

HAFİF AGREGALI BLOK ÜRETİMİNDE YATAĞAN UÇUCU  
KÜLÜNÜN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Veysel ÖZ

DENİŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2007

**T.C**  
**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAFİF AGREGALI BLOK ÜRETİMİNDE YATAĞAN UÇUCU KÜLÜNÜN**  
**ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Veysel ÖZ**

**Danışman**  
**Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL**

**YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**TEMMUZ 2007**

## İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
RESİMLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2.GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Hafif Beton .....	3
2.2. Hafif Blok .....	3
2.3. Uçucu Kül.....	3
2.3.1. Uçucu Külün Özellikleri.....	3
2.3.2. Uçucu Küllerin Kullanım Alanları ve Esasları.....	4
2.4. Diatomit.....	6
2.4.1. Kimyasal Özellikleri.....	7
2.4.2. Fiziksel Özellikleri.....	8
2.5. Pomza .....	8
2.5.1. Pomza'nın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri .....	9
2.6. Hafif Betonların Bazı Özellikleri.....	10
2.6.1. Basınç Dayanımı .....	10
2.6.2. Isı İletkenlik .....	11
2.6.3. Su Emme.....	13
2.7. Hafif Blok Elemanlarda Uçucu Külün Kullanılmasıyla İlgili Yapılmış Çalışmalar .....	13
2.8. Araştırmanın Amacı.....	14
3. MATERYAL METOD .....	15
3.1. Kullanılan Malzemelerin Tanınması.....	15
3.1.1. Çimento Özellikleri.....	15
3.1.2. Uçucu Külün Özellikleri.....	16
3.1.3. Agregat.....	20
3.1.4. Su.....	20
3.2. Beton Karışımları .....	20
3.2.1. Karışım Esasları .....	20
3.2.2. Bileşim Hesapları.....	21
3.3. Beton Üretimi, Karıştırma, Yerleştirme ve Saklama Koşulları .....	22
3.4. Üretilen Beton Serileri .....	22
3.5. Sertleşmiş Hafif Agregalı Blok Deneyleri.....	24
3.5.1. Basınç Deneyi.....	24
3.5.2. Ultrases İletkenlik Değerleri .....	25
3.5.3. Isı İletkenlik Deney Ölçüm Yöntemi.....	26
3.5.4. Kılcallık (kapilerite) Deney Sonuçları .....	29
3.5.6. Birim Ağırlık.....	30
4. BULGULAR: .....	31
4.1. Birim Ağırlıklar.....	32
4.2. Basınç deneyi.....	33

4.2.1. Tüf ile Üretilen Numunelerin Basınç Değerleri.....	35
4.2.2. Pomza ile Üretilen Numunelerin Basınç Değerleri.....	36
4.2.3. Diatomit ile Üretilen Numunelerin Basınç Değerleri .....	39
4.3. Ultrases İletkenlik Değerleri .....	41
4.3.1. Tüf ile Üretilen Numunelerin Ultrases Hızı.....	42
4.3.2. Pomza ile Üretilen Numunelerin Ultrases Hızı.....	43
4.3.3. Diatomit ile Üretilen Numunelerin Ultrases Hızı .....	45
4.4. Isı İletkenlik Deney Sonuçları.....	47
4.5. Kılcallık (kapilerite) deney sonuçları .....	50
4.5.1. Pomza ile Üretilen Numunelerin Kılcallık Katsayıları .....	50
4.5.2. Tüf ile Üretilen Numunelerin Kılcallık Katsayıları.....	52
4.5.3. Diatomit ile Üretilen Numunelerin Kılcallık Katsayıları.....	55
5. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	58
6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	63
6. Kaynaklar.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	66

## ÖZET

Ülkemizde elektrik enerjisi üretimin bir kısmı termik santrallerden elde edilmektedir. Bu santrallerin en önemli yan ürünleri uçucu küllerdir. Uçucu küllerin santrallerden uzaklaştırılması ekolojik ve ekonomik sorunları artırır.

Bu atıkların ekonomiye katkı sağlaması için birtakım çalışmalar yapılmış ve bu çalışmaların sonunda uçucu külün yapı sektöründe bağlayıcı malzemenin bir kısmı yerine kullanılabileceği sonucu çıkmıştır. Uçucu külün kullanım sebebi, uçucu küllerin atım masrafını azaltması, üretilen betonun maliyetini düşürmesi ve ekolojik dengenin sağlanmasıdır.

Bu çalışmada T.S.'ye göre uygun kriterler taşıyan Yatağan uçucu külü kullanılmıştır. Yatağan uçucu külü toplam kalsiyum oksit miktarına göre yüksek kalsiyumlu ( $\text{CaO} > \%10$ ) olarak sınıflandırılmıştır.

Çimento dozajı için de  $220 \text{ kg/m}^3$  seçilmiştir. Çimento, Afyon çimento fabrikasında üretilen normal portlant çimentosu (PÇ. 32.5 ve PÇ.42.5) kullanılmıştır. Hafif agrega olarak Pomza, diatomit, tuf kullanılmış ve toplam 216 tane numune üzerinde deneyler tamamlanmıştır. Katkı olarak çimento miktarının (%10, %20, %30 oranında) Yatağan termik santralinden alınan uçucu kül kullanılmıştır. Isı iletim katsayıları Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarlarında, diğer deneyler Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi laboratuvarlarında yapılmıştır.

Bu çalışmada deneysel olarak hafif agregalı blok elemanların, ilk ve ileri yaştaki basınç dayanımı, ultrases hızı, kılcallık ve ısı iletkenlik özelliklerini, uçucu külün nasıl etkilediği incelenmiştir.

Uçucu kül hafif agregalı blok üretiminde, çimento miktarının %10 u oranında kullanıldığında, olumlu bir etki sağlamaktadır. Ancak bu oran %10 dan fazla olursa olumsuz bir etki yapmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Uçucu kül, Hafif Agregalı, Basınç, Ultrases hızı, Isı, iletkenlik

## ABSTRACT

In our country, some of our electrical energy is produced in thermic energy stations. The most important side products of these stations is fly ashes. Getting rid of these ashes rises some economical and ecological problems. Some studies have been done in order to make a contribution of these ashes for the economy and in the end of these studies the conclusion of these ashes can be used in building sector instead of a certain amount of binding material has been made. The aim for this is the decreasing of the cost of produced cement and the cost of getting rid of these fly ashes and moreover providing ecological balance.

In this study , Yatağan fly ash which is in accordance with Turkish Standarts, was used. Yatağan fly ash was classified as 'of high calcium' ( $\text{CaO} > \% 10$  ) according to the rate of total calcium amount.

For the amount of cement , it was  $220 \text{ kg/ m}^3$ . The cement was the normal portland cement which is produced in Afyon Cement Factory. As for the light aggregate , pumice diatomic and tuff was used and experiments were done on 216 examples. As for the addition , instead of a certain amount of cement ( %0, %10, %20, %30), fly ash from Yatağan Power station was used. Heat conduction coefficients in Machinery Engineering Faculty at Dokuz Eylül University, other experiments are done in the laboratories of Afyon Kocatepe University Technical Teaching Faculty Education of Building.

In this study we examined how this block elements with light aggregate affects the resistance for compressive stress the first and next years, ultrasound speed, and the aspects of capillary and heat conduction.

When we used fly ash instead of a certain amount of cement in producing blocks with light aggregate, we reached positive consequences. But if this relate is higher we find negative consequences.

**Key words:** fly ash, light aggregate, compressive stress, ultrasound, coefficient of thermal conductivity

## TEŞEKKÜR

Bu alıőmamın yűrűtűlmesi sırasında bana her tűrlű desteęini, ilgisini ve deęerli zamanını esirgemeyen çok deęerli danıőman hocam Sayın Yar. Doç. Dr. Osman ŬNAL'a,

Çalıőmam boyunca bana maddi ve manevi olarak tűm gűleriyle destek olan Aileme,

Bu çalıőmanın deneysel boyutunda bana yardımlarını esirgemeyen Sayın Arő. Gűr. Tayfun UYGUNOęLU'na, Hakan AKBABA'YA ve çok deęerli ve kıymetli Yapı Eęitimi Bűlűmű Őęretim Ŭyeleri ve Elemanlarına,

Isı iletim katsayılarının belirlenmesinde yardımlarını esirgemeyen Dokuz Eylűl Ŭniversitesi, Makine Bűlűmű Őęretim Ŭyelerine teőekkűrű bir borç bilirim.

Veysel ÖZ

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.2.1 PKÇ 32.5 ile Üretilen Numunelerin 7 ve 28 Günlük Basınç Dayanım Grafiği.....	36
4.2.2 PKÇ 42.5 ile Üretilen Numunelerin 7 ve 28 Günlük Basınç Dayanım Grafiği .....	36
4.2.3 PKÇ 32.5 ile Üretilen Numunelerin 7 ve 28 Günlük Basınç Dayanım Grafiği .....	38
4.2.4 PKÇ 42.5 ile Üretilen Numunelerin 7 ve 28 Günlük Basınç Dayanım Grafiği .....	39
4.2.5 PKÇ 32.5 ile Üretilen Numunelerin 7 ve 28 Günlük Basınç Dayanım Grafiği .....	40
4.2.6 PKÇ 42.5'in 7 ve 28 Günlük Basınç Dayanım Grafiği .....	41
4.3.1 PKÇ 32.5 ile Üretilen Numunelerin 7 ve 28 Günlük Ultrases hızı Grafiği .....	43
4.3.2 PKÇ 42.5 ile Üretilen Numunelerin 7 ve 28 Günlük Ultrases hızı Grafiği .....	43
4.3.3 PKÇ 32.5 ile Üretilen Numunelerin 7 ve 28 Günlük Ultrases hızı Grafiği .....	44
4.3.4 PKÇ 42.5 ile Üretilen Numunelerin 7 ve 28 Günlük Ultrases hızı Grafiği .....	45
4.3.5 PKÇ 32.5 ile Üretilen Numunelerin 7 ve 28 Günlük Ultrases hızı Grafiği.....	46
4.3.6 PKÇ 42.5 ile Üretilen Numunelerin 7 ve 28 Günlük Ultrases hızı Grafiği .....	47
4.4.1 Diatomit ile Üretilen Numunelerin Isı İletkenlik grafiği .....	48
4.4.2 Pomza ile Üretilen Numunelerin Isı İletkenlik grafiği.....	49
4.4.3 Tüf ile Üretilen Numunelerin Isı İletkenlik grafiği .....	49
4.5.1 PKÇ 32.5 ile Üretilen Numunelerin 7 Ve 28 Günlük Kılcallık katsayısı Grafiği .....	51



**Sekil****Sayfa**

4.5.2 PKÇ 42.5 ile Üretilen Numunelerin	
7 ve 28 Günlük Kılcallık katsayısı Grafiği .....	52
4.5.3 PKÇ 32.5 ile Üretilen Numunelerin	
7 ve 28 Günlük Kılcallık katsayısı Grafiği .....	54
4.5.4 PKÇ 42.5 ile Üretilen Numunelerin	
7 ve 28 Günlük Kılcallık katsayısı Grafiği .....	55
4.5.5 PKÇ 32.5 ile Üretilen Numunelerin	
7 ve 28 Günlük Kılcallık katsayısı Grafiği .....	56
4.5.6 PKÇ 42.5 ile Üretilen Numunelerin	
7 Ve 28 Günlük Kılcallık katsayısı Grafiği .....	57

## RESİMLER DİZİNİ

<b><u>RESİM</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
Resim 3.1.1. Yatağan Uçucu Külünün Morfolojisine Ait Fotoğraflar .....	19
Resim 3.5.1. Shotherm Marka Isı İletkenlik Ölçüm Cihazı .....	26
Resim 3.5.2. Shotherm Marka Isı İletkenlik Ölçüm Cihazının Probu .....	27
Resim 3.5.3. Cihazın Malzemedan Geçen Isı İletkenliğini Ölçmesi .....	28
Resim 3.5.4. Okunan değerlerin not edilmesi .....	28

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.3.1. TSE. 639. Uçucu Külün Özellikleri .....	4
2.3.2. TSE 639. Uçucu Küllü Çimento Özellikleri.....	4
2.4.1 Diatomitin kimyasal bileşenleri .....	7
2.5.1 Pomza'nın Kimyasal Bileşenleri .....	10
2.5.2 Pomza'nın Fiziksel Özellikleri .....	10
3.1.1. PKÇ 32.5 in Fiziki ve Mekanik Özellikleri.....	15
3.1.2. PKÇ 32.5 Çimentosunun Kimyasal Özellikleri.....	16
3.1.3. Yatağan Uçucu Külünün Kimyasal Analiz Sonuçları .....	17
3.1.4. Yatağan Uçucu Külünün Kimyasal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	18
3.1.5. Deneyde Kullanılan Diatomit Hafif Agregasının Boyutları .....	20
3.2.1. Karışıma giren agrega oranları.....	21
3.5.1. Isı İletkenlik Değerlerinin Ölçüldüğü Makinenin Heater Ve Mode Düğmelerin Ayar Çizelgesi .....	27
4.1. Elde edilen Bulguların Tamamını Gösterir Çizelge.....	31
4.1.1 Pomza ile Üretilen Uçucu Kül Katkılı Hafif Agregalı Blokların Birim Ağırlıkları.....	32
4.1.2 Tüf ile Üretilen Uçucu Kül Katkılı Hafif Agregalı Blokların Birim Ağırlıkları.....	33
4.1.3 Diatomit ile Üretilen Uçucu Kül Katkılı Hafif Agregalı Blokların Birim Ağırlıkları.....	33
4.2.1 Tüf ile Üretilen Numunelerin Basınç Değerleri .....	35
4.2.2. Pomza ile Üretilen Numunelerin Basınç Değerleri .....	38
4.2.3 Diatomit ile Üretilen Numunelerin Basınç Değerleri .....	40
4.3.1 Tüf ile Üretilen Numunelerin Ultrases değerleri .....	42
4.3.2 Pomza ile Üretilen Numunelerin Ultrases değerleri .....	44
4.3.3 Diatomit ile Üretilen Numunelerin Ultrases değerleri .....	46
4.4.1. Diatomit ile Üretilen Numunelerin Isı İletkenlik değerleri .....	48
4.4.2. Pomza ile Üretilen Numunelerin Isı İletkenlik değerleri .....	48

4.4.3. Tüf ile Üretilen Numunelerin Isı İletkenlik Değerleri .....	49
4.5.1 PKÇ 32.5 ile Üretilen Numunelerin 7 ve 28 günlük kılcallık katsayıları ...	51
4.5.2 PKÇ 42.5 ile Üretilen Numunelerin 7 ve 28 günlük kılcallık katsayıları...	52
4.5.3 PKÇ 32.5 ile Üretilen Numunelerin 7 ve 28 günlük kılcallık katsayıları ...	53
4.5.4 PKÇ 42.5 ile Üretilen Numunelerin 7 ve 28 günlük kılcallık katsayıları ...	54
4.5.5 PKÇ 32.5 ile Üretilen Numunelerin 7 ve 28 günlük kılcallık katsayıları ...	56
4.5.6 PKÇ 42.5 ile Üretilen Numunelerin 7 ve 28 günlük kılcallık katsayıları ...	57

## 1. GİRİŞ

Hafif beton; geleneksel agregaya yerine hafif agregaya kullanılmak sureti ile, ya da bağlayıcı çimento hamurunun genleşmesi ile(gaz beton gibi) elde edilir. Hafif agregalar; pomza, volkanik Tüf, volkanik cüruf, diatomit, gibi maddelerdir.

Geleneksel betonların taşıyıcı özellikleri yüksek olmasına rağmen; birim ağırlığının yüksek olması, maliyeti artırması, büyük açıklıkları geçerken kullanıldığında eğilme elemanlarının kendi ağırlığını bile taşıyamaz hale gelmesi bir dezavantajdır. Geleneksel betonların bir diğer olumsuz özelliği de ısı iletkenlik katsayılarının fazla olması ve bunun sonucu ısınma maliyetlerinin de artmasıdır. Başlıca bu nedenlerden dolayı yapılarda geleneksel malzemeden çok, hafif agregalı betonun kullanılması tercih edilmektedir (**Demirboğa 1999**).

Ülkemizde son yıllarda hızlı bir kalkınma hamlesi gerçekleşmekte ve bu kalkınmaya paralel olarak enerjiye ve çimentoya olan gereksinim hızla artmaktadır. Artan çimento ihtiyacını karşılanmasına paralel olarak çimento üretimi de artmaktadır. Ülkemizde 1999 yılı sonu verilerine göre çimento üretimi 34,8 milyon ton iken 2006 ekim ayı sonu itibari ile çimento üretimi 36,2 milyon tona ulaşmıştır (**T.Ç.M.B. 2004**). Bu üretim artışının her geçen gün fazlaşması da kaçınılmazdır. Bu artan ihtiyaca cevap vermede, mevcut fabrikaların üretim kapasitesini artırması ve yeni kurulacak fabrikaların üretime katılması ile, gereken çimento ihtiyacının ulusal kaynaklarımızla karşılanması dışa bağımlılığın azaltılmasını sağlayacaktır.

Ülkemizdeki mevcut bazı çimento fabrikaları normal portland çimentosunun üretimini yanı sıra %10 ila %30 oranları arasında uçucu kül, trans ve yüksek fırın cürufu kullanarak ta katkı çimento üretmektedir. Bu katkı dolayısıyla çimento üretim kapasitesini de artırmaktadır. Uçucu küller termik santrallerde kömürün yanması sonucu ortaya çıkan atık veya bir yan üründür.

Termik santrallerde, elektrik enerjisi üretebilmek için, yakıt olarak büyük miktarda öğütülerek toz haline getirilmiş düşük kalorili kömürler kullanılmaktadır. Yakma sistemine bağlı olarak baca tarafından çekilen gazlarla birlikte çok ince kül parçacıkları yukarı doğru sürüklenmektedir. Bu ince kül parçacıkları elektro filtrelerde (elektrostatik yöntemlerle) ve siklonlarda yakılmakta, baca gazları ile atmosfere çıkışları önlenmektedir. Bu şekilde elde edilen çok ince küle uçucu kül adı verilir (**Başığit 1993**). Bugün dünyada ortaya çıkan uçucu kül miktarı yılda 600 milyon ton, ülkemizde ise 13 milyon ton dur (**T.Ç.M.B. 2004**). Halen Türkiye'deki termik santrallerde ortaya çıkan uçucu külün % 1 inden daha azı inşaat uygulamalarında kullanılmaktadır (**Demir 2005**). Geri kalan atık uçucu küller kül barajı yapılarak açılmış çukurlara veya tarım alanlarına bırakılmaktadır. Bunun sonucu da bitki örtüsü ve ekolojik denge kaybolmaktadır.

Bu araştırmanın yapılmasındaki en önemli etken uçucu küllerin teknik olarak özelliklerini tanımak, hafif agregalı betonlardaki özelliklerini görmek, bir endüstri atığı olan uçucu külün inşaat sektöründe değerlendirilmesine yardımcı olmak, yapı malzemelerinde kullanılabilirliğini belirlemek ve ekolojik dengenin korunmasına katkıda bulunmaktır.

Bu çalışmada uçucu küllerin çimento ile birlikte kullanılmasıyla önemli çimento tasarrufu sağlanabileceği buna bağlı olarak dışa bağımlılığın azalacağı ve artan ihtiyaca cevap verilebileceği ortaya konmuştur.

## **2.GENEL BİLGİLER**

### **2.1. Hafif Beton**

T.S EN-206 -1 e göre hafif beton Etüv kurusu durumundaki birim hacim kütlesi (yoğunluğu)  $800 \text{ kg/m}^3$  ten büyük  $2000 \text{ kg/m}^3$  ten küçük olan beton olarak tanımlanmıştır.

### **2.2. Hafif Blok**

Betonda geleneksel agrega yerine Pomza Diyatomit, Tüf gibi hafif agregalar kullanılarak imal edilen bloklara denilir.

### **2.3. Uçucu Kül**

TSE 639 a göre uçucu kül, toz halinde veya öğütülmüş taş kömürü ya da linyit kömürünün yüksek sıcaklıkta yanması sonucunda oluşan ve baca gazları ile sürüklenen, silis ve alimino silisli toz halinde bir yanma kalıntısı olarak tanımlanır (T.S.E. 1975).

#### **2.3.1. Uçucu Külün Özellikleri**

Uçucu küller içerdikleri  $\text{SiO}_2$  (%35-70),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (%10-%30),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (%4-20)'ün yüzde toplamları 70 veya daha fazla ise uçucu kül teknik olarak F sınıfı kül olarak adlandırılır. C sınıfı uçucu küllerde önemli oranda CaO bileşeni bulunduğundan  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  bileşenlerinin toplamı %50 den büyük olması gerekmektedir. F sınıfı küllerin esas aktif bileşeni silisli veya alümine silikatlı cam olup bitümlü kömürlerden elde edilmektedir. C Sınıfı küllerde ise aktif bileşen kalsiyum alimino silikattır ve linyit kömürünün yanması ile elde edilir (Demirboğa 1999).

Uçucu küle ilgili olarak T.S.E.' ce hazırlanmış TS 639 ‘‘Uçucu Kül’’ ve TS 640 ‘‘Uçucu Küllü Çimento’’ olmak üzere 2 standart mevcuttur. Bu standartlarda uçucu kül özellikleri ve uçucu küllü çimentonun özellikleri ile ilgili olarak Çizelge 2.3.1 ve 2.3.2.’de verilen sınırlar getirilmiştir (**Papatğa 2003**).

Çizelge 2.3.1 TSE. 639. Uçucu Küllün Özellikleri

ÖZELLİKLERİ	STANDART SINIRLARI
$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$	En Az /70
MgO	En Çok %5
$SO_3$	En Çok %5
Rutubet	En Çok %3
Kızdırma kaybı	En Çok %10
İncelik (blaine)	En Çok 3000 $cm^2/gr$
PAI	En az kontrolün %70’i

Çizelge 2.3.2 TSE 639. Uçucu Küllü Çimento Özellikleri

ÖZELLİKLERİ	STANDART SINIRLARI
MgO	En Çok %5
$SO_3$	En Çok %4
$CO_2$ - Kalıntı	En Çok %28
Kızdırma kaybı	En Çok %5
Basınç Dayanımı 7 Günlük	En az 21 $N/mm^2$
Basınç Dayanımı 28 Günlük	En az 32,5 $N/mm^2$

### 2.3.2. Uçucu Küllerin Kullanım Alanları ve Esasları

Termik santral küllerinin kullanımı teknik, ekonomik ve ekolojik etkenlerin bir arada değerlendirilmesini gerektiren ve çok boyutlu araştırmaları zorunlu kılan bir konudur. Uçucu kül kullanımı ile ilgili olarak göz önünde bulundurulması gereken bazı faktörler şunlardır (**Papatğa 2003**).



- 1) İstenilen veya aranan tüm kimyasal ve fiziksel özellikleri sağlayan bir uçucu külün, düzenli ve sürekli olarak temin edilememesi, endüstriyel kullanımını engelleyen önemli bir faktördür. Öte yandan uçucu külün, sürekli ve düzenli olarak elde edilen bir yapıda ve istenilen niteliklerde bulunması gerekir.
- 2) Küllerin endüstriyel kullanımını; bu kullanım sonunda elde edilecek malzemede aranan nitelikler ile, külün bu nitelikleri ne ölçüde sağlayabileceği de etkiler. Dolayısıyla, külü tüketecek olan endüstri alanının ihtiyaçları ile termik santralin sağladığı nitelik ve nicelikler arasında denge kurulmuş olabilir.
- 3) Küllerin kullanımı ile çevresel unsurların nasıl etkileneceği de göz önüne alınması zorunlu olan bir faktördür. Küllerin endüstride tüketilmesine esas teşkil eden en önemli konulardan biriside santral çevresinin özelliklerinin korunmasıdır.
- 4) Termik santralde karşılaşılan kül taşıma ve depolama sorunları işletme verimliliğini olumsuz olarak etkiler.
- 5) Küllerin belirli bir alanda kullanımı düşünüldüğünde, diğer alternatif malzemelerin maliyetlerinin de düşünülmesi gerekir.

Yukarıdaki faktörler gözden geçirildiğinde uçucu küllerin kullanımlarının yalnızca tüketicinin sağlayacağı ekonomik yararlar, yahut teknik avantajlar ile açıklanamayacağı özellikle makro düzeyde ve ülke ekonomisi açısından çevresel faktörlerin de bunlarla birlikte düşünülmesi gerektiği kolayca anlaşılır.

Uçucu küllerin miktar bakımından en fazla potansiyel kullanım imkanı bulunan alanlar çeşitli inşaat mühendisliği kullanım alanlarıdır. Yaklaşık 60 yıllık bir süreden beri yapılan araştırmalar uçucu küllerin çimento, beton , gaz beton, tuğla ve hafif agrega üretiminde, zemin stabilizasyonunda, dolgu yapımında olumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir (**Papatğa 2003**).

## 2.4. Diatomit

Diatomit su yosunları sınıfından olan tek hücreli, mikroskopla görülebilecek kadar küçük olan diyatomların silisli kavkılarının birikerek fosilleşmiş kavkılarında meydana gelen organik tortul bir kayadır (**Borat 1992**).

TS 9773 (1992) ye göre diyatome denilen tek hücreli organizmaların kabuklarının çökmesinden meydana gelen, tebeşir görünümünde, yüksek miktarda amorf silis ihtiva eden, beyaz renkli, su ile karıştırıldığında yapışkan çamur meydana getirmeyen, kütesinin birkaç katı su absorbe edebilen ve parmaklar arasında kolayca ezilebilen bir madde olarak tanımlanmıştır.

Diyatomlar, binlerce türdeki mikroskobik su yosunu ailesini içerir ve tipiksel olarak 50 -100 µ boyutlarındadır. Geniş çapta değişik şekilde bulunurlar. Bu şekiller silindirik, çubuk, yıldız formundadırlar. Tipiksel olarak içleri boş ve delikli bir yüzeye sahiptirler. Diyatomlar hafif bir kayadır (**Buruvel 1999**).

Jeolojik devir olan Neojen, Diatomitlerin ve dolayısıyla Diatomit yataklarının maksimum gelişim gösterdikleri devirdir. Türkiye’de olmuş olan Diatomit yataklarının büyük bir kısmı Neojen devrine aittir. Diatomit yataklarının bulunuşu ile püskürük kütleler arasında büyük bağlantı vardır. Diyatomlar kavkılarını için gerekli SiO<sub>2</sub>’ i yeterli miktarda bu kütlelerdeki silikatlardan sağlamışlardır. Türkiye’de bulunan volkanik kütlelerle kesilmiş tatlı su gölleri Diatomit rezervlerini hazırlamıştır.

Diatomitlerin hücre çeperleri, biri içinde kalan, diğeri onun üzerine geçen iki parçadan ibaret kutuya benzer. Bu iki parça mekanik olarak kolaylıkla birbirinden ayrılabilirler. Büyük olan üst kapağa epiteka, küçük olana ise hipoteka denilir. Diyatom kabuğunun çevresel kısmına yani kapakların birbirini örttüğü kısma kuşak denilir. Diatomitlerin yandan görünüşü genellikle dikdörtgene benzeyip, üst görünüşleri ise Diatomitin cinsine göre büyük değişiklik gösterir (**Uygunoğlu 2005**).

#### 2.4.1. Kimyasal Özellikleri

Bir Diatomit yatağının saf ve temiz olması, oluşumu sırasındaki diatomların hızla gelişmesinden çok tortul kayacın içindeki yabancı maddelerin varlığına bağlıdır. Yabancı madde olarak organik maddeler; kum silt, kil, kalsiyum ve magnezyum karbonatlar, toprak alkali tuzları, demir vb. maddeler Diatomitin saflığına bağlı olarak kayaç içinde değişik oranlarda bulunur. Türkiye diatomitleri içindeki yabancı malzemelerden kum, silt ve kil gibi yabancı maddeler, Diatomit yataklarının oluşumu sırasında, suda bulunan diatomitler için suda bulunan diğer hayvansal ve bitkisel artılardan oluşur iken, suyun çekilmiş olduğu bölgelerde ise dış etkiler olan rüzgar ve akarsular vasıtasıyla birikmiştir. Kalsiyum ve magnezyum karbonatlar ise ya diatomlarla beraber ya da oluşmuş Diatomit üzerine çökerek Diatomit içersine karışmıştır. Diatomit amorf bir yapıya sahip olup silisten ibarettir ve %2 – 10 su ihtiva eder. Silis Diatomitlerin oluşumunda, yaşamında ve gelişmesinde biyolojik öneme sahiptir. Diatomit az denecek miktarlarda organik maddeler ile alümin, demir oksit, kalsiyum oksit, magnezyum oksit, ve alkaliler içerebilmektedir. Feldspat, rutil, zirkan, mika, piroksenler ve amfibol diatomitte bulunabilen çeşitli kırıntı minerallerdir.

Türkiye’de bulunan 13 farklı Diatomit yataklarında yapılmış araştırma sonucuna göre kimyasal özellikleri bakımından ana bileşenlerin max. ve min. değerleri Çizelge 2.4.1 de gösterilmiştir (**Boart 1992**).

Çizelge 2.4.1 Diatomitin Kimyasal Bileşenleri

Kimyasal Bileşen	% Min.	% Max.
SiO <sub>2</sub>	65,42	87,48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,81	3,42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,64	2,48
CaO	0,71	9,37
MgO	0,39	7.20
A.K. (900°C)	3,54	13,42

#### 2.4.2. Fiziksel Özellikleri

Masif veya tabakalı saf diatomitler gevrek, gözenekli, düşük görünür yoğunluklu ve tebeşir görünümündedir. Elde un gibi dağılır ve dişler arasında çatırdar. Diatom tane büyüklüğü 5mm. ile 10 mm. arasında sıralanır. Bir diatomitte tane boyu dağılımı diyaromların türüne, iriliğine, kavkılarının tam veya kırıklı oluşuna, kil kum gibi katkıların varlığına ve oranına bağlı olarak değişir. Organik madde ihtivasının kaynağı sedimanter çamurdan çürümüş bitki kalıntılarına kadar değişir. Safsızlıklar az çok kil görünümlü, kumlu kireçli veya çörtülü olmalıdır. Diatomitlerin çeşitli fiziksel özellikleri şu şekildedir (Seelev 1949).

- İçersindeki boşlukların hava dolu olması ve yüzeylerinin 0,037 – 0,52  $\mu\text{m}$  boyutundaki mikro delikli hücrelerden meydana gelmesi,
- Yüksek porozitesi,
- Yüzeysel alanının geniş olması,
- Hafif ve ağır tiplerinde porozitesinden dolayı sertliğinin 1-1,5 olması
- Özgül ağırlığının 1.9 – 2.35  $\text{gr}/\text{cm}^3$  olması
- Kuru birim hacim ağırlığı 320 -640  $\text{gr}/\text{cm}^3$

#### 2.5. Pomza

Pomza İtalyanca bir sözcüktür. Farklı dillerde değişik anlamları vardır. Dilimizde ise süngertaşı, köpüktaşı, nasırtaşı gibi pek çok ismi vardır. (DPT 2001, Ö.İ.K 628) pomza boşluklu bir yapıya sahip olduğundan ısı ve ses izolasyonu sağlamada yapı endüstrisinde büyük bir yer tutar.

Pomza birbirine bağımsız boşluklu, süngerimsi silikat esaslı volkanik olaylar neticesinde oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dayanıklı birim hacim ağırlığı 1  $\text{gr}/\text{cm}^3$  ten küçük gözenekli camsı bir kayadır. Oluşumu sırasında bünyesindeki gazların ani olarak bünyeyi terk etmesi, ani soğuması nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçeye kadar birçok gözenek içerir. Gözenekler arası genelde bağımsız boşluklu olduğundan, permabilitesi düşük, ısı ve ses yalıtımı

oldukça yüksektir. Pomza kendisine özgü bazı özellikleri ile benzer volkanik camsı kayalardan ayrıdır. Bunlardan rengi, gözenekliği ve kristal suyunun olmaması ile pratik olarak ayrılmaktadır (Ünal 1997).

### **2.5.1. Pomza'nın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri**

Pomza oluşumu sırasında magma bünyesinde bulunan gazların ortamı terk etmesi sonucu, gözenekli bir yapıya sahip olmuştur. Bu şekliyle pomza taşı %90 oranında gözenekli bir yapıya sahiptir. Asidik Pomzaların yoğunluğu bazik olanlara göre daha az olup,  $1\text{gr/cm}^3$ 'ten düşüktür. İçersinde silisyum, alüminyum, potasyum ve sodyum ihtiva etmesi nedeni ile açık renkli bir görünümü vardır. Yüksek gözenekli yapısından dolayı ısı ve ses geçirgenliği düşüktür. Pomza taşının basınç mukavemeti, kalkerin %5 - %10 u elastise modülü ise %2 si mertebesindedir. Pomza lifsi ve boru şeklinde yarı paralel boşluklar ile küresel ve yarı küresel boşluklardan oluşan iki tip doku çeşidi vardır. Lifsi doku, basıncı düşük ve patlama gücü az volkanik faaliyetleri gösterir. Küresel doku basıncı yüksek ve patlama gücü az volkanik faaliyetleri gösterir. Pomza'nın sertliği mohs skalasına göre, 5-6 civarındadır ve diğer kayalardan farklı olarak bünyesinde kristal suyu yoktur (Dal 1998).

Pomza bulunduğu yere göre farklılık gösterebildiği gibi her bölgenin pomzası kendi içinde de farklılık gösterebilir. Çizelge 2.5.1. ve Çizelge 2.5.2. sırası ile pomza'nın kimyasal ve fiziksel bazı özellikleri verilmiştir (Güngör1997) (Ünal 1997).

Çizelge 2.5.1. Pomza'nın Kimyasal Bileşenleri

Bileşen	Kütle (%)
SiO <sub>2</sub>	54-75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13-25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1-3
CaO	1-2
MgO	1-2
A.K.	4-5

Çizelge 2.5.2. Pomza'nın Fiziksel Özellikleri

Fiziksel Özellik	Değer
Kuru birim hacim ağırlığı (kg/m <sup>3</sup> )	600 – 1500
Su Emme Oranı (%)	20 – 30
Isı İletkenliği (Kcal/mh°C) (%5 nemli malzemedede)	0,21 – 0,6
Ses Yutma Katsayısı	0,44

## 2.6. Hafif Betonların Bazı Özellikleri

### 2.6.1. Basınç Dayanımı

Uçucu küllerin basınç dayanımı genel sonuçlarıyla ele alındığında, betonun karışım oranlarıyla ilgili olduğu görülür. Bilindiği gibi düşük kireçli U.K. ler kullanıldığında puzolanik aktivite yaklaşık olarak 28 gün sonra başladığından erken dayanımlar PÇ' ya göre düşük olmaktadır. Uçucu küllerin beton dayanımı üzerindeki etkilerinin nedeni tam olarak bilinmemekle birlikte, diğer puzolanik malzemeler gibi, çimentonun hidrasyonu ile oluşan ve dayanıma katkısı olan kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek çimentolaşabilen çimento miktarının artmasına yol açmasının ana etken olduğu belirlenmiştir.

Beton dayanımını etkileyen iki önemli faktör;

- 1) Sertleşmiş çimento hamurundaki büyük boşluklar
- 2) Agregata – çimento ara yüzeyindeki çatlaklar olarak sıralanabilir.

Birinci faktörün U.K. kullanılarak azaltılabileceği, boşlukların gerek hacimce gerekse büyüklük açısından PÇ. Betonlarına göre daha az ve daha küçük olduğu ileri sürülmektedir. U.K. betonlarda ikinci faktör hakkında bugüne kadar yapılan çalışmalarda sağlıklı bir fikir ortaya çıkmamıştır.

Agregalar genellikle portlant çimentolu betonun hacim olarak %70- 80 nini teşkil etmektedir. Agregalar bu geniş hacim fonksiyonlarından dolayı betonun basınç dayanımına direkt olarak etki yapmaktadır. Betonun basınç dayanımının agreganın tipine ve bağlayıcı malzemenin cinsine ve oranına bağlı olduğunu belirtmiştir (**Orhon 2003**). Hafif agregaların dayanımı ve yoğunluğu onların yapımında kullanılan ham malzemeye ve içine katılan bağlayıcı malzemenin cinsine ve miktarına bağlıdır. Aynı ham malzemeden üretilseler bile çeşitli üretim teknikleri kullanılarak dayanım ve yoğunlukları değiştirilebilir. Hafif agregalı blok üretilirken, malzemeye konulan bağlayıcı malzeme direkt olarak basınç dayanımını da artırmakta veya azaltmaktadır.

Betonun yoğunluğu agregaların yoğunluğundan farklı olarak agregaların granülometresine agregaların nem içeriklerine, karışım oranlarına, çimento içeriğine, su/ bağlayıcı oranına, kimyasal ve mineral katkı maddelerine vb. faktörlere bağlıdır. Yoğunluğu 800 ila 1350 kg/m<sup>3</sup> arasında değişen hafif agregalar yük taşıyıcı ve yüksek yalıtım amaçlı beton blok üretiminde kullanılırlar.

### **2.6.2. Isı İletkenlik**

Hafif betonun en belirgin özelliklerinden biride, kullanıldığı yerlerde diğer geleneksel agregata ile üretilen betonlara nispet, daha iyi ısı izolasyonlu sağlamasıdır. Bir malzemenin ısı iletkenliği o malzemenin silikat yapısı ile içindeki boşluklarda bulunan havanın ısı iletkenliklerinin toplamıdır (**Demirboğa 1999**).

Hafif agregalarla üretilen betonların özellikleri agreganın mineralojik yapısına granülometri bileşimine, çimento miktarına, su çimento miktarına ve su çimento oranı gibi bir çok faktöre bağlıdır. Sertleşmiş betonların birim ağırlığı, su emmesi, dayanımı ve ısı yalıtımı birbirleri ile ilişkili olan özelliklerdir. **(Durmuş 1986)**.

Isı iletkenliği ve özgül ısı, beton uygulamalarının çoğunu ilgilendiren özelliklerdir. Yapılar için düşük bir ısı geçirgenliği arzu edilen bir faktördür. Isıtıcı yerleştirilen tabandan ısıtmalı zeminler ve özel taşıt yolları gibi yerlerde kullanılan malzemelerden de yüksek ısı iletkenliği istenilir. Yüksek özgül ısı binada ısıyı muhafaza etmek için istenir. Bu nedenle, betonun karışımını istenilen ısı iletkenliği ve özgül sıcaklığa göre dizayn edilebilmesi önemlidir **(Demirboğa 1999)**.

Betonun nem içeriğinin artması betonun ısı iletkenliğini artırır **(Schneider 1982)**. Isı iletkenliğinin cürufu ve sünger taşı betonlarda 0.17-0.28W/Mk (0.15-0.25kcal/mh<sup>0</sup>C arasında değiştiğini bilinmektedir **(Akman 1962)**.

Hafif betonların ısı iletkenlikleri birim ağırlıklarına bağlı olarak değişik gösterdiğinde birim ağırlıkları 960-1648 kg/m<sup>3</sup> arasındaki değişebileceğini ve yalıtım betonu için bu değerlerin 0.07-0.28W/Mk (0.06-0.25 kcal/mh<sup>0</sup>C) değişmekte olduğunu bilinmektedir **(Camcıoğlu 2000)**.

Isı iletkenliği, homojen bir malzemenin kararlı koşullar altında, iki yüzey sıcaklığı arasındaki fark,1<sup>0</sup>C olduğu birim zamanda(1 saat), birim alana (1 m<sup>2</sup>) ve bu alana dik yönde birim kalınlıktan (1m) geçen ısı miktarıdır. Hafif agregalarla üretilen betonların özellikleri agreganın mineralojik yapısına, granülometri bileşimine, çimento miktarı ve su çimento oranı gibi bir çok faktöre bağlıdır. Sertleşmiş betonların birim ağırlığı, su emmesi, dayanımı ve ısı yalıtımı birbirleri ile ilişkili olan özelliklerdir. Genel olarak betonun ısı iletkenliği birim ağırlığı ile doğru orantılıdır**(Aytekin, Durmuş 1986)**. Betonun birim ağırlığı artıkça ısı iletkenliği de artar.



### 2.6.3. Su Emme

Hafif betonlar ağırlığının %30 u kadar su emebilir. (Cormon 1973). Betonlarında su emmenin %50 civarında olduğu ve su emmenin kılcallık olayı olabileceği düşünülürse, yağmura ve dış ortam rutubetine karşı izole edilmemiş betonundan ısı yalıtımından da yararlanılamayacağı ortaya çıkar (O.D.T.Ü. 2003).

Hafif agregalı blok üretiminde Yatağan uçucu külünün etkisinin araştırıldığı bu çalışmada, uçucu küllerin kılcallık ve su emme özelliklerine etkisini incelemişler. %10, %20 ve %30 oranlarında çimento azaltılarak yerine uçucu kül kullanılarak dökülen numuneler üzerinde deneylerde %10'luk serilerde hava ortamında şahit numunelere yakın, %20'lik serilerde biraz üstünde, %30'luklarda numunelerin üstünde değer aldığı gözlenmiştir (Demirboğa 1999).

### 2.7. Hafif Blok Elemanlarda Uçucu Külün Kullanılmasıyla İlgili Yapılmış Çalışmalar

(Demir 2005) uçucu küllün hafif yapı malzemesi üretiminde kullanılması üzerine yaptığı çalışmada U.K. miktarının Çimento miktarının %10u oranında kullanılması durumunda hafif agregalı blokların mekanik özelliklerinde olumlu yönde bir artış olduğu sonucuna varmıştır.(Akman 1962).

Isı iletkenliğinin hafif agregalarla üretilen blok elemanlarında 0,17-0,28 W/Mk arasında değiştiğini belirtmiştir.

(Camcıoğlu 2000). Hafif betonların ısı iletkenlikleri birim ağırlıklarına bağlı olarak değişik gösterdiğinde birim ağırlıkları 960-1648 kg/m<sup>3</sup> arasındaki değişebileceğini ve yalıtım betonu için bu değerlerin 0.07-0.28W/Mk (0.06-0.25 kcal/mh<sup>0</sup>C) değişmekte olduğunu belirtmiştir (O.D.T.Ü. 2003). Termik santral küllerinin çimento ve beton katkı maddesi olarak kullanma imkanlarının etüt ve envanteri projesi ara raporunda, Betonlarında su emmenin %30 - 40 civarında olduğu sonucuna varılmıştır.

(Demirboğa 1999). uçucu küllerin kılcallık ve su emme özelliklerine etkisini incelemiş, %10, %20 ve %30 oranlarında çimento azaltılarak yerine uçucu kül kullanılarak dökülen numuneler üzerinde deneylerde %10'luk serilerde hava ortamında şahit numunelere yakın, %20'lik serilerde biraz üstünde, %30'luklarda numunelerin üstünde değer aldığı sonucuna varmıştır.

(T.Ç.M.B. 2004). Türkiye Çimento mümessilleri birliğini 2004 yılında yaptığı çalışmada Yatağan U.K. 'ünün ASTM C 618 ya göre F sınıfı, T.S.N. 197-1 e göre ise V sınıfı uçucu külü olduğunu belirtmiştir.

(Yeğınobalı 1971). Dokuz Eylül Üniversitesinde yapılan bir çalışmada puzolanik reaksiyonu başlatan çimento için en uygun oran, U.K. ağırlığının %15'i olduğu belirlenmiştir. Çimento ve uçucu kül miktarındaki artış dayanımı artırırken bu oranın maksimum U.K /Çimento miktarı olarak 1/8 olduğu bulunmuştur.

(Sümer 2003) Kılcal geçirimsizlik katsayısı durabilitenin bir göstergesi olarak kabul edilirse U.K. etkisi kesinlikle olumlu görülmüştür. U.K. ikamesi kılcal geçirimsizliği azaltıyor.

## 2.8. Araştırmanın Amacı

Bu araştırmada, uçucu kül kullanılması durumunda hafif agregalı betonun mekanik ve diğer fiziksel özelliklerinde meydana gelecek değişiklikler araştırılmıştır.

Normal hava ve kür etkisinde yapılan bu çalışma, betonlarda ilk ve ileri yaşlarda görülen dayanım, kılcallık, ultrases hızı, ısı geçirimsizlik özelliklerini belirlemeye yöneliktir. Endüstri atığı olan uçucu külün maliyeti yaklaşık olarak çimento maliyetinin %5 i civarındadır (Yeğınobalı 1971). Çalışma bu uygun maliyetli atık malzemenin yapı sektöründe değerlendirilmesinde olumlu ve olumsuz olan sınırların belirlenmesine katkıda bulunmaktadır.

### 3. MATERYAL METOD

Deneysel olarak yapılacak bu çalışmada öncelikle kullanılan malzemelerin tanımı, beton bileşim hesapları, üretilen beton serilerin belirtilmesi ve yapılan deneyler hakkında bilgi verilecektir. Daha sonra yapılan deneylerle ilgili veriler grafik ortamında değerlendirilerek irdelenecektir.

#### 3.1. Kullanılan Malzemelerin Tanınması

##### 3.1.1. Çimento Özellikleri

Bütün beton serilerinde, Afyon çimento fabrikasında üretilen katkısız normal portlant çimentosu (PKÇ 325 ve PKÇ 425) kullanılmıştır. Çimentonun bütünü 50 kg'lık standart torbalarda laboratuvar şartlarında çevre koşullarından etkilenmeden korunmuştur. T.S.24'e göre çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri çimento fabrikası tarafından yapılmış ve sonuçların T.S. 19 da belirtilen sonuçlara uygun olduğu görülmüştür. Afyon çimento fabrikasının fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1.1. de verilmiştir. Ayrıca kimyasal özellikleri de Çizelge 3.1.2. de verilmiştir.

Çizelge 3.1.1. PKÇ 32.5 in Fiziki ve Mekanik Özellikleri

Dayanım Sınıfı	Basınç Dayanımı ( N/mm <sup>2</sup> )				Piriz'e Başlama Süresi (dakika)	Hacim Genleşmesi (mm)
	Erken Dayanım		Standart Dayanım			
	2 günlük	7 günlük	Standart Dayanım			
32.5	-	16	≥32.5	≤52.5	≥60	≤10

Çizelge 3.1.2. PKÇ 32.5 Çimentosunun Kimyasal Özellikleri

Bileşik Adı	%
SiO <sub>2</sub>	20-25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5-10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2-4
CaO	63-67
MgO	0.5-2.7
Na <sub>2</sub> O	--
SO <sub>3</sub>	1-2.5
Diğer Maddeler	0.5-2

### 3.1.2. Uçucu Külün Özellikleri

Yatağan uçucu külü, içerdiği analitik CaO miktarı %22 olduğundan yüksek kalsiyumlu olarak nitelendirilir. Kirecin tümünün kristal yapıdaki minerallerde bağlı olması nedeniyle diğer yüksek kalsiyumlu uçucu küllerden yalnızca puzzolanik özellik göstermesi nedeniyle farklıdır. Yatağan uçucu külünün inceliğinin standartta istenilen değer altında, basınç dayanımının istenilen değer üstünde olduğu, puzzolanik aktivite oranının ise standarda yaklaştığı saptanmıştır (Başyigit 1993).

#### 3.1.2.1. Yatağan Termik Santral Uçucu Külünün Özellikleri

##### 3.1.2.1.1. Kimyasal Analiz Sonuçları

Yatağan termik santralinden beş gün süre ile alınan numunelerin kimyasal analizleri yapılmış, sonuçlar ve ortalama değerlerin standartlardaki sınır değerler ile karşılaştırılması sırası ile Çizelge 3.1.3 de verilmiştir.

Kimyasal bileşim açısından, bileşim yüzdelerinde belirgin farklar olmadığı için bu santralden üniform özellikte kül elde edilebileceği anlaşılmıştır.

Yatağan uçucu külü, reaktif kireç miktarının %10 a yakın olması nedeni ile TS EN 197-1 e göre W sınıfına (kalkersi uçucu kül) girmektedir. Ancak ASTM C 618 e göre  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  değerlerinin %70'in üzerinde olması nedeni ile F sınıfı küle (silissi) uygun olmakla birlikte, yine CaO'in %10'u geçmesi sonucunda kireçsi kül sınıfına girmektedir. Buna göre, bu külün her iki uçucu kül sınıfı için de sınırdaki olduğu düşünülmüştür. Çizelge 3.1.4 de görüleceği gibi Yatağan külü ASTM C 618 ve TS 639 daki  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 70$  koşulunu sağlamaktadır.

TS en 450 standardına göre  $\text{SO}_3$  ve serbest kireç yüzdeleri de sırasıyla en fazla %3 ve %1 koşullarına uymaktadır. Buna göre, yatağan uçucu külünün dört standarda da istenilen kimyasal bileşen sınırlamalarına uygun olduğu sonucuna varılmıştır (T.Ç.M.B. 2004).

Çizelge 3.1.3. Yatağan Uçucu Külünün Kimyasal Analiz Sonuçları

Numune								
Oksit (%)	1	2	3	4	5	Ortalama	St.sapma	Varyasyon kats. (%)
$\text{SiO}_2$	51.05	50.95	51.95	50.35	53.21	51.50	1.11	2.49
$\text{Al}_2\text{O}_3$	22.79	21.82	22.87	23,30	24,64	23.08	1.02	4.42
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	5.73	5.80	6.64	6,85	5.31	6.07	0.65	10.70
S+A+F	79.57	78.57	81.46	80,50	83.16	80.65	-	-
CaO	11.27	12.00	10.20	11,14	8.05	10.53	1.53	14.53
MgO	2.51	2.50	2,40	2,45	2.23	2.42	0.11	4.54
$\text{SO}_3$	1.71	1.85	1.22	1,00	0,81	1.32	0.45	34.09
$\text{K}_2\text{O}$	2.45	2.45	2.47	2,45	2.90	2.54	0.20	7.84
$\text{Na}_2\text{O}$	0.78	0.81	0,69	0,69	0,90	0.77	0.09	11.69
KK	1.25	1.15	0.97	0,77	1,18	1.06	0.19	17.92
$\text{Cl}^-$	0.0030	0.0040	0.0020	0.0020	0.0030	0.0028	0.001	33.33

Çizelge 3.1.4. Yatağan Uçucu Külünün Kimyasal  
Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

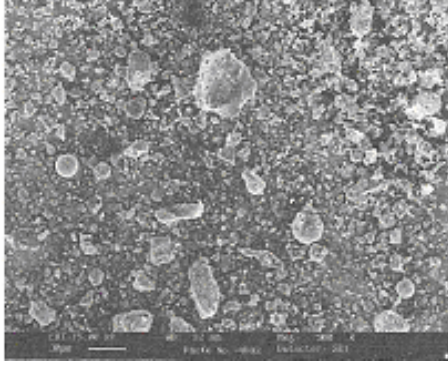
Standartlara uygunluk Sınırları							
Oksit(%)	Uçucu Kül	TS EN 450	TS EN 197-1		TS 639	ASTM C 618	
			V	W		F	C
SiO <sub>2</sub>	51.50						
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.08						
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.07						
S+A+F	80.65				>70.00	> 70.00	>50.00
CaO	10.53						
MgO	2.42				<5.00		
SO <sub>3</sub>	1.32	<3.00			<5.00	<5.00	<5.00
K <sub>2</sub> O	2.54						
Na <sub>2</sub> O	0.77						
KK	1.06	<5.00	<5.00	<5.00	<10.00	<6.00	<6.00
Ci'	0.003	<0.10					
Serb.CaO	0.99	<1.00					
Reak.SiO <sub>2</sub>	26.69	>25.00	>25.00	>25.00			
Reak.CaO	9.02		<10.00	>10.00			

### 3.1.2.1.2. Mineralojik Analiz Sonuçları

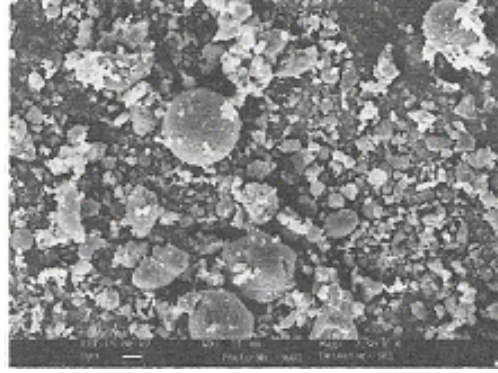
Yatağan termik santrali uçucu külün mineralojik bileşimini incelendiğinde, uçucu külün, kristalize ve camsı faz karışımından oluştuğu görülmektedir. Başlıca kristal fazlar kuvars, anortit, sanidin, albit olmak üzere, diğer fazlar anhidrit, serbest kireç, dolomit ve hematittir. Yatağan uçucu külünde camsı faz kalsiyum alüminosilikat bileşimi yapıya sahiptir (T.Ç.M.B. 2004).

### 3.1.2.1.3. Morfolojik Analiz Sonuçları

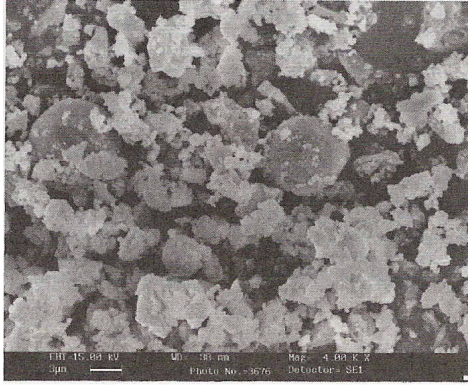
Yatağan uçucu külü homojen olmayan tane büyüklük dağılımına sahiptir. Büyüklükleri 0,5 – 30 µm arasında değişen ve çoğu düzensiz şekilli köşeli olan taneciklerden oluşmaktadır. 3µm ve altındaki büyüklerde tam küresel tanecikler de bulunmaktadır (Resim 3.1) (T.Ç.M.B. 2004).



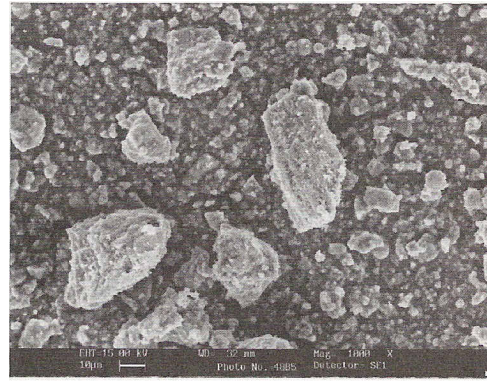
Taneciklerin genel dağılımı (x500)



Homojen Olmayan Tanecik Boyut  
Dağılımı (x2500)



Köşeli ve küresel şekilli  
tanecikler (x4000)



Alkali feldispatlar (x1000)

Resim 3.1.1. Yatağan Uçucu Külünün Morfolojisine Ait JEM Görüntüleri

### 3.1.3 Agrega

Çalışmada agrega olarak Afyon Ankara yolunun 24, km.'sinde bulunan Afyon-Seyidler yöresi diyatomit kayacı çeşitli boyutlarda hafif agrega olarak kullanılmıştır. Bloklar halinde alınmış olan diyatomit kayacı, çengelli kırıcı vasıtasıyla çeşitli boyutlarda hafif agrega haline getirilmiş olup deneyde kullanılan agrega boyutları Çizelge3.1.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.1.5. Deneyde Kullanılan Diyatomit Hafif Agregasının Boyutları

Agrega sınıfı	İri	Orta	İnce
Elek Aralığı (mm)	-16 / +8	-8 / +4	-4 / 0

Diyatomit dışında kullanılan pomza agregası Afyon ili sınırındaki Isparta ilinden getirilmiştir. Karışıma pomza agregası diyatomitte olduğu gibi üç boyutta (ince, orta, iri) katılmıştır.

### 3.1.4. Su

Hafif blok elemanlarının üretiminde, karışım suyu olarak  $20 \pm 2$  °C sıcaklığındaki Afyon ili şehir şebeke suyu konulmuştur.

## 3.2. Beton Karışımları

### 3.2.1 Karışım Esasları

Daha önce de belirtildiği gibi bu çalışmada hafif agregada bağlayıcı olarak kullanılan betondaki çimento oranı ve kül oranı değiştirilmiş, buna bağlı olarak hafif agregalı blok elemanlarının fiziksel ve mekanik bazı özelliklerinin ne şekilde değiştiğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Konunun araştırılmasında uçucu külün betonda belirgin özelliklerini saptamak amacı ile çalışmada süresiz gronölometreli agregalar kullanılmıştır. Bütün beton serilerinde en büyük agrega boyutu 16 mm dir. Üretilen her seride dozaj sabit tutulmuştur.



### 3.2.2. Bileşim Hesapları

Üretilen betonlarda çimento dozajı 220 kg/m<sup>3</sup> alınmıştır. Beton karışımları plastik kıvamda ve etkin su/ çimento (W/C) oranı 0.15 olarak seçilmiştir.

Bu araştırmada betonların bileşim hesaplamalarında mutlak hacim yöntemi kullanılmıştır. Beton bileşim hesaplarında kullanılan nütasyonlar ve izlenen yol aşağıda belirtilmiştir.

C : 1m<sup>3</sup> yerleşmiş betondaki çimento ağırlığı. (kg)

UK : 1m<sup>3</sup> yerleşmiş betondaki uçucu kül ağırlığı (kg)

E : 1m<sup>3</sup> yerleşmiş betondaki suyun ağırlığı (kg)

$\delta_c$  : Çimentonun özgül ağırlığı (kg/dm<sup>3</sup>)

$\delta_{uk}$  : Uçucu külün özgül ağırlığı (kg/dm<sup>3</sup>)

V<sub>a</sub> : Toplam agregası hacmi dm<sup>3</sup>

h : 1m<sup>3</sup> yerleşmiş betondaki hava hacmi dm<sup>3</sup>

Buna göre beton bileşimi aşağıdaki gibi hesaplanıp agregası miktarı bulunur.

$$V_a = 1000 - \left[ \left( \frac{C}{\delta_c} + \frac{UK}{\delta_{uk}} \right) + E + h \right] \quad (1)$$

Karışıma giren agregası miktarı ağırlıkça bulunduktan sonra agregasının karışım oranları belirlenir. Karışıma giren agregası oranları tüm serilerde (Pomza, Diatomit, Tüf) sabit tutulmuştur. Karışıma giren agregası oranları Çizelge 3.2.2. de verilmiştir.

Çizelge 3.2.1. Karışıma giren agregası oranları

Elek aralığı	Agregası oranları (kg)
16-8"	%20
8-4"	%35
4-0"	%45

### **3.3. Beton Üretimi, Karıştırma, Yerleştirme ve Saklama Koşulları**

Bileşimi, deneme betonları ile bulunarak, gerçek değerleri hesaplanan uçucu kül katkılı beton grubundaki serilerin üretiminde 55 lt kapasiteli, düşey eksenli zorlamalı bir betonyer kullanılmıştır. Agregalar önceden su emme yaptırılarak belirli süre suda bekletilerek yüzey kuru suya doygun halde karışıma katılmıştır.

Üretiminde öncelikle agregalar, betonyer teknesine boşaltılarak bir ön karıştırma uygulanmıştır. Üretim için betonyer'e konulan agrega miktarına bağlı olarak su dışındaki gerekli diğer malzemeler, (çimento ve uçucu kül) ilave edilerek 1 dakika kuru karıştırılmış , daha sonra su ilave edilerek 2 dakika daha ıslak karıştırılmıştır. Elde edilen karışım kalıplara dökülerek gerekli miktarda sarsma yapıp kalıplardan çıkarılmıştır. Böylece beton üretimi yapılmıştır. Üretilen betonların 10 x 10 x 10 cm boyutundadır. Taze çıkarılan beton numuneler bir tabla üzerine konularak normal oda koşullarında prizini tamamlamaya bırakılmıştır.

Basınç dayanımı , ultrases hızı, su emme, ısı iletkenlik ve kılcallık değerlerinin bulunması için 216 adet prizmatik numune üretilmiştir. Her bir seriden 9 adet üretilmiştir. Prizmatik numunelerin her bir serisinden 7 ve 28. günlerdeki deneyleri için üçer adedi basınç dayanımı ve ultrases, 2 adedi su emme ve 2 adedi kılcallık, 2 adedi ısı iletkenlik deneylerinde kullanılmıştır. Basınç dayanımı ve kılcallık deneylerine tabi numunelerde öncelikle ultrases hızı belirlenmiştir.

### **3.4. Üretilen Beton Serileri**

Bu araştırmada kullanılan beton serileri çimento tipine göre başlıca iki seri olarak üretilmiştir bu seriler 32.5 lik ve 42.5 lik çimentolarla yapılmıştır. Ayrıca her iki seride ayrıca hafif agrega çeşidine göre Pomza Diatomit ve Tüf olarak 3 alt seri yapılmıştır. Bu serilerde karışımların uçucu kül miktarı çimento miktarının %0, %10, %20, %30 oranında katılmıştır. Üretilen beton serilerinde, beton yapısının değişikliği aşağıdaki yöntemlerle değiştirilmiştir.

- \_Çimentonun bir bölümü yerine uçucu kül kullanılmıştır.
- \_ Agregada çeşidi değiştirilmiştir.
- \_ Çimento tipi değiştirmiştir.

Ön çalışmada üretilen beton serileri:

**A-** %100 Portland çimentosu ile üretilen 220 dozlu şahit (kontrol) beton karışımı serisi.

**B-** Çimentonun ağırlıkça %10, %20, %30 oranlarında uçucu kül ikame ederek 3 ayrı oranda, Yatağan uçucu külü beton karışımı serisi, Olmak üzere toplam 24 ayrı beton serisi üretilmiştir.

Normal kür koşullarında üretilen beton serileri aşağıdaki gibi özetlenmiştir. Bu seride yüksek kalsiyumlu uçucu kül kullanılmıştır.

**A-** 32.5 ve 42.5 lik portland çimento konularak 2 seri

**B-** Agregada çeşidi olarak Pomza, diatomit ve tüf olmak üzere 3 seri

**C-** Çimentonun ağırlıkça %0, %10,%20,ve %30 oranlarında uçucu kül ikame ederek 4 ayrı beton serisi.

Tüm bu serilerden her birinden ayrı ayrı 9 adet dökülmüştür. Toplam numune miktarı ise 216 adettir.

Hazırlanan beton numunelerin ısı iletkenliklerinin belirlenmesinde Hot Wire yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem yapı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayılarının güvenilir bir şekilde belirlenebilmesi için uygun ve uygulaması kolay bir yöntemdir. Diğer yöntemlere göre tercih edilen bu yöntemin en önemli üstünlüğü, ölçüm süresinin kısa olması ve ölçüm sırasında malzemenin nem içeriğinde bir değişiklik oluşturmadan gerçek ısı iletkenliğinin ölçülebilmesidir.

Hot Wire yönteminin esasına uygun olarak üretilmiş Japon malı Shotherm QTM adlı TSE standartlarında bulunan cihaza uygun olarak üretilmiş (10x10x10cm) numuneler üzerinde yapılan deneylerin sonuçları üç numunenin aritmetik ortalaması olarak sertleşmiş beton grupları özellikleri bulunmuştur.

Bu çalışmaya konu olan hafif betonlar etüv’de değişmez ağırlığa kadar kurutulduktan sonra tartıldı (W). Bu numuneler 24 saat su içerisinde bekletilerek suya doymun hale getirilip, çıkartılarak tekrar tartıldı (Wn). Bu ağırlıkların farkı alınarak, fırın kuru ağırlığa bölünüp 100 ile çarpılmak suretiyle beton numunelerin su emmeleri yüzde (Sa) olarak bulunmuştur.

$$Sa = (W_n - W) / W \times 100 \quad (2)$$

Sonuçlar, üç numunenin aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur.

### **3.5. Sertleşmiş Hafif Agregalı Bok Deneyleri**

Bu araştırmada normal kür koşullarında beton üretilmiştir. Bu deneylerde asıl amacın uçucu külün betondaki özelliklerinin belirlenmesidir. Bu amaca yönelik olarak değişik oranlarda çimentoya ikame olarak uçucu kül, katkısının kombinezonların etkileri, betonlarda belirli yaşlardaki fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişiminin belirlenmesidir.

Bu amaçla sistematik olarak beton numunelerde önce kumpasla farklı 3 yüzeyin boyutları ölçülmüştür. Bu prizmatik küp numunelerde ultrases hızı, sonra basınç dayanımı deneyleri yapılmış, daha sonra kılcallık, hacimce su emme deneyleri yapılmıştır.

#### **3.5.1. Basınç deneyi**

Basınç dayanımı deneylerinde 200 ton kapasiteli Alfa marka presten yararlanılmıştır. Üretimden sonraki 7 ve 28 inci günlerde küp numuneler, üzerlerinin düzgün olmasına özenle dikkat edilerek, yerleştirme doğrultusunda basınç kuvveti uygulayarak kırılmıştır. Basınç deneylerinde yükleme hızı saniyede 3 kg /cm<sup>2</sup> olarak sabit tutulmuştur.

Numuneler küp şeklinde olup 10x10x10 cm ebadındadır. Sonuçlar her grup için üç numunenin aritmetik ortalaması alınarak sertleşmiş betonun özellikleri belirlenmiştir.

Basınç dayanımı deneylerinin değerlendirilmesinde mukavemetten bilinen basit gerilme formülü kullanılmış ve sonuçlar N/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3)$$

$\sigma$  : Basınç dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  : Tekil Yük (N)

$A$  : Malzemenin Yük doğrultusundaki ortalama kesit alanı (mm<sup>2</sup>)

### 3.5.2. Ultrases iletkenlik değerleri

Ultrases hızı ölçümü, yine aynı zaman periyodunda yerleştirme doğrultusunda dik yönde Ultrases hız ölçümü yapılmıştır. Ultrases deneyi yapılırken, 12 voltluk akümülatör ile çalışan dijital ultrases ölçme aleti ile yapılmıştır. Alet önce sıfır ayarı yapıp, kalibre edilmiştir. Numunelerin her iki yanına gress yağı sürülerek proplar ile numune arasında boşluk kalması önlenmiştir. Ultrases geçiş süresi mikro saniye(msn) cinsinden ölçülüp, buradan ultrases hızı hesaplanmıştır.

Ultrases deneyi numunelerin 7. ve 28. gününde yapılmıştır. Deney numuneleri etüvde 48 saat kurutulup oda sıcaklığına kadar soğutulmuş ve ondan sonra yapılmıştır. Ölçümde her seriden 3 numune alınmıştır.

Bulunan geçiş süreleri:

$$V = (L/t) \times 10^3 \quad (4)$$

denkleminde yerine konularak ultrases hızı bulunmuştur.

V= Ultrases hızı (km/sn)

L = Proplar arasındaki mesafe (m)

t = Cihazdan okunan değer (mikrosniye)

Bu araştırmada uçucu kül katkılı beton numunelerde, uçucu kül katkı miktarına göre ultrases hızındaki değişmeler incelenmiştir. Ayrıca araştırmada agrega olarak tuf, pomza ve diatomit kullanılmıştır.

### 3.5.3. Isı İletkenlik Deney Ölçüm Yöntemi

Isı iletkenlik deneyleri Numune döküldükten 28 gün gün sonra normal oda koşullarda yapılmıştır. Isı iletkenlik deneyleri 9 Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde yapılmıştır. Isı İletkenlik deneyi Shotherm QTM markalı aletle ve Hot Wire yöntemi ile ölçülmüştür (Resim 3.5.1.).



Resim 3.5.1. Shotherm Marka Isı İletkenlik Ölçüm Cihazı

1- Cihaz üzerindeki “HEATER” düğmesi 0.5’e getirilerek cihazın yaklaşık 45 dk. ısınması beklenir. Bu arada “MODE” düğmesi “CAL” pozisyonuna getirilir. RESET ve STAR’a basılarak göstergenin 0,980 – 1,020 aralığında olup

olmadığı kontrol edilir. Kullanılan Prob'un K ve H sabitleri cihaz üzerinde ayarlanır.

2- Probu ve malzemenin yüzeyinin temiz olmasına ve malzemenin oda sıcaklığında olmasına dikkat edilmelidir (Resim 3.5.2.).



Resim 3.5.2. Shotherm Marka Isı İletkenlik Ölçüm Cihazının Probu

3- HEATER ve MODE düğmeleri aşağıdaki şekilde ayarlanır.

Çizelge 3.5.1. Isı İletkenlik Değerlerinin Ölçüldüğü Makinenin Heater Ve Mode Düğmelerin Ayar Çizelgesi

Isı İletkenliği W/(m.k)	HEATER	MODE
0.02 – 0.05	0.5	LOW
0.05 - 0.1	1	LOW
0.1 – 0.3	2	LOW veya HIGH
0.3 – 2.0	4	HIGH
2.0 – üzeri	8	HIGH

Eğer malzemenin iletkenliği hakkında hiçbir bilgi yoksa HEATER 0,5'e, MODE, LOW'a getirilerek ölçüm yapılmalıdır.

4- Prob malzemenin üzerine yerleştirilir, 2 dak. bekletilir ve Reset ve Start'a basılır (Resim 3.5.3.).



Resim 3.5.3. Cihazın Malzemedan Geçen Isı İletkenliğini Ölçmesi

5- Ekranda okunan ısı iletkenlik değeri not edilir (Resim 3.5.4.).



Resim 3.5.4. Okunan değerlerin not edilmesi



6- Reset e basılır. Böylece deney tamamlanmış olur.

7- Yeni ölçüm için prop soğutucu plaka üzerine koyularak oda sıcaklığına gelmesi beklenir (yaklaşık 2 dak.)

### 3.5.4. Kılcallık (Kapilerite) Deney Sonuçları

Kılcallık deneyine tabi tutulacak numuneler 7 ve 28 günlük 3' er numune üzerinde yapılmıştır. Numuneler deney gününden 24 saat önce kür ortamından alınarak 105°C sıcaklıktaki etüvde kurutulmuştur. Etüvden çıkartılan numunenin, normal laboratuvar ortamında 1saat tutularak soğuması temin edilmiş; bundan sonra yan yüzleri parafin ile izole edilerek hemen deneye başlanmıştır.

Su emme deneyleri ise kılcallık deneyleri sonunda numunelerin içi su ile dolu bir kabın içine konulmasıyla başlamıştır. Numuneler 24 saat bu kabın içinde tutulduktan sonra çıkarılıp, önce suya doygun olarak havada, sonra su içinde tartılarak ağırlıkları bulunmuştur. Daha sonra bu sonuçlardan faydalanarak birim ağırlık (kg/dm<sup>3</sup>) ve görünen porozite (%) olarak tayin edilmiştir.

Kılcallık su emme, malzemenin suya değen yüzünden zamanla emilen su miktarı ile belirlenir. Çok küçük çaplı boşluklar içinde kılcallık etkisi ile su yükselir(Güner1999).

$$\left(\frac{Q}{A}\right)^2 = k.t \quad \text{veya} \quad \left(\frac{Q}{A}\right) = \sqrt{k.t} \quad (5)$$

bağlantısı vardır.

Q emilen su miktarı (m<sup>3</sup>)

A = Su ile temas eden kesit alanı (cm<sup>2</sup>)

t = Geçen zaman (sn)

k = kapilerite katsayısı (cm<sup>2</sup>/sn)

Bir numunenin kılcallık özelliğini saptamak için küp şeklindeki numunenin önce kuru ağırlığı tartılır. Sonra suyun yüzeyine degecek şekilde suya yerleştirilir. Suyu yerleştirme yapılırken yan yüzeyin su ile temas etmemesi için yan yüzeyler parafinlenir. Belirli zaman aralıklarıyla (1dk, 4dk, 9dk, 16dk, 25dk ) yapılan ağırlık ölçümleri ile emilen su miktarı bulunur. Tartılar 0,001 gr. hassasiyetindeki tartularla yapılmıştır. Alınan bu veriler ile birim alandan emilen su miktarı hesaplanarak yatay ekseninde numunelerin su emme deneyinden geçen sürelerin karekökleri ( $\sqrt{t}$ ), düşey ekseninde ise birim zamanda emilen su miktarları (q) olacak şekilde eğri çizilmiştir. Eğrinin eğimi yardımcı ile kılcallık katsayısı bulunmuştur.

$$K(\text{cm}^2/\text{dk}) = \left( \frac{\Pi}{4} x S^2 x 10^5 \right) \quad (6)$$

### 3.5.6. Birim Ağırlık

Üretilen numunelerin 7 ve 28 günlük birim hacim ağırlıkları(B.H.A.), Arşimet prensibine göre belirlenmiş, Pomza, tuf ve diatomitlerde şahit, %10, %20, %30 U.K. katılmasıyla elde edilen değerler bulunmuştur.

Birim ağırlıklar hesaplanırken; sudan alınan 7 ve 28 günlük numuneler 105°C etüvde 24 saat kurutulularak tartılır. Daha sonra aynı numuneler su dolu kap içerisinde 48 saat bekletildikten sonra sudan çıkartılarak önce yüzey kuru suya doymun havadaki ağırlığı, sonra da su içinde tartılarak su içindeki ağırlıkları bulunur. bulunan bu sonuçlar aşağıdaki formülde yerine konularak birim ağırlıkları bulunur.

B.A. = Birim Ağırlık

$W_0$  = Etüv kurusu ağırlık

$W_h$  = Suyu doymun yüzey kurusu havadaki ağırlık

$W_s$  = Suyu doymun Su içindeki ağırlık

$$B.A. = W_0 / (W_h - W_s) \quad (7)$$

#### 4. BULGULAR:

Hafif agregalı blok elemanı üretiminde Yatağan U.K. nün özelliklerinin araştırıldığı bu deneysel çalışmada Pomza, Diatomit, Tüf kullanılarak üretilen hafif blokların mekanik özelliklerine ait sonuçlar çimento tipi ve uçucu kül miktarına göre Çizelge 4.1. de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Elde edilen Bulguların Tamamını Gösterir Çizelge

		Çimento Tipi	PKÇ 32,5				PKÇ 42,5			
		U.K. Miktarı	0	10	20	30	0	10	20	30
BASINÇ (N/mm <sup>2</sup> )	Tüf	7 Gün	9,56	9,73	9,1	6,5	9,08	10	8,48	7,58
		28 Gün	6,74	6,87	6,05	5,32	7,07	8,55	7,21	6,06
	Pomza	7 Gün	5,16	4,96	5,5	4,36	7,54	8,34	8,99	7,25
		28 Gün	4,44	4,84	5,48	3,51	6,64	7,5	7,61	6,3
	Diatomit	7 Gün	3,35	3,55	3,81	2,76	3,83	3,33	3,63	2,89
		28 Gün	2,86	3,34	3,53	2,82	3,56	2,98	2,91	2,51
Ultrases Hızı (km/sn)	Tüf	7 Gün	2,1	2,13	2,1	2,07	2,47	2,48	2,36	2,2
		28 Gün	2,3	2,34	2,31	2,23	2,53	2,59	2,53	2,28
	Pomza	7 Gün	2,39	2,42	2,41	2,27	2,59	2,6	2,59	2,53
		28 Gün	2,42	2,48	2,48	2,3	2,57	2,61	2,59	2,56
	Diatomit	7 Gün	1,57	1,67	1,55	1,47	1,29	1,44	1,37	1,4
		28 Gün	1,34	1,58	1,37	1,32	1,29	1,38	1,32	1,34
Kılcallık Katsayı (Kx10 <sup>-5</sup> )	Tüf	7 Gün	1228,5	888,7	1025,6	1155,0	1149,3	391,3	445,1	610,7
		28 Gün	870,4	535,6	634,4	781,9	213,3	117,6	123,1	400,2
	Pomza	7 Gün	282,6	196,1	125,6	125,6	282,6	196,1	125,6	125,6
		28 Gün	125,6	70,7	31,4	31,4	125,6	70,7	31,4	31,4
	Diatomit	7 Gün	1969,6	1854,5	2733,3	3276,5	3551,4	2745,1	2762,7	5650,8
		28 Gün	3260,5	1893,3	2515,2	3347,4	4816,4	4059,3	3903,7	4977,2
Isı İletken. Katsayısı (W/mK)	Tüf	28 Gün	0,527	0,550	0,527	0,448	0,464	0,468	0,450	0,447
	Pomza	28 Gün	0,250	0,297	0,282	0,249	0,338	0,395	0,344	0,318
	Diatomit	28 Gün	0,222	0,245	0,242	0,233	0,246	0,252	0,251	0,247

#### 4.1. Birim Ağırlıklar

Çizelge 4.1.1. de görüldüğü gibi Pomza'nın B.H.A 1,001 kg/dm<sup>3</sup> ile 1,133 kg/dm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Birim hacim ağırlığı, Pomza'da U.K. miktarı %20 ye kadar çıkarıldığında en yüksek değeri almakta, daha sonra bu değer %10 ve %30 da düşüşe geçmektedir. Birim hacim ağırlığı, Tüf'te U.K. miktarı %10 a kadar çıkarıldığında en yüksek değeri almakta, daha sonra bu değer %20 ve %30 da düşüşe geçmektedir. Burada malzemenin içinde bulunan kusurlu bölgelerin önemi büyüktür. Basınç dayanımı ile B.H.A arasında bir bağlantı kuracak olursak B.H.A. arttığında basınç dayanımı da artmaktadır, azaldığında ise basınç dayanımı da azalmaktadır. Zamana göre bir değerlendirme yapılacak olursa 7 ve 28 günlük B.H.A. değerleri birbirine yakın değerlerdir. Ancak 7 günlük B.H.A. değerleri 28 günlük B.H.A. değerlerinin az da olsa üzerindedir. Bunun da sebebi olarak 28 günlük numunelerin prozitesi 7 günlük numunelerinkinden daha fazla olmasına bağlanılabilir.

Çizelge 4.1.1. Pomza ile Üretilen Uçucu Kül Katkılı  
Hafif Agregalı Blokların Birim Ağırlıkları

Çimento Tipi	Kül Oranı %	Birim Ağırlıkları kg/dm <sup>3</sup>	
		7 Gün	28 Gün
P.K.Ç. 32,5	0	1,051	1,014
	10	1,052	1,001
	20	1,054	1,027
	30	1,042	1,010
P.K.Ç. 42,5	0	1,129	1,060
	10	1,133	1,054
	20	1,135	1,070
	30	1,130	1,046

Çizelge 4.1.2. Tüf ile Üretilen Uçucu Kül Katkılı  
Hafif Agregalı Blokların Birim Ağırlıkları

Çimento Tipi	Kül Oranı %	Birim Ağırlıkları kg/dm <sup>3</sup>	
		7 Gün	28 Gün
P.K.Ç. 32,5	0	1,422	1,358
	10	1,455	1,401
	20	1,454	1,396
	30	1,394	1,358
P.K.Ç. 42,5	0	1,399	1,342
	10	1,470	1,389
	20	1,432	1,368
	30	1,399	1,346

Çizelge 4.1.3. Diatomit ile Üretilen Uçucu Kül Katkılı  
Hafif Agregalı Blokların Birim Ağırlıkları

Çimento Tipi	Kül Oranı %	Birim Ağırlıkları kg/dm <sup>3</sup>	
		7 Gün	28 Gün
P.K.Ç. 32,5	0	1,042	0,987
	10	1,106	1,058
	20	1,052	1,014
	30	1,054	1,017
P.K.Ç. 42,5	0	1,118	1,023
	10	1,057	1,000
	20	1,055	0,992
	30	0,994	0,944

#### 4.2. Basınç deneyi

Uçucu kül katkılı betonlar genellikle etkilerini ileri yaşlarda gösterirler. Araştırmada betona çimentonun bir kısmı yerine (ikame olarak) U.K. konulmuş (%10, %20, %30) ve bu oranlar değiştiğindeki sonuçlar irdelenmiştir. Yapılan deneyler 7 ve 28 günlüktür. Yapılan araştırmalar sonucunda Yatağan termik santralinden elde edilen ve çalışmada kullanılan uçucu külün yüksek kalsiyumlu (CaO > %10) olduğu belirlenmiştir.

Uçucu kül katkılı tuf agregalı beton numunelerde, 7 ve 28 gün sonucunda basınç dayanım artışı en fazla, %10 U.K. katkılı numunelerde görülmüştür. Bu artış P.K.Ç. 42.5 kullanıldığında daha belirgin olarak görülmektedir. Buna hidrasyon ısı etkisi edebilir. U.K. oranı %20 ve %30' a çıkarıldığında bu dayanım şahit betona göre basınç dayanımında düşme olmuştur.

Agrega olarak Pomza kullanıldığında ise maksimum dayanım %20 U.K. katkılı betonda görülmüştür. Bu farklılığı pomza ile tufün kimyasal ve biyolojik yapısına bağlayabiliriz. Pomza kullanıldığında dikkati çeken bir diğer konu ise %10 ve %20 U.K. katkılı betonda düzgün olarak artmakta %30 oranında düşme olmaktadır.

Uçucu küller bilindiği gibi puzzolanik bir malzeme olduğundan tek başına bir bağlayıcılık özelliği taşımaz. Ancak çimentonun hidrasyonu sonucu açığa çıkan serbest kireç  $Ca(OH)_2$  ile reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği kazanmaktadır. Uçucu küllerin inceliği de bu hidrasyon ısı etkilerini etkiler.

Uçucu küllerin inceliği betonun bağlayıcılık özelliğini artırmaktadır. Uçucu külün çimento gibi bağlayıcı madde ile agrega tanelerinin arasını kapatmasıyla iyi bir aderans sağlanır. Bu ise betonun dayanımını artırır. Ancak uçucu kül miktarı artırılırsa, çimentodan açığa çıkan hidrasyon ısısında bir azalma olacak bu da uçucu külün tam anlamı ile bağlayıcı görevini yapmasına mani olacaktır. Böylece tüm karışım bundan etkilenecek yeteri derecede aderans sağlanamayacak, dolayısıyla dayanımda azalma görülecektir.

İnceliğin bir diğer etkisi de hidrasyon sinetiğini (uyumsuzluğunu) hızlandırmasıdır. İncelik arttıkça su ile teması geçen bağlayıcı maddelerin yüzeylerinde önemli bir artış olur. Bundan dolayı hidrasyon olayının hızı ve belirli bir sürede meydana gelen hidrate eleman miktarı artar. Bu durum erken yaşlarda betonun yüksek dayanım kazanmasını sağlar.

#### 4.2.1. Tüf ile Üretilen Numunelerin Basınç Değerleri

Üretilen numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları, bağlayıcı malzeme olan 32.5 ve 42.5 lik çimentoya, oran olarak %10, %20, %30 oranında uçucu kül katılarak elde edilmiş, elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2.1, Şekil 4.2.1, Şekil 4.2.2 de gösterilmiştir.

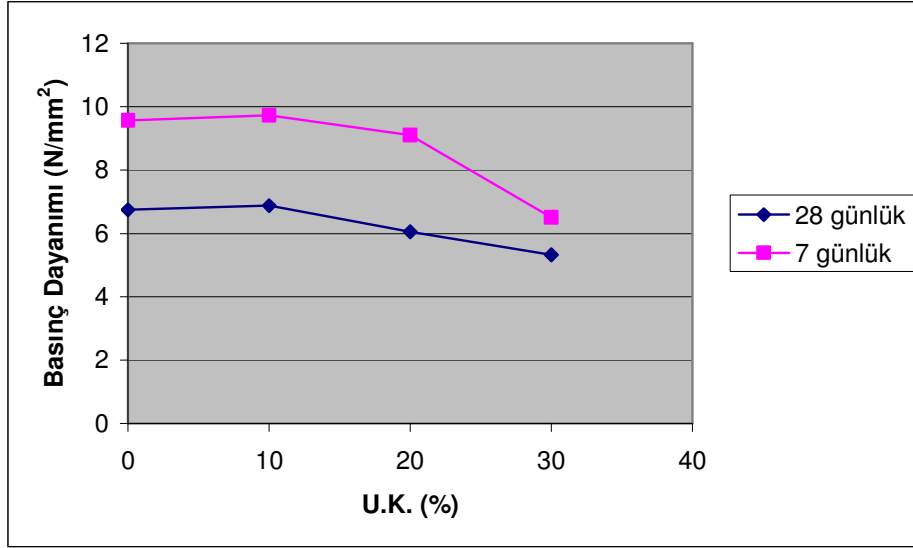
Şekiller incelendiğinde genel olarak 7 günlük basınç dayanımlarının 28 günlük basınç dayanımlarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Basınç dayanımının 32.5lik çimento kullanıldığında U.K. %10 oranında katıldığı zaman maksimum dayanım sağladığı görülmüştür. Ayrıca basınç dayanımında, %20 ve %30 uçucu kül kullanıldığı zaman, %0 uçucu küle göre düşüş görülmüştür.

42,5 luk çimento kullanıldığında maksimum dayanımın %10 uçucu kül kullanıldığı zaman oluştuğu görülmüştür. Yine 42.5 luk çimento kullanıldığında, %0 uçucu kül oranına göre %20 ve %30 oranında bir düşüş görülmüştür.

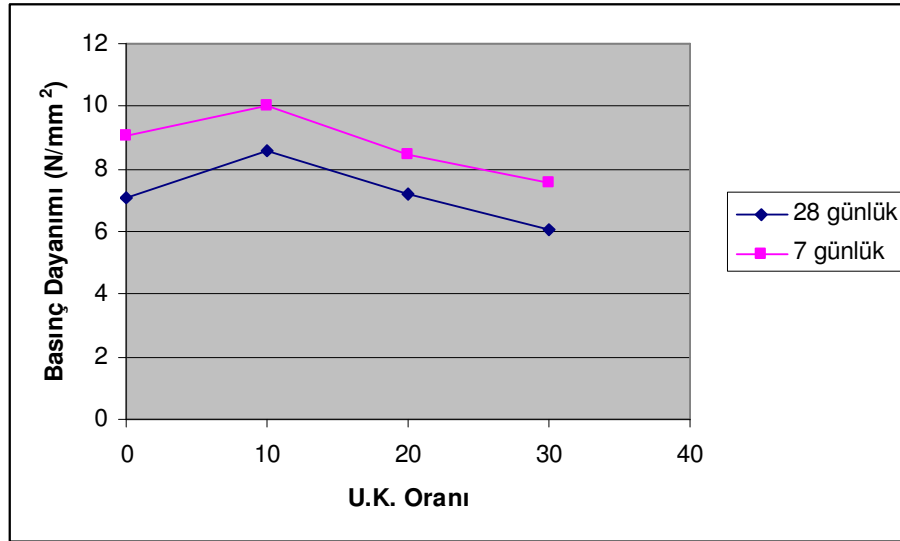
Genel olarak Tüfün basınç dayanımına uçucu külün etkisi olarak; uçucu kül miktarı %10 oranında konulduğunda artış, %20 ve %30 oranında konulduğunda basınç dayanımında düşüş olmuştur.

Çizelge 4.2.1 Tüf ile Üretilen Numunelerin Basınç Değerleri

Çimento Tipi	U.K. (%)	Basınç (N/mm <sup>2</sup> )	
		7 gün	28 gün
PKÇ 32.5	0	9,56	6,74
	10	9,73	6,87
	20	9,10	6,05
	30	6,50	5,32
PKÇ 42.5	0	9,08	7,07
	10	10,00	8,55
	20	8,48	7,21
	30	7,58	6,06



Şekil 4.2.1 PKÇ 32.5 ile Üretilen Numunelerin  
7 ve 28 Günlük Basınç Dayanım Grafiği



Şekil 4.2.2. PKÇ 42.5 ile Üretilen Numunelerin  
7 Ve 28 Günlük Basınç Dayanım Grafiği

#### 4.2.2. Pomza ile Üretilen Numunelerin Basınç Değerleri

Üretilen numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları, bağlayıcı malzeme olan 32.5 ve 42.5 lik PKÇ ya, oran olarak %0, %10, %20, %30 oranında uçucu kül



ikame edilmiş, elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2.2, Şekil 4.2.3, Şekil 4.2.4 de gösterilmiştir.

Şekiller incelendiğinde genel olarak 7 günlük basınç dayanımlarının 28 günlük basınç dayanımlarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Basınç dayanımının 32.5lik çimento kullanıldığında Uçucu külün %20 katıldığı zaman maksimum dayanım sağladığı görülmüştür. 7 günün sonunda basınç dayanımında, %10 ve %30 uçucu kül kullanıldığı zaman, %0 uçucu küle göre düşüş görülmüştür. 28 gün sonunda ise %0 a göre, %10 U.K. oranında bir yükselme, %30 U.K oranında ise düşüş görülmüştür.

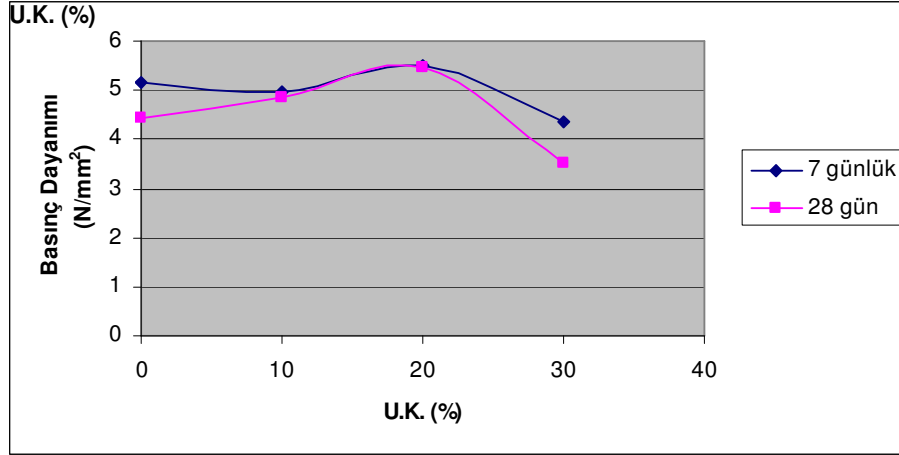
42,5 luk çimento kullanıldığında maksimum dayanımın %20 uçucu kül kullanıldığı zaman oluştuğu görülmüştür. Yine 42.5 luk çimento kullanıldığında basınç dayanımında, %0 uçucu kül oranına göre %10 U.K oranında bir artış %30 U.K oranında düşüş olmuştur.

Zamana göre basınç dayanımının azalması sebebi, zamana bağlı olarak numunenin bünyesindeki suyun buharlaşmasıyla boşluklu bir yapıya sahip olması bu boşlukların mevcut boşluklarla birleşerek numunenin bünyesinde daha büyük boşluk meydana getirmesinden kaynaklandığı söylenebilir.

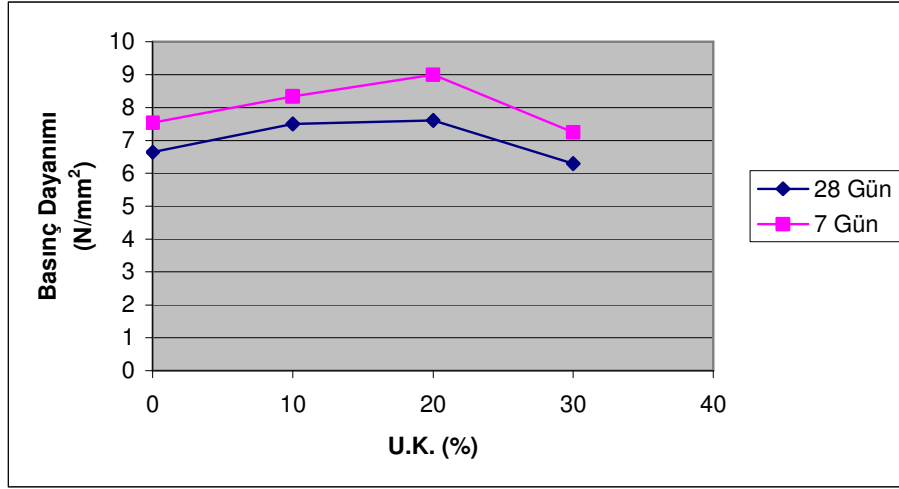
Genel olarak U.K. karışıma %20 oranında konulduğunda, Pomza'nın basınç dayanımına uçucu külün etkisi olarak şu söylenebilir; U.K. %20 oranında katılırsa bir artış olmuştur.

Çizelge 4.2.2. Pomza ile Üretilen Numunelerin Basınç Değerleri

Çimento Tipi	U.K. (%)	Basınç (N/mm <sup>2</sup> )	
		7 gün	28 gün
PKÇ 32.5	0	5,16	4,44
	10	4,96	4,84
	20	5,50	5,48
	30	4,36	3,51
PKÇ 42.5	0	7,54	6,64
	10	8,34	7,50
	20	8,99	7,61
	30	7,25	6,30



Şekil 4.2.3 PKÇ 32.5 ile Üretilen Numunelerin  
7 Ve 28 Günlük Basınç Dayanım Grafiği



Şekil 4.2.4 PKÇ 42.5 ile Üretilen Numunelerin 7 Ve 28 Günlük Basınç Dayanım Grafiği

#### 4.2.3. Diatomit ile Üretilen Numunelerin Basınç Değerleri

Üretilen numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları, bağlayıcı malzeme olan 32.5 ve 42.5 lik çimentoya, oran olarak %10, %20, %30 oranında uçucu kül katılarak elde edilmiş, elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.2.3, Şekil 4.2.5, Şekil 4.2.6 de gösterilmiştir.

Şekiller incelendiğinde genel olarak 7 günlük basınç dayanımlarının 28 günlük basınç dayanımlarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Basınç dayanımının Uçucu külün %20 katıldığı zaman maksimum dayanım sağladığı görülmüştür. Ayrıca basınç dayanımında, %30 uçucu kül kullanıldığı zaman, %0 uçucu küle göre düşüş görülmüştür.

42,5 luk çimento kullanıldığında 7 gün sonunda maksimum dayanımın %20 uçucu kül kullanıldığı zaman oluştuğu görülmüştür. 28 gün sonra maksimum dayanım ise %10 U.K. oranında görülmüştür.Yine 42.5 luk çimento kullanıldığında, %0'a göre %30, oranında bir düşüş, olduğu görülmüştür.

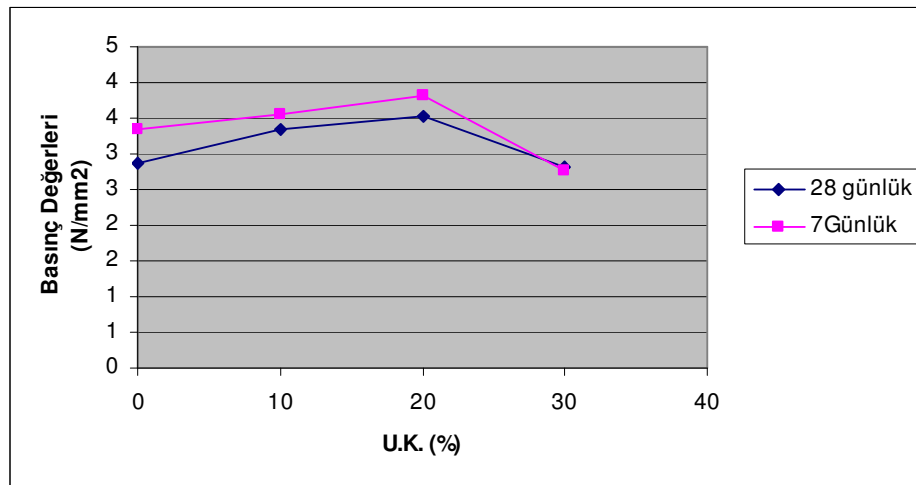
Zamana göre basınç dayanımının azalması sebebi, zamana bağlı olarak numunenin bünyesindeki suyun buharlaşmasıyla boşluklu bir yapıya sahip olması

bu boşlukların mevcut boşluklarla birleşerek numunenin bünyesinde daha büyük boşluk meydana getirmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Ancak diatomitte 7 ve 28 gün arasında basınç dayanımında fazla fark yoktur. Bunun sebebi büyük ölçüde Diatomitin bünyesinde az miktarda su ihtiva etmesi ve boşluk oranının az olmasıdır.

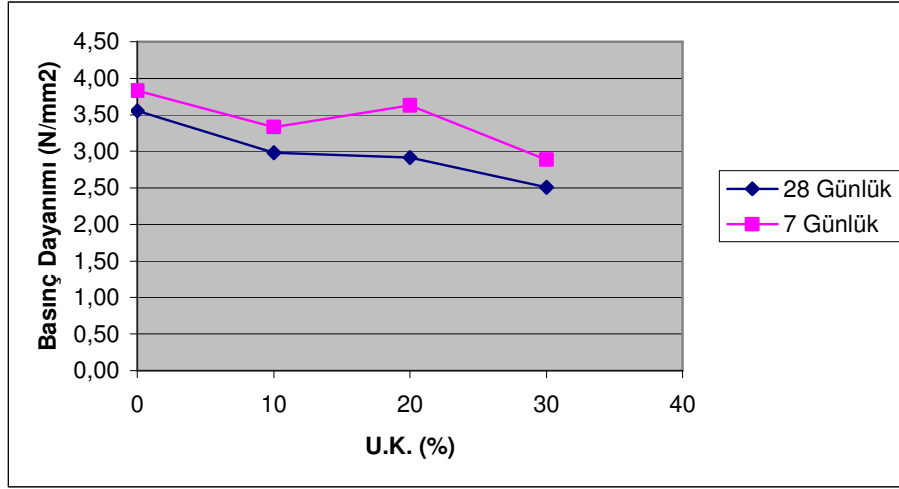
Genel olarak Diatomitin basınç dayanımına uçucu külün etkisi olarak şunu söyleyebiliriz; uçucu kül diatomitte %10 ve %20 oranında kullanılırsa basınç dayanımını artırmaktadır. Ancak %30 oranında kullanılırsa azaltmaktadır.

Çizelge 4.2.3 Diatomit ile Üretilen Numunelerin Basınç Değerleri

Çimento Tipi	U.K. (%)	Basınç (N/mm <sup>2</sup> )	
		7 gün	28 gün
PKÇ 32.5	0	3,35	2,86
	10	3,55	3,34
	20	3,81	3,53
	30	2,76	2,82
PKÇ 42.5	0	3,83	3,56
	10	3,33	2,98
	20	3,63	2,91
	30	2,89	2,51



Şekil 4.2.5 PKÇ 32.5 ile Üretilen Numunelerin 7 ve 28 Günlük Basınç Dayanım Grafiği



Şekil 4.2.6 PKÇ 42.5 ile Üretilen Numunelerin  
7 ve 28 Günlük Basınç Dayanım Grafiği

#### 4.3. Ultrases İletkenlik Değerleri

Genel olarak 28 günlük numunelerin ultrases hızları incelendiğinde %10 oranında Uçucu kül kullanıldığında ultrases hızında bir yükselme olmuştur. %30 oranında uçucu kül kullanılırsa ultrases hızında bir düşüş gözlenmektedir. %20 kül oranında ise hemen hemen %0 a yakın sonuçlar elde edilmiştir. Genel olarak P.K.Ç. 32.5 çimentonun ultrases hızı, P.K.Ç. 42.5 çimento'ya göre düşüktür. U.K %10 olduğunda ultrases hızında bir artma olmuş bundan sonra uçucu kül miktarının artışına paralel olarak %20 ve %30 U.K. oranında ultrases hızında azalmalar meydana gelmiştir.

Ayrıca zamana göre bir değerlendirme yapılacak olursa 28 günlük ultrases hızları 7 günlük ultrases hızlarına göre daha düşüktür. Bunun sebebi olarak numunenin bünyesindeki suyun buharlaşıp buharlaşan suyun yerine daha fazla oranda gözenek meydana gelmesi ve bunun sonucu da katsayıların düşmesi olarak söylenebilir. Betonda kusurlu bölgeler (boşluk gibi) fazlaştıkça ses dalgaları bu boşluklara takılmakta, yön değiştirmekte ve sesin yayıldığı uzaklık artmaktadır. Bu da sesin yayılma süresini artırmakta dolayısıyla ses geçiş hızı azalmaktadır.

Betonda kusurlu bölge azaldıkça ses dalgaları daha kısa sürede yayılabileceğinden ultrases hızı artmaktadır.

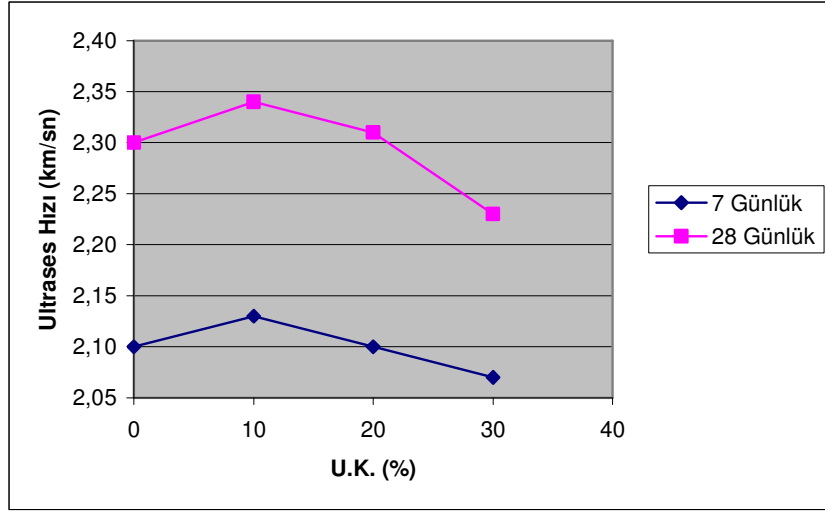
Ayrıca betonun basınç dayanımı ile bir ilişki kurulmak istenirse ultrases hızı, betonun basınç dayanımının bir fonksiyonudur. Ultrases hızı arttıkça betonun basınç dayanımı artmaktadır. Bunun sebebi de az önce açıkladığımız betondaki kusurlu bölgelerdendir.

#### 4.3.1. Tüf ile Üretilen Numunelerin Ultrases Hızı

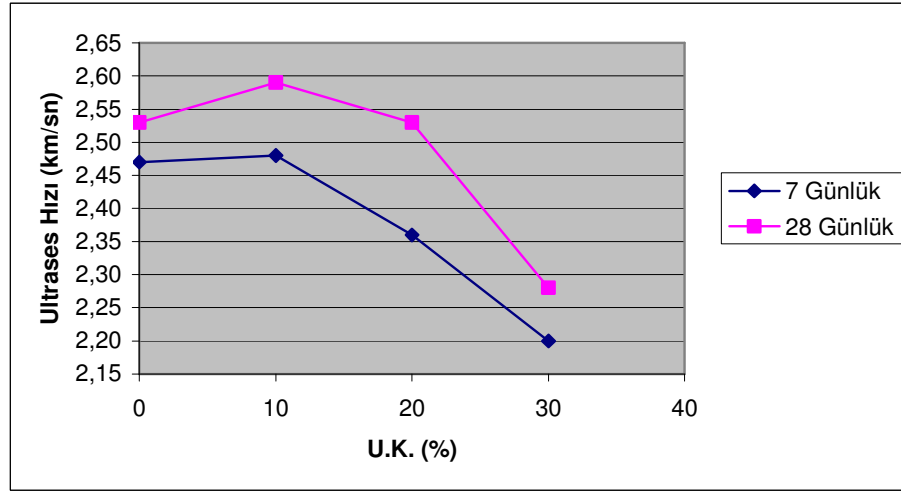
Genel olarak 28 günlük numunelerin ultrases hızları incelendiğinde %10 oranında Uçucu kül kullanıldığında ultrases hızında bir yükselme olmuştur. %30 oranında uçucu kül kullanılırsa ultrases hızında bir düşüş gözlenmektedir. %20 kül oranında ise hemen hemen %0 a yakın sonuçlar elde edilmiştir. Genel olarak 32.5 çimentonun ultrases hızı, 42.5 çimento'ya göre düşüktür. Ayrıca zamana göre bir değerlendirme yapılacak olursa 28 günlük ultrases hızları 7 günlük ultrases hızlarına göre daha düşüktür. Bunun sebebi olarak numunenin bünyesindeki suyun buharlaşıp buharlaşan suyun yerine daha fazla oranda gözenek meydana gelmesi ve bunun sonucu da katsayıların düşmesi olarak söylenebilir.

Çizelge 4.3.1 Tüf ile Üretilen Numunelerin Ultrases Değerleri

Çimento Tipi	U.K. (%)	Ultrases hızı (km/sn)	
		7 gün	28 gün
PKÇ 32.5	0	2,10	2,30
	10	2,13	2,34
	20	2,10	2,31
	30	2,07	2,23
PKÇ 42.5	0	2,47	2,53
	10	2,48	2,59
	20	2,36	2,53
	30	2,20	2,28



Şekil 4.3.1 PKÇ 32.5 ile Üretilen Numunelerin  
7 Ve 28 Günlük Ultrases Hızı Grafiği



Şekil 4.3.2 PKÇ 42.5 ile Üretilen Numunelerin  
7 Ve 28 Günlük Ultrases hızı Grafiği

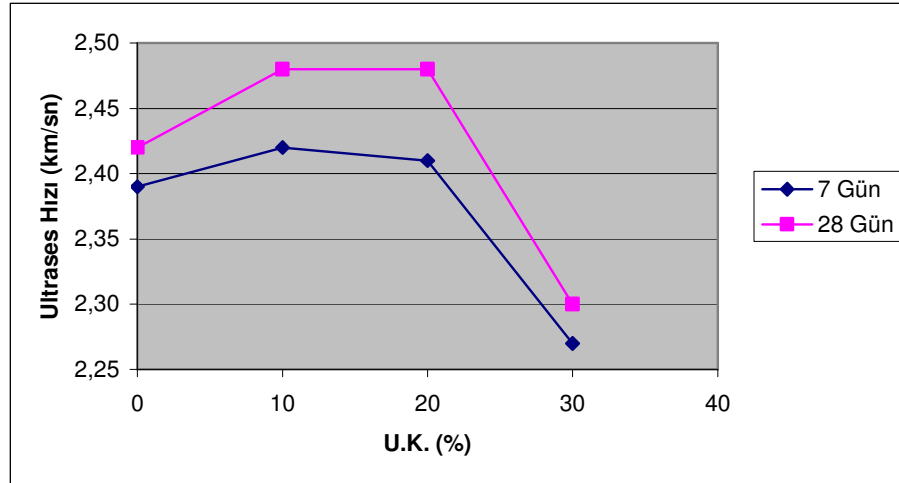
#### 4.3.2. Pomza ile Üretilen Numunelerin Ultrases Hızı

Genel olarak 28 günlük numunelerin ultrases hızları incelendiğinde %10 oranında uçucu kül kullanıldığında ultrases hızında bir yükselme olmuştur. %20 oranında uçucu kül kullanılırsa ultrases hızında bir düşüş gözlenmektedir. %30 kül oranında ise hemen hemen %0 a yakın sonuçlar elde edilmiştir. Genel olarak 32.5

çimentonun ultrases hızı, 42.5 çimento'ya göre düşüktür. Ayrıca zamana göre bir değerlendirme yapılacak olursa 28 günlük ultrases hızları 7 günlük ultrases hızlarına göre daha düşüktür. Bunun sebebi olarak numunenin bünyesindeki suyun buharlaşıp buharlaşan suyun yerine daha fazla oranda gözenek meydana gelmesi ve bunun sonucu da katsayıların düşmesi olarak söylenebilir. Ultrases hızı %20 uçucu kül oranında minimum %10 uçucu kül oranında ise Maksimum olmuştur.

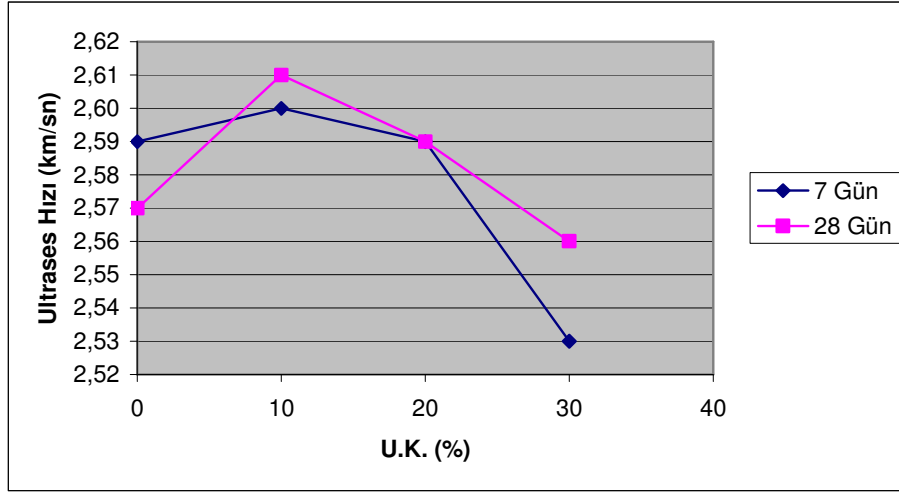
Çizelge 4.3.2 Pomza ile Üretilen Numunelerin Ultrases Değerleri

Çimento Tipi	U.K. (%)	Ultrases Hızı (km/sn)	
		7 gün	28 gün
PKÇ 32.5	0	2,39	2,42
	10	2,42	2,48
	20	2,41	2,48
	30	2,27	2,30
PKÇ 42.5	0	2,59	2,57
	10	2,60	2,61
	20	2,59	2,59
	30	2,53	2,56



Şekil 4.3.3 PKÇ 32.5 ile Üretilen Numunelerin 7 ve 28 Günlük Ultrases hızı Grafiği





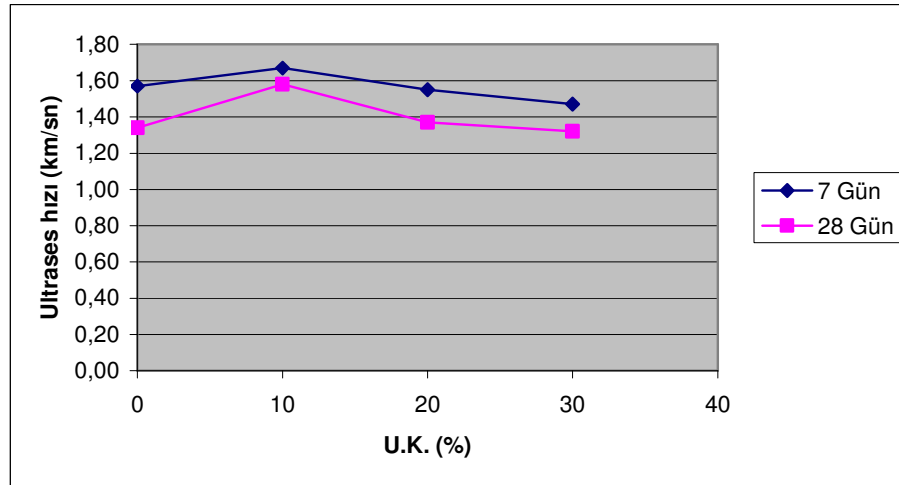
Şekil 4.3.4 PKÇ 42.5 ile Üretilen Numunelerin  
7 Ve 28 Günlük Ultrases hızı Grafiği

#### 4.3.3. Diatomit ile Üretilen Numunelerin Ultrases Hızı

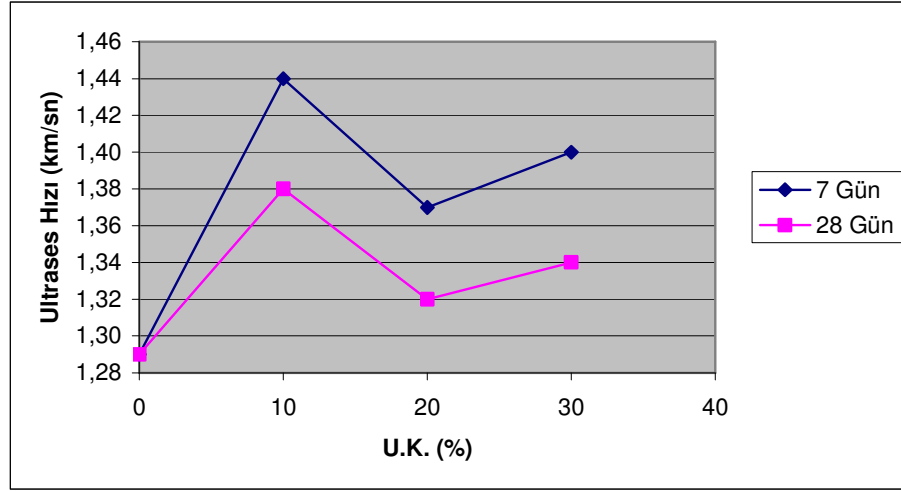
Genel olarak 28 günlük numunelerin ultrases hızları incelendiğinde %10 oranında uçucu kül kullanıldığında ultrases hızında bir yükselme olmuştur. %20 oranında uçucu kül kullanılırsa ultrases hızı, %0 a göre hemen hemen aynı çıkmaktadır. %30 kül oranında ise minimum değer elde edilmiştir. Genel olarak 32.5 çimentonun ultrases hızı, 42.5 çimento'ya göre yüksektir. Ayrıca zamana göre bir değerlendirme yapılacak olursa 28 günlük ultrases hızları 7 günlük ultrases hızlarına göre daha düşüktür. Bunun sebebi olarak numunenin bünyesindeki suyun buharlaşıp buharlaşan suyun yerine daha fazla oranda gözenek meydana gelmesi ve bunun sonucu da katsayıların düşmesi olarak söylenebilir. Ultrases hızı, 32.5 lik çimentoda %30 uçucu kül oranı kullanıldığında minimum %10 uçucu kül oranında ise Maksimum olmuştur. 42.5 lik çimentoda %20 uçucu kül oranı kullanıldığında minimum %10 uçucu kül oranında ise maksimum olmuştur.

Çizelge 4.3.3 Diatomit ile Üretilen Numunelerin Ultrases Değerleri

Çimento Tipi	U.K. (%)	Ultrases hızı (km/sn)	
		7 gün	28 gün
PKÇ 32.5	0	1,57	1,34
	10	1,67	1,58
	20	1,55	1,37
	30	1,47	1,32
PKÇ 42.5	0	1,29	1,29
	10	1,44	1,38
	20	1,37	1,32
	30	1,40	1,34



Şekil 4.3.5 PKÇ 32.5 ile Üretilen Numunelerin  
7 ve 28 Günlük Ultrases hızı Grafiği



Şekil 4.3.6 PKÇ 42.5 ile Üretilen Numunelerin  
7 ve 28 Günlük Ultrases hızı Grafiği

#### 4.4. Isı İletkenlik Deney Sonuçları

Diatomitin ısı iletkenlik katsayıları; genel olarak 42,5 luk çimentonun ısı iletim katsayısı, 32.5 çimentoya göre daha yüksektir. Uçucu kül oranı %10 da maksimum değer elde edilmiştir. Uçucu kül oranı arttıkça %10 değere göre bir düşüş gözükmemektedir. Diatomitin genel olarak ısı iletkenlik katsayısının en yüksek olduğu oran %10 dur. En az olduğu oran ise %30 dur.

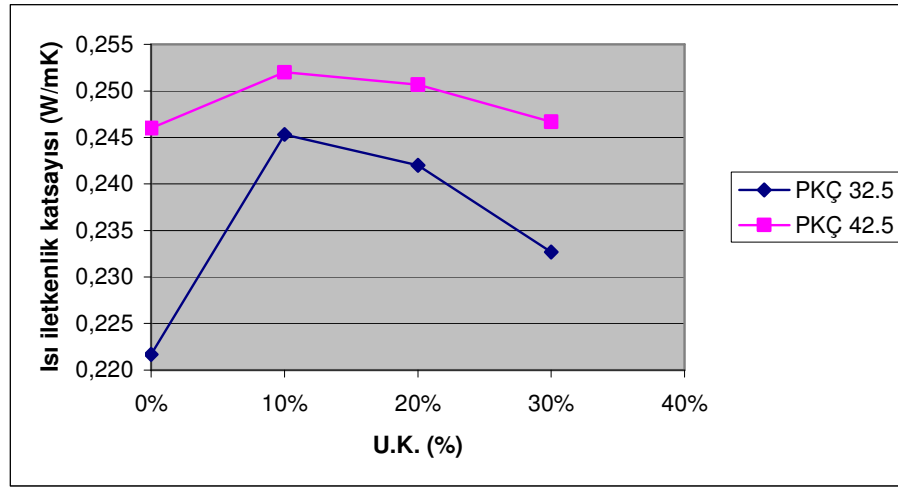
Pomza'nın ısı iletkenlik katsayıları genel olarak 42,5 luk çimentonun ısı iletim katsayısı 32.5 çimentoya göre daha yüksektir. Uçucu kül oranı %10 da maksimum değer elde edilmiştir. Uçucu kül oranı arttıkça %10 değere göre bir düşüş gözükmemektedir. Diatomitin genel olarak ısı iletkenlik katsayısının en yüksek olduğu oran %10, en az olduğu oran ise %0 dır.

Tüfte ise 42.5 lik çimento kullanıldığında ısı iletim katsayıları hemen hemen aynıdır. Isı iletkenlik katsayıları bakımından en yüksek değer %10 da bulunmuş en düşük değer ise %30 da görülmüştür. 32.5 çimentoda ise yine değerler birbirine yakın çıkmıştır. Burada da en düşük değer %30 da, en yüksek değer %10 da elde edilmiştir.

Genel olarak Pomza ve tüfte ısı iletkenlik katsayılarında uçucu külün çok fazla bir etkisi olduğu söylenemez. Küçükte olsa kül oranı arttıkça Isı iletim katsayılarında bir düşüş olmuştur.

Çizelge 4.4.1 Diatomit ile Üretilen Numunelerin Isı İletkenlik değerleri

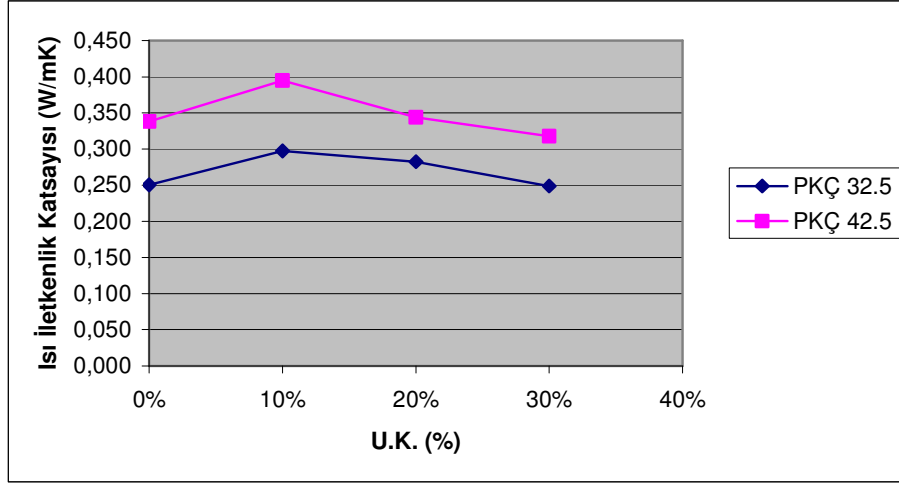
MALZEME	U.K. (%)	Isı İletkenlik katsayısı (W/mK)	
		PKÇ 32.5	PKÇ 42.5
DİATOMİT	0%	0,222	0,246
	10%	0,245	0,252
	20%	0,242	0,251
	30%	0,233	0,247



Şekil 4.4.1 Diatomit ile Üretilen Numunelerin Isı İletkenlik grafiği

Çizelge 4.4.2. Pomza ile Üretilen Numunelerin Isı İletkenlik değerleri

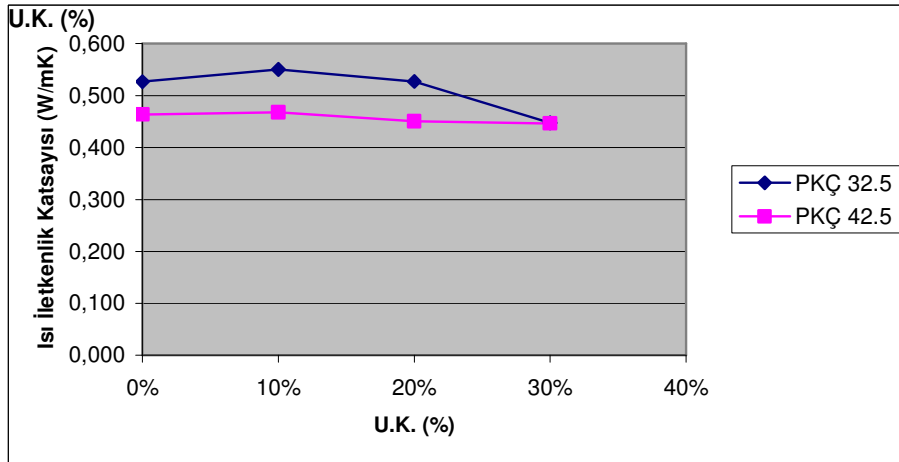
MALZEME	U.K. (%)	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	
		PKÇ 32.5	PKÇ 42.5
Pomza	0%	0,250	0,338
	10%	0,297	0,395
	20%	0,282	0,344
	30%	0,249	0,318



Şekil 4.4.2 Pomza ile Üretilen Numunelerin Isı İletkenlik Grafiği

Çizelge 4.4.3. Tüf ile Üretilen Numunelerin Isı İletkenlik Değerleri

MALZEME	U.K. (%)	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	
		PKÇ 32.5	PKÇ 42.5
Tüf	0%	0,527	0,464
	10%	0,550	0,468
	20%	0,527	0,450
	30%	0,448	0,447



Şekil 4.4.3 Tüf' ile Üretilen Numunelerin Isı İletkenlik grafiği

#### **4.5. Kılcallık (Kapilerite) Deney Sonuçları**

Uçucu kül katkılı betonlarda göze çarpan olaylardan biri de dayanımdaki artışa paralel olarak kılcallıktaki azalmadır. Kılcallık katsayısında uçucu külün ince daneli olması ve kılcal boşlukları kapatmasıdır. Uçucu kül oranı yükseldikçe kılcallık şahit numuneye göre düşmüştür.

Daha önceki yapılan çalışmalardan bilindiği gibi zamanla hidrasyon geliştiğçe bağlayıcı maddelerin hamuru içindeki kılcal boşlukların boyutları küçülmektedir. Kılcal boşlukların boyutların küçülmesi ise betonun kılcal su emme kuvvetini büyüterek kılcallığın zamanla artmasına neden olmaktadır.

Kılcallık betonun boşluk yapısına bağlıdır. Betonun boşluk yapısı ise agrega taneleri arasındaki boşluğun uçucu küllü bağlayıcı maddeler tarafından doldurulması ile ilgilidir. Bağlayıcı madde Çimento + U.K. agrega taneleri arasındaki boşluğu doldurmaya yeterli değilse betonun bünyesinin büyük ölçüde boşluklu bir yapıya sahip olacağı ve kılcallığın artacağı diğer taraftan uçucu kül ve çimento karışımının agrega taneleri arasındaki boşluğu azaltacağı görülür.

##### **4.5.1. Pomza ile Üretilen Numunelerin Kılcallık Katsayıları**

Genel olarak 7 günlük kılcallık katsayı değerlerinin 28 günlük katsayı değerlerine göre yüksek olduğu görülmüştür. Bunun sebebi olarak betondaki bünye suyunun zamanla buharlaşıp yerini boşluklara bırakması ve bu boşluklardan suyun daha kolay ilerlemesidir.

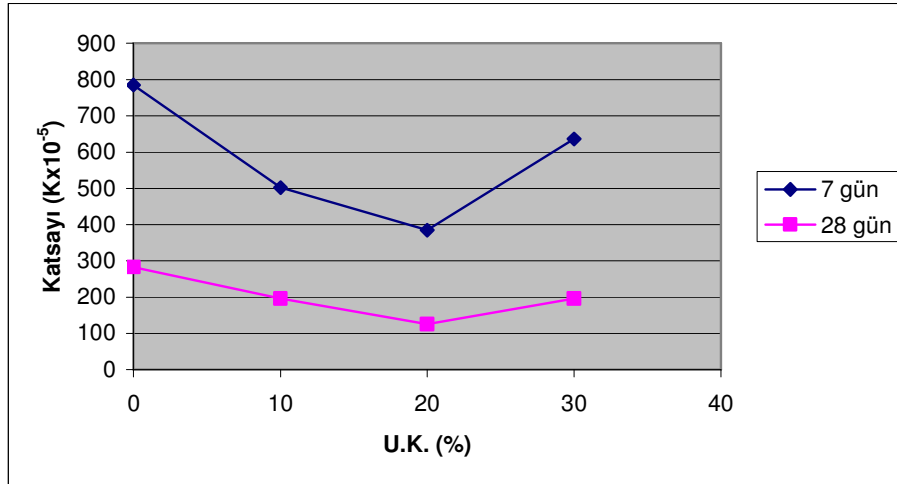
32,5 luk çimento kullanıldığında 7 gün sonra %20 luk U.K. oranında minimum katsayı %30 U.K. oranında ise maksimum değer bulunmuştur. %30 uçucu kül oranında ise %0 oranından daha düşük bir katsayı bulunmuştur. 28 gün sonra ise minimum değer %20 de çıkmıştır. Yine maksimum değer %30 uçucu kül kullanıldığı zaman çıkmıştır. Bu değer %0 uçucu kül oranında bulunan değerden düşüktür.

42.5 luk çimento kullanıldığında ise 7 ve 28 gün sonunda minimum değer %20 uçucu kül kullanıldığında bulunmuştur. Ayrıca %10 ve %30 uçucu kül kullanıldığında ise yine %0 oranına göre daha küçük bir katsayı çıkmıştır.

Genel olarak uçucu külün kılcallık katsayısına etkisi %20 oranında minimum, %30 da maksimum olmuştur. Ancak uçucu kül kullanılmadığında kılcallık oranı daha yüksektir.

Çizelge 4.5.1 PKÇ 32.5 ile Üretilen Numunelerin  
7 ve 28 Günlük Kılcallık Katsayıları

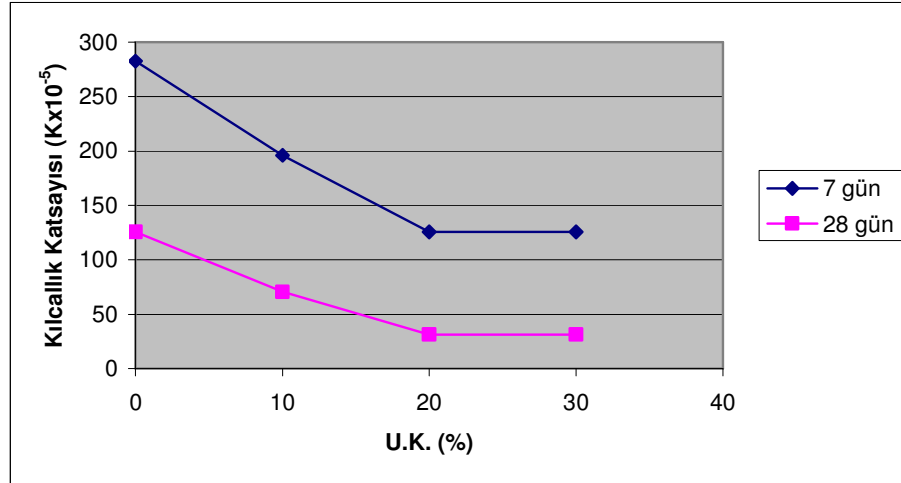
Zaman	U.K. (%)	Eğim (S)	Katsayı( $K \times 10^{-5}$ )
7 Gün	0	0,10	785
	10	0,08	502,40
	20	0,07	384,65
	30	0,09	635,85
28 Gün	0	0,06	282,60
	10	0,05	196,12
	20	0,04	125,60
	30	0,05	196,25



Şekil 4.5.1 PKÇ 32.5 ile Üretilen Numunelerin  
7 ve 28 Günlük Kılcallık katsayısı Grafiği

Çizelge 4.5.2 PKÇ 42.5 ile Üretilen Numunelerin  
7 ve 28 Günlük Kılcallık Katsayıları

Zaman	U.K. (%)	Eğim (S)	Katsayı( $K \times 10^{-5}$ )
7 Gün	0	0,06	282,60
	10	0,05	196,12
	20	0,04	125,60
	30	0,04	125,60
28 Gün	0	0,04	125,60
	10	0,03	70,65
	20	0,02	31,40
	30	0,02	31,40



Şekil 4.5.2 PKÇ 42.5 ile Üretilen Numunelerin  
7 ve 28 Günlük Kılcallık Katsayısı Grafiği

#### 4.5.2. Tüf ile Üretilen Numunelerin Kılcallık Katsayıları

Genel olarak 7 günlük kılcallık katsayı değerlerinin 28 günlük katsayı değerlerine göre yüksek olduğu görülmüştür.

32,5 luk çimento kullanıldığında 7 gün sonra %10 luk U.K. oranında minimum katsayı %30 U.K. oranında ise maksimum değer bulunmuştur. %30 uçucu kül oranında ise %0 oranından daha düşük bir katsayı bulunmuştur. 28 gün sonra ise



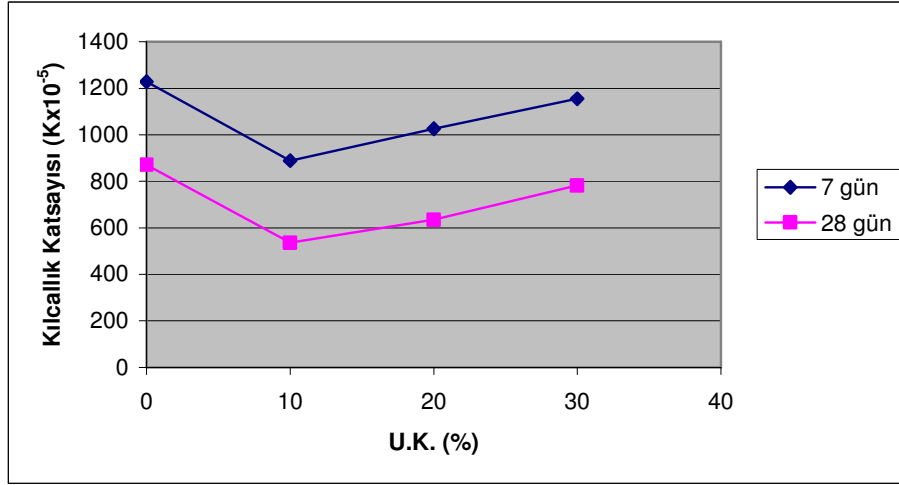
minimum değer %10 da görülmüştür. Yine maksimum değer %30 uçucu kl kullanıldığı zaman görülmüştür. Bu değer %0 uçucu kl oranında bulunan değerden düşüktür.

42.5 luk ęimento kullanıldığında ise 7 ve 28 gün sonunda minimum değer %20 uçucu kl kullanıldığında bulunmuştur. Ayrıca %10 ve %30 uçucu kl kullanıldığında ise yine %0 oranına göre daha küçük bir katsayı görülmüştür.

Genel olarak uçucu külün kılcallık katsayısına etkisi %20 oranında minimum, %30 da maksimum olmuştur. Ancak uçucu kl kullanılmadığında kılcallık oranı daha yüksektir.

Çizelge 4.5.3 PKÇ 32.5 ile üretilen Numunelerin  
7 ve 28 Günlük Kılcallık Katsayıları

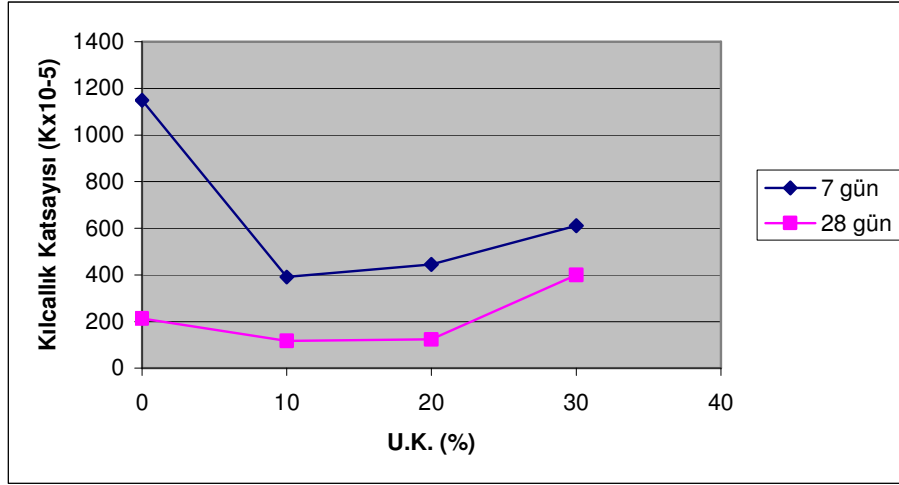
Zaman	U.K. (%)	Eğim (S)	Katsayı ( $K \times 10^{-5}$ )
7 Gün	0	0,1251	1228,526
	10	0,1064	888,6954
	20	0,1143	1025,562
	30	0,1213	1155,025
28 Gün	0	0,1053	870,42
	10	0,0826	535,59
	20	0,0899	634,44
	30	0,0998	781,86



Şekil 4.5.3 PKÇ 32.5 ile Üretilen Numunelerin  
7 ve 28 Günlük Kılcallık Katsayısı Grafiği

Çizelge 4.5.4 PKÇ 42.5 ile Üretilen Numunelerin  
7 Ve 28 Günlük Kılcallık Katsayıları

Zaman	U.K. (%)	Eğim (S)	Katsayı (Kx10 <sup>-5</sup> )
7 Gün	0	0,121	1149,319
	10	0,0706	391,2723
	20	0,0753	445,1021
	30	0,0882	610,6703
28 Gün	0	0,0702	213,26
	10	0,0387	117,57
	20	0,0396	123,10
	30	0,0714	400,19



Şekil 4.5.4 PKÇ 42.5 ile Üretilen Numunelerin  
7 ve 28 Günlük Kılcallık Katsayısı Grafiği

#### 4.5.3. Diatomit ile Üretilen Numunelerin Kılcallık Katsayıları

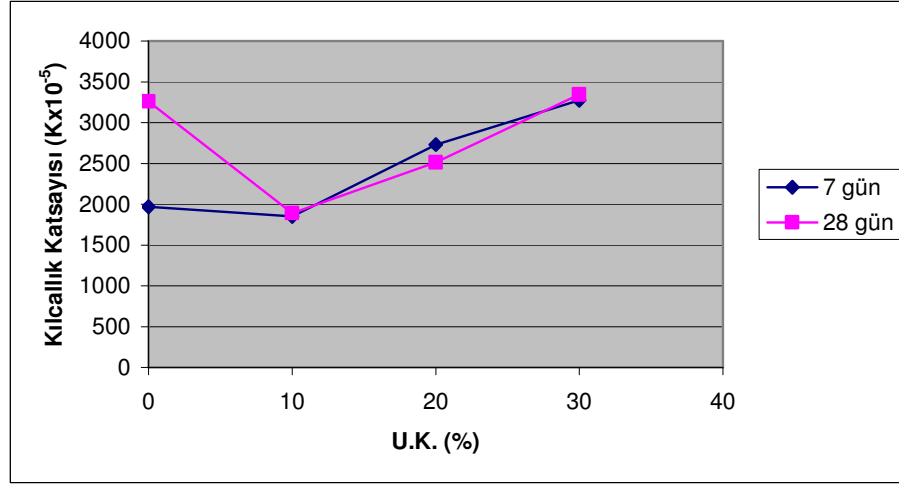
32,5 luk çimento kullanıldığında 7 gün sonra %10 luk U.K. oranında minimum katsayı %30 U.K. oranında ise maksimum değer bulunmuştur. %30 uçucu kül oranında ise %0 oranından daha yüksek bir katsayı bulunmuştur. 28 gün sonra ise minimum değer %10 da görülmüştür. Yine maksimum değer %30 uçucu kül kullanıldığı zaman elde edilmiştir. Bu değer %0 uçucu kül oranında bulunan değerden büyüktür.

42.5 luk çimento kullanıldığında ise 7 ve 28 gün sonunda minimum değer %20 uçucu kül kullanıldığında bulunmuştur. Ayrıca %10 ve %30 uçucu kül kullanıldığında ise yine %0 oranına göre daha büyük bir katsayı elde edilmiştir.

Genel olarak uçucu külün kılcallık katsayısına etkisi %10 oranında minimum, %30 da maksimum olmuştur.

Çizelge 4.5.5 PKÇ 32.5 ile Üretilen Numunelerin  
7 ve 28 Günlük Kılcallık Katsayıları

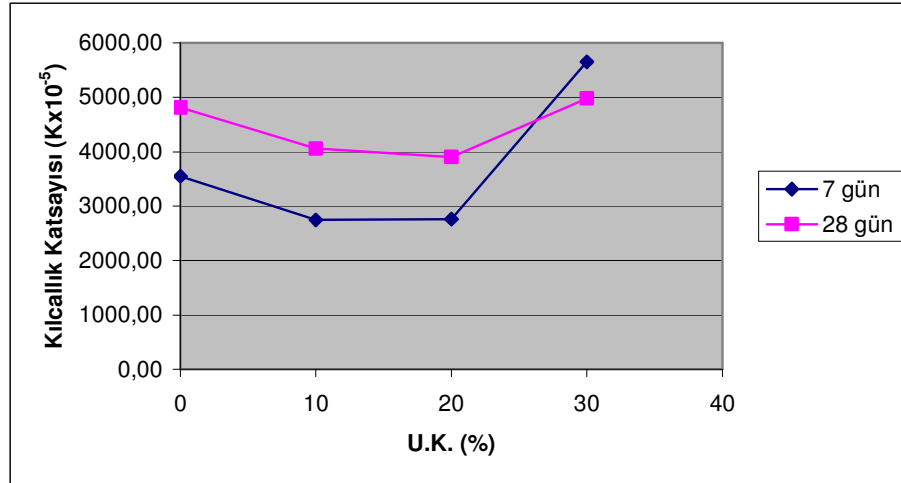
Zaman	U.K. (%)	Eğim (S)	Katsayı ( $K \times 10^{-5}$ )
7 Gün	0	0,1584	1969,609
	10	0,1537	1854,46
	20	0,1866	2733,335
	30	0,2043	3276,471
28 Gün	0	0,2038	3260,45
	10	0,1553	1893,27
	20	0,179	2515,22
	30	0,2065	3347,42



Şekil 4.5.5 PKÇ 32.5 ile Üretilen Numunelerin  
7 Ve 28 Günlük Kılcallık Katsayısı Grafiği

Çizelge 4.5.6 PKÇ 42.5 ile Üretilen Numunelerin  
7 ve 28 Günlük Kılcallık Katsayıları

Zaman	U.K. (%)	Eğim (S)	Katsayı ( $K \times 10^{-5}$ )
7 Gün	0	0,2127	3551,44
	10	0,187	2745,07
	20	0,1876	2762,71
	30	0,2683	5650,81
28 Gün	0	0,2477	4816,39
	10	0,2274	4059,29
	20	0,223	3903,73
	30	0,2518	4977,15



Şekil 4.5.6 PKÇ 42.5 ile Üretilen Numunelerin  
7 ve 28 Günlük Kılcallık Katsayısı Grafiği

## 5. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Uçucu külün Pomza, Tüf ve Diatomit kullanılarak üretilen hafif agregalı blok elemanlarının üzerinde yapılan fiziksel ve mekaniksel testler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Uçucu kül katkılı betonlarda basınç dayanımı erken yaşta artmakta ileri yaşlarda azalmalar göstermektedir. Bunun betonun bünyesinde zamanla oluşan değişimlere bağlanabilir. Optimum katılış oranları yüzde olarak kür koşullarına, agrega cinsine ve diğer katkı maddelerine göre, genellikle %10 - %20 dir. Daha fazla oranda katılırsa dayanımda düşmeler olmaktadır. Bu değerlerde uçucu külün beton üzerinde basınç dayanımı olarak en etkili olduğu saptanmıştır.
- Malzemenin mutlak hacim yüzdelerine göre hazırlanan uçucu kül katkılı beton karışımları üzerinde yapılan deneyler sonucunda, belirli bir basınç dayanımı sağlayabilmek için karışıma ne kadar U.K. / Çimento konulacağı önceden belirlenebilmektedir. Bu amaçla özellikle düşük dozajlı betonlarda uçucu kül katkısıyla, basınç dayanımını artırmanın ve çimentodan tasarruf sağlamanın yolları pratikte de uygulanabilir.
- Tüf katkılı hafif betonun basınç dayanımları 5,32 (N/mm<sup>2</sup>) – 10 (N/mm<sup>2</sup>) arasında değişmektedir.
- Tüf katkılı hafif betonun 7 ve 28 günlük basınç dayanımları sonucunda maksimum dayanım %10 U.K katıldığında görülmüştür.
- Tüf katkılı hafif betonun basınç dayanımına, %10 oranında U.K katılırsa olumlu bir katkı sağlandığı görülmüştür. Bu oran artırılırsa daha az bir dayanım sağladığı görülmüştür.
- Pomza'dan üretilen hafif betonun basınç dayanımları 4,36 (N/mm<sup>2</sup>) – 8,99 (N/mm<sup>2</sup>) arasında değişmektedir.

- Pomza'dan üretilen hafif betonun 7 ve 28 günlük basınç dayanımları sonuncunda maksimum dayanım %20 U.K katıldığında görülmüştür.
- Pomza'dan üretilen hafif betonun basınç dayanımına, %20 oranında U.K katılırsa olumlu bir katkı sağlandığı görülmüştür. Bu oran %30 olursa daha az bir dayanım sağladığı görülmüştür.
- Diatomit katkılı hafif betonun basınç dayanımları 2,51 (N/mm<sup>2</sup>) – 3,83 (N/mm<sup>2</sup>) arasında değişmektedir.
- Diatomit katkılı hafif betonda P.K.Ç. 32.5 çimento tipi kullanıldığı zaman maksimum dayanım %20 U.K katıldığında görülmüştür. P.K.Ç. 42,5 çimento tipinde U.K. kullanımı basınç dayanımını azaltmıştır.
- Hafif agregalı blok elemanlarında verimli olan U.K oranı, malzeme cinsine göre değişmektedir.
- Betonda kullanılan U.K. miktarı, betonun iç yapılarını değiştirmektedir. uçucu kül oranı arttıkça betonun bünyesindeki kusurlar (boşluk oranı) artmakta dolayısıyla ses bu boşluklara takıldıkça yön değiştirmekte ve sesin yayılım hızı azalmaktadır. Burada gözardı edilmemesi gereken bir nokta da kullanılan agregaların boşluklu bir yapıya sahip olmasıdır. Bu da ultrases hızında normal agregaya göre ultrases hızının normal agregalı betona göre düşüşe neden olmaktadır.
- Tüf katkılı hafif betonun ultrases hızı, 2,07 (km/sn) – 2,59 (km/sn) arasında değişmektedir.
- Tüf katkılı hafif betona %10 oranında uçucu kül katıldığında ultrases hızı maksimum olduğu görülmüştür.

- Tüf katkılı hafif betona %20 oranında U.K katıldığında ses hızında fazla bir değişiklik olmamış ancak %30 U.K kullanılırsa ses hızında minimum değer görülmüştür.
- Pomza'dan üretilen hafif betonun ultrases hızı 2,21 (km/sn) – 2,65 (km/sn) arasında değişmektedir.
- %10 U.K. kullanıldığında Pomza'dan üretilen hafif betonun ultrases hızı minimum olmuştur.
- Pomza'dan üretilen hafif betonda, P.K.Ç. 32.5 çimento tipi kullanıldığında minimum değer %20 U.K. kullanıldığında ortaya çıkmıştır. P.K.Ç. 42,5 çimento tipi kullanıldığında, U.K ultrases hızını yükseltmektedir.
- Diatomit'le üretilen hafif betonun ultrases hızı 1,29 (km/sn) – 1,67 (km/sn) arasında değişmektedir.
- %10 U.K. kullanıldığında Diatomitle üretilen hafif betonun ultrases hızı maksimum olmuştur.
- Diatomit'le üretilen hafif betonun ısı iletkenlik katsayısı 0,222 (W/mK) – 0,252 (km/sn) arasında değişmektedir.
- %10 U.K. kullanıldığında Diatomitle üretilen hafif betonun ısı iletkenlik katsayısı maksimum olmuştur.
- Diatomit'le üretilen hafif betonun ısı iletkenlik katsayısı %10 U.K oranında maksimuma ulaştıktan sonra %20 ve %30 oranında düşüşe geçmiştir.
- Diatomit'le üretilen hafif betona U.K konulduğunda ısı iletkenlik katsayısında artma olmuştur.



- Pomza ile üretilen hafif betonun ısı iletkenlik katsayısı 0,249 (W/mK) – 0,395 (W/mK) arasında değişmektedir.
- %10 U.K. kullanıldığında Pomza'dan üretilen hafif betonun ısı iletkenlik katsayısı maksimum olmuştur.
- Pomza ile üretilen hafif betona %30 oranında U.K katıldığında ısı iletkenlik katsayısını düşürmektedir.
- Tüf ile üretilen hafif betonun ısı iletkenlik katsayısı 0,447 (W/mK) – 0,550 (W/mK) arasında değişmektedir.
- %10 U.K. kullanıldığında Tüf ile üretilen hafif betonun ultrases hızı maksimum olmuştur.
- Pomza ile üretilen hafif betonun kılcallık katsayısı  $149,23 \times 10^{-5}$  –  $824,74 \times 10^{-5}$  arasında değişmektedir.
- Pomza ile üretilen hafif betonun kılcallık katsayısı %0 dan %20 ye kadar bir azalış göstermekte ve %20 de minimum değere ulaşmaktadır. %30 oranında ise artış göstermektedir.
- Pomza ile üretilen hafif betonun kılcallık katsayısına uçucu külün etkisi katsayıyı azaltan yönündedir.
- Pomza ile üretilen hafif betonun kılcallık katsayısı zamanla azalmaktadır. Bunun sebebi olarak numunenin zamanla sertleşip geçirimsizliğinin azalması gösterilebilir.
- Tüf ile üretilen hafif betonun kılcallık katsayısı  $117,57 \times 10^{-5}$  –  $1228,526 \times 10^{-5}$  arasında değişmektedir.

- Tüf ile üretilen hafif betonun kılcallık katsayısına Uçucu külün azalan yönde bir etkisi olmuştur.
- Tüf ile üretilen hafif betona %10 U.K katıldığında kılcallık katsayısı minimuma inmiştir.
- Diatomit ile üretilen hafif betonun kılcallık katsayısı  $1854,46 \times 10^{-5}$  –  $5650,81 \times 10^{-5}$  arasında değişmektedir.
- 7 gün sonunda P.K.Ç. 32,5 lik çimento kullanıldığında elde edilen sonuçlara göre Diatomit ile üretilen hafif betona %10 oranında U.K katıldığında kılcallık katsayısında bir düşüş olmuş ancak bu oran artırıldığında kılcallık katsayısı artmıştır. Maksimum oran %30 da olmuştur. 28 gün sonunda ise %10 ve %20 lik değerlerde bir azalma olmuş %30 oranında ise bir artış meydana gelmiştir.
- Diatomit ile üretilen hafif betonda P.K.Ç. 42.5 Çimento tipi kullanıldığında ise %10 ve %20 U.K değerlerinde bir azalma olmakta ancak %30 değerinde artma meydana gelmektedir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

- Hafif agregalı blok elemanlarında uçucu külün basınç dayanımına etkisi, uçucu kül belirli orana kadar konulursa olumlu bir etki yaratmakta ancak fazla miktarda kullanılırsa olumsuz bir etki yaratmaktadır. Bu oran yapılan deneyler sonucu %10 ila %20 dir.
- Ultrases hızı olarak değerlendirilecek olursa; malzemeye çimentonun %20 oranında U.K konulursa olumlu etki yapmaktadır. Fazla miktarda konulduğunda ultrases hızı artmaktadır.
- Ses ve ısı iletkenliği ile Basınç dayanımı arasında bağlantı kurulacak olursa; basınç dayanımı arttığında, ses ve ısı iletkenlik değerleri azalmakta, basınç dayanımı azaldığında ses ve ısı iletkenliği artmaktadır. Dolayısıyla bu özellikler bakımından malzemede ters bir oran söz konusudur. Bunun da en önemli sebebi malzeme bünyesindeki boşluk oranlarıdır.
- Ayrıca U.K miktarı %10 olarak katılırsa kılcallık bakımından betona bir kazanç sağlamaktadır. Bu da betonun bünyesindeki boşluk oranına bağlıdır.
- Uçucu kül Hafif agregalı blok üretiminde bağlayıcı Malzemede %30 oranında kullanıldığında olumsuz bir etki yaptığı saplanmıştır.

Uçucu kül miktarı, hafif agregalı blok elemanlarında %10 oranında kullanılırsa, genel olarak olumlu etkileri vardır. Ekonomik olması, atıkların kullanılması, ülke ekonomisine katkısı, doğal kaynakların kullanımı bakımından, Uçucu kül kullanımı yaygınlaştırılmalı ve desteklenmelidir.

## 6. Kaynaklar

- Akman, M.S., Taşdemir, M.A., 1977, “Taşıyıcı Malzeme Olarak Perlit Betonu” 1. ulusal perlit kongresi bildirgesi, S 48, MTA, Ankara.
- Akman, M.S., 1962, “Hafif betonlar” Türkiye mühendislik haberleri dergisi, Sayı30, Ankara.
- Aytekin, M., Durmuş, A., 1986, “Betonarme inşaatta hafif betonlar”, T.M.M.O.B. haber bülteni, Sayı 8, S 12-15, İzmir.
- Başıyigit, C., 1993, “Yüksek oranda, yüksek kalsiyumlu uçucu kül kullanılmasının beton özelliklerine etkisi”, Doktora tezi, Süleyman Demirel üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, Isparta.
- Borat, M., 1992, “Türkiye Diatomitlerinin Özellikleri Ve Filtrasyon Karakteristikleri”, İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- Camcıoğlu, V., 2000, “Hafif Betonlar” İmar İskan Bakanlığı Yapı Malzemesi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Cormon, P., 1973, “Betons Legersd Aujourd”, Hui Ed. Eyrolles, Paris.
- Dal, A.R., 1998, “Niğde Yöresi Pomza Taşının Isı ve Ses Yalıtımında Kullanılmasının Araştırılması”, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Niğde.
- Demirboğa, R., 1999, “Silis dumanı ve uçucu külün perlit ve pomza ile üretilen hafif beton özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesi”, Doktora tezi, Atatürk üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü İnş. Müh. Anabilim dalı, Erzurum.
- Demir, İ., 2005, “Uçucu külün hafif yapı malzemesi üretiminde kullanılması”, Yapı teknolojileri dergisi, S. 21-24,
- DPT 2001, “Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri IV. Çalışma Gurubu Raporu”, 8. beş yıllık kalkınma planı refrakter raporu, DPT 2621, ÖİK 632, Ankara.
- Güngör, N., Tombul, M., 1997, “Pomza'nın Kullanım Alanı İle İlgili Özellikler Ve Mevzuatın Pomza Madenciliğine Etkisi” 1. Isparta pomza sempozyumu, S 26-28, Isparta.
- Güner, M.S., 1999, “Malzeme Bilimi- Yapı Malzemesi ve Beton Teknolojisi” İstanbul
- ODTÜ İnşaat müh. Böl., 2003, “Termik santral küllerinin çimento ve beton katkı maddesi olarak kullanma imkanlarının etüt ve envanteri projesi ara raporu” Ankara.

- Orhon, S., 1993, “Hafif ve çok hafif betonların karakteristik özellikleri ve teknik kapasiteleri”, Türkiye mühendislik haberleri, Sayı 369, S 34-40
- Papatğa, F., 2003, “Uçucu Küllü Betonların Donma Çözülme Etkisine Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, Afyon Kocatepe Üni. Teknik Eğitim Fak. Yapı Eğitimi Mezuniyet tezi, Afyon
- Schneider, U., 1982, “ Behavior of concrete at high temperatures”, Deuther aussehuss für stahlbeton, heft 337, Berlin
- Seelev, W., 1999, “ İndustrial Minerals and Rocks” Second Edition.
- Sümer, M., 2003, “U.K. atıklarının beton üretiminde kullanılması” müh. Fak., inş. Müh. Böl. Sakarya
- TS 639, “Uçucu Küller”, 1975, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.Ç.M.B., 2004, “Türkiye’deki uçucu küllerin sınıflandırılması ve özellikleri” Ankara.
- Uyan, M., 1975 “Beton ve Harçlarda Kılcallık Olayı”, İTÜ İnşaat Fakültesi Doktora Tezi, İstanbul.
- Uygunoğlu, T., 2005, “Afyon Ve Çevresindeki Hafif Agregalarla Üretilen Blok Elemanlarının Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması” Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Afyon
- Ünal, O., 1997, “Hafif Blok Eleman Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri Ve Teknik Kapasiteleri”, 1. Isparta pomza sempozyumu, S 89-96, Isparta.
- Yeğınobalı,A., 1971, “Uçucu kül, Tras ve Yüksek fırın cürufunun betonda katkı maddesi olarak kullanılması ve optimum uçucu kül karışım oranlarının tayini”, Tübitak projesi, S. 187 Ankara.

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Veysel ÖZ

**Doğum Yeri** : Manisa /Salihli

**Doğum Tarihi** : 15 /02/1977

**Medeni Hali** : Bekar

**Yabancı Dili** : İngilizce

### **Eğitim Durumu**

**Lise** : Salihli Endüstri Meslek Lisesi Yapı Bölümü (1990- 1993)

**Lisans** : Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı  
Öğretmenliği (1994- 1999)

**Yüksek Lisans** : Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü  
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı (2004-2007)

### **Çalıştığı Kurum:**

Milli Eğitim Bakanlığı Bafra Endüstri Meslek Lisesi  
Yapı Öğretmeni (1999-2005)

Milli Eğitim Bakanlığı Milas Anadolu Meslek ve Meslek  
Lisesi Yapı Öğretmeni (2005 - )