

UÇUCU KÜLLÜ BETONLARIN MEKANİK ÖZELİKLERİ ÜZERİNE BİR DENEYSEL ÇALIŞMA

Ahmet GÖKÇE
Doktora Öğrencisi
Boğaziçi Üniversitesi
İstanbul

O. Cihan ÇİÇEKLİ
Araş. Gör.
Dumlupınar Üniversitesi
Kütahya

Mehmet UYAN
Prof. Dr.
İ.T.Ü.
İstanbul

Erbil ÖZTEKİN
Prof. Dr.
Sakarya Üniversitesi
Sakarya

ÖZET

Seyitömer termik santralından sağlanan uçucu külün kullanıldığı çalışmada, 300 ve 375 kg/m³ dozajlı iki şahit beton ile bu betonlara karşılık test edilmek üzere ağırlık cinsinden %10, %20 ve %30 ikame oranlarında uçucu kül kullanılarak tasarlanmış 3'er adet seriyi kapsayan toplam 8 seri beton üretilmiştir. Her seride işlenebilme sabit tutulmuş (çökme 12±1 cm), su miktarı değişmiştir. Üretilen serilerden 7×7×28 cm'lik numuneler hazırlanmış, bunlar üzerinde 3, 7, 28 ve 91 gün sonunda eğilme ve basınç deneyleri yapılmıştır.

Sonuçlar, uçucu kül ikamesinin erken yaşlarda basınç ve eğilme dayanımlarını benzer biçimde olumsuz olarak etkilediğini, ancak bu olumsuzluğun %10 ikame oranı için 28. günde kaybolduğunu, %20 ikame oranında ise oldukça azaldığını göstermektedir. Uçucu küllü serilerin tümünde 91 günlük eğilme dayanımları şahit betonun 28 günlük düzeyini aşmış, basınç dayanımlarında ise yalnız %30 luk seriler şahit betonun 28 günlük düzeyinin %6 altında kalmış, diğerleri geçmiştir. Bu sonuçlar BS 14 -BS 25 arası beton sınıflarında %10 ila %20 mertebesindeki düşük oranlarda uçucu kül ikamesinin dayanımı olumsuz etkilemeyeceğine işaret etmektedir.

1. GİRİŞ

Portland çimentosunun icadı üzerinden 150 yılı aşkın bir sürenin geçmiş olmasına rağmen henüz insanlığın hizmetine teknik ve ekonomik açıdan beton kadar yaygın olarak kullanılabilecek alternatif bir yapı malzemesi sunulamamıştır. Plastik ve diğer hafif kütleli malzeme teknolojilerinde gerçekleştirilen önemli gelişmelere rağmen bu malzemelerin, çoğu uygulama için betonun yerini alabilmesinin zor olduğu görülmektedir [1]. Bu durumun ana nedeni betonun yüksek performans/maliyet oranına ulaşamamış olunmasıdır. Görünen odur ki beton kolay kolay yerini başka alternatife bırakacak bir malzeme değildir. Belki de yapılması gereken yeni bir alternatif aramak değil, 2000’li yılların ihtiyacına cevap verebilecek beton teknolojisini geliştirmektir.

Günümüzde endüstriyel bir ürün niteliği taşıyan betonun üretimi konusunda mühendise teknik gereklere en uygun ve en ekonomik tasarımları ortaya çıkarmak düşmektedir. Türk inşaat endüstrisi sahip olduğu zengin malzeme yelpazesi ile bu konuda oldukça şanslı sayılmakla birlikte bu şansını iyi kullanabildiği tartışılır durumdadır. Bir endüstriyel atık olarak uçucu külün bu yelpaze içinde, olması gerektiği düzeyde yer almadığı bir gerçektir. Beton endüstrisi, tutucu yaklaşımlarından ve geleneksel beton kalıplarından sıyrılarak çevre düşmanı, beton dostu (akılcı kullanıldığında) olan bu bol ve ekonomik malzemeye hak ettiği ilgiyi göstermelidir.

Çalışmanın özünde ülkemize ait değerlendirilmeyi bekleyen bu endüstriyel atığın yararlı karakterini ortaya çıkarmak yolunda küçük bir katkı üretme çabası yatmaktadır. Aşağıda sunulduğu şekilde beton endüstrisinin sözkonusu uçucu kül kaynağına yaklaşımına ışık tutması ümit edilen bir laboratuvar çalışması gerçekleştirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Çalışmada farklı ikame oranlarında uçucu kül içeren betonlar ile bu betonlara ait farklı dozajdaki şahit betonların erken ve ileri yaşlardaki basınç ve eğilme dayanım düzeyleri

arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılması amaçlanmış, uygulamaya yönelik fikir verebilecek uygun ikame oranları (basit ikame metoduna bağlı olarak) saptanmaya çalışılmıştır.

2.2. Kullanılan Malzemeler

Çalışma için gerekli çimento Büyükçekmece Akçimento fabrikasından ardışık üretim olarak temin edilmiştir. Çimentonun cinsi PÇ 32.5' dur. Uçucu külün kaynağı Seyitömer termik santralidir. Uçucu kül C sınıfının alt sınırında bir karaktere sahiptir. Uçucu külün ve çimentonun kimyasal bileşimleri ile ilgili veriler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Çimento ve Uçucu Kül Numunelerinin Kimyasal Bileşimleri

Bileşen (%)	PÇ 32.5	Uçucu Kül	TS 639 Sınırları
Çözünmeyen Kalıntı	0.65	—	—
SiO ₂	21.21	48.13	—
Al ₂ O ₃	5.55	14.64	—
Fe ₂ O ₃	3.31	12.13	—
S+A+F	—	74.90	>70
CaO	64.16	9.52	—
MgO	1.15	5.70	<5
SO ₃	2.66	4.32	<5
Na ₂ O	—	0.50	
K ₂ O	—	2.00	
Kızdırma Kaybı	0.98	2.36	<10

Çalışma boyunca kullanılan agrega türü ve granülometrisi değişmemiştir. Maksimum tane çapı 16 mm olarak seçilmiştir. Kırmataş II, kırmataş I, kırma kum ve doğal deniz kumu olmak üzere ideal oranlarda dört çeşit agrega kullanılmıştır.

2.3. Üretilen Betonların Özellikleri

İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında gerçekleştirilen çalışmada ikisi farklı dozajlı şahit (uçucu külsüz) , altısı uçucu kül içeren seri olmak üzere toplam 8 seri beton üretilmiştir. Uçucu küllü betonlarda %10, %20 ve %30 olmak üzere üç ayrı ikame oranı ile çalışılmıştır. Şahit betonlar için çimento dozajı ve uçucu küllü betonlar için toplam bağlayıcı miktarı 300 ve 375 kg/m³ olarak seçilmiştir. Çimento ile yer değiştiren uçucu külün (ağırlıkça) çimentoya göre daha fazla hacim kaplaması sebebiyle bu hacim fazlalığı kum hacmi kısıtlanarak dengelenmiştir. Deneylerde kimyasal katkı kullanılmamıştır. Üretilen 8 seri betona ait gerçek bileşimler ve taze beton özellikleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Üretilen Betonların Bileşimleri ve Taze Beton Özellikleri

Toplam bağlayıcı miktarı (kg/m ³)	300				375			
U. kül ikame yüzdesi (%)	0	10	20	30	0	10	20	30
Çimento (kg/m ³)	300	270	240	210	375	338	300	263
Uçucu kül (kg/m ³)	0	30	60	90	0	37	75	112
Kırmataş II (kg/m ³)	359	360	358	356	345	343	339	334
Kırmataş I (kg/m ³)	721	720	719	715	704	697	690	680
K. Kum (kg/m ³)	273	273	273	271	263	260	258	254
D. Kum (kg/m ³)	443	428	409	390	427	405	381	350
Su (kg/m ³)	228	232	232	237	228	235	241	250
Su/(Çimento+U.Kül) oranı	0.76	0.77	0.77	0.79	0.61	0.63	0.64	0.67
Çökme (cm)	12	11.5	12	12	11.5	11.0	11.5	11.5
Birim ağırlık (kg/m ³)	2324	2313	2292	2269	2342	2315	2284	2243

2.4. DeneySEL Yöntem

Amaçlanan deney programı için gerekli numunelerin üretiminde kıvam sabit tutulmuş, 1 cm tolerans ile 12 cm’lik çökme değerine ulaşılmaya çalışılmıştır. Üretilen beton 7×7×28

cm boyutlarındaki prizma kalıplara yerleştirilmiş, takip eden 24 saat sonunda numuneler kalıplardan çıkarılmış ve kirece doygun 20 ± 3 °C sıcaklıktaki su ortamında küre tabi tutulmuşlardır. Her seriye ait 3, 7, 28 ve 91 günlük numuneler üzerinde eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Her yaş için 2 eğilme, 4 basınç dayanımı değeri elde edilmiştir.

3. DENEY SONUÇLARI

Çalışmaya ait numunelerden test edildikleri yaşlarda elde edilen basınç dayanımı değerleri Tablo 3’de, eğilme dayanımı değerleri Tablo 4’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Serilere ait numunelerden elde edilen basınç dayanımı değerleri

Uçucu Kül İkame Yüzdesi (%)	300 kg/m ³ Dozajlı Serilerin Basınç Dayanımları (N/mm ²)				375 kg/m ³ Dozajlı Serilerin Basınç Dayanımları (N/mm ²)			
	3 gün	7 gün	28 gün	91 gün	3 gün	7 gün	28 gün	91 gün
0	14.9	22.0	32.2	35.3	27.4	32.7	40.5	45.3
10	12.9	19.1	31.4	35.6	19.6	32.5	40.9	53.3
20	11.9	18.0	29.0	34.1	13.8	22.2	36.4	42.5
30	8.0	13.5	25.6	30.2	11.64	19.4	32.2	37.8

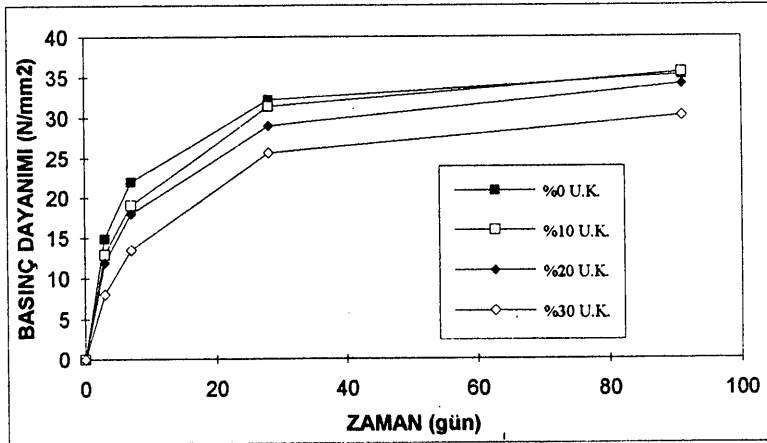
Tablo 4. Serilere ait numunelerden elde edilen eğilme dayanımı değerleri

Uçucu Kül İkame Yüzdesi (%)	300 kg/m ³ Dozajlı Serilerin Eğilme Dayanımları (N/mm ²)				375 kg/m ³ Dozajlı Serilerin Eğilme Dayanımları (N/mm ²)			
	3 gün	7 gün	28 gün	91 gün	3 gün	7 gün	28 gün	91 gün
0	3.1	4.8	6.4	7.3	4.4	6.0	7.6	8.9
10	2.7	3.8	6.0	7.6	3.6	5.5	6.3	7.9
20	2.6	3.6	5.9	7.2	2.6	4.6	6.8	7.9
30	1.8	2.9	5.3	6.7	2.6	4.0	7.0	7.6

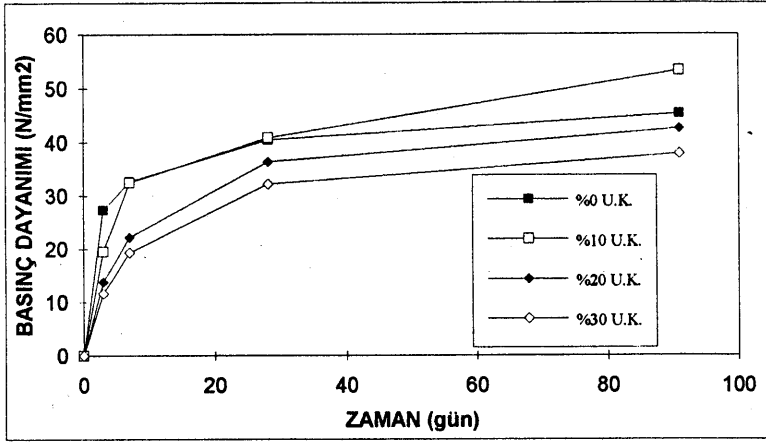
4. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

4.1. Basınç Dayanımı

Tablo 3'deki değerler yardımı ile serilerin değişik dozajlardaki yaşa bağlı olarak basınç dayanımı gelişimleri arasındaki ilişki yorumlandığında, erken yaşlar için uçucu kül ikamesinin basınç dayanımı gelişimini genelde olumsuz yönde etkilediği ortaya çıkmaktadır. 28. güne gelindiğinde her iki dozajda da %10 uçucu kül ikame edilmiş serinin basınç dayanımının şahit basınç dayanımı düzeyinde olduğu anlaşılmaktadır. %20 uçucu kül ikame edilmiş serilerin basınç dayanımları şahitlerini %90, %30 uçucu kül ikame edilmiş serilerin basınç dayanımları ise şahitlerini %80 nispetinde karşılayacak düzeye ulaşmıştır. 91 günlük değerler ele alındığında %10 ikame oranlı serilerde şahit dayanımının geçildiği, %20 ikame oranlı serilerde ise şahitin 28 günlük dayanım düzeyinin aşıldığı ortaya çıkmaktadır. 91. günde yine iki dozaj için de, %30 ikame oranlı serilerin basınç dayanımlarının diğer ikame oranlarına nispeten daha düşük olduğu, istenilen düzeyde dayanım gelişimini tamamlamadıkları görülmektedir. Her iki dozaj için serilerin basınç dayanımı gelişimleri Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. 300 kg/m³ dozaj için üretilmiş serilerin basınç dayanımı gelişimleri



Şekil 2. 375 kg/m³ dozaj için üretilmiş serilerin basınç dayanımı gelişimleri

Farklı dozajlı şahit betonların 28 günlük basınç dayanımı değerlerini 100 birim kabul etmek suretiyle serilerin zamana bağlı basınç dayanımı değerleri 28 günlük şahit basınç dayanımlarının yüzdesi olarak tablo halinde aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

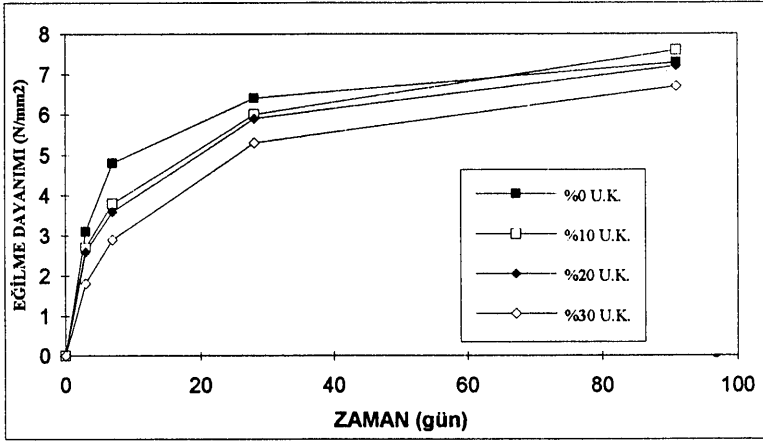
Tablo 5. 28 günlük şahit basınç dayanımlarının yüzdesi olarak zamana bağlı dayanım değerleri

Uçucu Kül İkame Yüzdesi (%)	28 günlük şahit basınç dayanımlarının yüzdesi olarak zamana bağlı dayanım değerleri (%)							
	300 kg/m ³ Dozajlı Şahit Yüzdesi				375 kg/m ³ Dozajlı Şahit Yüzdesi			
	3 gün	7 gün	28 gün	91 gün	3 gün	7 gün	28 gün	91 gün
0	46.3	68.3	100	109.6	67.6	80.9	100.0	112.0
10	40.1	59.3	97.5	110.6	48.4	80.5	101.0	131.8
20	37.0	55.9	90.1	105.6	34.2	54.8	89.9	105.1
30	24.8	41.9	79.5	93.8	28.8	47.8	79.5	93.4

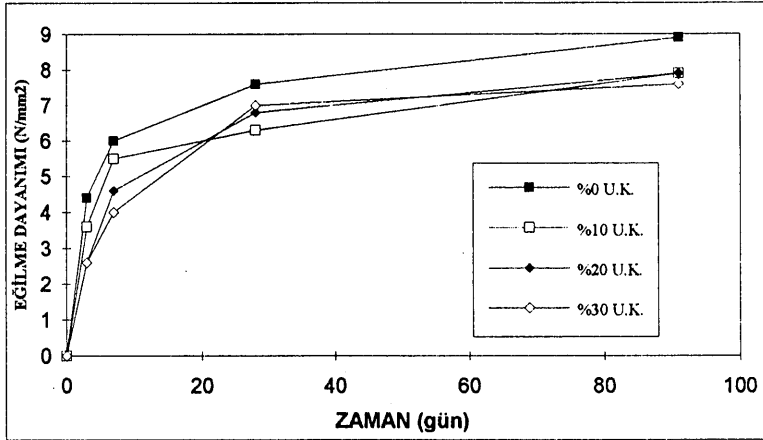
Tablo 5’de de görüldüğü gibi uçucu kül ikamesinin 28 günlük basınç dayanımı üzerinde %10 ve %20 gibi düşük ikame oranları için dikkat çekici bir olumsuz etkisi olmamaktadır. Diğer bir değişle erken yaşlarda sözkonusu olan olumsuz etki oldukça azalmakta ya da yok olmaktadır. 91 günlük basınç dayanımlarında ise yalnız %30’luk seriler şahit betonların 28 günlük düzeylerinin % 6 altında kalmakta, diğerleri geçmektedir.

4.2. Eğilme Dayanımı

Tablo 4’de özetlenen eğilme dayanımı sonuçlarına göre, basınç dayanımına benzer şekilde her iki dozajda 3 ve 7 günlük eğilme dayanımlarının uçucu kül ikamesinden olumsuz şekilde etkilendiği anlaşılmaktadır. Daha ileri yaşlarda, iki ayrı dozaj için uçucu küllü serilerin eğilme dayanımı girişim yapmaktadır. Her iki dozaj için serilerin eğilme dayanımı gelişimleri Şekil 3 ve Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 3. 300 kg/m³ dozaj için üretilmiş serilerin eğilme dayanımı gelişimleri



Şekil 4. 375 kg/m³ dozaj için üretilmiş serilerin eğilme dayanımı gelişimleri

Basınç dayanımında olduğu gibi farklı dozajlı şahit betonların 28 günlük eğilme dayanımlarını 100 birim kabul etmek suretiyle serilerin zamana bağlı eğilme dayanımı değerleri 28 günlük şahit eğilme dayanımlarının yüzdesi olarak Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. 28 günlük şahit eğilme dayanımlarının yüzdesi olarak zamana bağlı eğilme dayanımı değerleri

	28 günlük şahit eğilme dayanımlarının yüzdesi olarak zamana bağlı eğilme dayanımı değerleri (%)							
Uçucu Kül İkame	300 kg/m ³ Dozajlı Şahit Yüzdesi				375 kg/m ³ Dozajlı Şahit Yüzdesi			
Yüzdesi (%)	3 gün	7 gün	28 gün	91 gün	3 gün	7 gün	28 gün	91 gün
0	48.4	75	100	114.1	58.7	79.6	100	117.8
10	42.2	59.4	93.8	118.8	47.8	72.6	83.7	103.9
20	40.6	56.3	92.2	112.5	34.0	60.2	90.3	104.8
30	28.1	45.3	82.8	104.7	34.1	53.0	92.3	101.0

Tablo 6’da 91 günlük değerler incelendiğinde 28 günlük şahit beton eğilme dayanımı değerlerinin tüm farklı ikame oranlarına sahip uçucu küllü seriler tarafından sağlandığı açıkça anlaşılmaktadır.

5. SONUÇ

Seyitömer uçucu külünün kullanıldığı betonların mekanik özelliklerini değerlendirmek amacıyla beton üzerinde yapılan basınç ve eğilme dayanımı deneylerinden aşağıdaki sonuçlara varılabilir :

Uçucu kül ikamesi erken yaşlarda basınç ve eğilme dayanımlarını benzer biçimde olumsuz olarak etkilemekte, ancak bu olumsuzluk %10 ikame oranı için 28. günde kaybolmakta, %20 ikame oranında ise oldukça azalmaktadır. Uçucu küllü serilerin tümünde 91 günlük eğilme dayanımları şahit betonun 28 günlük düzeyini aşmakta, basınç dayanımlarında ise yalnız %30’luk seriler şahit betonun 28 günlük düzeyinin %6 altında kalmakta, diğerleri geçmektedir.

BS 14 - BS 25 arası beton sınıflarında %10 ila %20 mertebesinde uçucu kül ikamesi dayanımı olumsuz etkilemeyecek, ancak ekonomik açıdan yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Gambhir, M. L., Concrete Technology , Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd., New Delhi, 1993