

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UÇUCU KÜL VE ZEOLİTİN KENDİLİĞİNDEN  
YERLEŞEN BETONLARA ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş. Müh. Ethem KARAÜÇ**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mansur SÜMER**

**Eylül 2008**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**UÇUCU KÜL VE ZEOLİTİN KENDİLİĞİNDEN  
YERLEŞEN BETONLARA ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş. Müh. Ethem KARAÜÇ**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ**

**Bu tez .. / .. /2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Yrd.Doç.Dr. Mansur SÜMER**

**Jüri Başkanı**

**Prof.Dr. Kemalettin YILMAZ**

**Jüri Üyesi**

**Doç.Dr.Mehmet SARIBIYIK**

**Jüri Üyesi**

## ÖNSÖZ

Beton üretiminde uygun puzolanların, uygun miktarlarda kullanılması birçok teknik ve ekonomik faydalar sağlamaktadır. Ülkemizde de doğal puzolan yataklarının zengin oluşu bizlere bu konuda büyük avantajlar sağlamaktadır. Buradan hareketle hazırlanan bu çalışmada bir takım doğal puzolanların beton kalitesine ve özelliklerine sağladığı katkılar araştırılmıştır.

Çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve yardımları ile yanımda olan sayın hocalarım, Yrd. Doç. Dr. Mansur SÜMER, Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ'a ve Araş. Gör. Mücteba UYSAL'a, öğrenim hayatım boyunca maddi, manevi varlıkları ile daima yanımda olan ve beni destekleyen canım aileme teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
TABLolar LİSTESİ .....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY .....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLAR .....	3
2.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri .....	3
2.2. Tarihsel Gelişim.....	4
2.3. Kendiliğinden Yerleşen Beton Oluşturan Malzemeler .....	7
2.4. Taze Beton Özellikleri ve İşlenebilme.....	8
2.4.1. Doldurma yeteneği .....	8
2.4.2. Ayrışmaya karşı direnç.....	8
2.4.3. Geçiş yeteneği .....	9
BÖLÜM 3.	
DENEYSEL ÇALIŞMA .....	11
3.1. Deney Yöntemleri.....	11
3.1.1. Yayılma deneyi .....	11
3.1.2. V-Hunisi deneyi .....	11
3.1.3. L-Kutusu deneyi.....	12

3.1.4. Optimum yerleşme deneyi .....	13
3.2. Malzemeler .....	14
3.2.1. Uçucu kül .....	14
3.2.1.1 Uçucu küllerin sınıflandırılması .....	15
3.2.1.2. Uçucu küllerin fiziksel özellikleri.....	16
3.2.1.3. Uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları .....	16
3.2.1.4. Uçucu küllerin mineralojik yapıları.....	17
3.2.2. Zeolit .....	18
3.2.2.1. Zeolitin inşaat sektöründeki yeri.....	21
3.2.3. Agregat .....	21
3.2.4. Çimento .....	22
3.2.5. Kimyasal katkı.....	22
3.3. Karışım Oranları .....	23
<b>BÖLÜM 4.</b>	
<b>DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....</b>	<b>26</b>
4.1.Taze Betonun Deney Sonuçları .....	26
4.1.1. Çökme – yayılma ve J – Ring deney sonuçları .....	26
4.1.2. V - Hunisi deney sonuçları.....	27
4.1.3. L – Kutusu deney sonuçları.....	27
4.2. Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	28
4.3. Basınç Mukavemeti Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi .....	34
4.4. Optimum Yerleşme Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi .....	37
<b>BÖLÜM 5.</b>	
<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>40</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>42</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>46</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Betonlar
PÇ	: Portland Çimentosu
Ç	: Çimento
UK	: Uçucu Kül
ZEO	: Zeolit
UKB (% 10)	: Bağlayıcı miktarındaki uçucu kül oranı % 10 olan beton karışımı
UKB (% 20)	: Bağlayıcı miktarındaki uçucu kül oranı % 20 olan beton karışımı
UKB (% 30)	: Bağlayıcı miktarındaki uçucu kül oranı % 30 olan beton karışımı
ZEOB (% 10)	: Bağlayıcı miktarındaki zeolit oranı % 10 olan beton karışımı
ZEOB (% 20)	: Bağlayıcı miktarındaki zeolit oranı % 20 olan beton karışımı
ZEOB (% 30)	: Bağlayıcı miktarındaki zeolit oranı % 30 olan beton karışımı
T <sub>500</sub>	: Çökme - yayılma deneyinde taze betonun 500 mm çaplık daireye yayılma süresi
T <sub>400</sub>	: L – Kutusundaki taze betonun 40. cm'ye gelme süresi
T <sub>200</sub>	: L – Kutusundaki taze betonun 20. cm'ye gelme süresi
ASTM	: American Society for Testing Materials
JRMCA	: Japon Hazır Beton Birliği
µm	: Mikrometre
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
m	: Metre
g	: Gram
kg	: Kilogram
sn	: Saniye
S	: Silis (SiO <sub>2</sub> )
A	: Alümin (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
F	: Demir oksit (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )

CaO	: Kalsiyum oksit
MgO	: Magnezyum oksit
SO <sub>3</sub>	: Kükürt trioksit (sülfit)
Na <sub>2</sub> O	: Sodyum oksit
KK	: Kızdırma kaybı

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	V-Hunisi deney aparatı .....	12
Şekil 3.2.	L-Kutusu deney aparatı.....	13
Şekil 3.3.	Optimum Yerleşme Deney Aparatı .....	14
Şekil 3.4.	1m <sup>3</sup> Uçucu küllü beton bileşimindeki malzeme miktarları.....	24
Şekil 3.5.	1m <sup>3</sup> Zeolitli beton bileşimindeki malzeme miktarları.....	25
Şekil 3.6.	1m <sup>3</sup> Zeolitli beton bileşimindeki malzeme miktarları.....	25
Şekil 4.1.	Uçucu küllü taze betonun yayılma deneyi .....	29
Şekil 4.2.	Uçucu küllü taze betonun T <sub>500</sub> deneyi .....	29
Şekil 4.3.	Uçucu küllü taze betonun J-Ring deneyi .....	30
Şekil 4.4.	Zeolitli taze betonun yayılma deneyi.....	30
Şekil 4.5.	Zeolitli taze betonun T <sub>500</sub> deneyi .....	31
Şekil 4.6.	Zeolitli taze betonun J-Ring deneyi .....	31
Şekil 4.7.	Uçucu küllü taze betonun V-Hunisi deneyi .....	32
Şekil 4.8.	Zeolitli taze betonun V-Hunisi deneyi.....	32
Şekil 4.9.	Uçucu küllü betonun L-Kutusu deneyi .....	33
Şekil 4.10.	Zeolitli betonun L-Kutusu deneyi.....	33
Şekil 4.11.	Uçucu küllü taze betonun H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub> oranları.....	34
Şekil 4.12.	Zeolitli taze betonun H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub> oranları .....	34
Şekil 4.13.	Farklı UK miktarına sahip karışımların basınç mukavemetleri....	35
Şekil 4.14.	Farklı UK miktarına sahip karışımların basınç mukavemetleri....	36
Şekil 4.15.	Farklı Zeolit miktarına sahip karışımların basınç mukavemetleri	36
Şekil 4.16.	Farklı Zeolit miktarına sahip karışımların basınç mukavemetleri	37
Şekil 4.17.	Şahit betonun karot numunesi basınç mukavemetleri .....	38
Şekil 4.18.	UKB(%20) Betonunun karot numunesi basınç mukavemetleri....	38
Şekil 4.19.	ZEOB(%10) Betonunun karot numunesi basınç mukavemetleri..	39



## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Uçucu külün kimyasal ve fiziksel analizi .....	18
Tablo 3.2.	Doğal zeolitın kimyasal ve fiziksel analizi .....	20
Tablo 3.3.	Agregaların granülometri değerleri ve fiziksel özellikleri.....	22
Tablo 3.4.	Portlant çimentosunun kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri	22
Tablo 3.5.	1m <sup>3</sup> uçucu küllü beton bileşimindeki malzeme miktarları.....	23
Tablo 3.6.	1m <sup>3</sup> zeolitli beton bileşimindeki malzeme miktarları .....	24
Tablo 4.1.	Uçucu küllü taze beton karışımlarına ait işlenebilirlik özellikleri	28
Tablo 4.2.	Zeolitli taze beton karışımlarına ait işlenebilirlik özellikleri.....	28
Tablo 4.3.	Farklı UK miktarlarına sahip karışımların basınç mukavemetler	35
Tablo 4.4.	Farklı Zeolit miktarına sahip karışımların basınç mukavemetleri	36

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Uçucu kül, zeolit, kendiliğinden yerleşen beton, basınç mukavemeti.

Kendiliğinden yerleşen beton özellikle hazır-beton sektörü, güçlendirme işleri başta olmak üzere inşaatın değişik dallarında giderek daha fazla uygulama alanı bulmaktadır. KYB'un bileşimi, etkin bir süperakışkanlaştırıcı yanında toplam ince malzeme miktarı, viskozite artırıcı katkı kullanımı, su/bağlayıcı oranı, kum/toplam agrega oranı gibi parametreler açısından geleneksel betondan farklılıklar gösterir.

Bu çalışmada KYB'ların genel özellikleri, bileşim özellikleri ve çalışma mekanizması gibi konulara değinilmiş ayrıca hazır beton sanayiinde kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkıların ve belirli oranlarda çimento yerine kullanılan uçucu kül veya zeolit miktarının kendiliğinden yerleşen betonun özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Belirli oranlarda çimento yerine kullanılan farklı oranlarda uçucu kül veya zeolit miktarına sahip KYB karışımları uçucu kül veya zeolit kullanılmayan şahit bir karışımla karşılaştırılmış ve bu karışımlar için i çökme-yayılma,  $t_{500}$ , L-kutusu ve V-hunisi işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, karışıma giren agregalardan doğal kum ve çakıl oranları ile özel süper akışkanlaştırıcı miktarı sabit, bir miktar çimento yerine kullanılan uçucu kül veya zeolit oranları değiştirilmiştir. Karışımlar için optimum işlenebilirlik, su/(çimento+ uçucu kül veya zeolit) oranı değiştirilerek sağlanmıştır. Üretilen numuneler kalıptan alındıktan sonra 7, 28, 90, 365 gün süreyle 20 °C suda kür edilmiştir. Numuneler üzerinde basınç mukavemeti ve optimum yerleşme deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarının analizinden, karışımda bir miktar çimento yerine kullanılan uçucu kül veya zeolit miktarının KYB'un dayanım özellikleri üzerine etkisinin olduğu belirlenmiştir. Sonuçta, uçucu kül veya zeolit maliyet ve hidrasyona olumlu etkisi gibi avantajları da dikkate alındığında, kendiliğinden yerleşen beton karışımlarında çimento yerine %20 oranlarında uçucu kül kullanılmasının, dayanım özellikleri bakımından daha iyi olacağı görülmüştür.

# **THE STRENGTH PROPERTIES OF SELF-COMPACTING CONCRETE CONTAINING OF FLY ASH AND ZEOLITE**

## **SUMMARY**

Keywords: Fly ash, zeolite, self-compacting concrete, compressive strength velocity.

Self-compacting concrete finds many application fields in civil engineering, especially in ready-mixed concrete, repairing-retrofitting. Recently, SCC has become well known and found application in Turkey. SCC design deviates from those of traditional concretes with respect to not only an effective superplasticizer requirement but also other parameters, such as total fine material, viscosity enhancing agent, water/binder ratio, sand/total aggregate ratio and total coarse aggregate content. It is also important to have both cement and superplasticizer to become in compatibility.

In this study the general properties and working mechanism of SCC are discussed and the incompatibility observed between some cement types, different proportions of fly ash or zeolite and superplasticizers used in both ready-mixed concrete and precast industry are investigated. Slump-flow,  $t_{500}$ , V-funnel and L-box tests were achieved for SCCs having different proportions of fly ash or zeolite as replacement of portland cement. Fly ash or zeolite as replacement of portland cement was used as variable only, i.e. aggregates (sand and gravel), cementitious materials and superplasticizer were constant, in all tests. Optimum workability for SCC mixes was obtained by using different water/(cement+fly ash or zeolite) proportions. In the following day of casting, the specimens were de-moulded and located in standard 20°C water cured for the periods of 7, 28, 90 and 365 days. At the end of each curing period, a total of 3 specimens were tested for each concrete property. The compressive strength velocity tests were carried out on the cube specimens, whilst the splitting tensile tests were carried out on the cylindrical specimens. It was found that different proportions of fly ash or zeolite as replacement of portland cement had an important effect on properties of self-compacting concrete. The results showed that use %20 fly ash as replacement of portland cement increased the strength properties of SCC.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Kendiliğinden yerleşen beton; kendi ağırlığı altında istenen yere yayılabilen, iç ve dış vibrasyon gerektirmeksizin ayrışmaya ve terlemeye bağlı kusurlar göstermeksizin, iyi sıkışma elde edilebilen, çok akıcı kıvamlı betondur [1].

Geleneksel beton dökümünde vibrasyon, yani yerleştirme ve sıkıştırma işlemi, betonun içindeki hava boşluklarını dışarı atmak, böylece dayanımı ve dayanıklılığı daha yüksek ve aynı zamanda daha düzgün yüzeyli bir beton elde etmek için zorunludur. Vibrasyon uygulanmamış betonların basınç dayanımında, vibrasyon uygulanmış olanlara göre % 30'lara varan düşüşler görülmektedir. Ayrıca sağlıklı vibrasyon yapılmamış beton elemanlarda yüzey bozuklukları görülebilir. Özellikle binaların depreme karşı güçlendirilmesi için yapılan güçlendirme projelerinde tüm bu etkenlere dar beton kesitleri ve sık donatı eklenince, vibrasyon uygulaması daha da zahmetli, bazen de olanaksız hale gelir. Oysa kendiliğinden yerleşen beton, kendi kendine sıkışma yeteneği sayesinde vibrasyon gerektirmez ve tüm olumsuz etkenleri elimine ederek, işçilikten ve zamandan tasarruf sağlar. Ayrıca gürültü probleminin ortadan kalkması, şehir merkezlerinde ve özellikle gece beton dökümlerinde üstünlük sağlar. KYB'ların diğer kullanım alanları aşağıdaki gibi özetlenebilir [2]:

- 1.Güçlendirme projelerinde,
- 2.Sık donatılı elemanlarda,
- 3.Estetik kalıp tasarımlarında,
- 4.Zor ve ulaşılmaz kalıplarda,
- 5.Vibratör kullanımının imkansız olduğu yerlerde.

Karışım tasarımı yöntemleri ve kendiliğinden yerleşebilirlik deney yöntemleri araştırmaları , KYB'u standart beton haline getirmiştir. Bu araştırmaların sonucunda KYB'un test edilebilmesi için bazı deneysel metodlar ve tasarım yöntemi ortaya

çıkmiştir. EFNARC\* 2002 yılında kendiliğinden yerleşen beton ile ilgili gerekli tüm bilgileri içeren “Specification and Guidelines of SCC [3] isimli dökümanı yayınlamıştır [1].

\*EFNARC; Uzman yapı kimyasalçılara ve beton sistemlerine ithafen oluşturulmuş bir Avrupa fedarasyonudur. Avrupa’da birçok şirketin bu fedarasyona üyeliği bulunmaktadır. EFNARC’ın ana faaliyet alanları; zemin kaplamaları, beton koruma ve tamirleri, yumuşak zemin tünelleri, püskürtme betonlar ve kendiliğinden yerleşen betonlardır.

## **BÖLÜM 2. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLAR**

### **2.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri**

KYB'nun üstün davranış özelliklerini sağlayabilmek için yüksek akıcılıkta olması, yüksek ayrışma direnci ve şekil değiştirme yeteneğine sahip olması gereklidir. Yüksek akıcılık, üstün akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları (süperakışkanlaştırıcılar) yardımı ile sağlanırken betonun kararlılığı (ayrışma direnci), ince malzeme miktarını yüksek tutmakla ve/veya viskozite artırıcı maddeler kullanarak gerçekleştirilmektedir. KYB'un sadece doldurma özelliğine sahip olması yetmemekte, aynı zamanda donatılar arasından kolayca geçebilir özellikte olması da gerekmektedir. Betonun kolayca şekil değiştirebilmesi için kayma eşiğinin küçük olması gerekir. Bu özelliğin, su miktarını artırarak sağlanması durumunda betonun kararlılığı bozulmakta, yani ayrışma eğilimi ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle ayrışmanın göstergesi olan viskozite özelliği çok küçülmemelidir [4].

KYB'ların bu özelliklerini düşük su/ince malzeme oranlarında sağladıkları görülmekte, ince maddenin bağlayıcı özellikte seçilmesi durumunda hem dayanım hem de dayanıklılıkları yüksek olmaktadır; bu nedenle yüksek başarılı (performanslı) betonlar sınıfına sokulabilmektedir. Ayrışma dirençlerinin yüksek oluşu KYB'lara su altında kullanılma olanağı vermektedir. Öte yandan bu betonlarda "top bar effect" olarak adlandırılan, bir yatay yapı elemanında (kiriş gibi) kesitin üst kenarına yakın çelik çubukların alt kenara yakın olanlara göre daha düşük aderansa sahip olma özelliğini göstermedikleri anlaşılmıştır. KYB, düzgün yüzey elde edilmesine olanak vermeleri ve üretim sırasında vibratör gerektirmemeleri nedeniyle prefabrike eleman endüstrisinde de kullanılmaları yaygınlaşmaktadır [4].

## 2.2. Tarihsel Gelişim

KYB'lar ilk kez 1988 yılında Japonya'da kalıcı betonarme yapılar yapmak amacıyla geliştirildi. KYB üzerine yazılan ilk bildiri 1989'da Ozawa tarafından Doğu Asya ve Pasifik Yapı Mühendisliği Konferansında sunulmuştur. Aynı bildirinin 1992'de İstanbul'daki CANMET & ACI Uluslararası Konferansında sunulması KYB kavramının dünyaya yayılmasını hızlandırmıştır. 1994'de Bangkok'daki ACI çalıştayından sonra KYB, dünyadaki araştırmacıların ve mühendislerin ilgi odağı haline gelmiştir. 1996'da New Orleans'da ACI Sonbahar Kongresinde KYB, Amerika ve Kanada'da da iyice yaygın hale geldi; sonuç olarak KYB üzerine dünya ölçeğinde araştırmalar başlamış oldu [5].

SONEBI MOHAMMED tarafından yapılan çalışmada, orta dayanımlı uçucu kül içeren KYB modellemede kullanılmak üzere deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yeni hazırlanmış taze KYB'nun etrafında engeller bulunan ve onun kendi ağırlığı ile kalıpları tamamen doldurması ve akıcılığıyla yerleşmesi incelenmiş ve herhangi bir segregasyon ve blokajlaşma gözlenmemiştir. Daha kaliteli beton ve çalışma durumlarını iyileştirme için sınıflandırmalar yapılmıştır. KYB karışımları genellikle daha yüksek içeriklerde ince dolgu malzemeleri, çimento içeriği ve aşırı derecede sıkıştırılmış güçlü beton üretmektir ki, o özel bir betondur ve uygulama alanlarında dar yerlerden geçebilir. KYB'lardan elde edilebilen maksimum fayda pratik olarak genel beton ile ilgili yapılara adapte olabilmesidir [13].

NAN SU vd KUNG-CHUNG HSU vd HIS-WEN CHAI tarafından yapılan KYB için basit bir karışım metodu isimli deneysel çalışmada, ilk olarak agregadaki gerekli oranların tanımlanması yapılmış ve agreganın boşluklarını dolduran bağlayıcıların birleştirme özellikleri ve betonun akıcılığının özellikleri incelenmiştir. KYB'nun istenen diğer bir özelliği ise serbest sıkışabilme yeteneğidir. Agreganın miktarı, bağlayıcı ve karışım suyu ilaveten süperakışkanlaştırıcının türü, dozajı ve kullanılması ile ilgili özelliklerini içeren önemli faktörlerdir. Slump akışı, V hunisi, L akışı (kutusu), U kutusu ve basınç testleri KYB'nun performanslarını incelemek için sürdürülmektedir ve sonuçlar göstermiştir ki yüksek kaliteli KYB'u başarılı bir şekilde üretmek için metotlar önermektedir. Japon Hazır Beton Birliği (JRMCA)

tarafından gerçekleştirilen metotla karşılaştırıldığında bu metot daha basittir. Uygulanabilirliği kolaydır ve daha az zaman harcanır. Daha az miktarda bağlayıcı gerektirir ve maliyetinin tasarruf sağladığını belirtmişlerdir [14].

WENZHONG ZHU vd PETER J.M. BARTOS tarafından kendiliğinden yerleşen betonun yayılma özelliği incelenmiştir. Bu makalede yayılma özelliği, geçirgenlik, absorpsiyon, yayılma gücü v.b ile beton dayanıklılık karakteristiklerinin yaygın olarak kullanılmalarını içermiştir. Aynı mukavemet derecelerine sahip geleneksel vibrasyon referanslı beton ile KYB karışımlarının farklı bölgelerdeki yayılma özelliklerinin karşılaştırılması ile ilgili deneysel bir çalışma olarak sunulmuştur. KYB karışımlarının karakteristik küp basınç dayanımları 40 ve 60 MPa olarak dizayn edilmiş, ilave olarak ne dolgu gereci olarak toz malzeme ne de herhangi bir dolgu gereci kullanılmamıştır. Sonuç olarak göstermiştir ki KYB karışımları normal vibrasyona tabi tutulmuş aynı mukavemet derecesine sahip normal beton referansından önemli derecede düşük oksijen geçirimsizliğine sahiptir[15].

ŞAHMARAN vd YAMAN vd TOKYAY tarafından yapılan çalışmada, yüksek hacimli uçucu kül kullanarak KYB üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Yayılma testi sonunda betonun yayılma çapı 730 ile 800 mm, 50 cm yayılma genişliğine ulaşma süresi ise 2 ile 4 sn arasında değişmektedir. Yayılma testi sonunda bütün karışımların KYB özelliği gösterdiği gözlenmiştir. V-Hunisi testi sonunda elde edilen akma sürelerinde, karışımların vizkozitesi KYB olma standartlarına göre biraz yüksek olduğu gözlenmiştir. Sertleşmiş KYB' ler üzerinde yapılan basınç dayanım deneyi sonuçlarına göre, 28 günlük basınç dayanımları 46 Mpa ile 30 MPa arasında değişmektedir. Uçucu kül miktarı toplam bağlayıcı miktarının ağırlıkça %50' sine kadar olan karışımlarda ilk günlerdeki basınç dayanımı farkı kapanmaktadır[16].

FELEKOĞLU vd BARADA' nın KYB' ların mekanik özellikleri ile ilgili deneylerde, KYB tasarımında sabit bir çimento dozajında akışkanlaştırıcı katkı miktarı artırılıp karışım suyu azaltıldıkça, yayılma değeri belirli sınırlar arasında tutulurken viskozite hızla artmaktadır. Sabit bir çimento dozajı ve agrega gradasyonunda, su/toz oranı artışıyla aynı anda katkı dozajının azaltılması, taze betonun donatılar arasından geçiş yeteneğini arttırmaktadır. Bu çalışmada üretilen



KYB' ların çekme dayanımları aynı dayanım sınıfındaki normal betonlara kıyasla %3 ile %17 arasında değişen mertebelerde daha yüksektir. Bu çalışmada üretilen KYB' ların elastisite modülünde normal betonlara kıyasla önemli bir farklılık gözlenmemiştir. L-kutusu karot deneyleri ile KYB' nun yatay yönde akışında ayrışma meydana gelip gelmediği belirlenebilir[17].

GÜRDAL vd YÜCEER' e göre KYB üretimi, titizlik gerektirmekte ve çok sıkı denetleme işlemlerini zorunlu kılmaktadır. KYB' nun her türlü karmaşık kalıplarda, vibrasyonun mümkün olmadığı durumlarda, dar ve sık donatılı kesitlerde kullanımı inşaat teknolojisi açısından çok büyük bir kolaylıktır. KYB' nun geliştirilmesi ve hafif agregalı KYB, çelik tel donatılı KYB, polipropilen lif donatılı KYB üzerinde çalışmalar dünya çapında devam etmektedir[2].

SAĞLAM vd PARLAK vd DOĞAN vd ÖZKUL' un KYB ve katkı-çimento uyumu adlı çalışmalarında, değişik adet ve değişik çimento çeşitleriyle deneyler gerçekleştirmişler yayılma hızlarını tespit etmişler. Denenen betonların 1 günlük dayanımlarının hem çimento, hem de katkı cinsinden etkilendiği, ayrıca bazı çimento ve katkıların birlikte kullanılmaları durumunda büyük miktarda hava sürüklendiği ve bunun da dayanımları etkilediği belirlenmiştir. Taze beton özellikleri ve dayanımlar açısından çimento-katkı etkileşmesinin önemli olduğu, bu nedenle uygulamaya geçmeden önce çimento-katkı uyum deneylerinin yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır[4].

ŞİMŞEK vd BEKTAŞ vd ERDAL' ın Vibrasyon süresinin betonun basınç dayanımına ve birim ağırlığına etkisi adlı çalışmalarında, toplam 40 adet 10 cm.lik küp numuneler hazırlamışlar ve hazırlamış oldukları bu küp numunelerine masa vibratörü kullanarak değişik sürelerde vibrasyon uygulamışlar, bu numunelerde tek eksenli basınç deneyi yapmışlar ve numunelerin basınç dayanım değerleri ve birim ağırlıklarını belirlemişlerdir. Vibrasyonun betonarme için önemli olduğunu ortaya koymuşlardır. KYB' da ise herhangi bir vibrasyona gerek olmadığı için hem zaman hem gürültü hem de ekonomik açıdan büyük bir avantaj sağladığı söylenebilir [18].

Bugün KYB kullanılarak elde edilen üstünlüklerin ötesinde, bu kullanımı geleneksel hale getirerek genele yayma fikri ulaşılmak istenen bir hedef olarak görülmektedir. KYB ile ilgili dünyada yapılmış araştırmalar KYB'un tüm sertleşmiş ve taze haldeki özelliklerini incelemek amacıyla yapılmıştır. Pratikteki sorunları görmek için pilot uygulama projeleri geliştirilmiştir. Günümüz itibariyle önemli deneyimler elde edilmiş ve büyük gelişme kaydedilmiştir [6].

### **2.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonu Oluşturan Malzemeler**

Geleneksel betonda kullanılan Normal Portland Çimentoları KYB üretiminde de kullanılabilir. Ancak bazı çimentolarla KYB üretimi daha başarılı olabilmektedir. Bu konuda yapılan bir çalışmada [7] TÇ 32,5 ve PZÇ 32,5 çimentolarının kendiliğinden yerleşen beton katkılarının ilk kuşak türleri ile uyumsuzluk gösterdiği görülmüştür. Ancak bu katkıları üzerinde çok hızlı gelişmeler gerçekleşmekte ve bu uyum sorunu azaltılmaktadır. Süperakışkanlaştırıcı olarak yüksek oranda su kesici özelliğe sahip ve molekül ağırlığı optimize edilmiş bir kimyasal katkı kullanılabilir. Bu amaçla polikarboksilat veya naftalin esaslı polimerler yaygın kullanılan katkılarıdır [8,9]. İnce madde olarak 100 mikrondan ince taneler düşünülmelidir. Bu amaçla uçucu kül, zeolit, taş unu [9,10], cüruf (öğütülmüş), silis dumanı kullanılabilir. KYB'ların ayrışma direnci viskozite artırıcı katkıları ile de artırılabilir. Bu maddeler taze betonun viskozitesini artırarak ayrışmayı (terleme dahil) azaltan, betonun kararlılığının bozulmamasını sağlayan ve agreganın çimento hamuru içinde askıda kalmasını gerçekleştiren maddelerdir. Viskozite artırıcı katkıları nişasta ve doğal zambak (sakız), ayrılmış nişasta, selüloz eter türevleri (hidroksipropil metil selüloz gibi) yarı sentetik, ve etilen kökenli (polietilen oksit gibi) ve vinil kökenli (polivinil alkol gibi) sentetik polimerler olabilirler [11].

Geleneksel betonda kullanılan ince ve iri agregalar KYB'da da kullanılabilir, ancak maksimum agrega boyutu geleneksel betondakinden daha küçüktür ve genellikle 20 mm'nin altında kalır. Ayrıca geleneksel betondan farklı olarak kum oranı artmış, buna karşılık iri agrega miktarı azaltılmıştır.

## 2.4. Taze Beton Özellikleri ve İşlenebilme

KYB'ların performansları ile taze beton özellikleri arasında önemli bir ilişki vardır. Reoloji ve işlenebilirlik parametreleri KYB'un pratikteki kullanım performansını etkilemektedir. Kendiliğinden yerleşme yeteneği üç parametre ile karakterize edilebilir: doldurma yeteneği, ayrışmaya karşı direnç ve geçiş yeteneği [12].

### 2.4.1. Doldurma yeteneği

KYB kendi ağırlığı ile şeklini değiştirme ve deforme olma özelliğine sahip olmalıdır. Doldurma yeteneği, betonun boşaltma noktasından ne kadar uzaklığa akabildiği ve bu akışın hızı (deformasyon hızı) kavramlarını içermektedir. Yayılma deneyi ile ölçülen betonun yayılma çapı ve bu çapa ulaşılması için geçen süre ile sözkonusu özellik değerlendirilebilir. İyi bir doldurma yeteneği için, deformasyon kapasitesi ile deformasyon hızı arasında bir denge olmalıdır.

Betonun iyi deforme olabilmesi için, iri agrega, ince agrega ve her türlü bağlayıcı dahil katı tanecikler arasındaki sürtünmenin azaltılması faydalıdır. Ancak bu yeterli değildir; çimento hamuru fazı da iyi deforme olabilmelidir. Yüksek akışkanlıkla birlikte ayrışmaya karşı yüksek direncin sağlanması, KYB'un engellerin arasından geçerek doldurma kapasitesinin artırılması açısından önemlidir.

Uygun doldurma yeteneği için aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır:

Çimento hamuru fazının deformasyon yeteneğinin artırılması:

1.Süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımı

2.Dengelenmiş su/bağlayıcı oranı

Tanecikler arası sürtünmenin azaltılması:

1.Düşük kaba agrega hacmi (yüksek çimento hamuru fazı içeriği)

2.Kullanılan agrega ve çimentoya göre optimum gradasyon

### 2.4.2. Ayrışmaya karşı direnç

Taze betonda ayrışma (segregasyon), bileşen malzemelerin homojen olmaksızın dağılarak yapıdaki özellikleri de dağılıma uğratması olayıdır. Normal akışta ayrışma

göstermeyen taze beton, örneğin sık donatıların bulunması durumunda ayrışmaya uğrayabilir.

KYB gerek durağan, gerekse akış halinde aşağıdaki tip ayrışmaları göstermemelidir:

1. Terleme,
2. Çimento hamuru fazı ve agrega ayrışması,
3. Blokaja (kilitlenme) neden olan kaba agrega ayrışması,
4. Hava boşluğu dağılımında düzensizlik.

Uygun ayrışma direnci için aşağıdakiler dikkate alınmalıdır:

Katı maddelerin ayrılmasını azaltmak,

1. Sınırlı agrega içeriği
2. Azaltılmış en büyük agrega tane çapı
3. Düşük su/bağlayıcı oranı
4. Viskozite arttırıcı

Serbest terlemenin minimize edilmesi,

1. Düşük su içeriği
2. Düşük su/bağlayıcı oranı
3. Yüksek yüzey alana sahip bağlayıcılar
4. Viskozite arttırıcı

### **2.4.3. Geçiş yeteneği**

KYB yeterli akıcılığa ve aynı zamanda ayrışmaya karşı dirence sahip olduğunda etkili bir işlev görür. Ancak dar geçişler ve çok sık donatı söz konusu olduğunda, ekstra bir ihtiyaç daha doğmaktadır ki, bu da kaba agregaların blokajlanmamasıdır.

Mükemmel doldurma yeteneğine ve ayrışma direncine sahip olan bir KYB'da bile aşağıdaki durumlarda blokaj riski söz konusudur:

1. Agrega en büyük dane çapı çok büyükse
2. İri agregaların içeriği çok yüksekse

Uygun geçiş yeteneği için aşağıdakiler dikkate alınmalıdır:

Agrega ayrışmasını azaltmak için kohezyonu arttırmak

1.Düşük su/bağlayıcı oranı

2.Viskozite arttırıcı

Uygun iri agregâ kullanımı

1.Düşük kaba agregâ hacmi

2.Düşük en büyük dane çaplı agregâ

## **BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMA**

### **3.1. Deney Yöntemleri**

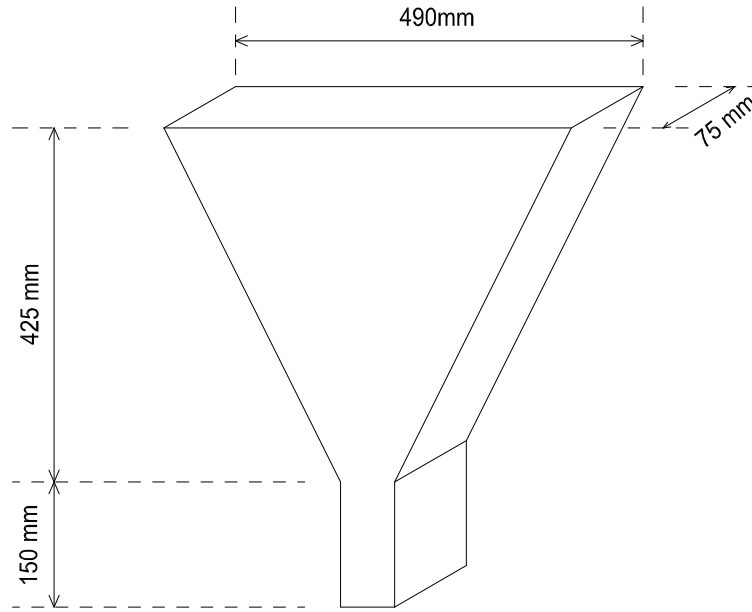
Kendiliğinden yerleşen betonun doldurma yeteneğinin, ayrışmaya karşı direncinin ve geçiş yeteneğinin kalitelerini belirlemek amaçlı yapılması gereken deneyler ve açıklamaları aşağıda belirtilmiştir.

#### **3.1.1. Yayılma deneyi**

Bu deney taze KYB'un deformasyon hızının gözlenmesini ve numunenin kendi ağırlığı ile yayılarak oluşturacağı çapın ölçülmesini kapsar. Deney aparatı olarak çökme (slump) hunisi ve 80 cm x 80 cm boyutlarında bir tabla kullanılır. Çökme hunisi KYB ile doldurularak kendi ağırlığı ile seviyelenmesi beklenir. Slump hunisi çekildiğinde dairesel olarak yayılan KYB'nun ortalama çapı ölçülür. Ayrıca bir kronometre ile 50 cm yayılma değeri için geçen zaman tutulur.

#### **3.1.2. V-Hunisi deneyi**

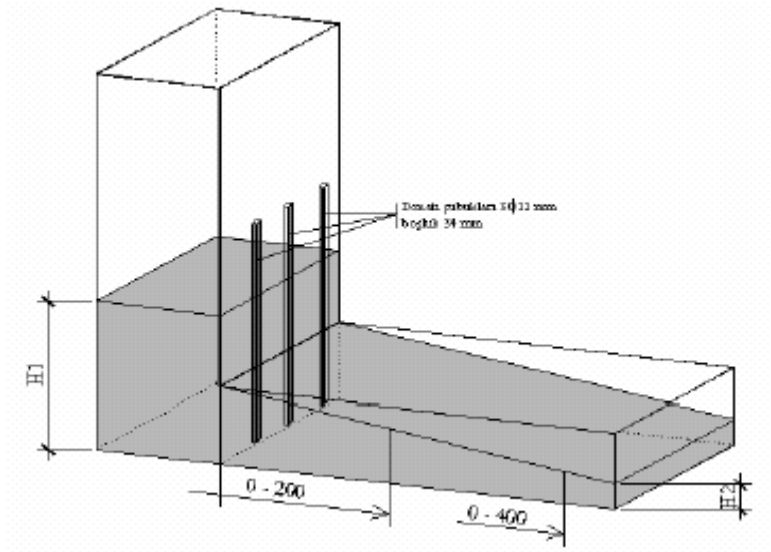
Bu deney, taze KYB'un kendi ağırlığı ile özel tasarlanmış bir huninin dar olan ağzından boşalma süresinin ölçülmesini içerir. Deney, KYB'un viskozitesi ve geçiş yeteneği hakkında fikir vermektedir. Aparat olarak özel bir huni kullanılır(Şekil 3.1). Huniye KYB doldurulduktan sonra en altta bulunan sürgülü kapak açılır ve huni içindeki tüm betonun boşalma süresi tutulur.



Şekil 3.1. V-Hunisi deney aparatı

### 3.1.3. L Kutusu deneyi

Bu deney, taze KYB'un kendiliğinden yerleşme yeteneğinin, doldurma yeteneğinin, geçiş yeteneğinin ve ayrışmaya karşı direncinin L şeklindeki bir kutu içerisinde gözlenmesini kapsar. L kutusu Şekil 3.2'de görülmektedir. Kutunun alt ortasında sürgülü bir kapak ve aynı zamanda engel teşkil edecek demir çubuklar bulunmaktadır. Sürgülü kapak çekilerek betonun diğer bölüme 20 cm ve 40 cm ilerlemesinin süreleri ölçülür. Aynı zamanda kutunun her iki tarafındaki seviye farkı tespit edilir.

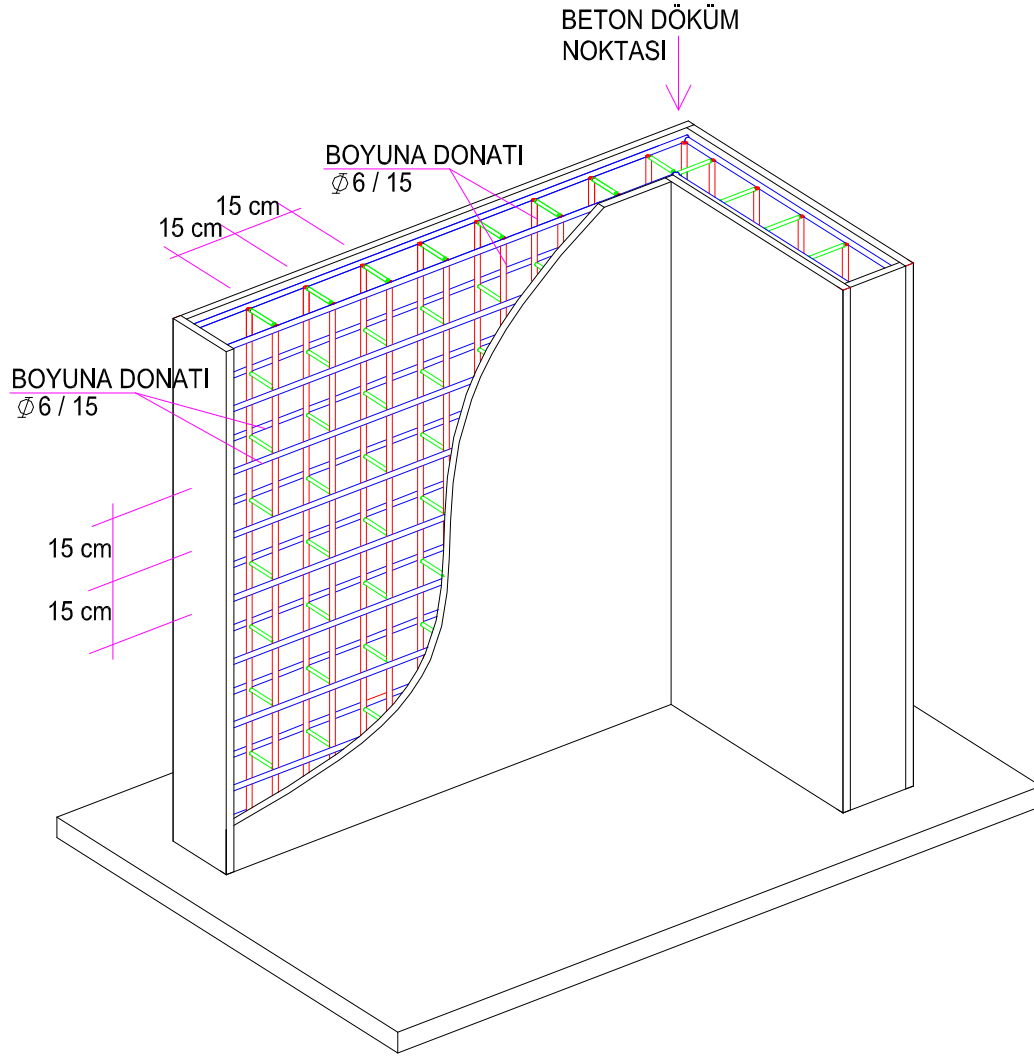


Şekil 3.2. L-Kutusu deney aparatı

### 3.1.4. Optimum yerleşme deneyi

Bu deney KYB'un şantiyede uygulanması sonucu kendiliğinden yerleşme yeteneğinin, doldurma yeteneğinin, geçiş yeteneğinin ve ayrılmaya karşı direncinin derecesinin gözlenmesini kapsar. Deney aparatı olarak Şekil 3.3.'te görülen (Ø6/15) enine ve boyuna donatılardan oluşan her kesişim noktasından çirozlu bir perde donatısı tasarlanmıştır. Gerekli beton karışımı tamamlanıp sabit bir beton döküm noktasından beton dökülür ve betonun perde kalıbı içerisinde kendiliğinden ilerlemesi için hiçbir müdahalede (vibrasyon) bulunulmaz. Kalıp tamamen KYB ile doldurulur. Ertesi gün kalıp sökülür ve beton 28 gün açık havada bekletildikten sonra karot numuneleri alınır.





Şekil 3.3. Optimum Yerleşme Deney Aparatı

## 3.2. Malzemeler

### 3.2.1. Uçucu kül

Ülkemizde son yıllarda artan enerji ihtiyacı termik santrallerin yaygınlaşmasını kaçınılmaz hale getirmiştir. Bu santrallerden açığa çıkan atıkların, özellikle de uçucu külün önemli çevre sorunları yarattığı bilinmektedir. Bu atığın inşaat sektöründe, özellikle beton ve çimento üretiminde değerlendirilmesi çevresel, teknik ve ekonomik yönden büyük faydalar sağlamaktadır. Uçucu kül puzolanik özelliği olan ve betonun bir çok özelliğini olumlu etkileyen değerli bir beton katkısıdır. Uçucu kül küresel yapısı nedeniyle betonun işlenebilme özelliğini iyileştirmekte, taze betonda su kusmayı (terleme) azaltmakta, betonun hidrasyon ısısını azaltarak sıcak havalarda kütle betonu dökümüne imkan tanımakta, puzolanik reaksiyon sayesinde

betonun uzun dönemli mukavemetine katkıda bulunmakta, betonun geçirimsizliğini azaltmakta ve betonun iç ve dış kaynaklı yıpratıcı etkilere dayanıklılığını arttırmaktadır. Bu yararlı özellikleri uçucu külün beton üretiminde yaygın olarak kullanımına ve araştırmaların bu konu üzerinde yoğunlaşmasına yol açmıştır [19-26]. Buna karşılık, uçucu kül betonun erken dayanımını düşürebilmekte ve özellikle yüksek kireç içerikli (C sınıfı) uçucu külün betonda yüksek oranda kullanımı ise betonun hacim sabitliğinin bozulmasına yol açabilmektedir. Ülkemizde açığa çıkan uçucu küllerin büyük bölümü yüksek kireç içeriklidir ve uçucu kül özellikleri santralden santrale, hatta aynı santralde zamana bağlı olarak büyük değişiklikler gösterebilmektedir. Son yıllarda İzmir yöresindeki bir çok çimento fabrikası ve hazır beton tesisi Soma B termik santraline ait uçucu külü kullanmaktadır. Soma termik santralinde yeni kurulan kül işleme tesisleri sayesinde uçucu külün yapısında zamana bağlı olarak meydana gelebilen değişkenlikler azaltılabilmektedir.

### 3.2.1.1. Uçucu küllerin sınıflandırılması

Bilindiği gibi kendi başına bağlayıcı olmayan ancak öğütülmüş halde, normal sıcaklıkta ve rutubetli ortamlarda kalsiyum hidroksitle (sönmüş kireç) reaksiyona girerek ilave bağlayıcı bileşikler meydana getiren silisli veya silisli ve alüminli malzemelere puzolan adı verilmektedir [27]. Puzolanlar, doğal ve yapay olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. UK, yapay puzolan sınıfına giren atık bir malzemedir [30,31-33]. UK'ler, kimyasal kompozisyonlarına göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. UK'ler, içerdiği analitik CaO miktarı bakımından;

1. CaO miktarı % 10'dan az olanlara düşük kireçli/kalsiyumlu UK,
  2. CaO miktarı % 10'dan fazla olanlara yüksek kireçli/kalsiyumlu UK,
- olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [32].

UK, yapısındaki kireç ve  $SO_3$  miktarına göre ise üç grupta toplanmaktadır. Bunlar;

- 1.Esas yapısı siliko aluminatlardan meydana gelen,  $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$  (S+A+F) toplamı % 70'in üzerinde olan ve genellikle taşkömüründen elde edilen siliko alüminalı UK,
- 2.Genellikle linyit kömüründen elde edilen, S+A+F toplamı % 50 ile % 70 arasında olan ve kireç ile silika miktarı yüksek olan siliko kalsik UK,

3.Genellikle linyit kömüründen elde edilen, S+A+F toplamı % 50'in üzerinde olan ve diğerlerine göre daha fazla SO<sub>3</sub> ve CaO ihtiva eden sülfü kalsik UK'lerdir [33].

UK'ler, ASTM C 618'e göre de iki başlık altında toplanmaktadır. Bunlar sırasıyla,

1) Bitümlü kömürlerden elde edilen ve S+A+F toplamı % 70'in üzerinde olan F sınıfı UK,

2) Genellikle linyit veya yarı bitümlü kömürlerden elde edilen ve S+A+F toplamı % 50'in üzerinde olan C sınıfı UK'lerdir [32].

Yukarıda belirtilen siliko alüminalı UK, F sınıfındadır. Siliko kalsik UK'lerin bazıları F sınıfı içinde, bazıları da C sınıfı içinde yer almaktadır. Sülfü kalsik UK'lerin çoğu, C sınıfı UK olarak isimlendirilmektedir [35]. Diğer bir sınıflandırma, ENV 197-1'e göre yapılmakta ve UK, iki kategoriye ayrılmaktadır. Buna göre UK'lü çimentolarda kullanılacak olan UK'ler, silisli ve kalkerli UK'ler olarak sınıflandırılmıştır [29].

### 3.2.1.2. Uçucu küllerin fiziksel özellikleri

UK'ün fiziksel özellikleri, genel olarak termik santralde yakılan kömürün özelliklerine ve yanma sistemine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. UK, genellikle gri renktedir ve rengi, içindeki yanmamış karbon miktarı arttıkça daha koyu bir hal almaktadır. UK, % 60-90 camsı bileşen ihtiva eden çok ince taneciklerden meydana gelmektedir [30,31]. UK'ün tane şekli, yuvarlaktır ve çapları, 1-200 µm arasında değişir [34-36]. Taneciklerin yaklaşık % 75'inin çapı 45 µm'den, % 50'den çoğu ise 20 µm'den daha küçüktür [34,35]. UK'ün yoğunluğu, 2.2- 2.7 g/cm<sup>3</sup> dolayındadır [35]. UK'ün özgül yüzeyi, çimento inceliğine yakın olup öğütme yapılmadan kullanılabilmesini göstermektedir [37].

### 3.2.1.3. Uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları

UK'lerde S+A+F toplamının, genellikle % 70 değerinden fazla olduğu ve ASTM C 618'deki şartın sağlandığı görülmektedir. Kullanılan kömür cinsine bağlı olarak bazı UK'lerde önemli oranda CaO bulunmaktadır. CaO miktarı % 10'un altında olan

UK'ler, düşük kireçli veya düşük kalsiyumlu, % 10'un üstünde olanlar ise yüksek kireçli veya yüksek kalsiyumlu UK olarak adlandırılmaktadır. ASTM C 618'e göre UK'ler, S+A+F toplamı % 70'in üzerinde ise F sınıfı UK, S+A+F toplamı % 50'nin üzerinde ise C sınıfı UK olarak gruplandırılmaktadır [32].

#### 3.2.1.4. Uçucu küllerin mineralojik yapıları

UK'lerin puzolanik özellikleri, kimyasal bileşiminden daha çok mineralojik yapıları ile ilişkilidir. Düşük kireçli UK'lerin ana aktif bileşeni, silis ve aluminadan oluşan amorf ya da camsı fazdır. Bu tip UK'ler, rutubetli ortamda sönmüş kireç ( $\text{CaOH}_2$ ) ile reaksiyona girdikleri için puzolanik özelliğe sahiptirler. Yüksek kireçli UK'ler ise, hem puzolanik özellik gösterirler hem de sahip oldukları serbest kireç, trikalsiyum aluminat, amorf silis ve alumina vb. sebebiyle kendi başlarına bir miktar bağlayıcı özelliğe sahip olabilirler [36]. UK tanecikleri, yuvarlak bir şekle sahiptir. Düşük kireçli UK'lerdeki camsı faz miktarı, yüksek kireçli UK'lerden daha fazladır. Düşük kireçli UK'lerde mineral faz olarak; camsı faz, mullit( $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ ), hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), manyetit ( $\text{Fe}_2\text{O}_4$ ), kuvarz( $\text{SiO}_2$ ) vb. var iken yüksek kireçli UK'lerde sayılanlara ek olarak serbest kireç( $\text{CaO}$ ), anhidrit( $\text{CaSO}_4$ ), trikalsiyum aluminat ( $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ ), plajiyoklaz, gehlenit, feldspat gibi kalsiyum silikatlar bulunmaktadır [36,38].

Tablo 3.1. Uçucu külün kimyasal ve fiziksel analizi

<b>Kimyasal Analiz Bileşenler</b>	<b>Uçucu Kül % Ağırlıkça</b>	<b>TS 639 (1)</b>
SiO <sub>2</sub>	48.53	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.61	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.59	-
S+A+F	80.73	>70.0
CaO	9.48	-
MgO	2.28	<5.0
SO <sub>3</sub>	2.48	<5.0
KK	1.69	<10.0
Cl <sup>-</sup>	0.005	-
Na <sub>2</sub> O	0.35	-
K <sub>2</sub> O	2.51	-
Serbest CaO	0.11	-
<b>Fiziksel Özellikler</b>		<b>TS 639 (1) %</b>
32 µ elekte kalan	22.31	-
90 µ elekte kalan	1.7	<8<10
Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	2.43	-
İncelik (Blaine, cm <sup>2</sup> /g)	3340	-

1: TS 639 (uçucu kül standardı) 'da maksimum ve minimum değer

### 3.2.2. Zeolit

Yirminci yüzyıl teknolojisinin giderek artan hammadde gereksiniminin en çok yansıdığı alan endüstriyel hammaddeler olmuştur. Bunlar içinde ise yoğun araştırmaların yapıldığı ve en çok zincirleme buluşların birbirini izlediği hammaddelerden biri zeolittir. Zeolitler kristal yapıları ve kimyasal özellikleri nedeni ile günümüz endüstrisinde kullanılabilen hammaddelerdir [39].

Zeoliti 1756'da İsveç'li mineralog Cronstedt keşfetti ve doğal zeoliti sınıflandırdı. Keşfettiği zeolit ısıtıldığında çok çabuk su kaybeden yapısından dolayı Latince “zeo” ve kaya parçalarının ısıtılmasına da “lithos” denilmesinden dolayı malzemeye zeolit adını vermiştir [40].

Damour 1857’de zeolitin hidrasyon-dehidrasyon özelliğini kayıt etti [40]. Eichorn (1858) zeolitin iyon değişimi özelliğini buldu [41]. Weighel ve Steinhoff (1925) zeolit tanacıklarının gaz moleküllerini iç bünyelerine aldığını ispatladılar [42]. Mc. Bain (1932) popüler olan ve bugün de kullanılan “molecular sieving” (moleküler elek) özelliğini gösterdi [43]. Bunun nedeni zeolitlerin kristal kafesleri içindeki kanal genişliklerine bağlı olarak, gaz moleküllerinin boylarına ve yapılarına göre, bazı moleküllerin geçmelerine izin vermeleri, bazılarını geri çevirmeleri ve bazılarını da yüze soğurmalarıdır. Doğal zeolitlerin mineral olarak tanınmaları 1976 yılına rastlar [39]. Bu konuda 1970’ten günümüze kadar çok sayıda zeolit türü incelendi. Endüstriyel ve ticari anlamda çeşitli uygulama alanları üzerinde araştırmalar yapılmaktadır.

"Zeolit" kelime olarak "Kaynayan Taş" anlamındadır. Isıtıldığında patlayarak dağılması nedeni ile bu isim verilmiştir. Alkali ve toprak alkali metallerin kristal yapıya sahip sulu alümina silikatları olup çerçeve silikatlar grubundadır. İskelet yapılarındaki Si/Al oranlarındaki ve içerdikleri katyon cinsi ve miktarlarındaki bazı farklılıklara rağmen;  $(M^+, M^{+2}) O \cdot Al_2O_3 \cdot 9SiO_2 \cdot nH_2O$  genel formülü ile ifade edilebilirler [46,47]. Burada  $M^+$  bir alkali katyon olup genellikle  $Na^+$  veya  $K^+$ , nadiren de  $Li^+$  olur.  $M^{+2}$  ise bir toprak alkali katyondur ve genellikle  $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Fe^{+2}$  nadiren de  $Ba^{+2}$ ,  $Sr^{+2}$  olur. Herhangi bir zeolit kristalinin en küçük yapı birimi  $SiO_4$  veya  $AlO_4$  tetraederleridir (dörtüzyeyle). Si ve Al tetraederlerinin oluşturduğu birincil yapı ünitelerinin birleşmesi ile tek ve çift halkalı ikincil yapı üniteleri ve yüksek simetrik parametreler meydana gelir. Bu polieder ve ikincil yapı ünitelerinin üç boyutta değişik şekillerde dizilmesi ile de mikro gözeneklere sahip zeolit iskeleti ortaya çıkar. Poliederler ve bunları birbirine bağlayan ikincil yapı üniteleri arasında yer alan bu mikrogözenekler mikropencerelerle birleşip bir, iki veya üç boyutlu boşluk sistemleri ve/veya kanalları oluşturur. Boşluk miktarı toplam hacmin %20'si ile %50'si arasındadır. Zeolit minerallerinin en önemli özelliği; bu boşluklar ve bu boşluklara kolayca girebilen ve yer degistirebilen sıvı ve gaz molekülleri ile toprak alkali iyonlardan ileri gelen "moleküler elek" olmalıdır.

Zeolitlerin başlıca fiziksel ve kimyasal özellikleri olan; iyon değişikliği yapabilme açık renkli olma, hafiflik, küçük kristallerin gözenek yapısı zeolitlerin çok çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmalarına neden olmuştur.

Tablo 3.2. Doğal zeolitin kimyasal ve fiziksel analizi

<b>Kimyasal Bileşenler</b>	<b>Analiz</b>	<b>Doğal Zeolit % Ağırlıkça</b>	<b>Fiziksel Özellikler</b>
SiO <sub>2</sub>		62.17	32 µ elekte kalan 32.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		9.76	90 µ elekte kalan 6.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		2.02	Özgül ağırlık(g/cm <sup>3</sup> ) 2.19
CaO		1.43	İncelik (Blaine, cm <sup>2</sup> /g) 8150
MgO		0.75	
SO <sub>3</sub>		0.07	
KK		14.06	
Na <sub>2</sub> O		0.46	
K <sub>2</sub> O		3.72	
TOPLAM		94.44	

Her ne kadar doğal zeolit cevherlerinin keşfi yeni ise de zeolitik yapıdaki tüfler zeolit oldukları bilinmeksizin dünyanın çeşitli ülkelerinde yerel halk tarafından değişik amaçlarla kullanılıyordu. Sanayileşmiş ülkelerde zeolitin endüstriyel kullanımı gün geçtikçe gelişmekte, özellikle tarımda toprak değiştirici ve gübre olarak kullanımı üzerinde yoğunlaşmaktadır. Doğal zeolitler hafif dolgu maddesi olarak kağıt endüstrisinde, atık sularındaki nükleer atıkların depolanmasında, diyet malzemesi olarak hayvancılıkta, havadan oksijen ve azot gazı eldesinde, gaz kurutma ve saflaştırmada asite karşı dayanıklılık için soğurma amaçlı, katalizör olarak petrol endüstrisinde de kullanılmaktadır [44,45]. Enerji depolama uygulamalarından ısı pompalamada, ısı transferinde ve soğutma sistemlerinde de kullanılmaktadır [46,47].

### 3.2.2.1. Zeolitin inşaat sektöründeki yeri

Puzzolan çimento ve beton: Zeolitik tüf yatakları, birçok ülkede puzzolanik hammadde olarak kullanılmaktadır. Zeolit puzzolanlar, son beton ürününün daima yer altı su korozyonuna maruz kalacağı hidrolik çimentolarda önemli uygulamalar bulmaktadır. Zeolitlerin sulu altyapılarda kullanılacak puzzolan çimento üretiminde kullanılması, yüksek silis içermeleri nedeniyle betonun katılaşma sürecinde açığa çıkan kirecin nötrleşmesini sağlayabilmektedir.

Hafif Agregat: Perlit ve diğer volkanik camlar gibi doğal zeolitler de genişmeye uygundur. Genleştirilmiş zeolitlerin sıkışma ve aşınmaya karşı dayanımı daha yüksek olup, genleştirilmiş hafif agregat üretilmektedir.

Boyutlandırılmış Taş: Zeolitik tüfler, düşük ağırlıklı, yüksek gözenekli, homojen, sıkı -sağlam yapıdadırlar. Kolayca kesilip işlenebilmeleri ve hafiflikleri ile yapı taşı olarak kullanılırlar. Birçok ülkede uzun yıllar bu amaçla kullanılan devitrifiye volkanik küller ve değişime uğramış tüflerin zeolit içerikli olduğu son yıllarda anlaşılmıştır.

### 3.2.3. Agregat

Beton karışımlarında kullanılan malzemeler BELPAŞ 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 ve zeolit katkılı beton numunelerin üretiminde iki çeşit kırma taş agregası kullanılmıştır. Agregalann iri kısmını oluşturan kırmataş BELPAŞ 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 agregalann elek analizleri T.S 706'ya göre yapılarak granülometreleri ve özgül ağırlıkları Tablo 3.3 'de verilmiştir.



Tablo 3.3. Agregaların granülometri değerleri ve fiziksel özellikleri

<b>Elek Çapı</b>	31.5 (mm)	16 (mm)	4 (mm)	2 (mm)	1 (mm)	Karışım % oranı	Birim ağırlık kg/m <sup>3</sup>
Kırma Kum	100	100	95	60	32	40	1588
Kırmataş I	100	97	8	0	0	35	1430
Kırmataş II	100	16	0	0	0	25	1429
Karışım	100	78	41	24	13		

### 3.2.4. Çimento

#### Beton

karışımlarında BOLU ÇİMENTO fabrikasının üretimi olan PKÇ.42.5 tipi portland kompoze çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri, T.S 24'e göre, BOLU ÇİMENTO fabrikası laboratuvarında yapılmış ve sonuçların T.S 19'da belirtilen standart değerlere uygun olduğu görülmüştür.

Tablo 3.4. Portlant çimentosunun kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri

<b>Bileşenler</b>	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	KK (%)	Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )
P.Ç 42.5	20.2	5.8	3.23	64.1	0.44	2.66	2.58	3.11

### 3.2.5. Kimyasal katkı

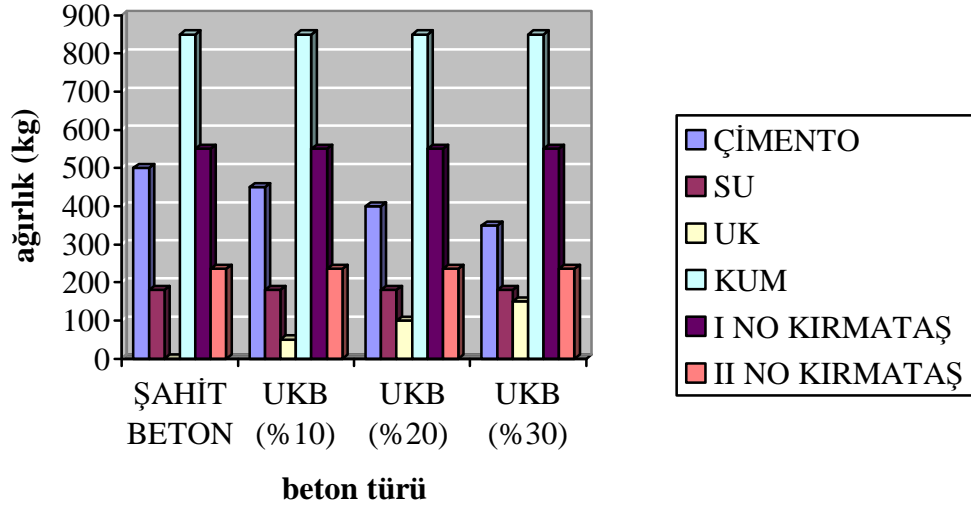
Süper Akışkanlaştırıcı :TS EN 934-2'ye uygun olan süper akışkanlaştırıcı, Kendiliğinden Yerleşen Beton'nun çalışma süresinin ayarlanmasındaki asıl bileşendir. Bu nedenle kimyasal katkı seçiminde, erken dayanım kaybı yaşattırmayacak (geciktirici özellikli olmayan) ve aynı zamanda betona min.1saat çalışma süresi özelliği katabilecek özellikte bir katkı olmalıdır. Bu özellik de ancak polikarboksilik eter esaslı özel polimerlerle sağlanabilir.

### 3.3. Karışım Oranları

Beton karışımlarında su/baglayıcı oranı 0.36 ve toplam bağlayıcı miktarı  $500 \text{ kg/m}^3$  olarak seçilmiş ve bu şekilde her bir puzolan madde için yedişer adet farklı karışım tasarlanmıştır. Şahit beton karışımında bağlayıcının tamamı portland çimentosu iken, puzolan madde katkılı karışımlarda (UK, ZEO) uçucu kül ve zeolit %10, 20 ve 30, oranlarında çimento ile ağırlıkça yer değiştirilerek kullanılmışlardır. (Tablo 3.5. ve Tablo 3.6.). Tüm karışımlarda serbest yayılma, yeterli miktarda süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılarak sağlanmıştır. Bütün KYB'ların hazırlanmasında aynı yöntem izlenmiştir. Öncelikle iri ve ince agregalar 1 dk süresince standart bir mikserde karıştırıldıktan sonra karışım suyunun 3/4'ü eklenerek karıştırma işlemine bir süre daha devam edilmiştir. Sonrasında, kimyasal katkı, geriye kalan karışım suyuna katıldıktan sonra iyice karıştırılıp, mikserde ilave edilerek 3 dk daha karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra serbest yayılma ölçülmüş ve amaçlanan yayılma sağlanınca, V-hunisi akma süresi, L-kutusu yükseklik oranı ölçülmüştür. Ayrıca, basınç dayanımının belirlenmesi için her bir karışımdan 3 adet  $150 \text{ mm}$ 'lik küp numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılmış ve 7.,28.,90. ve 365. güne kadar  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklığa sahip su havuzunda bekletilmiştir.

Tablo 3.5.  $1 \text{ m}^3$  uçucu küllü beton bileşimindeki malzeme miktarları

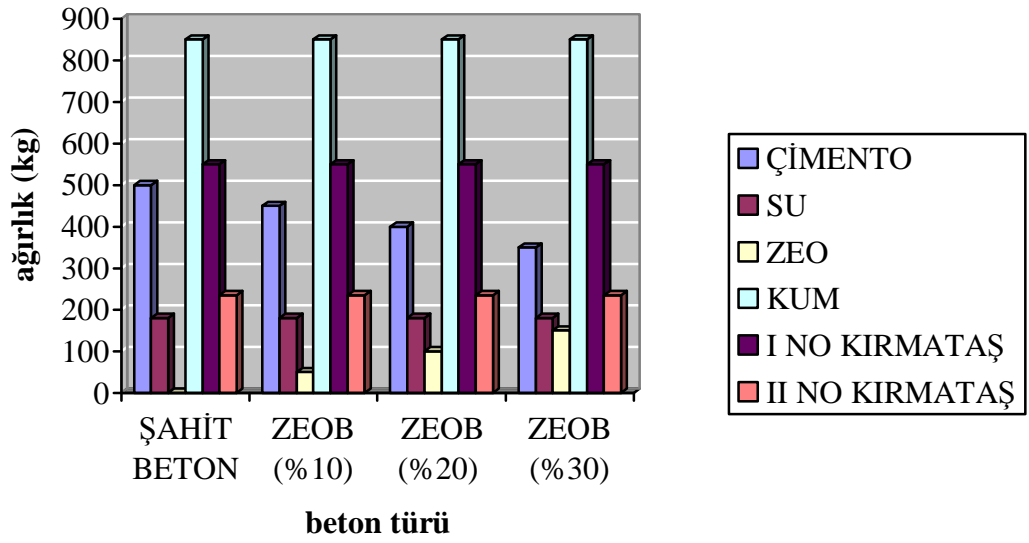
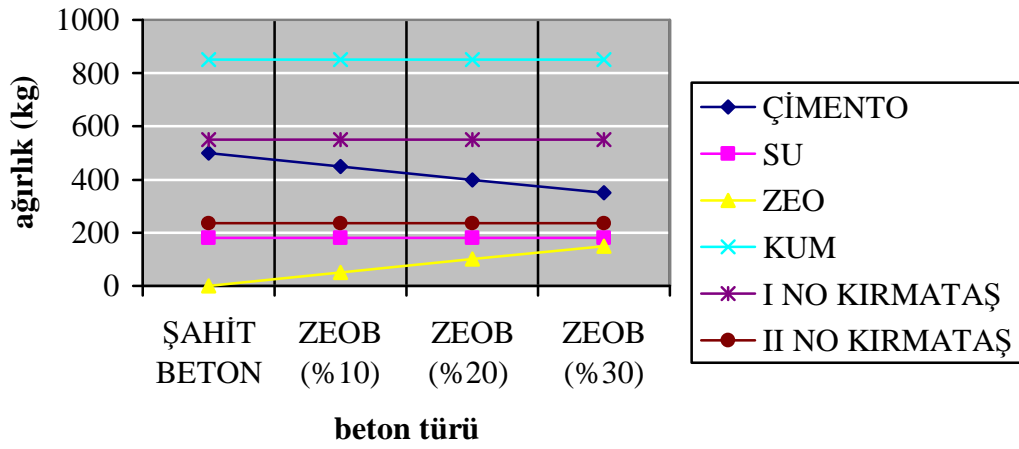
Beton Türü	Çimento (kg)	Su (litre)	Uçucu kül (kg)	Kum (kg)	I no kırmataş (kg)	II no kırmataş (kg)	Ağırlık (kg)
Şahit Beton	500	180	0	850	550	235	2315
UKB (%10)	450	180	50	850	550	235	2315
UKB (%20)	400	180	100	850	550	235	2315
UKB (%30)	350	180	150	850	550	235	2315



Şekil 3.4. 1m<sup>3</sup> Uçucu küllü beton bileşimindeki malzeme miktarları

Tablo 3.6. 1m<sup>3</sup> zeolitli beton bileşimindeki malzeme miktarları

Beton Türü	Çimento (kg)	Su (litre)	Zeolit (kg)	Kum (kg)	I no kırmataş (kg)	II no kırmataş (kg)	Ağırlık (kg)
Şahit Beton	500	180	0	850	550	235	2315
ZEOB (%10)	450	180	50	850	550	235	2315
ZEOB (%20)	400	180	100	850	550	235	2315
ZEOB (%30)	350	180	150	850	550	235	2315

Şekil 3.5. 1m<sup>3</sup> Zeolitli beton bileşimindeki malzeme miktarlarıŞekil 3.6. 1m<sup>3</sup> Zeolitli beton bileşimindeki malzeme miktarları

## **BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

### **4.1. Taze Betonun Deney Sonuçları**

#### **4.1.1. Çökme-yayılma ve j-ring deney sonuçları**

Deneyde standart çökme hunisi kullanılmıştır. Huni, sıkıştırma işlemi uygulanmadan doldurularak kaldırılmakta ve betonun tablaya önceden işaretlenen 500mm'lik çapa gelme süresi ve nihai yayılma çapı birbirine dik iki doğrultuda ölçülerek deney tamamlanmaktadır. Şahit betonda yapılan yayılma deneyi sonucu betonun 805 mm yayıldığı görülmüştür. Bununla beraber UKB (%10) betonunda bu değer 798 mm, UKB (%20) betonunda 790 mm ve UKB (%30) betonunda 792 mm olarak belirlenmiştir. Bu beton numunelerinin  $T_{500}$  (500 mm çapa yayılma süreleri) değerleri ise şahit betonda 3.70 sn, UKB (%10) betonunda 3.40 sn, UKB (%20) betonunda 4.20 sn ve UKB (%30) betonunda 5.30 sn olarak belirlenmiştir. Şahit betonun J-Ring deneyi yayılma süresi 3.14 sn, UKB (%10) betonunda 3.05 sn, UKB (%20) betonunda 3.25 sn ve UKB (%30) betonunda 3.90 sn olarak belirlenmiştir.(Tablo 4.1.)

ZEOB (%10) betonunda numunenin tablanın üzerinde 790 mm çap oluşturduğu görülmüştür. Bu değer ZEOB (%20) betonunda 783 mm ve ZEOB (%30) betonunda 768 mm olarak ölçülmüştür. Bu betonların  $T_{500}$  değerleri ZEOB (%10) betonunda 3.90 sn, ZEOB (%20) betonunda 4.80 sn ve ZEOB (%30) betonunda 6.20 sn'dir. J-Ring deneyi yayılma süreleri ise ZEOB (%10) betonunda 3.50 sn ZEOB (%20) betonunda 4.10 sn ve ZEOB (%30) betonunda 5.30 sn'dir. (Tablo 4.2.)

#### 4.1.2. V-Hunisi deney sonuçları

V-Hunisine doldurulan beton numunelerinden şahit beton 10.60sn'de boşalmıştır. Bununla beraber UKB (%10) betonu 10.10 sn'de, UKB (%20) betonu 11.20 sn'de ve UKB (%30) betonu da 11.60 sn'de V-Hunisinden boşalmıştır. (Tablo 4.1.)

ZEOB (%10) betonunda numunenin V-Hunisinden 11.10 sn'de, ZEOB (%20) betonunda 11.90 sn'de ve ZEOB (%30) betonunda ise 12.30 sn'de boşaldığı görülmüştür. (Tablo 4.2.)

#### 4.1.3. L-Kutusu deney sonuçları

L-Kutusunun dikey haznesi taze betonla doldurulmuş ve kapağı açılarak iki ölçüm gerçekleştirilmiştir. Birinci ölçüm önceden kutunun yatay haznesine işaretlenen 200 mm ve 400 mm'lik mesafelere ulaşma süresinin tespitidir. İkinci ölçüm ise akışın bitmesiyle taze betonun L-Kutusunun son ve baş kısımlarındaki yükseklikleri arasındaki orandır ( $H_2/H_1$ ). L-Kutusunda yapılan taze beton deneylerinde şahit beton numunesinin deney aparatı içindeki  $T_{200}$  değeri 3.97 sn,  $T_{400}$  değeri 9.52 sn ve  $H_2/H_1$  oranı 0.908 olarak ölçülmüştür. UKB (%10) betonunda  $T_{200}$  değeri 3.43 sn,  $T_{400}$  değeri 9.13 sn,  $H_2/H_1$  oranı 0.91, UKB (%20) betonunda  $T_{200}$  değeri 4.21 sn,  $T_{400}$  değeri 10.35 sn,  $H_2/H_1$  oranı 0.93 ve UKB (%30) betonunda  $T_{200}$  değeri 5.31 sn,  $T_{400}$  değeri 12.60 sn,  $H_2/H_1$  oranı 0.94 olarak ölçülmüştür. (Tablo 4.1.)

ZEOB (%10) betonunun deney aparatı içindeki  $T_{200}$  değeri 4.14 sn,  $T_{400}$  değeri 9.83 sn ve  $H_2/H_1$  oranı 0.92 olarak ölçülmüştür. ZEOB (%20) betonunda  $T_{200}$  değeri 5.15 sn,  $T_{400}$  değeri 10.80 sn,  $H_2/H_1$  oranı 0.94 ve ZEOB (%30) betonunda  $T_{200}$  değeri 6.84 sn,  $T_{400}$  değeri 13.72 sn,  $H_2/H_1$  oranı 0.948 olarak ölçülmüştür. (Tablo 4.2.)

Tablo 4.1. Uçucu küllü taze beton karışımlarına ait işlenebilirlik özellikleri

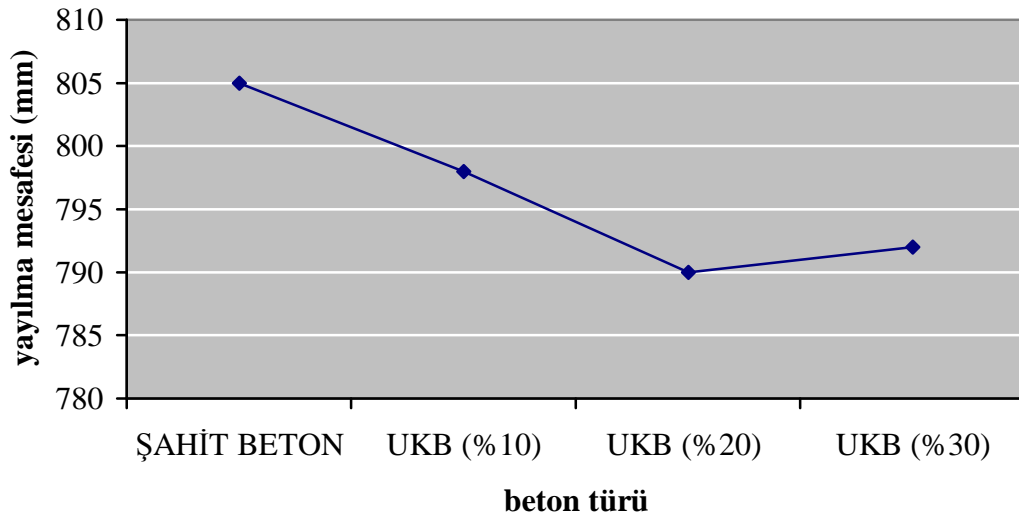
Beton Türü	Çökme - Yayılma		J RING (sn)	V-Hunisi (sn)	L-Kutusu		
	Yayılma (mm)	T <sub>500</sub> (sn)			0-20 cm (sn)	0-40 cm (sn)	H2 / H1
Şahit Beton	805	3.7	3.14	10.6	3.97	9.52	0.908
UKB (%10)	798	3.4	3.05	10.1	3.43	9.1	0.91
UKB (%20)	790	4.2	3.25	11.2	4.21	10.35	0.93
UKB (%30)	792	5.3	3.9	11.6	5.31	12.6	0.94

Tablo 4.2. Zeolitli taze beton karışımlarına ait işlenebilirlik özellikleri

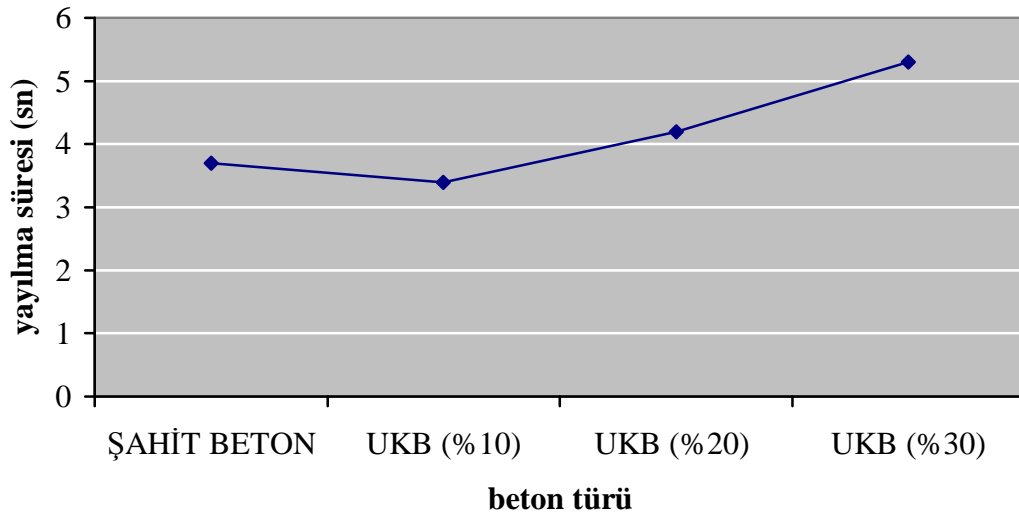
Beton Türü	Çökme - Yayılma		J RING (sn)	V-Hunisi (sn)	L-Kutusu		
	Yayılma (mm)	T <sub>500</sub> (sn)			0-20 cm (sn)	0-40 cm (sn)	H2 / H1
Şahit Beton	805	3.7	3.14	10.6	3.97	9.52	0.908
ZEOb (%10)	790	3.9	3.5	11.1	4.14	9.83	0.92
ZEOb (%20)	783	4.8	4.1	11.9	5.15	10.8	0.94
ZEOb (%30)	768	6.2	5.3	12.3	6.84	13.72	0.948

#### 4.2. Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Taze betonun fiziksel özelliklerinin araştırıldığı yapılan deneylerde UKB (%10) betonunun yayılma mesafesi şahit betona kıyasla daha azdır. Karışımdaki UK miktarının artmasıyla da betonun yayılma mesafesi azalmaktadır (Şekil 4.1.). T<sub>500</sub> yayılma süreleri UKB (%10) betonunda şahit betonun yayılma süresinden kısa iken UKB (%20) ve UKB (%30) betonlarında T<sub>500</sub> yayılma süreleri uzamıştır (Şekil 4.2.). J-Ring deneylerinde de T<sub>500</sub> yayılma sürelerine paralel olarak UKB (%20) ve UKB (%30) betonlarında şahit betona kıyasla daha uzun süreler ölçülmüştür (Şekil 4.3.)

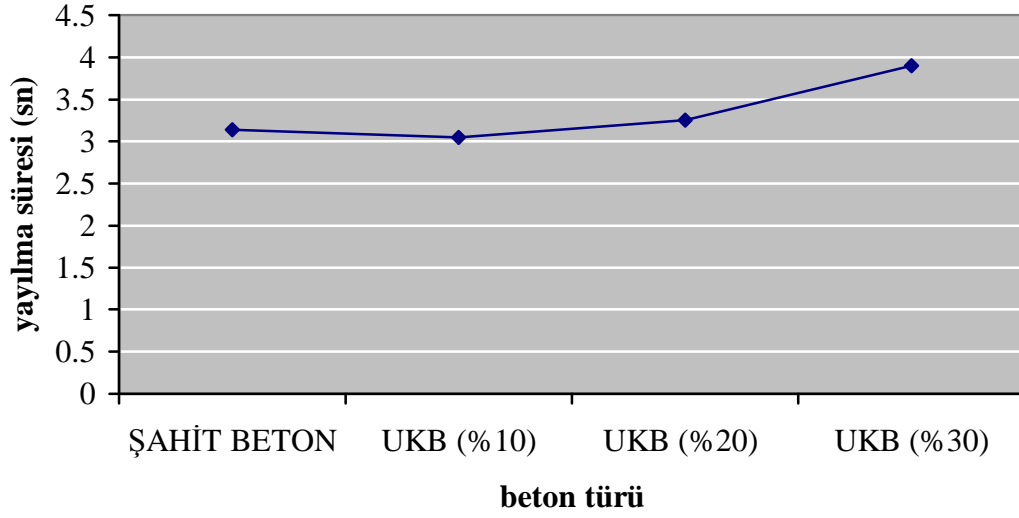


Şekil 4.1. Uçucu küllü taze betonun yayılma deneyi



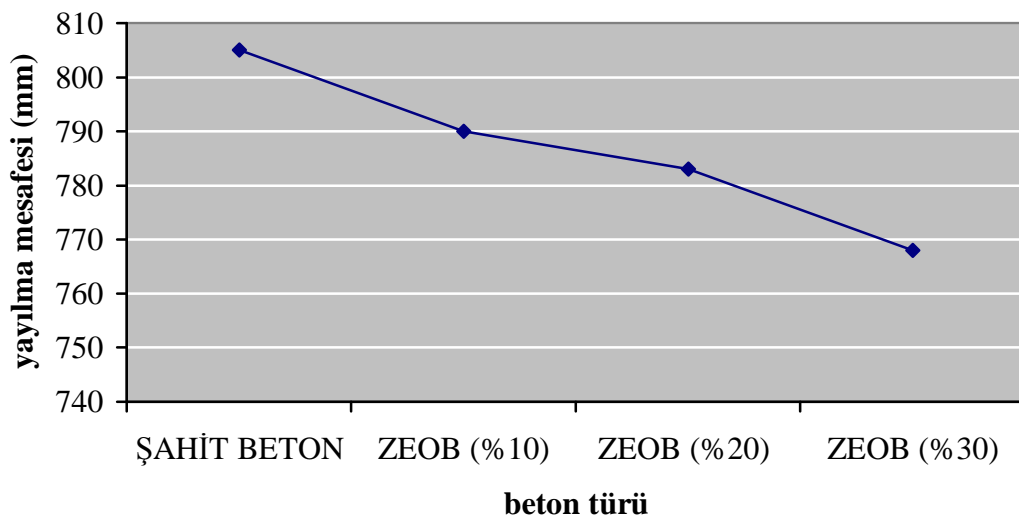
Şekil 4.2. Uçucu küllü taze betonun  $T_{500}$  deneyi



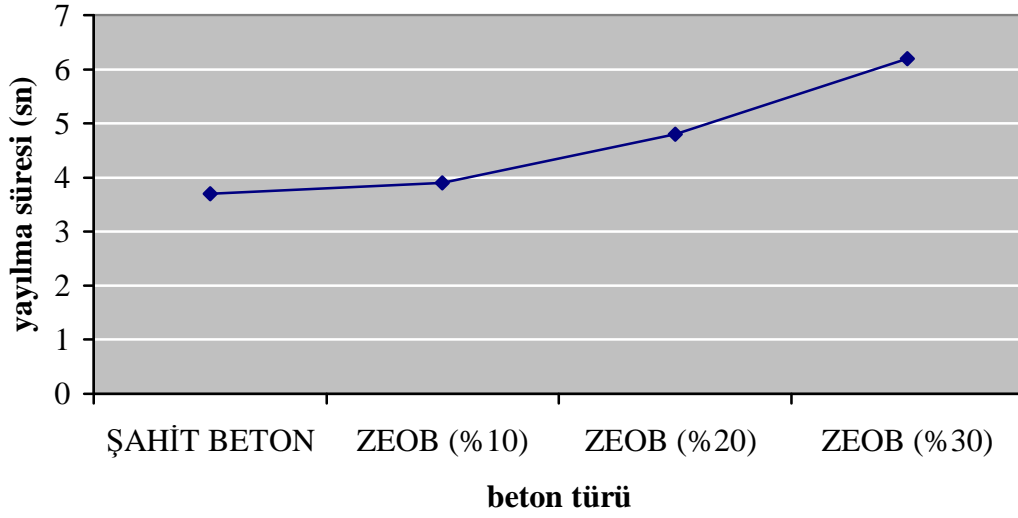


Şekil 4.3. Uçucu küllü taze betonun J-Ring deneyi

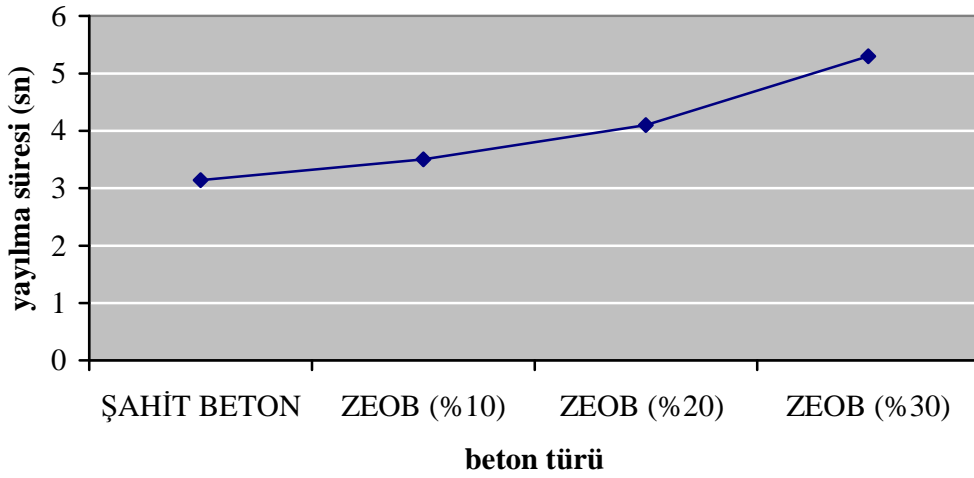
Zeolit ile yapılan deney sonuçları bizlere, zeolitın taze betonun fiziksel özelliklerine hiçbir olumlu katkı sağlamadığını göstermiştir. Yayılma mesafesi 805 mm olan şahit betonun diğer zeolit katkılı betonlara kıyasla daha çok yayıldığı görülmüştür (Şekil 4.4.). Zeolit katkılı betonların  $T_{500}$  ve J-Ring yayılma süreleri de şahit betona kıyasla daha uzundur (Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.)



Şekil 4.4. Zeolitli taze betonun yayılma deneyi



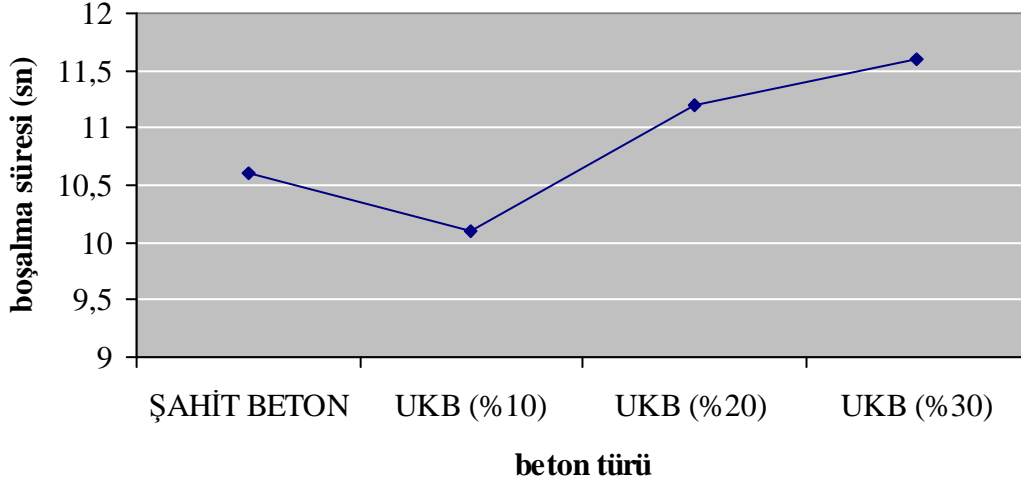
Şekil 4.5. Zeolitli taze betonun  $T_{500}$  deneyi



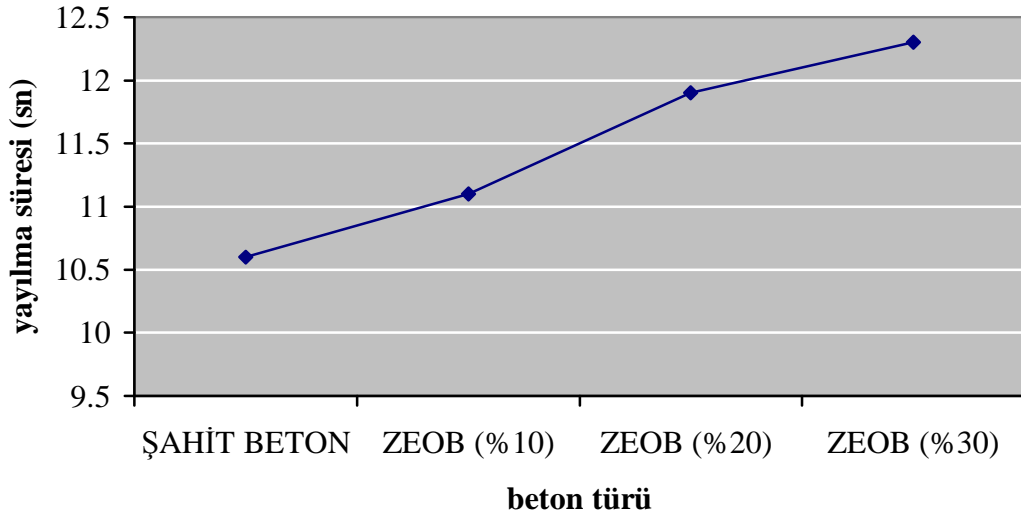
Şekil 4.6. Zeolitli taze betonun J-Ring deneyi

KYB'un viskozitesi ve geçiş yeteneği hakkında fikir edinmek amaçlı yapılan V-Hunisi deneyinde UKB (%10) beton numunesinin deney aparatından boşalma süresi şahit betona kıyasla daha azdır. Fakat %10 dozajından fazla olan uçucu küllü beton karışımlarının deney aparatından boşalma süreleri uzamaktadır (Şekil 4.7.). Zeolitli beton karışımlarında zeolit miktarı arttıkça V-Hunisinden boşalma süreleri de

artmaktadır. Bu da yüksek dozajdaki zeolitin, KYB'un geçiş yeteneğini azalttığını göstermektedir (Şekil 4.8.).



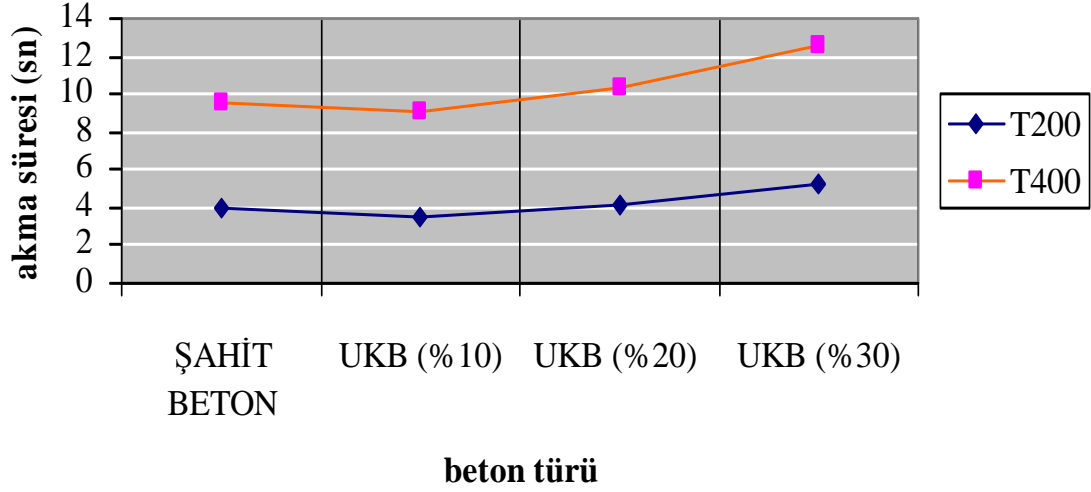
Şekil 4.7. Uçucu küllü taze betonun V-Hunisi deneyi



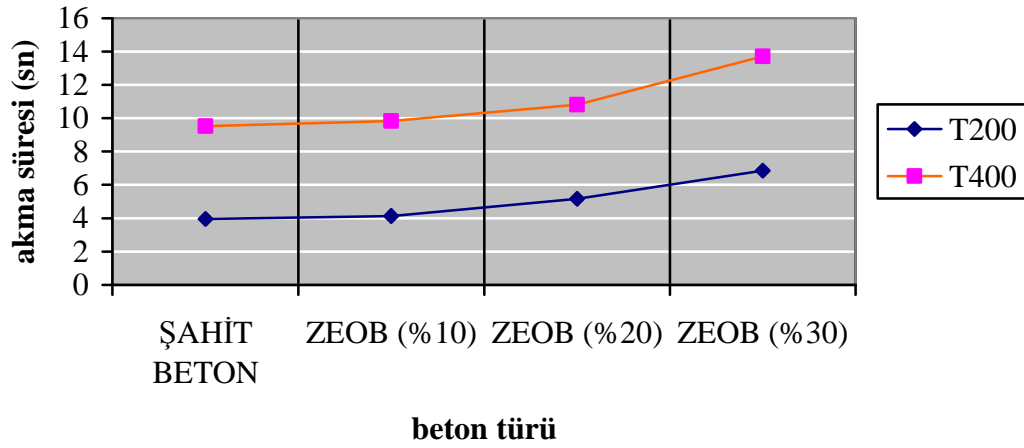
Şekil 4.8. Zeolitli taze betonun V-Hunisi deneyi

Taze betonun geçiş yeteneğinin ve ayrışmaya karşı direncinin gözlenmesini kapsayan L-Kutusu deneyinde UKB (%10) betonunun  $T_{200}$  ve  $T_{400}$  değerlerinin şahit betonun değerlerinden kısa süreli olmasına karŐın %20 ve %30 dozajlı betonların  $T_{200}$  ve  $T_{400}$

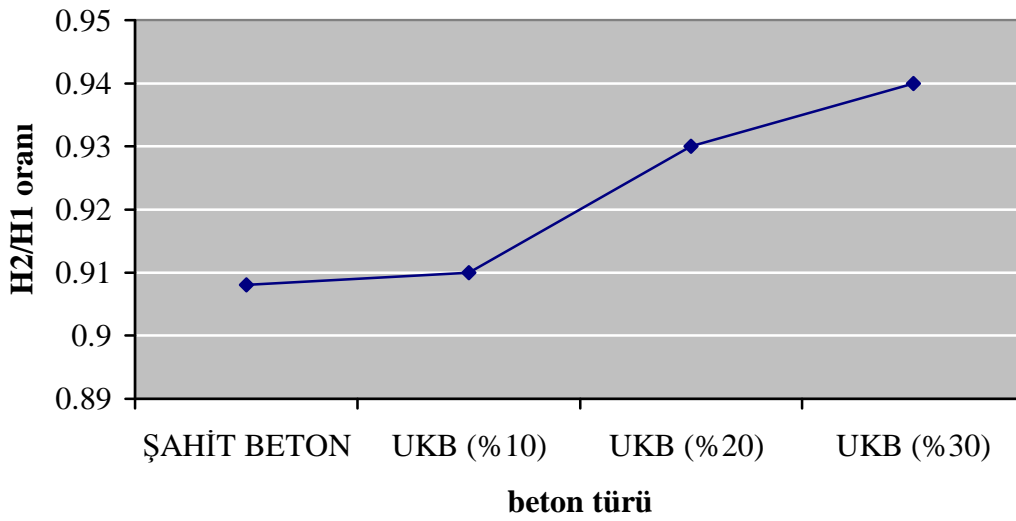
değerleri şahit betonun değerlerinden uzun süreli oldukları görülmüştür (Şekil 4.9.). Zeolitli beton karışımlarında ise  $T_{200}$  ve  $T_{400}$  değerlerinin zeolit miktarının artışıyla orantılı olarak arttığı görülmüştür (Şekil 4.10.).



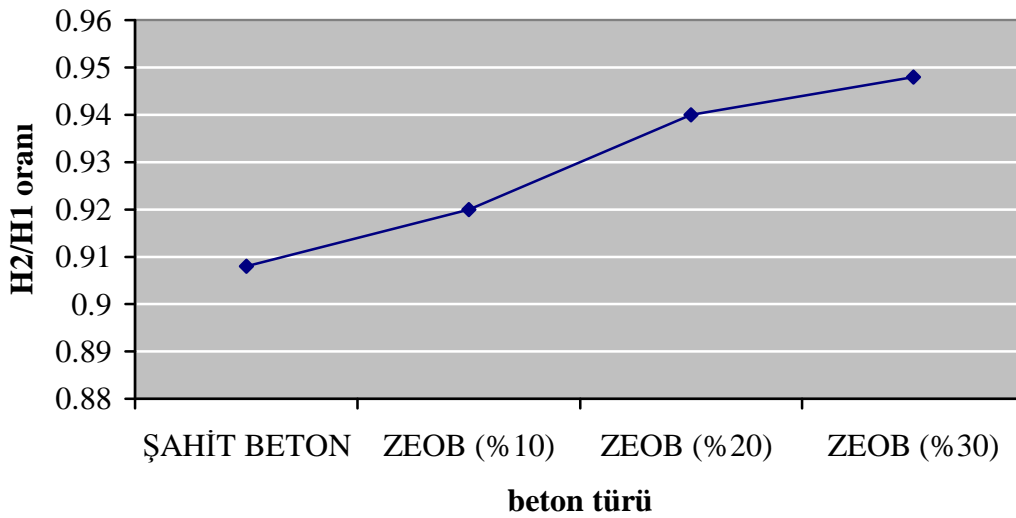
Şekil 4.9. Uçucu küllü betonun L-Kutusu deneyi



Şekil 4.10. Zeolitli betonun L-Kutusu deneyi



Şekil 4.11. Uçucu küllü taze betonun H<sub>2</sub>/H<sub>1</sub> oranları



Şekil 4.12. Zeolitli taze betonun H<sub>2</sub>/H<sub>1</sub> oranları

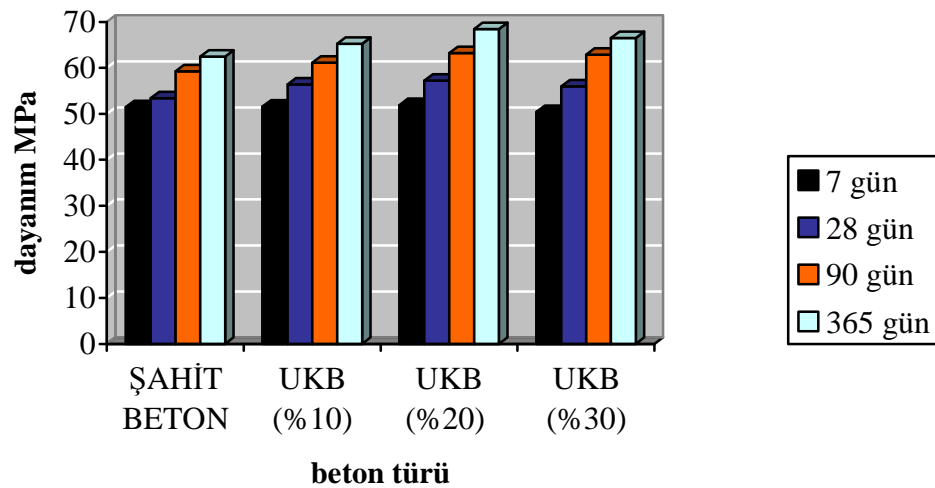
### 4.3. Basınç Mukavemeti Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Uçucu kül ve zeolit katkıların kullanımı ile KYB'ların 7, 28, 90 ve 365 günlük basınç dayanımlarında görülen değişim Tablo 4.3. ve Tablo 4.4. 'de gösterilmiştir. Tablolardada açıkça görüldüğü gibi üretilmiş olan tüm KYB'ların 90 günlük basınç

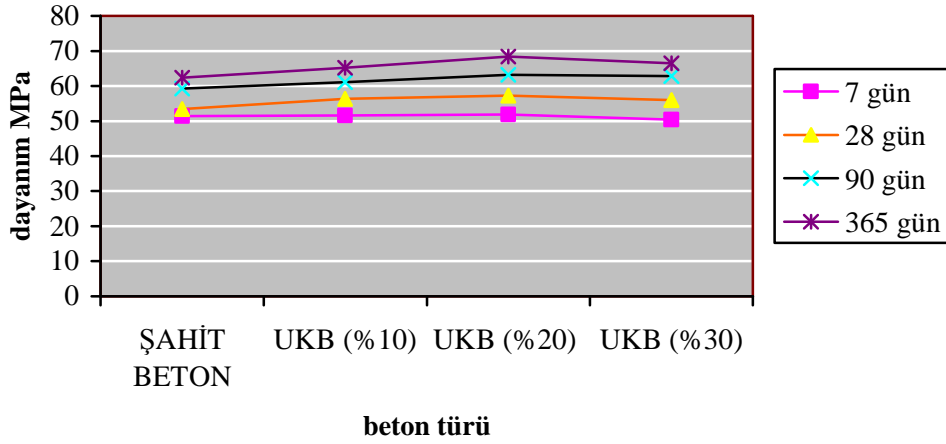
dayanımı 28 günlük basınç dayanımlarına göre bir miktar artış göstermiştir. En yüksek basınç dayanımı 90. günde ve 365. günde 63.20 ve 68.44 MPa olarak %20 UK içeren beton karışımlarında elde edilmiştir. UKB%20 oranlı karışımların basınç mukavemetleri bakımından en ideal karışım olduğu, çıkan mukavemet değerlerinin sonuçlarından görülmektedir. Bununla beraber zeolitli karışım değerleri arasındaki en ideal karışımın ZEOB%10 oranlı karışım olduğu mukavemet değerlerinin sonuçlarından görülmektedir.

Tablo 4.3 Farklı UK miktarlarına sahip karışımların basınç mukavemetleri (Mpa)

Beton Türü	7 günlük		28 günlük		90 günlük		365 günlük
Şahit Beton	49.17	51.49	51.74	53.44	57.83	59.26	62.44
UKB (%10)	50.28	51.60	54.75	56.40	58.27	61.12	65.22
UKB (%20)	51.15	51.93	55.84	57.27	60.33	63.20	68.44
UKB (%30)	50.02	50.42	53.22	55.98	57.42	62.85	66.49



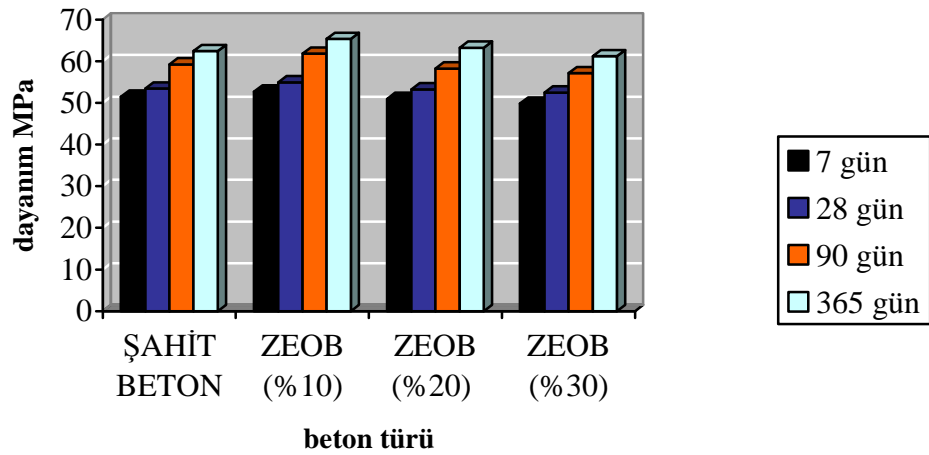
Şekil 4.13. Farklı UK miktarına sahip karışımların basınç mukavemetleri



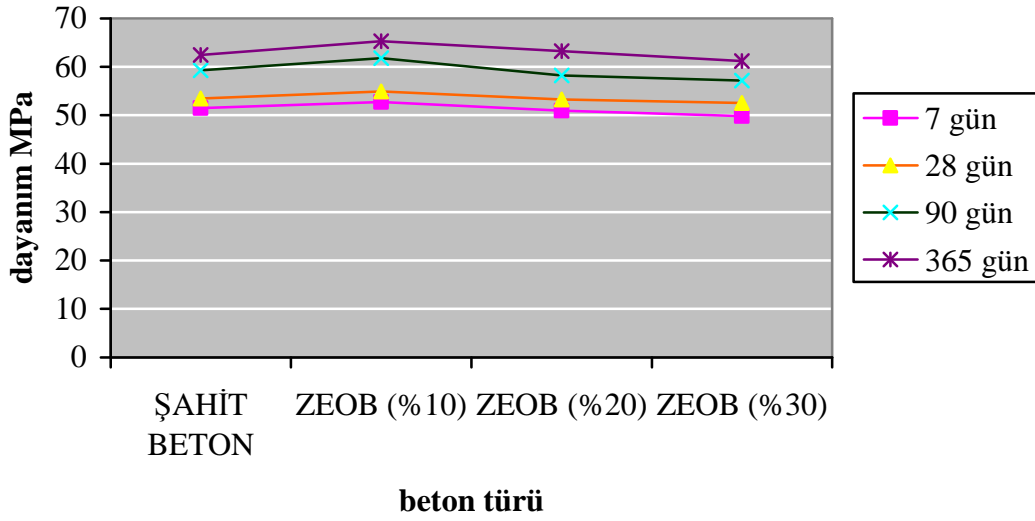
Şekil 4.14. Farklı UK miktarına sahip karışımların basınç mukavemetleri

Tablo 4.4 Farklı Zeolit miktarlarına sahip karışımların basınç mukavemetleri (Mpa)

Beton Türü	7 günlük		28 günlük		90 günlük		365 günlük
Şahit Beton	49.17	51.49	51.74	53.44	57.83	59.26	62.44
ZEOb (%10)	51.22	52.74	52.48	54.93	59.84	61.82	65.33
ZEOb (%20)	48.12	50.95	52.21	53.24	57.05	58.24	63.24
ZEOb (%30)	47.52	49.83	50.84	52.49	56.45	57.12	61.18



Şekil 4.15. Farklı Zeolit miktarına sahip karışımların basınç mukavemetleri

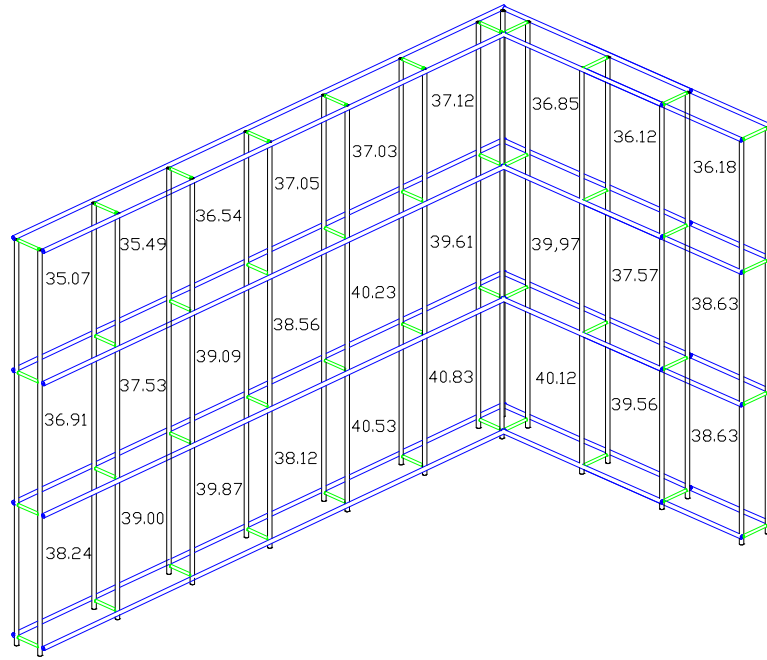


Şekil 4.16. Farklı Zeolit miktarına sahip karışımların basınç mukavemetleri

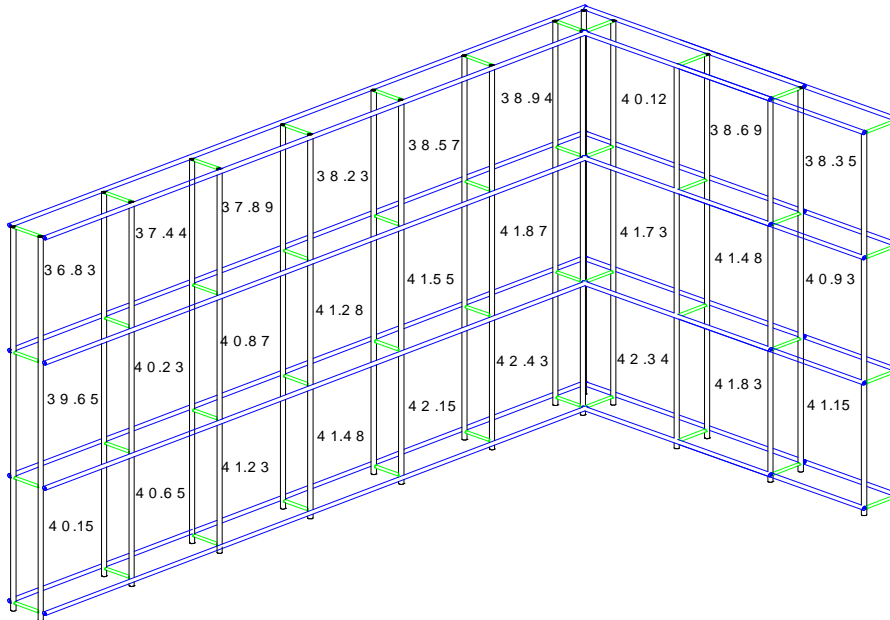
#### 4.4. Optimum Yerleşme Deney Sonuçları ve Değerlendirmesi

Bu deney şahit beton, UKB (%20) ve ZEOL (%10) karışımları için yapılmıştır. Beton döküm noktasından dökülen betonun kalıbın her iki ucuna da kendi ağırlığı ile hiçbir müdahale gerektirmeksizin ilerlediği görülmüştür. Bir gün sonra kalıp sökülüp 28 gün sonra dokuz adet yatayda, üç adet düşeyde olmak üzere bir kalıptan toplam yirmiyedi adet karot numunesi alınmıştır. Alınan karotlar basınç deneyine tabii tutulmuşlardır. Şahit betonda beton döküm noktasının en alt bölümünde beton basınç mukavemeti 40.83 Mpa iken aynı kotta beton döküm noktasına en uzak olan bölmedeki basınç mukavemeti 38.24 Mpa'dır. Bu sonuçlar UKB (%20) betonunda beton döküm noktasının en alt bölümünde 42.43 Mpa, aynı kotta beton döküm noktasına en uzak olan bölmedeki basınç mukavemeti 40.15 Mpa'dır. ZEOL (%10) betonunda beton döküm noktasının en alt bölümünde 41.39 Mpa, aynı kotta beton döküm noktasına en uzak olan bölmedeki basınç mukavemeti 39.21 Mpa'dır. Burada basınç deneyleri bizlere gösteriyor ki beton döküm noktasından yatay doğrultuda uzaklaştıkça betonun mukavemeti de aynı oranda azalmakta; ve yine sonuçlar bizlere gösteriyor ki aşağıdan yukarıya doğru bakıldığında betonun mukavemeti yine azalmaktadır. (Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19.)

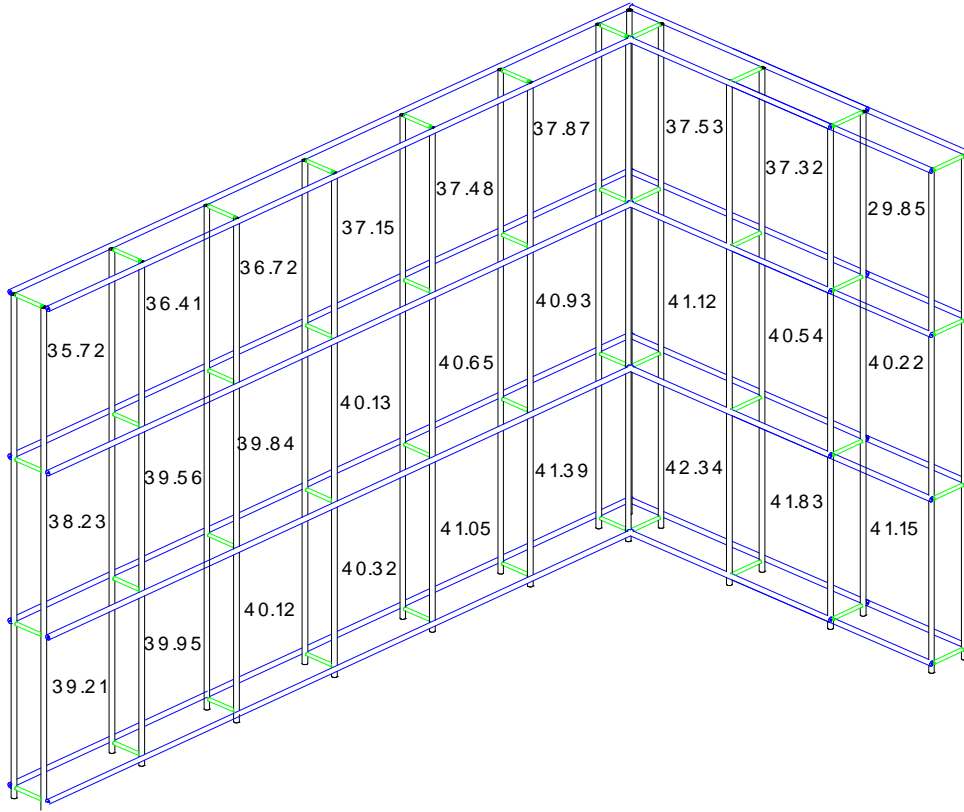




Şekil 4.17. Şahit betonun karot numunesi basınç mukavemetleri (Mpa)



Şekil 4.18. UKB(%20) Betonunun karot numunesi basınç mukavemetleri (Mpa)



Şekil 4.19. ZEOB (%10) Betonunun karot numunesi basınç mukavemetleri (Mpa)

## **BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

KYB'un avantajları net olarak görülebilmesi için, doğru tasarım, doğru malzemeler, doğru kimyasal katkı, uygun beton kalıpları KYB dökümünde eğitimli işçiler gerekmektedir. Aksi takdirde, uygulamalarda beklenen sonuçlara varılamayabilir. Bu nedenle, KYB karışımlarında kullanılacak malzemeler ilgili standartlara uygun olmalı, uygulama yapacak olan işçiler eğitilmelidir. Sağladığı avantajlar sayesinde KYB son yıllarda dünyada büyük oranda kullanılmaya başlanmış, bir çok uygulama alanında da geleneksel betonun yerini almıştır. Hazır beton uygulamaları ile beraber precast beton dökümlerinde de KYB tercih edilir olmuştur. Ülkemizde ise, karmaşık biçimli kalıplarda, kalıpların zor ulaşılabilir bölgelerinde, sık donatılı bölgelerde, hasar görmüş kolon veya kirişlerin onarılmasında tercih edilmeye başlamıştır. Ülkemizdeki hızlı teknolojik gelişmelere bağlı olarak, KYB üretimi ve uygulamalarının önümüzdeki yıllarda büyük oranda artması beklenmektedir. Bu nedenle de kalite kontrol yöntemlerinin ve tasarım parametrelerinin bilinmesi ve kullanımının yaygınlaşması büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, çimento yerine karışıma farklı oranlarda uçucu kül veya zeolit katılarak elde edilen kendiliğinden yerleşen betonlar üzerinden yürütülen deney sonuçları esas alındığında, aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

Çimento yerine %20 oranında uçucu kül ihtiva eden karışıma ait numunelerin basınç mukavemeti, diğer kendiliğinden yerleşen betonlara göre daha yüksektir. UKB (%10) betonunun ortalama basınç mukavemeti değeri şahit betonun ortalama basınç mukavemeti değerinden %10 fazla, UKB (%20) betonunun ortalama basınç mukavemeti değeri şahit betonun ortalama basınç mukavemeti değerinden %15 fazla, UKB (%30) betonunun ortalama basınç mukavemeti değeri şahit betonun ortalama basınç mukavemeti değerinden %7 fazladır. ZEOB (%10) betonunun ortalama basınç mukavemeti değeri şahit betonun ortalama basınç mukavemeti

değerinden %5 fazla, ZEOB (%20) betonunun ortalama basınç mukavemeti değeri şahit betonun ortalama basınç mukavemeti değerinden %7 fazla, ZEOB (%30) betonunun ortalama basınç mukavemeti değeri şahit betonun ortalama basınç mukavemeti değerinden %5 daha azdır. Bu bağlamda sonuçlar bize gösteriyor ki %20 oranlı uçucu küllü karışım veya %10 oranlı zeolitli karışım, hem ekonomiklik olarak hem de kalite olarak bizlere avantaj sağlamaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] AYKAN, G., GÜROL, G., TEZEL, O. ve YÜCEER, Z., “Kendiliğinden Yerleşen Beton” Deney Metotları ve Uygulama Örnekleri.
- [2] GÜRDAL, H., YÜCEER, Z., Türkiye ve Dünyada Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları, Beton 2004 Kongre Bildiri, İstanbul, (2004).
- [3] EFNARC; “Specification and Guidelines of SCC” (2002).
- [4] SAĞLAM, A., R., PARLAK, N., DOĞAN, Ü., A., ve ÖZKUL, M., H., Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Katkı – Çimento Uyumu”, Beton 2004 Kongre Bildiri, İstanbul, (2004).
- [5] OKAMURA, H., OUCHI, M., “Self Compacting Concrete Development, Present and Future”, proceeding of 1<sup>st</sup> International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete, Sweden, (1999).
- [6] WALRAVEN, J., “Structural Aspects of Self Compacting Concrete”, proceeding of 3<sup>rd</sup> International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete, Iceland, (2003).
- [7] ÖZKUL, M. H., Çimento cinsinin kendiliğinden yerleşen beton özelliklerine etkisi, Yayınlanmamış çalışma.
- [8] OKAZAWA, S., UMEZAWA, K, TANAKA, Y., A New Polycarboxylate Based Polymer: Physical Properties of Concrete, Concrete 2000, Ed. By R. K. Dhir, M. R. Jones, 1813-1824, (2000).
- [9] GHEZAL, A., KHAYAT, H., Optimizing Self-Consolidating Concrete with Limestone Filler by Using Statistical Factorial Design Method, ACI Materials J., Vol. 99, No.3, 264-272, (2002).
- [10] ÖZKUL, M. H., DOĞAN, Ü. A., ÇAVDAR, Z., SAĞLAM, A. R., PARLAK, N., Properties of Fresh and Hardened Concretes Prepared by New Generation Superplasticizers, Creating with Concrete, Ed. By R. K. Dhir, Proc. Int. Conf., Dundee, 467-474, (1999).
- [11] KAWAI, T., Non-Dispersible Underwater Concrete Using Polymers, Marine Concrete, Int. Conf. On Polymers in Concrete, 7, England, (19879).

- [12] “Self Compacting Concrete”, State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC, Edited by A. Skarendahl, Ö. Petersson, RILEM publication, (2000).
- [13] SONEBI M., “Medium strength self-compacting concrete containing fly ash: Modelling using factorial experimental plans”, *Cement and Concrete Research* pp 34(2004) 1199-1208
- [14] Nan Su, Kung-Chung Hsu, His-Wen Chai, “A simple mix design method for selfcompacting concrete”, [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), *Cement and Concrete Research* pp 31(2001) 1799-1807
- [15] WENZHONG, Z., PETET, J., M., Bartos, “Permeation properties of self-compacting concrete”, [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), *Cement and Concrete Research* pp 33(2003) 921-926
- [16] ŞAHMARAN, M., YAMAN, İ.İÖ., TOKYAY, M., “Yeni Nesil Yüksek Akışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri ile Yüksek Hacimde Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Yerleşen Beton”, *Beton 2004 Kongre Bildiri*, İstanbul, (2004).
- [17] FELEKOĞLU, B., BARADAN, B., “Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özellikleri”, *Beton 2004 Kongre Bildiri*, İstanbul, (2004).
- [18] ŞİMŞEK, O., BEKTAŞ, S., ERDAL, M., “Vibrasyon Süresinin Betonun Basınç Dayanımına ve Birim Ağırlığına Etkisi”, *Politeknik Dergisi*, Cilt 5, Sayı 2, s 185-193, Ankara, (2002).
- [19] MALHOTRA, V.M., MEHTA, P.K., *High Performance, High Volume Fly Ash Concrete, Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc.*, Ottawa, (2002).
- [20] ŞENGÜL, O., TAŞDEMİR, C., YÜCEER, Z., ERBAYDAR, M., TAŞDEMİR, M.A., “Mechanical Behaviour of High Strength Concretes with High Volume Fly Ash”, *6th Int. Symposium on Utilization of High Strength/High Performane Concrete*, proceedings volume 2, Leipzig, (2002).
- [21] MALHOTRA, V.M., “Superplasticized Fly Ash Concrete For Structural Concrete Application”, *Concr Int* 8 (28) (1986) 28-31.
- [22] BILODEAU, A., SIVASUNDARAM, V., PAINTER, K.E., MALHOTRA, V.M., “Durability of Concrete Incorporating High Volume Fly Ash from Sources in The U.S.”, *ACI Mater J* 91 (1994) 3-12.
- [23] RAMEZANIANPOUR, A., A., MALHOTRA, V., M., “Effect of Curing on The Compressive Strength, Resistance to Chloride-ion Penetration and Porosity of Concretes incorporating Slag, Fly Ash or Silica Fume”, *Cem. Concr. Comp.* 17 (1995) 125-133.
- [24] BOUZOUBAA, N., ZHANG, M., H, MALHOTRA, V., M., “Mechanical Properties and Durability of Concrete Made with High-Volume Fly Ash

- Blended Cements Using a Coarse Fly” Ash, Cem. Concr. Res. 31 (2001) 1393-1402.
- [25] BOUZOUBAA, N., ZHANG, M.H., MALHOTRA, V.M., Laboratory Produced High-Volume Fly Ash Blended Cements; Compressive Strength and Resistance to the Chloride-ion Penetration of Concrete, Cem. Concr. Res. 30 (2000) 1037-1046.
- [26] SIVASUNDARAM, V., CARETTE, G.G., MALHOTRA, V.M., Concrete Incorporating High Volumes of ASTM Class F Fly Ashes: Mechanical Properties and Resistance to Deicing Salt-scaling and to Chloride-ion Penetration, Am. Concr. Inst. SP 132 (1) (1992) 319-349.
- [27] ARUNTAŞ, H.Y., Diatomitlerin Çimentolu Sistemlerde Puzolanik Malzeme Olarak Kullanılabilirliği, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (1996).
- [28] TOKYAY, M., “Betonda Uçucu Kül Kullanımı (Türkiye Deneyimi)”, End. Atıkların İnşaat Sektöründe Kul. Semp., Ankara, 29-36, 18-19 Kasım (1993).
- [29] ENV 197-1, Cement-Composition, Specifications and Conformity Criteria-Part 1: Common Cements, CEN, (1994).
- [30] Lea, F.M., The Chemistry of Cement and Concrete, Chemical Publishing Co., New York, (1956).
- [31] GANI, M.S.J., Cement and Concrete, Chapman & Hall, London, (1997).
- [32] ASTM C 618, Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a mineral admixture in Portland Cement Concrete, ASTM, (1991).
- [33] AITCIN, P.C., AUTEFAGE, F., CARLES-GIBERGUES, A., et. al., “Comparative Study of the Cementitious Properties of Different Fly Ashes”, Proc. of 2nd Int. Conf. on Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete, Madrid, V. 1, 91-114, (1986).
- [34] MEHTA, P.K., Concrete- Structure, Properties, and Materials, Prentice-Hall, New Jersey, (1986).
- [35] ERDOĞAN, T.Y., “Atık Malzemelerin İnşaat Endüstrisinde Kullanımı- Uçucu kül ve Yüksek Fırın curufu”, End. Atıkların İnşaat Sektöründe Kul. Semp., Ankara, 1-8, 18-19 Kasım (1993).
- [36] TOKYAY, M., ERDOĞDU, K., Türkiye Termik Santrallerinden Elde Edilen Uçucu Küllerin Karakterizasyonu, TÇMB, Ankara, (1998).
- [37] 9. Tokyay, M., “Betonda Uçucu Kül Kullanımı (Türkiye Deneyimi)”, End. Atıkların İnşaat Sektöründe Kul. Semp., Ankara, 29-36, 18-19 Kasım (1993).

- [38] TOKYAY, M., HUBBARD, F.H., “Mineralogical Investigations of High-Lime Fly Ashes”, Proc. Of Fourth Int. Conf. on Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete, Istanbul, V.1, 65-77, (1992).
- [39] SARIİZ, K., ve NUHOĞLU, İ., “Endüstriyel Hamadde Yatakları ve Madenciliği”, Anadolu Üniversitesi, Yayın No: 636, Eskişehir, (1992).
- [40] DAMUR, Ann.Mines, 17 (1840), 191
- [41] EICHORN, H., Poggendorf Ann. Phys. Chem., 105 (1858), 126
- [42] WEIGEL. O., STEINHOFF. E. and KRISTALLOGR, Z., 61 (1925), 25
- [43] Mc. BAIN, The Sorption of Gases and Vapors by Solid, (Rutledge and Sons, London, 1932), p. 1.
- [44] ÇETİNEL, G., Dünyada ve Türkiye’de Zeolit, 37-55, M.T.A., Fizibilite Etütleri Dairesi, Ankara (1993).
- [45] GÜREL, O., Moleküler Eleklere Adsorpsiyon Termodinamiği, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, 76-80, Ankara (1977).
- [46] ÜLKÜ, S. and MOBEDI, M., “Zeolites in Heat Recovery”, in Zeolites: Facts, Figures, Future, edited by P. A. Jacobs and R. A. van Santen, (Elsevier Science Publishers BV., Amsterdam, 1989), p. 511.
- [47] ÜLKÜ, S., “Natural Zeolites in Energy Storage and Heat Pumps”, Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Zeolite Conference, (Tokyo, 1986), 1047.



## ÖZGEÇMİŞ

Ethem KARAÜÇ, 1982 yılında Düzce’de dünyaya geldi. İlköğrenimini Çilimli İlköğretim okulunda, Orta öğrenimini Düzce Anadolu İmam-Hatip Lisesi’nde, Lise öğrenimini de Düzce Anadolu Öğretmen Lisesi’nde tamamladı. 2001 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdi. 2005 yılında bitirmiş olduğu lisans eğitiminin hemen ardından aynı yıl, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Malzemesi Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.