

PC VE UÇUCU KÜL MİNERAL KATKISINI İÇEREN HARÇ NUMUNELERİNİN BAZI ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

İsmail H. ÇAĞATAY ve Edibe ÖZDEMİR
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Bu çalışmada, portland çimentosu (PC) ile birlikte uçucu kül (UK) mineral katkı maddesinin, ikili harç numunelerinin basınç, eğilme ve aşınma özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. Tüm karışımlar için su/bağlayıcı oranı 0.5 alınmıştır. Basınç, eğilme, aşınma dayanımı sonuçlarına göre mineral karışımlarda %5-%30 mertebesinde UK' ün çimento katkı malzemesi olarak kullanılabilceği kanaatine varılmıştır. Harç numunelerinin aşınma değerleri genel olarak uzun dönemde daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uçucu kül, Dayanım, Aşınma

AN INVESTIGATION OF SOME PROPERTIES OF MORTARS INCLUDED BINARY COMBINATIONS OF PC AND FLY ASH

ABSTRACT : This study presents an experimental investigation on the effect of binary combinations of fly ash (FA) and portland cement (PC) on compressive strength, flexural strength and abrasion resistance of mortars. All the mixtures were prepared with 0.5 water/binder ratio. According to results of compressive, flexural and abrasion strength, it is observed that for binary mixtures %5-%30 FA can be used as mineral additive for cement and concrete. The abrasion strength of mortars was generally better at longer periods.

Key Words: Fly ash, Strength, Abrasion

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki artış ve teknolojinin hızlı gelişmesinden dolayı, dünyadaki enerji tüketimi son yıllarda önemli derecede artmaktadır. Doğal kaynakların azalması, hava ve çevre kirliliği, endüstriyel atık malzemelerin kullanılma fikrine popülerlik kazandırmıştır. UK puzolanik özelliklerinden dolayı çimento veya betonda kullanılan atık malzemelerin en etkili olanlarından biridir.

UK mineral katkı maddesi olarak bilinmektedir. Genellikle harç ve beton üretiminde çimentonun ağırlık yüzdesi oranında, çimentonun bir kısmı yerine veya ilave olarak bazen de çimentoya önceden karıştırılarak katkı çimento şeklinde kullanılmıştır.

Termik santrallerde, elektrik enerjisi üretimi için yakıt olarak pulverize (öğütülmüş) kömür kullanılmaktadır. Pulverize kömürün yanmasıyla atık malzeme olarak ortaya çıkan küllerin yaklaşık %75-%80'i gazlarla birlikte bacadan çıkma eğilimi gösteren çok ince taneli küllere uçucu kül denilmektedir. UK bacalardan elektrostatik veya elektromekanik yöntemler vasıtasıyla tutulmakta ve atık olarak depolanmaktadır.

UK kullanımı, maliyeti yüksek olan portland çimentosundan tasarruf sağlanmasına yardım ederken betonun taze ve sertleşmiş haldeki performansını da arttırmaktadır. UK'ün katkısı taze betonda hidrasyon ısısını düşürmekte, işlenebilirliği arttırmakta, terleme ve kusmayı azaltmakta ve pompalanabilirliği arttırmaktadır, sertleşmiş betonda ise uzun vadede mekanik dayanıma ve durabiliteye olumlu katkıda bulunabilmektedir.

Bu çalışmada öncelikle UK değişik oranlarda PC'na katılarak harç numunelerinde kullanılabilecek optimum oranlar araştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

UK içeren ve düşük su/bağlayıcı oranlarında hazırlanan karışımların yüksek su/bağlayıcı oranlarında hazırlanan karışımlara göre daha iyi dayanım göstermektedir. Ayrıca beton karışımlarda UK'ün dayanıma olan katkısı harç karışımlara göre daha iyi olmaktadır (1).

Hassan ve ark., UK'lü betonun erken yaşlarda nispeten zayıf karakteristiklere sahip olduğunu fakat uzun dönemde SD'lı betonun dayanım ve taşıma karakteristiklerine ulaştığını söylemektedirler (2).

Katkı maddesi olarak UK kullanılmasının beton dayanımına etkileri, ince taneli doğal puzolan etkisine benzemektedir. Normal olarak, ilk zamanlarda, UK'lü betonun dayanımı katkısız beton dayanımına kıyasla birazcık daha az olmaktadır. Ancak nihai dayanım oldukça yüksektir. İlk günlerdeki dayanım artışı, UK'ün inceliğine ve tipine göre değişiklik göstermektedir (3).

Naik ve ark., çalışmalarında yüksek kireç içeren UK kullanmışlardır. Buna göre %30 UK katkılı beton karışımları ile hiç UK içermeyen beton karışımlarının aşınma dirençlerinin benzer olduğunu söylemektedirler (4). Ayrıca %30'dan %70'e kadar çimento yerine UK kullanılmasının, aşınma direncinde azalma meydana geldiğini bildirmektedirler.

Yen ve ark., F sınıfı UK kullandıkları çalışmaları sonucunda, dayanımın artması ve su/bağlayıcı oranının azalmasıyla UK içeren beton karışımlarının aşınma oranlarının arttığını, %15'e kadar UK içeren betonların ile hiç UK içermeyen betonların 28 ve 90 günlük aşınma dayanımlarının benzer olduğunu ve %20, %25, %30 oranlarında UK

içeren betonların aşınma dayanımlarının hiç UK içermeyen betonlara göre daha düşük olduğunu söylemişlerdir (5).

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Malzemelerin Tanımlanması

3.1.1. Portland Çimentosu

Bu çalışmadaki tüm harç karışımları için Adana Çimento Sanayii T.A.Ş.'de üretilmiş olan TS EN 197-1 (2002) ile uyumlu PC 42.5 çimentosu kullanılmıştır. PC'na ait kimyasal bileşim Çizelge 1'de ve fiziksel özellikler Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 1. Kullanılan PC'nun Kimyasal Bileşimi

Kimyasal Bileşim	PC 42.5 (%)
SiO ₂	19.45
Al ₂ O ₃	5.47
Fe ₂ O ₃	4.08
CaO	62.19
MgO	2.87
SO ₃	2.58
Çözünmeyen Kalıntı	0.56
Kızdırma Kaybı	1.92
Na ₂ O	0.24
K ₂ O	0.94

Çizelge 2. Kullanılan PC'nun Fiziksel Özellikleri

Fiziksel Özellikler	PC 42.5
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3.12
Özgül Yüzey (Blaine) (cm ² /gr)	3350
0.045 mm Elek Üstünde Kalan (%)	3.5
0.090 mm Elek Üstünde Kalan (%)	0.2
Priz Başlangıcı (Saat:Dakika)	2:37
Priz sonu (Saat:Dakika)	3:20

3.1.2. Uçucu Kül

Adana ilinin Yumurtalık ilçesindeki Su-Gözü Termik Santralından alınan UK'ün kimyasal analizi Adana Çimento Sanayi T.A.Ş. laboratuvarında yaptırılmış olup sonuçlar Çizelge 3'te verilmektedir. UK'ün özgül ağırlığı 2.24 g/cm³ ve özgül yüzeyi 3880 cm²/gr'dır.

Çizelge 3. UK'ün Kimyasal Bileşimi

Kimyasal Bileşim	UK (%)
SiO ₂	56.91
Al ₂ O ₃	21.85
Fe ₂ O ₃	6.52
CaO	3.33
MgO	2.57
SO ₃	0.26
K.K	2.36

3.1.3. Agrega

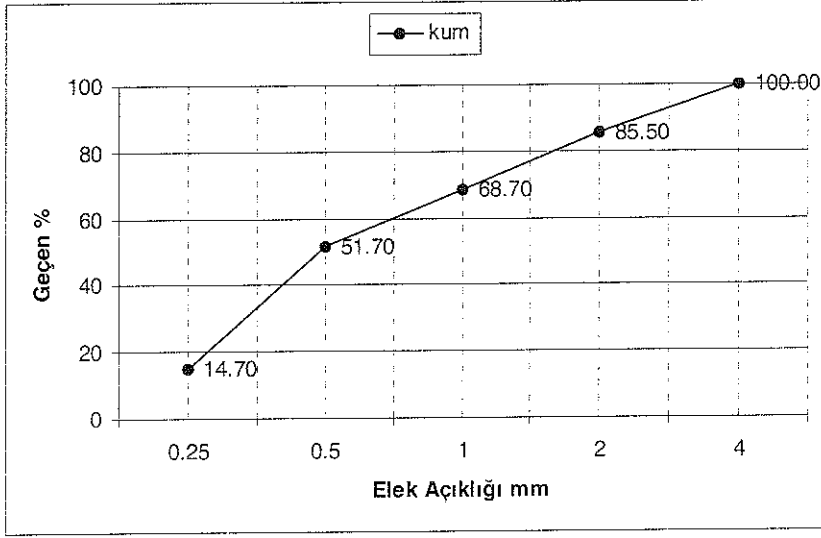
Harç numunelerin hazırlanmasında kullanılan kum yıkandıktan sonra etüv kurusu durumuna getirilmiştir. Kurutulmuş kum elenerek 4 nolu elek altı kullanılmıştır. Kuma ait elek analizi sonuçları Çizelge 4 ve Şekil 1'de verilmektedir. Kuma ait fiziksel özellikler de Çizelge 5'te sunulmaktadır. ASTM C33'e göre kullanılan kum beton ve harç üretimi için uygundur.

Çizelge 4. Kuma Ait Elek Analizi Sonuçları

Elek No (mm)	Elek Üzerinde Kalan Miktar (gr)	Elek Üzerinde Kalan Miktar (%)	Elek Üzerinde Kalan Yığılımlı Miktar (%)	Elekten Geçen Miktar (%)
4	0.00	0.0	0.00	100.00
2	725.00	14.5	14.50	85.50
1	840.00	16.8	31.30	68.70
0.5	850.00	17.0	48.30	51.70
0.25	1850.00	37.0	85.30	14.70
Kap	735.00	14.7	100.00	
Toplam	5000.00			

Çizelge 5. Kuma Ait Fiziksel Özellikler

Fiziksel Özellik	Değeri
γ_{kuru}	2.58
γ_{dkv}	2.61
$\gamma_{görünen}$	2.65
Su Emme (%)	1.8



Şekil 1. Kuma Ait Elek Analizi Grafiği

3.2. Harç Karışım Oranları

TS EN 196-1'e göre hazırlanan harç numunelerin kum/bağlayıcı oranı 3 ve su/bağlayıcı oranı 0.5'tir. Bu çalışmada PÇ, UK kullanılarak değişik oranlarda ikili karışımlar elde edilmiştir.

İkili karışımlarda PÇ'ne ağırlıkça %5, %10, %15, %20, %25, %30, %50 ve %75 oranlarında UK katılmıştır.

Ayrıca kıyaslama amacıyla sadece PÇ içeren kontrol harcı da dökülmüştür.

3.3. Numune Boyutları

Deney numuneleri TS EN 196-1'e uygun olarak (40 mm×40 mm×160 mm)'lik prizmalar şeklinde hazırlanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Basınç Dayanımı

UK içeren harçların basınç dayanımları Çizelge 6'da verilmektedir. Basınç dayanımı zaman grafiği de Şekil 2'de verilmektedir.

1. günde UK içeren tüm numuneler şahit numuneden düşük basınç dayanımları geliştirmişlerdir. U5 ve U10 3. günden, U15 28. günden, U20 ve U25 90. günden ve U30 ise 90. günden itibaren şahit numuneden daha fazla basınç dayanımları sergilemişlerdir. U50 ve U75 ise 360. günde dahi şahit numunenin basınç değerini yakalayamamışlardır, fakat U50 1 yıl sonunda şahit numunenin basınç değerinin %95'sini U75 ise %37'sini kazanmıştır.

1, 3, 7 ve 28. günlerde UK miktarı arttıkça basınç dayanımı azalmaktadır. %30'dan fazla UK içeren harçlarda ise bu tüm günler için geçerlidir.

Şahit numunenin, 28. günden 360. güne kadar zamanla basınç mukavemeti gelişimi %26 oranında artarken, %5'den fazla UK içeren harçlarda bu artış şahit numuneye göre daha fazla olmakla beraber UK miktarı arttıkça artmaktadır.

Bir yılın sonunda U5'den U30'a kadar olan tüm numuneler şahit numuneye göre %9-%24 oranında artış göstermişlerdir. 360. günde elde edilen maksimum dayanım 83.35 MPa ile %15 UK içeren numuneye aittir. Bunu sırasıyla U10, U20, U25, U5 ve U30 takip etmektedir.

Çizelge 6. UK İçeren Harçlara Ait Basınç Dayanımları

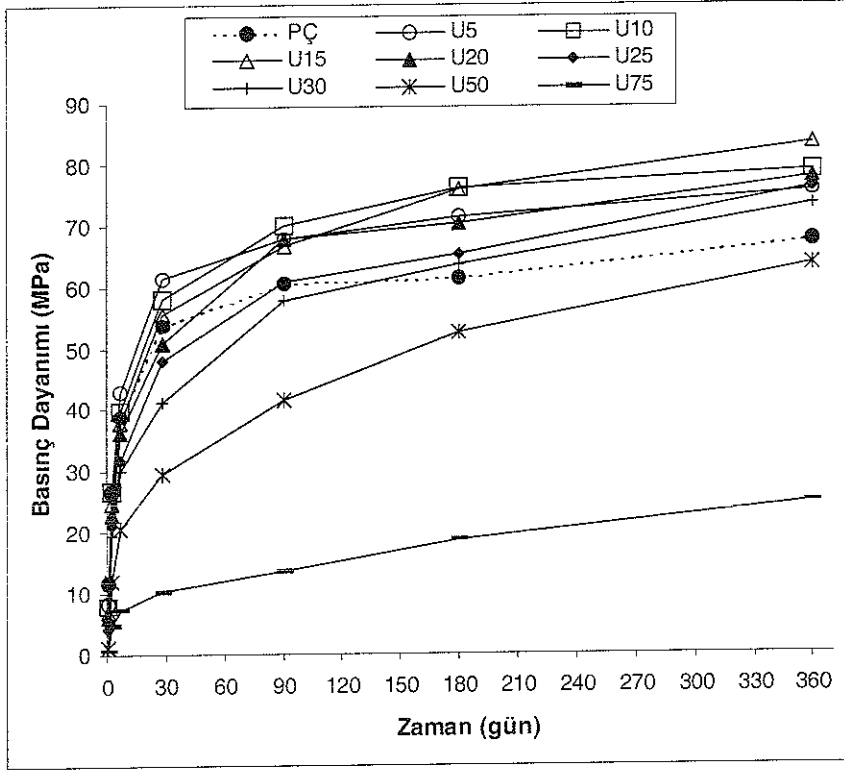
Numune	Basınç Dayanımları (MPa)						
	1. Gün	3. Gün	7. Gün	28. gün	90. gün	180.Gün	360.Gün
U0	11.58	26.41	38.85	53.50	60.38	61.42	67.29
U5	8.25	26.81	42.79	61.35	67.65	71.23	75.44
U10	7.84	26.71	39.97	58.00	69.98	76.17	78.84
U15	6.98	24.83	38.00	55.44	66.72	75.92	83.35
U20	6.21	22.88	36.13	50.84	67.63	70.31	77.69
U25	4.19	21.19	31.66	47.84	60.71	65.16	76.00
U30	5.63	19.38	30.16	41.35	57.81	63.53	73.35
U50	1.19	11.88	20.75	29.44	41.59	52.38	63.58
U75	0.63	4.60	7.29	10.42	13.79	18.78	24.67

Şahit numunenin 28 günlük basınç dayanımına göre hesaplanan bağıl dayanımlar Çizelge 8'de verilmiştir. U5, U10 ve U15 28. günde şahit numunenin 28 günlük dayanımını %4-%15 mertebesinde aşmaktadırlar, U20 ve U25 ise şahit numuneye karşılaştırılabilecek seviyede basınç dayanımı göstermişlerdir. 90 günün sonunda U50 ve U75 hariç diğer tüm numuneler şahit numunenin 28 günlük dayanımını aşmışlardır. U50 bir yılın sonunda şahit numunenin 28 günlük dayanımını %19 aşmaktadır. U75 ise bir yılın sonunda şahit numunenin 28 günlük dayanımının ancak %46'sına ulaşabilmiştir.

4.2. Eğilme Dayanımı

UK içeren harçların eğilme dayanımları Çizelge 7'de verilmektedir. Eğilme dayanımı zaman grafiği de Şekil 3'te verilmektedir. Eğilme dayanımları genel olarak basınç dayanımları ile benzer davranışlar göstermektedirler.

3. günde U5 şahit numunenin basınç değerini bir miktar aşmıştır ve %5'den %30'a kadar UK içeren numuneler şahit numuneye kıyaslanabilecek seviyede eğilme dayanımları geliştirmiştir.



Şekil 2. UK İçeren Harçlara Ait Basınç Dayanımı-Zaman Grafiği

Bir hafta sonra %15'e kadar UK içeren numuneler şahit numunenin eğilme dayanımını aşmışlardır. Bu durum 28. gün için de geçerlidir.

90. günde U20, U25 ve U30 şahit numunenin eğilme dayanımını aşmaktadır. 360. günde %30'a kadar UK içeren numuneler şahit numunenin eğilme dayanımını %7-%23 oranında aştıkları görülmektedir.

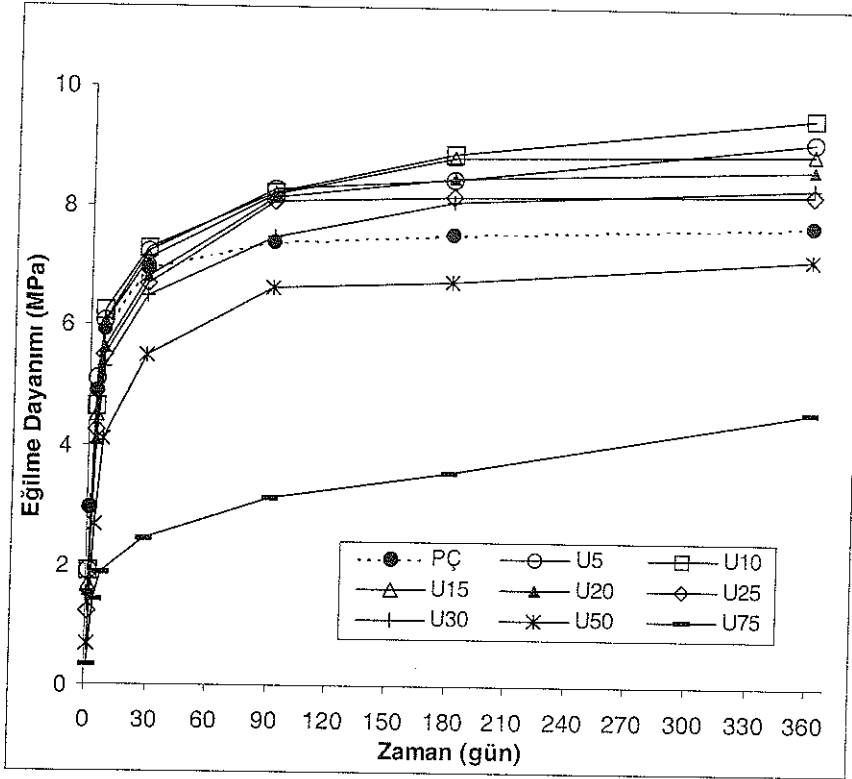
U50 360. günde şahit numunenin eğilme dayanımının %93'ünü elde edebilmiştir, U75 ise tüm günlerde iyi performans gösterememiştir.

180. ve 360. günde elde edilen neticelere baktığımızda en yüksek eğilme mukavemetini %10 ve %15 UK içeren harçların verdiği görülmektedir.

Şahit numunenin 28 günlük eğilme dayanımına göre hesaplanan bağıl dayanımlar Çizelge 10'da sunulmuştur. Burada 28. günde %30'a kadar UK içeren numunelerin şahit numunenin 28 günlük eğilme dayanımına yakın veya daha yüksek eğilme dayanımları geliştirdikleri görülmektedir. U50 ancak 360. günde şahit numunenin 28 günlük eğilme dayanımını aşmaktadır. U75 ise basınç dayanımında olduğu gibi şahit numunenin 28 günlük eğilme dayanımını hiçbir günde geçememektedir.

Çizelge 7. UK İçeren Harçlara Ait Eğilme Dayanımları

Numune	Eğilme Dayanımları (MPa)						
	1. Gün	3. Gün	7. Gün	28. gün	90. gün	180. Gün	360. Gün
U0	2.95	4.91	5.93	6.94	7.40	7.55	7.73
U5	1.91	5.10	6.08	7.24	8.30	8.45	9.13
U10	1.91	4.63	6.23	7.30	8.24	8.89	9.52
U15	1.68	4.52	6.03	7.13	8.20	8.82	8.91
U20	1.56	4.08	5.63	6.82	8.16	8.50	8.66
U25	1.23	4.25	5.50	6.70	8.08	8.18	8.24
U30	1.54	4.02	5.31	6.49	7.49	8.09	8.34
U50	0.69	2.66	4.11	5.48	6.63	6.75	7.16
U75	0.34	1.42	1.89	2.45	3.14	3.55	4.59



Şekil 3. UK İçeren Harçlara Ait Eğilme Dayanımı-Zaman Grafiği

4.3. Aşınma Direnci

Bu çalışmadaki tüm numunelerin aşınma değerleri Los Angeles aşınma aleti kullanılarak bulunmuştur. Numunelerin 100 dönüş ve 500 dönüş sonundaki aşınma değerleri, ağırlık kaybı yüzde cinsinden TS 3694'e göre hesaplanmıştır. Çizelge 5.9'da UK içeren harçların 100 devir sonundaki aşınma değerleri ve Çizelge 5.10'da 500 devir sonundaki aşınma değerleri sunulmaktadır.

100 dönüş ve 500 dönüş sonunda genel olarak %15'e kadar UK içeren numuneler erken yaşlardan itibaren şahit numuneye göre daha az aşınmaktayken %20 ve %25 UK içeren numuneler uzun dönemde şahit numuneden daha az aşınmaktadırlar. %30 UK içeren numuneler 180 ve 360. günlerde şahit numune ile kıyaslanabilir aşınma değerleri vermektedir.

%30'dan fazla UK katkılı numuneler hem 100 hem de 500 dönüş sonunda tüm günlerde şahit numuneden daha fazla aşınmaktadırlar ve katkı miktarı arttıkça aşınma da artmaktadır.

1 yılın sonunda %5-%25 UK içeren numuneler 100 dönüş sonunda %3-%16 ve 500 dönüş sonunda %1-%11 oranında şahit numuneden daha az aşınmaktadırlar.

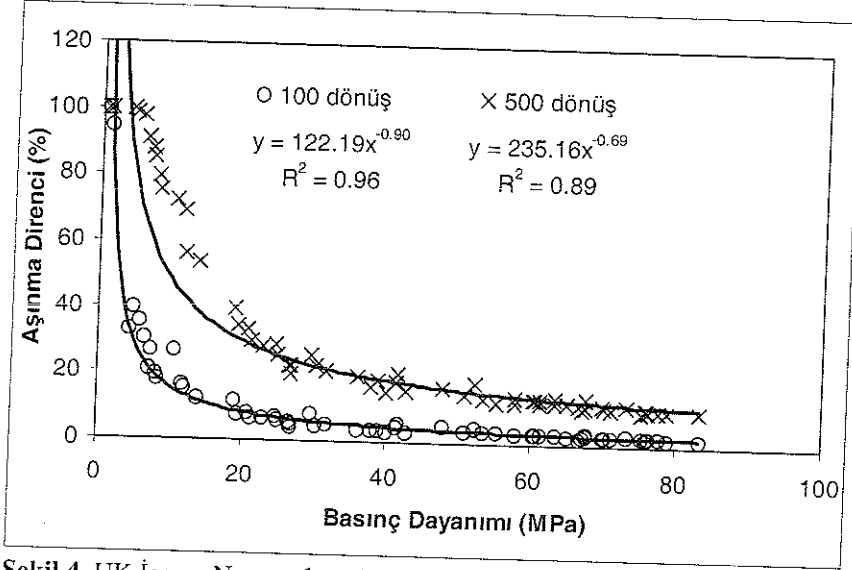
Çizelge 8. 100 Dönüş Sonunda UK İçeren Numunelere Ait Aşınma Değerleri

Numune	Aşınma Direnci (%)						
	1. Gün	3. Gün	7. Gün	28. gün	90. gün	180.Gün	360.Gün
U0	16.54	5.53	3.45	3.14	3.11	2.99	2.61
U5	18.10	4.22	3.31	3.07	2.89	2.72	2.55
U10	19.87	5.08	3.19	2.60	2.38	2.35	2.25
U15	21.03	6.15	3.84	2.62	2.31	2.28	2.20
U20	30.70	6.79	3.86	3.55	3.36	2.79	2.55
U25	33.29	6.61	4.94	3.59	3.22	2.57	2.45
U30	35.55	7.98	4.90	4.30	3.26	3.08	2.89
U50	94.52	15.52	8.14	6.04	5.77	4.45	3.25
U75	100.00	39.73	26.88	20.79	12.30	11.92	7.49

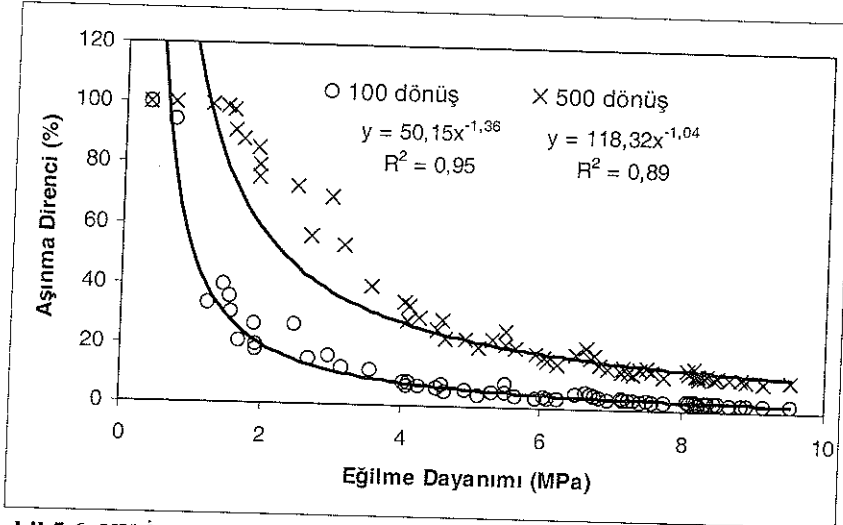
Çizelge 9. 500 Dönüş Sonunda UK İçeren Numunelere Ait Aşınma Değerleri

Numune	Aşınma Direnci (%)						
	1. Gün	3. Gün	7. Gün	28. gün	90. gün	180.Gün	360.Gün
U0	69.57	22.76	18.39	13.43	13.38	13.31	11.11
U5	75.46	20.13	15.77	12.26	11.56	10.90	9.93
U10	79.49	22.64	15.03	12.21	11.90	10.45	10.26
U15	88.17	25.65	16.79	12.29	12.00	11.05	10.17
U20	90.87	28.58	19.84	14.64	13.95	11.30	10.53
U25	99.73	29.80	21.12	16.80	13.48	12.20	10.99
U30	97.94	34.87	22.89	18.04	14.10	12.56	11.93
U50	100.00	56.47	33.43	25.77	20.67	17.93	14.22
U75	100.00	98.77	85.10	72.52	53.69	39.99	28.99

UK'lere ait numunelerin basınç dayanımlarına karşılık gelen aşınma değerleri 100 dönüş ve 500 dönüş için ayrı olarak Şekil 4'de bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Burada aşınma direnci ve basınç dayanımı arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğu görülmektedir. Elde edilen ilişkinin korelasyon katsayısı 100 dönüş için 0.96 ve 500 dönüş için 0.89 dur.



Şekil 4. UK İçeren Numunelere Ait Aşınma Direnci-Basınç Dayanımı İlişkisi



Şekil 5.6. UK İçeren Numunelere Ait Aşınma Direnci-Eğilme Dayanımı İlişkisi

UK'lere ait numunelerin eğilme dayanımlarına karşılık gelen aşınma değerleri 100 dönüş ve 500 dönüş için ayrı olarak Şekil 5'te verilmektedir. Korelasyon katsayıları da 100 ve 500 dönüş için 0.95 ve 0.89 olmaktadır.

5. SONUÇLAR

PÇ, UK ile ikili kombinasyonları olarak hazırlanan tüm numunelerin, basınç ve eğilme mukavemetleri arasında kuvvetli bir ilişki olduğu görülmüştür.

PÇ ile birlikte sadece UK içeren harç karışımlarında ilk günlerde basınç dayanımı kazanımları, ikame oranları arttıkça yavaş olduğu görülmüştür, fakat daha sonraki günlerde basınç dayanımı kazanımını giderek artış göstermiştir.

360 günün sonunda genel olarak ikili harç karışımlarından PÇ+UK içeren numuneler şahit numunenin basınç değerini %9-%24 oranında aşmışlardır.

Tüm numunelerde aşınma mukavemeti ile basınç ve eğilme mukavemetleri arasında kurulan ilişkilerin kuvvetli olduğu görülmüştür.

Sadece PÇ ve UK içeren numunelerde 1 yılın sonunda %25'e kadar UK katkısının kontrol numunelere göre aşınmayı iyileştirdiğini ve %25 katkıdan sonra %75 katkı oranına kadar UK miktarının artmasıyla aşınma değerlerinin de arttığı görülmüştür.

Basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve aşınma dayanımı sonuçlarına göre ikili karışımlarda %5-%30 mertebesinde UK'ün çimento katkı malzemesi olarak kullanılabilmesi kanaatine varılmıştır.

6. KAYNAKLAR

1. Poon, C.S., Lam, Wong, Y.L., "A Study on High Strength Concrete Prepared with Large Volumes of Low Calcium Fly Ash", *Cement and Concrete Research*, Vol. 30, pp. 447-455, 2000.

2. Hassan, K.E., Cabrera, J.G., Maliche, R.S., "The Effect of Mineral Admixtures on the Properties of High-Performance Concrete", *Cement and Concrete Composites*, Vol. 22, pp. 267-271, 2000.

3. Erdoğan, T.Y., *Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş. Ankara, 741 s., 2003.*

4. Naik, T.R., Sing, S.S., Hossain, M.M., "Properties of High Performance Concrete Systems Incorporating large amounts of High-Lime Fly Ash", *Construction and Building Materials*, Vol. 9, no. 4, pp. 195-204, 1995.

5. Yen, T., Hsu, T.H., Liu, Y.W., Chen, S.H., "Influence of Class F Fly Ash on the Abrasion-Erosion Resistance of High-Strength Concrete", *Construction and Building Materials*, 2005.

