

*Türkiye 14 Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 02-04 Haziran 2004 Zonguldak, Türkiye  
Proceedings of the 14th Turkey Coal Congress, June 02-04, 2004, Zonguldak, Turkey*

## **SOMA TERMİK SANTRAL ATIĞI UÇUCU KÜLÜN İNŞAAT SEKTÖRÜNDE DEĞERLENDİRİLMESİ**

### **EVALUATION OF SOMA THERMIC POWER PLANT WASTE FLY ASH IN THE CONSTRUCTION SECTOR**

**Osman ÜNAL**, A.K.Ü., Teknik Eğitim Fakültesi, AFYON  
**Tayfun UYGUNOĞLU**, A.K.Ü., Teknik Eğitim Fakültesi, AFYON

#### **ÖZET**

Bu çalışmada; Soma Termik Santrali'ne ait uçucu kül, agrega ve PKÇ32.5 çimentosu kullanılarak üretilen betonların özelliklerine uçucu kül katkısının etkisi araştırılmıştır. Beton numunelerde, su/çimento oranı 0.65, maksimum agrega tane çapı 31.5mm ve 300 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajı esas alınmıştır. Karışımlardaki çimento miktarı ağırlıkça % 10, % 20 ve %30 ve %40 oranlarında uçucu kül ile ikame edilmiştir. Üretilen numunelerde önce su emme deneyi, daha sonra ultrases geçiş süreleri, tek eksenli basınç deneyleri yapılarak 7 ve 28 günlük özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca numunelerin donma-çözülme dayanımları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; çimento % 10-20 oranında uçucu kül ile ikame edilmesi durumunda, beton özelliklerinde olumsuz bir etki görülmemiştir.

#### **ABSTRACT**

In this study, the effect of fly ash content on the properties of concrete produced from aggregate and fly ash Soma thermic power plant is investigated. The PKÇ 32.5 cement is used as the binder. The concrete samples are prepared with 0,65 water/cement ratio, 31,5 mm aggregate grain diameter and 300kg/m<sup>3</sup> dosage. The cement contents in the mixtures are substituted with 10, 20, 30 and 40 % (wt) fly ash. Firstly, the water absorption experiments are carried out on the samples. Later, the ultrasound transmission times are measured on the same samples. Then, the uniaxial compression tests for 7 and 28 days are done. The freeze-thaw resistance of the samples are also obtained. As a result, the 10, 20 % (wt) substitution of fly ash to the cement does not affect the properties negatively.

## 1.GİRİŞ

Elektrik santrallerinde atılan gaz halindeki yanma atıklarının dışında, baca gazlarıyla beraber yanmamış yakıt toz ve zerrelere, kül, kükürtlü gazlar, ağır metaller v.b, gibi yabancı maddelerle atmosfere bırakılır.Yakıtta bulunan mineral yabancı maddeler yakma tesisine göre cüruf ve kül olarak veya baca gazlarıyla birlikte sürüklenerek ortamdaki uzaklaşırlar.

Kömürle çalışan termik santrallerde bacadan uzaklaşan ve uçucu kül olarak tanımlanan en önemli atık malzeme, yanma nedeniyle baca tarafından çekilen gazlarla birlikte yukarıya sürüklenen (uçan) çok ince kül parçacıklarıdır. Bu ince kül parçacıkları elektro filtrelerde yakalanmakta, baca gazları ile atmosfere çıkışları önlenmektedir (Müezzinoğlu.,1987).

Ülkemizde üretilen toplam elektrik enerjisinin yarısından fazlası termik santrallerden elde edilmektedir. Uçucu küllerin santrallerden dışarı atılmasının ciddi ekonomik ve ekolojik sorunlar ortaya çıkardığı bilinen bir gerçektir. Dolayısıyla, uçucu küllerin beton üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılması iki yönlü yarar sağlamaktadır. Bir yandan kül atım masrafları ve sorunları azaltılırken diğer yandan da üretilen betonun maliyeti düşürülebilmektedir (Tokyay.,1989).

## 2. UÇUCU KÜLLER

### 2.1 Uçucu külün tanımı ve özellikleri

Modern termik santrallerde en önemli atık malzeme; toz kömürün yanmasıyla meydana gelen, baca gazlarıyla sürüklenen çok ince kül parçacıklarıdır. Bu ince kül parçacıkları elektrostatik yöntemlerle elektro filtrelerde ve siklonlarda yakalanmakta ve baca gazları ile atmosfere çıkışları önlenmektedir. Uçucu kül tanecikleri genellikle küresel yapıda olup büyüklükleri 1-200um arasında değişmektedir. Uçucu küllerin tane boyutları termik santraldeki kül toplama yöntem ve ekipmanlarına bağlıdır. Siklonlarda toplanan küller, elektro filtrelerde toplananlardan daha iri tanelidirler. Uçucu küllerin renkleri açık bejden kahverengiye, griden siyaha kadar değişik tonlarda olabilir. İçindeki yanmamış karbon miktarı arttıkça uçucu küllerin rengi koyulaşır.

### 2.2 Uçucu küllerin sınıflandırılması

Uçucu küller kimyasal kompozisyonlarına göre değişik şekillerde sınıflandırılmaktadır. Son yıllarda geniş kabul gören sınıflandırma yöntemi uçucu külün içerdiği analitik CaO miktarına dayanmaktadır. Buna göre, CaO miktarı %10'un altında olan uçucu küller düşük kireçli yada düşük kalsiyumlu, %10'un üstünde olanlar ise yüksek kireçli yada yüksek kalsiyumlu uçucu küller olarak adlandırılırlar.

ASTM C618'e göre uçucu küller iki geniş kategoriye ayrılmaktadır.

- a)F sınıfı uçucu küller bitümlü kömürlerden elde edilip  
 $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 > \%70$  şartını sağlayan küllerdir,
- b) C sınıfı küller ise genelde linyitler ve yarı bitümlü kömürlerden elde edilip  
 $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 > \%50$  şartını sağlayan küllerdir.

Silikoaluminöz küller ASTM F sınıfına dahildirler. Silikokalsik uçucu küllerin kimi F sınıfı kimi C sınıfına, sülfokalsik uçucu küllerin bir çoğu ise C sınıfına girerler.

### 2.3 Uçucu Küllerin Değerlendirilmesi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Uçucu küllerin miktar bakımından en fazla potansiyel kullanımı çeşitli inşaat mühendisliği alanlarıdır. Yaklaşık 60 yıllık bir süreden beri yapılan araştırmalar uçucu küllerin çimento, beton, gaz beton, tuğla ve hafif agrega üretiminde, zemin stabilizasyonunda ve dolgu yapımında kullanımının olumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu çalışmalardan bazıları şöyle özetlenebilir.

Betonda uçucu kül kullanımı önemli birçok avantaj sağlar. Uçucu küllerin kullanımıyla elde edilebilecek yararlar yalnızca çevre koruma ve enerji tasarrufu ile sınırlı değildir. Betonda kullanıma uygun bir uçucu kül betonun daha ekonomik ve daha uzun ömürlü performans düzeyi sağlamasına sebep olur. Betonda katkı maddesi olarak uçucu kül kullanımının özellikle kütle yapılarında daha pratik ve ekonomik olduğu çeşitli kaynaklarda belirtilmiştir.

Özellikle kütle betonlarında çimentonun ağırlıkça %20-25 oranında uçucu külle değiştirilebileceği belirtilmektedir. Uçucu külün ince agrega yerine kullanıldığı karışımlarda ise %25 katkı oranının uygun olacağı belirtilmiştir. Uçucu külün çok düşük oranda kullanılması halinde betonda alkali-agrega reaksiyonlarına yol açabileceği de çeşitli araştırmacılar tarafından belirtilmektedir.

Betonda kısmen çimento yerine kullanıldığı zaman uçucu külün, çimentonun ancak yarısı kadar hidrasyon ısıyı yaydığı tespit edilmiştir. Fransa'da yapılan araştırmalara göre, klinker ile beraber öğütülmüş külün hidrasyon ısısında değişiklik yapmadığı tespit edilmiştir (Gül vd.,1997)

Uçucu külün çimentoya katılması ile betonda veya çimento hamurunda biraz hacim genişmesi olmakta, rötre ise azalmaktadır. Normal kür metotları ile yüksek incelik ve düşük karbon miktarı taşıyan uçucu küllü betonlarda ağırlıkça çimento miktarı kadar uçucu kül kullanılmışsa ilk 90 günde betonun basınç dayanımının normal betona göre düşük olduğu, fakat bu süreden sonra normalin üstüne çıktığı belirtilmektedir. Betonda kül miktarı çimento miktarından daha fazla olduğu zaman, basınç dayanımı katkısız betonun basınç dayanımından daha fazla olmakta ve bu sonuçlar karışımın tipine, kullanılan malzeme miktarına bağlı olarak değişmektedir(E.I.E.,1982).

Sakarya Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada, uçucu kül katkılı betonların basınç dayanımları karışımdaki uçucu kül miktarına bağlı olarak azalma eğilimi göstermektedir. %10 ve %20 oranlarında uçucu kül kullanımı ile elde edilen betonların basınç dayanımları irdelendiğinde, şahit betona yakın değerler elde edilmektedir. Yapılan araştırma sonucunda endüstriyel atık olan uçucu külün %20 oranında çimento yerine kullanılmasının beton basınç dayanımı açısından olumlu sonuçlar verdiği, bu nedenle hem çimento hammaddesinden ekonomi sağlamak hem de atık malzemenin değerlendirilmesi yönünden beton üretimin de kullanılmasının gereği ortaya çıkmaktadır(Sümer.,1998).

Kılcal geçirimsizlik katsayısı durabilitenin bir göstergesi olarak kabul edilirse uçucu külün etkisi kesinlikle olumlu görülmüştür. Uçucu kül ikamesi, kılcal geçirimsizliği azaltmaktadır. Diğer taraftan kül ikamesi, erken dayanımları olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuz etki %10 ve %20 ikame oranları için düşük, ancak %30 ve %40 ikame oranları için daha belirgin olmaktadır(Sümer.,1998).

Beton üretiminde çimento yerine ağırlıkça %15 civarında uçucu kül kullanılması durumunda normal betonlara eşdeğer dayanım özellikleri sağlanmaktadır. Daha yüksek oranda uçucu kül kullanılması durumunda beton dayanımında azalma oluşmaktadır. Bunun nedeni uçucu külde S+F+A toplam miktarının yeterli olmasından kaynaklanmaktadır. Belirtilen oranlarda uçucu kül kullanarak üretilen betonda önemli ölçüde ekonominin sağlanması mümkündür(Ramyar.,1993).

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. Aksi takdirde, uçucu külün betonun donma dayanıklılığını olumsuz etkilediği düşünülmektedir.

Ülkemizde ve diğer ülkelerde enerji üretimi amacı ile çalışan termik santraller, çalışmaları sırasında büyük miktarda uçucu kül ve kazan altı cürufu adı verilen atıklar açığa çıkarmaktadırlar. Uçucu küllerin, teknik, ekonomik ve çevresel şartlarda göz önüne alındığında, inşaat sektöründe değerlendirilmesi artık bir zorunluluk haline gelmiştir.

Bu çalışmada karışımda kullanılan çimentonun belirli bir kısmı uçucu kül ile yer değiştirilerek üretilen beton numunelerinin özelliklerine uçucu külün etkisi araştırılmıştır. Ayrıca üretilen numunelerin donma-çözülme özellikleri de belirlenmiştir.

### **3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

#### **3.1 Agrega Özellikleri**

Beton karışımlarında kullanılan malzemeler GEN-HAN hazır beton santralinden sağlanmıştır. Beton üretiminde kullanılan 0-4mm tane dağılımına sahip kırma kum üzerinde yapılan deneylerde, organik madde bulunmadığı (renk açık), 24 saat dinlendirme sonucunda ağırlıkça % 1.04 oranında çamurlu madde bulunduğu saptanmıştır.

Uçucu kül katkı beton numunelerin üretiminde iki çeşit kırma taş agregası kullanılmıştır. Agregaların iri kısmını oluşturan kırma taş GEN-HAN hazır beton tesislerinden alınmıştır. Karışımda A32 serisinde 4/16 tane grubunda Kırmataş I ve 16/31.5 tane grubunda Kırmataş II malzemeleri kullanılmıştır. Beton bileşimine giren agregaların elek analizleri T.S 706'ya göre yapılarak granülometreleri ve özgül ağırlıkları Çizelge 1.'de verilmiştir.

Çizelge 1. Agregaların granülometri değerleri ve fiziksel özellikleri.

Elek Çapı	315 (mm)	16 (mm)	g (mm)	4 (mm)	2 (mm)	1 (mm)	0 25 (mm)	Karışım % oranı	Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Ozgul Ağırlık (kg/dm <sup>3</sup> )
Kırma Kum	100	100	100	95	60	32	15	40	1588	2 69
KırmataşI	100	97	27	8	0	0	0	35	1430	2 70
KırmataşII	100	16	3	0	0	0	0	25	1429	2 72
Karışım	100	78	50	41	24	13	6			

### 3.2 Uçucu kül

Beton karışımlarında kullanılan Soma termik santraline ait uçucu külün kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir(Türker vd.,2003). Bu özelliklere göre Soma uçucu külü, reaktif kireç miktarının %10'un üzerinde olması nedeniyle TS EN197-1'e göre " Kalkersi Uçucu Kül" kapsamına girmektedir. Ayrıca  $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$  miktarı için TS 639'da istenilen %70 şartını sağlamaktadır.

Çizelge 2. Soma uçucu kül kimyasal analiz sonuçları.

Bileşik Adı	%	TS 639	Bileşik Adı	%	TS639
$SiO_2$	45.71		MgO	1.58	En çok %5
$Al_2O_3$	23.67		$Na_2O$	0.40	
$Fe_2O_3$	4.47		$K_2O$	1.26	
S+A+F	73.85	En az %70	$SO_3$	4.11	En çok %5
CaO	17.16		KK	0.87	En çok %10
<b>er</b>	0.010				

Soma Termik Santralı uçucu külünün mineralojik bileşimini gösteren X-Işınları Difraktogramı incelendiğinde, başlıca kuvars, anhidrit, serbest kireç ve bunun yanında albit, kalsiyum ortosilikat, hematit, dolomit ve mullit içerdiği belirlenmiştir. Kül taneciklerinin büyük bir kısmı silisli ve alüminli cam bileşiminde, dolu veya boş küreciklerden oluşmakta olup bileşiminde çok az da karbon ve demir zerrecikleri bulunmaktadır.

Morfolojik analizinde ise, genellikle büyüklükleri 0.5-20 p.m arasında değişen, çoğunluğu düzensiz şekilli olmak üzere, yüzeyi pürüzlü küresel ve yarı küresel taneciklerden oluştuğu gözlenmiştir(Türker vd.,2003).

### 3.3 Çimento

Beton karışımlarında Afyon SET çimento fabrikasının üretimi olan PKÇ.32.5 tipi portland kompoze çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri, T.S 24'e göre, SET çimento fabrikası laboratuvarında yapılmış ve sonuçların T.S 19'da belirtilen standart değerlere uygun olduğu görülmüştür.

### Beton Karışımı ve Üretimi

Uçucu kül katkılı beton bileşimlerinde çimento miktarı  $300 \text{ kg/m}^3$  ve maksimum agrega çapı 31,5mm olmak üzere 5 serinin karışım amaçlanmıştır. Bu serilerde optimum su/çimento oranı 0,65 sabit alınarak, karışımlara katılan uçucu kül %10, 20, 30 ve 40 oranlarında çimento ile yer değiştirilmiştir. Karışımın granülometri eğrisi A32-B32 referans eğrileri arasında kalacak şekilde agrega oranları 0,40 kırma kum, 0,35 kırmataşlı ve 0,25 kırmataşlı olarak belirlenmiştir. Üretilen numunelerde UKBO ile şahit numuneyi, UKB10, UKB20, UKB30 ve UKB40 ile de uçucu küllü beton numuneleri gösterilmiştir.

Üretilen beton serilerinde kullanılması gereken miktarlar, 18 dm harman için ayarlanarak ağırlık olarak karışıma katılmıştır. Hazırlanan karışımlarda  $15*15*15\text{cm}$  boyutlarında 3'er ve  $10*10*10 \text{ cm}$  boyutlarında 5'er tane olmak üzere toplam 5 seri üretimde 40 küp numunesi üretilmiştir.

Hazırlanan beton karışımlar daldırma vibratörü ile kalıba yerleştirilmiş ve sıcaklığı  $20\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  ve %65 nemli laboratuvar ortamında 24 saat bekletildikten sonra kalıplarından çıkarılarak normal sıcaklıkta kirece doygun su içerisinde bekletilmiştir. Deney gününden bir gün önce su içerisinde çıkarılarak normal hava şartlarında bırakılan numuneler deney için hazırlanmışlardır. Üretilen numuneler üzerinde 7 ve 28 günlük deneyler yapılmıştır.

Su emme deneyinden çıkarılan aynı numuneler üzerinde ultrases geçiş süreleri, Schmidt çekici okumaları yapıldıktan sonra, donma-çözülme etkisinde bırakılmıştır. 2saat dondurucu içerisinde donma, 1saat su içinde çözülme olmak üzere toplam bir çevrim süresi en az 3 saat olarak belirlenen donma-çözülme çevrimi bütün numunelere 1 hafta sürekli uygulanmıştır. Ancak gece 8 saat dondurucu içerisinde dondurucu çalışmadan bekletilmiştir. Donma-çözülme çevrimleri tamamlanan numuneler üzerinde tekrar ultrases geçiş süreleri, Schmidt çekici okumaları yapıldıktan sonra tek eksenli basınç deneyi uygulanmıştır.

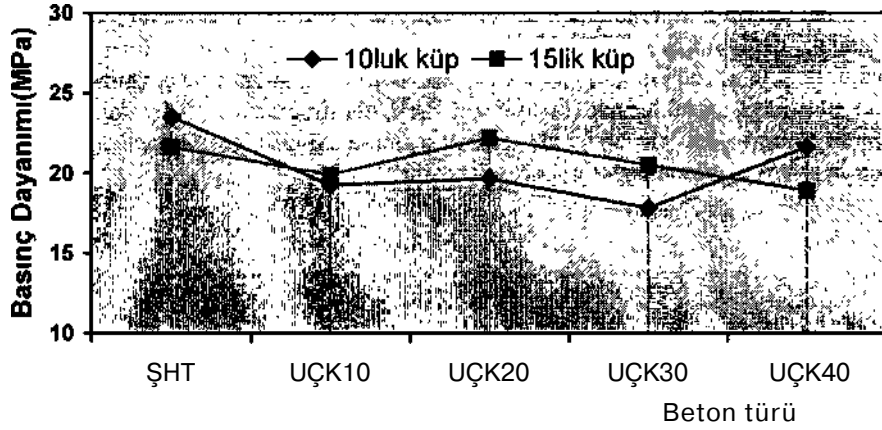
Taze beton özellikleri, Çizelge 3'de beton bileşenleriyle beraber gösterilmiştir. Burada hava boşluğu, taze betonun birim hacim ağırlık sonuçları TSE 3526 ve TSE 3527'ye göre hesaplanmıştır.

Çizelge 3.  $\text{m}^3$  beton bileşimine giren gerçek malzeme miktarları

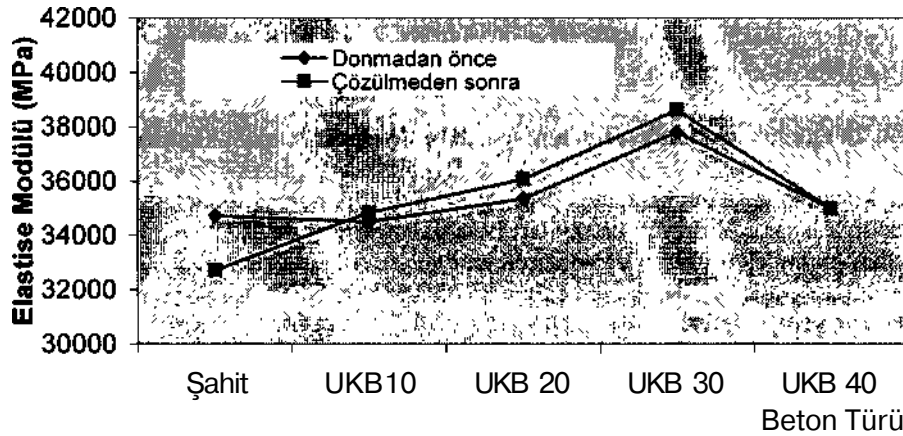
Beton Türü	Ç (Kg)	Su (litre)	Uçucu kül (kg)	Kum (kg)	KT I (kg)	KT II (kg)	Ag ( $\text{kg/m}^3$ )	Hava (%)	Komposite (%)
UKBO	301	196	0	736	654	467	2356	1,2	0,792
UKB10	267	193	29,7	724	643	458	2314	2,6	0,781
UKB20	242	197	61	737	653	466	2348	0,4	0,799
UKB30	207	192	89	716	635	453	2290	2,8	0,780
UKB40	182	197	122	733	651	464	2349	-	0,802

#### 4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE İRDELENMESİ

Yapılan çalışmada, bağlayıcı malzemenin belirli oranları uçucu kül ile değiştirilerek üretilen beton numunelerinin dayanımları ve donma-çözülme özellikleri araştırılmıştır. Buna göre Şekil 1'de verilen 28 Günlük uçucu kül katkılı 15 ve 10cm kenarlı küp beton numunelerinin basınç dayanımları ile uçucu kül miktarı arasındaki ilişki incelendiğinde, genel olarak beton içerisine katılan uçucu kül miktarı artıka dayanımda şahit betonun dayanımına göre azalma eğilimi görülmüştür. Dolayısıyla bağlayıcı olarak uçucu külün kimyasal bileşimi çimentonunkine benzemesine rağmen agregalarla aderansının iyi olmadığı söylenebilir.



Şekil 1. 28 Günlük numunelerin basınç dayanımları.



Şekil 2. 7 Günlük numunelerde donma-çözülme de elastisite modülündeki değişimler.

Elde edilen sonuçlar yardımıyla her seriye ait numunelerin birim ağırlıkları ve ultrases geçiş süreleri ve basınç dayanımları hesaplanmıştır. Numunelerin donmaya dayanıklılığı elastisite modüllerindeki değişimlere göre belirlenmiştir. Ultrases hızı (V) ile betonun elastisite modülü (E) arasında aşağıdaki bağıntı ya göre, elastisite modülü hesaplanmaktadır (Postacıoğlu, 1987).

$$E=10^{-4} \times V^2 \times A \times g^{-1} \quad [1]$$

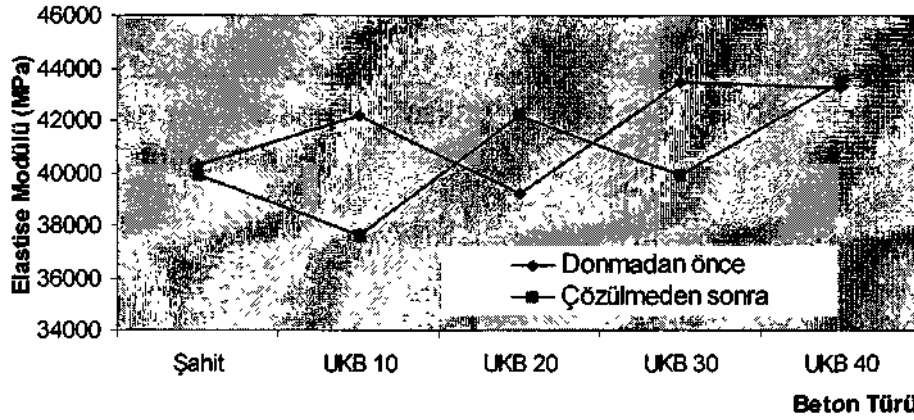
V= ultrases hızı (km/sn)

A= betonun birim ağırlığı (kg/dm<sup>3</sup>)

g= 9,8 İm/sn<sup>2</sup>

E = numunenin elastisite modülü (N/mm<sup>2</sup>)

Beton numunelerinin donma-çözülme özelliklerini belirleyen etkenlerden elastisite modülündeki değişimi Şekil 2 ve Şekil 3'de incelendiğinde; basınç dayanımlarındaki azalmanın tersine uçucu kül katkı miktarı artarken donmadan önce ve çözülmeden sonra betonun elastisite modüllerinde önemli bir fark görülmemiştir. Diğer taraftan şahit betonlarda donma-çözülme etkisinde çok az azalma eğilimi görülürken uçucu küllü betonlarda artma yönünde değerler elde edilmiştir.



Şekil 3. 28 Günlük numunelerde donma-çözülme de elastisite modülündeki değişimler.

Ayrıca kılcallık ve su emme deneyi yapılmıştır. Kılcallık deneyi sonuçları matematiksel modele uyarlanarak difüzyon katsayıları hesaplanmıştır (Uyan, 1975). Buna göre etüvde kurutulan numunelerin birim zamanlarda emdiği su miktarları tesbit edilerek kılcal su emme-zaman grafiği çizilerek elde edilen noktalara "En küçük kareler metoduna" göre en uygun doğru çizilmiştir.

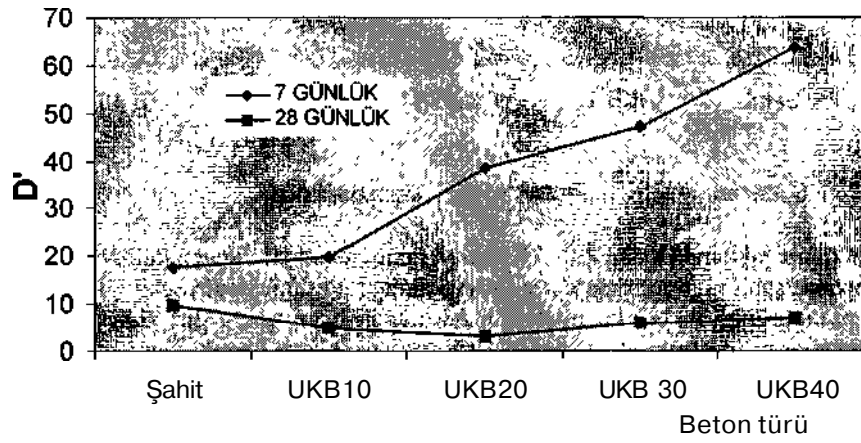
$$D'=(7t/4) \times S^2 \quad [2]$$

S=doğrunun eğimi

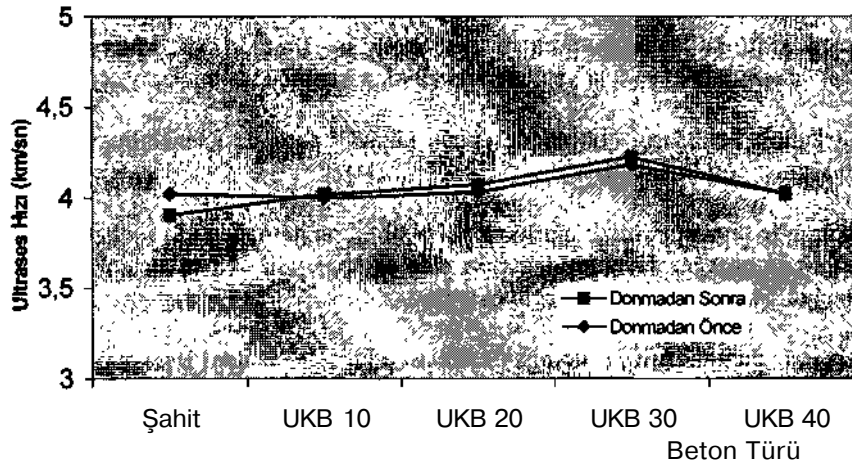
D'= difüzyon katsayısı (cm<sup>2</sup>/dak)



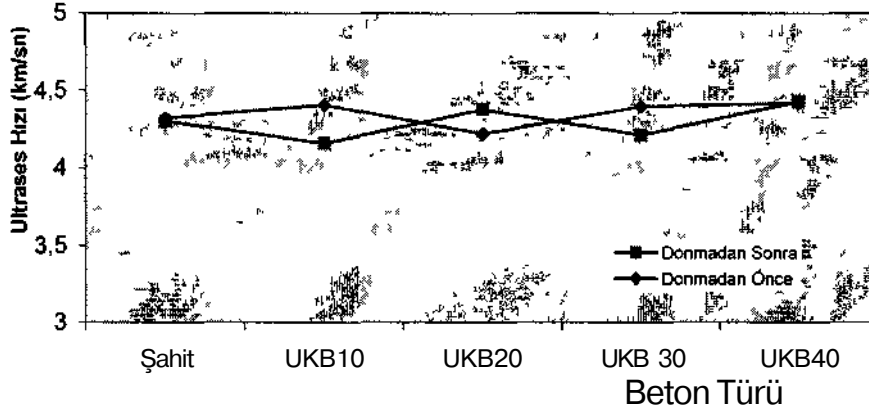
Yukarıda verilen bağıntıya göre hesaplanan 7 ve 28 günlük numunelerde difüzyon katsayısının uçucu kül katkı oranlarına göre değişimi Şekil 4'de incelendiğinde; aynı karışımlara ait numunelerin kılcallık deneylerinde uçucu kül miktarı arttıkça iç yapıdaki boşlukların emdiği su miktarlarında artış görülmektedir. Bu artış hızı 7 günlük uçucu kül katkıli beton numunelerinde daha belirgin görülürken 28 günlük numunelerde artış hızında şahit numuneye göre çok az değişmektedir. Sonuç olarak erken yaşlarda uçucu kül katkısının artışı boşluklu bir yapının oluşmasına sebep olmaktadır.



Şekil 4. 7 ve 28 Günlük uçucu kül katkıli numunelerde difüzyon katsayısı.



Şekil 5. 7 Günlük numunelerin ultrases hızları arasındaki ilişki.



Şekil 6. 28 Günlük numunelerin ultrases hızları arasındaki ilişki.

Donma-çözülme etkisinde kalan 7 ve 28 günlük numunelere ait uçucu küllü betonların ultrases hızları, şahit numune değerlerine yakın olduğu görülmektedir (Şekil 5,6). Uçucu kül katkı oranı artması ile birlikte ultrases hızlarında değişim çok azdır. Yani uçucu kül miktarı betonların iç yapılarını fazla değiştirmemiştir. Genel olarak donmadan önceki iç yapı ile çözülmeden sonraki iç yapı arasında değişimin olacağı bilinmektedir. Ancak bu çalışmada elde edilen sonuçlar bunu göstermemiştir. Dolayısıyla donma-çözülmenin belirgin olarak etkisi uçucu küllü betonlarda sağlanamamıştır. %10 uçucu kül katkıli betonlarda donma-çözülme olayı sonucunda belirgin olarak yüzeylerde dökülmeler gözlenmiştir.

## 5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Soma uçucu külü kullanılarak üretilen betonların dayanımları ve donma-çözülme özelliklerini araştırmak amacıyla yapılan deneylerden aşağıdaki sonuçlara varılabilir.

Uçucu kül katkıli betonların üretiminde uçucu külün betonun işlenebilmesi üzerine olumsuz bir etkisi görülmemiştir.

Beton üretiminde çimento yerine ağırlıkça % 10-20 oranında uçucu kül kullanıldığında normal betonlara eşdeğer dayanım değerleri elde edilmektedir. Ancak uçucu kül oranı arttıkça dayanımda azalma meydana gelmektedir.

Üretilen beton numunelerinin donma-çözülme etkisinde uçucu kül oranı arttıkça dayanımda görülen ilişkinin tersine elastisite modüllerinde artma eğilimi görülmüştür. Dolayısıyla uygulanan donma-çözülme çevrimlerine göre % 10-20 oranında uçucu kül kullanılması ile uçucu külün betonun elastisite modülünü olumlu etkilediği belirlenmiştir.

BS14-BS25 arası beton sınıflarında %10 ile %20 mertebesinde uçucu kül kullanılması dayanımı olumsuz yönde etkilemeyecek, ancak önemli ölçüde ekonomik katkı sağlanacaktır.

Kömürün yakıt olarak kullanıldığı durumlarda çevreye önemli ölçüde atık malzeme terk edilmektedir. Uçucu kül atık olarak çevreyi tehdit eden bir malzeme olduğundan inşaat sektöründe de beton veya çimento üretiminde değerlendirilmesi ile önemli oranda katma değer sağlanacaktır.

## 6. KAYNAKLAR

E.İ.E. (1982) *Türkiye uçucu küllerinin özellikleri ve kullanım alanları*, Elektrik İşlen Etüt Dairesi Genel Müd , yayın no:82-81,Ankara.

**Gül,R. ve Yıldız,İ.** (1997) Uçucu Küllerin inşaat Sektöründe Kullanılması, /,!?/ *Teknik Bülteni*, S.57.,Ankara.

**Müezzinoğlu, A.** (1987) *Hava Kirliliği Ve Kontrolünün Esasları*, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları. Denizli.

**POSTACIOĞLU,B.** (1987). *Beton*, Cilt 2., Matbaa Teknisyenleri Basımevi, istanbul.

**Ramyar, K.** (1993) Uçucu Küllerin Çimento Harcının Büzülmesine ve Betonun Karbonatlaşmasına Sebep Olan Etkileri, *End Atıkların inşaat Sektöründe Kullanılması*, Ankara.

**Sümer, M.** (1998) F-Tipi Uçucu Külün Beton Dayanımına ve Kılcal Su Emmesine Etkileri, Sakarya Univ., Müh. Fak., İnş. Müh. Böl., Sakarya

**Sümer, M.** (1998) *Uçucu Kül Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılması*, Sakarya Üniv. Müh. Fak., İnş. Müh. Böl., Sakarya

**Tokyay, M.** (1989) Uçucu Küllerin Mineralojik Kompozisyonlarının Hidratasyon ve Puzolarük Reaksiyonlara Etkileri, *Türkiye inşaat Mühendisliği X Teknik Kongresi*, Ankara

**Türker, P. Erdoğan, B.** vd.,(2003) Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özelliklen, TÇMB, Ankara

UYAN, M. (1975) *Beton ve harçlarda kılcallık olayı*,Dr.tezi. I.T.Ü., inşaat Fakültesi.

