

# DÜŞÜK ÇİMENTO DOZAJLI ve UÇUCU KÜL KATKILI HAZIR BETONLARDA DAYANIM ve DAYANIKLILIK

Mehmet Süheyl Akman  
Prof.Dr.  
İstanbul Teknik Üniversitesi

Erbil Öztekin  
Prof.Dr.  
Sakarya Üniversitesi

Mehmet Erdiñç  
İnş.Müh.  
İstanbul Teknik Üniversitesi

## ÖZET

Hazır beton endüstrisinde mineral katkı olarak uçucu kül kullanıldığında dayanım , dayanıklılık ve işlenebilme özelliklerinde meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda dayanım için gerekli uçucu kül miktarı tayini için bir öneri geliştirilmiş ve uçucu küllü betonların Cl<sup>-</sup> geçirimsizliği sağladığı kanıtlanmıştır. Ayrıca bu betonlarda bir minimum çimento dozajının ve uçucu kül oranının gerekliliği , üreticinin kullandığı uçucu külün özelliklerini önceden tesbit etme zorunluluğu vurgulanmıştır.

**Anahtar Sözcükler :** Hazır Beton , Uçucu kül , Mekanik dayanım , etkinlik faktörü, işlenebilme , dayanıklılık , klor geçirimsizliği

## 1.GİRİŞ

Uçucu kül,kömürle çalışan termik santrallerin bacalarında tutulan , beton teknolojisinde mineral katkı maddesi olarak yararlanılan ve puzolanik niteliğe sahip bir toz malzemedir. Endüstrisi gelişmiş ülkelerde çevre kirlenmesi yönünden büyük sorun yaratan bu madde , betonun pek çok niteliğini iyileştirmesi ve ekonomik yarar sağlaması yönünden aranan bir yapı malzemesi haline gelmiştir.

Uçucu kül , beton üretiminde doğrudan beton karışımına katılabilmektedir. Uçucu küller aktif camsı silis , alümin ve kireç oranlarına bağlı olarak sınıflandırılırlar. Puzzolanik aktiviteyi sağlayan aktif silis taneleri küresel taneciklerden oluşur ve belirli bir granülometri gösterirler. Bu geometrik yapıları ve ikincil bileşenlerinin ( $MgO$  , $SO_3^-$  , C , vb.) sınırlı oluşu nedeniyle , uçucu kül , doğal puzolanlara üstünlük sağlar ve bu sayede doğrudan betona katılmaya olanak verir. Kömürün türüne bağlı olarak küller farklı kalitelerde olurlar. Taş kömüründen elde edilen kaliteli uçucu küller (ASTM sınıflandırmasında F tipi) siliko-alüminöz yapıdadırlar. Linyitlerden elde edilen nispeten düşük kaliteli küller ise (ASTM sınıflandırmasında C tipi) siliko-kalsik türdedirler. Sülfat miktarı artınca kalite daha da düşer ve sülfö kalsik denilen uçucu küller elde edilir. Bunların bir bölümünü de C tipi saymak mümkündür [1].

Zengin linyit rezervlerine sahip olan ülkemizde uçucu küllerimiz büyük oranda C tipi küllerdir. Hatta bir kısım küllerimizde  $SO_3^-$  miktarı da oldukça yüksektir. Mafih bu tür küller de pek çok ülkede başarı ile beton teknolojisinde uygulama bulabilmektedir [2]. Ancak ülkemizde bu malzemenin değerlendirilmesi açısından aktif bir girişim ne yazık ki yoktur. Bacadan toplama , granülometri sınıflarına ayırma , stoklama gibi hususlarda alınacak önlemlerle halen %0.4 oranındaki tüketim %90'lara yükselecek , inşaat yatırımlarında ise %20~%40 oranında ekonomi sağlanacak , çevre kirlenmesi önlenecek ve termik santrallara bir ek kaynak sağlanacaktır [3].

Hazır beton üretiminde de son yıllarda uçucu külün kullanılması için girişimler başlamıştır. Bu betonlarla istenilen proje dayanımları kolaylıkla elde edilmiştir. Çimento tüketiminde sağlanan ekonomi %20'lere varmıştır. Burada bazı soruların araştırılması hem üretici hem tüketici açısından zorunludur. Bildirimizde bu sorulara yanıt vermek amacıyla yapılan deneysel ve teorik çalışmalar ve varılan sonuçlar açıklanmıştır. Soruları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Mekanik dayanım yönünden yeterli olan uçucu küllü betonlar işlenebilme ve özellikle dayanıklılık (dürabilite) açısından da yeterli midir?

- Uçucu küllü betonlarda , çimento yanında uçucu kül.ün bağlayıcılığa katkısı nedir? Çimento dozajı için bir alt sınır mevcut mudur?
- Uçucu kül kalitesinin etkisi ne mertebededir?

## 2. UÇUCU KÜL İKAMESİNİN BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ

### 2.1. Çimento dozajının düşürülmesi - Basınç dayanımının sabit tutulması

Ekonomik açıdan ele alındığında çimento dozajının azaltılması maliyetin indirilmesinde en etkin faktör olarak kabul edilebilir. Bu arada istenen proje dayanımı elbette sabit kalmalıdır. Sabitliğin sağlanabilmesi için azaltılan çimento miktarının uçucu kül ikamesi ile bire bir oranında karşılanması uçucu külün bağlayıcılık özelliğinin çimentoya eşdeğer olduğunu varsaymaktır ki bu yaklaşım mantıklı olmaktan uzaktır. Uçucu kül miktarını çimentonun belirli bir yüzdesi şeklinde belirleme yoluna gidilirse , azaltılan çimento miktarı ve seçilen yüzdenin fonksiyonu olarak toplam bağlayıcı miktarı (çimento + uçucu kül) düşebilir, sabit kalabilir veya artabilir, yani çözümde kesinlik yoktur.

Bir hazır beton santralında yapılan bazı üretimlerde sağlanan basınç dayanımları ve uçucu kül oranları Tablo I ' de gösterilmiştir.

Tablo I. (\*)Salt çimentolu ve uçucu küllü hazır betonlarda sağlanan dayanımlar

Kod	Amaçlanan 28 günlük Basınç Dayanımı [MPa]	28 günlük Basınç Dayanımı [MPa]	Çimento C [kg / m <sup>3</sup> ]	Uçucu kül UK [kg / m <sup>3</sup> ]	Su E [kg/m <sup>3</sup> ]	UK		7 günlük Basınç Day. [MPa]	56 günlük Basınç Day. [MPa]
						C	E		
1a	14 (BS14)	23.1	260	0	210	0.0	1.24	16.9	27.0
1b	14 "	16.2	210	60	210	28.5	1.07	10.4	23.0
2a	18 (BS18)	18.7	290	—	210	0.0	1.38	12.4	27.6
2b	18 "	27.6	240	50	210	20.8	1.20	16.8	33.9
3a	25 (BS25)	43.7	350	—	200	0.0	1.75	39.1	49.9
3b	25 "	37.0	335	15	200	4.5	1.69	25.5	42.9

(\*) Bu betonlarda çimento türü PÇ32.5 ve uçucu kül Orhaneli külüdür. İşlenebilme hemen hemen sabit tutulmuştur (çökme 8-14 cm arasındadır), tüm karışımlarda %0.4 oranında akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır.

Görüldüğü gibi istenilen proje dayanımları küllü betonlarda da güvenlikle sağlanmıştır. Uçucu kül katılımıyla toplam bağlayıcı dozajında ise cüzi artışlar meydana gelmiştir.

Laboratuarda yapılan daha sistematik bir çalışmada çimento dozajları 400 kg/m<sup>3</sup> ile 250 kg/m<sup>3</sup> arasında 50 kg/m<sup>3</sup> farklarla değiştirilerek, salt çimentolu harçlar ve çimento dozajının %30 ve %60'ı kadar uçucu kül ilaveli harçlar üretilmiştir [4]. Bu üretimlerde su/toplam bağlayıcı oranı sabit tutularak basınç dayanımının sabit kalacağı varsayılmıştır. Ancak deneyler sonunda dayanımların su/toplam bağlayıcı oranının fonksiyonu olmadığı ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada harçlar için önceden belirli bir bir proje dayanımı amaçlanmamıştı. Öteyandan su/toplam bağlayıcı oranının sabit tutulması sonucunda uçucu küllü harçlarda su miktarı aşırı derecede artmış, çökmeler belirgin biçimde yükselmiş ve dayanımlar düşmüştür. Tablo II bu sonuçları özetlemektedir.

Tablo II. Labortuvarda üretilensalt çimentolu ve uçucu küllü betonlarda basınç dayanımları

Karışım No	28 günlük Dayanım [MPa]	Çimento dozajı [kg/m <sup>3</sup> ]	Uçucu kül dozajı [Kg/m <sup>3</sup> ]	Toplam Bağlayıcı dozajı [kg/m <sup>3</sup> ]	Uçucu kül	Su miktarı [kg/m <sup>3</sup> ]	Çökme [mm]
					Çimento oranı [%]		
1	38.2	400	—	400	0	250	50
2	39.7	350	—	350	0	219	50
3	33.6	300	—	300	0	188	45
4	17.0	250	—	250	0	156	0
5	28.2	400	120	520	30	325	150
6	29.1	350	105	455	"	285	130
7	29.0	300	90	390	"	249	50
8	24.2	250	75	325	"	203	45
9	21.2	400	240	640	60	400	170
10	21.9	350	210	560	"	350	160
11	21.5	300	180	480	"	300	125
12	20.3	250	150	400	"	250	45

Laboratuvar çalışmasında uçucu kül ilavesi ile toplam bağlayıcı miktarı arttığı ve su/toplam bağlayıcı oranı sabit kaldığı halde basınç dayanımlarının düşmesi şaşırtıcı olmuştur. Önce uçucu külün kalitesinden şüphe

edilmiştir. Deneylerde kullanılan uçucu kül hazır beton santralında kullanılan Orhaneli uçucu küdür ve Tablo III'de verilen kimyasal bileşimine göre siliko-kalsik türde idi ve Aitecin 'in sınıflandırmasında düşük kaliteli F tipi bir kül sayılmaktadır [1].

Tablo III. Kullanılan Uçucu Külün (Orhaneli) Kimyasal Bileşimi

SiO <sub>2</sub> : %48.8	SO <sub>3</sub> : %4.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : %19.6	Na <sub>2</sub> O : %0.2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : %0.5	K <sub>2</sub> O : %1.5
CaO : %10.1	Kızdırma K : %1.0
Blaine özgül alanı : 382 m <sup>2</sup> /kg	
Özgül ağırlık : 2.13 g/cm <sup>3</sup>	

## 2.2. Uçucu külün pozolanik aktivitesinin varlığı ve etkinlik katsayısının saptanması

Laboratuvardaki negatif sonuçlardan sonra ilk incelenen husus kullanılan külün pozolanik aktivitesinin araştırılması olmuştur. Bunun için uçucu kül önce atıl (inert) kum gibi düşünülerek basitleştirilmiş Bolomey formülündeki K<sub>B</sub> katsayıları hesaplanmıştır. Uçucu kül katılımı sonucu K<sub>B</sub> yüksek değerler alırsa uçucu külün aktivitesi bulunduğu kanıtlanmış olacaktır. Nitekim Tablo IV ' de elde edilen değerler bu varsayımı doğrulamaktadır.

Tablo IV.  $f_c = K_B \left( \frac{C}{E} - 0.5 \right)$  Bolomey formülündeki K<sub>B</sub> Katsayıları

Karışım No	C [kg/m <sup>3</sup> ]	E [kg/m <sup>3</sup> ]	$\frac{C}{E}$	f <sub>c</sub> [MPa]	K <sub>B</sub> [MPa]	K <sub>B</sub> (ort) [MPa]	$\frac{UK}{C}$
1	400	250	1.60	38.2	34.7	33.8	0
2	350	219	1.60	39.7	36.1		0
3	300	188	1.60	33.6	30.5		0
4	250	156	1.60	17.1	—		
5	400	325	1.23	28.2	38.6	40.0	30
6	350	285	1.23	29.1	39.9		30
7	300	249	1.20	29.0	41.4		30
8	250	203	1.23	24.2	—		
9	400	400	1.00	21.2	42.2	43.0	60
10	350	350	1.00	21.9	43.8		60
11	300	300	1.00	21.5	43.0		60
12	250	250	1.00	20.3	—		

250 dozlu betonlarda yerleştirme güçlükleri nedeniyle farklı sonuçlar çıktığından ortalamaya katılmamıştır.  $K_B$  ortalama değeri, uçucu kül katılımıyla 33.8 MPa değerinden 43.0 MPa değerine yükselmiştir.

Aynı deney sonuçlarından yararlanarak uçucu külün bağlayıcılığa katkısını belirleyen etkinlik faktörünü de (efficiency factor) hesaplamak mümkün olmuştur. Håkkinen, Baron ve Corneille gibi araştırmacılar uçucu kül için bu faktörü "0.4" olarak önermektedirler [5,6,7]. Bu hesaplamada  $K_B$  değerini salt çimentolu harçlar için bulunan 33.8 MPa almak ancak bağlayıcı miktarını  $C+k_p(UK)$  olarak yerine koymak gerekir, böylece  $k_p$  (etkinlik faktörü) her karışım için ayrı ayrı hesaplanabilir;

$$k_p = \frac{(f_c / K_B + 0.5) E - C}{(UK)} \quad (UK) = \text{Uçucu kül miktarı } \text{kg/m}^3$$

Tablo V. de hesap sonuçları gösterilmiştir.

Tablo V. Etkinlik Katsayısı Değerleri,  $K_B=33.8$  için

Karışım No	C [kg/m <sup>3</sup> ]	UK [kg/m <sup>3</sup> ]	E [kg/m <sup>3</sup> ]	$f_c$ [MPa]	$k_p$
5	400	120	325	28.2	0.257
6	350	105	285	29.1	0.336
7	300	90	249	29.0	0.330
8	250	75	203	24.0	—
9	400	240	400	21.2	0.200
10	350	210	350	21.9	0.237
11	300	180	300	21.3	0.217
12	250	150	250	20.3	—

$k_p$  faktörü %90 güvenlikle 0.358 ve 0.168 arasında değişmekte ve ortalama 0.263 değerini almaktadır. Bolomey formülü  $f_c = K_B \left( \frac{C + 0.263(UK)}{E} - 0.5 \right)$  şeklinde uygulandığında hesaplanan teorik dayanımlar, deneylerdeki gerçek dayanımların %92'si ile %98'i arasında değerler almıştır, bu sonuç modifiye toplam bağlayıcı hesabının doğru temellere oturduğunu ve basınç dayanımının su/modifiye toplam bağlayıcı oranının bir fonksiyonu olduğunu kanıtlamıştır. Nitekim Baron da bu oranı sabit tutarak dayanımların değişmemesini sağlamıştır [7].

Bu çalışma sonunda aşağıdaki iki önemli husus belirlenmiştir :

1. İstenilen basınç dayanımını sağlamak için gerekli uçucu kül miktarı, değiştirilmiş Bolomey formülünden elde edilebilir. Bağlayıcı miktarı çimento+uçucu kül değil , çimento+k<sub>p</sub>(uçucu kül) miktarıdır.

2. Her uçucu kül için k<sub>p</sub> değerini 0.4 almak doğru değildir, her uçucu külün ayrı bir k<sub>p</sub> değeri olacaktır. Bu da uçucu kül kalitesinin bağlayıcılık faktörünü önemli biçimde etkilediğini göstermektedir.

### 3. UÇUCU KÜLLÜ BETONLARDA İŞLENEBİLME ve DAYANIKLILIK PROBLEMİ

İstenilen basınç dayanımı için gerekli uçucu kül ve su miktarı yukarıda belirtildiği şekilde belirlendikten sonra işlenebilme ve dayanıklılığın yeterli olup olmadıklarının araştırılması gerekir.

#### 3.1. Uçucu küllü betonlarda işlenebilme özelliği

Uçucu kül tanelerinin küresel yapıya sahip olmaları nedeniyle işlenebilmeyi arttırdıkları iddiası pek çok yayında yer alır [8]. Deneyimlerimize göre bu iddia her zaman doğru değildir. Uçucu kül daha koheziv bir beton sağlamakla beraber akışkanlığı azaltmaktadır. Bu bakımdan bir akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılması gerekebilmektedir. Bazı çalışmalarda tane çapının 45  $\mu\text{m}$ 'u aşması durumunda işlenebilmedeki pozitif etkisinin kaybolduğu ifade edilmektedir [8]. Son bir çalışmada uçucu kül çapının 10  $\mu\text{m}$  altına inmesi halinde de işlenebilmenin güçleştiği kanıtlanmıştır [9]. Şu halde işlenebilmeyi artıran uçucu külün tane sınırları 10  $\mu\text{m}$  ~ 45  $\mu\text{m}$  arasındadır. Buna göre endüstriyel alanda kaliteli uçucu kül elde etmek için malzemenin elenmesi ve/veya öğütülmesi ve sınıflandırılması gerektiği söylenebilir.

### 3.2. Uçucu külün beton iç yapısında oluşturduğu değişiklikler - Minimum çimento dozajı gereği

Puzolanik bir madde olan uçucu kül çimento hidratasyon ürünü olan sönmüş kireçle (kalsiyum hidroksit - CH) suda çözünmeyen bir hidrate silikat (CSH) meydana getirir. Bu kimyasal reaksiyon uçucu külün betonda oluşturduğu değişikliklerin ana nedenidir.

Uçucu kül kimyasal reaksiyonu ve inceliği sayesinde çimento harç fazındaki boşluk yapısını değiştirir. Toplam boşluk oranı aynı kalır, ancak kapiler boşluklar azalır, jel boşlukları çoğalır [10,11]. Eşik yarıçapı (threshold radius), değeri düşer , geçirimsizlik artar. Agreg-a-çimento arayeri betonun dayanımı ve geçirimsizliği açısından en kritik bölgesidir. Uçucu külle bu bölgenin daha yoğunlaştığı ve CH yerine daha kaliteli CSH ile tıkandığı gözlenmiştir [10].

Uçucu kül sadece su geçirimsizliğini sağlamakla kalmaz , ayrıca gaz geçirimsizliği ( $O_2$  ,  $CO_2$ ), iyon geçirimsizliği ( $Cl^-$ ) nitelikleri de büyük oranda iyileşir [10]. Uçucu küllerin sülfata ve alkali-agrega reaksiyonuna dayanıklılığı da artırdıkları kanıtlanmıştır.

Uçucu kül kullanımında tartışmaya neden olan husus karbonatlaşma olayıdır. Donatının paslanmasının ilerlemesine neden olan  $Cl^-$  iyonlarının, koruyucu pas tabakasını tahrip etmesini betonun alkalinitesi yani içerdiği CH önler [12]. CH 'ın zamanla  $CO_2$  gazıyla birleşerek kalsiyum karbonata dönüşmesi (karbonatlaşma) bu koruyucu etkiyi yok eder. Puzolanlar CH'ı önceden CSH'a döndürdüklerinden alkali passivasyon olanağı zayıflar, betonda kalabilen CH ise çok cüz'idir ve karbonatlaşma süratle gelişir. Bu nedenle teorik açıdan uçucu küllerde donatı paslanmasının çok erken başlayacağı öne sürülebilir. Ancak uçucu kül  $CO_2$  ve  $Cl^-$  diffüzyon katsayılarını düşürdüğünden ve korozyon akımının geçmesini sağlayan beton ortamının elektriksel direncini arttırdığından karbonatlaşma olayı tehlike arz etmez [10,12].

Karbonatlaşma hızı konusunda yapılan bir çalışmada zorlanmış karbonatlaşma deneyinde çimento dozajının belirli bir değerin altına inmesi



durumunda uçucu küllü betonlarda karbonatlaşmanın ani bir hızlanma gösterdiği tesbit edilmiştir. Bu minimum dozaj değeri  $240 \text{ kg/m}^3$  tür [7]. Keza düşük çimento dozajlı betonlarda çimentonun uçucu külle ikamesi de karbonatlaşma yönünden sakıncalı görülmektedir [13]. İkame edilen çimentonun traslı veya cürufllu olmasında sakınca daha belirginleşmektedir [10].

Kanımızca minimum bir çimento dozajı kavramı sadece karbonatlaşma açısından değil puzolanik etkinin ortaya çıkması yani bir anlamda uçucu külün basınç dayanımı sağlamadaki rolü açısından da gereklidir. Zira puzolanın CSH oluşturması için CH'ya ihtiyaç vardır, bunu da sağlayacak olan PÇ çimentolarının hidrasyonudur. Minimum PÇ çimento dozajı  $240\sim 220 \text{ kg/m}^3$  olarak kabul edilebilir [6,7].

### 3.3. Uçucu küllü betonların Cl geçirimsizliği yönünden incelenmesi

Bir betonun dayanıklılık (dürabilite) açısından sınanmasında uygulanacak laboratuvar testleri farklı kriterlere dayanarak sürdürülür : basınçlı , basınçsız su geçirimsizliği, kılcalık , donma-çözülme , aşınma , karbonatlaşma , gaz geçirimsizliği, Cl<sup>-</sup> iyon geçirimsizliği gibi.

Laboratuvarda üretilen uçucu küllü harçlarda basınçlı su geçirimsizliği ve kılcal su geçirimsizliği testleri yapılmıştır. Uçucu küllü harçlarda her iki geçirimsizlik de anlamlı bir biçimde artmıştır. Uçucu kül oranı yükseldikçe geçirimsizlik değeri de yükselmiştir. Bu negatif sonuçları uçucu kül varlığına bağlamak olanaksızdır. Nitekim basınç dayanımlarında açıklandığı gibi su/toplam bağlayıcı oranının sabit tutulması sonucu su miktarı %30 UK için %30, %60 UK için %60 artmış (bkz. Tablo II) ve su/çimento oranları da 0.625'den sırasıyla 0.813 ve 1.000 değerlerine yükselmiştir (bkz. Tablo IV). Bu denli su içeriğine sahip harçlarda sertleştikten sonra oluşacak boşluklar makropor düzeyindedir ve harç doğal olarak aşırı geçirimsizdir. Uçucu küllü betonlarda da su/bağlayıcı oranlarını ancak makul sınırlar içinde tutmak suretiyle mineral katkının pozitif etkisi sağlanabilir. Ayrıca harçların deney gününe kadar havada saklanmaları da bu olumsuz sonuca varmakta etkili olmuştur.

Hazır beton tesisinde üretilen betonlar üzerinde ayrıca hızlı klor geçirimliliği deneyleri de AASHTO-T277-83 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [14]. Bu iş için İTÜ Yapı Malzemesi Laboratuvarında gerekli araçlar üretilmiş ve sağlanmıştır : DC akım üretici , iki adet dijital voltmetre , akrilik deney hücreleri. 10 cm çaplı 5 cm yükseklikli silindirik beton numuneleri önce İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesinde 1 mm cıva basınçlı vakum aletinde 3 saat tutulmuş,daha sonra 48 saat suya konarak doygun hale getirilmiştir. Epoksi reçine ile akrilik hücelere tespit edilen beton diskler %3 NaCl ve 0.3N NaOH solüsyonları arasında 60 V DC akıma maruz bırakılmıştır ve 6 saat zarfında geçen elektrik miktarı coulomb olarak belirlenmiştir. Bazı araştırmacılarca eleştirilen bu yöntem kesitlerdeki Cl<sup>-</sup> konsantrasyonunu kimyasal yolla belirlemeye oranla çok daha süratli olduğundan yeterli varsayılabilir. Suyun ısınması , elektroliz meydana gelebilmesi, gaz kabarcıkları oluşturması deneyin zorlaşmasına ve güvenilirliğinin azalmasına neden olmaktadır.

Kesin bir yargı olmamakla beraber A.B.D. Federal Otoyollar laboratuvarında yapılan bir çalışmaya da bu deneye göre Cl<sup>-</sup> geçirimliliği aşağıdaki gibi değerlendirilmektedir [14].

Tablo VI. Cl<sup>-</sup> geçirimliliği değerlendirilmesi

Geçen Elektrik Miktarı coul/6 saat	Cl <sup>-</sup> Geçirimliliği	Beton Türü
> 4000	yüksek	E/C > 0.6 PÇ'li betonlar
2000~4000	modedil	0.5 > E/C > 0.4 PÇ'li betonlar
1000~2000	düşük	E/C < 0.4 PÇ'li betonlar
100~1000	çok düşük	Lateks modifiye betonlar
< 100	ihmal edilir	Polimer emdirmiş betonlar Polimer betonları

İTÜ Yapı Malzemesi Laboratuvarında yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar ortalamalar alınarak Tablo VII. 'da özetlenmiştir. Betonlar Tablo I.'de verilen betonlardır.

Tablo VII. Salt çimentolu ve uçucu küllü hazır betonlarda 6 saatte geçen elektrik yükü değerleri (coulomb)

Beton Kodu	Çimento C [kg/m <sup>3</sup> ]	$\frac{UK}{C}$ [%]	7g	28g	56g
1a	260	0.0	—	3050	2300
1b	210	28.5	—	1450	1210
2a	290	0.0	—	2320	1930
2b	240	20.8	—	1210	910
3a	350	0.0	700	920	1025
3b	335	4.5	1220	1170	1330

Bu özet tablodan şu sonuçlar çıkartılabilmektedir.

1. Uçucu kül ilavesi Cl<sup>-</sup> geçirimsizliğini BS14 ve BS18 betonlarında %50 mertebelerinde düşürmüştür.

2. Uçucu kül oranının etkisi , katılım oranı düşük (%4.5) yüksek mukavemetli betonlarda (BS25) bir miktar negatif olmuştur. Etkinin pozitif olabilmesi için uçucu kül oranının nispeten yüksek olması gereklidir.

3. Uçucu kül oranı yüksek BS14 ve BS18 betonlarında yaşlanma ile geçirimsizlik azalmakta , BS25'de ise hafifçe artmaktadır.

#### 4. SONUÇLAR

Beton teknolojisinde ve özellikle daha özenle denetlenen ve üretilen hazır beton endüstrisinde uçucu küllü beton üretimine geçmek ekonomik , ekolojik ve teknolojik yönden zorunludur.

Uçucu külle istenilen basınç dayanımında beton üretmenin hiçbir sorunu yoktur. Üretilen bu betonlar dayanıklılık açısından mineral katkısız betonlardan çok daha güvenlidir.

Bu betonların üretim ve kürlerinde dikkat edilecek hususlar aşağıda belirtilmiştir.

1. Kullanılan uçucu külün kalitesi ve özellikle "etkinlik faktörü" önceden belirlenmelidir. Böylece istenilen dayanımı sağlayacak uçucu kül miktarı doğru bir şekilde belirlenecek ve aşırı su kullanımına gidilmeyecektir.
2. Karışımlarda bir minimum çimento dozajı ( $220\sim 240 \text{ kg/m}^3$ ) kullanmak şarttır.
3. Uçucu kül oranının düşük tutulması dayanıklılık yönünden fayda sağlamayacaktır.
4. Uçucu kül tane boyutlarının  $10 \mu\text{m}\sim 45 \mu\text{m}$  arasında kalması işlenebilirlik yönünden yararlıdır.
5. Uçucu küllü beton kullanan tüketiciler, ıslak kürü eksiksiz sürdürmeleri halinde daha dayanıklı bir beton elde edecekleri hususunda uyarılmalıdır.
6. TÇ ve KÇ ile üretilen betonlarda uçucu kül kullanılması karbonatlaşma nedeniyle ayrıca araştırılmalıdır.

## 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmalarda laboratuvar imkanlarından yararlanmamızı sağlayan Prof.Dr. Emel Geçkinli'ye, Cl<sup>-</sup> geçirimsizliği düzeneğimizi kurmada mali yardım sağlayan ve betonlarımızı üreten Taşıma Beton Sanayii (TBS Hazır Beton) firmasına, harç deneylerinde çalışan İnş.Müh. Hümeyra Güler'e teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- [1.] AITCIN, P.C. , et al , "Comparative Study of the Cementitious Properties of Different Fly Ashes", 2<sup>nd</sup> Inter. Conf. CANMET/ACI on Silica Fume, Fly Ash, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Madrid, 1986, Vol. 1 , pp. 91-114
- [2.] CARRASQUILLO, R. L., TIKALSKY, P.J., "Considerations Affecting Mix Proportioning of Concrete Containing Fly Ash", Durabilidad del Concreto, Memoria del Seminario Internacional sobre Tecnologia del Concreto: Durabilidad, Ed:R.Rivera V., Monterrey, N.L. Mexico, 1993, pp. 484-505
- [3.] TOKYAY, M., "Betonda Uçucu Kül Kullanımı (Türkiye Deneyimi)", Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu , TMMOB İnş. Müh. Odası Ankara Şb., Ankara, 1993, ss. 29-36
- [4.] GÜLER, H., "Uçucu Küllü Betonlarda Bağlayıcı Dozajı ve Bileşiminin Geçirimsizliğe Etkisi", İTÜ İnş.Fak. Lisans Bitirme Ödevi , Haziran 1994 , s. 28
- [5.] HÄKKINEN, T. , "The Influence of the Content and Quality of the Cementing Materials on the Permeability of the Concrete ", 2<sup>nd</sup> CANMET/ACI Intern.Conf. on Durability of Concrete, Suppl. Papers' Volume, Montreal , 1991, pp. 339-367
- [6.] CORNEILLE, A., et al, "Performance et Durabilité des Bétons Additionnés de Cendres Volantes et de Fillers Calcaires", Proc. of the 3<sup>rd</sup> CANMET/ACI Intern. Conf. on Durability of Concrete, Nice, 1994, pp. 639-656
- [7.] BARON, J. et al, "Fly Ash Replacement of Cement: Threshold Values of Cement Content in Relation to Concrete Durability", P.K. Mehta Symp. on Durability of Concrete, Ed: Aitcin , Khayat , Nice , 1994, pp. 21-34
- [8.] MALHOTRA, V.M. Editor , "Supplementary Cementing Materials for Concrete", CANMET , Ottawa , Canada , 1987 , pp. 52-56
- [9.] PERIS MORA, E. et al, "Influence of Different Sized Fractions of a Fly Ash on Workability of Mortars", Cement and Concrete Research, 1993, Vol. 23 , N4, pp. 917-924

- [10.] SCHIESSL, P., HARDTL, R., "Relationship between Durability and Pore Structure Properties of Concrete Containing Fly Ash" , Ibid Ref. 7, pp. 99-118
- [11.] MENG, B., "Calculation of Moisture Transport Coefficients on the Basis of Relevant Pore Structure Parameters" , Materials and Structures (RILEM) , Vol. 27 , N167, 1994 , pp. 125-134
- [12.] AKMAN, M.S., "Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi" , ITÜ Rektörlüğü 1481, İstanbul , 1992 , s. 182,197
- [13.] COLLEPARDI, M., "Mechanism of Deterioration and Mix Design of Durable Concrete Structures", Ibid Ref. 7 , pp. 35-60
- [14.] Standard Method of Test for Rapid Determination of the Chloride Permeability of Concrete, AASHTO Designation T-277-83