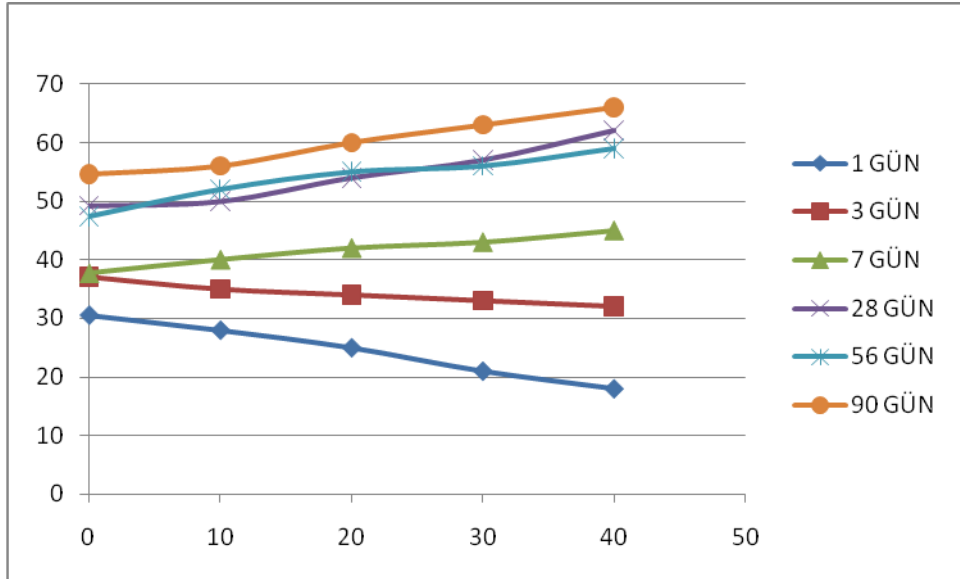
Şekil 3'te görüldüğü üzere katkısız beton numuneler erken yaşta basınç değeri yüksektir fakat kürünü alan uçucu kül katkılı beton ileriki yaşlarda dayanım artışı katkısız göre daha olmuştur. Puzolaların çimento ile yer değişimi farklı oranlarda da denenmiştir Yiğiter vd.'nin yaptığı çalışmada %10, %20, %30 ve %40 oranlarında çimento ile yer değiştirilerek hazırlanan numunelerin karışım oranları Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10. Beton karışım oranları (Yiğiter, H., Aydın, S., Yazıcı, H. ve Bardan, B; 2004).

(Table 10. Mixing ratio of samples)

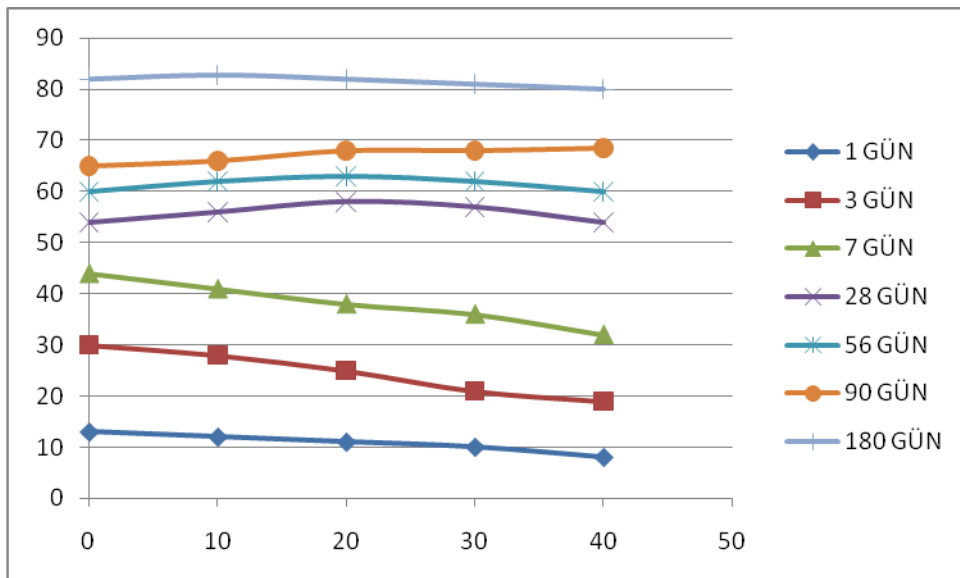
FARKLI ORANLARDA UÇUCU KÜL KATKISININ BETON KARIŞIM ORANLARI	UK 0	UK 10	UK 20	UK 30	UK 40
C20	360	324	288	252	216
ÇİMENTO	360	324	288	252	216
SU	0	36	72	108	144
ÇAKIL 15-25	286	285	285	283	281
ÇAKIL 5-15	671	669	667	663	660
KUM 0-5	143	143	143	143	143
KİMYASAL KATKI	8,50	8,64	8,93	9,47	9,47

Yiğiter vd.'nin Uçucu Kül katkılı numuneler üzerinde yaptığı çalışmada beton basınç değerleri Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Beton basınç değerleri (Yiğiter, H., Aydın, S., Yazıcı, H. Ve Bardan, B ;2004)
(Figure 4. Compressive strength values)

Uçucu kül oranının artışı ile betonun basınç dayanımı 1 günde azalırken, 3 günde bu farklar önemli oranda azalmıştır. 7. günde uçucu kül oranının artışı ile basınç dayanımları artmaya başlamış, bu artış 28, 56 ve 90 günde oldukça belirgin bir hal almıştır. (Yiğiter, H., Aydın, S., Yazıcı, H. Ve Bardan, B ;2004). Halit Yazıcı'nın 2006'da yaptığı başka bir çalışmada ise puzolan katkı malzemesi olarak bu defa %10, %20, %30 ve %40 olmak üzere yüksek fırın cürufu (YFC) kullanmıştır. Hazırlanan numunelerin basınç değerleri karşılaştırılmalı olarak Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Beton basınç değerleri (Halit Yazıcı; 2006)
(Figure 5. Compressive strength values)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLISION AND RECOMMENDATIONS)

Çimento yerine puzolanların (Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu) kullanımı erken dayanımları düşürmüştür. Ancak bu etkinin ilerleyen yaşlarda büyük oranda kaybolduğu görülmekte ve katkısız numuneden sülfat etkisinde daha yüksek dayanımda göstermiş bulunmaktadır. Ancak puzolan katkıların %0-20 aralığına kadar çimento ile yer değiştirilmesi dayanımı artırırken bu oranın artması ile ileri yaşlarda dayanım düşüş eğilimi göstermektedir.

Çevre ve maliyet açısından kullanılması olumlu olan puzolanik katkıların kullanımı betonun özelliklerine doğrusal olarak olumlu etki beklenmemelidir. Puzolan malzeme taze betonun priz süresini geciktirmesi rötre çatlaklarının önüne geçilmesindeki olumlu etkisinin yanında özellikle soğuk hava koşullarında puzolanların kullanılması betonda sertleşmeyi istenmeyen kadar geciktirebilme durumu dikkate alınmalıdır. Sülfatlı zeminler ile temas halinde olan betonun dayanım ve dayanıklılığını olumsuz etkilediği ve %20 oranında çimento ile puzolanik malzemelerin yer değişimi bu olumsuzlukların önemli ölçüde bertaraf edileceği sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR (THANK)

Çalışmamızı yaptığımız Diyarbakır Karayolları 9. Bölge Araştırma Laboratuvarında her türlü yardımı bizden esirgemeyen Karayolları Başmühendisi sayın M.ALİ SABAZ 'a ve laboratuvarında emeği geçen çalışanlara, deney malzemelerimizin temininde yardımlarını esirgemeyen Limak Ergani Çimento fabrikasına teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Al-Akhras N.M., (2006). Durability of metakaolin concrete to sulfate attack. *Cement and Concrete Research*, 36, 1727-1734.
2. Al-Amoudi O.S.B., (1997). Sufate attack and reinforcement corrosion in plain and blended cements exposed to sulfate environments. *Building and Environment*, 33, 53- 61.
3. ASTM C 1012-95a; "Standard Test Method for Length Change of Hydroulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution", USA.
4. Yazıcı, H., (2006). "Yüksek Fırın Curufu Katkılı Harçların Sülfat Dayanıklılığının İncelenmesi" Deü Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi Cilt: 8 Sayı: 1 s. 51-58 Ocak 2006
5. Monteiro, P.J.M. and Kurtis, K.E., (2003). "Time to Failure for Concrete Exposed to Severe Sulfate Attack", *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, p. 987-993.
6. Nehdi, M. and Hayek, M., (2005). Behavior of blended cement mortars exposed to sulfate solutions cycling in relative humidity. *Cement and Concrete Research*, 35, 731-742.
7. Neville, A., (2004) The confused world of sulfate attack on concrete. *Cement and Concrete Research*, 34, 1275-1296.
8. Prince, W.H., (1975). "Puzolans - A Rview", *ACI Journal*, Detroit, 225 -232
9. Tosun K., Yazıcı H., Yiğiter H. ve Baradan B., (2003). "Uçucu Kül İçeren Çimento Harçlarının Sülfat Dayanıklılığının İncelenmesi", V. Ulusal Beton Kongresi. İstanbul.
10. TS 3114 ISO 4012, (1998). Beton-Deney Numunelerinin Basınç Dayanımı Tayini, T.S.E,Ankara.
11. TS EN 206-1, (2002). Beton, T.S.E, Ankara
12. Santhanam, M., Cohen, M.D., and Olek, J., (2001). Sulfate Attack Research- Whither Now?, *Cement and Concrete Reserch*, 31, 845-851.
13. Sun, W.,1999; *Damage and Damage Resistance Of High Strength Concrete Under The Action Of Load And Freeze-Thaw Cycles*", *Cement and Concrete Research*, Vol.29

14. Şımşek, O., (2004). "Beton ve Beton Teknolojisi", Seçkin Yayınevi, Ankara
15. Yiğiter, H., Aydın, S., Yazıcı, H. ve Bardan, B., (2004). " C Tipi Uçucu Kül Katkılı Betonların Bazı Özelliklerinin Araştırılması Fiziksel, Mekanik Ve Durabilite" Beton 2004 Kongresi Serbest Bildiri