

**DIATOMİT KATKILI HARÇLARIN BAZI MEKANİK VE FİZİKSEL  
ÖZELLİKLERİNİN DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ**

**Esra KARAHİSAR GÖKKONCA**

**Şubat 2010  
DENİZLİ**



**DIATOMİT KATKILI HARÇLARIN BAZI MEKANİK VE FİZİKSEL  
ÖZELLİKLERİNİN DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ**

**Pamukkale Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
Mekanik Anabilim Dalı**

**Esra KARAHİSAR GÖKKONCA**

**Danışman: Prof. Dr. Muzaffer TOPCU**

**Şubat 2010  
DENİZLİ**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

Esra KARAHİSAR GÖKKONCA tarafından Prof. Dr. Muzaffer TOPCU yönetiminde hazırlanan “DİATOMİT KATKILI HARÇLARIN BAZI MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Muzaffer TOPCU  
Jüri Başkanı (Danışman)

Yrd. Doç. Dr. Numan Behlül BEKTAŞ  
Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Hayri ÜN  
Jüri Üyesi

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun ....../....../..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Halil KARAHAN**  
**Müdür**

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada araştırmalar sonucu elde edilen verilerin, ortaya koyulan bilgilerin kullanıcılar ve okuyucular için verimli ve yararlı olması en büyük temennimdir.

Konunun belirlenmesinde, tez süreci boyunca her türlü yardım ve kolaylığı gösteren, sabırla ve özenle bana zaman ayıran, yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Muzaffer TOPCU'ya teőekkürlerimi sunarım.

Tez süreci boyunca yardımlarını esirgemeyen, bilgi birikiminden faydalanmamı sağlayan değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Hayri n'e teşekkür ederim.

Çalıőmaların esnasında büyük yardımlarından dolayı Modern Beton Kalite Güvence Müdürü Sayın Nagehan HALDENBİLEN ve Denizli imento Proses Kalite Kontrol Őefi Sayın Hakan BERBER'e ve ekibine teőekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca her zaman yanımda olduklarını hissettiren, beni manevi olarak destekleyen eőime ve aileme minnetlerimi sunarım.

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza

:



Öğrenci Adı Soyadı : Esra KARAHİSAR GÖKKONCA

## ÖZET

# DIATOMİT KATKILI HARÇLARIN BAZI MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

Karahisar Gökkonca, Esra  
Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Mekanik ABD  
Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Muzaffer TOPCU

Şubat 2010

Diatomit, puzolanik aktivitesi yüksek olan bir malzeme olup, kimya endüstrisinden sağlık ve gıda ürünlerine kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Ancak SiO<sub>2</sub> oranı düşük ve safsızlık olarak kil bileşenleri içeren diatomitlerin yapı malzemeleri endüstrisinde kullanımının araştırılması oldukça yenidir. Bu çalışma kapsamında diatomitin puzolanik aktivitesi ile diğer fiziksel özellikleri test edilmiş ve çimento ile beraber kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Bu çalışmada, Ege Bölgesinde bulunan Afyon ve Karacasu / Aydın bölgelerine ait iki ayrı yataktan sağlanan diatomit ile çalışılmıştır. Kimyasal ve fiziksel özellikleri araştırılan diatomitler, 900°C'de kalsine edilmiştir. Kalsine işlemi sonunda puzolanik aktivitesi daha yüksek olan Afyon ocağına ait diatomit ile çalışmalara devam edilmiştir. Diatomit farklı oranlarda çimento harcının içinde bağlayıcı olarak kullanılarak meydana gelen basınç ve eğilme dayanımları, priz süreleri, genleşme miktarları ve ağırlıkları diatomit kullanılmadan hazırlanan çimento harcı ile karşılaştırılmıştır.

Yapılan deneyler ve araştırmalar sonucunda, kullanılan diatomitin kalsine edilmesinin puzolanik aktiviteye katkısının bulunmadığı görülmüştür. Kalsine edilmeden kullanılan diatomitin puzolanik aktivitesinin deneysel çalışmalarda kullanılan uçucu külden daha yüksek, silika dumanından daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Diatomit, puzolanik aktivite, çimento

Prof. Dr. Muzaffer TOPCU  
Yrd. Doç. Dr. Hayri ÜN  
Yrd. Doç. Dr. Numan Behlül BEKTAŞ

## ABSTRACT

### ANALYSING MORTAR'S SOME MECHANICAL AND PHYSICAL CHARACTERISTICS CHANGES ADDITIVE WITH DIATOMITES

Karahisar Gökkonca, Esra  
M. Sc. Thesis in Mechanical Engineering  
Supervisor: Prof. Dr. Muzaffer TOPCU

February 2010

Diatomite has high pozzolonic activity material used in chemical industry, health and food industry. Due to diatomite's having low  $\text{SiO}_2$  and non-pure clay components, it has been used and searched newly in construction materials. In this research, pozzolonic activity and other physical characteristics were tested and searched by using cement.

In this study, two different diatomites were used. The diatomite quarries are in Afyon and Karacasu / Aydın in Aegean Region of Turkey. Firstly, chemical and physical characteristics were searched of diatomites. After that, diatomites were calcined at  $900^\circ\text{C}$  and according to results, decided to carry on with Afyon quarry's diatomite. At tests, diatomite was added to cement mortar with different ratios. Strain resistance, flexure resistance, setting time, expansion quantity and weights have tested. The results have been compared with cement mortars values.

At the end of tests and searches, there has no effect of calcinations to pozzolonic activity. Diatomite's pozzolonic activity, which is used as not calnsined at tests, higher than flying ash but lower than silica fume.

**Keywords:** Diatomite, pozzolonic activity, cement

Prof. Dr. Muzaffer TOPCU  
Asst. Prof. Dr. Hayri ÜN  
Asst. Prof. Dr. Numan Behlül BEKTAŞ



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU.....	i
BİLİMSEL ETİK SAYFASI.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
TABLolar DİZİNİ.....	x
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Diatomit hakkında genel bilgiler .....	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	4
1.3. Puzolanlar.....	4
1.4. Dünyada diatomitler.....	6
1.5. Türkiye’de diatomitler .....	7
1.6. Puzolanik aktivitenin tespiti .....	7
1.7. Kuramsal bilgiler ve literatür taraması .....	10
2. MALZEME VE YÖNTEM .....	19
2.1. Malzeme .....	19
2.1.1. Diatomit .....	19
2.1.2. Çimento.....	19
2.1.3. Kum .....	20
2.1.4. Su .....	20
2.2. Yöntem .....	20
2.2.1. Diatomit seçimi.....	20
2.2.2. Numunelerin hazırlanması .....	21
3. BULGULAR .....	40
3.1. Diatomit fiziksel özellikleri .....	40
3.2 Puzolanik aktivite sonuçları .....	40
3.3. Basınç ve eğilme dayanımı testleri sonuçları .....	41
3.4. Ağırlık ölçüm sonuçları .....	43
3.5. Priz süresi belirleme deneyleri.....	44
3.6 Yayılma Miktarı belirleme deneyleri .....	45
3.7 Genleşme Miktarını belirleme deneyleri .....	46
3.8 Kıvam Suyu Miktarları .....	47

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	48
4.1. Diatomit fiziksel özellikleri .....	48
4.2 Puzolanik aktivite sonuçları .....	48
4.3. Basınç ve eğilme dayanımı testleri sonuçları .....	49
4.4. Ağırlık ölçüm sonuçları .....	50
4.5. Priz süresi belirleme deneyleri.....	50
4.6 Yayılma Miktarı belirleme deneyleri .....	50
4.7 Genleşme Miktarını belirleme deneyleri .....	50
4.8 Kıvam Suyu Miktarları .....	50
5. SONUÇLAR.....	51
KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	53

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 1.1 Diatomitin elektron mikroskopunda görünümü-1 .....	1
Resim 1.2 Diatomitin elektron mikroskopunda görünümü-2 .....	2
Resim 1.3 Tane halindeki diatomit .....	3
Resim 1.4 Dünyadaki diatomit yatakları.....	6
Resim 1.5. Türkiye'deki diatomit yatakları .....	7
Resim 2.1 Hassas terazide malzemelerin tartımı .....	23
Resim 2.2 Karıştırıcı .....	23
Resim 2.3 Kumun karışıma ilave olması aşaması .....	24
Resim 2.4 Karıştırma işleminin tamamlanması .....	24
Resim 2.5 Sarsma cihazı.....	25
Resim 2.6 Karışımın kalıba yerleştirilmesi .....	26
Resim 2.7 Yüzeylerin düzeltilmesi .....	26
Resim 2.8 Yüzeyleri düzeltilmiş kalıplar .....	27
Resim 2.9 Numunelerin priz alması için kür dolabında bekletilmesi .....	28
Resim 2.10 Priz almış olan numuneler .....	28
Resim 2.11 Numunelerin kür havuzunda bekletilmesi .....	29
Resim 2.12 Eğilme dayanımı deney cihazı .....	29
Resim 2.13 Basınç dayanımı deney cihazı .....	30
Resim 2.14 çimento pastasının karıştırılması .....	32
Resim 2.15 Vicat cihazı kalıpları .....	32
Resim 2.16 Priz süresi deney cihazı.....	33
Resim 2.17 Test işlemi .....	34
Resim 2.18 Le Chatelier kalıplarına yerleştirilen çimento pastası .....	35
Resim 2.19 kalıplara yerleştirilmiş numuneler .....	35
Resim 2.20 Kür havuzuna yerleştirilmiş olan numuneler .....	36
Resim 2.21 Sıcak su banyosu .....	36
Resim 2.22 Yayılma deneyi cihazı .....	37
Resim 2.23 Yayılma tablası kalıbına dökülen karışım.....	39
Resim 2.24 Ölçüm işlemi .....	39
Şekil 3.1 Puzolanik aktivitelerin karşılaştırılması.....	41

Şekil 3.1 Eğilme dayanımı değerleri .....	42
Şekil 3.2 Basınç dayanımı değerleri.....	43
Şekil 3.3 Numune ağırlıkları.....	44
Şekil 3.4 Priz süreleri.....	45
Şekil 3.5 Yayılma Miktarları.....	46
Şekil 3.6 Genleşme Miktarları.....	47
Şekil 3.7 Kıvam Suyu miktarı.....	48

## TABLolar DİZİNİ

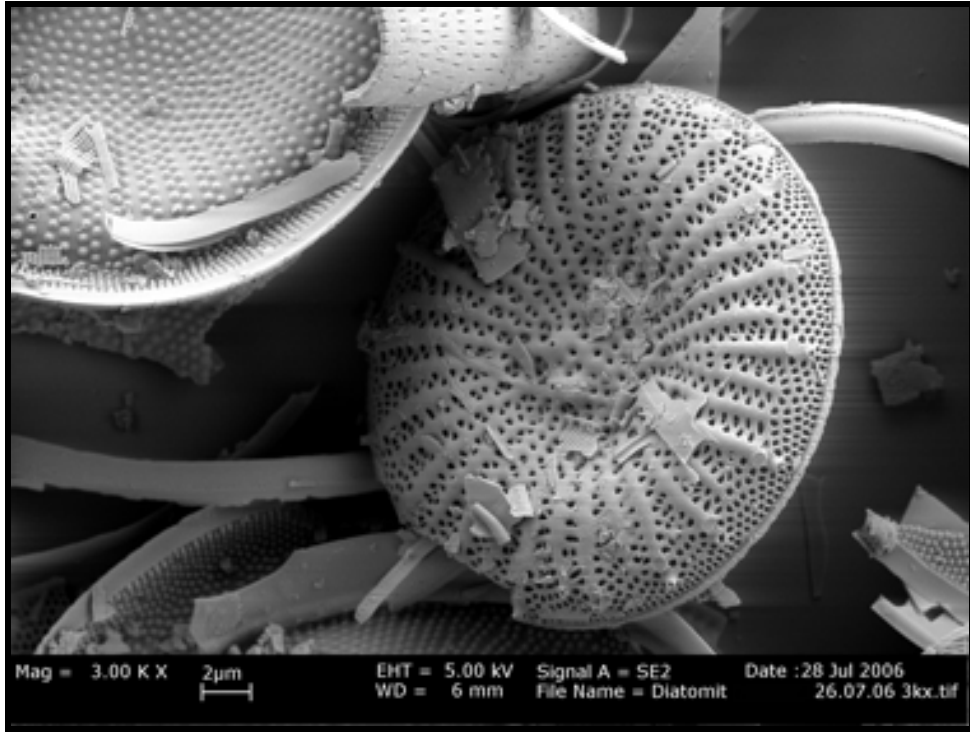
	Sayfa
Tablo 1. Farklı bölgelere ait diatomitlerin kimyasal analizleri .....	6
Tablo 2.1. Diatomitlerin kimyasal analizleri.....	19
Tablo 2.2 CEM I 42,5 R tipi çimentoya ait kimyasal analiz.....	20
Tablo 2.2 Diatomitlerin puzolanik aktiviteleri .....	21
Tablo 2.3 Standart karışım reçetesi.....	21
Tablo 2.4 Diatomit katkılı karışımların reçeteleri.....	22
Tablo 2.5 priz süresi tayini için belirlenen reçeteler .....	31
Tablo 2.6 Yayılma deneyi reçeteleri .....	38
Tablo 3.1 Diatomitin incelik değerleri.....	40
Tablo 3.2 Diatomitlerin puzolanik aktivite değerleri.....	40

## SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

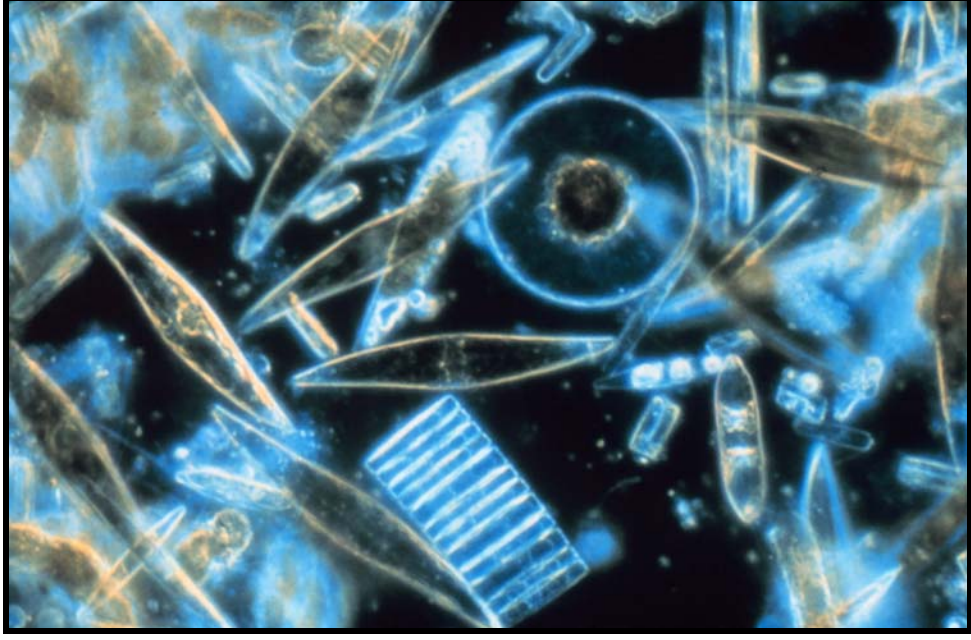
SiO <sub>2</sub>	Silisyum oksit
H <sub>2</sub> O	Su
Ca(OH) <sub>2</sub>	Kalsiyum oksit
A.B.D.	Amerika Birleşik Devletleri
MPa	Basınç ve eğilme dayanımı birimi

## 1. GİRİŞ

Diatomit, algler sınıfından su canlıları olan diatomelerin silisli kabuklarının birikimiyle oluşmuş fosil kaynaklı bir sedimentasyon kayasıdır. Diatome içinde yaşadığı çevre suyundan temin ettiği silisten oluşan kabuk veya kavkı içinde yerleşmiş çok küçük bir protoplazmadır (Resim 1.1). Geniş ve sığ havzalar, çok miktarda suda erimiş silis ve temiz sular gelişmesini sağlayan ve hızlandıran faktörlerdir. Diatome çeşitleri tatlı sularda, denizlerde ve hafif tuzlu sularda gelişmektedir. Ölen diatomelerin dibe çöken kabukları birikerek diatomit yataklarını oluşturmaktadır (Resim 1.2). Bugün ticari değeri olan yatakların çoğu Miocene çağında (7–27 milyon yıl önce) oluşmuştur. Diatomeler bugünde deniz ve göllerde yaşamlarını sürdürmektedir.



**Resim 1.1** Diatomitin elektron mikroskobunda görünümü–1



**Resim 1.2** Diatomitin elektron mikroskopunda görünümü-2

Diatome kavrısı amorf silis ( $\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$ ) yapısındadır. Rezervler, oluşma ortamının yapısı ve şartlarına bağlı olarak, kil, volkanik kül, kum ve organik kalıntılar ihtiva etmektedirler.

Hayatımızın birçok alanındaki önemini her geçen gün arttıran diatomit (Resim 1.3), kimya endüstrisinden sağlık ve gıda ürünlerine kadar birçok alanda kullanılan bir malzemedir. Diatomit ürünleri önem sırasına göre başlıca filtre (% 60), dolgu (% 21), veya yalıtım malzemesi (% 2), aşındırıcı ve yüzey temizleyicisi, katalizör, hafif inşaat malzemeleri ve refrakter imalatı, kimya sanayinde silis ile gübrelerde dolgu maddesi, absorbant, sentetik silikat üretimi ve topraklaşmayı hızlandırıcı olarak kullanılmaktadır.



**Resim 1.3** Tane halindeki diatomit

Diatomitin yüksek porozitesi, kimyasal etkilere karşı direnci ve saflığı sebebiyle en çok tüketildiği ve ikame ürünlerine göre rakipsiz olduğu kullanma alanı filtrasyon işlemidir. Ham şeker şerbeti (glikoz), bira, viski, şarap, meyve suları, şurup, madeni ve nebati yağlar, eczacılık mamulleri, kirli sular, kuru temizleme çözücüleri, endüstriyel atıklar, kimyasal maddeler, vernik ve lakeler gibi içerisinde süspansiyon halinde istenmeyen maddeler bulunduran sıvıların arındırılmasında diatomitten faydalanılmaktadır.

Diatomit dolgu maddesi olarak kullanıldığı zaman elde edilen ürünün özelliklerini geliştirmekte ve performansını yükseltmektedir. Bu alanda en çok boya, plastik, kâğıt, lastik, ilaç, kozmetik, cila, kibrit, diş macunu ve bazı kimyasal maddelerin üretiminde diatomitten faydalanılmaktadır.

Ancak  $\text{SiO}_2$  oranı düşük ve safsızlık olarak kil bileşenleri içeren diatomitlerin yapı malzemeleri endüstrisinde kullanımının araştırılması oldukça yenidir.



Özellikle Avrupa’da kaliteli ve işletilmeye elverişli kaynaklarının giderek azalmakta olduğu diatomit, ülkemizde oldukça bol ve kaliteli rezervlere sahiptir. Ancak diatomit kaynaklarının gerektiği şekilde değerlendirilebilmesi ve üretimden tüketime kadar her safhada gerekli ilgi ve destek sağlanmalı özellikle pazarlama ve ihracat imkânlarının araştırılarak artırılması gerekmektedir.

Proje kapsamında diatomitin puzolanik aktivitesi test edilmiş ve çimento ile beraber etkinliği araştırılmıştır. Buna göre, fiziksel özelliklerindeki değişiklikler yapılan deneyler ile saptanmıştır.

Puzolanlar, içinde fazla miktarda koloidal elemanlar, özellikle aktif silis içeren maddelerdir. Puzolanın tek başına bağlayıcı özelliği ya çok azdır, ya da yoktur. Ancak başka bir bağlayıcı ile örneğin kireç veya çimento ile karıştırılınca bağlayıcılık özelliği kazanır. Bu nedenle reaksiyonun oluşabilmesi için bağlayıcının kalsiyum hidroksit içermesi gerekir. Puzolanların bağlayıcılık özelliği, kireç ve standart kum (doğal silisli ve küreye yakın şekilli kum) karıştırılarak üretilen harç örnekleri üzerinde yapılan deneyler ile belirlenir. Kimyasal olarak puzolanlar, en çok SiO<sub>2</sub> ve az miktarda da Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerirler. Günümüzde puzolanlar en çok çimento ile karıştırılarak kullanılırlar.

Çok ince iseler, ortamda sönmüş kireç ve nem varsa kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği olan C-S-H oluştururlar.



Puzolanlar doğal ve yapay olarak ikiye ayrılır. Doğal puzolanlar ise kendi içinde volkanik kökenli doğal puzolanlar (volkanik camlar, tüfler ve tras) ve ısıtılmış görmüş killer ve diatomitler olmak üzere ikiye ayrılır. Doğal puzolanlar inceltildiklerinde, puzolanik özelliğe sahip olurlar. Doğada bulunan bu malzemelerin bir kısmı, hammadde olarak puzolanik özelliğe sahipken, bazı killerin ve şeyllerin puzolanik özelliğe sahip olması için ısıtılmış görmesi gerekmektedir. Yapay olanlara da uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu, prinç kabuğu külü örnekleri verilebilir.

Volkanik kökenli puzolanlar erimiş magmanın patlaması sırasında ani basınç düşüşü ile atmosferde hızla soğuması sonucunda, yüzeye yakın bölgelerde düzensiz yapısı amorf veya camsı faz oluşur. İnce öğütülmeleri halinde oldukça güçlü puzolanik aktiviteleri vardır.

Killer ve killi zeminler, plaka veya çubuk şekline sahip olan, boyutları 0.002 mm' den daha küçük parçalardan oluşurlar. Küçük parçalar, orijinal kayaların daha az stabil olan bileşenlerinin kırılmasından meydana gelen ve çoğunlukla alümina silikat içeren kil minerallerinden oluşurlar.

Kil mineralleri kristal yapıya sahip olup, killerin ve şeylerin hammadde formları puzolanik özellik göstermez. Ancak 700°C ile 900°C arasında ısı ile işleme uğurlar ve puzolanik özellik kazanırlar. Isıl işlem killerin ve şeylerin kristal yapılarını bozar ve yarı amorf şekle veya bozulmuş alümina silikat yapısına dönüştürür.

Pişmiş killer, geleneksel olarak atık tuğla ve fayansların öğütülerek ince bir toz haline getirilmesi ile de üretilmektedir. Bu yöntemle elde edilen malzemeler oldukça değişken puzolanik aktivite gösterir. Killer için en yaygın olarak kullanılan ısıl işlem yöntemi döner fırınlarda yapılmaktadır. Isıl işlem süresi ise 1 ile 2 saat arasındadır. Ayrıca, düşey milli fırınlarda bu amaçla kullanılmaktadır.

Isıl işlem görmüş killer, puzolan olarak yaygın bir şekilde A.B.D., Brezilya ve Hindistan'da baraj inşaatlarında kullanılmıştır. Ancak günümüzde bu tip puzolanlar, üretimi için enerji gerektiğinden kullanılmamakta olup, daha çok uçucu kül gibi endüstriyel yan ürünler tercih edilmektedir.

Diatomitler ise, hücre duvarları silikadan oluşmuş, opal ve hidrate silika içeren, mikroskopik su bitkisi olan diatomların kalıntılarıdır. Bazı topraklarda bulunan bu organik kalıntılar %94 oranında silis içerirler. Diatomitlerin sahip olduğu puzolanik aktivite, içerdiği amorf silis miktarına bağlıdır. Tablo 1. de farklı bölgelere ait diatomitlerin kimyasal analizleri yer almaktadır.

**Tablo 1.** Farklı bölgelere ait diatomitlerin kimyasal analizleri

% Bileşen	Afyon Diatomit	Karacasu / Aydın Diatomit	Alanyurt / Kütahya Diatomit	Elassona / Yunanistan
SiO <sub>2</sub>	88,94	90,11	54,65	59,52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,90	1,31	12,1	17,83
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,46	0,79	3,5	8,08
CaO	2,10	1,25	1,15	1,82
MgO	0,44	0,63	3,8	1,79
SO <sub>3</sub>	0,00	0,67	0,03	0,00
Kızdırma Kaybı	4,52	4,13	22,43	7,27
Na <sub>2</sub> O	0,23	0,27	0,65	1,28
K <sub>2</sub> O	0,26	0,16	1,7	2,58
Cl	0,0056	0,0107	0,00	0,000

Yüksek miktarda kil minerali içeren diatomitlerde, killer puzolanik aktiviteyi azaltır. Bu yüzden bazı çeşitleri, 760°C ile 1000°C arasında ısıtılarak puzolanik aktiviteleri artırılır. Büyük miktarlarda diatomit yataklarına A.B.D. California’da, Cezayir’de, Almanya, Danimarka Kanada’da rastlanır. **(Resim 1.4)** Türkiye’deki diatomit yatakları ise Resim 1.5’de gösterilmektedir.



Resim 1.4 Dünyadaki diatomit yatakları



Resim 1.5. Türkiye'deki diatomit yatakları

Diatomitler, oldukça reaktif olmalarına rağmen, bazı durumlar için kullanımı uygun değildir. Örneğin, yüksek su gereksinimi yüzünden betonda dayanımı ve durabiliteyi azaltmaktadır. Ancak, su ihtiyacı iyi bir şekilde ayarlanabilirse, bu puzolan ile yapılan beton sülfat etkilerine ve alkali agrega reaksiyonuna oldukça dayanıklı olur.

Puzolanların uygunluğu yapılacak olan puzolanik aktivite deneyi, aktif silis oranı, camsı faz oranı, özgül yüzey (incelik) değerleri ile belirlenir.

Puzolanik aktivite, bir puzolanın bağlayabileceği en fazla kireç yani  $\text{Ca(OH)}_2$  miktarı ve bağlanma işleminin hızı olarak ifade edilir. Puzolanik aktivite büyük ölçüde, puzolanın özelliklerine ve içerisinde bulunan aktif fazların kalite ve miktarına bağlıdır. Puzolanların heterojen bir yapıda olması ve hidrasyonunun karmaşık yapısı nedeniyle, puzolanik aktiviteyi açıklayıcı bir model geliştirilememektedir. Ancak, puzolanik aktivite aşağıdaki genel eğilimler yardımıyla da açıklanabilir.

1. Diğer özellikleri aynı kalmak koşuluyla, bir puzolan tarafından bağlanan kireç yani  $\text{Ca(OH)}_2$  miktarının fazla olması, o puzolanın aktif madde miktarının fazla olduğunu göstermektedir.
2. Bir puzolanın kısa dönemdeki aktivitesi özgül yüzey alanına (incelik), uzun dönemdeki aktivitesi ise kimyasal ve mineralojik yapısına bağlıdır.
3. Bir puzolan tarafından bağlanan kireç miktarı, puzolanın aktif fazlarının içindeki  $\text{SiO}_2$  miktarı ile ilişkilidir.
4. Belli sınırlar içinde, kireç puzolan karışımlarında, kireç / puzolan oranının artması, kirecin bağlanmasını artırır.
5. Genel olarak zeolitik puzolanlar, camsı puzolanlara göre daha aktiftir.
6. Değişik tip puzolanlarda bulunan camsı fazların, kireç bağlayabilme yetenekleri farklıdır.
7. Ortamda bulunan su miktarının fazlalığı, puzolan – kireç karışımlarında, bağlanan kireç miktarını artırır.

Birçok doğal puzolan, ısı işlem sonrası aktivitelerini etkileyen olumlu veya olumsuz kimyasal ve yapısal değişikliklere uğrar. Isıl işlem aktiviteyi genel olarak

olumlu etkiler. Olumsuz etkiler ise; ısı etkisiyle özgül yüzey alanının azalması, camsı fazın bozulması ve kristalleşme sonucunda ortaya çıkar. Bununla beraber, ısı işlemin puzolanik aktiviteye etkisi, puzolanın özelliklerine, ısı işlem sıcaklığına ve ısı işlem süresine bağlı olarak değişebilmektedir.

Puzolanların her tipi için puzolanik aktiviteyi belirlemeye yönelik, kabul edilebilir bir deney yöntemi yoktur. Farklı deney yöntemleri ile elde edilen sonuçlar farklı olabilmektedir. Puzolanik aktiviteyi belirlemeye yönelik olarak önerilen bazı ölçüm yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar genel olarak üçe ayrılır.

### **1. Kimyasal yöntem:**

a) Puzolanik reaksiyon sonucu alkaliler veya asitler içerisinde çözülebilen

$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  toplamı ölçülür.

b) Puzolan doymuş kireç çözeltisine konulduğunda, belirli bir süre içinde ortamdaki  $\text{Ca}^{+2}$  iyonları azalması tespit edilir. Böylece, herhangi bir puzolanın kireç bağlayabilme kapasitesi ve hızı ölçülür.

### **2. Fiziksel yöntem:**

X ışınları difragtogramı adı verilen yöntem ile, kireç – puzolan karışımlarındaki bağlanmış kireç miktarı bulunabilmektedir. Ancak, gerek kimyasal gerek ise fiziksel yöntemler ile belirlenen ve kireç bağlama esasına dayanan yöntemler ile çimento da puzolan kullanımıyla elde edilebilecek dayanımları tahmin etmek mümkün değildir.

### **3. Mekanik yöntem:**

Kireç – puzolan karışımlarının basınç dayanımlarının ölçülmesi esasına dayanır. Kireç – puzolan karışımlarının dayanım artışı, puzolan tarafından bağlanan kireç miktarı arttıkça artar.

Ayrıca, puzolanik aktiviteyi etkileyen bazı faktörler de mevcuttur. Bütün puzolanlar için, puzolanın özgül yüzey alanı, kimyasal ve mineralojik yapısı puzolanik aktiviteyi etkileyen en önemli faktörlerdir. Bir çok araştırma, puzolan tarafından bağlanan kireç miktarının şu etmenlere de bağlı olduğunu ortaya koymuştur:

- a. Aktif puzolan yapısı
- b. Puzolan içindeki aktif fazların miktarı
- c. Aktif fazların SiO<sub>2</sub> miktarı
- d. Karışımın kireç / puzolan oranı
- e. Kür süresi

Ayrıca kirecin bağlama hızını etkileyen faktörler de:

- a. Puzolanın özgül yüzey alanı
- b. Su / katı madde oranı
- c. Sıcaklık

### **1.1. Kuramsal Bilgiler ve Literatür Taraması**

Davraz ve Gündüz (2005), tarafından yapılan çalışmada, inşaat sektöründe hafif agrega ve beton performansını iyileştiren mineral katkı maddesi olarak kullanılmakta olan amorf silika kayacının, kimyasal bileşimi ve yapısal özellikleri itibariyle, farklı kullanım alanları araştırılmıştır. Bu bildiride, Isparta Keçiborlu ve civarındaki amorf silika oluşumlarının ülkemiz endüstrisine katkısı bakımından tanıtımı amaçlanmıştır. Amorf silika örnekleri üzerinde yapılan kapsamlı bir çalışmadan yola çıkılarak, bu

kayacın ülkemiz inşaat sektöründe hammadde olarak değerlendirilebilirliğini konu alan bir araştırma yapmışlardır.

Yanık (2007), tarafından yapılan çalışmada, farklı oranlarda agrega (bazik pomza, dere kumu), uçucu kül ve kimyasal katkı kullanarak betonun birim hacim ağırlık, dayanım, ısı ve ses yalıtım özelliklerinde meydana getirdiği değişiklikler araştırılmıştır. Yapılan çalışmada beton agregası olarak bazik pomzanın (Delihalil bazaltı) tek başına kullanılmasının mümkün olmadığı görülmüştür. Bu nedenle bazik pomza ile birlikte değişik oranlarda dere kumu ve maliyeti azaltmak amacıyla da uçucu kül kullanılmıştır. Farklı karışım tasarımları yapılarak elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde en hafif ( $\gamma = 1916 \text{ kg/m}^3$ ), dayanımı (C20), ısı yalıtımı  $0,35 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ , ses yalıtımı 22 dB, agrega oranları % 43 dere kumu (0-2mm), % 57 bazik pomza (0-25 mm), 350 kg çimento, 200 kg kül, 143 kg su ve çimentonun % 1,8' i kadar hiper akışkanlaştırıcı karışımından oluşturulan tasarımdan elde edildiği görülmüştür.

Bideci ve Sallı Bideci (2007), diatomit hammaddesinin tuğla üretiminde kullanılabilirliğini araştırılmıştır. Bunun için Ankara İmrahor Bölgesindeki tuğla fabrikalarından alınan tuğla kili ve Ankara Şeker Fabrikası diatomit tesislerinden alınan diatomit hammaddesi kullanılmıştır. TSE 705 (TS EN 771-1) standardında verilen dolu tuğla sınıfı, (1.8/100) tuğlanın mekanik özellikleri göz önüne alınarak, farklı karışım oranlarındaki deney numuneleri,  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $900 \text{ }^\circ\text{C}$  ve  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  'de pişirme sıcaklıklarında pişirilmiştir. Uygun tuğla üretimi için, pişirilen deney numuneleri üzerinde standart testler uygulanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda %20 diatomit katkılı ürünlerin  $900 \text{ }^\circ\text{C}$  'de pişirilmesi ile gerekli mekanik özellikleri sağlayan ürün elde edilebileceği görülmüştür.

Çelik, Yurter, Kan ve Yeprem (2004), yaptıkları çalışmada, Soma termik santralinden elde edilen uçucu kül, iki farklı tras (Yenişehir, Bilecik) ve silis dumanı, çimento klinkerinin bir kısmı yerine katılmış ve elde edilen harçların basınç dayanım değerleri incelenmiştir. Ağırlıkça %5 silis dumanı içeren çimentoya %10 uçucu kül ilave edilmiştir ve tras oranları ise %30, %35 ve %40 olarak değiştirilmiştir. Bu karışımların her birinin kimyasal analizleri yapılarak Blaine özgül yüzey alanı değerleri ölçülmüştür. Bu bulgular ışığında basınç dayanım sonuçları irdelenmiştir. Yapılan



denemelerde en yüksek dayanım değerlerinin Bilecik trası ile hazırlanan ve yüksek inceliğe sahip olan puzolan içeren harçlarda elde edildiği saptanmıştır.

Massazza (1989), yaptığı çalışmada doğal ve yapay puzolanları ihtiva eden çimentoları incelemiştir. Oluşan bileşenlerin yapısıyla ilgili olarak, farklı oranlarda olmasına rağmen Portland çimentosu hidrasyonundaki oluşum ile aynı olduğu görülmüştür. Hidratlı pastalar genellikle, klinkerin hidrasyonu sırasında oluşan primer CSH'den ve puzolanik reaksiyonun etkisi ile başarılı bir şekilde oluşan CSH'den meydana gelmiştir. Oluşan diğer hidratlı fazlar, sertleşmiş Portland çimento pastalarında bulunan fazlara çok benzemektedir. Puzolan ilavesi erken dönemlerde çimento ve beton dayanımını düşürmektedir. İlave edilen puzolanın tipi ve miktarı ile ilgili olarak nihai basınç dayanım değeri Portland çimentosunun nihai değerini alabilmektedir. Puzolan ilavesi belli yüzdeleri aştığı zaman dayanım değerleri hızla düşmektedir. Çünkü tam bir reaksiyon için kireç miktarının yetersiz olması nedeniyle puzolan fazlasının sertleşmeye katkıda bulunmadığı tespit edilmiştir.

Erdoğan ve arkadaşları (2003) yaptıkları çalışmada, ortalama incelikteki (3000–4000 cm<sup>2</sup>/g) bir puzolan ikamesiyle betonda ya da harçlarda oluşan dayanım kaybının belli bir süre sonunda kullanılan puzolan türüne ve ikame miktarına bağlı olarak yok edileceğini belirtilmektedir. Öğütülmüş puzolan ilavesi yapılmış harçların 1 yılda kontrol numunelerinin basınç dayanımı değerlerini yakaladığı ve hatta geçtiği belirtilmiştir.

Özbey ve Atamer (.....) yaptıkları çalışmada, diatomitin oluşumu, dünya üzerindeki rezerv yerleri ve miktarları hakkında bilgi vermişlerdir. Kimyasal ve fiziksel özelliklerini literatüre dayanarak açıklamışlardır. Tüketim teknolojisi ile kullanım alanlarına da değindikleri çalışmalarında, sonuç olarak ise mineralin kesin tanısı dünya rezervlerindeki gelişmeler ve kullanımının yaygınlaşmasına değinilmiştir. Ülkemizdeki rezervlerin de ortaya çıkarılarak işletilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Yılmaz, Ediz ve Bentli (2006) yapmış oldukları çalışmada puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çimento bileşimine %5, %10 ve %20 oranlarında katılan killi diatomit, klinker ile birlikte öğütülerek çimentolar elde edilmiştir. Deneyle

sonucunda % 10 ve % 20 killi diatomit katkısının portland çimentosu klinkerinin dayanım değerlerinin  $50 \text{ N/mm}^2$  civarında olduğu takdirde 42,5 sınıfı çimento üretiminde kullanılabileceği tespit edilmiştir. Bu malzemenin kullanımı ile hem  $1450^\circ\text{C}$ ' de üretilen klinker kullanımı azaltılarak çevreye daha az emisyon verilecek hem de diatomitin düşük özgül ağırlığı ile ısı ve ses izolasyonu yapabilmesi nedeni ile özel bir çimento tipi oluşturabileceği sonucuna varmışlardır.

Değirmenci ve Arın (2007), yaptıkları çalışmada, çimento harcına Portland çimentosu yerine diatomit ilave etmişlerdir. Çalışmada, diatomit çimento miktarının %0, %5, %10 ve %15'i kadar ilave edilmiş, ancak su ve kum miktarları sabit tutulmuştur. Yapılan deneylerde, eğilme ve basınç dayanımları, donma – çözülme davranışı, sülfat dayanımı, su emmesi, kuru birim ağırlıkları saptanmıştır. Sonuç olarak ise, %5 diatomit içeren çimento harcının standarda en yakın sonuç verdiği görülmüştür. Yine donma çözünme deneyinde basınç dayanımı genel olarak artmıştır. Çimento harcının su emmesi %15 diatomite kadar, diatomit miktarının artması ile azalmıştır. Çimento harcının kuru birim ağırlığı diatomitin çok gözenekli olmasından dolayı kontrol numunesininkinden daha azdır. Çimento harcının genleşmesi, % 5 sodyum sülfat solüsyonunda diatomit miktarının artması ile azalmıştır. Genel olarak sülfat dayanımı kontrol numunesinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Aruntaş, Albayrak, Saka, Toktay (1997) yaptıkları çalışmada, Ankara-Kızılcahamam ve Çankırı-Çerkeş' de bulunan iki ayrı yataktan sağlanan diatomitlerin fiziksel özellikleri, kimyasal kompozisyonları, mineralojik bileşimleri ve mikroskobik yapılarını incelenmiştir. Diatomitler, saf, amorf, genellikle yumuşak, kolayca ufalanabilir ve tane irilikleri  $5-50 \mu\text{m}$  arasındadır. Yüksek su emme ve gözenekliliğe sahip oldukları ve yapılarında plajyoklas, smektit ve kuvars mineralleri bulunduğu belirlenmiştir. Özgül ağırlıkları  $2,0 \text{ g/cm}^3$ 'den daha azdır. Diatomitlerin, hem birbirleri hem de ilgili standard ve literatürle karşılaştırılması sonucunda filtrasyon malzemesi, puzolanik malzeme ve yalıtım malzemesi olarak çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılabileceği belirlenmiştir.

Öz (2007), bu çalışmada farklı oranlarda agrega (asidik pomza ve dere kumu), uçucu kül ve kimyasal katkı kullanarak betonun birim hacim ağırlık, dayanım, ısı ve ses

yalıtım özelliklerindeki değişiklikleri araştırmıştır. Yapılan çalışmada asidik pomzanın tek başına beton agregası olarak istenilen şartları vermemesinden dolayı, tasarımlarda asidik pomza ile birlikte değişik oranlarda dere kumu ve uçucu kül kullanılmıştır. Değişik beton tasarımları değerlendirildiğinde, agrega oranları %60 asidik pomza, %40 dere kumu, 400 kg imento, 200 kg uçucu kül, 96 kg su ve çimentonun % 1,5'i kadar kimyasal katkı kullanılarak yapılan betonun yoğunluk ( $1700 \text{ kg/m}^3$ ), tek eksenli basınç ( $310 \text{ kgf/cm}^2$ ), ısı iletkenliği ( $0,48 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ ) ve ses yalıtımı ( $20,17\text{dB}$ ) açısından en iyi sonucu verdiği görölmüştür.

şengöl, Taşdemir ve Gjörv (2006), yaptıkları deneysel çalışmada iki farklı seri beton üretilmiştir. İlk seri betonlarda; portland imentosu ince öğütölmüş F tipi uçucu kül ile yerdeğiştirilmiştir. İkinci seri betonlarda ise; çimentonun yer değiştirilmesi ince öğütölmüş yüksek fırın cürufu ile yapılmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde ince öğütölmüş (Blaine özgül yüzeyi  $604 \text{ m}^2/\text{kg}$ ) uçucu kül miktarının betonun basınç dayanımına ve hızlı klor geirimliliğine etkisi incelenmiştir. Sabit 0,35 su/bağlayıcı oranında betonlar üretilerek her üretimdeki toplam bağlayıcı madde miktarı sabit tutulmuştur. Uçucu kül imento ile %70'e kadar yer değiştirilerek kullanılmıştır. Uçucu külün çimentoyla yer değiştirilmesi bire bir ağırlık esasına göre ve %10'luk adımlarla yapılmıştır. Üretilen betonların çeşitli yaşlarındaki basınç dayanımları bulunmuştur. Bu betonların üzerinde ayrıca ASTM C 1202 standardına göre hızlı klor geçirimlilik deneyleri de yapılmıştır. Çimentonun %40 oranında ince uçucu küle yer değiştirilmesi durumunda beton basınç dayanımları yaklaşık aynı olduğu gözlenmiştir. Betonda ince öğütölmüş uçucu kül kullanımı ile klor geirimlilikleri önemli ölçüde azalmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde ise; aynı su/imento oranına sahip betonlarda, imento ince öğütölmüş yüksek fırın cürufu ile %40, %60 ve %80 oranlarında yer değiştirilmiştir. Blaine özgül yüzeyi  $5000 \text{ cm}^2/\text{gr}$  olan cürufun çimentoyla yer değiştirmesi yine bire bir ağırlık esasına göre yapılmıştır. Üretilen bu betonlarda ise klor iyonu yayılımı ve elektriksel özdirenç deneyleri yapılmıştır. Elde sonuçlar cüruf ilave edilmesinin betonların klor iyonu geirimliliklerinin önemli oranda azalttığını ortaya koymuştur. Cüruf içeren betonların elektriksel özdirençleri de, sadece portland imentosu ile üretilen betonlara göre büyük oranlarda artmıştır. Elektriksel özdirenç ölçümlerinin, yapı inşaat sürecinde, elde edilen beton klor geirimliliklerinin izlenmesi ve kalite kontrolü için uygun bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Gündeşli (2008) yapmış olduğu çalışmada, doğal puzolanlar, uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu gibi malzemelerin ne anlama geldiği, nerelerden elde edilebileceği ve yapı sektöründe nasıl daha faydalı şekilde değerlendirilebileceğini araştırmıştır. Ayrıca, bu malzemelerin beton ve çimento katkısı olarak kullanımının beton özellikleri üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri, hangi oranlarda ikame edildiklerinde ne gibi sonuçlar elde edildiği daha önce yapılan çalışmalardan incelenmiştir. Kaynak araması sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek yukarıda adı geçen malzemeler üzerinde özelliklerin araştırılmasının devam edilmesi gerektiği hakkında yorumlar yapılmıştır.

Aruntaş (1996), yaptığı çalışmada iki İç Anadolu diatomitinin çimento ve harç üretiminde puzolanik katkı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri belirlenen Ankara ve Çankırı diatomitleri, çimento ağırlığının %10, %20 ve %40'ı oranında, ilk olarak doğrudan klinkerle birlikte öğütülerek, ikinci olarak ise çimentonun bir kısmı yerine ikame edilerek, diatomit ikameli çimentolar (DİÇ) ile diatomit katkılı çimentolar (DKÇ) elde edilmiştir. Çimentoların çeşitli fiziksel, kimyasal özellikleri ile harçların 7, 28, 90 ve 180 gün yaşlarında bazı mekanik ve dayanıklılık özellikleri belirlenmiştir. Böylece her iki yörenin diatomitleri, çimento ve harçtaki performansları bakımından hem birbirleriyle hem de PÇ42,5 ve KÇ32,5 kontrol çimentoları ile karşılaştırılmıştır. Diatomitin CH ile reaksiyonu, %20 Çankırı diatomit katkılı çimento (ÇDKÇ20) üzerinde 7, 28, 90 gün yaşlarında XRD yöntemiyle incelenerek PÇ42.5 ile kıyaslanmıştır. DKÇ'lerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin, ilgili Türk Standartları TS 10156, TS 26 ve TS 640'a uygun olduğu belirlenmiştir. Her iki yöre diatomitlerinin çimento ve harç üretiminde puzolanik katkı olarak, ADKÇ10, ADKÇ20, ÇDKÇ10 ve ÇDKÇ20 çimentolarının da harç ve betonda bağlayıcı olarak kullanılabilmesi tespit edilmiştir.

Aydın ve Gül (2000) Erzurum – Tortum yöresinden alınan diatomitin ve Van – Erciş yöresinden alınan pomzanın çimento ağırlığına oranla beton katkı malzemesi olarak kullanılması durumunda betonun priz süresi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yapılan çalışmada, ilgili Türk Standartlarına uygun olarak, her iki katkı malzemesi ayrı ayrı %1 – 2 – 4 oranlarında çimento yerine beton karışımında kullanılarak; BS225 sınıfı ve çökme değeri ortalama 5 cm olan betonlar üretilmiştir. Üretilen kontrol betonları ve

değişik katkılı betonların priz başlangıç ve bitim süreleri de tespit edilmiştir. Ayrıca bu betonlar üzerinde 7, 14 ve 28 günlerde basınç dayanımı testleri gerçekleştirilmiş ve elastisite modülleri de belirlenmiştir. Her iki malzemenin priz geciktirici özelliğinin olduğu da ortaya çıkmıştır. Ayrıca yapılan deneyler ve testler sonucunda diatomit ve pomzanın kabul edilebilir sınırlar içerisinde betonların basınç dayanımlarında ve elastisite modüllerinde düşüslere sebep olduğu gözlenmiştir.

Bulgu (2003) yapmış olduğu çalışmada, çimento üretiminde puzolanik katkı malzemesi olarak Manisa (Yundağı) yöresi ham perlitinin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla ham perlit, çimento ağırlığının % 5, % 10, % 15, % 20, % 25 ve % 30' u oranlarında doğrudan klinker ve alçı taşı ile birlikte öğütölmüş ve perlit katkılı çimentolar elde edilmiştir. Üretilen çimentoların fiziksel ve kimyasal özellikleri, deneylerle belirlenmiştir. Üretilen çimentolar ile hazırlanan harç numunelerinin 7, 28, 90 gün yaşlarındaki mekanik özellikleri ve 4, 7, 14, 28, 56 gün yaşlarındaki boy değişimi değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen dayanım sonuçlarına göre perlit, çimento, harç ve beton üretiminde puzolanik katkı olarak, %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında kullanılabilceğı belirlenmiştir.

Bahadır (2001) yaptığı çalışmada, son yıllarda birçok kuruluş çimento endüstrisinde enerji tasarrufu, beton endüstrisinde de çimento tasarrufunu amaçlayan araştırmalarla daha çok ilgilenmeye başladığına değinmiştir. Bu çalışmalar, uçucu kül, cüruf ve doğal puzolan gibi bağlayıcı özelliğı olan maddelerin kullanım olanaklarının arttırılması ile sağlanmıştır. Bu deneysel çalışmada ilk olarak uçucu kül, çimento ağırlığının %10, %20 ve %30'u kadar çimento ile yer değıştirilmiştir. Daha sonra diatomit çimento ağırlığının % 10, %20 ve %30'u kadar betona ilave edilmiş ve son olarak yine diatomitin çimento ağırlığının %10 ve %20'si ile yer değışimi yapılmıştır. Karışımlarda su/bağlayıcı oranı 0,39 olarak sabit tutulmuştur. Bütün numunelerin 7, 14 ve 28 günlük basınç ve çekme dayanımları incelenmiştir. Bu deneyler sonucunda diatomitin su / bağlayıcı madde oranını düşürmek için betona ilavesinin faydalı olduğu görölmüştür. Ancak, çeşitli sebeplerden dolayı olumlu sonuçlar alınamamıştır. Diatomitin gözenekli bir yapıya sahip olmasından dolayı bütün karışımlarda çok fazla slump kayıpları görölmüştür. Bu fiziksel yapısından dolayı diatomit, çimentonun reaksiyonu için gerekli suyu da absorbe ederek dayanımların düşmesine sebep olmuştur. Diatomitin çimento ile yer

değiştirilmesi, betonun basınç dayanımlarında %10 ila %18 arasında değişen oranlarda azalmaya sebep olmuştur. Çekme dayanımlarında ise %2 ila %5 oranları arasında artışlar gözlemlenmiştir. Diatomitin karışıma direkt olarak ilavesinde ise basınç dayanımları %4 ila %22 oranları arasında, çekme dayanımları ise %2 ila %8 oranları arasında azalmıştır. Bu sebeple diatomitin yüksek dayanımlı beton için alternatif bir mineral katkı olamayacağı sonucuna varılmıştır.

Arık, Kadir, Aruntaş (2007) yapmış oldukları çalışmada, nitrür tipi teknolojik seramik toz üretimi için silisyum kaynağı olarak kullanımı hedeflenen ve Ankara-Kızılcahamam bölgesinden alınan orijinal diatomit numunelerin, karakteristik özellikleri ve sıcaklığa bağlı faz dönüşümleri belirlenmiştir. Orijinal haldeki özellikleri belirlenen diatomit numuneleri, 4 saat süreyle değişik sıcaklıklarda (20–1450°C) tüp fırında ısıtılma tabii tutulmuştur. Isıtılma sonrası numunelerin XRD, DTA-TG ve SEM EDX analizleri yapılarak diatomitteki sıcaklığa bağlı meydana gelen kayıplar ve faz dönüşümleri belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar, orijinal haldeki diatomitin hiç bir işlem görmeden nitrür tipi teknolojik seramik malzeme üretimi için silisyum kaynağı olarak kullanılabilmesini göstermiştir.

Yılmaz ve arkadaşları (2006) bu çalışmada, doğal amorf ve gözenekli olarak saf ve kalsine edilmiş diatomit kullanarak çimento üretimini araştırmışlardır. Portland çimentosuna %5, %10, %20 saf ve kalsine edilmiş diatomit ilave edilerek fiziksel, kimyasal, mineralojik, mikro yapısal ve mekanik testleri yapılmıştır. Test sonuçlarına göre, %10 saf diatomit harmanlanmış çimento karışımı referans çimentoya göre yüksek gözenekli yapısından dolayı su ihtiyacının artması ile dayanımlarında azalma meydana gelmiştir. Aynı zamanda reaktif SiO<sub>2</sub> içeriği de artmıştır. Kalsinasyon işlemi diatomitin gözenekli yapısını değiştirdiğinden %20 oranından daha yüksek oranda kullanılabilir.

Fragoulis ve diğerleri (2004) yaptıkları araştırmada, Yunanistan'da çimento üretiminde alternatif bir puzolan olarak diatomitin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada Sisam Adası ve Ellassona bölgesindeki diatomitler kullanılmıştır. Sisam diatomitleri CaCO<sub>3</sub> ve opal-A oluşumundadır. Ellassona diatomitleri ise opal-A, kil, alimüna silikat ve SiO<sub>2</sub> içermektedir. Sonuç olarak, Sisam diatomiti CaO ve SiO<sub>2</sub> açısından zenginken, Ellassona diatomitleri ise SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> açısından zengindir.

Katkısız çimentonun işlenebilirliği daha yüksek iken, Ellassona diatomitinininki Sisam diatomitlerinden daha düşüktür. Tüm örneklerin su emmesi ise katkısız çimentodan daha yüksektir. Basınç dayanımları ise katkısız çimentoya göre daha gelişmiştir.

Kastis ve diğerleri (2006) yapmış oldukları çalışmada diatomit ile harmanlanmış çimentonun özellikleri ve hidrasyonu üzerinde çalışmışlardır. Zakynthos Adası, diatomitleri ve İyonya Denizi diatomitleri genel olarak  $\text{CaCO}_3$ , amorf  $\text{SiO}_2$ , opal-A içermektedir. Deneler için %0, %10, %20 ve %35 diatomit kullanılarak çimento harcı oluşturulmuştur. Dayanımı, su ihtiyacı, priz süresi tüm karışımlar için ölçülmüştür.  $350^\circ\text{C}$ ' deki XRD, SEM ve ağırlık kayıpları, çimento ve diatomit harcı için hidrasyon ürünleri ve hidrasyon oranı üzerinde çalışılmıştır. %10 diatomit katkılı karışıma kadar, basınç dayanımları Portland çimentosuna göre daha da iyileşmiştir. EN 197-1'e göre aktif  $\text{SiO}_2$  içerdiğinden dolayı doğal bir puzolan olmanın özelliklerini taşımaktadır. 28 günlük numune sonuçlarına göre ise, doğal puzolanik olan diatomitin aktivitesi daha yüksek çıkmıştır.

Rahhal ve Talero (2009) yaptıkları çalışmada, birbirinden farklı üç silisli mineralin katkısı veya ilavesi ile birbirinden farklı mineraller içeren iki Portland çimentosunun hidrasyon reaksiyonu analiz edilmiştir. Fakat genel olarak ısıl hidrasyon parametrelerine odaklanılmıştır. Karışımların, kalorimetri iletimi, Frattini testi ve ikincil analitik testler ile zaman ayarı ve kimyasal kombinasyonun su miktarı ihtiyacı X-ray kırılım analizi sayesinde bilgisayar kontrollü olarak yapılmıştır. Sonuçlar, morfolojik ve kristal ya da camsı silisli mineral ilavesinin puzolaniklik ve hidroliklik üzerindeki etkileri ve Portland çimentosuna hidrasyon reaksiyonları üzerindeki etkilerini göstermiştir. Diğer taraftan, silisli minerallerin hidrasyon reaksiyonunun direk ve indirek etkilerini görme şansı olmuştur.

Stamatakis ve diğerleri (2002) yaptıkları araştırmada, amorf, yüksek miktarda mikro silis (opal-A) içeren diatomit örnekleri ve davranışlarının çimento harcı üzerindeki etkileri üzerinde çalışılmıştır. Hammaddeler Macaristan, Romanya ve Yunanistan'dan tedarik edilmiştir. Testler sonucunda, bu diatomitlerin iyi puzolanik özellikleri olduğu ve doğal puzolan olarak kullanılabilmesi görülmüştür. Ancak diatomitlerin su ihtiyacının yüksek olması çimentoda puzolan olarak kullanılması için bir dezavantajdır.

Fakat diatomit katkılı çimento harcının basınç dayanımı katkısız çimentonunkinden daha yüksek olduğunu görmüşlerdir. En yüksek miktarda silis içeren diatomitin Macaristan diatomiti olduğu görülmüştür.



## 2. MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1. Malzeme

#### 2.1.1. Diatomit

Deneysel çalışmalarda kullanılmış olan diatomit, iki farklı bölgeden seçilmiştir. Bunlardan ilki Karacasu / Aydın bölgesinde, diğeri Afyon bölgesinde bulunan ocaklardan temin edilmiştir. Tablo 2.1. iki diatomitinde kimyasal analizlerini göstermektedir.

**Tablo 2.1.** Diatomitlerin kimyasal analizleri

% Bileşen	Afyon Diatomit	Karacasu / Aydın Diatomit
SiO <sub>2</sub>	88,94	90,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,90	1,31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,46	0,79
CaO	2,10	1,25
MgO	0,44	0,63
SO <sub>3</sub>	0,00	0,67
Kızdırma Kaybı	4,52	4,13
Na <sub>2</sub> O	0,23	0,27
K <sub>2</sub> O	0,26	0,16
Cl	0,0056	0,0107

Kimyasal analizler şu şekilde yapılmıştır. Diatomit numuneleri XRF cihazında analiz edilmek üzere 90 µ elek üstü bakiyesi vermeyecek şekilde diskli laboratuvar değirmeninde öğütülmüştür. Öğütülen diatomitten homojen olarak 14 g alınmıştır. Üzerine 1 g siteroikasit (C<sub>18</sub>H<sub>36</sub>O<sub>2</sub>) eklenen numunelere 18 ton basınç altında preslenmiştir. Numuneler Penalytical Marka Axios Cement model XRF cihazında analiz edilmiştir.

#### 2.1.2. Çimento

Bu çalışmada Denizli Çimento T.A.Ş.'de üretilmekte olan CEM I 42,5R Portland tip çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun özellikleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

**Tablo 2.2** CEM I 42,5 R tipi çimentoya ait kimyasal analiz

% Bileşen	CEM I 42,5 R
SiO <sub>2</sub>	18,34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,61
CaO	63,27
MgO	1,21
SO <sub>3</sub>	3,34
Na <sub>2</sub> O	0,19
K <sub>2</sub> O	0,66
Cl	0,0143

### 2.1.3. Kum

Çalışmada SET Çimento üretimi olan CEN standart kumu kullanılmıştır.

### 2.1.4. Su

Denizli şebeke suyu kullanılmıştır.

## 2.2. Yöntem

Yukarıda verilen hammaddeler ile deneylerde kullanılacak olan Diatomit seçilmiş ve deneyler gerçekleştirilmiştir.

### 2.2.1. Diatomit Seçimi

Yapılan çalışmada, her iki diatomitin 7 günlük puzolanik aktiviteleri test edilmiştir. Bu işlem her iki diatomit için de iki basamaklı olarak gerçekleştirilmiştir. Diatomitler ilk önce öğütülmüştür. Birinci basamakta, öğütülmüş olan diatomitlerin TS 25 2008 Doğal Puzolan Tras, Çimento ve Betonda Kullanılan Tarifler Standardına göre teste tabi tutulmuştur. İkinci basamakta ise, yine öğütülmüş olan diatomitler öncelikle yüksek sıcaklık fırınında 900°C'de 2 saat süresince kalsine edilmiştir. Isıl işlem uygulanmış yani kalsine edilmiş olan diatomitlerin yine aynı şekilde puzolanik aktivitelerine bakılmıştır. Çıkan sonuçlar Tablo 1. de gösterilmiştir.

**Tablo 2.2** Diatomitlerin puzolanik aktiviteleri

Afyon diatomit		Karacasu / Aydın diatomit	
Isıl işlem uygulamadan	Isıl işlem uygulanarak	Isıl işlem uygulamadan	Isıl işlem uygulanarak
15,5 MPa	9,8 MPa	8,3 MPa	8,3 MPa

Her iki diatomitin de puzolanik aktiviteleri değerlendirildiğinde, yapılacak olan çalışmada, aktivitesi daha yüksek olduğu için Karacasu / Aydın diatomiti kalsine edilmeden kullanılmaya karar verilmiştir.

### 2.2.2. Numunelerin Hazırlanması

Denizli Çimento T.A.Ş fabrikasında üretilen CEM I 42,5R Portland çimento ile Tablo 2’de belirtilen reçeteye göre standart karışım elde edilmiştir.

**Tablo 2.3** Standart karışım reçetesi

İçerik	Kum	Çimento	Su
Referans karışım	1350 g	450 g	225 g

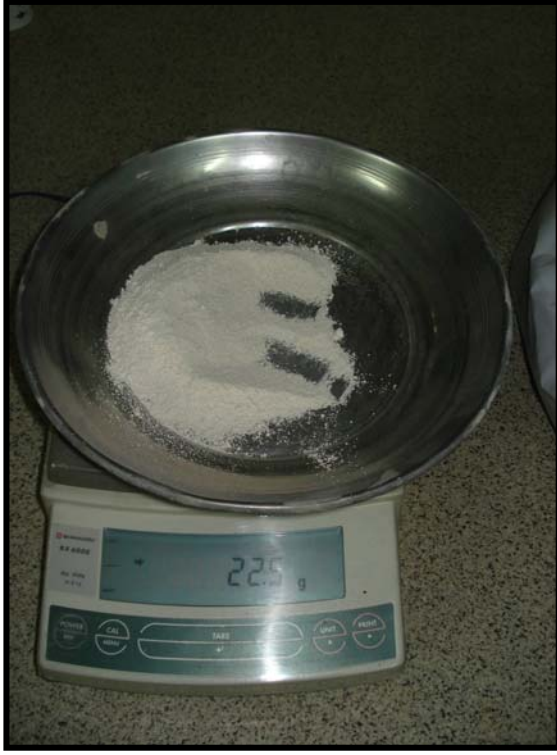
Diatomit katkılı karışımlar, referans karışımdaki miktarlara göre belirlenmiştir. Buna göre karışımlar, %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 diatomit ilavesi ile elde edilmiştir. Söz konusu karışımlarda kum miktarı ile toplam bağlayıcı miktarı (çimento + diatomit) sabit kalmıştır. Ancak diatomit miktarı yüzdesel olarak değiştiğinden çimento miktarı da değişmiştir. Su miktarı ise diatomit miktarının değişmesiyle, karışımın homojenliği için artırılmıştır. Karışımlar Tablo 3.’te belirtilen reçetelere göre oluşturulmuştur.

**Tablo 2.4** Diatomit katkıli karışimların reçeteleri

İçerik	Kum	Çimento	Diatomit	Su
<b>%5'lik karışım</b>	1350 g	427,5 g	22,5 g	225 g
<b>%10'luk karışım</b>	1350 g	405 g	45 g	225 g
<b>%15'lik karışım</b>	1350 g	382,5 g	67,5 g	225 g
<b>%20'lik karışım</b>	1350 g	360 g	90 g	290 g
<b>%25'lik karışım</b>	1350 g	337,5 g	112,5 g	301 g
<b>%30'luk karışım</b>	1350 g	315 g	135 g	315 g
<b>%35'lik karışım</b>	1350 g	292,5 g	157,5 g	345 g

Laboratuvar sıcaklığında bulunan çimento, diatomit, su ve standart CEN kumunun tartımı  $\pm 1$  g hassasiyetindeki hassas terazi ile tartılmıştır. (Resim 2.1) Her harç karışımı, Atom Teknik marka karıştırıcı ile mekanik olarak karıştırılmıştır. (Resim 2.2) Bu işlem için ilk önce, karıştırma kabına su koyulmuş ve üzerine çimento ile diatomit ilave edilmiştir. Karıştırıcı bu aşamada düşük devirde çalıştırılmıştır. Karıştırma işlemi başladıktan 30 s sonra CEN standart kumu 30 s içinde ilave edilmiştir. (Resim 2.3) CEN standart kumu karışıma tamamen ilave edildikten sonra karıştırıcı ile yüksek devirde 30 s daha karıştırılmıştır. Karıştırıcı 1 dakika 30 s sonra durdurulmuş ve ilk 15 s içinde kabın çeperlerine yapışmış olan harç, sıyrıcı ile kabın ortasında toplanmıştır. Bu işlemden sonra karıştırma işlemine 60 s daha devam edilmiş ve tamamlanmıştır. (Resim 2.4)

**Resim 2.1** Hassas terazide malzemelerin tartımı



**Resim 2.2** Karıştırıcı



**Resim 2.3 Kumun karışıma ilave olması aşaması**



**Resim 2.4 Karıştırma işleminin tamamlanması**



Homojen olarak karışmış olan karışım, kalıp ve kalıp başlığının sarsma cihazına (Resim 2.5) bağlanmasından sonra bir kaşık yardımıyla karıştırma kabından kalıba doldurulmuştur. (Resim 2.6) Harç tabakası, yayıcı ile kenarlarından dik olarak tutulmuş ve yayılması sağlanmıştır. Bu birinci tabaka 60 sarsma ile sıkıştırılır. Ardından ikinci tabaka harç da kalıba koyulmuş ve tekrar yayıcı ile düzeltilmiştir. Bu işlemlerin ardından ikinci 60 sarsma ile sıkıştırılır. Kalıp sarsma cihazından çıkartılarak, kalıp başlığı kalıp üzerinden alınmış ve harcın fazlası dik tutulan bir master ile sıyrılmıştır. (Resim 2.7) Yüzeyleri düzeltilmiş olan kalıplar (Resim 2.8) etiketlendikten sonra priz alması için numune dolabında muhafaza altına alınmıştır.

**Resim 2.5 Sarsma cihazı**



**Resim 2.6 Karışımın kalıba yerleştirilmesi**



**Resim 2.7 Yüzeylerin düzeltilmesi**





## Resim 2.8 Yüzeyleri düzeltilmiş kalıplar



Elde edilen karışımlar, TS EN 196-1'e göre dayanım testleri için 40x40x160 mm boyutlarında dikdörtgenler prizması şeklinde kalıplara dökülmüştür. Her bir karışım 3 adet kalıba dökülmüş olup, toplam 9 adet numune elde edilmiştir. Atom Teknik marka kür dolabında (**Resim 2.9**)  $20 \pm 1$  °C sıcaklık ve % 90 bağıl nemde tutularak priz alması beklenmiştir. 20 – 24 saat süresinde priz alan numuneler (**Resim 2.10**), kalıplardan çıkarılmış ve test yapılincaya kadar  $20 \pm 1$  °C sıcaklık ve % 90 bağıl nemde tutulan kür havuzlarında suda bekletilmiştir. (**Resim 2.11**). Numunelerin priz almasından sonra, 2., 7., 28. günlerde numuneler bu havuzlardan alınarak basınç ve eğilme dayanımı testlerine tabi tutulmuştur.

**Resim 2.9 Numunelerin priz alması için kr dolabında bekletilmesi**



**Resim 2.10 Priz almış olan numuneler**



**Resim 2.11 Numunelerin kür havuzunda bekletilmesi**



Eğilme dayanımı testleri Atom Teknik marka deney cihazı (**Resim 2.12**) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Testlerin yapıldığı laboratuvarın bağıl nem içeriği % 50–60 ve sıcaklığı ise 22°C civarındadır. Numuneler, deney cihazına yan yüzeylerden biri üzerine ve uzunluğuna mesnet silindirlerinin eksenine dik olacak şekilde mesnet silindirlerinin üzerine yerleştirilmiştir. Yük, yükleyici silindir vasıtası ile prizmanın karşı yan yüzeylerinden dik olarak uygulanmış olup, 50 N/s hızında numune kırılıncaya kadar arttırılmıştır.

**Resim 2.12 Eğilme dayanımı deney cihazı**



Eğilme dayanımında ikiye bölünmüş olan her yarım prizma Atom Teknik Marka cihaz kullanılarak (Resim2. 13) yan yüzeylerinden yükleme yapılarak basınç dayanım cihazında deneye tabi tutulmuştur. Yarım prizmalar, cihazın plakaları arasına merkezleyecek şekilde uzunlamasına yerleştirilmiştir. Yük,  $(2400 \pm 200)$  N / s hızda olmak üzere, prizma kırılıncaya kadar düzgün şekilde arttırılmıştır.

**Resim 2.13 Basınç dayanımı deney cihazı**



Priz süresi tayini için yapılan deneyler  $(20 \pm 2)$  °C sıcaklık ve minimum %90 bağıl nem laboratuvar koşullarında yapılmıştır. Tablo 2.5'te verilmiş olan reçetelere ve TS EN 196-1'e göre tekrar karışımlar hazırlanır. Karışımların kıvamları Vicat cihazında belirlenmiştir. Belirlenen kıvamlara göre oluşan reçeteler Tablo 2.5'de verilmektedir.

**Tablo 2.5 priz süresi tayini için belirlenen reçeteler**

<b>İçerik</b>	<b>Çimento</b>	<b>Diatomit</b>	<b>Su</b>
<b>Standart karışım</b>	450 g	0	148 g
<b>%5'lik karışım</b>	427,5 g	22,5 g	164 g
<b>%10'luk karışım</b>	405 g	45 g	190 g
<b>%15'lik karışım</b>	382,5 g	67,5 g	209 g
<b>%20'lik karışım</b>	360 g	90 g	234 g
<b>%25'lik karışım</b>	337,5 g	112,5 g	260 g
<b>%30'luk karışım</b>	315 g	135 g	285 g
<b>%35'lik karışım</b>	292,5 g	157,5 g	311 g

Karıştırma kabına koyulan malzemeler (çimento, diatomit ve su) 90 s süre ile yavaş devirde karıştırılmıştır. Bu süre sonunda karıştırıcı durdurulmuş ve karıştırma kabının cidarına yapışan malzemeler sıyrılmıştır. Bu işlemden sonra karıştırıcı 90 s süre ile yüksek devirde çalıştırılmıştır. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra çimento pastası tezgâh üzerinde spatulalar yardımı içinde top halinde malzeme kalmadığından emin oluncaya kadar karıştırılmıştır. **(Resim 2.14)**

**Resim 2.14** çimento pastasının karıştırılması



Karıştırma işlemi tamamlanan pasta Vicat cihazı kalıplarına doldurulur. **(Resim 2.15)** Bu doldurma işlemi herhangi bir sıkıştırma veya vibrasyon işlemi yapılmadan yapılmıştır. Kalıp üzerinde kalan fazlalıklar ise testere hareketi ile sıyrılmıştır.

**Resim 2.15** Vicat cihazı kalıpları



Kalıplar otomatik priz süresi deney cihazına **(Resim 2.16)** yerleştirilir ve süreleri bilgisayar bağlantısı üzerinden numunelerin girişleri yapılır.

**Resim 2.16 Priz süresi deney cihazı**



Deney cihazı iğnenin hareketi ile priz süresi ölçümüne başlamıştır. Her bir numuneye battıktan sonra iğne otomatik olarak temizlenmiş ve her 10 dakikada bir iğne hareketi gerçekleşmiştir. **(Resim 2.17)**

**Resim 2.17 Test işlemi**



Deney sonunda bilgisayar tarafından oluşturulan grafikler ile priz süresi hesaplanmıştır. Grafikler 3. Bölüm’de verilmiştir.

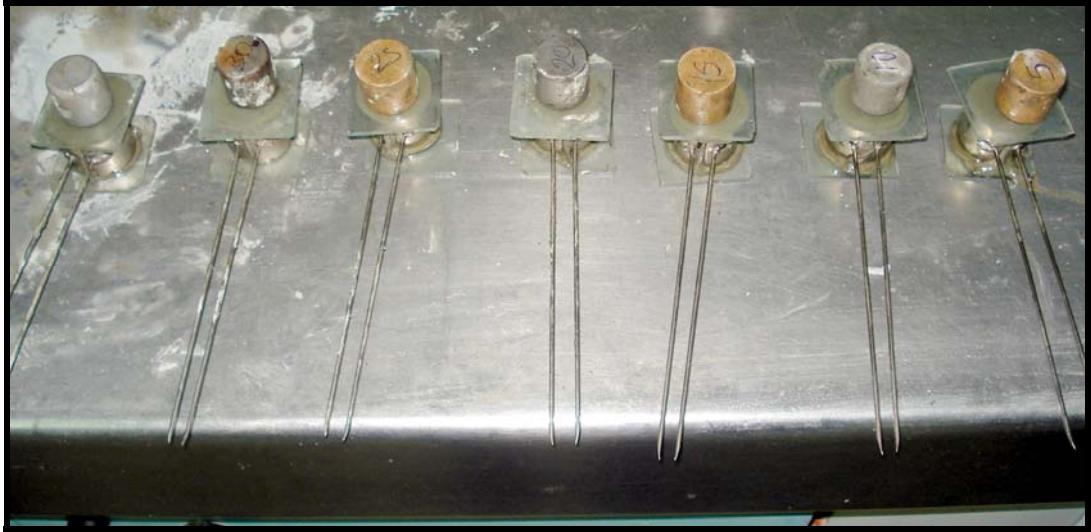
Çalışmalar sırasında yapılan diğer bir işlem ise genleşme deneyidir. Bu deney ile, serbest  $\text{CaO}_2$  ve /veya  $\text{MgO}$  hidratasyonu sebebi ile sonradan ortaya çıkacak genleşme miktarını değerlendirmek amaçlanmıştır. Bu deneyin yapılmasında Le Chatelier cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz, pirinçten yapılmış çubuk şeklinde gösterge uçları bulunan ve TS EN 196-3’e uygun olmalıdır. Kalıplara yerleştirilen **(Resim 2.18)** çimento pastası (bu deney için de priz süresi belirleme de kullanılan çimento pastası kullanılmıştır.) sıkıştırma veya vibrasyona tabi tutulmamıştır. Genleşmenin üst veya alt yüzeylere doğru olmaması için kalıpların üzerlerine minimum 75 g ağırlıklar yerleştirilmiştir. **(Resim 2.19)**



**Resim 2.18 Le Chatelier kalıplarına yerleştirilen çimento pastası**



**Resim 2.19 kalıplara yerleştirilmiş numuneler**



Kalıplara yerleştirilmiş olan numuneler,  $(20 \pm 1)$  °C sıcaklık ve minimum %98 neme sahip kür havuzlarına yerleştirilmiştir. **(Resim 2.20)** 24 saat boyunca kür havuzunda kalan numunelerin bu süre sonunda kür havuzundan alınmış ve gösterge uçlarının arasındaki mesafe ölçülmüştür. Ölçüm işleminden sonra kalıplar kaynama noktasına ulaşacakları sıcak su banyosunda 3 saat boyunca kaynatılmıştır **(Resim 2.21)**. Kaynama süresi sonunda gösterge uçları arasındaki mesafe ölçülmüştür. Kalıplar  $(20 \pm 2)$  °C'a kadar soğutulmuştur ve gösterge uçları arasındaki mesafeler tekrar ölçülmüştür. Ölçüm işlemlerinden sonra, kalıpların kaynayıp soğutulmasından sonraki değerden kaynamadan önce ölçülen değerler çıkartılmıştır. Elde edilen değerler genişleme değerleridir. Bu değerler de sonuçlar kısmında verilmiştir.

**Resim 2.20 Kr havuzuna yerleştirilmiş olan numuneler**



**Resim 2.21 Sıcak su banyosu**



Son olarak yapılan deney ise yayılma miktarını ölçmek için yapılmıştır. Deneyler TS EN 12350-5 Yayılma Tablası deneyi standardına göre yapılmıştır. Deney için kullanılan cihaz **Resim 2.22**'de verilmiştir.

**Resim 2.22** Yayılma deneyi cihazı



Bu deneyler için kullanılan reçeteler Tablo 2.6’da verilmiştir. Deney için su miktarı sabit tutulmuştur. Karışımlar TS EN 196-1’e göre hazırlanmıştır. Karıştırma işleminden sonra karışımlar **Resim 2.23**’de grldğu gibi yayılma tablasındaki kalıba dökülmüştür. Kalıp içine yerleştirilen karışımı sıkıştırmak amacı ile tabla 3 tur vurdurulmuştur. Daha sonra ise, kalıp yerinden sökülmüştür. Kalıp sökülmesinin ardından tabla 12 tur daha vurdurulrak merkez kaç kuvveti etkisiyle karışımın yayılması sağlanmıştır. Sonuçta meydana gelen yayılma ölçülerek (**Resim 2.24**) sonuçlar kısmına eklenmiştir.

**Tablo 2.6 Yayılma deneyi reçeteleri**

<b>İçerik</b>	<b>imento</b>	<b>Diatomit</b>	<b>Su</b>
<b>Standart karışım</b>	450 g	0	148 g
<b>%5’lik karışım</b>	427,5 g	22,5 g	164 g
<b>%10’luk karışım</b>	405 g	45 g	190 g
<b>%15’lik karışım</b>	382,5 g	67,5 g	209 g
<b>%20’lik karışım</b>	360 g	90 g	234 g
<b>%25’lik karışım</b>	337,5 g	112,5 g	260 g
<b>%30’luk karışım</b>	315 g	135 g	285 g
<b>%35’lik karışım</b>	292,5 g	157,5 g	311 g

**Resim 2.23 Yayılma tablası kalıbına dökülen karışım**



**Resim 2.24 Ölçüm işlemi**



### 3. BULGULAR

#### 3.1. Diatomitin fiziksel özellikleri

Deneylerin yapımına başlamadan önce kullanılacak olan diatomitin inceliği ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Tablo 3.1’de verilmektedir.

Tablo 3.1 Diatomitin incelik değerleri

Elek büyüklükleri	Miktar (%)
200 $\mu$	16
90 $\mu$	70
45 $\mu$	14

Diatomitin su emme değeri ise yapılan deneyler sonucunda %120 bulunmuştur.

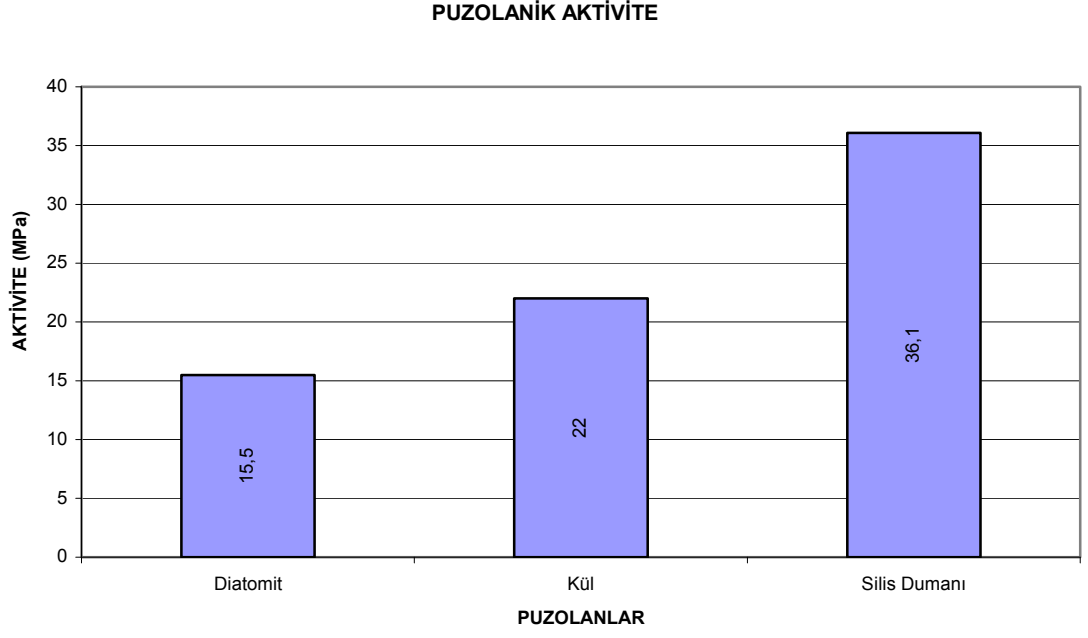
#### 3.2 Puzolanik aktivite sonuçları

Diatomitin diğer puzolanlara karşı alternatif olarak kullanılabilirliğini araştırmak için bazı puzolanlar ile puzolanik aktivitesi karşılaştırılmıştır. Deneylere iki ayrı Diatomit ile başlandırılmış ve bunlara ısıtma işlemi de uygulanmıştır. Her duruma ait diatomitlerin aktivitesi Tablo 3.2’de görülmektedir. Bu işlemlerden sonra Bölüm 2’de de üzerinde durulduğu gibi Karacasu / Aydın diatomiti ısıtma işlemi görmeden deneylerde kullanılmıştır.

Tablo 3.2 Diatomitlerin puzolanik aktivite değerleri

Afyon diatomit		Karacasu / Aydın diatomit	
Isıtma işlemi uygulanmadan	Isıtma işlemi uygulanarak	Isıtma işlemi uygulanmadan	Isıtma işlemi uygulanarak
15,5 MPa	9,8 MPa	8,3 MPa	8,3 MPa

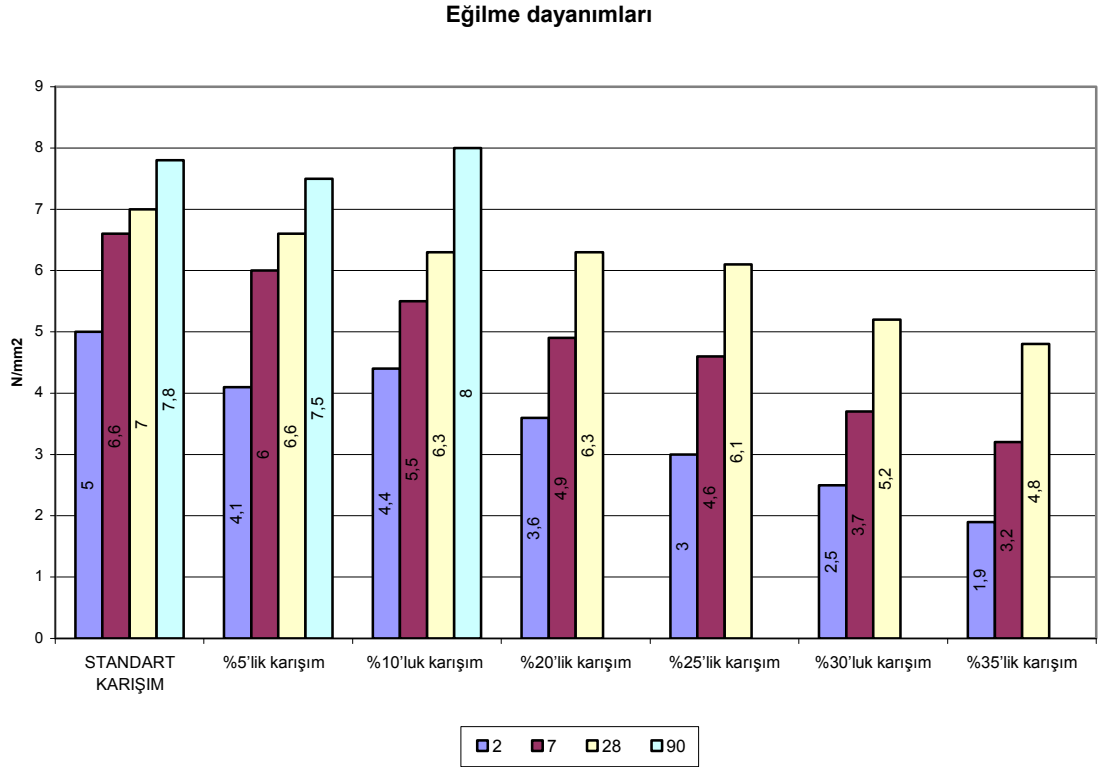
Eğer diatomiti diğer puzolanlar ile karşılaştırırsak (Şekil 3.1)



**Şekil 3.1** Puzolanik aktivitelerin karşılaştırılması

### 3.3. Basınç ve eğilme dayanımı testleri sonuçları

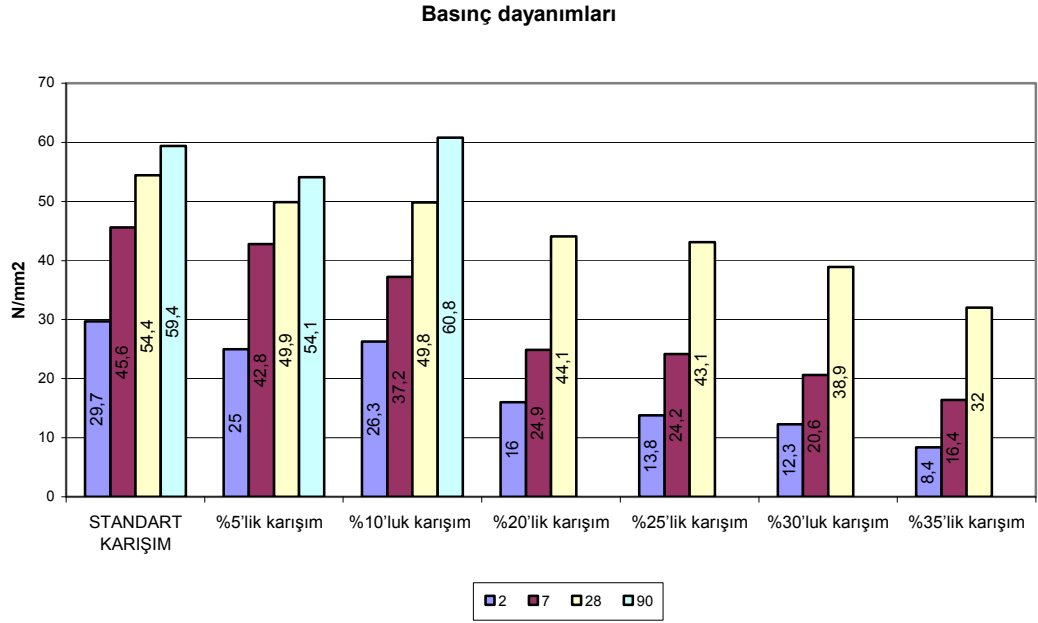
Yapılan deneyler sonucunda 7 adet karışıma ait numunenin eğilme dayanımları Şekil 3.1'de verilmektedir.



Şekil 3.1 Eğilme dayanımı değerleri



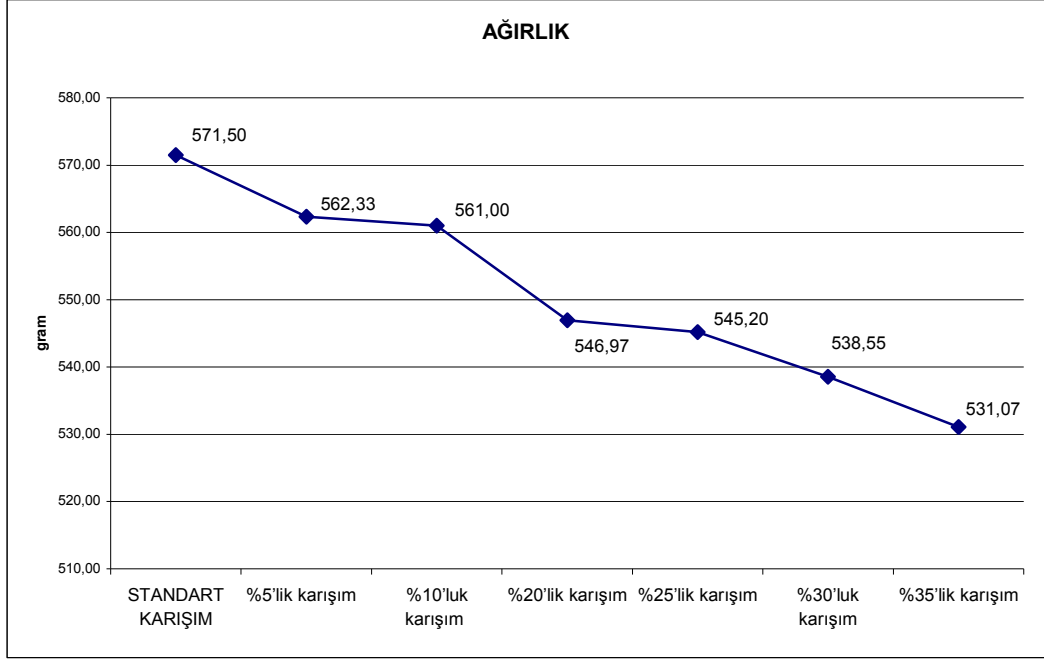
Testler sonucunda bulunan basınç dayanım değerleri Şekil 3.2’de görülmektedir.



**Şekil 3.2** Basınç dayanımı değerleri

### 3.4 Ağırlık ölçüm sonuçları

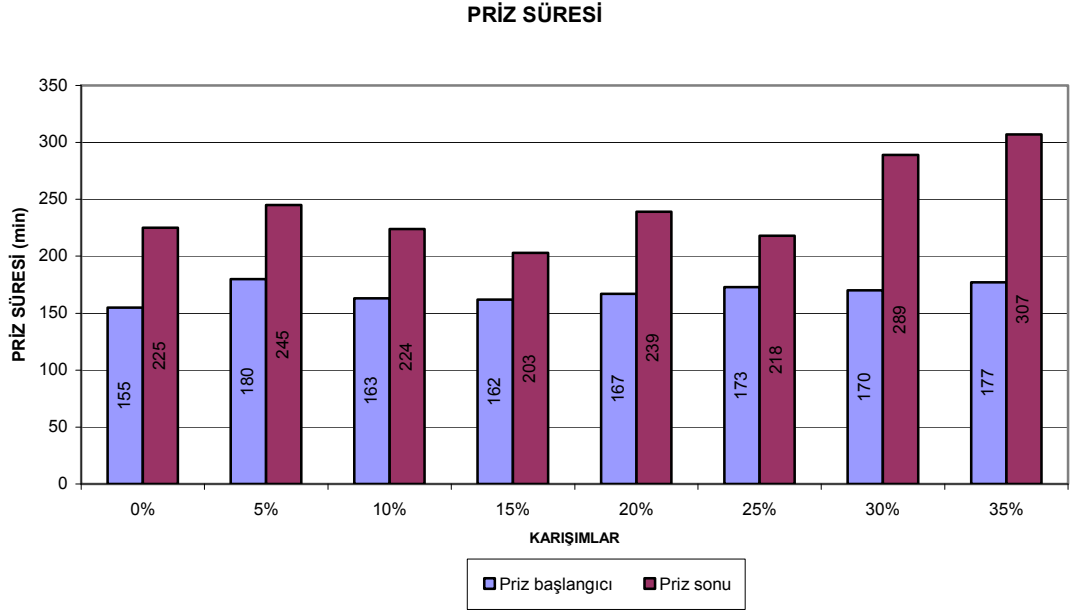
Karışımlardan elde edilen 40 x 40 x 160 mm ölçülerindeki numunelerin ağırlıklarına ait sonuçlar Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Numune ağırlıkları

### 3.5 Priz süresi belirleme deneyleri

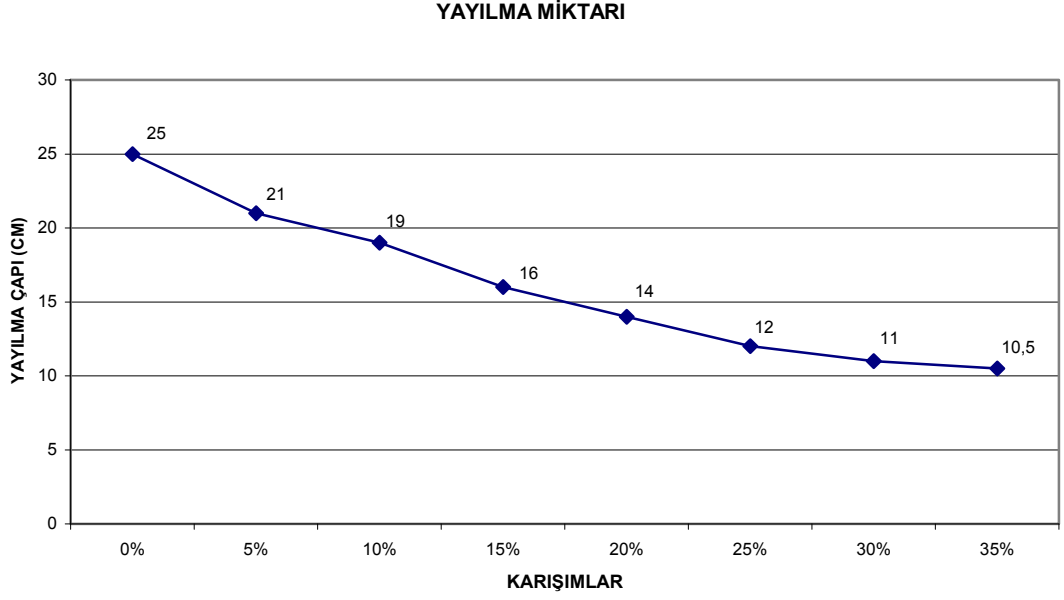
Priz süresini belirlemek için yapılan deneyler sonucunda bulunan değerler Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4 Priz süreleri

### 3.6 Yayılma Miktarı belirleme deneyleri

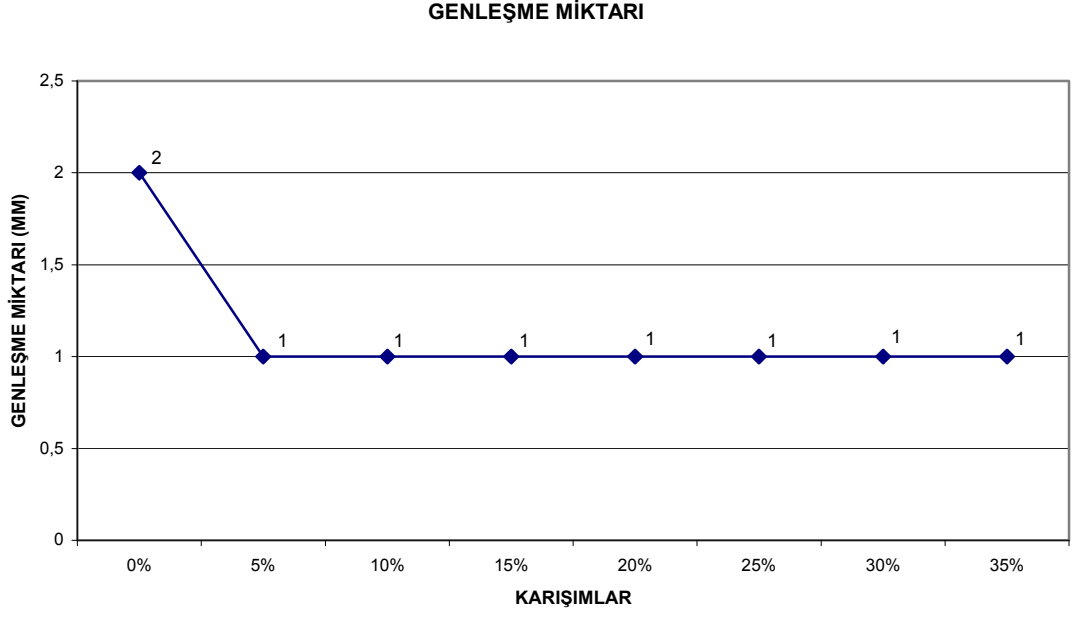
Yayılma miktarlarını belirlemek için 250 ml sabit su ile yayılma tablasında yapılan deneylerin sonuçları Şekil 3.5'te verilmiştir.



**Şekil 3.5** Yayılma Miktarları

### 3.7 Genleşme Miktarını belirleme deneyleri

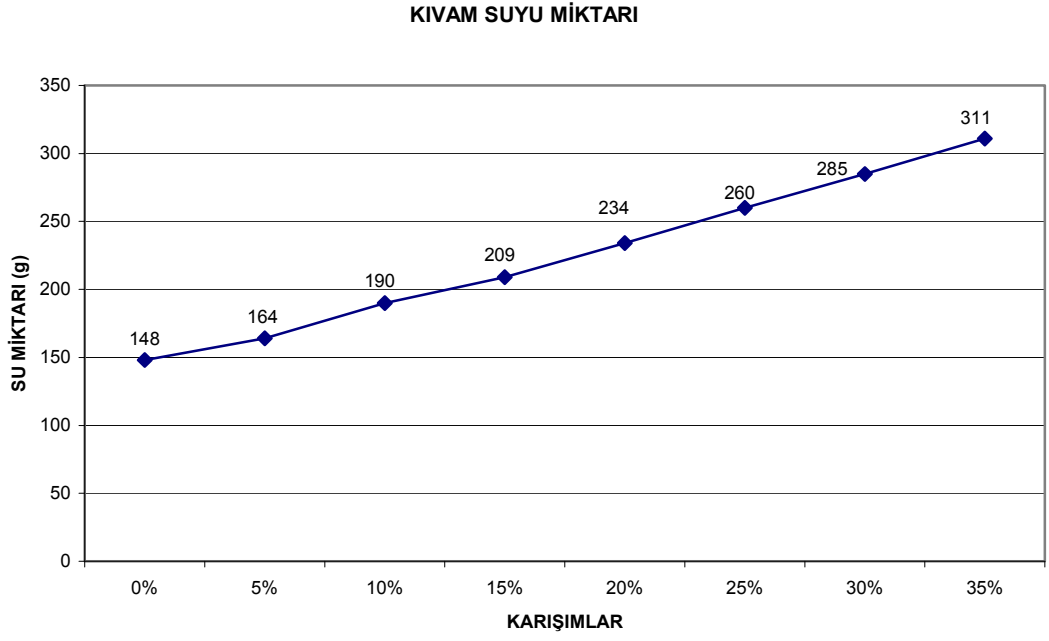
Genleşme miktarlarını belirlemek için yapılmış olan deneylerin sonuçları Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



**Şekil 3.6** Genleşme Miktarları

### 3.8 Kıvam Suyu Miktarları

Priz süresini ve genleşme miktarlarını ölçmek için hazırlanan karışımlarda kullanılan kıvam suyu miktarları Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7 Kıvam Suyu miktarı

## 4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

### 3.1. Diatomit fiziksel özellikleri

Deneylerde kullanılan diatomitin su emmesi %120 bulunmuştur.

### 3.2 Puzolanik aktivite

TS 25'e göre yapılmış olan puzolanik aktivite deneyi sonuçlarına göre; uçucu küle göre diatomitin aktivitesi %29,5 ve silis dumanına göre de %38,8 daha düşüktür.

### 3.3. Basınç ve Eğilme Dayanımları

Yapılan deneyler sonucunda eğilme dayanımları incelendiğinde, 28 günlük numunelerin mukavemetlerinin %5 ile %25 oranındaki karışımlarda stabil kaldığı daha sonra ise düşme eğiliminde olduğu görülmektedir. 90 günlük mukavemet sonuçları değerlendirildiğinde ise standart karışımın eğilme dayanımından daha yüksek olduğu görülmektedir.

Basınç dayanımlarında ise, yine 28 günlük numunelerin mukavemetlerinin %5 ve %10 oranındaki karışımlarda stabil kaldığı %15 oranındaki karışımdan itibaren düşmeye başladığı görülmektedir. 90 günlük numunelerin mukavemet değerleri ise standart karışımın mukavemet değerine çok yakın olmakla beraber daha yüksektir.

### 3.4 Ağırlık

Yapılan ölçümler sonucunda diatomit miktarının artması ile numunelerin ağırlıklarının azatlığı görülmüştür. Standart karışıma göre %35 diatomit ilaveli karışım %7,5 daha hafiftir.

### 3.5 Priz Süresi

Priz süresini etkileyen en önemli etken CaO ve SiO<sub>2</sub> miktarlarıdır. 3. Bölümdeki Şekil 3.2'ye bakıldığında priz sürelerinin diatomit miktarının artması ile arttığı görülmektedir. Literatürde geçtiği gibi CaO miktarının düşük SiO<sub>2</sub> miktarının yüksek olması priz sürelerinin uzamasına neden olmaktadır. Bulunan sonuçlar da bununla uyumludur.

### 3.6 Yayılma Miktarı

Yayılma miktarlarını belirlemek için yapılan deneylerde su miktarı sabit olarak 250 ml olarak karışımlara ilave edilmiştir. Diatomit miktarının artması, karışımların su ihtiyaçlarını da arttıracığından yayılma miktarı ters orantılı olarak azalacaktır. Çünkü diatomit %120 oranında su emmeye sahiptir. Buna göre diatomit miktarı artarken yayılma miktarı azaldığı Bölüm 3 Şekil 3.5’de de görülmektedir.

### 3.7 Genleşme Miktarını

Genleşme miktarı deney sonuçlarına göre standart karışıma ait genleşme miktarı diatomit katkılı karışımlardan %50 daha fazla olduğu görülmektedir.

### 3.8 Kıvam Suyu

Karışımların kıvam suyu miktarlarına bakıldığında karışımlardaki diatomit miktarları arttıkça kıvam suyu miktarının da arttığı görülmektedir. Bunun en belirgin sebebi diatomitin %120 su emme değerinin olması ve buna bağlı olarak da karışımdaki diatomit miktarının artmasıyla su ihtiyacının artmasıdır. Karışımlardaki kıvam suyu miktarlarına bakıldığında standart karışımın kıvam suyu miktarı 148 ml iken %5 diatomit katkılı karışımın kıvam suyu miktarı 164 ml olmuştur. Burada diatomitin su emmesi %120 olduğu göz önünde bulundurularak matematiksel olarak %5 diatomit katkılı karışımın en fazla su miktarı:

$148 \times \%120 = 177,6$  ml olması gerekir.

%5 diatomit katkılı karışımın kıvam suyu miktarı 164 ml olduğundan yapılan hesap ile deneysel çalışma birbirini desteklemektedir.



## KAYNAKLAR

- Yılmaz B., Ediz N., Bentli İ., (2006) An Investigation Into The Use Of Clay Bearing Diatomites Of Kutahya Alayunt Region In Cement Production, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Dergisi, Sayı 12, ISSN – 1302 – 3055
- Aruntaş H., Albayrak M., Saka H., Toktay M., (1998), Ankara-Kızılcahamam ve Çankırı – Çerkeş Yöresi Diyatomitlerinin Özelliklerinin Araştırılması, Tr. J. of Engineering and Environmental Science 22 (1998) , 337 – 343.
- Davraz M., Gündüz L., (2005), Amorf Silika ve Endüstriye Katkısı, Türkiye 19. Ulwlurarası Madencilik Kongreni ve Fuarı, IMCET2QQ5. İzmir, Türkiye, 09-12 Haziran 2005
- Arık H., Kadir S., Aruntaş H., (2002), Ankara-Kızılcahamam Diyatomitlerinin Karakteristik Özelliklerinin Ve Sıcaklığa Bağlı Faz Dönüşümlerinin Araştırılması, Cilt: 15 No:1 ISSN 1300-1833
- Yanık S., (2007), Bazik Pomzaların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, Çukurova Üniversitesi MMF. 2006.YL.25
- Bideci A., Bideci Ö., (2008), Diatomit Hammaddesinin Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Trakya Üniversitesi J Sci, 8(2): 69-76, 2008 ISSN 1305–6468 DIC: 246ABKT2980812080109
- Aruntaş H., (1996), Diatomitlerin Çimentolu Sistemlerde Puzolanik Malzeme Olarak Kullanılabilirliği, Gazi Üniversitesi Mimarlık 1996 Doktora Tezi
- Aydın A., Gül R., Diatomitin betonun priz süresine etkisi, Erzurum Atatürk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Tezi
- Çelik Ö., Yurter G., Kan S., Yeprem H., (2004) Farklı Puzolan\_K Katkıların Çimento Harçlarının Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, Doğu Üniversitesi Dergisi, 5 (2) 2004, 147-154
- Özbey G., Atamer N., Kizelgur (Diatomit) Hakkında Bazı Bilgiler, Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. Kizelgur Fabrikası
- Bulgu M., (2003), Perlitin Çimentoda Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliği, Gazi Üniversitesi, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi
- Şengül Ö., Taşdemir M., GJÖRV O., (2007), Puzolanik malzemelerin betonun mekanik özellikleri ve klor iyonu yayınına etkisi, itüdergisi Mühendislik Cilt:6, Sayı:1, 53-64
- Gündeşli U., (2008), Uçucu Kül, Silis Dumanı Ve Yüksek Fırın Cürufunun Beton Ve Çimento Katkısı Olarak Kullanımı Üzerine Bir Kaynak Taraması, Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

- Değirmenci N., Yılmaz A., (2009), Use of diatomite as partial replacement for Portland cement in cement mortars, *Construction and Building Materials* 23 (2009) 284–288
- Yılmaz B., Ediz N., (2008), The use of raw and calcined diatomite in cement production, *Cement & Concrete Composites* 30 (2008) 202–211
- D. Fragoulis, M.G. Stamatakis, D. Papageorgiou, E. Chaniotakis, (2005), The physical and mechanical properties of composite cements manufactured with calcareous and clayey Greek diatomite mixtures, *Cement & Concrete Composites* 27 (2005) 205–209
- D. Kastis, G. Kakali, S. Tsvivilis, M.G. Stamatakis, (2006), Properties and hydration of blended cements with calcareous diatomite, *Cement and Concrete Research* 36 (2006) 1821–1826
- V. Rahhal, R. Talero, (2009), Calorimetry of Portland cement with silica fume, diatomite and quartz additions, *Construction and Building Materials* 23 (2009) 3367–3374
- M.G. Stamatakis, D. Fragoulis, G. Csirik, I. Bedeleian, S. Pedersen, (2003), The influence of biogenic micro-silica-rich rocks on the properties of blended cements, *Cement & Concrete Composites* 25 (2003) 177–184
- H., Ün, (2007), Yapı Malzemesi 2 Ders Notları, Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği
- H., Ün, (2007), Yapı Malzemesi 4 Ders Notları, Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği
- Uygun A, Diatomit jeolojisi ve yararlanma olanakları, MTA Enst. Yayınları, Ankara
- Ünal Ö., Uygunoğlu T., (2007), Diatomitin hafif beton üretiminde kullanılması, İMO teknik dergi,(2007),4025-4034
- Yazıcıoğlu S., Bozkurt N., (2006, Pomza ve mineral katkı taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerinin araştırılması “, GÜ. Müh. Mim. Dergisi,(21),4,(2006),675–680
- Schröder A, Türkiye’de şayanı dikkat bazı malzemeler

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı, Soyadı** : Esra KARAHİSAR GÖKKONCA  
**Doğum Tarihi** : 18.08.1981  
**Doğum Yeri** : ESKİŞEHİR  
**Bitirdiği Lise, Yılı** : Prof. Dr. Orhan Oğuz Lisesi, 1999  
**Bitirdiği Üniversite, Yılı** : **Pamukkale Üniversitesi Makine  
Mühendisliği Bölümü, 2004**