

**HASANKALE PASINLER POMZASI İLE  
ÜRETİLEN BETONLARIN BAZI  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Mustafa PEKDEMİR**

**Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Prof. Dr. Rüstem GÜL**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HASANKALE PASINLER POMZASI İLE ÜRETİLEN  
BETONLARIN BAZI MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Mustafa PEKDEMİR**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ERZURUM**

**2011**

**Her hakkı saklıdır**



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

HASANKALE PASINLER POMZASI İLE ÜRETİLEN BETONLARIN BAZI MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Prof. Dr. Rüstem GÜL danışmanlığında, Mustafa PEKDEMİR tarafından hazırlanan bu çalışma 19/12/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği (3/3)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Rüstem GÜL

İmza

Üye : Prof. Dr. Ensar OĞUZ

İmza

Üye : Yrd. Doç. Dr. A. Cüneyt AYDIN

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum  
Prof. Dr. Ömer AKBULUT  
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### HASANKALE PASİNLER POMZASI İLE ÜRETİLEN BETONLARIN BAZI MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mustafa PEKDEMİR

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Rüstem GÜL

Çalışmada 7 seriden oluşan 5 grup halinde toplam 35 seri numune üretilmiştir. Gruplarda hacimce Hasankale pomza agregası ve normal agrega sırasıyla %0, %25, %50, %75, %100, serilerde ise ağırlıkça çimento, silis dumanı ve uçucu kül sırasıyla %5, %10, %15 oranında yer değiştirilerek kullanılmıştır. Elde edilen numunelerin TS 'na uygun olarak taze ve sertleşmiş birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, basınç altında su işleme derinliği ve ultrasonik ses geçirgenlik değerleri değişimleri incelenmiştir.

Silis dumanı betonun 28 günlük basınç ve eğilme dayanımını artırırken, uçucu külün karışımdaki miktarının artması bu iki parametrede bir miktar azalmaya neden olmuştur. Basınç ve eğilme dayanımını numunelerin içerdiği pomza agregası miktarına göre değerlendirdiğimizde pomza hafif beton agregası sınıfında bulunduğundan dolayı dayanımlarda düşüşe neden olmuştur. Ultrasonik ses geçirgenliği incelendiğinde ise silis dumanı ve uçucu kül daha boşluksuz bir beton elde etmemizi sağladığından ultrasonik ses geçirgenliğine olumlu etki yapmıştır. Pomza boşluklu yapısı sebebiyle ses geçirgenlik hızında azalmaya neden olduğu görülmüştür. Su işleme derinliği numunelerdeki pomza miktarı açısından incelendiğimizde ise pomza agregasının su tutuculuğu normal agregaya göre daha fazla olduğundan numunelerdeki pomza miktarı arttıkça numunenin içerisine su alma miktarında da artış olmuştur. Silis dumanı ve uçucu kül katkıları ise su işleme derinliğini azaltıcı yönde etki etmiştir.

**2011, 105 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Pomza, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultrases geçirgenliği, su işleme derinliği

## **ABSTRACT**

MS. Thesis

### **INVESTIGATING SEVERAL MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE MADE UP WITH HASANKALE PASINLER PUMICE**

Mustafa PEKDEMİR

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Rüstem GÜL

In this study, values of unit weight, compressive, flexural strength, ultrasonic pulse velocity and depth of water treatment were evaluated in accordance with TS. There are 5 groups having 7 series and there are 3 samples in each series. In each group aggregate volume is changed by pumice 0%, 25%, 50%, 75%, 100% and amount of cement was changed by silica fume and flying ash ratios of 5%, 10%, 15% respectively.

In conclusion, silica fume increased compressive and flexural strength of concrete but flying ash decreased two parameters. Compressive and flexural strength were decreased with increasing amount of pumice because of pumice was lightweight aggregate. Ultrasonic pulse velocity was increased both silica fume and flying ash because we had concentrated samples with them. Pumice decreased ultrasonic pulse velocity due to have porous structure. Since pumice aggregate had more water absorption capacity than normal aggregate, penetration of water to a sample increased with pumice. Silica fume and fly ash additives decreased penetration of water into sample.

**2011, 105 pages**

**Keywords:** Pumice, compressive strength, flexural strength, ultrasonic pulse velocity, penetration of water

## TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezinin her aşamasında çalışmalarına tecrübeleri ile yön veren, bilgisini, teşvik ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Rüstem GÜL'e teşekkürü borç bilirim.

Deneysel çalışma esnasında büyük yardım ve desteklerini gördüğüm Sayın Yrd. Doç. Dr. Seracettin ARASAN'a, Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL'e teşekkür ederim.

Destek ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen eşim Yasemin PEKDEMİR'e ve aileme minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa PEKDEMİR

Aralık 2011

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	i
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ivii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>3</b>
2.1. Hafif Agreganın Tanımı ve Hafif Agregalı Betonlar .....	3
2.2. Pomza Agregası .....	3
2.2.1. Pomza agregasının karakteristiği ve pomza agregalı betonların mekanik ve fiziksel özellikleri.....	12
2.3. Puzolanik Malzemelerin Tanımı ve Çeşitleri.....	23
2.3.1. Pomza agregalı betonların mekanik ve fiziksel özelliklerine yapay puzolanların etkileri. ....	26
2.3.2. Normal agregalı betonların mekanik ve fiziksel özelliklerine yapay puzolanların etkileri.....	36
<b>3. MATERYAL Ve YÖNTEM.....</b>	<b>45</b>
3.1. Materyal .....	45
3.1.1. Agregalar.....	45
3.1.2. Puzolanik katkılar .....	49
3.1.3. Çimento .....	50
3.1.4. Deneyleerde kullanılan aletler .....	50
3.2. Yöntem.....	54
3.2.1. Agregada deneylerinde uygulanan yöntemler .....	54
3.2.2. Kullanılan malzemelerin ve numunelerin kodlanmasında kullanılan yöntem ..	58
3.2.3. Deneysel çalışmanın parametrelerinin oluşturulması .....	58
3.2.4. Beton karışım seçeneklerinin belirlenmesi .....	59
3.2.5. Karışım oranlarının belirlenmesi.....	60
3.2.6. Beton üretimi, numunelerin yerine konması ve bakımı .....	64

3.2.7. Taze beton deneylerinde uygulanan yöntemler .....	65
3.2.8. Sertleşmiş beton deneylerinde uygulanan yöntemler.....	66
3.2.9. Sertleşmiş betonda birim hacim ağırlık tayini .....	66
3.2.10. Sertleşmiş betonda basınç dayanımı tayini .....	66
3.2.11. Sertleşmiş betonda eğilme dayanımı tayini .....	68
3.2.12. Sertleşmiş betonda ultrasonik ses geçirgenliği tayini .....	69
3.2.13 Sertleşmiş betonda basınç altında su işleme derinliğinin tayini .....	70
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA .....</b>	<b>72</b>
4.1. Taze ve Sertleşmiş Betonda Birim Ağırlık Tayini ve Taze Betonun İşlenebilirliği .....	72
4.2. Pomza İçeriği-Basınç Dayanımı İlişkisi.....	74
4.3. Pomza İçeriği-Basınç Altında Su İşleme Derinliği İlişkisi.....	75
4.4. Pomza İçeriği-Ultrasonik Ses Geçirgenliği İlişkisi.....	77
4.5. Pomza İçeriği-Eğilme Dayanımı İlişkisi.....	78
4.6. Puzolanik Katkı Miktarı -Basınç Dayanımı İlişkisi .....	79
4.7. Puzolanik Katkı Miktarı -Basınç Altında Su İşleme Derinliği İlişkisi .....	83
4.8. Puzolanik Katkı Miktarı-Ultrasonik Ses Geçirgenliği İlişkisi .....	86
4.9. Puzolanik Katkı Miktarı-Eğilme Dayanımı İlişkisi .....	90
<b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>	<b>95</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>98</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Pomza agregası örneğinin gözenekli yapısı.....	8
Şekil 2.2. Asidik (a) ve bazik (b) pomzanın genel görünümü.....	10
Şekil 3.1. Elek analizi yapılmış pomza agregasının görünüşü.....	46
Şekil 3.1. Elek analizi yapılmış normal agrega görünüşü.....	47
Şekil 3.3. Beton bileşiminde kullanılan agrega için granülometri eğrisi.....	48
Şekil 3.4. Beton bileşiminde kullanılan ortalama agrega için granülometri eğrisi.....	51
Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan betonyer görünüşü.....	52
Şekil 3.6. Prizma ve silindir kalıplar.....	52
Şekil 3.7. Basınç dayanımı ve eğilme dayanımı ölçmek için kullanılan pres makinaları .....	52
Şekil 3.8. Ultrasonik ses geçirgenlik ölçüm cihazı. ...	53
Şekil 3.9. Basıçlı su işleme derinliği aleti görünüşü. ...	53
Şekil 3.10. Basınç uygulanan numunenin şematik gösterimi ..	67
Şekil 3.11. a. Basınç dayanımı tayini için kükürtle başlıklanmaya hazır numuneler b. başlıklanmış numuneler. ....	67
Şekil 3.12. Eğilme dayanımında yük uygulanmış numunenin şematik görünümü .....	69
Şekil 3.13. Ultrasonik ses geçirgenliği ölçümünün şematik gösterimi ..	70
Şekil 3.14. Su işleme derinliği tespiti aletine konulmuş numuneler .....	71
Şekil 3.15. Su işleme yüksekliği ölçülmek üzere ikiye ayrılmış numuneler ..	71
Şekil 4.1. Pomza miktarı-birim hacim ağırlık ilişkisi .....	73
Şekil 4.2. a. Pres aletinin görünüşü b. Basınç dayanımı tayininde yük uygulanmış numune.....	75
Şekil 4.3. Pomza içeriği- basınç dayanımı ilişkisi .....	75
Şekil 4.4. a. Basınçlı suyun kılcal yollardan gidişi b. Basınçlı sudan dolayı çatlamış bir pomza içeriği yüksek numune .....	76
Şekil 4.5. Pomza içeriği- su işleme derinliği ilişkisi.....	76
Şekil 4.6. Beton numuneye ultrasonik ses geçirimsizlik deneyi uygulaması.....	77
Şekil 4.7. Pomza içeriği - ultrasonik geçirgenlik ilişkisi.. ..	78

Şekil 4.8. a. Eğilme dayanımı tayini için hazırlanmış numune b. Eğilme dayanımı ölçüm deneyi sonrası beton numune görünümü.....	79
Şekil 4.9. Pomza içeriği–eğilme dayanımı ilişkisi.....	79
Şekil 4.10. 5SD içerikli numunelerde basınç dayanımı değişimi .....	81
Şekil 4.11. 10SD içerikli numunelerde basınç dayanımı değişimi .....	81
Şekil 4.12. 15SD içerikli numunelerde basınç dayanımı değişimi. ....	82
Şekil 4.13. 5UK içerikli numunelerde basınç dayanımı değişimi.....	82
Şekil 4.14. 10UK içerikli numunelerde basınç dayanımı değişimi.....	83
Şekil 4.15. 15UK içerikli numunelerde basınç dayanımı değişimi.....	83
Şekil 4.16. SD içerikli numunelerde basınçlı su işleme derinliği değişimi .....	85
Şekil 4.17. UK içerikli numunelerde basınçlı su işleme derinliği değişimi.....	85
Şekil 4.18. 5SD içerikli numunelerde ultrasonik ses geçirgenlik değişimi.....	87
Şekil 4.19. 10SD içerikli numunelerde ultrasonik ses geçirgenlik değişimi .....	88
Şekil 4.20. 15SD içerikli numunelerde ultrasonik ses geçirgenlik değişimi .....	88
Şekil 4.21. 5UK içerikli numunelerde ultrasonik ses geçirgenlik değişimi.....	89
Şekil 4.22. 10UK içerikli numunelerde ultrasonik ses geçirgenlik değişimi.....	89
Şekil 4.23. 15UK içerikli numunelerde ultrasonik ses geçirgenlik değişimi.....	90
Şekil 4.24. 5SD içerikli numunelerde eğilme dayanımı değişimi.....	91
Şekil 4.25. 10SD içerikli numunelerde eğilme dayanımı değişimi.....	92
Şekil 4.26. 15SD içerikli numunelerde eğilme dayanımı değişimi.....	92
Şekil 4.27. 5UK içerikli numunelerde eğilme dayanımı değişimi .....	93
Şekil 4.28. 10UK içerikli numunelerde eğilme dayanımı değişimi.....	93
Şekil 4.29. 15UK içerikli numunelerde eğilme dayanımı değişimi.....	94

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Dünya pomza rezerv dağılımı.....	6
Çizelge 2.2. Türkiye’deki pomza rezervinin bölgelere göre dağılımı .....	7
Çizelge 2.3. Türkiye pomza yataklarının rezerv miktarları ve kategorileri. ....	7
Çizelge 2.4. Pomzanın fiziksel ve kimyasal özellikleri .. .....	8
Çizelge 2.5. Mohs cetveli .....	9
Çizelge 2.6. Asidik ve bazik pomzaların genel kimyasal özellikleri .. .....	10
Çizelge 2.7. Dünya’da pomza tüketimi ve Türkiye’nin Dünya pomza endüstrisindeki yeri.....	11
Çizelge 3.1. Beton bileşiminde kullanılan agregalar için elek analizi sonuçları.....	46
Çizelge 3.2. Pomza- normal agrega karışım elekten geçen yüzde miktarları .....	47
Çizelge 3.3. Pasinler pomzasının fiziksel ve kimyasal özellikleri. ....	48
Çizelge 3.4. Kullanılan agregaların tane yoğunluğu ve su emme değerleri.....	49
Çizelge 3.5. Puzolanik katkıların karakteristik özellikleri. ....	50
Çizelge 3.6. Aşkale CEM-I 42,5 çimentosu özellikleri . ....	50
Çizelge 3.7. Numune seri ve grupları .....	59
Çizelge 3.8. Beton karışım oranları . ....	63
Çizelge 4.1. Silis dumanı içeriğine göre basınç dayanımı değişimi . ....	80
Çizelge 4.2.Uçucu kül içeriğine göre basınç dayanımı değişimi. ....	82
Çizelge 4.3. Silis dumanı içeriğine göre basınç altında su işleme derinliği değişimi. ....	84
Çizelge 4.4. Uçucu kül içeriğine göre basınç altında su işleme derinliği değişimi. ....	85
Çizelge 4.5. Silis dumanı içeriğine göre ultrasonik ses geçirgenlik değişimi.....	87
Çizelge 4.6. Uçucu kül içeriğine göre ultrasonik ses geçirgenlik değişimi .....	88
Çizelge 4.7. Silis dumanı içeriğine göre eğilme dayanımı değişimi.....	91
Çizelge 4.8. Uçucu kül içeriğine göre eğilme dayanımı değişimi .....	92

## 1. GİRİŞ

Bir yapı boyutlandırılırken, göz önünde bulundurulması gereken en önemli üç şart emniyet, ekonomi ve estetikdir. Boyutlandırmanın iyi yapılmış olmasında yapının sabit yükünün azaltılması ve bu sayede de taşıyıcı elemanların boyutlarının küçültülmesi önemli bir faktördür.

Genel itibarıyla hafif betonlar birim ağırlıkları  $2000 \text{ kg/m}^3$ 'ten az olan betonlardır. Hafif betonlar, üretilirken kullanılan hafif agregalara göre gruplandırılabilirler gibi, birim ağırlıkları ve dayanımlarına göre de gruplanabilmektedirler.

Birim ağırlıkları ve dayanımlarına göre şöyle sınıflandırılırlar:

- Yalıtım betonları: Birim ağırlıkları  $700-1400 \text{ kg/m}^3$  arasında ve basınç dayanımları  $100 \text{ kgf/cm}^2$ 'den küçük olan betonlardır.
- Yarı taşıyıcı hafif betonlar: Birim ağırlıkları  $1400-1600 \text{ kg/m}^3$  arasında ve basınç dayanımları  $100-150 \text{ kgf/cm}^2$  arasında olan betonlardır.
- Taşıyıcı hafif betonlar: Birim ağırlıkları ortalama olarak  $1850 \text{ kg/m}^3$  ve basınç dayanımları  $170 \text{ kgf/cm}^2$ 'den büyük olan betonlardır.

Beton üretiminde hafif agrega kullanımı önemli bir yer tutmaktadır. Hafif agrega, su, çimento ve gerektiğinde katkı maddeleri ile karıştırılarak hafif beton imalinde kullanılan, gevşek birim ağırlığının en büyük değeri  $1200 \text{ kg/m}^3$ 'ü aşmayan, kırılmış veya kırılmamış gözenekli inorganik agregadır.

Orjinlerine göre hafif agregaları iki grupta toplayabiliriz;

- Doğal hafif agrega; meydana gelişleri sırasında gözenekli bir yapı kazanmış bulunan, tuf, bims (pomza), lav cürufu, diatomit v.b. agregalardır.
- Suni hafif agrega; yüksek fırın cürufu, kil, uçucu kül, kuvarsit, genleştirilmiş perlit, obsidyen, açılmış vermikülit, genişletilmiş şist, genişletilmiş arduvaz v.b. agregalardır.

Pomza agregası da bu hafif agregalardan sadece bir tanesidir. Türkiye’de Nevşehir, Van, Kayseri, Erzurum’da (Pasinler’de) pomza rezervleri bulunmaktadır. Çalışmada Erzurum (Pasinler Bölgesi)’nden elde edilen pomza agregası ve yapay puzolanlar olarak ise uçucu kül, silis dumanı ve normal agrega kullanılmıştır. Yapılan deneylerle pomzanın, kontrol betonuna göre betona etkileri ve yapay puzolanların kontrol betonuna göre etkileri araştırılmıştır.

Çalışma beş ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümünde konuyla alakalı özet bilgiler verilmiş ve hafif betonun önemi belirtilerek kullanılan malzemenin genel özelliklerinden bahsedilmiştir. İkinci bölümde çeşitli türde pomza agregasının karakteristik özellikleri ve hafif beton üretiminde kullanılabilirliği, pomza agregası, normal agrega, silis dumanı ve uçucu kül kullanılarak yürütülmüş literatür özetleri bulunmaktadır. Üçüncü bölümde çalışmamızda kullanılan malzemeler ve deneysel çalışma yöntemleri anlatılmıştır. Dördüncü bölümde numunelerin taze ve sertleşmiş birim ağırlık deneyleri, sertleşmiş betonlara uygulanan basınç dayanımı deneyi, eğilme dayanımı deneyi, ultrasonik ses geçirgenlik deneyi ve basınçlı su işleme deneyinin Türk Standartları’na göre sonuçları incelenmiş, çizelge ve grafikler yardımıyla yorumlanmıştır. Beşinci bölümde ise yapılan araştırma ve deneyler sonucu elde edilen değerler irdelenmiş ve öneriler sunulmuştur.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Hafif Agregalar ve Hafif Agregalı Betonlar

Hafif agregadan üretilen betonun, düşük yoğunluğu, ısı yalıtımı, yangına karşı dayanımı, ısı şoku dayanımı ve deformasyonla ilgili özellikleri önemli avantajları olmaktadır (Öz 2007).

Kum ve çakıl agregaları ile yapılmış normal betonların birim hacim ağırlıkları 2000–2600 kg/m<sup>3</sup> civarındadır. Beton yapımında kullanılan kum, çakıl veya çimentonun bir kısmı beton yapısında hava boşlukları meydana getirdiği için geleneksel agregalar yerine hafif ve çok hafif agregalar kullanıldığında betonun hacim ağırlığı azaltılabilmektedir. Bu yolla üretilen kuru birim hacim ağırlığı 2000 kg/m<sup>3</sup>'ten düşük olan betonlar, hafif beton olarak adlandırılmaktadır. Kuru birim hacim ağırlığı 800 kg/m<sup>3</sup>'ten düşük betonların yapım yöntemleri, kullanım koşulları ve alanları farklı olduğundan, çok hafif betonlar olarak adlandırılır.

Bu bölümde teknik literatürde yer alan çalışmalar; pomza agregasının karakteristiği, pomza agregalı betonların fiziksel ve mekanik özellikleri, pomza agregalı betonların fiziksel ve mekanik özelliklerine yapay puzolanik katkıların etkisi, normal agregalı betonların fiziksel ve mekanik özelliklerine yapay puzolanik katkıların etkisi olmak üzere dört ayrı bölümde özetlenmiştir.

### 2.2. Pomza Agregası

a. Pomzanın tanımı ve tarihçesi: Pomza, yeni olmamakla beraber, ülkemiz endüstrisine son yıllarda girmeye başlamış ve değeri yeni anlaşılan volkanik kökenli bir kayaç türüdür. Pomza (ponza) terimi İtalyanca bir sözcüktür. Değişik dillerde farklı sözcüklerle adlandırılmaktadır. Örneğin; Fransızca'da ponce, İngilizce'de (iri taneli olanına) pumice, (ince tanelisine) pumicite, Almanca'da (iri tanelisine) bims, (ince

tanelisine) birstein adı verilmektedir. Türkçe'de ise süngertaşı, köpüktaşı, hışırtaşı, nasırtaşı, küvek, kisir gibi adlarla anılmaktadır. Diğer dillerin ve teknoloji ithalinin etkisiyle Türkçe'ye pomza, ponza, bims, pümis ve pümisit terimleri olarak yerleşmiştir (Anonim 1995).

TS standartlarında pomza; birbirine bağlantısız boşluklu, sünger görünümlü, silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genelde  $1 \text{ gr/cm}^3$ 'ten az, camsı dokulu ve sertliği Mohs skalasına göre yaklaşık 6 olan volkanik bir madde olarak tanımlanır (Sağın ve Demir 2005).

Bims taşı, endüstriyel kullanım açısından tanımlandığında; boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar neticesinde oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, zararsız, uzun ömürlü, ısı ve ses yalıtım özelliği sağlayan, yüksek sıcaklıklara dayanıklı, camsı bir yapıya sahip volkanik bir kayadır. Başka bir ifadeyle, bims agregasına yüksek poroziteye sahip volkanik taş camı da denilmektedir (Anonim 2006).

Pomza taneleri köşeli ve yuvarlak olabilir. Tane büyüklükleri arasında farklılıklar söz konusudur. Taneler büyüdükçe özgül ağırlık azalmaktadır. Tane boyutları arttıkça gözenek yüzdesi de artmaktadır (Karabay 2006).

İnşaat, tekstil, tarım, kimya ve diğer endüstriyel ve teknolojik alanlarda hammadde olarak kullanılan pomzanın tarihi çok eskilere dayanmaktadır. M.Ö. 1.yüzyılda Vitruvio'ya ait mimari özette pomza taşından bahsedilmektedir. Vitruvio, yığınları sudan hafif bu nedenle de yüzücü olarak tanımlamaktadır. Ayrıca suyu emmediğini ve hijyenik olduğunu da belirtilmektedir. Eski Romalılar zamanında pomza taşı çoğunlukla termal banyoların ve tapınakların yapımında kullanılmıştır. Bu dönemlere ait en belirgin örnekler Roma Pantheon'u ve İstanbul'daki Ayasofya Müzesi'dir. Almanya'da ise 1800'lü yıllarda Rhinenland şehrinde kullanılmaya başlanmıştır. Avrupa genelinde ise, pomza taşına ilgi gösterilmemiştir. A.B.D.'de ise pomza taşının yapı malzemesi olarak kullanılması 18. yüzyılın ortalarında Kaliforniya'da başlamıştır. Sektördeki en büyük üretici ve kullanıcılardan olan A.B.D.'de sağlanmış pomza Kaliforniya'da 1851

yılından beri inşaatlarda kullanılmaktadır. Bu tarihten 1963 yılına kadar yerli pomza endüstrisi 15 eyalette 103 işletmeye kadar genişlemiştir. Pomza çimento ile karıştırılarak Los Angeles su kemerinin yapımında kullanılmıştır. Puzolanik aktivitesinin yüksek olusu sebebiyle puzolan ve Portland çimentosu ile karıştırılarak Kaliforniya'daki Friant ve Pardee barajlarında, su kanallarında, Oklahama'daki Altus baraj gövde inşaatında kullanılmıştır (Anonim 2005).

b. Pomzanın oluşumu ve jeolojisi: Pomza volkanik bir kayadır, yani volkanik aktivite sonucu oluşmuştur. Yerkabuğunun derinliklerinde bazaltın kısmi erimesiyle oluşan magma, volkanik aktivite sonucunda toz boyuttan büyük boyutlardaki bloklara kadar değişen ebatlarda dışarı atılır. Bu malzeme, volkanın yakın bölgesinden başlayarak rüzgârların da etkisiyle birkaç yüz km uzaklığa kadar düşebilir. Genel olarak iri taneliler yakına, ince taneliler daha uzaklara düşer. Volkanik patlama sonucu yüzeye ulaşan magma ani soğumaya maruz kalır. Bu ani soğuma gözenekli, süngerimsi bir yapı oluşturarak pomzayı meydana getirir (Kuşçu 2001).

c. Pomza rezervleri : Dünya pomza rezervleri; Dünya'da en büyük pomza rezervine sahip veya büyük pomza üreticisi ülkeler A.B.D., Almanya, İtalya, Yunanistan, İzlanda, Türkiye ve Yeni Zelanda'dır. Volkanik kaynaklı üretimler İtalya ekonomisinde oldukça önemli bir yer tutmaktadır. En önemli ticari pomza yatağı Lipari adasında işletilmektedir. Dünyanın en büyük üreticilerinden olan Yunanistan da pomza madenciliği uzun bir tarihe sahiptir. Birçok volkanik oluşumlarda pomzalı materyaller gözlenmesine karşılık büyük oluşum ve rezervler Yali ve Thera adasında bulunmaktadır. Almanya pomza ticaretine uzun yıllar önce başlamış, bugüne kadar sürdürmüştür. Almanya'da pomza Ren bölgesi ve Neuwied kasabasının bir kaç km batısındaki pomza yataklarından sağlanmaktadır. Batı tüketiminin liderliğini de yapmakta olan ABD'nin batı eyaletlerindeki volkanik faaliyetler, doğu eyaletlerinden fazla olduğundan toplam pomza üretiminin büyük kısmı tamamen dört batı eyaletinde gerçekleştirilmektedir. Bunlar Kaliforniya, Idaho, New Mexico ve Oregon'dur. Yeni Zelanda'nın en büyük pomza üreten bölgesi Kuzey Adasının Rotorua Taupo bölgesindeki riyolitik volkanik kayaların bulunduğu yerlerdir. Ticari nitelikteki



materyal Auckland'ın hemen güneyinde bulunan The Waikato River'in altından tarakla taranarak çıkarılmaktadır. Bu şekilde çıkan malzemenin üçte ikisi kum ve üçte bir pomza olup, pomza eleme ve yoğunluk ayırma yolu ile kumdan ayrılmaktadır. Wanganui, Hamilton, Taurand ve Güney Auckland'da birçok işleyen ocak vardır. Dünya pomza rezerv dağılımı Çizelge 2.1'de verilmiştir (Anonim 1996).

**Çizelge 2.1.** Dünya pomza rezerv dağılımı (DPT 1996)

		Milyon ( ton)
Kuzey Amerika	A.B.D	11500
	Diğerleri	500
	Toplam	12000
İzlanda	Dominik	25
	Guadelouphe	15
	Guatemala	25
	Diğerleri	15
	Toplam	30
Avrupa	Yunanistan	500
	İtalya	2000
	Türkiye	2836
	Toplam	5336
Okyanusya	Okyanusya	500
Güney Amerika	Şili	60
	Diğer	20
	Toplam	80
Dünya Toplamı		17996

Türkiye pomza rezervleri: Ülkemiz pomza rezervleri açısından oldukça önemli bir potansiyele sahiptir. Araştırılmış alanlarda yaklaşık 3 milyar m<sup>3</sup> pomza rezervi olduğu tahmin edilmektedir. Pomza rezervlerinin İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde yoğunlaşmış olmasına karşılık, Akdeniz ve Ege bölgelerinde de pomza rezervlerine rastlanmakta ve üretim faaliyetleri görülmektedir. M.T.A. Genel Müdürlüğü'nce ülke çapında yapılan pomza ile ilgili detay jeolojik etüt çalışmalarından elde edilen verilere göre, ülkemizde varlığı bilinen pomza yatakları ve bunların rezerv durumları aşağıda Çizelge 2.2'de verilmiştir. Çizelge 2.3'te ise Türkiye pomza yataklarının rezerv miktarları ve kategorileri verilmiştir.

**Çizelge 2.2.** Türkiye’deki pomza rezervinin bölgelere göre dağılımı

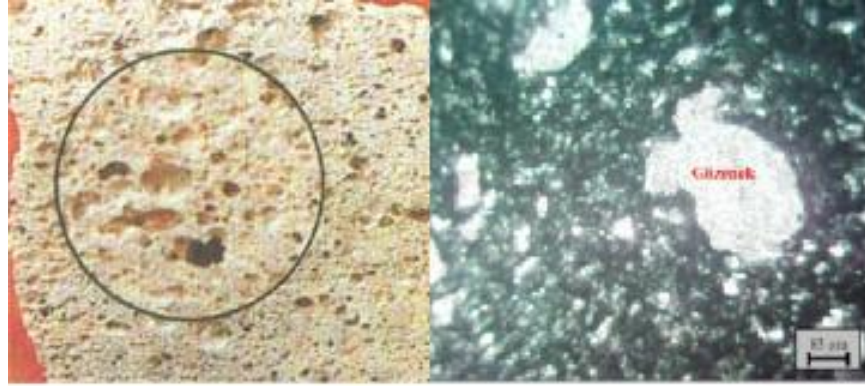
Bölgeler	Rezerv		İşletme	
	Miktarı	%	Sayısı	%
Doğu Anadolu	1.369.012.000	56	18	18
İç Anadolu	1.057.893.334	43	50	50
Diğer	30.983.250	1	32	32

**Çizelge 2.3.** Türkiye pomza yataklarının rezerv miktarları ve kategorileri (Gündüz vd.1998 )

Yer	Rezerv miktarı (m <sup>3</sup> )	Rezerv kategorisi
Nevşehir- Avanos- Ürgüp	404 412 834	A+B
Derinkuyu	48 660 500	C
Kayseri- Gömeç	13 250 0000	A+B
Kayseri- Develi	58 500 000	A+B
Kayseri-Talas- Tomarza	241 000 000	A
Kayseri-Talas- Tomarza	284 000 000	B
Bitlis- Tatvan	1 100 000 000	A+B
Bitlis- Ahlat	210 000 000	A+B
Van- Erciş- Kocapınar	154 625 000	A+B
Van- Mollakasım	5 950 000	A+B
Ağrı- Patnos	27 812 000	A+B
Ağrı- Doğubayazıt	26 875 000	A+B
Kars- İğdir- Kavaktepe	40 156 250	B
Kars- Digor	11 718 750	B
Kars- Sarıkamış	1 875 000	B
Ankara- Gündül –Tekköy	8 070 000	A+B
Isparta- Gölcük	30 983 250	A+B
Erzincan	9 989 450	....

A: Görünür Rezerv, B: Muhtemel Rezerv, C: Mümkün Rezerv

d. Pomzanın fiziksel ve kimyasal özellikleri: Pomza çok kırılmandır. Öğütme sırasında camsı olup, midye kabuğu şeklinde kırılmaktadır. Pomza çöktükten sonra tekrar dağılılabılır. Fakat sonuçta tabakalaşır ve pekişir. Pomza yarı değişken bir madde olarak aşınmaya uğrayabilir ve iri taneli kile dönüşür (Tuncer 1997). Pomzada gözenekler, çoğunlukla birbiriyle bağlantılı değildir. İçerdiği gözenekler gözle görülebilen boyutlardan mikroskobik boyutlara kadar sayısız miktarda olup, her biri diğerinden camsı bir zarla yalıtılmıştır. Bu yüzden hafif, suda uzun süre yüzebilen, izolasyonu yüksek bir kayadır (Kabaş 2007).



**Şekil 2.1.** Pomza agregası örneğinin gözenekli yapısı (Ceylan 2005)

Pomza, kendisine özgü bazı özellikleri ile perlit, obsidyen, pekstayn gibi benzer volkanik camsı kayalardan ayrılır. Bunlardan rengi, gözenekliliği ve kristal suyunun olmaması ile pratik olarak ayrılmaktadır. En çok renk benzerliği ve kimyasal bileşimi bakımından perlit ile karıştırılmakta olup, bazı durumlarda perlitte ayırt edilmesi zorlaşabilmektedir. Pomzalı perlit/pomzatik perlit veya perlitik pomza olarak adlandırılabilen geçişli kayalarda petrografik analizle ve gözenek yapısı itibariyle ayrılabilir (Anonim 1996). Çizelge 2.4'te pomza agregasının fiziksel ve kimyasal özellikleri gösterilmiştir.

**Çizelge 2.4.** Pomzanın genel fiziksel ve kimyasal özellikleri

Fiziksel özellikleri		Kimyasal Özellikler		Kimyasal bileşimi (%)	
Sertlik (MOHS)	5,5-6,0	pH	7-7,3	SiO <sub>2</sub>	60-75
K.B Hacim Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	0,32-0,97	Radioaktivite	Yok	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13-15
Gerçek Özgül Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	2,15-2,65	Suda çözünen madde (Ağırlıkça %)	≤0,15	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1-3
Porozite (%)	45-90	Asitte çözünen madde (Ağırlıkça %)	≤2,9	CaO	1-2
Rötre ( mm/m)	<1	Uçucu madde (Ağırlıkça %)	Yok	MgO	1-2
Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0,08-0,20	Asitlerle etkileşim (*)	İnert	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	7-8
Isınma Isısı (cal /gr.°C)	0,24-0,28	Alevlenme derecesi(°C)	Yok	TiO <sub>2</sub>	Eser
Ses Yalıtımı (dB)	40-55	Ergime derecesi (°C)	>900	SO <sub>3</sub>	Eser
Su Emme (Ağırlıkça %)	30-70				
Buhar Difüzyon Katsayısı	5-10				
Kristal Şekli	Amorf				

Minerallerin çizilmeye karşı gösterdikleri direnç sertlik olarak bilinmektedir. Dolayısıyla sertlik mineralin çizilebilirlik özelliği olarak da adlandırılabilir. Minerallerin sertliği doğrudan kristal yapıları ve atomlar arasındaki bağ kuvvetleri ile ilintilidir. Bağ kuvvetleri arttıkça minerallerin sertliği de artmaktadır. Sertlik bağıl bir kavram olup, sertlik derecesinin saptanması sertliği bilinen bir mineral veya çakı, iğne vb malzemelerle deneme yoluyla yapılır. Bunun için en yaygın olarak kullanılan skala Çizelge 2.5'te verilen Mohs'un geliştirdiği çizelgedir. Apatit'i çizip kuvars ile çizilen bir mineralin Mohs skalasına göre sertliği 6'dır (Anonim 2005).

**Çizelge 2.5.** Mohs cetveli

	Sertlik									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Talk	Jips	Kalsit	Fluorit	Apatit	Ortoz	Kuvars	Topaz	Korund	Elmas
Mutlak Sertlik	1	2	9	21	48	72	100	200	400	1500

Kayacın içerdiği  $\text{SiO}_2$  oranı, kayaca abrasif (aşındırıcı) özellik kazandırmaktadır. Bu yüzden çeliği bile rahatlıkla aşındırabilecek bir kimyasal yapı sergileyebilir.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bileşimi ise ateşe ve ısıya yüksek dayanım özelliği kazandırır.  $\text{Na}_2\text{O}$  ve  $\text{K}_2\text{O}$  tekstil sanayinde reaksiyon özellikleri veren bileşimler olarak bilinmektedir.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  pomzanın sertliğini düşürür. Tuf ve yabancı maddelerin pomza bünyesine girmesi kaliteyi düşürür (Özkan ve Tuncer 2001).  $\text{Na}_2\text{O}$  ve  $\text{K}_2\text{O}$  tekstil sanayinde reaksiyon özellikleri veren mineraller olarak bilinmektedirler (Erdoğan 2007). En yaygın olarak bilinen sınıflandırma,  $\text{SiO}_2$  içeriğine göre olan sınıflandırmadır. Bu sınıflamada esas olarak irdelenen, kayaç yapısındaki silika içeriğidir, magmadan oluşmuş kayalarda  $\text{SiO}_2$  oranı %35-%80 arasında değişim göstermektedir (Gündüz vd. 2001). Asidik ve bazik volkanik faaliyetler neticesinde iki tür pomza oluşmaktadır. Bunlar asidik pomza ve bazik pomzadır (Erdoğan 2007). Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan türü olan asidik pomza beyaz, kirli renkte olanıdır (Köse vd. 1997).

Asidik pomza: Asidik karakterli pomzalarda silis oranı daha yüksek olması asidik pomzaya aşındırıcılık özelliği katıp beyazımsı bir renk almasını sağlamaktadır. Düşük yoğunluklu asidik pomza bu özelliklerden dolayı, inşaat sektöründe yaygın kullanım alanı bulabilmektedir. Asidik pomza, beyaz, kirli görünümde ve grimsi beyaz renkte olup yoğunluğu bazik pomzadan hafif özgül ağırlığı 0,5-1 civarındadır. Silisyum, alüminyum, potasyum ve sodyum ihtiva eder ve bu bileşimler nedeniyle açık renkli görünüm sergilemektedirler (Erdoğan 2007). Asidik karakterli pomzalarda silis oranı daha yüksek olması asidik pomzaya aşındırıcılık özelliği katar (Köse vd. 1997).

Bazik pomza (Scoria): Bazik karakterli pomzalarda alüminyum, demir kalsiyum ve magnezyum bileşenleri daha yüksek oranlarda bulunması nedeniyle yoğunluğu daha ağır rengi ise daha koyu renkli, kahverengimsi, siyahımsı bir yapı göstermektedir. Bu pomza türü de daha yüksek mukavemet isteyen inşaat sahalarında yer döşemelerinde yapısal özelliklerinden dolayı oldukça kullanılabilir bir özellik göstermektedir. Özgül ağırlığı 1-2 civarındadır (Erdoğan 2007).



(a)

(b)

**Şekil 2.2.** Asidik (a) ve bazik (b) pomzanın genel görünümü (Erdoğan 2007)

**Çizelge 2.6.** Asidik ve bazik pomzaların genel kimyasal özellikleri (Gündüz vd. 1998)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	Diğerleri
Asidik Pomza (%)	70	14	2.5	0,9	0,6	9	3
Bazik Pomza (%)	45	21	7	11	7	8	1

e. Pomzanın kullanım alanları ve inşaat sektöründe pomza kullanımı: Pomza kullanımında bir artış gözlenmekte olup bu artışın hızlanarak devam edeceği tahmin edilmektedir. Pomzanın kullanım alanları inşaat, tekstil, tarım, kimya ve diğer endüstri alanları olarak gruplanabilir. İnşaat sektöründe; hafif yapı elemanlarının üretiminde, prefabrik yapı elemanlarının üretiminde, hafif beton üretiminde, izolasyon amaçlı çatı ve döşeme dolgu malzemesi olarak, hafif hazır sıva ve harç üretiminde, çatı ve dekoratif kaplama elemanı üretiminde kullanılmaktadır.

**Çizelge 2.7.** Dünya’da pomza tüketimi ve Türkiye’nin pomza endüstrisindeki yeri

	İnşaat Sektörü	Tekstil Sektörü	Ziraat Sektörü	Kimya Sektörü	Diğer Sektörler
Dünya pomza tüketimi (%)	74	5	5	6	10
Dünya’da Türkiye’nin payı (%)	9	61	6	5	19

Pomza, ülkemizde ve dünyada geniş anlamda inşaat sanayinde kullanılmaktadır. Ülkemizde üretilen pomzanın %80’i iç piyasada inşaat endüstrisinde hafif beton agregası olarak tüketilmektedir. Pomza, perlitin kullanıldığı alanların genellikle tümünde kullanılmaktadır. Pomza normal kum ve çakılın 1/3-2/3’ü kadar yoğunluğa sahiptir. Aynı durum pomza ile yapılan betonlarda da görülür. Pomza betonu normal betondan hafif olması sebebiyle zaman ve işçilikten tasarruf sağlamaktadır.

Ayrıca zemin mekaniği açısından, temele iletilen yükler dikkate alındığında %17 civarında inşaat demirinden tasarruf sağlar. Pomzanın ısı iletkenlik katsayısı dikkate alındığında, normal betondan 6 kat daha fazla izolasyon sağladığı tespit edilmiştir. Bu özelliğinden dolayı yaşam ve iş mekânlarında kullanımı ile büyük çapta enerji tasarrufu sağlamaktadır. Pomzalı betonun normal betona kıyasla önemli bir avantajı da deprem yüklerine karşı daha elastik davranış gösterebilmesidir. Ayrıca pomzalı beton ve yapı elemanları dondan daha az etkilenmektedir.

Konutlarda hafif veya yarı hafif beton kullanmakla, enerji yönünden kazanç sağlanmaktadır. Konutlarda kullanılacak hafif agregalı taşıyıcı betonlar ses yutuculuğu bakımından daha iyi sonuçlar verebilmektedir. Konut yapımı için kurulabilecek

prefabrik elemanların üretilmesiyle ısı tasarrufu yönünden büyük yararlar sağlayabileceği gibi hafif beton yapı elemanlarının sağlayacağı ekonomi yanında, kendi ağırlığının azalması dolayısıyla deprem kuşağında bulunan yörelerde kullanımının yaygın olduğu görülmektedir.

Günümüzde malzemelerin teknik olarak daha fazla yüke mukavemetli ve emniyetli olmasının yanı sıra hafif olma özelliği de aranmaktadır. Bu aranan şartlar hafif doğal agregaların içerisinde pomzadan mamul edilen inşaat elemanlarında mevcut olduğu tespit edilmiştir. Pomza hammaddesi, inşaat sektöründe birçok ustun vasıflardan dolayı kullanmaya başlanmış olup, her geçen gün daha da artan miktarlarda kullanımı devam etmektedir. Pomza taşı ile hafif beton eldeki ve izolasyon yapı malzemesi oluşturulması ile ilgili karakteristik değişimler ve inşaat sektöründe hafif beton optimizasyonu için karışım parametrelerinin doğru olarak yapılması, maliyet ekonomisi açısından son derece önemli olmaktadır (Uğur 2003).

### **2.2.1. Pomza agregasının karakteristiği ve pomza agregalı betonların mekanik ve fiziksel özellikleri**

Son zamanlarda hafif agrega grubunda bulunan pomza yapı malzemesi olarak birçok avantaj sağlamasından dolayı giderek artan bir kullanım alanı bulmaktadır. Pomzanın avantajlarına baktığımızda doğal poroziteye sahip yapısı ve buna bağlı olarak bina yalıtımına sağladığı olumlu katkılar, boşluklu yapısından dolayı düşük özgül ağırlık ve bu özelliğiyle taşıyıcı elemanlar ve temeline giden yüklerin azaltılması böylece alan tasarrufu sağlaması gibi özelliklerdir.

Gündüz vd. (2006), Erzurum-Pasinler ve civarında oluşumu bulunan pomza örnekleri üzerinde yapılan bir araştırmanın bulgularına göre, inşaat sektöründe bu malzemelerin doğal hafif agrega veya yalıtım amaçlı hafif yapı elemanı olarak kullanılabilirliği için bilinmesi gereken teknik özellikler irdelenmiştir. Doğu Karadeniz bölgesinde yer alan illerde, bimsbetondan mamul boşluklu duvar bloklarının ısı yalıtımı amaçlı duvar

elemanları olarak kullanılabilceği ve ilave bir yalıtıma gereksinim duyulmaksızın binalarda uygulanabileceğini belirtmiştir.

Binici vd. (2007), Erzurum, Pasinler-Tımar ve Narman-Dazlak bölgelerinin pomzalarının mühendislik özellikleri araştırmışlardır. Pomzaların birim ağırlıklar, özgül ağırlıklar, ağırlıkça su emme kapasiteleri, hafif madde miktarı, Los Angeles aşınma miktarları, porozite ve granülometri eğrileri deneysel olarak belirlenmiştir. Pomza kullanılarak üretilen betonların 7, 28, 90 ve 180 günlük basınç dayanımlar test edilmiştir. Ele alınan her iki pomzanın çimento üretiminde kullanılmaya uygun olduğu görülmüştür. Dazlak pomzası ile üretilen betonların basınç dayanımlar standartlara uygun bulunmuştur. Tımar pomzası fazla dayanım gerektirmeyen işlerde ve briket ve bims üretiminde kullanılabilceği belirtilmiştir.

Şahin (1996), pomzanın hafif beton üretiminde kullanılabilirliği araştırmıştır. Bunun için pomza, karışımdaki toplam agrega hacmine oranla %25, %50, %75, %100 oranlarında normal agregaya katılarak, üç farklı çökme değeri daha sonra %75 normal ve %25 hafif agregalı karışımlarda dozaj 200, 300, 350, 400, 500 kg/m<sup>3</sup> şeklinde değiştirilerek dozajın betona etkisi belirlenmiştir. Buna ilaveten karışımda 300 kg/m<sup>3</sup> dozlu betonda karışıma hacimce değişik oranlarda puzolan katılarak pomzanın puzolanik özelliği araştırılmıştır. %25 ve %100 oranlarda pomza katılan karışımların tamamen normal agrega ile üretilen betonların birim ağırlıklarına göre %12 ve %41,5 oranlarında azaldığı görülmüştür. Ancak birim ağırlıktaki bu azalma ile mukavemetin de düştüğü görülmüştür. Sonuçta, pomzanın hem yalıtım hem de taşıyıcı olarak kullanılan hafif betonların üretiminde kullanılabilceği ve puzolanik özelliği olduğu ortaya çıkmıştır.

Şentürk vd. (1995), Isparta yöresi pomza taşının yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği üzerine farklı çimento kullanım dozajlarında değişik dane boyut fraksiyonlarına sahip beton karışımlarının basınç dayanım performansına etkileyen faktör ve parametreleri araştırmışlardır. Test edilen hafif agrega karışımlarının düşük basınç dayanımları sebebiyle, pomzanın yapı yük taşıyıcı eleman olarak kullanılamayacağı görülmüştür.



Yapılan incelemelerde, pomzanın çok gözenekli olması sebebiyle ses ve ısı izolasyonunda kullanılabilceği ve ayrıca normal taşlara göre daha sert olması nedeniyle de abrasif bir madde olarak da kullanılabilceği görülmüştür.

Köse vd. (1997), gözenekli ve camsı bir malzeme olan pomza taşının yapısı, özellikleri, kullanım alanları, Türkiye'deki rezervleri ve ekonomiye katkısı incelemiştir. Pomza taşı dünya ekonomisinde yeni olmamakla beraber, Doğu Anadolu Bölgesi Türkiye'deki pomza taşı rezervlerinin yaklaşık %55'ine sahip olduğu, fakat ihracattaki payı hemen hemen hiç olmadığı belirtilmiştir. Ülke çapında bimsblok kullanımının yaygınlaştırılması; ilk olarak reklam yoluyla ürünün halka tanıtılması, enerji tasarrufuna ve ulusal ekonomiye sağlayacağı faydalara dikkatin çekilmesi ve bilinçsiz bimsblok üretimine karşı devlet tarafından bir denetleme uygulanmasından geçmekte olduğu vurgulanmıştır.

Demir ve Orhan (2001), Afyon bölgesi killeri ile pomza kumu karışımının, tuğla üretiminde kullanım olanakları incelemiştir. Test sonuçları standart değerlerle karşılaştırılarak üretilen örneklerin inşaat sektörü açısından uygunluğu araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, pomza agregası artışı ile serisi örneklerde su emme oranının arttığı ve basınç mukavemetinin düştüğu saptanmıştır.

Gündüz vd. (2001), Dünya'nın değişik ülkelerinde ve Türkiye'de bulunan, farklı karakteristik özellikler sergileyen pomza oluşumlarının, yapısal, fiziksel ve kimyasal olarak incelemelerine yönelik yapılan bir çalışmanın özet bulgularını sundukları çalışmada Türkiye pomza oluşumları açısından, Orta Anadolu - Nevşehir bölgesinde yer alan pomza oluşumları genelde, riyoitik kayaç yapısında olup, Kayseri bölgesinde bulunan pomza oluşumları ise, dasidik kayaç yapısında bulunmakta ve Akdeniz bölgesinde özellikle Isparta bölgesinde bulunan oluşumlar ise, trakiandezit kayaç yapısında bulunmakta olduğu sonuçları çıkarılmıştır.

Şapcı vd. (2004), Karaman ve civarında oluşumu bulunan pomza örnekleri üzerinde yapılan bir araştırmanın bulgularına göre, inşaat sektöründe bu malzemelerin yapı hammaddesi olarak kullanılabilirliği için bilinmesi gereken teknik özellikleri incelemişlerdir. Türkiye'nin farklı yörelerinde bulunan pomza oluşumlarının, yapı sektöründe hafif agrega olarak kullanımı için gerekli spesifik değerler, bu çalışmada analiz edilmiştir. Karaman ve civarındaki pomza agrega oluşumlarının, birim ağırlık, su emme karakteristiği, basınç dayanım değerleri, ısı iletkenlik, ısı özellikleri, rötre değerleri ele alındığında, inşaat yapı endüstrisinde hafif beton, hafif yapı elemanı üretiminde önemli bir hammadde ve ısı-ses yalıtım malzemesi olarak kullanılabilceği belirlenmiştir.

Demir vd. (2004), tuğla üretiminde kullanılan kil hammaddesine bazik pomza katarak örneklere T.S.E. standartlarına göre testler uygulamış, test sonuçları standart değerlerle karşılaştırılarak üretilen örneklerin inşaat sektörü açısından uygunluğu araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda pomzanın yapı tuğlası üretiminde kullanılabilceği belirlenmiştir.

Tolğay vd. (2004), Nevşehir pomzasının jeolojik, fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri belirlenerek yapı malzemesi olarak hafif betonda kullanılabilirliği çalışmıştır. Beton örneklerinin test sonuçlarından pomzanın yapılar için uygun malzeme olduğu belirlenmiştir.

Ulus (2006), Türkiye'de geniş rezervleri bulunan pomzanın çimento üretiminde puzolanik katkı olarak kullanılabilirliği çalışmıştır. Üretilen çimentolar kontrol çimentolarına göre 7 ve 28 günde eğilme ve basınç dayanımında düşümlere neden olmakla birlikte, ilerleyen yaşlarda onlara çok yakın ya da onlardan daha yüksek değerler vermişlerdir. Sonuç olarak çalışma, Erzincan ve Nevşehir yöresi pomzalarının çimento üretiminde çimento ağırlığının maksimum %20'si oranında puzolanik katkı maddesi olarak kullanılabilceğini göstermiştir.

Cavaleri *et al.* (2003), pomza agregalı hafif betonun bazı özellikleri, bu malzemenin muhtemel yapısal kullanımını ele almıştır. Yapılan çalışmalarda pomzanın yapıda kullanmak için iyi bir alternatif olduğunu görülmüştür.

Köse (2006), Van-Erciş, Erzurum-Pasinler, Kars-Sarıkarnış, Kars-Digor, Ağrı-Patnos ve Ağrı Doğubayazıt pomzalarının sulama açısından bazı özellikleri incelenmiştir. Sonuçta, belirlenen özelliklerin tane büyüklüklerine göre değişim gösterdiği, aynı zamanda yöreler arasında da farklılıklar olduğu gözlenmiştir.

Özkan ve Tuncer (2001), sertliği 5-6 ve özgül ağırlığı 1-2 gr/cm<sup>3</sup> olan pomza, makro ölçekten mikro ölçeye kadar birçok gözenek içermekte ve gözenekler arası genellikle bağlantısız boşluklu olduğundan geçirgenliği düşük, ısı, ses yalıtımı oldukça yüksek olduğunu belirtmiştir. Ülkemiz ekonomisindeki yeri ve önemi günden güne daha da artan pomzanın bir endüstriyel hammadde olarak tanıtılarak, bilim ve endüstrinin pomza madenciliği ve üretim proseslerine olan ilgisinin artırılması amaçlanmıştır.

Yazıcıoğlu vd. (2003), gözenekli ve camsı bir malzeme olan pomza taşının yapısı, özellikleri, kullanım alanları, Türkiye'deki rezervleri ve ekonomiye katkısı incelemiştir. Pomza taşı dünya ekonomisinde yeni olmamakla beraber, Türkiye endüstrisine son yıllarda girmeye başlamış volkanik kökenli bir malzemedir. Kullanım alanı çok geniş olan pomza taşının dünyadaki rezervlerinin yaklaşık 1/7'si Türkiye'de olmasına karşın bu potansiyel yeterince değerlendirilememektedir. Doğu Anadolu Bölgesi Türkiye'deki pomza taşı rezervlerinin yaklaşık %55'ine sahiptir, fakat ihracattaki payı hemen hemen hiç yoktur. Gerekli tedbirler alınarak Doğu Anadolu Bölgesi için yeni gelir kaynakları sağlanabilir. Elde edilen veriler ışığında alınması gereken önlemler sonuç kısmında sunulmuştur.

Türkel ve Kadıroğlu (2007), Kayseri bölgesine ait pomza agregası kullanılarak taşıyıcı amaçlı hafif betonlar üretmiştir. Hafif beton karışımlarında bağlayıcı madde olarak CEM-I 42,5 çimentosu ve mineral katkı olarak silis dumanı ve uçucu kül kullanılmıştır.

Hafif betonlar üzerinde taze durumda çökme, birim hacim ağırlık ve hava içeriği deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sertleşmiş hafif betonların ise basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve yarmada çekme dayanımı belirlenmiştir. Test edilen sonuçlar, pomza agregası kullanılarak ACI 213R-87'de taşıyıcı hafif betonlar için belirtilen 17,2 MPa dayanım değerinin oldukça üzerinde dayanım değerine sahip taşıyıcı hafif betonlar üretilebileceğini göstermiştir.

Sancak vd. (2005), Türkiye'nin artan konut ihtiyacının karşılanmasında birim ağırlık düşük olan bimsbetonların kullanılabilirliği araştırmıştır. Bims agregası ile üretilen taşıyıcı bimsbeton ve normal yoğun agrega ile üretilen normal betonların, 7, 28, 90 günlük basınç dayanımları araştırılmıştır. Sonuç olarak; bimsbetonların birim ağırlıkları, normal betonlara göre %23 daha düşüktür. Bimsbetonlarda, 430 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajı ile 28. günde 24 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. Konut üretiminde, taşıyıcı beton olarak bims agregası ile üretilen bimsbetonlar, basınç dayanımları arttırılarak kullanılabilir.

Sağın ve Demir (2005), Isparta yöresi pomza agregası kullanarak yaptıkları çalışmada, bağlayıcı olarak sönmüş kireç ve alçı ile çimento kullanmışlardır. Ayrıca su ve otoklav kürünün beton numunelere etkisi araştırmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda pomzanın içerisine belli oranda ince ve iri malzeme birlikte kullanılarak kireç bağlayıcı ile üretilen örneklerin karkas yapılarda bölme ve dolgu duvarlarda, ayrıca yük taşıyan yığma yapı duvarlarda kullanılabilirliği belirlenmiştir. Çimento bağlayıcı kullanılan serilerde nispeten daha yüksek dayanımlar elde edilmiştir. Otoklav kür işleminin kür süresini belirgin biçimde düşürdüğü ve endüstriyel seri üretim için uygun olduğu belirlenmiştir.

Şahin *et al.* (2003), pomza agregası ve normal agregadan meydana gelen betonun basınç dayanımını araştırmıştır. Pomza agregasının oranını belirlemek için normal agreganın yerine hacimce 25%, 50%, 75%, 100% oranında pomza, 200, 300, 350, 400, 500 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajı ve 3±1, 5±1, 7±1 slumplar bu çalışmada kullanılmıştır. Test analizinin sonuçları pomza agregasının betonun yoğunluğunu 41,5%'e kadar azalttığını

ve azalmanın karışımda pomza oranının artmasından meydana geldiği çıkarımına yol açmıştır. Çimento dozajının artması ile betonun yoğunluk ve basınç dayanımı sırasıyla 3,2% ve 265%'a kadar artmıştır. Elastisite modülü pomza agregasının artması ile azaldığı ve çimento dozajının artması ile arttığı ve çimento dozajının artması ile su emme arttığı görülmüştür.

Uysal *et al.* (2003), pomza agregası ve normal agregadan meydana gelen betonun ısı iletkenlik katsayısı ölçüldü. Pomza agregasının oranını belirlemek normal agreganın yerine hacimce 25%, 50%, 75%, 100% oranında pomza, değişik çimento dozajı kullanıldı ve slump'lar kullanılmıştır. Analiz sonuçları pomza agregasının betonun yoğunluğu ve ısı iletkenlik katsayısını sırasıyla 40% ve 46%'ya kadar azalttığı sonucunu çıkartmaya neden olmuştur.  $3\pm 1$  cm sabit slump değerinde betonun yoğunluğu çimento dozajının artmasıyla artmıştır. Çimento dozajı 200 den 250, 350, 400, 500  $\text{kg/m}^3$  artırıldığında ısı iletkenlik sırasıyla 3,4%, 5,2%, 9,4%, 25,6% artıştır. Pomza agregası yoğunluk ve ısı iletkenliği sırasıyla 40% ve 46%'ya kadar azaltmıştır.

Şengün (2004), çalışmasında Kayseri ve Nevşehir bölgesinden getirilen pomza agregaları ve İzmir bölgesinden getirilen perlitik pomza agregalarından elde edilen harçların dayanım, birim ağırlık, ultrases, su emme, rötre v.b. gibi teknik özellikleri belirlenerek, standartlara uygun hafif örgü harcı olarak kullanılabilirliği araştırmıştır. Bu araştırmalarda değişken parametre olarak çimento miktarı ele alınmıştır. Bu hafif agregalar kullanılarak oluşturulan karışımlardan elde edilen hafif örgü harçlarının TS 4916'da verilen minimum basınç dayanım değerinden çok daha fazla basınç dayanım değerleri elde edilmiştir. Özellikle perlitik pomza agregalı karışımların basınç dayanım değerleri oldukça fazladır. Bunun nedeni perlitik pomza agregalarında ince malzeme miktarının fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Bu sayede standarttaki basınç dayanım değerine daha düşük çimento miktarlarında ulaşılmıştır.

Türkmen (1997), karışımların ilk üç beton grubunda toplam agrega hacmine oranla %0, %25, %50, %75, %100 oranlarında normal agregaya katılarak, 300  $\text{kg/m}^3$  dozajlı, üç farklı betonlar üretilmiştir. Diğer iki grupta ise farklı dozajlara sahip, %75 normal, %25

hafif agregalı, 3±1 cm çökme değerine sahip sabit s/ç oranlı betonlar üretilerek donma-çözülme dayanıklılığına olan etkisi araştırılmıştır. Araştırmada, bu hafif agreganın kullanılmasıyla elde edilen betonlara göre donma-çözülmeye daha dayanıklı olduğu görülmüştür. 3±1cm çökme değerli , %0 pomza ihtiva eden betonlarda donma çözülme basınç dayanımında %4,24 oranında bir azalma meydana gelirken, pomzanın %100 kullanılmasıyla bu oran %1,33'e düşmüştür. 5±1cm ve 7±1cm çökme değerli betonlarda ise yine aynı karışımlar için, bu değerler sırasıyla %4,88, %1,85, %5,85 ,% 3,77 olmuştur. Bu sonuçlar su muhtevasının artmasıyla betonun donma çözülmeden daha fazla etkilendiğini göstermektedir.

Sarı and Paşamehmetoğlu (2005), ACI standardına göre pomza ile orta-mukavemette hafif beton üretimini araştırmışlardır. Süper plastikleştirici ve hava sürükleyici katkı maddelerinin eklenmesi sertleşmiş betonun basınç dayanımının yoğunluğa oranını ve taze betonun işlenebilirliğini artırdı, minimum 6,56 N/mm<sup>2</sup> basınç dayanımı ve 1300 kg/m<sup>3</sup> sahip olan hafif beton bloklar elde edilmiştir.

Gündüz ve Uğur (2005), yüksek dayanımlı beton üretmek için Türkiye'nin Nevşehir bölgesinden ince pomza agregası ve doğu Akdeniz'den Yali adasından iri agregası içeren hafif beton karışımları test etmişlerdir. Araştırma sonuçları ince ve iri pomza agregaları kullanılarak hiçbir ilave veya katkı maddesi kullanmadan yapısal hafif beton üretilebileceğini göstermiştir.

Gündüz (2008), hafif agregası pomzanın yük taşıyan veya yük taşımayan elemanlarda kullanmak için hafif beton üretiminde kullanımını araştırmıştır. Düşük agregası/çimento oranı ile kalite artışı sağlayan özellikler basınç dayanımı, elastisite modülü ,yoğunluk ve yüksek agregası/çimento oranı ile kaliteyi artışı sağlayan özellikler su emme, ıslanma şişmesi, kuruma rötresi ve ısıl iletkenlik olduğu vurgulanmıştır. Agregası/çimento oranını düşürmenin pomza agregalı hafif betonun kalitesini artırdığı görülmüştür. Yük taşımayan yapısal beton ince, orta ve iri agregalar kullanılarak hiçbir ek ve katkı maddesi kullanılmadan üretilebileceğini göstermiştir.

Hossain (2004), volkanik pomzanın çimento yerine ve iri agrega olarak hafif beton üretimin de kullanımını araştırmıştır. Deneylede çimento hacimce 0%-25% ve iri agrega 0%-100% arası değiştirilmiştir. Değişik portland çimentosu üzerine standart testler-volkanik pomza tozu karışımları ümitlendirici sonuçları sağlanmıştır ve 15% volkanik pomza tozu kullanarak yüksek priz süresi Portland volkanik pomza çimentosunu iyi bir potansiyel olduğunu göstermiştir. Sonuçta yapısal hafif beton için kabul edilen yeterli dayanım ve yeterli yoğunluğa sahip olduğu görülmüştür.

Hossain and Lachemi (2006), volkanik külün ve ince öğütülmüş pomzanın ASTM Tip I ve Tip V'e dayanan magnezyum- sodyum sülfat karışımının bulunmasıyla karakterize edilen çevrelerde 48 aya kadar değişen daldırma periyotlarında öğütülmüş çimento-beton karışımları üzerine bir araştırma yapmıştır. Sülfat hücumundan ve donatı çeliğinin korozyonundan dolayı betonun bozulması 48 aylık daldırma periyodu boyunca beton ağırlık kaybının değerlendirilmesiyle ve korozyon potansiyeli ve polarize direncinin periyodik aralıklarla ölçülmesiyle değerlendirilmiştir. Sade çimento betonları, Tip I/V volkanik kül/öğütülmüş pomza tabanlı öğütülmüş çimentolu beton karışımlar ile sülfat karışımı ortamda karşılaştırıldıklarında göz önünde bulundurulmayan C<sub>3</sub>A içerikli bileşimi bozunma ve korozyon direnci değerlerinde daha iyi olduğu görülmüştür.

Kılıç *et al.* (2003), mineral katkı maddesiz yapılan yapısal hafif yüksek dayanımlı beton tasarımı için karışımlarda hafif agrega olarak bazaltik pomza kullanmıştır. Bağlayıcı olarak portland çimentosu içeren bir kontrol beton karışımı hafif- bazaltik pomza ile ve üçlü hafif beton karışımı uçucu külün 20% çimento ile silis dumanının 10% yer değişimi ile kontrol hafif betonunu modifiye ederek hazırlanmıştır. Uçucu kül ve silis dumanı ekonomik ve çevresel ilgi için kullanılmıştır. Ayrıca taze beton karışımların yoğunluk ve işlenebilirliği ölçüldü. Laboratuar sonuçları yapısal hafif beton scorianın kullanımıyla üretilebileceğini göstermiştir.

Binici (2007), seramik endüstriyel atıkların ve büyük miktarlarda bazaltik pomzanın geleneksel kırma ince agrega için muhtemel değişiklik olarak uygunluğunu incelemiştir. Deneyler kırma seramik atıklar ve ince bazaltik pomza agregalı betonların abrasif direnci, klor penetrasyon derinliği ve basınç dayanımını belirlemek ve bunları geleneksel betonlar ile karşılaştırmak için yürütülmüştür. Seramik atıklar ve bazaltik pomza betonların iyi işlenebilirliğe sahip olduğu görülmüştür. Betonun aşındırma direnci, basınç dayanımı ve kırılmış seramik ve kırılmış bazaltik pomza içeriği tarafından güçlü bir şekilde etkilenmiştir. Çalışma sonuçları kırılmış seramik ve kırılmış bazaltik pomza düşük aşındırma ve yüksek basınç dayanımlı betonlar için kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

Binici vd. (2007), harmanlanmış ve sade portland çimentosunda inceliğin, basınç dayanımının, sülfat direncini ve hidrasyon ısısı üzerindeki etkileri incelemiştir. Sonuçlar, bazaltik pomza ve klinkerin yüksek fırın cürufuna göre daha düşük öğütmeye sahip olduğunu göstermiştir. Daha ince çimento numuneleri daha iri agregalar ve sade portland çimentosuna göre daha yüksek basınç dayanımı, sodyum sülfat direncine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Harmanlanmış çimentonun hidrasyon ısısı incelik sabit tutulduğunda sade portland çimentosunun hidrasyon ısısından daha düşük olduğu görülmüştür.

Dinçer ve Çağatay (2004), normal agreganın ve normal iri agreganın yerine değişik oranlarında pomza agrega kullanılarak taşıyıcı hafif betonların mekanik özellikleri araştırmıştır. Üretilen beton numunelerin, birim hacim ağırlığına bağlı olarak basınç dayanımları çekme dayanımları, elastisite modülleri ve enerji yutma kapasitelerinin değişimi incelenmiştir. %50'ye kadar iri pomza ilavesinde gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin altında kalan alanlarda iyileşme gözlenmiştir. Bu sonuçla yapının enerji yutma kapasitesinde bir azalma olmaksızın taşıyıcı betonun birim hacim ağırlığının azaltılması sonucu deprem etkisinde yapıya gelen yük azaltılmış olacağı belirtilmiştir. Betona pomza agrega katkı oranının artması ile maksimum gerilmeye karşılık gelen şekil değiştirme değeri de artmakta olduğu ve normal betona pomza agregası katkısı



betonun mekanik özelliklerinde önemli bir azalmaya neden olmakta olduğu saptanmıştır.

Sancak vd. (2005), Türkiye'nin artan konut ihtiyacının karşılanmasında birim ağırlık düşük olan bimsbetonların kullanılabilirliği araştırmıştır. Bims agregası ile üretilen taşıyıcı bimsbeton ve normal yoğun agregası ile üretilen normal betonların, 7, 28, 90 günlük basınç dayanımları araştırılmıştır. Sonuç olarak; bimsbetonların birim ağırlıkları, normal betonlara göre %23 daha düşük olduğu ve bimsbetonlarda,  $430 \text{ kg/m}^3$  çimento dozajı ile 28. günde 24 MPa basınç dayanımı elde edildiği belirtilmiştir. Konut üretiminde, taşıyıcı beton olarak bims agregası ile üretilen bimsbetonlar, basınç dayanımları artırılarak kullanılabilirliği belirtilmiştir.

Kozak ve Ünal (2010), hafif blokların üretilmesinde, agregası olarak pomza ve tuf malzemeleri ayrı ayrı kullanılması halinde blok elemanların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır. Üretilen elemanlardan elde edilen sonuçlara göre karışım da kullanılan dozaj miktarı artırıldığı zaman numunelerin basınç dayanımının da arttığı gözlenmiştir. Blok eleman üretiminde kullanılan hafif agregaların birim hacim ağırlıklarının küçük olmasından dolayı binalarda kullanılacak olan blok elemanların bina zati ağırlığında azalmalar görüleceği tespit edilmiştir.

Pomza agregası ile üretilen veya kısmen pomza agregası içeren numuneleri kontrol betonu veya şahit numune olarak da adlandırılan tamamen normal agregası kullanılarak elde edilen numunelerle karşılaştırıldığında bazı olumlu ve olumsuz durumlar göze çarpmaktadır. Isı yalıtımı gibi veya birim ağırlık gibi özelliklerde olumlu etkileri var iken, su geçirimsizliği, basınç, eğilme dayanımı gibi özelliklerde olumsuz etkilerle karşılaşılmaktadır.

### 2.3. Puzolanik Katkıların Tanımı ve Çeşitleri

Puzolanlar, “kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya çok az bağlayıcılık değeri olan, fakat ince taneli durumdayken, sulu ortamda kalsiyum hidroksitle birleştiğinde, hidrolik bağlayıcılık gösterebilme özeliği kazanan silikalı ve alüminalı malzemeler” olarak tanımlanmaktadır.

Volkanik kül, volkanik tuf, diatomlu toprak, pişirilmiş kil, uçucu kül, granüle yüksek fırın cürufu, silis dumanı, pirinç kabuğu külü ve taşunu, beton yapımında kullanılan başlıca mineral katkılardır. Bunlardan taşunu dışındakilerin hepsi puzolanik özelliklidir. Puzolanik malzemenin yeterli bağlayıcılığı gösterebilmesi için aşağıdaki koşulları sağlamış olması gerekmektedir:

- İçerdiği silika ve alümina miktarı yüksek olmalıdır.
- Amorf yapıya sahip olmalıdır.
- Doğal haliyle çok ince taneli durumda veya öğütülerek en az çimento inceliği kadar ince taneli duruma getirilmiş olmalıdır.

Puzolanik katkı maddelerinin dışında kalan her türdeki katkı maddesinin beton karışımında kullanıldıkları miktarlar çok az olmakla birlikte, puzolanik katkı maddelerinin kullanıldıkları miktarlar, genel olarak, çimento miktarının %10-50’si kadardır. Bazı betonların yapımında, bu oran %50’nin çok üstünde de olabilmektedir. İnce taneli puzolanik katkı maddeleri işlenebilmeyi ve sülfat hücumlarına karşı dayanıklılığı artırmaktadır, su geçirgenliğini, alkali-agrega reaksiyonunu, terlemeyi, segregasyonu, hidrasyon ısısının hızını ve miktarını azaltmakta ayrıca ekonomiklik sağlamaktadır.

Puzolanik katkı malzemesi kullanımı, özellikle soğuk hava koşullarında, prizi geciktirir ve genellikle ilk günlerdeki dayanımın daha az olmasına yol açabilir. Puzolan katkılı betonların daha uzun süreli ve daha dikkatli kür edilmeleri gerekebilir. Ayrıca, betonda

belirli miktarda sürüklenmiş havanın yer alabilmesi için, mineral katkısız betonda kullanılandan daha yüksek miktarda hava sürükleyici katkı maddesi kullanımını gerektirebilir.

a.Silis dumanı: Silikon metali veya silikon metalli alaşımlar, yüksek saflıktaki kuvarsın yaklaşık 2000°C sıcaklıkta indirgenmesiyle elde edilmektedir. Bu işlem esnasında çok büyük kısmı SiO'dan oluşan gazlar çıkmaktadır. Gaz halindeki SiO'nun fırının nispeten soğuk bölgesinde havayla temas ederek çok çabuk yoğunlaşmasıyla, gazın içerisindeki SiO, amorf yapıya sahip SiO<sub>2</sub> durumuna dönüşmektedir. Böylece, tanecikleri 0,1 µm–0,2 µm olan atık malzeme elde edilmiş olmaktadır. %85-%98 kadar silika içeren ve amorf yapıya sahip olan bu atık malzemeye “yoğunlaştırılmış silis dumanı” veya kısaca “silis dumanı” denilmektedir. Bu malzeme, “mikrosilika” veya “silika tozu”, veya “silika füme” gibi isimlerle de anılmaktadır.

Çok büyük miktarda silika içeren, amorf yapıya sahip olan, ve çimento tanelerinin inceliğinin yaklaşık yüzde biri kadar ince taneli olan silis dumanı, aktivitesi çok yüksek olan mükemmel bir puzolandır. Bu malzeme çimento üretiminde de kullanılmakla beraber, daha çok, beton katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Beton yapımı için kullanılacak çimento miktarı yaklaşık %10 kadar azaltılmakta ve yerine silis dumanı eklenmektedir. Silis dumanının puzolanik aktivitesi çok yüksek olduğundan, bu malzemeyle yüksek dayanımlı betonlar elde edilebilmektedir.

Silis dumanının beton katkı maddesi olarak kullanılabilirliği, ilk olarak 1950 yılında Norveç Teknoloji Enstitüsünde araştırılmıştır. Araştırmanın olumlu sonuçlarına dayanılarak, bu malzeme, Oslo'daki Blindtarmen Tüneli'nin betonlarının yapımında kullanılmıştır. O projenin betonlarına %15 civarında silis dumanı katılmıştır. Kuzey Amerika'da silis dumanı ile ilgili ilk araştırmalar 1971 yılında Kanada'daki Sherbrooke Üniversitesinde P.C. Aitcin ve 1980 yılında ABD Berkeley'deki Kaliforniya Üniversitesinde P. K. Mehta tarafından başlatılmıştır.

b.Uçucu kül: Termik santrallerdeki kömürün yakılması sonucu bir yan ürün olarak açığa çıkan uçucu kül, puzolanik ve bağlayıcı özelliğinden dolayı betonda bağlayıcı katkı malzemesi olarak kullanılabilir. Çimentonun bir kısmının yerine uçucu kül ikame edildiğinde betonun maliyeti azalır. Bununla birlikte taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini de değiştirmektedir.Uçucu küller ya da pulverize yakıt külleri, özellikle elektrik üretim tesislerinin pulverize kömür ile işleyen fırınlarının toz tutma ünitelerinden sağlanan materyallerdir. Küresel biçimde olup,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  içerirler. Puzolanik maddeler gibi  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile tepkimelerinde hidrolik bağlayıcı nitelik kazanırlar. Diğer taraftan yanmış karbon kalıntılarını da içermesi olasıdır. Bu da çimentonun düşük direncine ve betonun dayanıklılığına olumsuz yönde etki yapar. Uçucu küllerin özgül yüzeyi ne kadar büyükse reaktivitesi de o kadar yüksektir. Külün kalitesine ve özelliklerine bağlı olarak çimentonun yapısında bulunabilmektedir.

Uçucu küller kimyasal kompozisyonlarına göre değişik şekillerde sınıflandırılmaktadır:

- Kireç ve  $\text{SO}_3$  miktarına göre sınıflandırma: Bu sınıflandırmaya göre, (a) esas yapısı siliko alüminatlardan meydana gelen ve genellikle tas kömüründen elde edilen uçucu küllere silikoalüminöz uçucu küller, (b) genellikle linyit kömüründen elde edilen ve diğerlerine oranla yüksek miktarda  $\text{SO}_3$  ve  $\text{CaO}$  içeren küllere sülfokalsik uçucu küller ve (c) yine genellikle linyit kömüründen elde edilen kireç ve silika miktarı yüksek uçucu küllere ise silikokalsik uçucu küller adı verilir.
- $\text{CaO}$  miktarına göre sınıflandırma: Son yıllarda oldukça geniş kabul gören bir başka sınıflandırma ise uçucu külün içerdiği  $\text{CaO}$  miktarına dayanmaktadır. Buna göre,  $\text{CaO}$  miktarı %10'un altında olan uçucu küller düşük kalsiyumlu, %10'un üstünde olanlar ise yüksek kireçli veya yüksek kalsiyumlu uçucu küller olarak adlandırılırlar.
- ASTM C 618 Sınıflandırılması: ASTM C 618'e göre uçucu küller iki kategoriye ayrılmaktadır. (a) F sınıfı uçucu küller bitümlü kömürlerden elde edilip  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%70$  şartını sağlayan uçucu küllerdir. (b) C sınıfı uçucu küller ise genelde linyitler veya yarı bitümlü kömürlerden elde edilip  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%50$  şartını sağlayan uçucu küllerdir. Yukarıda sözü edilen silikoalüminöz külleri F sınıfına dâhildirler. Silikokalsik küllerin kimi F sınıfına kimi de C sınıfına;

sülfokalsik uçucu küllerin birçoğu ise C sınıfına girerler (Tokyay ve Erdoğan, 1998).

### **2.3.1. Pomza agregalı betonların mekanik ve fiziksel özelliklerine yapay puzolanik katkılarının etkileri**

Yazıcıoğlu ve Demirel (2006), Elazığ yöresi pomzası, hidrasyon reaksiyonu yapabilmesi için çimento inceliğinde öğütülüp, ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimento ile yer değiştirilerek yeni karışımlar oluşturmuştur. Çalışma sonucunda, pomzanın %20 oranına kadar çimento ile ağırlıkça yer değiştirmesi ile, çimento miktarındaki azalmadan dolayı numunelerin basınç dayanımlarının kontrol betonuna göre daha düşük çıktığı görülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda; betona çimento ile yer değiştirilerek belirli oranlarda doğal puzolan özelliğine sahip öğütülmüş Elazığ yöresine ait pomzanın ilave edilmesinin dayanımı düşürdüğü görülmüştür. Pomza katkısına ilaveten, çimento ağırlığının %10'u kadar silis dumanı ilavesi betonun dayanımını arttırmıştır. Yapılan ultrasonik test ve porozite deneyleri de dayanım sonuçlarını desteklemiştir.

Coşkun ve Tanyıldızı (2007), agrega olarak pomza taşı, mineral katkı olarak ise silis dumanı kullanılarak elde edilen taşıyıcı hafif betonun basınç dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenliği arasındaki ilişkiye kür şartlarının etkisi araştırmıştır. Mineral katkı olarak çimento ağırlığının %10'u oranında silis dumanı katılmıştır. 3, 7, 14 ve 28 gün  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de su kürü, hava kürü ve torba küründe bekletilen numunelerin ultrasonik ses geçirgenliği ve basınç dayanımı değerleri incelenmiştir. En düşük ultrasonik ses geçirgenliği ve basınç dayanımı değerleri, hava kürü uygulanan numunelerde elde edilmiştir. Silis dumanı katkılı numuneler her yaşta ve tüm kür koşullarında en yüksek ultrasonik ses geçirgenliği ve basınç dayanımı değerini vermiştir. Burada silis dumanı çimento hidrasyonu süresince serbest kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek betonun basınç ve aderans dayanımı gelişiminde etkili olmuştur.

Sancak ve Şimşek (2006) , bims agregası ile üretilen taşıyıcı hafif beton ve normal yoğunluklu agregası ile üretilen normal betonların karşılaştırmalı olarak yüksek ısıya maruz kaldıktan sonraki ağırlık kaybı ve basınç dayanımları araştırmıştır. Silis dumanı , mineral katkı olarak %0, %5 ve %10 oranlarında çimento ile ağırlıkça yer değiştirilerek kullanılmıştır. Hafif betonların birim ağırlıkları, normal betonlara göre %23 daha düşük olduğu ve 20°C, 100°C ve 400°C sıcaklıklara maruz bırakıldıklarında, normal betonların daha dayanıklı oldukları görülmüştür. 800°C ve üstündeki sıcaklıklarda, silis dumanı kullanım oranına bağlı olarak basınç dayanımı kaybı arttığı belirtilmiştir.

Öz (2007), farklı oranlarda agregası , uçucu kül ve kimyasal katkı kullanarak betonun birim hacim ağırlık, dayanım, ısı ve ses yalıtım özelliklerindeki değişiklikleri araştırmıştır. Asidik pomzanın tek başına beton agregası olarak istenilen şartları vermemesinden dolayı, tasarımlarda pomza ile birlikte değişik oranlarda dere kumu ve uçucu kül kullanılmıştır. Değişik beton tasarımlarının değerlendirildiğinde agregası oranları %60 asidik pomza, %40 dere kumu, 400 kg çimento, 200 kg uçucu kül, 96 kg su ve çimentonun %1,5'i kadar kimyasal katkı kullanılarak yapılan betonun yoğunluk, tek eksenli basınç , ısı iletkenliği ve ses yalıtımı açısından en iyi sonucu verdiği görülmüştür.

Öz (2007), katkı olarak çimento miktarının Yatağan termik santralinden alınan uçucu kül kullanmıştır. 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 yapmakta olduğu görülmüştür.

Demirboğa (1999), perlit, pomza, silis dumanı, uçucu kül ve hafif betonlar hakkında çalışma yapmıştır. Deneyler sonunda elde edilen sonuçlar silis dumanı ve uçucu külün, bu çalışmaya konu olan hafif betonların rötre ile donma-çözülme özelliklerini iyileştirdiği ve ısı iletkenlik değerleri ile birim ağırlığı azalttığı, silis dumanı 28 günlük basınç dayanımlarını artırırken, uçucu külün düşürdüğünü ortaya koymaktadır.

Kıvrak (2006), bimsblok üretiminde, Isparta yöresinde çıkarılan pomza agregası kullanmıştır. Çimento, kütlece %0, %5, %10, %15, %20, %25 oranında azaltılarak uçucu kül eklenmiş ve pomza agregası ile karıştırılarak, bimsblok üretilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde, birim hacim ağırlık deneyi, basınç dayanımı deneyi, ısı iletkenlik katsayısı deneyleri yapılmıştır. İkame uçucu kül oranlarındaki değişimin bimsbloklar üzerindeki mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, uçucu kül ikamesinin, birim hacim kütle değerleri dışında önemli bir avantaj sağlamadığı görülmüştür.

Yazıcıoğlu ve Bozkurt (2006), pomza ve mineral katkı taşıyıcı hafif betonun mekanik özellikleri araştırmıştır. Çalışmada CEM-I 42,5 N sınıfı çimento kullanılmış olup mineral katkı olarak kullanılan silis dumanı %10 ve uçucu kül %30 oranlarında çimento ile ağırlıkça yer değiştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen deney sonuçlarına göre Elazığ yöresinden elde edilen pomzanın taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılabileceği görülmüştür. Aynı zamanda silis dumanı ve uçucu kül katkıları da beton karışımına ilave edilerek daha ekonomik taşıyıcı hafif beton üretilebileceği sonucu ortaya çıkmıştır. Bu sınıfta üretilecek olan taşıyıcı hafif betonlar deprem dayanımı açısından uygun sınırlar içinde olmakla birlikte hafiflik avantajıyla da depremin yıkıcı etkilerine karşı faydalı olacağı belirtilmiştir.

Coşkun vd. (2006), mineral katkı olarak uçucu kül, agrega olarak ise pomza taşı kullanılarak elde edilen taşıyıcı hafif betonun mekanik özellikleri araştırmıştır. Mineral katkı olarak çimento ağırlığının %15'i oranında uçucu kül katılmıştır. 3, 7, 14 ve 28 gün boyunca  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de standart su kürü ve hava kürü uygulanan numunelerin ultrasonik ses geçirgenliğine ve basınç dayanımı değerlerine bakılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlarda,  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de kür edilen numunelerin basınç ve ultrasonik ses geçirgenliği değerlerinin, hava kürü uygulanan numunelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca uçucu kül katkılı beton numunelerin basınç ve ultrasonik ses geçirgenliği değerleri, kontrol betonuna göre 3 günden sonra belirgin bir artış gösterdiği belirtilmiştir.

Demir vd. (2009), çalışmada iki farklı endüstriyel atık olan, aynı zamanda puzolanik özellikleriyle inşaat sektörüne yakın özellik gösteren uçucu kül ve silis dumanının sertleşmiş beton üzerine olan etkileri incelemiştir. Betonda %5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında bu malzemelerden çimento yerine ikame edilmiştir. 7. ve 28. günlerdeki dayanım özellikleri incelenmiş ve katkısız beton özelliklerine göre daha kaliteli sonuçlar elde edilmiştir.

Durmuş ve Yılmaz (2009), yapay puzolan katkılı betonun su işleme derinliği, ultrases geçiş hızı değerlendirmiştir. Puzolan katkı olarak silis dumanı ve uçucu kül seçilmiştir. Karışımda, çimento ağırlığının %10'u ile ikame yapılmıştır. Yapay puzolanın etkilerini görebilmek için 28. ve 90. günlerde su işleme derinliği ve ultrases deneyleri gerçekleştirilerek referans örneklerle karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçta, ultrases geçiş hızı ve su işleme derinliği bakımından en iyi sonucun silis dumanı katkılı örneklerde olduğu bulunmuştur.

Yazıcıoğlu ve Demirel (2006), Elazığ yöresi pomzası, hidratasyon reaksiyonu yapabilmesi için çimento inceliğinde öğütülüp, ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimento ile yer değiştirilerek yeni karışımlar oluşturmuştur. Silis dumanının basınç dayanımına yaptığı katkıyı gözleyebilmek için kontrol betonu hariç tüm serilere, %10 silis dumanı ilave edilerek ikinci bir seri daha hazırlanmıştır. Pomzanın basınç dayanımına etkisinin kür yaşlarına bağlı olarak değişimini tespit etmek için numunelerin 3, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı değerleri kaydedilmiştir. Ayrıca 28 günlük beton numuneler porozite ve ultrasonik test deneylerine tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda, pomzanın %20 oranına kadar çimento ile ağırlıkça yer değiştirmesi ile, çimento miktarındaki azalmadan dolayı numunelerin basınç dayanımlarının kontrol betonuna göre daha düşük çıktığı görülmüştür. Fakat kür yaşı arttıkça dayanımdaki bu düşüş azalmıştır. Bu durum ileri yaşlarda pomzanın puzolanik aktivite göstermesinden kaynaklanmaktadır. Pomza ilavesiyle özellikle erken yaşlarda meydana gelen bu düşme, betonun erken yaşlardaki dayanımına olumlu yönde etki eden silis dumanının kullanılmasıyla engellendiği belirtilmiştir.



Dede (2008), uçucu kül, kum ile farklı oranlarda kullanılarak hazırlanan harç numunelerinin özellikleri incelemiştir. TS EN 196-1'e uygun olarak şahit numune hazırlanmış olup diğer numunelerin oranları şahit numunedeki çimento hacimce yüzdesine bağlı olarak belirlenmiştir. Tüm numunelerin birim ağırlıkları, eğilme ve basınç dayanımları bulunmuştur. Yapılan deneyler sonucunda, uçucu kül miktarı artırılıp çimento miktarı azaltıldıkça eğilme ve basınç dayanımlarının azaldığı gözlenmiştir.

Yıldırım (2007), Nevşehir pomza taşı kullanılarak hafif beton üretilmesi ve üretilen betonların farklı agresif ortamlardaki dayanım özelliklerinin incelenmesi amaçlamıştır. Bu amaçla 350 ve 450 dozlu olarak iki farklı karışımda üretilen hafif beton küp, silindir ve kiriş numuneler normal su, tuzlu su ve asidik ortamda kür edilmiştir. Kür sürelerinin sonunda hazırlanan deney numuneleri basınç, silindir yarma ve kiriş eğilme deneylerine tabii tutulmuştur. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, beton dozajının, beton yaşının ve agresif ortam şartlarının pomza ve uçucu kül kullanılarak üretilen hafif beton numunelerin dayanım özelliklerine etkisi irdelenmiştir. Çimento oranı fazla olan beton numunelerin agresif şartlar altında düşük dozajlı beton numunelerine oranla beton yaşına bağlı olarak daha fazla basınç ve çekme dayanımı gösterdiği görülmüştür. Agresif şartlar altında, hafif beton üretiminde beton dozajının önemi yapılan deneyler sonucunda görülmüştür.

Mor (1992), hafif agregalı yüksek mukavemetli betonun mekanik özellikleri üzerinde silis dumanının etkisinin araştırmış ve sonuçların benzer mukavemetteki normal betonlar ile karşılaştırmıştır. Çimento ağırlığının %13'ü ve %15'i oranında silis dumanı kullanılan betonlar 0,25 ve 0,34 gibi düşük su/çimento oranları ile üretilmiştir. Silis dumanı kullanımı, basınç mukavemeti/elasticite modülü oranını çok belirgin şekilde değiştirmemiş ancak çelik ile donatı arasındaki aderansın basınç mukavemetine oranını hafif betonlarda iki katına çıkarmıştır. Normal ağırlıklı betonlarda ise belirgin bir etki olmamıştır. Silis dumanı, poroziteyi ve çeliğe bitişik geçiş bölgesi kalınlığını azalttığı için çelik ile beton arasındaki yapışma kuvvetini artırmıştır.

Topçu ve Canbaz (2001), endüstriyel bir atık olan uçucu külün betonda bağlayıcı malzeme olarak kullanımının özelliklere etkisi araştırmıştır. Numuneler 300, 350, 400 kg/m<sup>3</sup> dozaj ve bu dozajların her biri için çimento yerine %20 ve %40 oranında uçucu kül katılarak elde edilmiştir. Üretim sırasında taze betonlarda çökme, VeBe, yayılma ve birim ağırlık deneyleri yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Uçucu kül kullanımının beton basınç dayanımını azalttığı ve UK miktarının artırılması durumunda dayanımın daha da geç kazanıldığı anlaşılmıştır.

Yaşar *et al.* (2003) , bazaltik pomza ve katkı olarak uçucu kül ile yapılan yapısal hafif beton tasarımı ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Bir kontrol hafif beton karışımı sadece normal portland çimentosu içeren bazaltik pomza ile elde edilmiş ve uçucu kül hafif beton karışımı 20% oranında çimentonun ağırlıkça yer değişimi ile hazırlanmıştır. Sertleşmiş basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı, taze betonun yoğunluk ve slump işlenebilirliği içeren özellikleri ölçülmüştür. Laboratuvar basınç ve çekme dayanımı testleri scorianın kullanılmasıyla yapısal hafif beton üretilebileceğini göstermiştir.

Yıldız vd. (2005), yapı alçıları ile silis dumanının birlikte kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapı alçısı olarak kullanılan kartonpiyer alçısının baca tozu ile hacimce %5, %10, %15, %20, %25 oranlarında yer değiştirilmesi neticesinde elde edilen numuneler, birim ağırlık, boşluk oranı ve eğilmede çekme dayanımı açısından kontrol numuneleri ile karşılaştırılmıştır. Hazırlanan karışımlara, silis dumanı miktarınca su ilavesi yapılarak silis dumanının katılmasıyla meydana gelen su ihtiyacındaki artış karşılanmış ve süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanımına gerek kalmamıştır. Yapılan çalışma neticesinde; silis dumanı katkısının, kartonpiyer alçısının birim ağırlığı ve boşluk miktarında azalma, eğilmede çekme dayanımında ise artış meydana getirdiği belirlenmiştir. Çalışmanın sonucu olarak, baca tozunun kartonpiyer alçısı ile %10-%15 oranında yer değiştirmesi neticesinde en iyi sonucun alındığı belirlenmiştir.

Gündeşli (2008), 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 değerlendirilebileceği 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. Sonuçta elde edilen veriler değerlendirilerek yukarıda adı geçen malzemeler üzerinde özelliklerin araştırılmasının devam edilmesi gerektiği hakkında yorumlar yapılmıştır.

Coşkun (2009), CEM-I 42,5 tipi çimento ile uçucu külün ve volkanik cüruf mineral katkılarının değişik oranlarda karıştırılarak farklı kombinasyonlarda üretilen beton ve çimento harçlarının dayanım ve durabilitesinin iyileştirilmesini amaçlamıştır. Çimento yerine %40'a varan oranlarda mineral katkıların ikame edilmesiyle elde edilen eşit çökme değerlerine sahip numunelerin priz süresi, hacim genleşmesi, basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı, permabilite, donma-çözülme dayanımı, yüzey aşınmasına karşı direnç, kimyasal ortamlara karşı dayanıklılık, boyca değişim miktarı, alkali agrega reaksiyonları ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Artan mineral katkı miktarının priz süresini uzattığı; yine artan mineral katkı sayesinde ileri yaşlarda numunelerin yüksek dayanım kazanmaları nedeniyle, %100 CEM-I 42,5 çimentosu ile üretilen numunelerin dayanım değerlerini yakaladığı görülmüştür. Ayrıca artan mineral katkı yardımıyla meydana gelen bu dayanım gelişimi numunelerin kimyasal ortamlara karşı ileri yaşlarda gösterdiği dirençleri de artırdığı ve mikro yapısal özelliklerini iyileştirerek etrenjit oluşumlarını engellediği, oluşmuş etrenjitlerin de bozunmasını sağladığı gözlemlenmiştir.

Atakay (2006) , uçucu küllerin katkılı çimento üretiminde kullanılması incelenmiş, kül inceliği ve katkı miktarının çimento özellikleri üzerindeki etkileri ortaya konmuştur. İncelik ve katkı oranının etkilerini belirlemek amacıyla yukarıda sözü edilen inceliklere elenen örnekler ağırlıkça %10, %20, %30 ve %40 oranlarında çimentoya katılmış ve üretilen katkılı çimentoların önemli servis özellikleri belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda her iki kül örneği için de katkı miktarı arttıkça dayanımın azaldığı görülmüştür. İnceliğin artması ile dayanım belirli bir incelik sınırına kadar artmış, daha sonra bu artış durmuştur.

Ünal ve Uygunoğlu (2004), uçucu kül, agrega ve PKÇ32,5 çimentosu kullanılarak üretilen betonların özelliklerine uçucu kül katkısının etkisi araştırılmıştır. Karışımlardaki çimento miktarı ağırlıkça %10, %20, %30 ve %40 oranlarında uçucu kül ile ikame edilmiştir. Üretilen numunelerde önce su emme deneyi, daha sonra ultrases geçiş süreleri, tek eksenli basınç deneyleri yapılarak 7 ve 28 günlük özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca numunelerin donma-çözülme dayanımları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; çimento %10-20 oranında uçucu kül ile ikame edilmesi durumunda, beton özelliklerinde olumsuz bir etki görülmemiştir.

Topçu ve Karakurt (2007), yüksek fırın cürufu ve uçucu kül çimento üretimde katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. İlk grup katkılı çimentolar, klinker yerine %10, 20, 30, 40 ve 45 oranlarında uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve %5 oranında kalkerin birlikte öğütülmesiyle üretilmiştir. İkinci grup katkılı çimentolar ise ikili kompozisyonda ve toplam katkı oranı %20 ve %30 olacak şekilde üretilmiştir. Çimentoların incelikleri 3000-4100 cm<sup>2</sup>/gr arasında tutulmuş ve öğütme süreleri belirlenmiştir. Normal kıvam ve priz süreleri her çimento tipi için Vicat deneyiyle bulunmuştur. Çimentoların erken ve ileri yaş performansının belirlenmesi için TS-EN 196 standardına uygun olarak hazırlanan harç numuneleri üzerinde 2, 7, 28 ve 180 günlük dayanım deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan yüksek fırın cürufu ve uçucu kül katkılı çimentoların ileri yaşlarda puzolanik aktiviteye bağlı olarak basınç dayanımlarının CEM-I 42,5 çimentosuna göre daha yüksek çıktığı görülmüştür. Ayrıca klinker kullanımının azaltılmasıyla hem daha ekonomik hem de daha kısa sürede çimento üretimi gerçekleştirilmiştir.

Tuygun (2002), yapılmış olan bu çalışmada uçucu küllerin betonun mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. C sınıfı uçucu kül ve PÇ 42,5 çimento kullanılmıştır. 28. gün ve sonrasındaki basınç dayanımı değerleri, kontrol betonununkine yakın veya üzerinde değerler almaktadır. Ultrases deneyleri sonucunda ise uçucu küllerin betondaki boşluk miktarının azalttığı ve daha dolu bir beton üretilmesine neden olduğu gözlemlenmiştir. %50 yüksek yüzdeli uçucu kül kullanımı ise beton üzerinde mekanik özellikler açısından olumsuz sonuçlar doğurmaktadır.

Ulusoy (2008), atık uçucu-tekstil külü ve bazaltik pomzanın, yüksek kalitede pişmiş kil tuğlaların üretiminde katkı olarak kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Katkılı/katkısız kil tuğlalar eşit miktarlarda, ayrı ve beraber olmak üzere, %5, 10 ve 20 oranlarında kül ve bazaltik pomza katılarak üretilmişlerdir. Her numune 8 saatlik süreçlerde 700, 900 ve 1050°C sıcaklıklarda pişirilmiştir. Kütle yoğunluğu, zararlı kireç-manyezi, rötne, su emme, basınç ve eğilme mukavemeti, donma ve çözülme testleri gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları standart değerler ile karşılaştırılmış ve sonuçlar tatmin edici bulunmuştur. Sonuç olarak tekstil külü ve bazaltik pomzanın ikisi ve belirlenen oranda uçucu külün uygun katkıları olduğu ve pişmiş tuğla üretiminde faydalı bir şekilde kullanılabilceği neticesine varılmıştır.

Koçkal (2008), çalışmada farklı yöntemlerle üretilen agregaların özellikleri incelenmiştir. Bu agregaların özgül ağırlıkları, su emme ve poroziteleri, sıcaklık etkisinde davranışları, dayanımları ve mikroyapı değişimleri tayin edilmiştir. Agregaların özellikleri ve mikroyapıları farklı bağlayıcılar ve sıcaklıklarla değişmiştir. Bütün agregaların dayanım ve özgül ağırlıkları yüksek sıcaklıkta bağlayıcı miktarının artmasıyla azalmıştır. Agregaların düşük su emme ve yüksek dayanımı, boşlukların küçük ve süreksiz olmasının yanında yoğun yapısından kaynaklanmaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünde, hafif uçucu kül agrega özelliklerinin beton davranışına etkileri araştırılmıştır. Normal ağırlıklı betonun ve hafif betonların üzerinde basınç dayanımı, elastisite modülü, yarmada çekme dayanımı, basınçlı su geçirimsizlik, hızlı klor geçirimsizliği, hızlandırılmış korozyon ve hızlı donma-çözülme çevrimi deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları, soğuk bağlanmış ve sinterlenmiş uçucu kül agregalarıyla yüksek dayanımlı hava sürüklenmiş hafif betonların üretilmesinin mümkün olabileceğini ortaya koymuştur. Betonda hafif uçucu kül agregalarının normal ağırlıklı agregalarla yer değiştirmeleri, beklenildiği gibi, dayanımı bir miktar düşürmelerine rağmen, betonların geçirimsizliğe ve donma-çözülme çevrimine dirençlerini arttırmışlardır.

Aydın ve Baradan (2007), pomza ve uçucu kül içeren çimento harçlarının yüksek sıcaklık etkilerinden sonra mekanik özellikleri incelemiştir. Farklı miktarlarda uçucu kül içeren dört farklı karışım 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklıklara üç saat süreyle maruz bırakılmıştır. Pomza ile üretilen harçların 600°C'ye kadar yüksek sıcaklıklara karşı iyi davranış sergilediği ve bu sıcaklıkta basınç ve eğilme mukavemetlerindeki kayıpların sırasıyla %4 ve %32 olduğu belirtilmiştir. Ancak 900°C'de mukavemette çok keskin düşüşler görülmüştür. Soğutma tekniğinin mukavemet kaybında etkili olduğu ve suda soğutulan numunelerin havada soğutulanlara kıyasla daha fazla mukavemet kaybettiği bildirilmiştir. Yüksek sıcaklıklara karşı en iyi sonuç %60 oranında uçucu kül kullanılan numunelerden elde edilmiştir.

Tanyıldızı ve Coşkun (2007), silis dumanı katkılı hafif betonların yüksek sıcaklık etkilerinden sonra performansını incelemiştir. Karışımlara %0, %10, %20 ve %30 oranlarında silis dumanı ilave edilmiş ve numuneler 200°C, 400°C ve 800°C sıcaklıklara ısıtılmıştır. 10 cm boyutlu küp numuneler üzerinde basınç mukavemeti, 10\*20 cm boyutlu silindir numuneler üzerinde ise yarmada çekme mukavemeti deneyleri yapılmıştır. Her sıcaklık için en yüksek basınç mukavemeti ve çekme mukavemeti değerleri %20 silis dumanı içeren karışımlardan elde edilmiş, sıcaklıkların artmasıyla mukavemetlerin azaldığı görülmüştür. Mukavemet kayıplarının sebebi yüksek sıcaklıkların etkisiyle oluşan mikro ve makro çatlaklar olarak ifade edilmiştir. Silis dumanı içermeyen kontrol gruplarında 200°C, 400°C ve 800°C için mukavemet kaybı oranları sırasıyla %4,98; %13,51 ve %80,13'tür. Silis dumanı kullanımı ile mukavemet kayıpları azaltılmıştır. %20 oranında silis dumanı içeren numunelerin mukavemet kayıpları ise bu sıcaklıklar için sırasıyla %4,69; %12,91 ve %78,87 olarak belirlenmiştir.

### 2.3.2. Normal agregalı betonların mekanik ve fiziksel özelliklerine yapay puzolanların etkileri

Güçlüer ve Ünal (2010), uçucu kül içeren beton karışımlarının basınç dayanımları ve geçirimsizlik özellikleri incelemiştir. Uçucu kül, beton içerisine ağırlık olarak çimentonun %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirilerek ilave edilmiştir. 7, 28 ve 56 günlük 15 cm standart küp numuneler üzerinde, basınç, ultrases geçiş süresi, 60 günlük numuneler üzerinde permabilite deneyleri yapılmıştır.. Bulunan sonuçlara göre, uçucu kül miktarının %10-20 oranında ağırlıkça çimentonun yerine kullanılması halinde betonun dayanımının arttığı ve geçirimsizlik miktarının azaldığı gözlemiştir.

Özkul vd. (2006), uçucu küllü veya silis dumanlı betonlar üreterek, numunelerin yarısı kirece doymuş su içerisinde, diğer kısmı da laboratuvar ortamında açıkta 90 gün bekletildikten sonra basınç dayanımı, kılcal su emme, yüzeyden su emme , basınçlı su geçirimsizliği ve hızlı klorür geçirimsizliği deneyleri uygulanmıştır. Suda kür edilen betonlarda klorür geçirimsizliğini büyük oranda silis dumanı miktarı belirlemekte olduğunu gözlemiştir.

Çelik (2004), iki farklı uçucu külleri ve silis dumanını %15, 25; atık çamuru %5, 15 oranlarında PÇ 42,5 klinkerine katmıştır. Atık çamur, uçucu kül ve silis dumanıyla da farklı oranlarda karıştırılarak PÇ 42,5 klinkerine katılmıştır. Üretilen harçların 2, 7, 28 ve 56. gün sonundaki basınç dayanımları tespit edilmiştir. Üretilen çimento harç numunelerinde aynı katkı oranlarında Soma uçucu külü katkılı çimento harçlarından ölçülen basınç dayanım değerleri bütün kür süreleri için Seyitömer uçucu külü ile hazırlanan harçlarda ölçülen basınç dayanım değerlerinden daha yüksektir. Soma uçucu külü katkılı harçların ölçülen basınç dayanım değerleri bütün katkı oranları için 56. günde PÇ 42,5'e kıyasla daha yüksektir. Seyitömer uçucu külü katkılı harçlarda ise sadece %15 katkı oranı için Seyitömer uçucu külü katkılı harçların basınç dayanım değerleri 56. günde PÇ 42,5 basınç dayanım değerlerine göre daha yüksektir.

Şengül vd. (2007) , ince öğütülmüş uçucu kül miktarının betonun basınç dayanımına ve hızlı klor geçirimsizliğine etkisi incelemiştir. Sabit 0,35 su/bağlayıcı oranında betonlar üretilerek her üretimdeki toplam bağlayıcı madde miktarı sabit tutuldu ve uçucu kül çimento ile %70'e kadar yer değiştirilerek kullanılmıştır. Çimentonun %40 oranında ince uçucu külle yer değiştirilmesi durumunda beton basınç dayanımları yaklaşık aynı oldu. Betonda ince öğütülmüş uçucu kül kullanımı ile klor geçirimsizlikleri önemli ölçüde azalmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde ise; aynı su/çimento oranına sahip betonlarda, çimento ince öğütülmüş yüksek fırın cürufu ile %40, %60 ve %80 oranlarında yer değiştirilmiştir. Üretilen bu betonlarda ise klor iyonu yayılımı ve elektriksel öz direnç deneyleri yapılmıştır. Elde sonuçlar cüruf ilave edilmesinin betonların klor iyonu geçirimsizliklerinin önemli oranda azalttığını ortaya koymuştur.

Beycioğlu vd. (2010), endüstriyel bir atık malzeme olan silis dumanının taze ve sertleşmiş beton özellikleri üzerine etkileri incelenmiş ve betonda silis dumanı miktarının optimum kullanımı ile ilgili öneriler sunmuştur. Silis dumanı tanelerinin çok ince olmasından dolayı, belirli bir çökme değeri için betonun su ihtiyacını arttırmaktadır. Betonda kullanılan silis dumanının oranı çimento ağırlığının %5'inden daha yukarıya çıktıkça, beton daha yapışkan olmakta, yüzey düzeltme işlemlerinde kullanılan malzemelere yapışarak güçlük çıkarmaktadır. İşlenebilirlik açısından silis dumanı içeren betonlar daha kohezif hale geldiğinden dolayı işlenebilirlik azalmaktadır. Silis dumanı içeren betonlar daha geç priz almaktadırlar. Mekanik dayanım açısından değerlendirme yapılacak olursa silis dumanının puzolanik etkisinin betonda en zayıf halka olarak bilinen agrega-çimento hamuru temas yüzeyini güçlendirmede önemli olduğu ve basınç dayanımı belirli bir ikame miktarına kadar arttırdığı söylenebilir. Ayrıca betonda mikro boşlukları doldurması nedeniyle dayanıklılığa olumsuz etki eden birçok dış faktöre karşı direnç sağlamaktadır.

Subaşı vd. (2008), hazır beton sektöründe yaygın olarak kullanılan uçucu kül katkı miktarının beton işlenebilirliğine ve sertleşme sürelerine olan etkisini belirlemek amacıyla karışım içerisinde %5, %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül ikamesi yapılan beton karışımları hazırlamıştır. Ayrıca hazırlanan karışımlardan elde edilen



betonların 28 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. Beton üretiminde; beton bileşen miktarları, dozaj ve çökme değeri sabit seçilmiştir. Sonuç olarak; çalışmada kullanılan uçucu kül ikame miktarına bağlı olarak beton işlenebilirliğinin önemli ölçüde değiştiği, basınç dayanım değerlerinin uçucu kül ikame miktarı artışına bağlı olarak azaldığı görülmüştür. Ayrıca karışımlarda kullanılan uçucu kül ikame miktarına bağlı olarak beton sertleşme sürelerinin de değiştiği tespit edilmiştir.

Bentli vd. (2005), Seyitömer termik santralinden alınan uçucu baca külü ile endüstriyel çaptaki tuğla fabrikasında dört farklı reçetede %2,5; 5, 10, 15 baca küllü tuğlalar hazırlamıştır. Uçucu kül katkılı tuğla reçeteleri ile fabrikada üretilen referans tuğlanın fiziksel ve mekanik testleri laboratuarda yapılmıştır. Bu testler sonucunda referans tuğlaya göre uçucu kül ilavesi birim hacim ağırlığını çok az miktarda arttırırken, kuruma, pişme ve toplam küçülmede belirgin bir değişime neden olmamıştır. Uçucu kül ilavesi, üretilen tüm reçete tuğlalarda su emme miktarını referans tuğlaya göre azaltmış, buna karşılık tuğlaların hiçbirinde referans tuğlada elde edilen dayanım değerine ulaşamamıştır.

Subaşı vd. (2010), içerisinde %10 oranında uçucu kül ikamesi kullanılan C30 betonu hazırlanmıştır. Kalıplar içerisindeki taze betonlar 0,5, 10, 15, 17, 20 saniye süre ile vibrasyona tabi tutulmuştur. Hazırlanan numuneler, yoğunluk, görünür boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve doğrudan çekme deneylerine tabi tutulmuştur. Deneylerden elde edilen veriler üzerinde istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, vibrasyon süresine bağlı olarak betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinde önemli değişikliklerin olduğu belirlenmiştir. Vibrasyon uygulanmayan numunelerin en düşük dayanıma, 15 saniye süre ile vibrasyon uygulanan numunelerin ise en büyük dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir.

Topçu ve Kaval (2001), uygun oranda silis dumanı katılması ve süper akışkanlaştırıcı ile birlikte kullanılması sonucu yüksek kaliteli ve ekonomik beton elde edilebilmektedir. Bu çalışmada PKÇ/B 32,5R ve KÇ 32,5 olarak iki tip çimento ile 0,5 su/bağlayıcı oranında %1,6 oranında süper akışkanlaştırıcı kullanılarak; 300, 350 ve 400 kg/m<sup>3</sup>

dozajlı silis dumanı ilavesiz kontrol betonları ve 200, 250, 300, 350 ve 400 kg/m<sup>3</sup> dozajlı %5, 10, 15 oranında çimento yerine silis dumanı ilave edilmiş betonlar üretmiştir. Her iki çimento türünde de yapılan deneylerle %10 oranında silis dumanı 350 ve 400 dozajlı betonlar için en uygun sonucu vermiştir. 300 dozajlı betonlar için %15 oranında silis dumanı ilavesi daha uygun görülmektedir.

Beycioğlu vd. (2008), büyük çevre sorunları haline gelen endüstriyel atıklardan, atık araç lastikleri, uçucu küller, silis dumanı, granüle yüksek fırın cürufu ve mermer toz atıklarının inşaat sektöründe kullanılabilirliği incelemiştir. Önemli çevre sorunları oluşturan bu atık malzemelerin inşaat sektöründe kullanılabilirliği üzerine yapılan çalışmalarda başarılı sonuçlar alındığı görülmüştür. Endüstriyel gelişime paralel olarak ortaya çıkabilecek atık malzemelerin faydalı geri kazanım mekanizmaları ile tekrar kullanılabilirliği ve olumsuz çevresel etkilerinin azaltılması üzerine yapılacak çalışmaların çevresel korunum ve insanlığın geleceği açısından çok önemli olduğu belirlenmiştir.

Yiğiter vd. (2004), C tipi uçucu kül içeren beton karışımlarının bazı fiziksel, mekanik ve durabilite özellikleri incelemiştir. Su içerisinde kür ve havada kür olmak üzere iki farklı kür yöntemi kullanılmıştır. Çimento yerine %40'a kadar uçucu kül ikame edilerek; beton numunelerinin basınç dayanımı, elastisite modülü, asit etkisine karşı dayanıklılığı, harç çubuğu örneklerinin hacim sabitliği ve bağlayıcı hamurlarının priz süreleri ölçülmüştür. Uçucu kül kullanımının betonun erken yaşlardaki dayanımını düşürdüğü, buna karşın 3 günden sonra uçucu kül oranının artması ile basınç dayanımlarının arttığı bulunmuştur. Havada kür edilen numunelerin elastisite modülünün ve basınç dayanımının suda kür edilen numunelere kıyasla daha düşük olduğu ve uçucu kül oranı arttıkça kür hassasiyetinin de arttığı görülmüştür. Ayrıca, uçucu kül kullanımı betonun sülfürik aside karşı dayanıklılığını arttırmıştır. Uçucu kül oranının artması bağlayıcı hamurlarının priz sürelerini uzattığı, süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı ile bu negatif etkinin ortadan kalktığı görülmüştür. Harç numuneleri üzerinde yapılan boy ölçümlerinde ise, uçucu kül oranı arttıkça genleşmelerin arttığı gözlenmiştir.

Şimşek ve Akıncıtürk (2006), günümüzün etkin kullanılan yapı malzemesi olan betonun dış etmenlere karşı dirençli, suya karşı ise geçirimsiz bir konumda üretilmesi yöntemi araştırmıştır. Deneysel sonuçlarından beton ne kadar kaliteli üretilirse üretilsin azda olsa basınç altında içine su işleyebildiği anlaşılmıştır. Bunun yanında, su işleme derinliğini azaltarak, betonun zaman içinde oluşabilecek çatlak vb. etkilere karşı dayanımının ve dayanıklılığının arttırılabilmesi ve yüzeysel yalıtım malzemelerinin hasar görmesi durumunda su ile başbaşa kalan malzemenin, hasar riskinin azaltılması da önem taşımaktadır. Yapay puzolan katkı maddelerinin bu yolla beton içinde kullanılması, çimentonun daha az oranda üretilmesine ve çevresel atıklarında zarar vermeden değerlendirilmesine de olanak vermektedir.

Yıldız vd. (2006), yapı alçılarının belirli oranlarda silis dumanı ile yer değiştirilerek kullanılması durumunda basınç dayanımında meydana gelen değişim araştırmıştır. Yapı alçısı olarak kullanılan kartonpiyer alçısının silis dumanı ile hacimce %5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında yer değiştirmesi neticesinde elde edilen numuneler, birim ağırlık, hacimce su emme oranı ve basınç dayanımı açısından kontrol numuneleri ile mukayese edilmiştir. Deneysel çalışmaların neticesinde, silis dumanı ilavesi ile birlikte kartonpiyer alçısının birim ağırlığı ve boşluk miktarında azalmalar meydana geldiği belirlenmiştir. Ayrıca, kartonpiyer alçısının silis dumanı ile %10 oranına kadar yer değiştirmesi neticesinde, elde edilen numunelerin basınç dayanımlarında olumsuz olarak nitelenemeyecek miktarlarda azalmanın meydana geldiği tespit edilmiştir. Yapılan çalışma ile, basınç dayanımı değerleri göz önünde bulundurularak kartonpiyer alçısının silis dumanı ile %10 oranına kadar yer değiştirilerek kullanılabileceği sonucu elde edilmiştir.

Aruntaş (2006), termik santrallerden elde edilen uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanım potansiyeli incelemiştir. Uçucu külün özellikleri, bu malzemenin puzolanik bir malzeme olduğunu ve inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Uçucu küllerin inşaat sektöründe çok büyük kullanım potansiyelinin bulunduğunu görülmüştür. Uçucu kül kullanımının özellikle çimento, beton ve yapı malzemelerinin üretiminde daha yaygın olduğu görülmektedir. Türkiye’de ve Dünya’da

bu atığın değerlendirilmesi durumunda, enerji tasarrufu sağlanması, daha ucuz ve kaliteli malzeme üretilmesi, atık malzemenin geri dönüştürülmesiyle ülke ekonomisine katkı sağlanmasının yanı sıra hem doğal hammadde ile ekolojik dengenin korunması hem de çevre kirliliğinin önlenmesi mümkün görünmektedir.

Güneyisi vd. (2003), silis dumanı, uçucu kül ve portland çimentosunun değişik oranlarda kullanılmasıyla üretilen numunelerin klorür geçirimsizliğini karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Silis dumanı %10 ve uçucu kül ise %15 olarak çimento yerine kullanılmıştır. Numuneler 1 yıl süre ile %3 NaCl çözeltisine bırakılmıştır. Sonuçta mineral katkı kullanımının betonun klor geçirimsizliğini önemli ölçüde azalttığı görülmüştür.

Koçak vd. (2011), çimento ve beton sektöründe yaygın olarak kullanılan uçucu külün, betonun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi araştırmıştır. Bu amaçla, ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül, CEM-I 42,5 R Portland çimentosu ile ikame edilerek betonlar üretmiştir. Uçucu kül ikamesi ile elde edilen betonların su emme ve kapiler su emme miktarlarında artma görülürken; birim ağırlık, ultrases geçiş hızları ve basınç dayanımlarında azalma olduğu tespit edilmiştir.

Dinçer ve Çağatay (2004), çimentonun yerine ağırlıkça %0, 5, 10, 20, 30, 40 oranlarında uçucu kül kullanılmıştır. Karışımların mekanik özelliklerini belirlemek için de 7, 14, 28, 90, 180 ve 365 günlük beton numuneler üretilmiştir. Bu araştırma, çimentonun yerine uçucu kül ikamesinin, betonun mekanik özelliklerindeki etkisinin %20 uçucu kül ikamesine kadar çok iyi olduğunu ve %30 oranına kadar kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

Beycioğlu vd. (2010), yaptıkları çalışmada betona optimum miktarda silis dumanı eklenmesi hidratasyon ısısını düşürmesi, yüksek hedef dayanımı ve düşük permeabilite sağlaması, alkali silika reaksiyonunu ve sülfat etkisini kontrol altına alması gibi birçok yararlar sağlamakta olduğunu belirtmektedirler. Silis dumanı katkısı agrega-hamur ara

yüzey bölgesini sıkılaştırarak daha boşluksuz ve daha mukavemeti yüksek betonlar elde edilmesini sağladığını Buna karşın silis dumanının işlenebilirliği düşürmesi gibi olumsuz etkileri de var olduğunu belirtmektedirler.

Ünal ve Uygunoğlu (2004), Soma Termik Santrali'ne ait uçucu kül, agrega ve PKÇ 32,5 çimentosu kullanılarak üretilen betonların özelliklerine uçucu kül katkısının etkisi araştırmıştır. Karışımlardaki çimento miktarı ağırlıkça %10, 20, 30 ve 40 oranlarında uçucu kül ile ikame edilmiştir. Üretilen numunelerde önce su emme deneyi, daha sonra ultrases geçiş süreleri, tek eksenli basınç deneyleri yapılarak 7 ve 28 günlük özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca numunelerin donma-çözülme dayanımları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; çimento %10-20 oranında uçucu kül ile ikame edilmesi durumunda, beton özelliklerinde olumsuz bir etki görülmemiştir.

Güçlüer ve Ünal (2010), uçucu kül içeren beton karışımlarının basınç dayanımları ve geçirimsizlik özellikleri incelemiştir. Uçucu kül, beton içerisine ağırlık olarak çimentonun %10, 20, 30 oranlarında yer değiştirilerek ilave edilmiştir. 7, 28 ve 56 günlük 15 cm standart küp numuneler üzerinde, basınç, ultrases geçiş süresi, 60 günlük numuneler üzerinde permeabilite deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde elde edilen sonuçlar şahit numune ile karşılaştırılarak sonuçların uygunluğu belirlenmiştir. Bulunan sonuçlara göre, uçucu kül miktarının %10-20 oranında ağırlıkça çimentonun yerine kullanılması halinde betonun dayanımının arttığı ve geçirimsizlik miktarının azaldığı gözlenmiştir.

Durmuş (2008), uçucu kül, silis dumanı ve kimyasal katkının C20 ve C30 betonlarında su işleme derinliği ve basınç dayanımına etkileri araştırılmıştır. Beton karışımlarında kalker esaslı kırma taş, PÇ 42,5 R CEM-I çimentosu, uçucu kül-silis dumanı, kimyasal katkı ve içme suyu kullanılmıştır. 28. ve 90. günlerde geçirgenlik ve basınç dayanım deneyleri gerçekleştirilerek referans örneklerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak; C20 ve C30 sınıflarında, basınç dayanımını ve su işleme derinliğini bakımından en iyi sonuç, silis dumanı katkılı numunelerde görülmüştür.

Çalışmalara göre silis dumanı basınç dayanımını artırma etkisi 3 günde kendini göstermemekteyse de, 28 gün sonra belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Silis dumanı ikamesiyle 28 günlük basınç dayanımlarında, karışım oranlarına bağlı olmak üzere, %20'den başlayıp %50 mertebesine kadar artış elde edilebilmektedir. Değişik silis dumanı ikamelerinde ve değişik su/bağlayıcı oranlarında yarmada çekme dayanımları incelenmiştir. Silis dumanı ikamesinin yarmada çekme dayanımını arttırdığı gözlenmiştir. %15'in üzerindeki yüksek oranda silis dumanı ikamesinin önemli bir ölçüde artırma yapmadığı tespit edilmiştir. Tüm su/bağlayıcı oranlarında %5-10 kadar olan ikamelerde yarmada çekme dayanımı oldukça artış göstermiştir. Uçucu kül kullanımı en düşük su/bağlayıcı oranında kullanıldığında dayanım ve durabilite açısından daha iyi sonuçlar vermektedir. Aynı şekilde C sınıfı uçucu kül kullanılan başka bir araştırmada ise, erken basınç dayanımını olumsuz yönde etkilediği ancak 3 günden sonra yavaş yavaş olumlu özelliklerini gösterdiği saptanmıştır. Uçucu kül içeren numunelerle normal numunelerin kür şartlarına verdikleri tepkiler incelenmiş, uçucu kül içeren betonların kür koşullarına karşı daha çok hassasiyet gösterdiği ortaya konmuştur. Ayrıca uçucu küllü beton puzolanik reaksiyonlar sonucu beton zamanla daha geçirimsiz bir yapı kazanır. Başka bir çalışma betonun mekanik özellikleri açısından değerlendirildiğinde; uçucu kül ikame miktarına bağlı olarak basınç dayanımı değerleri azalmıştır. Uçucu kül ikamesi beton islenebilirliğini olumlu yönde etkilemektedir. Uçucu kül ikame miktarının çimentonun %5'inden fazla olması sertleşme sürelerini arttırmaktadır. Uçucu kül çimento gibi bağlayıcılık özelliği göstermesine rağmen tam olarak çimentonun bağlayıcılık özelliğini sergileyememekte ve basınç dayanımını düşürmektedir.

Bu sonuçlardan gördüğümüz kadarıyla uçucu külün betonda kullanımıyla ilgili zaman zaman çelişkili sonuçlar elde edilmiştir. Silis dumanı katkısı diğer puzolanlar gibi yeni C-S-H jelleri oluşmasını sağlamaları yanı sıra ince silis dumanı taneleri agrega-hamur ara yüzey bölgesini sıkılayıp kuvvetlendirerek beton dayanımını arttırmaları. Buna karşın belli bir islenebilirlik için su ihtiyacını artmaları gibi olumsuz etkileri de vardır. Dolayısı ile betondaki optimum silis dumanı miktarı bu etkilerin göreceli değerlerine bağlı olacak ve çimento, agrega, akışkanlaştırıcı katkı tip ve miktarları ile bakım koşulları gibi klasik faktörlerden de etkilenecektir. Bazı araştırmacılara göre silis

dumanı katkısının beton dayanımına olan olumlu etkisi agrega hamur ara yüzeyini kuvvetlendirmesinden dolayıdır. Diğer taraftan en önemli faktörün daha sıkı ve kaliteli bir çimento hamuru oluşması olduğu da öne sürülmektedir .

Materyal ve Yöntem bölümünde yukarıda sözü edilen çalışmalar dikkate alınarak yapılan çalışmada kullanılan malzemeler ve deneylerin yapım aşamasında kullanılan yöntemler hakkında bilgi verilecektir.

### **3. MATERYAL ve YÖNTEM**

Bu bölüm, Materyal ve Yöntem kısımlarından oluşmaktadır. Materyal kısmında çalışmanın amacı doğrultusunda agrega, çimento, karma suyu ve kullanılan diğer malzemeler ile çalışmalarda kullanılan aletler hakkında bilgi verilmektedir. Yöntem kısmında ise agrega özelliklerini belirlemek için kullanılan yöntemler, bu agregalarla üretilen betonların karışım hesaplarının belirlenmesi, taze betonun üretimi ve sertleşmiş betonun özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Gerek agrega deneylerinde gerekse beton deneylerinde TSE (Türk Standartları Enstitüsü) standartları dikkate alınmıştır.

Agrega deneyleri, beton üretimi, taze beton deneyleri ve sertleşmiş betonun basınç dayanımını, eğilme dayanımını, basınçlı su işleme derinliği ve ultrasonik ses geçirgenliği tayini Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri ve Tatbiki Mekanik laboratuvarında yapılırken, kullanılan çimentonun fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri çimentonun temin edildiği, Aşkale Çimento Fabrikası'ndan alınmıştır.

#### **3.1. Materyal**

##### **3.1.1. Agregalar**

Çalışmada iki tür agrega kullanılmıştır. Bunlardan pomza agregası tuvenan olarak Pasinler-Köprüköy mevkiinden temin edilmiştir. Diğer agrega ise normal agrega olarak tuvenan olarak temin edilen normal agrega kullanılmıştır. Agregaların granülometrik dağılımı, tane yoğunluğu ve su emme değerleri ile içerdikleri organik madde içeriği hakkında bilgiler aşağıda verilmiştir.



a. Tane büyüklüğü dağılımı: Deneilerde kullanılacak agregalar için ayarlanmış granülometri kullanılmış ve her bir grup agreganın karışımındaki yüzdeleri sınır eğriler arasında kalacak şekilde belirlenmiştir. Elek analizi sonuçları Çizelge 3.1’de, sınır granülometri eğrileri ve karışımında kullanılan agreganın granülometri eğrisi ise Şekil 3.3’te verilmiştir.



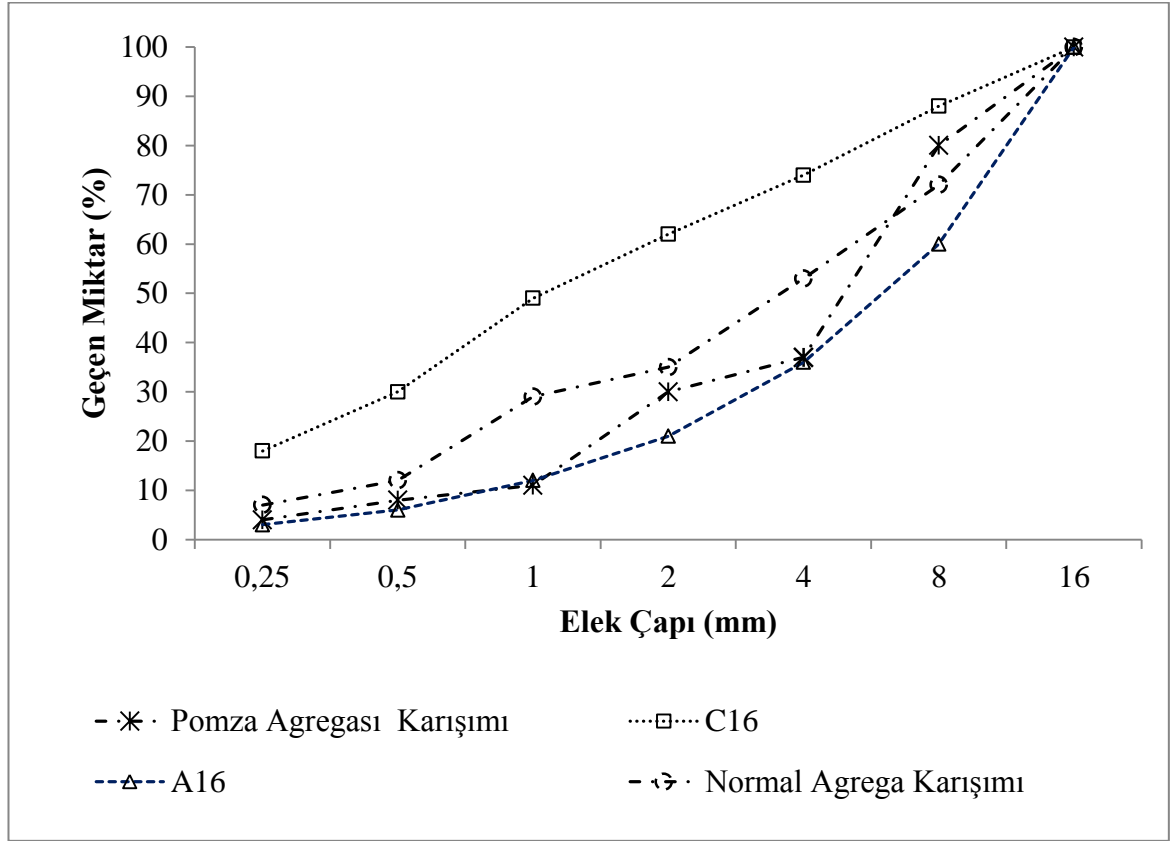
**Şekil 3.1.** Elek analizi yapılmış Pasinler pomzasının görünüşü



**Şekil 3.2.** Elek analizi yapılmış normal agreganın görünüşü

**Çizelge 3.1.** Beton bileşiminde kullanılan agregalar için elek analizi sonuçları

Elek çapı	Pomza Agregası				Normal Agrega			
	Üstte kalan (g)	Yığışimli toplam (g)	Kalan %	Geçen %	Üstte kalan (g)	Yığışimli toplam (g)	Kalan %	Geçen %
16	0	3000	0	100	0	3000	0	100
8	603	2397	20,1	79,9	836	2164	27,87	72,13
4	1885	1115	62,83	37,16	1412	1588	47,07	52,93
2	2110	890	70,33	29,67	1948	1052	64,94	35,06
1	2623	377	87,44	12,56	2139	861	71,3	28,7
0,50	2658	342	88,6	11,4	2649	351	88,3	11,7
0,25	2884	116	96,14	3,86	2790	210	93	7
Tava	1	1	0,033	0,03	2	2	0,066	0,07

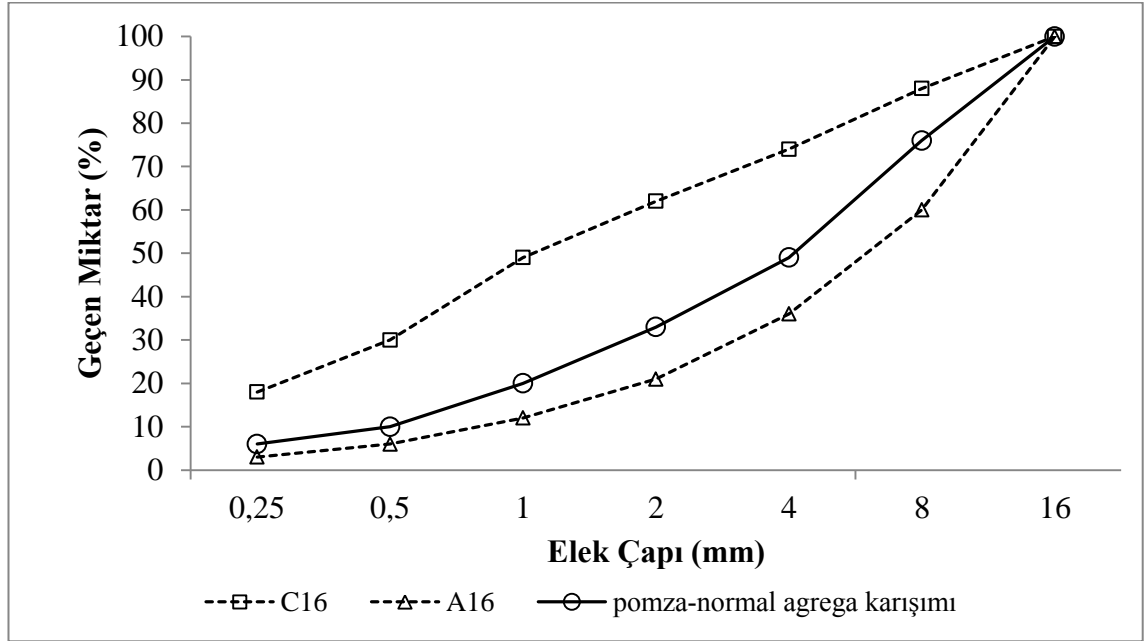


**Şekil 3.3.** Beton bileşiminde kullanılan agrega için granülometri eğrisi

Çalışmada kullanılan pomza-normal agrega elekten geçen ortalama yüzde miktarı Çizelge 3.2’de ve granülometri eğri grafiği Şekil 3.4’te verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Pomza- normal agrega karışım elekten geçen yüzde miktarları

Elek Çapı (mm)	Pomza	Normal agrega	Ortalama
	Elekten Geçen (%)	Elekten Geçen (%)	Elekten Geçen (%)
16	100	100	100
8	79,9	72,13	76,15
4	37,16	52,93	45,05
2	29,67	35,06	32,37
1	12,56	28,7	20,63
0,50	11,4	11,7	11,55
0,25	3,86	7	5,43
Tava	0,03	0,07	0,05



**Şekil 3.4.** Beton bileşiminde kullanılan ortalama agrega için granülometri eğrisi

Çalışmada kullanılan Hasankale (Pasinler) pomzasının fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Pasinler pomzasının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal Analizler	%	Fiziksel Özellikler	
SiO <sub>2</sub>	71,45	Sertlik (MOHS)	5,5-6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,30	Kuru Birim Hacim Ağırlığı ( gr/cm <sup>3</sup> )	0,32-0,97
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,54	Gerçek Özgül Ağırlık ( gr/cm <sup>3</sup> )	1,9-2,65
CaO	1,84	Porozite (%)	45-70
SO <sub>3</sub>	0,01	Su Emme (%)	30-70
MgO	0,04	Isı İletkenlik Katsayısı (Kcal/m.h.°C)	0,12-0,20
Na <sub>2</sub> O+ K <sub>2</sub> O	8,40	Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	1,6-3

b.Tane yoğunluğu ve su emme: 0-2, 2-8, 8-16 elek gruplarına ayrılan agregalara tane yoğunluğu ve su emme deneyleri uygulanmıştır.

'm<sub>1</sub>' doygun ve havada yüzeyi kurutulmuş agreganın kütesini; 'm<sub>2</sub>' doygun agrega numunesi ihtiva eden piknometrenin kütesi ve/veya doygun agrega numunesi ihtiva eden sepetin sudaki görünür kütesini; 'm<sub>3</sub>' sadece su ile doldurulmuş piknometrenin kütesini ve/veya boş sepetin sudaki görünür kütesini; 'm<sub>4</sub>' etüvde kurutulmuş agreganın kütesini; 'ρ<sub>a</sub>' görünür tane yoğunluğunu; 'ρ<sub>rd</sub>' etüvde kurutulmuş esasta tane

yoğunluğunu; ' $\rho_{ssd}$ ' doygun ve yüzeyi kurutulmuş esasta tane yoğunluğunu; 'WA' su emme oranı'nı ifade etmek üzere elde edilen değerler Çizelge 3.4'te verilmiştir.

**Çizelge 3.4.** Kullanılan agregaların tane yoğunluğu ve su emme değerleri

Agrega Sınıfı	Pomza agregası			Normal agregası		
	İnce		İri	İnce		İri
	0–2 mm	2–8 mm	8–16 mm	0–2 mm	2–8 mm	8–16 mm
$m_1$ (g)	1016	1825	1839	1323,3	1718	1768
$m_2$ (g)	1607	580	520	3950	970	1030
$m_3$ (g)	1507	508	508	3013	508	508
$m_4$ (g)	723	1261	1260	1323,3	1665	1738
$\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,16	1,06	1,00	3,46	1,38	1,43
$\rho_{rd}$ (g/cm <sup>3</sup> )	0,79	1,013	1,00	2,083	2,23	2,355
$\rho_{ssd}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,11	1,47	1,39	2,475	2,297	2,395
WA (%)	40,53	44,73	45,95	18,793	3,18	1,76

c. Agregada organik madde tayini: TS EN1744–1 Madde 15.1'e uygun olarak yapılan deneyde %3 lük NaOH çözeltisi içinde bekletilen agregası örneklerinde renk değişimi gözlenmiştir. 24 saat süreyle çözelti içerisinde agregası bekletildikten sonra pomza agregası sıvı açık sarı, normal agregada ise berrak ve renksiz gözlemlendiğinden agregada zararlı organik madde olmadığı belirlenmiştir.

### 3.1.2. Puzolanik katkıları

Çalışmada iki tür yapay puzolanik katkı çimento içerisinde ağırlıkça değişik yüzdelerde olmak katılmak suretiyle kullanılmıştır. Kullanılan yapay puzolanlardan birisi olan silis dumanı Antalya Etibank Elektrometalurji tesisinden temin edilmiştir. Diğer bir puzolanik katkı ise Afşin Termik Santrali'nden temin edilen uçucu küldür. Çizelge 3.5'te yapay puzolanik katkıların kimyasal ve fiziksel özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 3.5.** Puzolanik katkıların karakteristik özellikleri

Silis dumanı kimyasal özellikleri		Uçucu kül kimyasal özellikleri	
CaO	2,06	CaO	36,8
SiO <sub>2</sub>	79,77	SiO <sub>2</sub> (S)	30,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,43	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (F)	5,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,25	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (A)	14,8
MgO	3,7	MgO	2,5
SO <sub>3</sub>	1,54	SO <sub>3</sub>	4,9
Kızdırma Kaybı	5,45	Kızdırma Kaybı	2,4
Na <sub>2</sub> O	1,22	(S)+(F)+(A)	50,9
K <sub>2</sub> O	1,2	Serbest CaO	11,5
Çözünmeyen kalıntı	33,74		

### 3.1.3. Çimento

Çalışmada kullanılan çimento Aşkale Çimento A.Ş'den temin edilmiştir. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

**Çizelge 3.6.** Aşkale CEM-I 42,5 çimentosu özellikleri

Kimyasal özellikler		Fiziksel özellikler	
SiO <sub>2</sub>	19,61	Özgül Ağırlık ( gr/cm <sup>3</sup> )	3,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,59	Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /gr)	3853
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,39	Litre Ağırlık (gr)	1096
CaO	63,67	Priz Başlangıcı (saat-dk)	1s-59 dk
MgO	2,93	Priz Sonu (saat-dk)	2s-49 dk
SO <sub>3</sub>	2,86	Hacim Genleşmesi (mm)	2
Kızdırma kaybı	1,62	Basınç 2.Gün	2,26
Na <sub>2</sub> O+0.658K <sub>2</sub> O	0,62	Dayanımı 7.Gün	39
Serbest CaO	0,75	(MPa) 28.gün	54,6
Klorid	0,063		
Çözünmez tortu	1,4		

### 3.1.5. Deneylerde kullanılan aletler

Elekler: Deneylerde TS1227 (1985)'ye uygun toplama kabı, 0,25 mm, 0,5 mm, 1 mm, 2 mm ile TS 1226 (1985)'ya uygun 4 mm, 8 mm, 16 mm göz açıklıklı kare delikli tel elekler kullanılmıştır.

Betonyer: Çalışma kapsamında, ELE firmasının ürettiği 60 dm<sup>3</sup> kapasiteli, 25 devir/dakika karıştırma hızına sahip, düşey eksenli laboratuvar tipi betonyer kullanılarak beton üretimi yapılmıştır.



**Şekil 3.5.** Çalışmada kullanılan betonyer görünüşü

Çökme konisi ve şişleme çubuğu: Çökme konisi, taban çapı 200 mm, üst çapı 100 mm ve yüksekliği 300 mm olan metalden yapılmış kesik koni şeklindedir. Alt kısmında oynamasını önlemek için iki adet basma kulaklığı mevcuttur. Numunelerin kalıplara konulup, sıkıştırılması işlemi sırasında 600 mm uzunluğunda 12 mm çapında standart çelik şişleme çubuğu kullanılmıştır.

Kalıplar: Deneyleerde, 10\*20 cm boyutlarında plastik malzemedden yapılmış portatif silindir beton kalıpları kullanılmıştır.



**Şekil 3.6.** Prizma ve silindir kalıplar

Basınç ve eğilme dayanımı tayininde kullanılan pres aleti: Sertleşmiş beton deneylerinden, numunelerin basınç mukavemetlerinin belirlenmesinde Yapı Malzemeleri ve Tatbiki Mekanik laboratuvarında bulunan ELE marka hidrolik pres kullanılmıştır. Numunelerin eğilme dayanımlarının tespiti için ise laboratuvar da mevcut bulunan pres kullanılmıştır. Basınç dayanımı ve eğilme dayanımı tespitinde kullanılan makinaların görünümü Şekil 3.7’de verilmiştir.



**Şekil 3.7.** Basınç dayanımı ve eğilme dayanımı ölçmek için kullanılan pres makinaları

Ultrasonik ses cihazı: Ultrasonik ses geçirgenliği ölçüm deneyinde laboratuvarımızda mevcut Şekil 3.8'te verilen dijital ultrasonik hız ölçme aleti ile ultrasonik jel kullanılarak tespit edilmiştir.



**Şekil 3.8.** Ultrasonik ses geçirgenlik ölçüm cihazı

Basıncılı su işleme derinliği aleti: Su işleme derinliği labarotuarımızda mevcut bulunan alet ile ölçümler yapılmıştır. Kullanılan aletin görünüşü Şekil 3.9'da verilmiştir.



**Şekil 3.9.** Basıncılı su işleme derinliği aleti görünüşü



## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Agregada deneylerinde uygulanan yöntemler

Deneyleerde kullanılacak olan agregada; daha iyi tane dağılımı elde edebilmek için elenerek, 0–2, 2–8 ve 8–16 mm olmak üzere üç farklı tane sınıfına ayrılmıştır. Farklı gruplara ayrılan agregalar üzerinde yeterlilik deneyleri yapılarak malzemenin kullanılabilirliği ve özellikleri belirlenmiştir. Deneyleerde kullanılmak üzere laboratuara getirilen normal agregada için agregada deneyleri yapmak üzere numune alınmasında TS707’de belirtilen esaslar dikkate alınmıştır. Bu standartta her bir agregada deneyi için alınması gereken miktarlar çizelge halinde belirtilmiştir. Bu miktarları elde etmek için çeyrekleme yöntemi uygulanmıştır. Çeyrekleme yöntemini uygulamak için numune temiz ve sert bir yüzeye yayılmıştır. İyice karıştırılan yığın, taban çapı yüksekliğinin yaklaşık dört katı olan kesik koni şeklinde biçimlendirilmiştir. Daire şeklindeki alan malanın kenarı ile dört eşit kısma bölünmüştür. Bunlardan üçü deney numunesi oluşturulmasında kullanılmış, diğeri ise gerektiğinde yararlanılmak üzere saklanmıştır. Deney numunesi elde edilmesinde kullanılacak kısımlardan birisi yeniden yere serilerek, mala ile dörde bölünmüştür. Bölme işleminden sonra iki grup deney numunesi oluşturulmak üzere uygun yerlere alınmış ve tekrar çeyrekleme işlemi yapılmıştır. Bu işlem, en son kümeler yaklaşık 500 gram kalıncaya kadar sürdürülmüştür. Her bir deney için, çeyrekleme işlemi yapılarak elde edilen numuneler üzerinde üçer defa agregada deneyleri yapılmış ve sonuçların aritmetik ortalamaları alınmıştır.

a. Tane büyüklüğü dağılımı (Granülometri): Beton agregaları ile ilgili özelliklerin tarif edildiği TS706 EN12620’ye göre agregaların tane büyüklüğü dağılımı TS3530 EN933-1’e uygun olarak belirlenmelidir. Bu standarda göre yapılan deneyde yıkanmış ve kurutulmuş malzeme elek takımına dökülmüştür. Tava ve kapak kullanılarak malzeme kaybına meydan vermeden elek takımı makine ile sarsılmıştır. Daha sonra sırayla büyük göz açıklıklı elekten başlamak üzere altına tava ve üzerine kapak konularak her bir elek takımdan ayrılarak, elle tek tek eleme işlemine devam edilmiştir. Her eleği geçen malzeme elek setinde bulunan bir sonraki elek üzerine konularak işleme devam

edilmiştir. Standarda göre eleme işlemi esnasında, bir dakika süre içerisinde elek üstü malzemede kütlece %1'den daha fazla değişiklik olmuyorsa eleme işleminin tamamlandığı kabul edilebilir.

b. Çok ince malzemenin kalitesi: Çok ince malzemenin kalitesi TS706'ya göre belirlenmiştir. Bu standarda göre çok ince malzeme, aşağıda belirtilen dört durumdan birinin söz konusu olması halinde zararsız olarak kabul edilmelidir:

İnce agreganın toplam çok ince malzeme muhtevasının, %3'ten veya agreganın kullanıldığı yerde geçerli olan mevzuata göre belirtilmiş olan başka bir değerden daha az olması. Deneye tabi tutulduğunda, kum eş değerinin, belirtilen alt sınırı aşması. Deneye tabi tutulduğunda, metilen mavisi deneyinin, belirtilen alt sınır değerinden daha küçük bir değer vermesi. Bilinen bir performans yeterliliğine sahip agreganın kine eşit performansın elde edilmesi veya herhangi bir problemle karşılaşmadan kullanım performans yeterliliğinin kanıtlanması.

c. Tane yoğunluğu ve su emme : Her bir agrega tane sınıfı için TS EN1097-6'ya uygun olarak tane yoğunluğu ve su emme deneyleri yapılmıştır. Bu standart gereğince ince ve iri agregaların tane yoğunlukları ve su emmeleri farklı yöntemlerle belirlenir. Bu yöntemler aşağıda kısaca özetlenmiştir:

İnce agrega için tane yoğunluğu ve su emme miktarlarının belirlenmesi: Hazırlanan deney numunesi kısmı, piknometrede bulunan,  $(22\pm 3)^{\circ}\text{C}$  sıcaklıktaki suya daldırılır ve hapsolmuş hava, piknometre eğik konumda hafifçe yuvarlanmak ve sallanmak suretiyle uzaklaştırılır. Piknometre, su banyosu içerisinde düşey hale getirilir ve deney numunesi kısmı,  $(22\pm 3)^{\circ}\text{C}$ 'de,  $(24\pm 0,5)$  saat süreyle tutulur. Islatma süresinin sonunda, piknometre su banyosundan çıkarılır ve varsa geriye kalan hapsolmuş hava, piknometre hafifçe yuvarlanmak ve sallanmak suretiyle uzaklaştırılır. Piknometre, su ilâve edilerek taşacak şekilde doldurulur ve kap içerisinde hiç bir hava hapsedilmeden tepe kısmına bir kapak yerleştirilir. Daha sonra, piknometrenin dış kısmı kurutulur ve tartılır ( $m_2$ ). Deney

numunesi kısmını kaplayan suyun büyük bir kısmı süzülür ve piknometre bir tepsiye boşaltılır. Piknometre, tekrar su ile doldurulur ve kapak daha önce belirtildiği şekilde yerleştirilir. Daha sonra, piknometrenin dış kısmı kurutulur ve tartılır ( $m_3$ ). Islak deney numunesi kısmı, tepsinin tabanına üniform bir tabaka hâlinde yayılır. Yüzey rutubetini buharlaştırmak amacıyla, agrega taneleri, hafif bir sıcak hava akımına maruz bırakılır. Agregataneleri, üniform bir kurumunun elde edilmesi amacıyla, hiçbir yüzey nemi görülmeinceye ve taneler artık birbirlerine yapışmayıncaya kadar, sık aralıklarla karıştırılır. Karıştırma devam ederken numune, oda sıcaklığına kadar soğutulur. Yüzey kuruluşunun sağlanıp sağlanmadığının tespit edilmesi için, metal koni kalıbı, en büyük çapa sahip kısım, tepsinin tabanına gelecek şekilde yerleştirilir. Koni kalıbı, bir miktar kuru deney numunesi kısmıyla gevşek olarak doldurulur ve kalıbın üst kısmındaki delikten geçirilen bir sıkıştırıcı kullanmak suretiyle agrega yüzeyi 25 defa hafifçe vurularak sıkıştırılır. Sıkıştırma işleminden sonra, kalıp tekrar doldurulmaz. Kalıp, üzerinde hiçbir agregatanesi olmayacak şekilde, dikkatlice kaldırılır. Elde edilen agregatanesi çökmezse, kalıp kaldırıldığında çökme olayı meydana gelene kadar kurutmaya devam edilir ve koni deneyi tekrarlanır. Doygun ve yüzeyi kurutulmuş deney numunesi kısmı tartılır ( $m_1$ ). Agregataneleri, hava dolaşımli etüvde,  $(110\pm 5)^\circ\text{C}$ 'de sabit kütleyle ( $m_4$ ) kadar kurutulur. Bütün kütle değerleri, deney numunesi kısmının kütlelerinin ( $m_4$ ) %0,1'i veya daha iyi olan bir doğrulukla kaydedilir.

Tane yoğunlukları ( $\rho_a$ ,  $\rho_{rd}$  ve  $\rho_{ssd}$ ), ve su emme oranı ( $WA_{24}$ ) aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır:

$$\text{Görünür tane yoğunluğu: } \rho_a = \frac{(m_4)}{m_4 - (m_2 - m_3)}$$

$$\text{Etüvde kurutulmuş esasta tane yoğunluğu: } \rho_{rd} = \frac{(m_4)}{m_1 - (m_2 - m_3)}$$

$$\text{Doygun ve yüzeyi kurutulmuş esasta tane yoğunluğu: } \rho_{ssd} = \frac{(m_1)}{m_1 - (m_2 - m_3)}$$

$$\text{Su emme oranı: } WA_{24} = 100 * \frac{(m_1 - m_4)}{m_4}$$

İri agregaya için tane yoğunluğu ve su emme miktarlarının belirlenmesi: Hazırlanan deney numunesi kısmı, tel sepete yerleştirilir ve tel sepet, suyun seviyesi, sepetin üst kısmından en az 50 mm yukarıda olacak şekilde  $(22\pm 3)^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta su ihtiva eden tanka daldırılır. Daldırmadan hemen sonra sepet, tankın tabanından yaklaşık 25 mm yukarıya kaldırılarak ve saniyede bir kez olmak üzere 25 defa bu yükseklikten düşürülerek, hapsolmuş hava deney numunesi kısmından uzaklaştırılır. Sepet ve agregaya,  $(24\pm 0,5)$  saat süreyle  $(22\pm 3)^{\circ}\text{C}$  sıcaklıktaki suya tamamen daldırılmış halde bekletilir. Sepet ve deney numunesi kısmı sallanır ve  $(22\pm 3)^{\circ}\text{C}$  sıcaklıktaki suda tartılır ( $m_2$ ). Sepet ve agregaya, sudan çıkarılır ve suyun uzaklaşması için birkaç dakika beklenir. Agregaya, sepetten, kuru bezlerden birinin üzerine dikkatlice boşaltılır. Boş sepet, tekrar suya daldırılır, 25 defa sallanır ve suda tartılır ( $m_3$ ). Agregaya tanelerinin yüzeyi dikkatlice kurutulur ve bez rutubet ememeyecek hâle geldiğinde, taneler, ikinci bir kuru, yumuşak emici bez üzerine aktarılır. Agregaya taneleri, kalınlık bir agregaya tanesinden daha fazla olmayacak şekilde bu ikinci bez üzerine yayılır ve görülebilir bütün su filmleri uzaklaştırılana kadar direk güneş ışığından veya herhangi bir ısı kaynağından korunarak atmosfere maruz bırakılır. Ancak bu durumda agregaya taneleri, hala rutubetli bir görünüm arz eder. Agregaya taneleri tartılır ( $m_1$ ). Agregaya taneleri, bir tepsiye aktarılır ve etüvde,  $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta, sabit kütleye ( $m_4$ ) kadar kurutulur. Bütün tartımlar, deney numunesi kısmının kütlesinin ( $m_4$ ) %0,1'i veya daha iyi olan bir doğrulukla yapılır ve kaydedilir.

Tane yoğunlukları ( $\rho_a$ ,  $\rho_{rd}$  ve  $\rho_{ssd}$ ), ve su emme oranı ( $WA_{24}$ ) aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır:

$$\text{Görünür tane yoğunluğu: } \rho_a = \frac{(m_4)}{m_4 - (m_2 - m_3)}$$

$$\text{Etüvde kurutulmuş esasta tane yoğunluğu: } \rho_{rd} = \frac{(m_4)}{m_1 - (m_2 - m_3)}$$

$$\text{Doygun ve yüzeyi kurutulmuş esasta tane yoğunluğu: } \rho_{ssd} = \frac{(m_1)}{m_1 - (m_2 - m_3)}$$

$$\text{Su emme oranı: } WA_{24} = 100 * \frac{(m_1 - m_4)}{m_4}$$

Betonun priz alma ve sertleşme hızını değiştiren bileşenler : TS EN 1744–1 standardına göre; humus, hayvansal ve bitkisel atıkların toprakta çürümesiyle oluşmuş organik bir maddedir. Humus muhtevası, bir deney numunesi parçası sodyum hidroksit çözeltisinde çalkalandığında oluşan renkten tayin edilir. Bu yöntemde, humusun NaOH ile reaksiyona girmesiyle gelişen koyu renk esas alınır. Rengin yoğunluğu humus muhtevasına bağlıdır. Çözeltide hiç ya da çok hafif renklenme varsa, agrega kayda değer miktarda humus ihtiva etmiyordur. Güçlü bir renk değişimi, genellikle humus muhtevasının yüksek olmasından kaynaklanır. Organik madde muhtevası deneyindeki berrak sıvının rengini değiştiren bazı inorganik bileşikler, betonun priz almasını ve sertleşmesini olumsuz olarak etkilemez. Çalışmada kullanılan ince agrega standarda uygun şekilde NaOH çözeltisi içerisinde 24 saat süreyle bekletilmiş ve sıvının renk değişimi gözlemlenmiştir.

### **3.2.2. Kullanılan malzemelerin ve numunelerin kodlanmasında kullanılan yöntem**

Pomza agregası ‘P’ harfi, silis dumanı ‘SD’ ve uçucu kül ‘UK’ ile kodlanmıştır. Numune kodlamalarında öncelikle içerdiği pomza miktarı yüzdesi sonra da içerdiği yapay puzolanik katkı maddesi yüzdesi belirtilmiştir.

#### **Örnek:**

**P100** : Agregası hacminin tamamını pomza agregasının oluşturduğu, yapay puzolanik katkı içermeyen numune

**P50SD10** : Toplam agrega hacminin %50’si pomza agregası olan ve çimento ağırlığının %10’u silis dumanı ile yer değiştirilen beton numune

**P75UK5** : Toplam agrega hacminin %75’i pomza agregası olan ve çimento ağırlığının %5’i uçucu kül ile yer değiştirilen beton numune

### **3.2.3. Deneysel çalışmanın parametrelerinin oluşturulması**

Deneysel çalışmamızda toplam agrega içerisindeki hacimce %0, %25, %50, %75, %100 oranlarında değişen pomza miktarı ilk parametremiz, ikinci parametremiz ise çimento

içerisine ağırlıkça %5, %10, %15 yüzdelerinde ikame edilen silis dumanı ve uçucu kül olarak kabul edilmiştir. Bu parametreler temel alınarak çalışmamızda üretilen numune grup ve serileri Çizelge 3.7’de verilmiştir.

**Çizelge 3.7.** Numune seri ve grupları

	Seri no	Numune kodu	Seri no	Numune kodu
Grup-1	1	P0	22	P75
	2	P0SD5	23	P75SD5
	3	P0SD10	24	P75SD10
	4	P0SD15	25	P75SD15
	5	P0UK5	26	P75UK5
	6	P0UK10	27	P75UK10
	7	P0UK15	28	P75UK15
Grup-2	8	P25	29	P100
	9	P25SD5	30	P100SD5
	10	P25SD10	31	P100SD10
	11	P25SD15	32	P100SD15
	12	P25UK5	33	P100UK5
	13	P25UK10	34	P100UK10
	14	P25UK15	35	P100UK15
Grup-3	15	P50		
	16	P50SD5		
	17	P50SD10		
	18	P50SD15		
	19	P50UK5		
	20	P50UK10		
	21	P50UK15		

#### 3.2.4. Beton karışım seçeneklerinin belirlenmesi

Bu bölümde, deneyler için üretilen beton türlerinin tespitinde izlenen yol açıklanmıştır. Granülometrinin beton özellikleri üzerindeki etkisi göz önüne alındığında çalışmada tüvanan agregâ granülometrisine bağılı kalınmamış, ayarlanmış granülometri eğrisi kullanılmıştır. Bu nedenle agregâ üç tane sınıfına ayrılmış ve ideal granülometri eğrisi sınırları içerisinde kalacak şekilde agregâ oranları belirlenmiştir.

Çalışmalarda numuneler 7’şer serilerden oluşan 5 grup halinde toplam 35 seri olarak toplam 315 numune üretilmiş olup her seride her bir deney için 3’er numune

bulunmaktadır. Grupların her birinde sırasıyla dere kumu ağırlıkça %0, %25, %50, %75, %100 miktarı yerine Hasankale pomza agregası yer almakta serilerde ise sırasıyla çimentonun ağırlıkça sırasıyla %0 (puzolanik katkısız), %5, %10, %15 silis dumanı (SD) ve uçucu kül (UK) kullanılmıştır. Kontrol numunesiyle karşılaştırmak için agreganın içeriği değişik oranlarda pomza ve normal agregaya olan puzolanik katkısız numuneler üretilmiştir.

### **3.2.5. Karışım oranlarının belirlenmesi**

Karışım hesapları yapılırken Graf formülünden yararlanılmıştır. Karışım oranları belirlenerek deneme karışımları üretilmiş, istenen mukavemetler elde edildikten sonra numunelerin üretimine başlanmıştır.

Karışıma giren agregaların ağırlıkları bulunurken agregaya için hacimler özgül ağırlık ve nem yüzdeleri ile çarpılmıştır. Özgül ağırlık ve nem yüzdeleri iri ve ince tane sınıfları için ayrı ayrı bulunmuştur.

Agrega tane sınıflarının oranları belirlenirken ayarlanmış granülometri eğrisi kullanılmıştır. Buna göre 0–2 tane sınıfı ince agregadan hacimsel olarak %30, 2–8 tane sınıfı iri agregadan %35 ve 8–16 tane sınıfı iri agregadan %35 oranlarında malzeme karışıma ilave edilmiştir.

Karışımındaki malzeme miktarları, karışıma ağırlık olarak konularak deney numuneleri üretilmiştir. Bu işlem sırasında malzeme kayıpları göz önünde bulundurularak gerekli miktarlar %10 oranında artırılmıştır. Deney numunelerinin üretimi sırasında çökme değerleri ölçülmüş ve işlenebilirliğin yeterli olduğu belirlenmiştir. Aşağıda örnek karışım hesabı gösterilmiş ve çalışmada kullanılan karışım oranları Çizelge 3.8’de topluca belirtilmiştir.

**Örnek karışım hesabı:**

1. Adım; Önce granülometri eğrileri dikkate alınarak agregaların karışım oranları ve karışımın incelik modülü hesaplanmıştır. Karışım için en uygun düzenlenmiş granülometri eğrisi seçilmiştir. Buna göre;

0-2 mm agrega : 0,30 m<sup>3</sup> (mutlak hacim olarak)

2-8 mm agrega : 0,35 m<sup>3</sup> (mutlak hacim olarak)

8-16 mm agrega : 0,35 m<sup>3</sup> (mutlak hacim olarak)

Karışımındaki agreganın incelik modülü ise;

$$K_k = \frac{(100 - 76,15) + (100 - 45,05) + (100 - 32,37) + (100 - 20,63) + (100 - 11,55) + (100 - 5,43)}{100} = 4,09$$

2. Adım; İstenilen işlenebilme özelliği için gerekli su miktarı belirlenmiştir. Bunun için de incelik modülü formülünden yararlanılmıştır. Bu formül dozajı 250-400kg/m<sup>3</sup> arasında değişen betonlarda kullanılabilir.

$$E = \alpha(10 - K_k)$$

Karışımında  $\alpha=40$ , (akıcı kıvam+dere kumu ve mıcır)

$$E = 40 * (10 - 4,09) = 236 \text{ dm}^3$$

Pomza agregasının suyu absorbe özelliği fazla olduğundan  $\alpha$  değer maksimum olarak seçilmiştir ve 236 dm<sup>3</sup> su gereksinimi olduğu sonucuna varılmıştır.

3. Adım; Çimento dozajının saptanmasıdır. Burada dikkate alınan nitelik betonun mukavemetidir. Betonun mukavemeti E/C (su/çimento) oranı hakkında fikir verecektir. Yöntem olarak beton mukavemet formüllerinden yararlanılır. Bu çalışmada Graf formülü kullanılmıştır.



$$f_c = 30 = \frac{f_{cc}}{K_G} \left( \frac{C}{E} \right)^2 = \frac{42,5}{K_G} \left( \frac{C}{E} \right)^2$$

$K_G$  katsayısı bilinmemektedir. Bunun gerçek değeri ancak örnek beton üretilip kırıldıktan sonra bulunabilir. Fakat yaklaşık bir değer olarak hesaplar sürdürülmüştür. Karışım hesabında  $K_G=4$  alınmıştır.

$\frac{C}{E} = 1,68$  şeklinde hesaplanmıştır.  $E=236$  alındığında  $C=1,68*236=396 \text{ kg/m}^3$  değerine varılmıştır.

4. Adım; Agrega miktarlarının hesaplanmasıdır. Bu hesaplamada birim hacim denklemi eşitliğinden yararlanılmıştır. Bu denklemdeki hacimler mutlak hacimlerdir.

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3 = \frac{C}{\delta_0} + E + V_A + h$$

$$\frac{C}{\delta_0} = \frac{396}{3,10} = 128 \text{ dm}^3 \text{ çimentonun mutlak hacmidir.}$$

$$E = \frac{236}{1,0} = 236 \text{ dm}^3 \text{ suyun mutlak hacmidir.}$$

$V_A$  toplam karışım agreganın mutlak hacmidir ve bilinmeyendir.  $h$  ise havanın hacmidir ve tahmin edilmesi gerekir. Betonlarda  $h$ ,  $0-30 \text{ dm}^3$  arasında bir değer alır. %1 hava boşluğu,  $1 \text{ m}^3$  betonda  $10 \text{ dm}^3$  hava boşluğu olduğunu belirtir. Karışımında hava boşluğunun %1 olacağı kabul edilmiştir. Bu durumda birim hacim denklemi:

$$1000 = 128 + 236 + 10 + V_A \text{ olur.} \quad \text{Buradan ; } V_A = 626 \text{ dm}^3 \text{ bulunmuştur.}$$

Farklı tane sınıfındaki agrega hacimleri;

$$0-2 \text{ mm agrega} \quad : 626 * 0,30 = 188 \text{ dm}^3$$

$$2-8 \text{ mm agrega} \quad : 626 * 0,35 = 219 \text{ dm}^3$$

$$8-16 \text{ mm agrega} \quad : 626 * 0,35 = 219 \text{ dm}^3$$

Böylece 1m<sup>3</sup> pomza betonun teorik birleşimi bulunmuştur

Çimento	: 128 dm <sup>3</sup>
Su	: 236 dm <sup>3</sup>
0–2 mm agrega	: 188 dm <sup>3</sup>
2-8 mm agrega	: 219 dm <sup>3</sup>
8–16 mm agrega	: 219 dm <sup>3</sup>

Yukarıda yapılan hesaplardan yola çıkarak Çizelge 3.8’de verilen tablo oluşturulmuştur. Hesaplara göre bulunan su miktarı gerekli işlenebilirliğin pomza agregasının aşırı su absorbe etmesi ve katılan diğer yapay puzolanik katkılardan dolayı sağlanamadığı durumlarda bir miktar artırılmıştır.

**Çizelge 3.8.** Beton karışım oranları

		Çimento (kg)	UK (kg)	SD (kg)	Su (kg)	Agrega Miktarı (kg)		
						Pomza Agregası	Normal Agrega	
Grup-1	P0	7,03	-	-	2,5			
	P0SD5	6,68	0,351	-	2,65			
	P0SD10	6,32	0,703	-	2,6	0-2	-	12,6
	P0SD15	5,97	1,06	-	2,6	2-8	-	13,6
	P0UK5	6,68	-	0,351	2,7	8-16	-	14,7
	P0UK10	6,32	-	0,703	2,8			
Grup-2	P0UK15	5,97	-	1,06	3,0			
	P25	7,03	-	-	3			
	P25SD5	6,68	0,351	-	3,25			
	P25SD10	6,32	0,703	-	3,4	0-2	1	9,5
	P25SD15	5,97	1,06	-	3,5	2-8	1,5	10,3
	P25UK5	6,68	-	0,351	3,2	8-16	1,5	10,7
Grup-3	P25UK10	6,32	-	0,703	3,4			
	P25UK15	5,97	-	1,06	3,15			
	P50	7,03	-	-	3,5			
	P50SD5	6,68	0,351	-	3,6			
	P50SD10	6,32	0,703	-	3,75	0-2	2,2	6,3
	P50SD15	5,97	1,06	-	3,8	2-8	3,2	6,8
Grup-3	P50UK5	6,68	-	0,351	3,5	8-16	3	7,2
	P50UK10	6,32	-	0,703	3,8			
	P50UK15	5,97	-	1,06	4			

**Çizelge 3.8. (Devam)**

		Çimento (kg)	UK (kg)	SD (kg)	Su (kg)	Agrega Miktarı (kg)	
						Pomza Agregası	Normal Agrega
Grup-4	P75	7,03	-	-	4,5		
	P75UK5	6,68	0,351	-	4,6		
	P75UK10	6,32	0,703	-	4,7	0-2	3,03
	P75UK15	5,97	1,06	-	4,8	2-8	4,5
	P75SD5	6,68	-	0,351	4,7	8-16	4,5
	P75SD10	6,32	-	0,703	4,8		
	P75SD15	5,97	-	1,06	5		
Grup-5	P100	7,03	-	-	6,4		
	P100SD5	6,68	0,351	-	6,5		
	P100SD10	6,32	0,703	-	6,6	0-2	5,6
	P100SD15	5,97	1,06	-	6,75	2-8	7,76
	P100UK5	6,68	-	0,351	6,8	8-16	7,04
	P100UK10	6,32	-	0,703	6,9		
	P100UK15	5,97	-	1,06	7		
	P100UK15	5,97	-	1,06	6,4		

### 3.2.6. Beton üretimi, numunelerin yerine konması ve bakımı

Karışım oranları belirlenen malzemeler 1 g. hassasiyetli terazide tartıldıktan sonra betonyere sırasıyla iri normal agrega ve iri pomza agregası daha sonra ince pomza ve normal agregaları karışıma katılmıştır. Karışım suyunun yaklaşık 1/3'ü eklenerek agregalar 1 dakika süreyle karıştırılmış, daha sonra çimento ve yapay puzolanik katkıları olan silis dumanı veya uçucu kül ilave edilmiştir. Geriye kalan karma suyu konulup yaklaşık 5 dakika daha karıştırılarak betonlar üretilmiştir.

Üretilen betonlar 10\*20 cm boyutlu silindirik kalıplara ve 7\*7\*28 cm boyutlarında prizma kalıplara yerleştirilmiştir. Numunenin kalıplardan kolaylıkla çıkarılabilmesi için, kalıpların içi ince motor yağı ile yağlanmıştır. Silindir numuneler her 1/3 yükseklikte 25 defa ve prizma numuneler ise tamamen doldurulduktan sonra 25 defa şişlenerek kalıpların yüzeyleri çelik mala ile düzeltilmiştir. Beton numunelerinin nem kaybını önlemek amacı ile naylon örtü ile üzerleri kapatılmış ve 24 saat kalıplarda bekletilmiştir.

Laboratuar koşullarında 24 saat bekletilen numuneler kalıpları söküldükten sonra kür havuzuna konulmuştur. Kür havuzları, numuneler yerleştirilmeden önce su ile doldurulmuş , kirece doygun hale getirilmiş ve sıcaklığının  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$  olması sağlanmıştır. Numuneler 28. gün kürden çıkarılarak kurumaya bırakılan beton numuneler sertleşmiş beton deneyleri uygulanmıştır.

### 3.2.7. Taze beton deneylerinde uygulanan yöntemler

Taze betonlar üzerinde çökme deneyi ve taze betonun birim ağırlığı deneyleri yapılmıştır. Üretilen betonlardan TS EN12350-1’de belirtilen numune alma metotları uygulanarak taze beton deneyleri yapılmıştır.

Taze beton deneylerine kıvam deneyi ile başlanmıştır. Bu deneyin yapılmasında TS EN12350-2 belirtilen yöntemler ve standart çökme konisi kullanılmıştır. Deneye başlamadan önce çökme konisinin iç kısmı ıslak bir bezle silinmiş ve düz, nemli ve su emmez bir yüzey üzerine yerleştirilmiştir.

Taze beton koniye üç tabaka halinde ve her tabaka koninin yaklaşık üçte birini dolduracak şekilde yerleştirilmiştir. Her tabaka 12 mm çapında ve 60 cm uzunluğundaki şişleme çubuğu ile 25’er defa kenarlardan ortaya doğru dairesel olarak düşey bir şekilde şişlenmiştir. Daha sonra koni yavaşça düşey olarak yukarı doğru çekilerek yığının yanına konulmuştur. En sonunda koninin üst yüzeyi ile taze betonun üst yüzeyi arasındaki yükseklik farkı okunarak betonun çökme değeri bulunmuştur. Çökme değerleri 7-10 cm arasında ölçülmüştür.

Kalıpların ağırlıkları tespit edilmiş ve kalıp ağırlıkları dikkate alınarak numunelerin taze birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır. Numunelerin taze birim hacim ağırlıkları tespit edilirken;

$$\text{B.H.A} = \frac{m_{\text{toplam}} - m_{\text{kalıp}}}{V_{\text{kalıp}}}$$

$m_{\text{toplam}} = \text{Kalıp} + \text{Numune ağırlığı}$

$m_{\text{kalıp}} = \text{Kalıp ağırlığı}$

$v_{\text{kalıp}} = \text{Kalıp hacmi olarak alınmıştır.}$

### **3.2.8. Sertleşmiş beton deneylerinde uygulanan yöntemler**

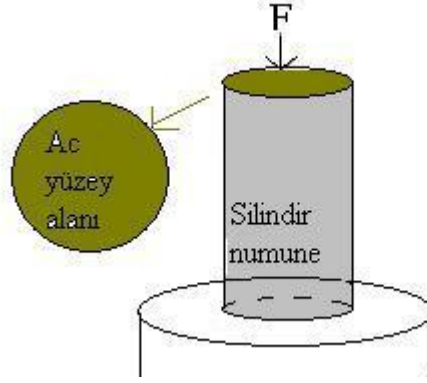
Bu çalışmada bütün numunelerin sertleşmiş birim hacim ağırlıkları tespit edilmiştir. Silindir ve prizma numuneler olmak üzere iki farklı şekilde üretilmiştir. Silindirik numuneler basınç dayanımı, basınçlı su işleme derinliği tayini ve ultrasonik ses geçirimsizlik deneylerinde, prizma numuneler ise eğilme dayanımı tayini için kullanılmıştır. Her grupta yedi seri ve serilerde her deney için üçer adet numune bulunmaktadır. Her grup için kontrol numuneleri üretilmiş ve uygulanan deneylerde katkılı numunelerle karşılaştırma olanağı elde edilmiştir.

### **3.2.9. Sertleşmiş betonda birim hacim ağırlık tayini**

Numuneler 28 günlük su küründen çıkarıldıktan sonra, 1-3 gün kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra numunelerin ağırlıkları saptanmıştır. Hacimleri hesaplanmasının ardından birim hacim ağırlıkları tespit edilmiştir.

### **3.2.10. Sertleşmiş betonda basınç dayanımı tayini**

Basınç mukavemeti tayininde kullanılmak üzere numune boyutları 1 mm hassasiyetle ölçülerek yükün etki edeceği alan hesaplanmıştır. Bu işlemten sonra numune yüzeylerinin pres tablasına tam yapışması dolayısıyla, da yükün bütün alana üniform olarak yayılması için kükürt kullanılarak başlıklanmıştır. Başlıklama işlemi bittikten sonra numuneler en az iki saat sertleşmeye bırakılarak basınç dayanımı tayini deneyi yapılmıştır. Numunelerin basınç mukavemetlerinin hesaplanmasında TS EN12390-3'deki yöntemler göz önünde bulundurulmuştur. Basınç uygulanan numunenin şematik olarak gösterimi Şekil 3.10'da verilmiştir.



**Şekil 3.10.** Basınç uygulanan numunenin şematik gösterimi

Numunenin basınç dayanımı hesaplanırken;

$f_c = F / A_c$  bağıntısından yararlanılır. Bu bağıntıda;

$f_c$  : Basınç dayanımı, MPa ( $N/mm^2$ ),

$F$  : Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N,

$A_c$  : Numunenin, üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı,  $mm^2$ 'dir. Bu alan, numunenin belirtilen ölçüleri kullanılarak (EN 12390-1) numune üzerinde ölçülen gerçek boyutlar kullanılarak hesaplanabilir.

Şekil 3.11'de basınç dayanımı tayininde unidorm yük uygulanması ve düzgün bir yüzey elde edilmesi için kükürt ile başlıklanmış silindir numuneler görülmektedir.



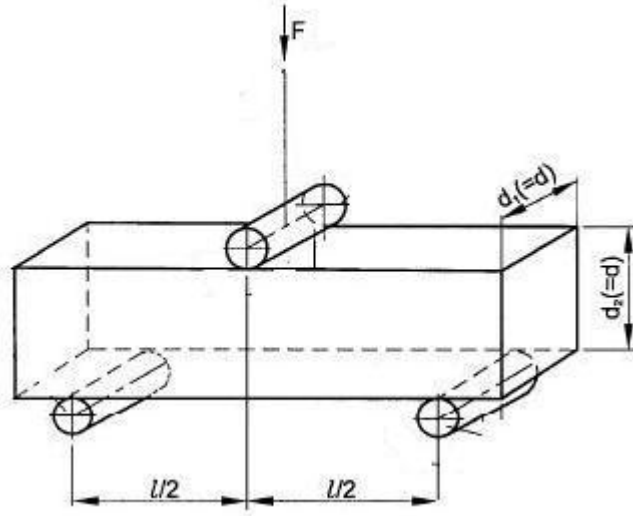
**Şekil 3.11.** a. Basınç dayanımı tayini için kükürtle başlıklanmaya hazır numuneler b. Başlıklanmış numuneler

Beton zamana bağlı olarak Şekil değiştirme gösteren bir malzeme olduğundan, yükleme hızı, betonun basınç mukavemeti üzerinde etkili bir parametredir (Baradan 1991). Bu nedenle tüm numuneler sabit bir yükleme hızı altında deneye tabi tutulmuŐlardır.

Çalışmadan elde edilen basınç mukavemeti sonuçları Araştırma Bulguları bölümünde verilmiş ve yüksek sıcaklıklar ve soğutma Őekillerinin betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisi detaylı bir Şekilde tartıŐılmıŐtır.

### **3.2.11. Sertleşmiş betonda eğilme dayanımı tayini**

Deney için hazırlanan prizma numuneler kr havuzundan çıkarılıp ortalama 1-2 gün kurumaya bırakıldı. Daha sonra deney numunesinin, silindirlerin temas edeceği yüzeylerindeki herhangi gevşek tane veya diğer fazlalık malzeme alındı. Yükleme doğrultusunun, beton döküm yönüne göre konumu, deney sonucunu etkileyebileceğinden deney numunesi, makinaya tam merkezlenerek ve numune boyuna eksenine, st ve alt yükleme silindirleri boyuna eksenine dik açı teŐkil eder Şekilde yerleştirildi. Yükleme hızı 0,06 MPa/s ( $N/mm^2.s$ )'da sabit gerilme artış hızı sağlanacak Şekilde ayarlandı. Yük, darbe etkisi oluŐturulmadan, seçilen hız  $\pm\%1$  sapma sınırları içerisinde sağlanarak, numune kırılıncaya kadar, sabit hızda arttırılmak suretiyle uygulandı. Numunelerin eğilme dayanımlarının hesaplanmasında TS EN12390-5'deki yöntemler göz önünde bulundurulmuştur. Şekil 3.12'de eğilme dayanımı tayini yapılan prizma numunenin Şematik gösterimi verilmiştir.



**Şekil 3.12.** Eğilme dayanımında yük uygulanmış numunenin şematik görünümü

Numunenin eğilme dayanımı hesaplanırken

$$f_{cf} = 3 * F * L / 2 * d_1 * d_2^2$$

eşitliğinden faydalanılabilir.

Burada;

$f_{cf}$  :Eğilme dayanımı, MPa (N/mm<sup>2</sup>),

$F$  :En büyük yük, N,

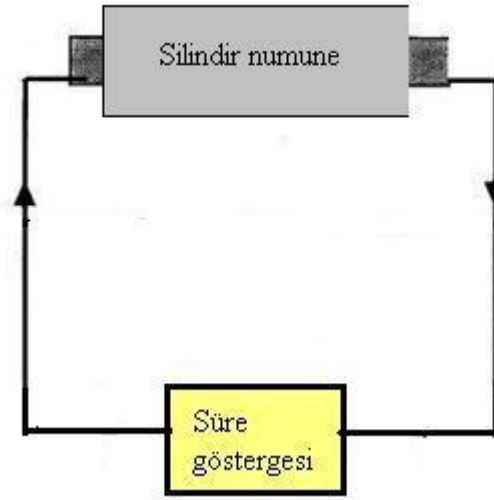
$L$  :Mesnet silindirleri arasındaki açıklık, mm

$d_1, d_2$  :Numunenin en kesit boyutları, mm 'ye karşılık gelmektedir.

### 3.2.12. Sertleşmiş betonda ultrasonik ses geçirgenliği tayini

Ultrasonik ses geçirgenliği tayini yapılacak olan silindir numune yan yatırılarak aletin metal parçalarının temas ettirileceği her iki tarafı da ultrason jeli yardımıyla kaplandı. Daha sonra elde edilen sabit süre kaydedildi. Numunenin botu 1 mm hassasiyetle ölçüldü. Bu deney uygulanırken ASTM C597'deki yöntemler göz önünde bulundurulmuştur. Deneyin örnek bir numuneye uygulanışı şematik olarak Şekil 3.13'te verilmiştir.





**Şekil 3.13.** Ultrasonik ses geçirgenliği ölçümünün şematik gösterimi

Bir numunenin ultrasonik ses geçirgenlik özelliği;

$v=l/t$  formülü yardımıyla belirlenir. Burada;

$v$  :Titreşim hızı, m/s,

$l$  : Dönüştürücüler arası mesafe, m,

$t$  : İletim süresi, s 'ni ifade eder.

### 3.2.13. Sertleşmiş betonda basınç altında su işleme derinliğinin tayini

Deney için hazırlanan silindir numuneler 28 gün sonra kür havuzundan çıkarıldı. Ortalama 1-2 gün sonra kurumuş olan aynı seriden 3 numune cihaza yerleştirildi. Üç gün süre ile  $(500\pm 50)$  kPa su basıncı uygulandı. Üç günlük süre boyunca pomza agrega içeriği belirli bir seviyenin üzerinde olan numuneler suyu hemen geçirdi ve çatladı. Bu yüzden o numunelerde deneyin sonuca ulaştığı kabul edilerek durum kaydedildi. Üç gün sonrasında numuneler pres aleti ile dik olarak ortadan ikiye bölündü , su seviyesinin miktarı ölçüldü ve ortalaması alınarak kaydedildi. Bu uygulamalar süresince TS EN 12390-8'de belirtilen hususlar göz önüne alındı. Şekil 3.14'te basınçlı su işleme derinliği tayini için alete yerleştirilmiş silindir numuneler, Şekil 3.15'te ise 72 saatlik deney sonrası, derinlik tayini için ikiye bölünmüş numuneler verilmiştir.



**Şekil 3.14.** Su işleme derinliği tespiti aletine konulmuş numuneler



**Şekil 3.15.** Su geçirimsizlik yüksekliği ölçülme üzere ikiye ayrılmış numuneler

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

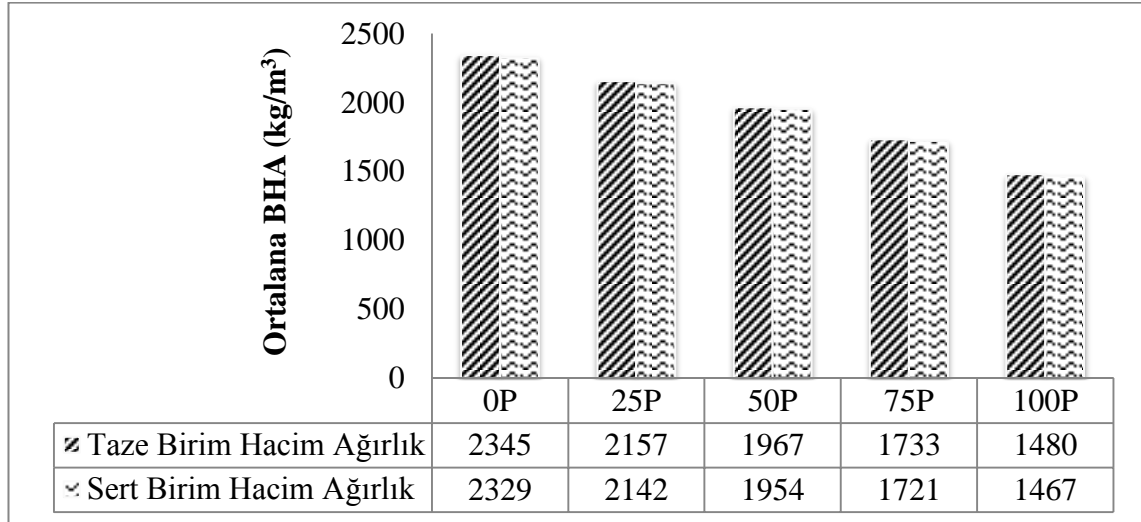
Bu bölümde, üretilen beton numunelerine ait taze ve sertleşmiş beton deneylerinin sonuçları verilmiş ve elde edilen sonuçlar çizelgeler ve grafikler yardımıyla yorumlanmıştır.

##### 4.1. Taze ve Sertleşmiş Betonda Birim Ağırlık Tayini ve Taze Betonun İşlenebilirliği

Bu çalışmada taze ve sertleşmiş birim ağırlıklar Yöntem bölümünde anlatıldığı şekilde ilgili standartlara uygun olarak ölçülmüştür. Ölçümler neticesinde; ortalama birim ağırlıklar taze betonda 0P, 25P, 50P, 75P, 100P numune gruplarında ortalama sırasıyla 2395, 2157, 1967, 1733, 1480 kg/m<sup>3</sup>, sertleşmiş betonda ise sırasıyla 2329, 2142, 1954, 1721, 1467 kg/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir.

Daha önce yapılmış çalışmalara baktığımızda; pomza taşı hafif agregasıyla üretilen hafif betonların birim ağırlıklarını 700 kg/m<sup>3</sup>'ten 1900 kg/m<sup>3</sup>'e kadar değiştirmek mümkündür (Taşdemir 2003). Pomza agregasının betonun yoğunluğunu 41,5%'e kadar azalttığını ve azalmanın karışımda pomza oranının artmasından meydana geldiği çıkarımına yol açmıştır (Şahin *et al.* 2004). İnce ve iri pomza agregaları kullanılarak hiçbir ilave veya katkı maddesi kullanmadan yapısal hafif beton üretilebileceğini göstermiştir (Gündüz ve Uğur 2005). Pomza agrega oluşumlarının inşaat yapı endüstrisinde hafif beton, hafif yapı elemanı üretiminde önemli bir hammadde ve ısı-ses yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir (Şapcı vd. 2004). Yapı malzemesi olarak hafif betonda kullanılabilirliği araştırılmıştır ve beton örneklerinin test sonuçlarından pomzanın yapılar için uygun malzeme olduğu belirlenmiştir (Tolğay vd. 2004). Yapılan çalışmalarda pomzanın yapıda kullanmak için iyi bir alternatif olduğunu görülmüştür (Cavaleri *et al.* 2003). Verilen literatür örnekleri de elde edilen sonuçları destekler niteliktedir.

Beton bünyesindeki suyun buharlaşması neticesinde bütün gruplarda beklenildiği şekilde birim ağırlıklarda azalmalar olduğu ve birim ağırlık oranının pomza agregası ile ters orantıda olduğu tespit edilmiştir. Numunelerin taze ve sertleşmiş beton ağırlık değerleri Şekil 4.1’de grafiksel olarak verilmiştir.



**Şekil 4.1.** Pomza miktarı-birim hacim ağırlık ilişkisi

Taze betonun işlenebilirliğine baktığımızda, silis dumanı ve uçucu kül katkıları su ihtiyacını artırmıştır. İşlenebilirliği pomza açısından incelediğimizde pomzanın suyu absorbe etmesinden dolayı karışımda gereken su ihtiyacı artmıştır.

Silis dumanı katıldığı numunelerin işlenebilirliğini düşürüp, gerekli su ihtiyacını artırırken, uçucu külün işlenebilirliği artırdığı %20 ve %30 oranların katıldığı numuneler için gerekli su miktarını azalttığı görülmüştür (Demirboğa 1999). Silis dumanı kullanımı halinde taze betonda işlenebilirlik düşmekte, işlenebilirliği belirli bir seviyede tutmak üzere akışkanlaştırıcı katkı kullanma zorunluluğu oluşmaktadır (Atış vd. 2003). Uçucu kül ilavesi birim hacim ağırlığını çok az miktarda arttırmaktadır (Bentli vd. 2005) Taze betonlarda birim ağırlık silis dumanı ve uçucu kül oranının artması ile çok az oranda azalmıştır (Demir 2009). Puzolanlar ile üretilen betonların birim ağırlıkları üzerine herhangi bir etkisi bulunmamaktadır (Yıldız 2006). Verilen literatür örnekleri ile elde edilen sonuçlar arasında benzerlikler görülmektedir.

#### 4.2. Pomza İçeriği-Basınç Dayanımı İlişkisi

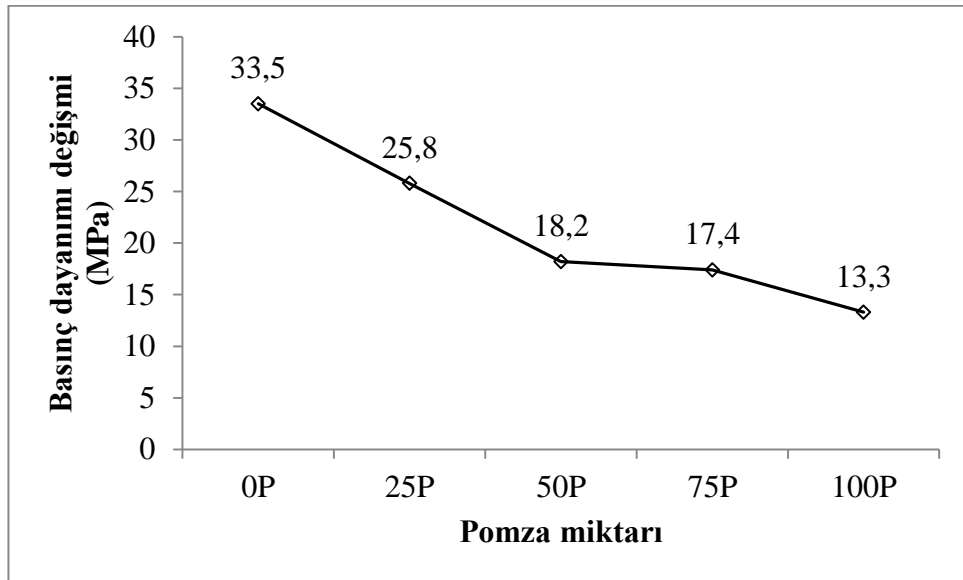
Pomza agregası hafif agrega sınıfına girdiğinden daha önceki bölümlerde bahsedilmişti. Dolayısıyla normal agregaya göre basınç mukavemeti daha düşüktür ve toplam agrega miktarı içerisindeki yüzdesi arttıa beton numunenin dayanımında düşmüştür.

Literatüre baktığımızda ise, normal betona pomza agregası katkısı betonun mekanik özelliklerinde önemli bir azalmaya neden olmaktadır. Bu azalma oranı çekme dayanımına oranla basınç dayanımında daha yüksektir (Dinçer ve ağatay 2004). Elazığ yöresine ait pomzanın ilave edilmesinin dayanımı düşürdüğü görülmüştür (Yazıcıoğlu ve Demirel 2006). Pomza agregası yoğunluk, elastisite modülü ve basınç dayanımının azalmasına neden olmuştur (şahin *et al.* 2003). Pomza agregası artışı ile basınç mukavemetinin düşmüştür (Demir ve Orhan 2001). Literatür alışmaları da elde ettiğimiz bu durumu destekler niteliktedir.

Pres makinasına konulmuş bir silindir numune ve basınç dayanımı deneyi sonrasında silindir numunenin görünümü şekil 4.2'de verilmiştir. Pomza içeriğine göre basınç dayanımı kontrol numunesine göre karşılaştırıldığında %25, %50, %75 ve %100 pomza yüzdesinde sırasıyla %23, %46, %48, %60 azalma saptanmıştır. şekil 4.3'te değişen pomza içeriğine göre basınç dayanımının değişimi verilmiştir.



**Şekil 4.2.** a. Pres aletinin görünüşü b. Basınç dayanımı tayininde yük uygulanmış numune



**Şekil 4.3.** Pomza içeriği- basınç dayanımı ilişkisi

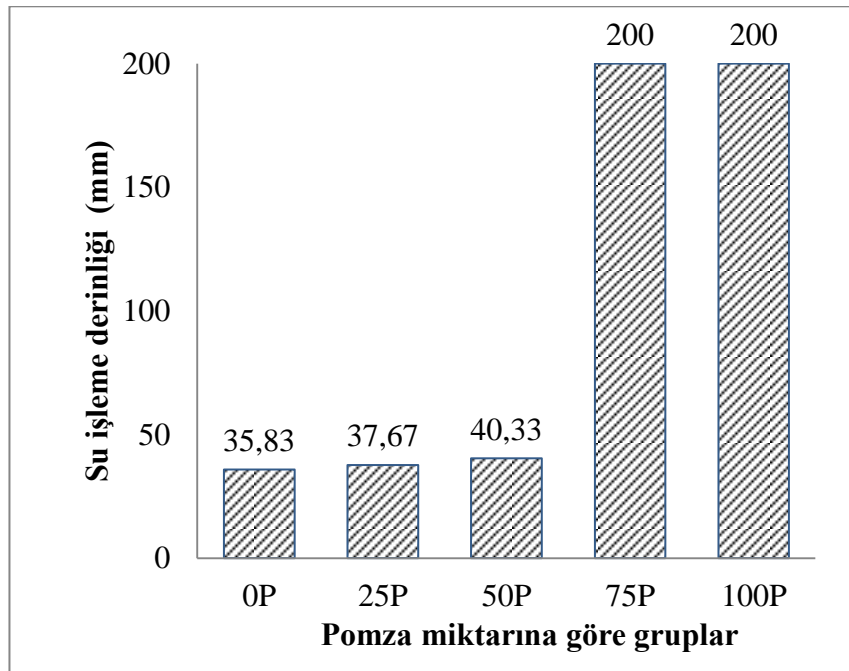
#### 4.3. Pomza İçeriği-Basınç Altında Su İşleme Derinliği İlişkisi

Pomza hafif ve içerisine suyu çok kolay absorbe edebilen bir yapı malzemesi olduğu için %75 ve %100 pomza agreeası içeren beton numuneler suyu içerisine aldıkları gözlemlenmiştir. Pomza içeriğine göre basınç dayanımı kontrol numunesine göre karşılaştırıldığında %25, %50 pomza yüzdesinde sırasıyla %5, %13 artış gözlemlenmiştir. Basınç dayanımı normal numuneye göre daha az olduğundan dolayı, basınçlı suya mukavemet gösterememiş ve numunede çatlaklar oluşmuştur. Şekil 4.4'te

beton içerisinde basınçlı suyun kılcal yollardan gidişi ve çatlamış bir pomza agrega içeriği yüksek beton numune görülmektedir. Numunelerin içerdiği pomza miktarına göre su işleme derinliğinin değişimi Şekil 4.5'te verilmiştir. Şekil 4.5'ten de görüldüğü üzere numunelerin içerdiği pomza oranı arttıkça su işleme derinliğide artmıştır.



**Şekil 4.4.** a. Basınçlı suyun kılcal yollardan gidişi b. Basınçlı sudan dolayı çatlamış bir pomza içeriği yüksek numune



**Şekil 4.5.** Pomza içeriği- su işleme derinliği ilişkisi

#### 4.4. Pomza İçeriği-Ultrasonik Ses Geçirgenliği İlişkisi

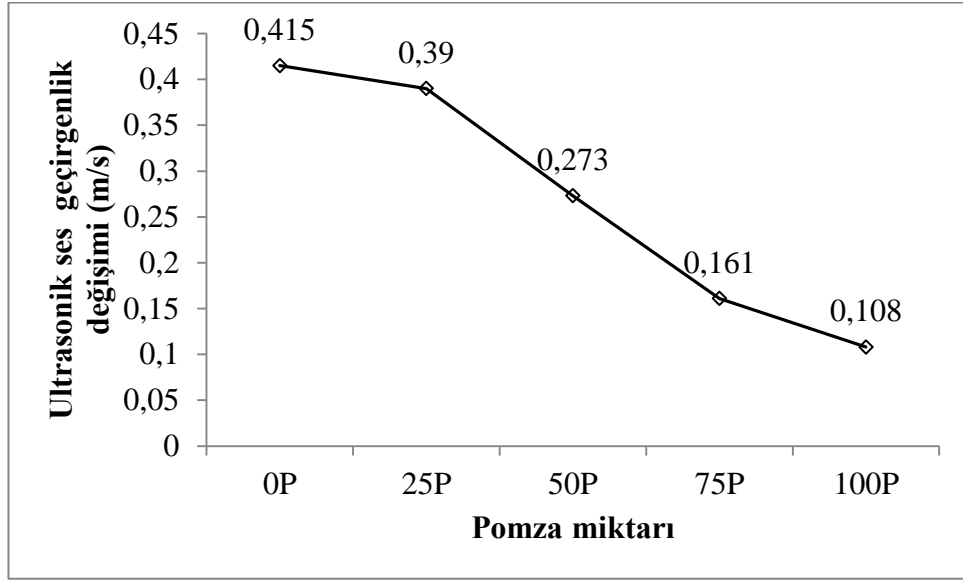
Pomza yaygın biçimde gaz boŐlukludur. OluŐumu sırasında, bünyedeki gazların, ani olarak bünneyi terketmesi ve ani sođuma nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçeđe kadar sayısız gözenek içerir. Bu gözenekler beton numunenin ultrasonik ses geçirgenliđinde dűŐűe yol açmıŐtır. Silindir bir numuneye ultrasonik ses geçirgenlik testinin uygulanma biçimi Őekil 4.6'da verilmiŐtır.

Pomza içeriğine göre ultrasonik ses geçirgenlik deđiŐimi kontrol numunesine göre karŐılaŐtırıldıđında %25, %50, %75 ve %100 pomza yűzdesinde sırasıyla %6, %34, %61, %74 azalma saptanmıŐtır. Ultrasonik ses geçirgenlik değerlerinin grafiksel gösterimi Őekil 4.7'de verilmiŐtır. Őekil 4.7'den de anlaŐıldıđı üzere numunelerdeki pomza miktarının artıŐı ultrasonik ses geçirgenliğine olumsuz etki yapmıŐtır.



**Şekil 4.6.** Beton numuneye ultrasonik ses geçirgenlik deneyi uygulanması





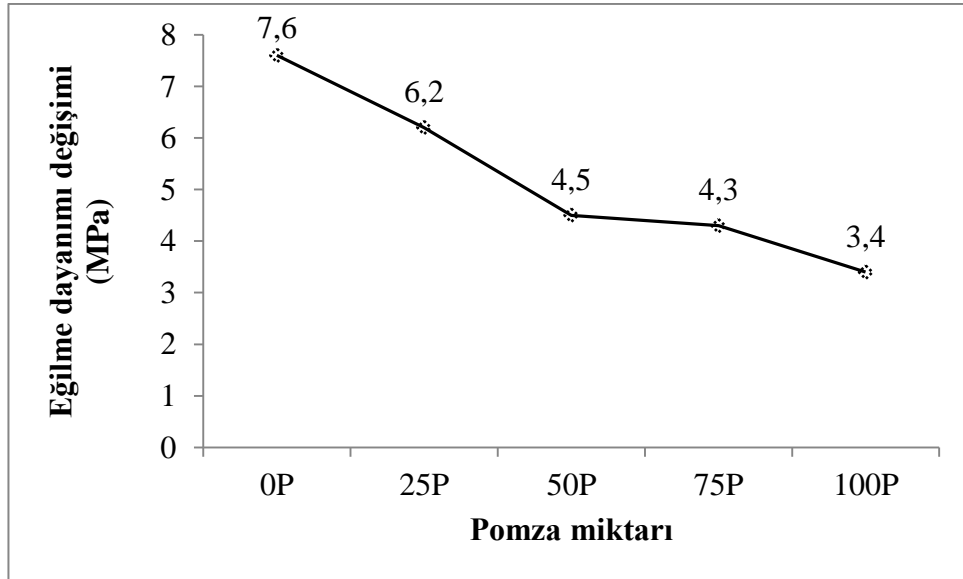
Şekil 4.7. Pomza içeriği-ultrasonik geçirgenliği ilişkisi

#### 4.5. Pomza İçeriği-Eğilme Dayanımı İlişkisi

Pomza hafif yapı malzemesi olduğu için pomza içeriği yüksek olan numunelerde daha düşük eğilme dayanımı kaydedilmiştir. Pomza içeriğine göre eğilme dayanımı değişimi kontrol numunesine göre karşılaştırıldığında %25, %50, %75 ve %100 pomza yüzdesinde sırasıyla %18, %40, %43, %55 azalma saptanmıştır. Şekil 4.9'da ise numunelerin içerdiği pomza miktarı yüzdesine göre eğilme dayanımındaki değişim ve bu değerlerin grafiksel gösterimi verilmiştir. Eğilme dayanımı testi için pres makinasına yerleştirilmiş prizma numune ve test sonrası numunenin görünümü Şekil 4.8'de görülmektedir. Şekil 4.9 incelendiğinde pomza miktarı arttıkça eğilme dayanımında azalma saptanmıştır. Buna neden olarak ise pomza agregasının hafif agrega olması düşünülmektedir.



**Şekil 4.8. a.** Eğilme dayanımı tayini için hazırlanmış numune **b.** Eğilme dayanımı ölçüm deneyi sonrası beton numune görünümü



**Şekil 4.9.** Pomza içeriği–eğilme dayanımı ilişkisi

#### 4.6. Puzolanik Katkı Miktarı-Basınç Dayanımı İlişkisi

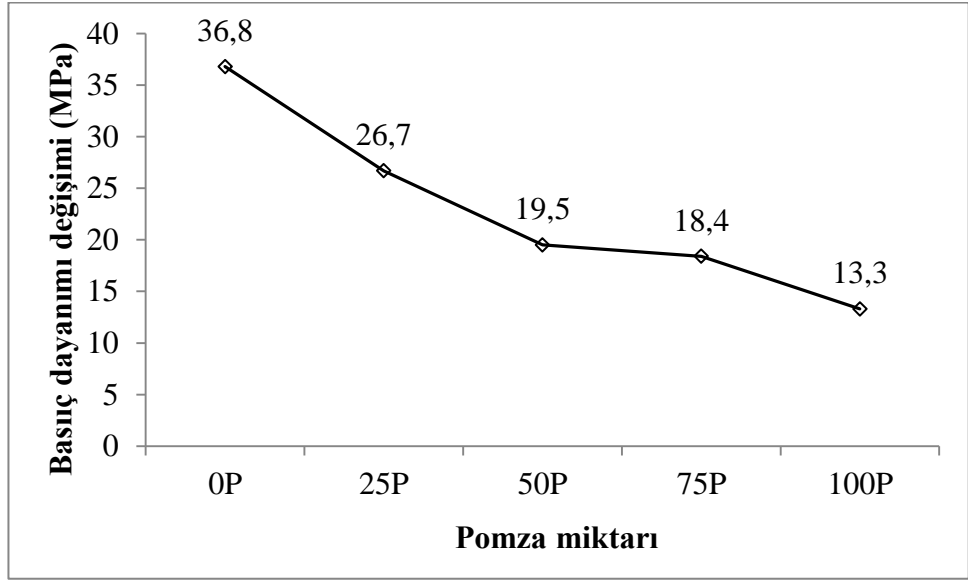
Çalışmada kullanılan yapay puzolanik katkılardan silis dumanının beton dayanımına olumlu etkide bulunduğu gözlemlenmiştir. Diğer katkı maddesi olan uçucu kül ise betonun dayanımına olumsuz etkide bulunmuş ve azaltmıştır. Ancak elde edilen sonuçlar kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında artış veya azalışın betondaki silis dumanı veya uçucu kül oranı ile lineer orantıda olmadığı görülmüştür.

Silis dumanı çimento içerisine %5, %10, %15 oranında katıldığında basınç dayanımında sırasıyla ortalama %5, %15 ve %24 artış gözlemlenmiştir. Uçucu külün çimento içerisine %5, %10, %15 oranında katılmasıyla ise basınç dayanımında sırasıyla ortalama %0,38, %6 ve %8 azalma kaydedilmiştir. Silis dumanı içeriğine göre beton numunelerin 28 günlük basınç dayanımı değişimi tablo olarak Çizelge 4.1'de ve grafiksel görünüşleri ise Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de verilmiştir. Çizelge 4.2'de ise uçucu kül içeriğine göre beton numunelerin 28 günlük basınç dayanımı değişimi tablo halinde verilmiş ve grafiksel görünüşleri Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15'te gösterilmiştir.

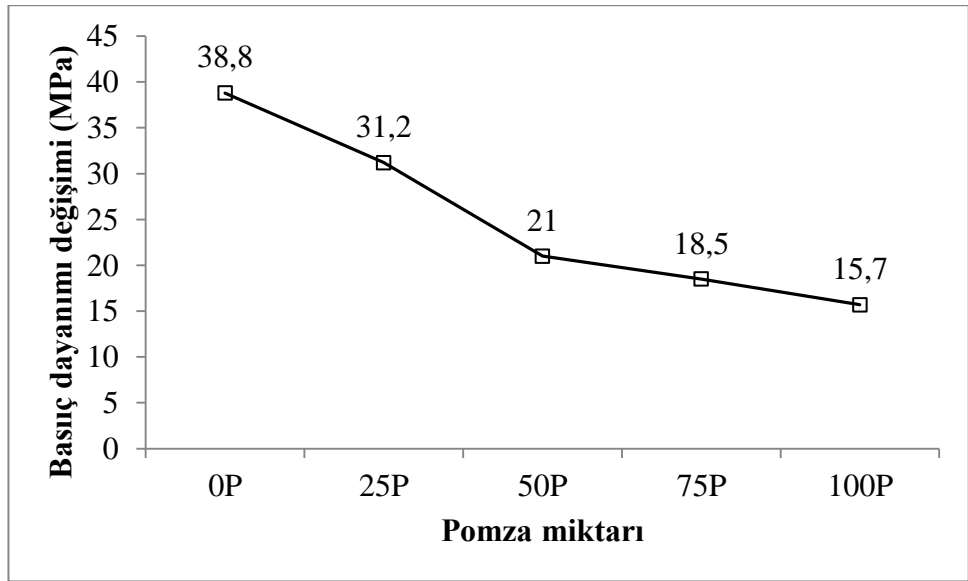
Uçucu kül oranının karışımda artması sonucunda bimsblokların basınç dayanımlarının azaldığı görülmüştür (Kıvrak 2006). Çatalağzı uçucu külü erken yaşlarda basınç dayanımında düşüşe sebep olurken silis dumanı ise bu değer artmasına sebep olmuştur. Silis dumanı katkısı ise %15'lik katkı miktarında en yüksek değeri vermek üzere normal mukavemet değerinin üzerinde değerler vermiştir. Silis dumanı katkısı beton her iki dayanım özelliği için hem 7. hem de 28. günde uçucu küle açıkça üstünlük sağlamıştır (Demir vd. 2009). Uçucu kül kullanımının beton basınç dayanımını azalttığı ve uçucu kül miktarının artırılması durumunda dayanımın daha da geç kazanıldığı anlaşılmıştır (Topçu ve Canbaz 2001). Silis dumanı ikameli harçların basınç mukavemeti, silis dumanı oranı arttırıldıkça artmaktadır. (Şimşek vd. 2004). Verilen literatür örnekleri elde edilen sonuçlara paralellik göstermektedir.

**Çizelge 4.1.** Silis dumanı içeriğine göre basınç dayanımı değişimi (MPa)

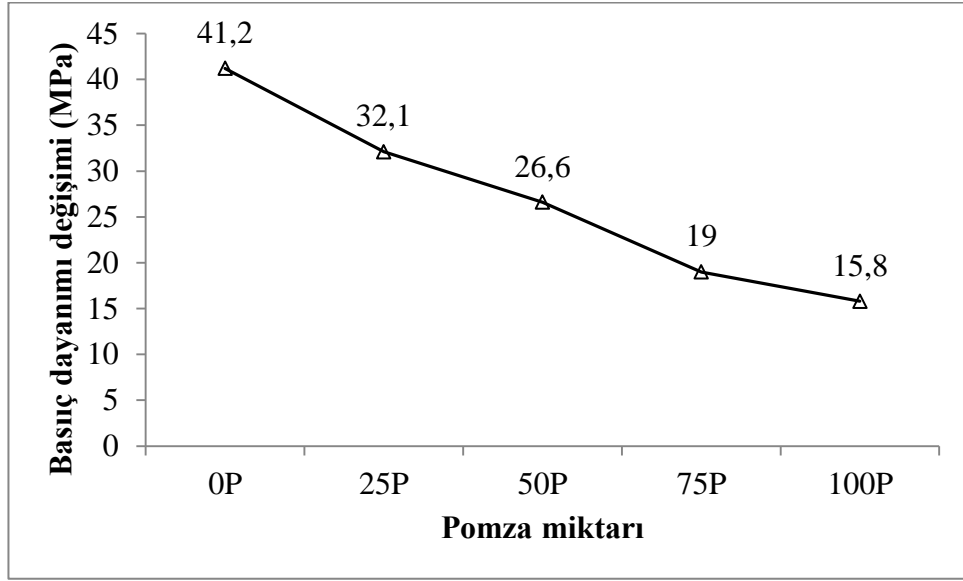
	0P	25P	50P	75P	100P
5SD	36,8	26,7	19,5	18,4	13,3
10SD	38,8	31,2	21	18,5	15,7
15SD	41,2	32,1	26,6	19	15,8



Şekil 4.10. 5SD içerikli numunelerde basınç dayanımı değışımi



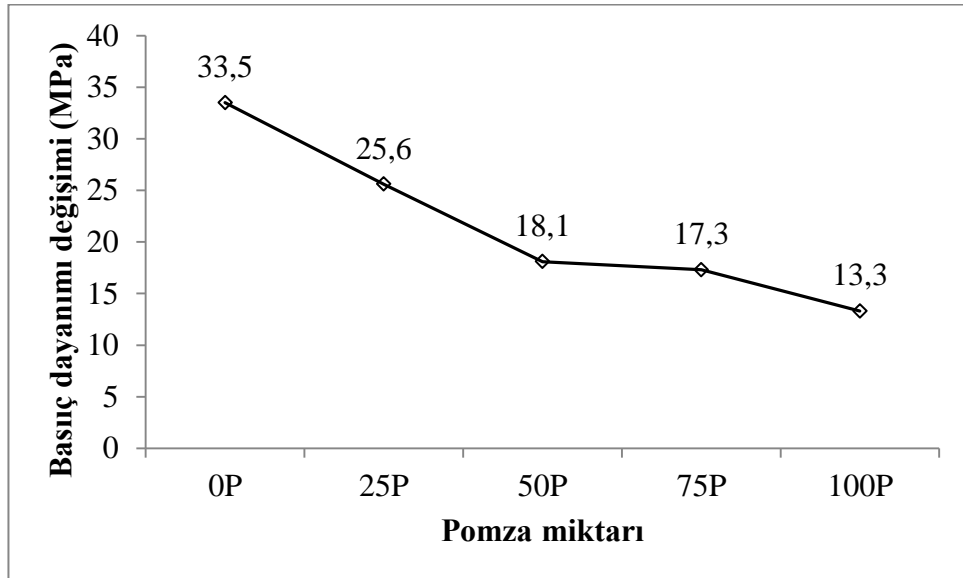
Şekil 4.11. 10SD içerikli numunelerde basınç dayanımı değışımi



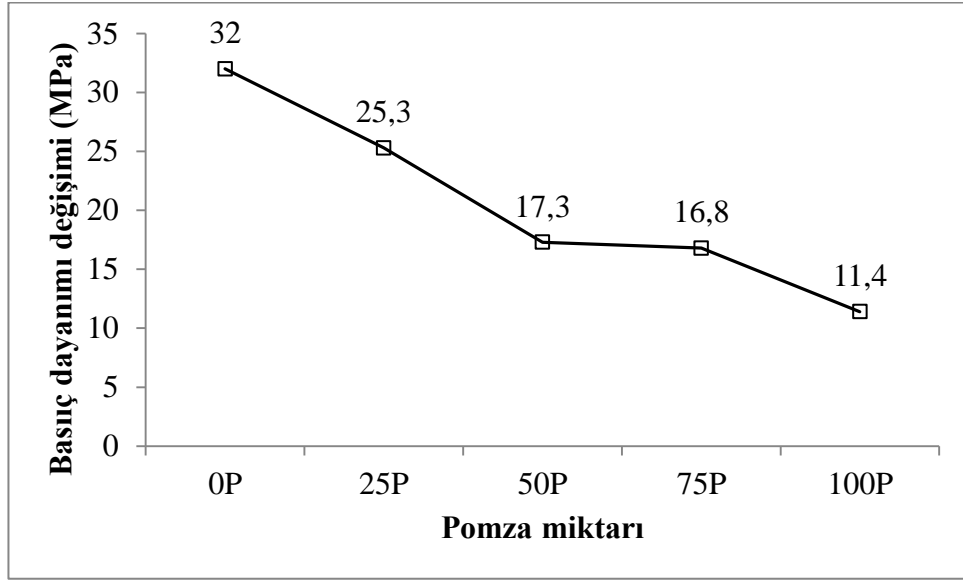
Şekil 4.12. 15SD içerikli numunelerde basınç dayanımı değışımi

Çizelge 4.2. Uçucu kül içeriğine göre basınç dayanımı değışımi (MPa)

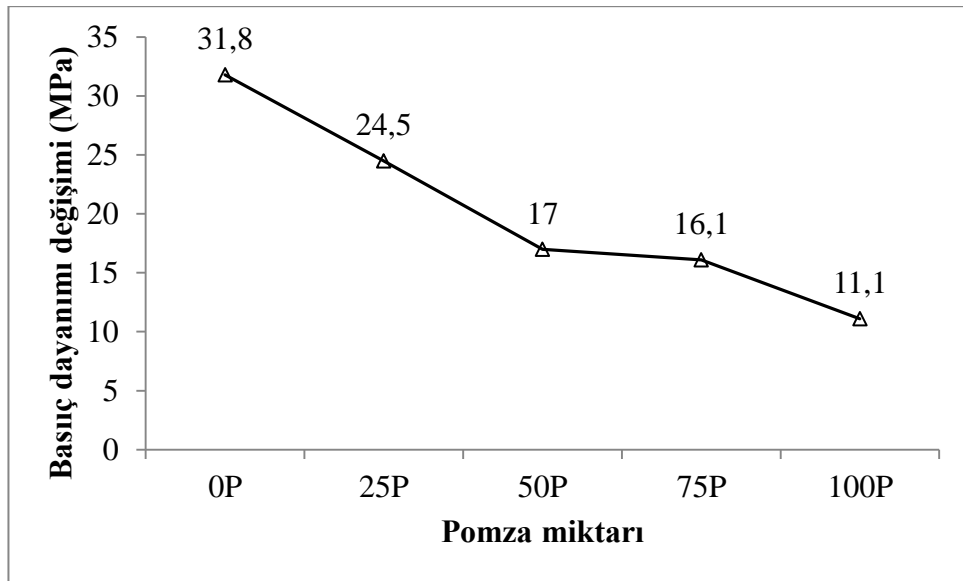
	0P	25P	50P	75P	100P
5UK	33,5	25,6	18,1	17,3	13,3
10UK	32	25,3	17,3	16,8	11,4
15UK	31,8	24,5	17	16,1	11,1



Şekil 4.13. 5UK içerikli numunelerde basınç dayanımı değışımi



Şekil 4.14. 10UK içerikli numunelerde basınç dayanımı değışimi



Şekil 4.15. 15UK içerikli numunelerde basınç dayanımı değışimi

#### 4.7. Puzolanik Katkı Miktarı-Basınç Altında Su İşleme Derinliği İlişkisi

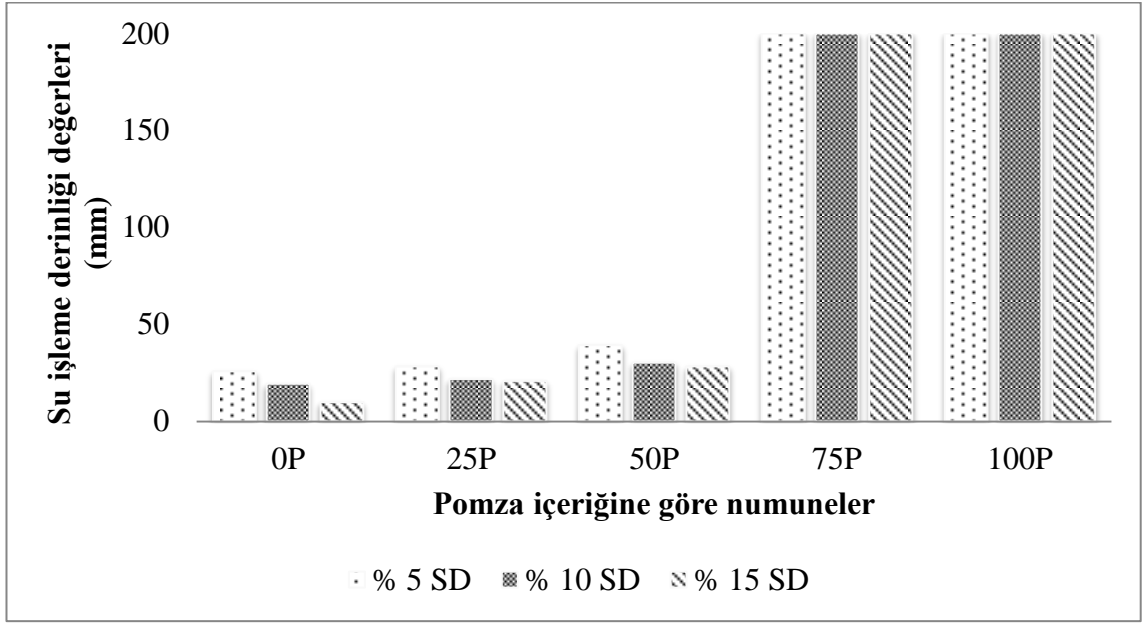
Çalışmada kullandığımız yapay puzolanlar olan silis dumanı ve uçucu kül katkıları beton numunelerin su işleme derinliklerine olumlu etki yapmış, her gruptaki katkısız numunelere göre geçirimsizliğini azaltmıştır. Bunun nedeni olarak ince tanelerin beton içerisindeki boşlukları doldurması ve puzolanik reaksiyonların bir an önce başlayarak

kapiler boşlukların azalması gösterilebilir. Silis dumanı çimento içerisine %5, %10, %15 oranında katıldığında basınç altında su işleme derinliğinde sırasıyla ortalama %11, %23 ve %29 azalma gözlemlenirken Uçucu külün çimento içerisine %5, %10, %15 oranında katılmasıyla ise basınç altında su işleme derinliğinde sırasıyla ortalama %7, %12 ve %19 azalma kaydedilmiştir. Çizelge 4.3'te silis dumanın betonun su işleme derinliğine etkisi gösterilmiş ve Şekil 4.16'da bu değerlerin grafiksel görünümü verilmiştir. Betonun su işleme derinliğinin uçucu kül miktarına göre değişimi Çizelge 4.4'te ve Şekil 4.17'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

Silis dumanı katkılı betonlarda yapılan kılcal su emme deneyleri sonucunda, artan silis dumanının kılcallık katsayısını önemli ölçüde düşürdüğü görülmüştür (Kurt 2007). Silis dumanının geçirimsizliğe ters oranda bir etkisi olduğu gözlenmiştir (Şimşek ve Akıncı 2006). Uçucu kül miktarı %10 olarak katılırsa kılcallık bakımından betona bir kazanç sağlamaktadır. Bu da betonun bünyesindeki boşluk oranına bağlıdır (Öz 2007). Geçirgenlik değerlerine göre mineral katkılı betonların daha az geçirgen olduğu ve zaman faktörüne göre daha da azaldığı görülmüştür (Durmuş 2008). Geçirimsizlik betona katılan uçucu kül miktarına bağlı olarak zamanla azalma eğilimi göstermiştir. Bu sonuca göre uçucu külün inşaat sektöründe baraj, yol, köprü vb. yerlerdeki inşaatlarda su geçirimsizliğinin azaltılmaya çalışıldığı durumlarda çimento ile birlikte kullanılması ile beton özelliklerinin iyileştirildiği görülmüştür (Güçlüer ve Ünal 2010). Sonuçlar literatür örnekleri tarafından desteklenmektedir.

**Çizelge 4.3.** Silis dumanı içeriğine göre su işleme derinliği değişimi (mm)

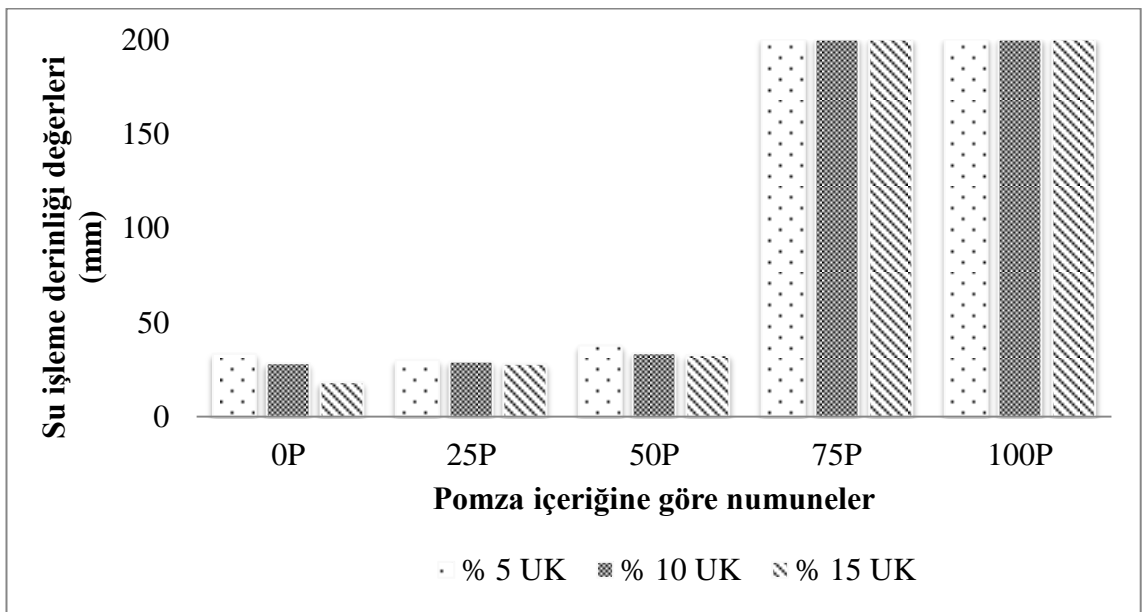
	0P	25P	50P	75P	100P
5SD	25,83	28,33	39,33	200	200
10SD	19,33	21,83	30,33	200	200
15SD	10	20,83	28,33	200	200



Şekil 4.16. SD içerikli numunelerde basınçlı su işleme derinliği değişimi

Çizelge 4.4 Uçucu kül içeriğine göre su işleme derinliği değişimi (mm)

	0P	25P	50P	75P	100P
5UK	33,33	30,33	37,67	200	200
10UK	28,33	29,17	33,67	200	200
15UK	18,33	28	32,67	200	200



Şekil 4.17. UK içerikli numunelerde basınçlı su işleme derinliği değişimi



Sonuç olarak, tablolar incelendiğinde uçucu kül ve silis dumanını karşılaştırdığımızda silis dumanının betonun su işleme derinliğine daha fazla olumlu etkide bulunduğunu söyleyebiliriz. Bunun sebebi olarak silis dumanının daha küçük tane yapısına sahip olmasının numunenin su işleme derinliğine uçucu külden daha iyi bir etki sağlamasında bir etken düşünülmektedir.

#### **4.8. Puzolanik Katkı Miktarı- Ultrasonik Ses Geçirgenliği İlişkisi**

Puzolanik katkılarımız çimentoya göre daha ince boyutta olduklarından, üretilen betonun daha boşluksuz olmasını sağlamışlardır. Ses dalgaları da dolu malzemeden daha hızlı geçtiği için silis dumanı ve uçucu kül katkılarının her ikisinde kontrol betonlarına göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

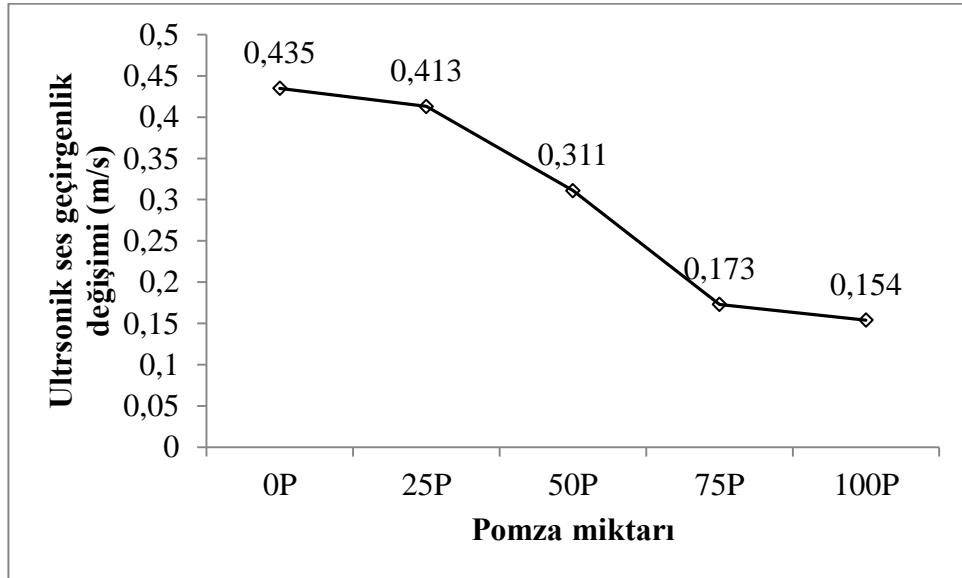
Silis dumanı çimento içerisine %5, %10, %15 oranında katıldığında ultrasonik ses geçirgenlik değerinde sırasıyla ortalama %12, %23 ve %30 artış gözlemlenmiştir. Uçucu külün çimento içerisine %5, %10, %15 oranında katılmasıyla ise ultrasonik ses geçirgenlik değerinde sırasıyla ortalama %12, %13 ve %15 artış kaydedilmiştir. Çizelge 4.5'te silis dumanı içeriğine göre ultrasonik ses geçirgenlik değişimi değerleri ve Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20'de silis dumanı içeriği- ultrasonik ses geçirgenliliği ilişkisi grafiksel görünümü verilmiştir. Çizelge 4.6'da uçucu kül içeriğine göre ultrasonik ses geçirgenlik değişimi değerleri ve Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23'te uçucu kül içeriği- ultrasonik ses geçirgenliliği ilişkisi grafiksel görünümü verilmiştir.

Silis dumanı katkısının nitelik ve aktivasyonunun yüksek olması dolayısıyla silis dumanı katkılı betonların sesüstü dalga hızları kontrol betonuna göre daha yüksek çıkmıştır. Betonun içerisinden geçen sesüstü dalga hızı ile beton dayanımı arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Ancak, sesüstü dalganın hızı ile betonun yoğunluğu arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Yoğunluğu az olan bir betonda, yani içerisinde daha çok boşluk bulunan bir betonda, dalga hızı betonun bir yüzeyinden diğerine ulaşabilme süresi daha uzundur (Yazıcıoğlu ve Bozkurt 2006). Silis dumanı katkılı numuneler her yaşta ve tüm kür koşullarında en yüksek ultrasonik ses geçirgenliği, basınç dayanımı

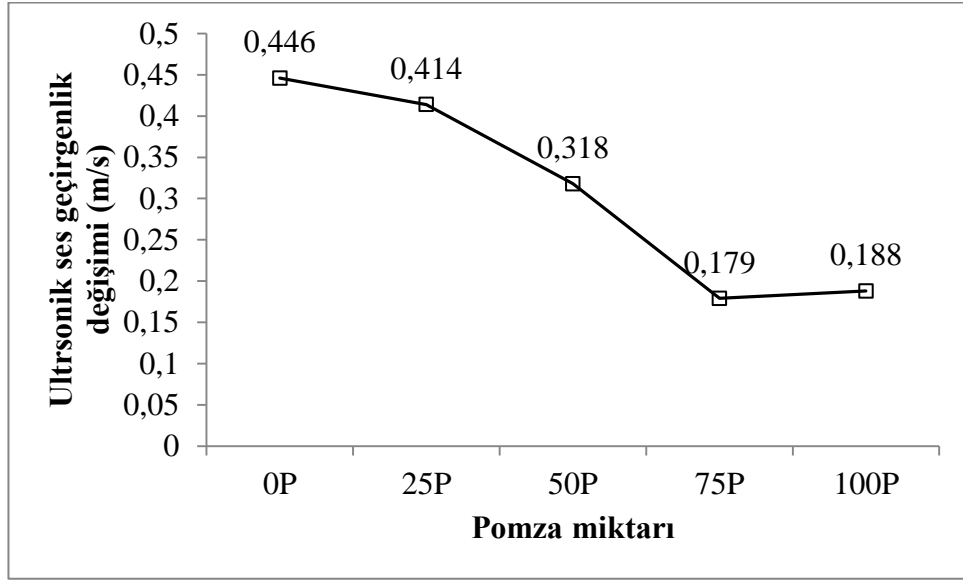
değerini vermiştir ve silis dumanı çimento hidratasyonu süresince serbest kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek betonun basınç ve aderans dayanımı gelişiminde etkili olmuştur (Coşkun ve Tanyıldızı 2007). Verilen örnekler elde edilen değerleri destekler niteliktedir.

**Çizelge 4.5.** Silis dumanı içeriğine göre ultrasonik ses geçirgenlik değişimi (m/s)

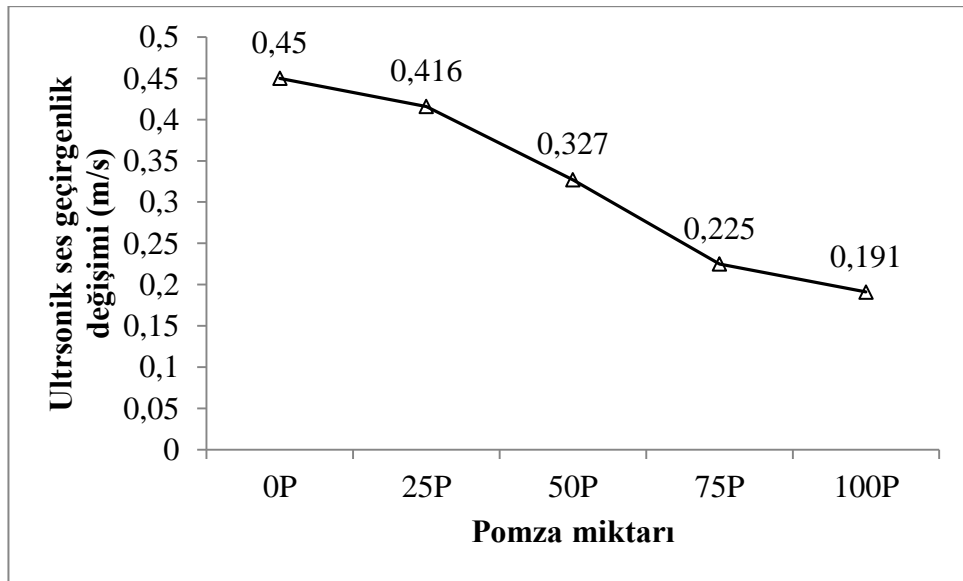
	0P	25P	50P	75P	100P
5SD	0,435	0,413	0,311	0,173	0,154
10SD	0,446	0,414	0,318	0,179	0,188
15SD	0,450	0,416	0,327	0,225	0,191



**Şekil 4.18.** 5SD içerikli numunelerde ultrasonik ses geçirgenliği değişimi



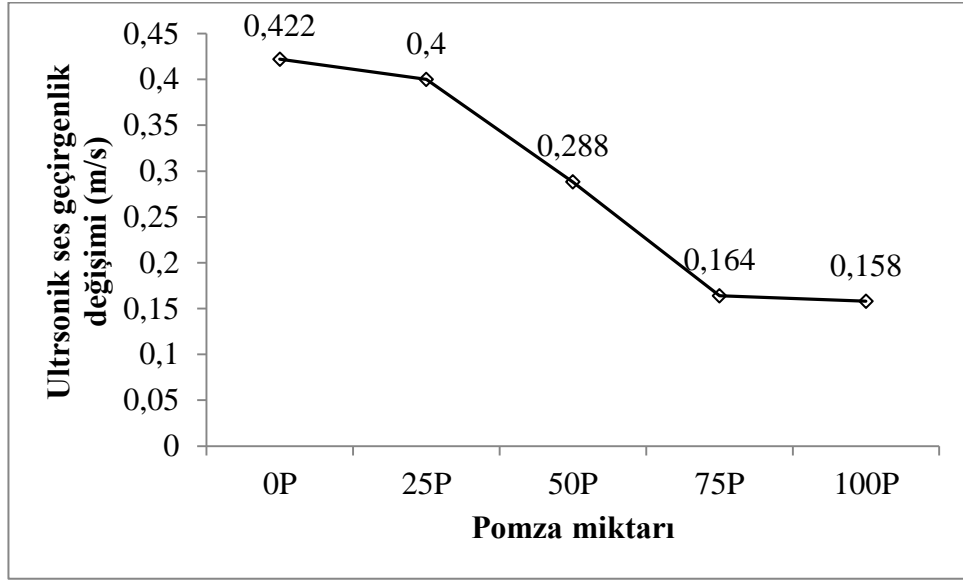
Şekil 4.19. 10SD içerikli numunelerde ultrasonik ses geçirgenliği değişimi



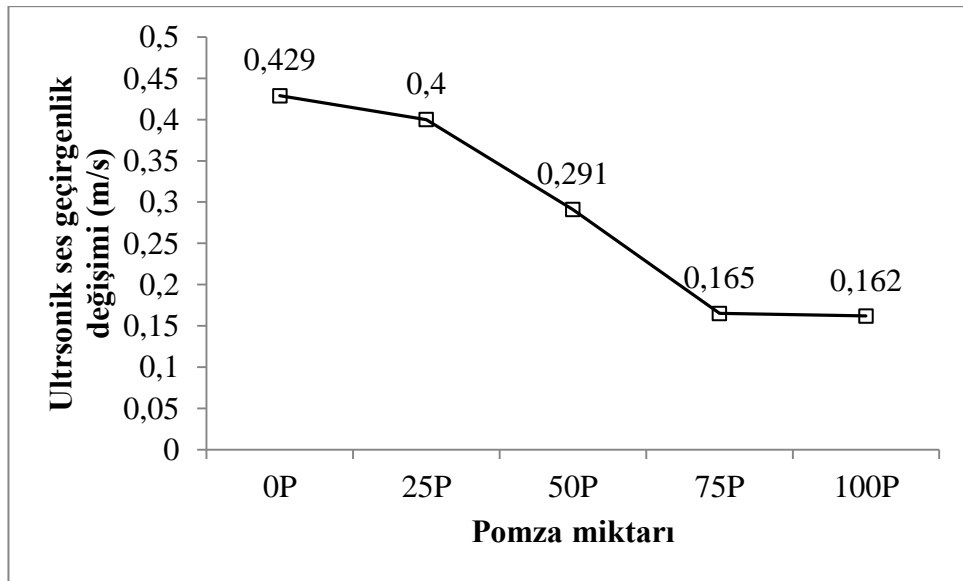
Şekil 4.20. 15SD içerikli numunelerde ultrasonik ses geçirgenliği değişimi

Çizelge 4.6. Uçucu kül içeriğine göre ultrasonik ses geçirgenlik değişimi (m/s)

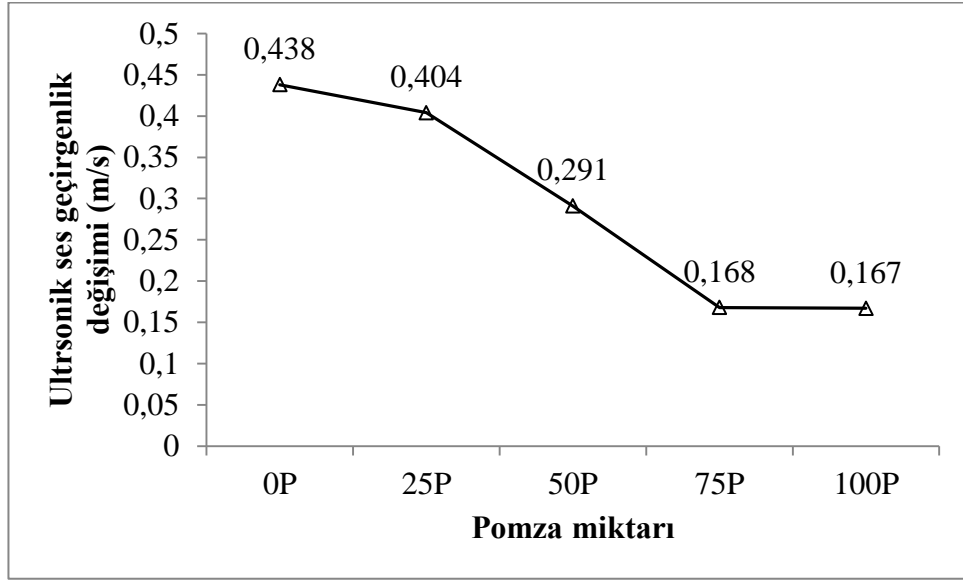
	0P	25P	50P	75P	100P
5UK	0,422	0,4	0,288	0,164	0,158
10UK	0,429	0,4	0,291	0,165	0,162
15UK	0,438	0,404	0,291	0,168	0,167



Şekil 4.21. 5UK içerikli numunelerde ultrasonik ses geçirgenliği değışımi



Şekil 4.22. 10UK içerikli numunelerde ultrasonik ses geçirgenliği değışımi



**Şekil 4.23.** 15UK içerikli numunelerde ultrasonik ses geçirgenliği değışımi

#### 4.9. Puzolanik Katkı Miktarı-Eğilme Dayanımı İlişkisi

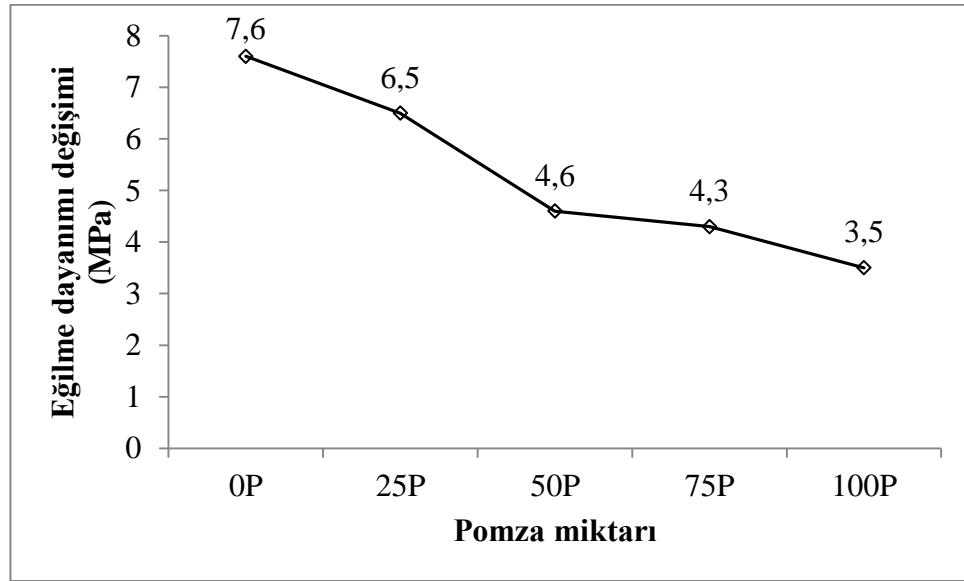
Çalışmada kullandığımız silis dumanı beton numunelerin eğilme dayanımı bir miktar artırmıştır ve en iyi sonuç %15 silis dumanı (SD) katkılı numunelerde görülmüştür. Diğer katkımız olan uçucu külün karışımdaki oranı artıkça eğilme dayanımında bir miktar düşüş kaydedilmiştir. Silis dumanı çimento içerisine %5, %10, %15 oranında katıldığında eğilme dayanımı değerinde sırasıyla ortalama %2,32; %6,13 ve %10,18 artma gözlemlenmiştir. Uçucu külün çimento içerisine %5, %10, %15 oranında katılmasıyla ise eğilme dayanımı değerinde sırasıyla ortalama %7,64; %12,67 ve %19,39 azalma kaydedilmiştir. Silis dumanı içeriğine göre eğilme dayanımı değışımi değerleri Çizelge 4.7’de, grafiksel görünümüleri Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26’da verilmiştir. Uçucu kül içeriğine göre eğilme dayanımı değışımi değerleri grafiksel görünümüleri Şekil 4.27, Şekil 4.28, Şekil 4.29’da verilmiştir.

Uçucu kül miktarı artırılıp çimento miktarı azaltıldıkça eğilme ve basınç dayanımlarının azaldığı gözlenmiştir (Dede 2008). Uçucu kül kullanımı harçlar üzerinde ilk yaşlarda olumsuz bir etki yaratmakta fakat ilerleyen süre içerisinde %20 oranında uçucu kül katkılı harçların basınç ve eğilme dayanımları, katkısız harçların

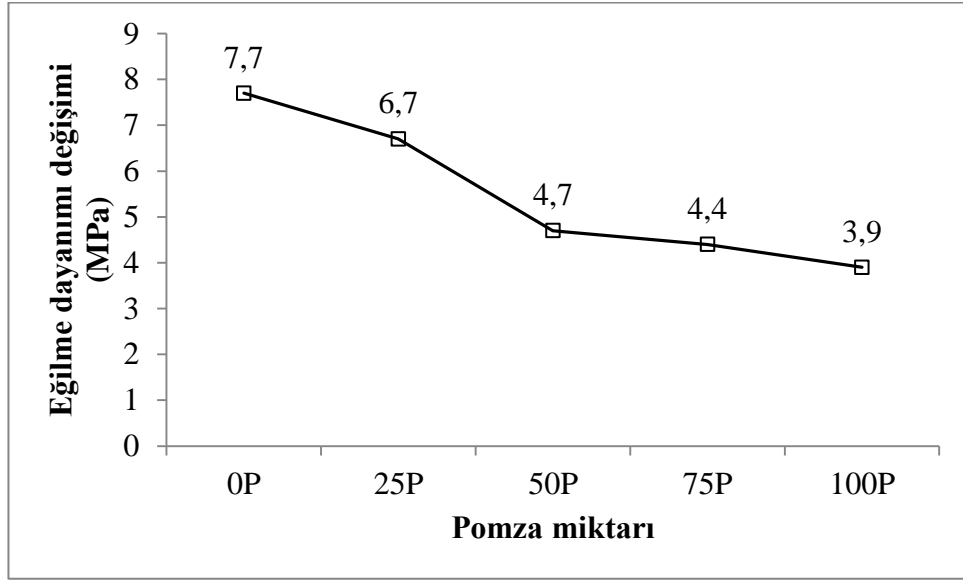
dayanımlarını geçmektedir (Çalışkan 2005). Yatağan uçucu külü ikameli ve Soma uçucu külü ikameli örneklerde basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerlerinin uçucu kül ikame oranına bağlı olarak azaldığı, %0 ikameli numunelerin en yüksek basınç ve eğilme dayanımı değerine sahip olduğu görülmektedir (Çullu vd. 2008). Silindir yarma ve eğilme deneylerinde hafif agregalı betonların normal betonlara kıyasla daha düşük dayanım değerlerinde kırılmalarının yanısıra daha tok bir sesle ve daha gevrek bir şekilde kırıldıkları gözlenmiştir (Türkel ve Kadiroğlu 2007). Literatür örnekleri çalışmada elde edilen sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.

**Çizelge 4.7.** Silis dumanı içeriğine göre eğilme dayanımı değişimi (MPa)

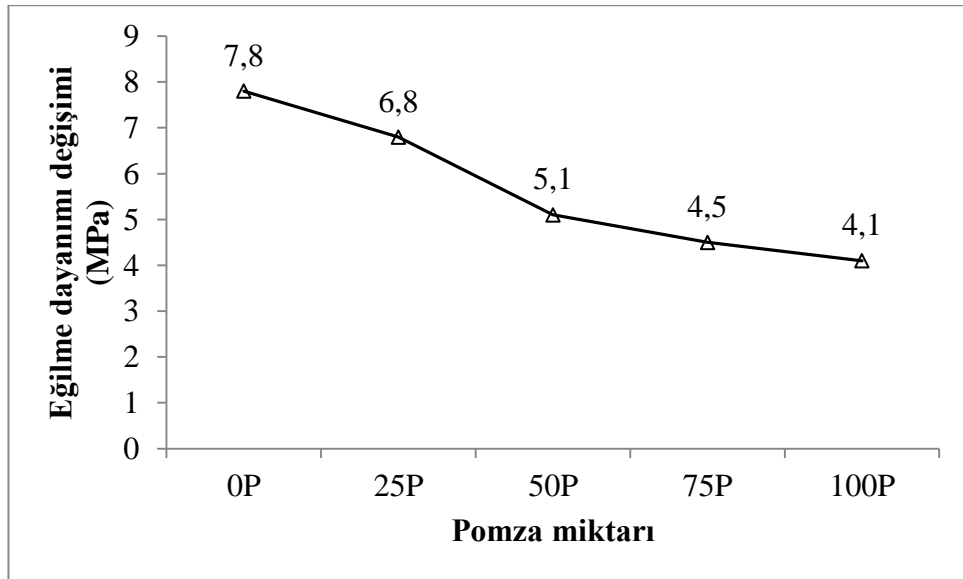
	0P	25P	50P	75P	100P
5SD	7,6	6,5	4,6	4,3	3,5
10SD	7,7	6,7	4,7	4,4	3,9
15SD	7,8	6,8	5,1	4,5	4,1



**Şekil 4.24.** 5SD içerikli numunelerde eğilme dayanımı değişimi



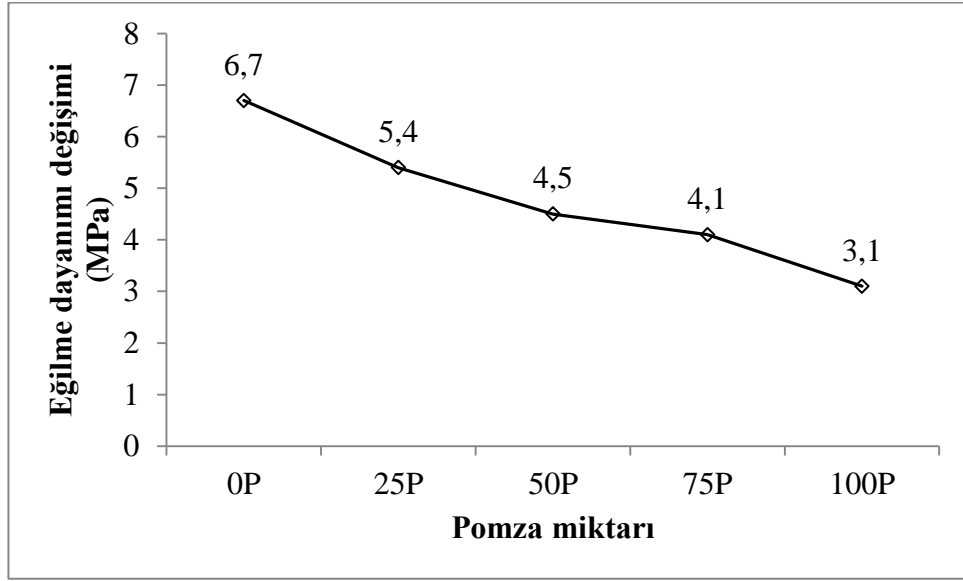
Şekil 4.25. 10SD içerikli numunelerde eğilme dayanımı değişimi



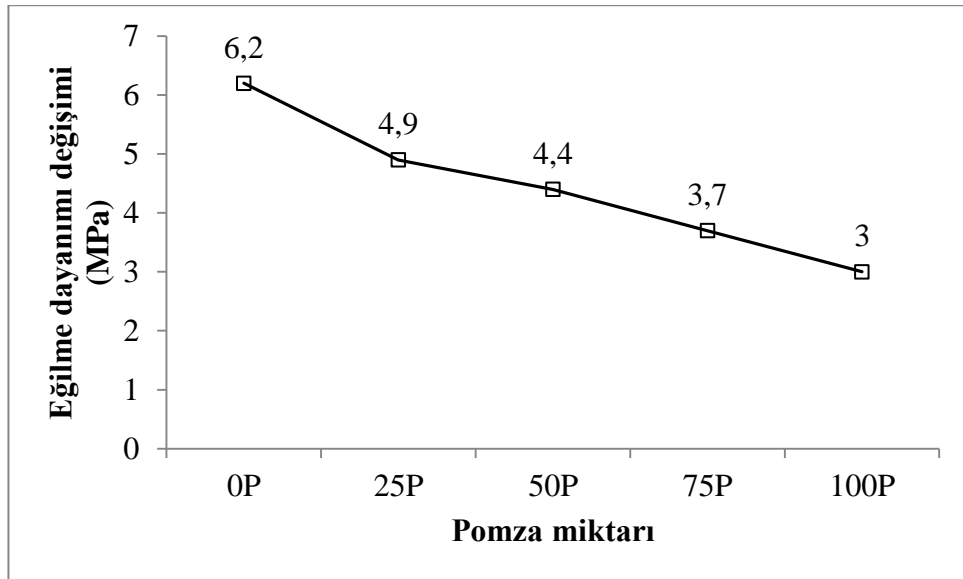
Şekil 4.26. 15SD içerikli numunelerde eğilme dayanımı değişimi

Çizelge 4.8. Uçucu kül içeriğine göre eğilme dayanımı değişimi (MPa)

	0P	25P	50P	75P	100P
5UK	6,7	5,4	4,5	4,1	3,1
10UK	6,2	4,9	4,4	3,7	3
15UK	6,1	4,8	4,3	3,5	2,7

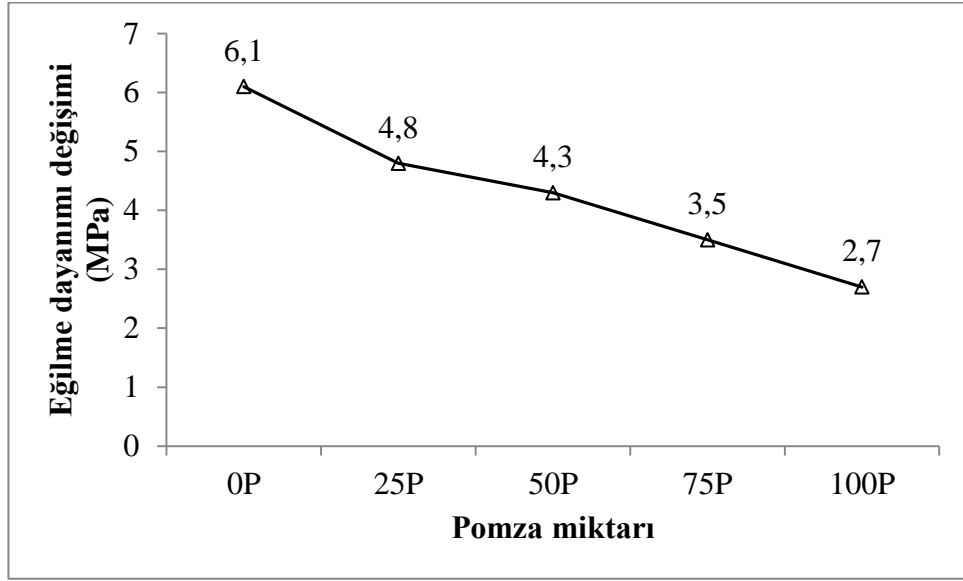


Şekil 4.27. 5UK içerikli numunelerde eğilme dayanımı değişimi



Şekil 4.28. 10UK içerikli numunelerde eğilme dayanımı değişimi





Şekil 4.29. 15UK içerikli numunelerde eğilme dayanımı değişimi

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

- Numunenin içerdiği su miktarının buharlaşmasından dolayı taze beton sertleştiğinde birim hacim ağırlıkta hacim ağırlıkta bir miktar azalma görülmüştür. Numune içerisinde pomza oranı ile birim hacim ağırlık arasında ters orantı bulunduğu, pomza miktarı arttıkça numunenin birim hacim ağırlığı azalmıştır. Birim hacim ağırlık çimento içerisine ağırlıkça farklı oranlarda katılan silis dumanı ve uçucu kül katkıları yönünden incelendiğinde ise bu yapay puzolanik katkıların birim hacim ağırlığa dikkate değer bir etkisi saptanmamıştır.
- İşlenebilirlik açısından numuneler incelendiğinde, pomza içerisine suyu daha fazla çektiği için pomza miktarı arttıkça optimum işlenebilirliği sağlamak için gerekli su miktarı da artırılmıştır. İşlenebilirliği silis dumanı ve uçucu kül açısından incelediğimizde de gerekli işlenebilirlik için gerekli su ihtiyacının katkısız numunelere göre ortalama %12 fazlası kullanılmıştır. Karışımda su ihtiyacının artmasının çimento içerisine ağırlıkça katılan silis dumanı ve uçucu külün daha ince öğütülmüş olmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca çimento içerisine katılan silis dumanı ve uçucu külün betonun priz süresini artırdığı gözlemlenmiştir.
- Basınç dayanımlarına pomzanın etkisi göz önüne alındığında numunelerin içerdiği pomza miktarı arttıkça dayanımlarda düşüşler kaydedilmiştir. Silis dumanı içeren numuneler incelendiğinde kontrol numunesine göre basınç dayanımında daha iyi bir performans göstermiştir. Numune içerisindeki uçucu kül yüzdesi arttıkça basınç dayanımında bir miktar azalmaya neden olduğu görülmüştür.
- Ultrasonik ses geçirgenlik özelliği açısından numunelerin durumunu incelediğimizde pomzanın agregası bağımsız boşluklu yapısı itibariyle, numune içerisinde bulunan yüzdesi arttıkça ultrasonik ses geçirimsizliğinde azalma kaydedilmiştir. Yapay puzolanik katkıları açısından ultrasonik ses geçirgenlik değişimi incelendiğinde çalışmada kullanılan puzolanik katkıları çimentodan nispeten daha ince olduklarından boşlukları kontrol numunesine göre daha fazla

doldurulmuş beton elde edilmesini sağlamıştır. Bu nedenle boşlukları az olan betonda ses iletimi daha hızlı olmuştur.

- Basınç altında su işleme derinliği açısından numuneleri incelediğimizde puzolanik katkısız numunelerden P75 ve P100 içerikli numuneler suyu tamamen bünyesine alırken, P0, P25 ve P50 grubundaki numuneler belirli bir miktar suyu bünyesine çekmiştir. Bu su miktarında ki artışın içerikteki pomza miktarı ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. Puzolanik katkılı numunelere baktığımızda ise katkının su işleme derinliğini azalttığı ve silis dumanının uçucu kül katkısına göre daha etkili olduğu görülmüştür.
- Eğilme dayanımı açısından numuneler incelendiğinde pomza agregasının beton içindeki oranının artması ile eğilme dayanımında bir miktar azalma saptanmıştır. 28 günlük eğilme dayanımı puzolanik katkıları yönünden incelendiğinde uçucu kül oranının artması eğilme dayanımında düşüşe sebep olurken, silis dumanı oranının artması bir miktar artışa sebep olduğu görülmüştür.
- Bu çalışmanın sonraki aşamalarında değişik puzolanik malzemeler , farklı kür şartları, bağlayıcı oranları ve farklı tane boyutlarında pomza malzeme ile araştırmaların yürütülmesi yararlı olacaktır. Pomzanın hafif agrega olması nedeniyle normal tuğla yerine pomza imalatı ürünler tercih edilmesi hem yapının kendi yükünü azaltacak, hem de yalıtım açısından çok yararlı olacaktır. Silis dumanının beton özelliklerini iyileştirdiği için daha kaliteli betonlar üretilmesini sağlayacaktır. Uçucu külün ise betonun su geçirimsizliğinde ve ultrasonik ses geçirgenliğinde pozitif bir etki yaptığı görülmüştür. Dolayısıyla bu iki katkının betonda kullanılması hem çevreye vereceği zararı önleyecek, ve atık bir malzeme değerlendirildiği için ülkemize ekonomik olarak katkı sağlayacaktır.

Teknik literatürde mevcut çalışma sonuçlarında bazı farklılıklar bulunmaktadır. Farklılıklarla ilgili boşluğun doldurulması ve daha ekonomik, kullanışlı beton elde edebilmek için, bu konuda pomza miktarının değişik oranlarda kullanılması, puzolanik

değişik türde katkı maddeleri kullanılması veya farklı kür şartlarının uygulanması gibi daha değişik parametrelerle çalışmaların yapılmasına ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Aksay, Kılınç, E., Akar, A., Cöcen, İ., Turgay Onargan, T., 2009. İzmir-Menderes Pomza Cevherinin Bazı Tür Mermerlerin Aşındırılmasında Abrasif Olarak Kullanımı. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt:11 Sayı: 31 32-42.
- Anonim, 1996. DPT,. Yapı Malzemeleri, Cilt 2.
- Anonim, 2006. T.O.B.B., Bims (Pomza) Alt Sektör Raporu.
- ASTM C 597, 1994. Standard Test Method For Pulse Velocity Through Concrete.
- Atış, C., D., Özcan, F., Karahan, O., Bilim, C., Sevim, U., K., Demir, A., 2003. Silis Dumanı Kullanımının Beton Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi. Türkiye Mühendislik Haberleri, (426), 121-124.
- Aydın, A., C., Gül, R., 2007. Influence of Volcanic Originated Natural Materials As Additives on the Setting Time and Some Mechanical Properties of Concrete. Construction and Building Materials, (21), 1277-1281.
- Aydın, S., Baradan, B., 2007. Effect of Pumice and Fly Ash Incorporation on High Temperature Resistance of Cement Based Mortars. Cement and Concrete Research, (21), 988-995.
- Binici, H., 2007. Effect Of Crushed Ceramic and Basaltic Pumice As Fine Aggregates on Concrete Mortars Properties. Construction and Building Materials, (21), 1191-1197.
- Binici, H., Aksogan, O., Görür, E. B., Kaplan, H., 2008. Performance of Ground Blast Furnace Slag and Ground Basaltic Pumice Concrete Against Seawater Attack. Construction and Building Materials, (22), 1515-1526.
- Binici, H., Temiz, H., Köse, M., M., 2007. The Effect of Fineness on the Properties of the Blended Cements Incorporating Ground Granulated Blast Furnace Slag and Ground Basaltic Pumice. Construction and Building Materials, 21, 1122-1128.
- Cavaleri, L., Miraglia, M., Papia, M., 2003. Pumice Concrete For Structural Wall Panels, Engineering Structures, (25), 115-125.
- Ceylan, H., 2005. Farklı Pomza Agregaları Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Karakteristiği. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye.
- Ceylan, H., Saraç, M., S., 2006. Farklı Pomza Agregaları Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Karakteristiği. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, (10-3), 413-421.
- Coşkun, A., Tanyıldızı, H., 2007. Silis Dumanı Katkılı Hafif Betonun Basınç Dayanımı ve Ultrasonik Ses Geçirgenliğine Farklı Kür Koşullarının Etkisi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, (14), 119-128.
- Coşkun, A., Tanyıldızı, H., Yazıcıoğlu, S., 2006. Elazığ Yöresinde Elde Edilen Pomza Taşı ile Elde Edilen Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerine Uçucu Külün Etkisi. GAP V. Mühendislik Bildiriler Kitabı, Şanlıurfa, Türkiye.
- Coşkun, İ., 2009. Uçucu Kül ve Volkanik Cüruf Katkılı Betonların Bazı Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi. Y.Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, Türkiye.
- Çevikbaş, A., İlgün, F., 1997. Türkiye Pomza Yataklarının Jeolojisi ve Ekonomisi. 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 13-18, Isparta.

- Çullu, M., Bolat, H., Subaşı S. ve Tekin, İ., 2008. Yatağan ve Soma Termik Santralleri Uçucu Küllerinin Çimento Genleşmesine ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. Uluslararası Hazır Beton Kongresi, 428-438, İstanbul, Türkiye.
- Dede, E., 2008. Yüksek Oranda Uçucu Kül İçeren Harçların Özellikleri. Y.Lisans Tezi, Eskisehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye.
- Demir, İ., Durgun, M.,Y., Kurt,D., 2009. İki Farklı Puzolanik Katkının Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkisinin Karşılaştırılması. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, Türkiye.
- Demir, İ., Kıbcı, Y., Yıldız, A., 2004. Bazık Pomzanın (Osmaniye-Ceyhan Yöresi) Yapı Tuğlası Üretiminde Kullanılması. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye.
- Demir, İ., Orhan, M., 2001. Pomza Hammaddesinin Tuğla Üretiminde Kullanılması. Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, Antalya, Türkiye.
- Demirboğa, R., 1999. Silis Dumanı ve Uçucu Kül İçeren Perlit ve Pomza ile Üretilen Hafif Beton Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Dinçer, R., Çağatay, H., İ., 2004. Pomza ile Yapılan Hafif Betonların Mekanik Özellikleri. Ç.Ü. Müh.Mim. Fak. Dergisi Cilt.19 (2), 247-260.
- Dinçer, R., Çağatay, H., İ., 2004. Uçucu Kül, Çelik Lif Ve Pomza İçeren Betonların Mekanik Özellikleri. Ç.Ü. Müh.Mim. FAK. Dergisi Cilt.19 (2), 261-279.
- Doğan, H., Şener, F., 2004. Hafif Yapı Malzemeleri Kullanımının Yaygınlaştırmasına Yönelik Sonuç ve Öneriler. MTA haber Bülteni.
- Durmuş, G., Yılmaz, C., 2009. Farklı Oranlardaki Yapay Puzolan Katkılı Betonların Su İşleme Derinliğinin Ultrases Geçiş Hızı İle Değerlendirilmesi, e-Journal of New World Sciences Academy Volume: 4, Number: 1 50-57.
- Düzgün, O. A., Gül, R., Aydın C., A., 2005. Effect of Steel Fibers on the Mechanical Properties of Natural Lightweight, Materials Letters, (59), 3357-3363.
- Erdoğan, S.T., Erdoğan, T.Y., 2007. Puzolanik Mineral Katkılar ve Tarihi Geçmişleri. 2.Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, Ankara, Türkiye.
- Erdoğan, T. Y., 2007. Mineral Katkı Maddeleri. Beton, Genişletilmiş 2.Baskı, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık İletişim A.Ş., Ankara, Türkiye, 173-204.
- Erdoğan, Y., 2007. Asidik ve Bazık Pomzadan Üretilen Yapı Malzemelerinin Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye.
- Erdoğan, Ş., Kurbetçi, Ş., 2003. Betonun performansına sağladıkları etkinlik açısından kimyasal ve mineral katkı maddeleri. Türkiye Mühendislik Haberleri, (426) 115-120.
- Ersoy, B., Sarıışık, A., Dikmen, S., Sarıışık, G., 2010. Characterization of Acidic Pumice and Determination of Its Electrokinetic Properties in Water, Powder Technology, (197) 129-135.
- Felekoğlu, B., Baradan, B., 2007. Beton Üretiminde Alternatif Su Geçirimsizlik Katkılarının Kullanımı. 2.Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu , Ankara, Türkiye.
- Gencer, Ö., 2000. Pomza Katkılı Bimsbloklar ile Yapılmış Yığma Yapı Üzerinde Deprem Etkisinin Etkisi. Y.Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye.

- Görhan, G., Kahraman, E., Baspınar M.S., 2008. Uçucu Kül Bölüm I: Oluşumu, Sınıflandırılması ve Kullanım Alanları. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (2) 85-94.
- Görür, E., B., 2007. Yüksek Fırın Cürufu ve Bazaltik Pomza Katkılı Betonların Durabilite Özellikleri. Y.Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, Türkiye.
- Güçlüer, K., Ünal, O., 2010. Uçucu Kül İçeriğinin Beton Basınç Dayanımı Ve Geçirimsizliği Üzerine Etkisinin Araştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi* Cilt: 6, No: 1, 11-18.
- Gül, R., Bingöl, F., A., 2000. Betonun Yangın Dayanımına Genel Bir Bakış. *DSİ Teknik Bülteni*, Sayı 82.
- Gül, R., Geçten, O., 1994. Hafif Agregalı Betonların Kullanılabilirliği. *DSİ Teknik Bülteni*, Sayı 80.
- Gündeşli, U., 2008. Uçucu Kül, Silis Dumanı ve Yüksek Fırın Cürufunun Beton ve Çimento katkısı Olarak Kullanımı Üzerine Bir Kaynak Taraması. Y.Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye.
- Gündüz, L., 2001. Isı Yalıtım Agregası Olarak Pomzanın Kullanımı. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye.
- Gündüz, L., Rota, A., Hüseyin A., 2001. Türkiye ve Dünyadaki Pomza Oluşumlarının Malzeme Karakteristiği Analizi. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye.
- Gündüz, L., 2008. The Effects of Pumice Aggregate/Cement Ratios on the Low Strength Concrete Properties, *Construction and Building Materials*, 22 721–728.
- Gündüz, L., Sarıışık, A., Davraz, M., Uğur, İ. ve Çankıran, O., 1998. Pomza Teknolojisi, Pomza Karakterizasyonu, Cilt I, 218s, Isparta, Türkiye.
- Gündüz, L., Sarıışık, A., Davraz, M., Uğur, İ. ve Çankıran, O., 1998. Pomza Teknolojisi, İnşaat Sektöründe Pomza, Cilt II, 205s, Isparta, Türkiye.
- Gündüz, L., Şapçı, N., Bekar, M., İsker, M., 2006. Erzurum Bölgesi Pomza Oluşumları ve Doğu Karadeniz Bölgesinde Endüstriyel Olarak Kullanımı. Doğu Karadeniz maden Kaynaklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu, Trabzon, Türkiye.
- Gündüz, L., Uğur, İ., 2005. The Effects of Different Fine and Coarse Pumice Aggregate/Cement Ratios on the Structural Concrete Properties Without Using Any Admixtures, *Cement and Concrete Research*, (35) 1859-1864.
- Hossain, K, M, A., 2004. Properties of Volcanic Pumice Based Cement and Lightweight Concrete, *Cement and Concrete Research*, (34) 283–291.
- Hossain, K.M.A., Lachemi, M., 2006. Performance Of Volcanic Ash And Pumice Based Blended Cement Concrete In Mixed Sulfate Environment, *Cement and Concrete Research*, (36) 1123–1133.
- İlgün, K., A., 1992. Hafif Betondan İmal Edilmiş Betonarme Kirişlerin Dayanım ve Davranışı. Y.Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye.
- İlhan, S., Özdağ, H., 1997. Pomza Partiküllerinin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. *Madencilik Dergisi* Cilt 36 Sayı 2-3 25-34.
- Kabaş, G. N., 2007. Modifiye Edilmiş Pomza İle Ağır Metal Uzaklaştırılması. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye.

- Kan, A., 1999. Pasinler Esendere Volkanik Tuf Kumunun Harç Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Y.Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Karabay, D., 2006. Değişik Oranlarda Pomza, Talk ve Serpantin İlavelerinin Fayans Masse Üzerine Etkileri. Y.Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, Türkiye.
- Kılıç, A., Atis, C., D., Yaşar, E., Özcan, F., 2003. High-Strength Lightweight Concrete Madewith Scoria Aggregate Containing Mineral Admixtures. Cement and Concrete Research, (33) 1595-1599.
- Kıvrak, S. O., 2006. Uçucu Kül Katkılı Bimsblokların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması. Y.Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Kocaman, B., 2000. Doğu Anadolu Bölgesindeki Doğal Hafif ve Normal Agregalarla Üretilen Betonların Fiziksel, Mekanik ve Isı İletkenliklerinin Belirlenmesi ile Tarımsal Yapılarda Kullanılma Olanakları Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Koçkal, N.,U., 2008. Hafif Uçucu Kül Agregası Özelliklerinin Hafif Beton Performansına Etkileri. Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Köse, C., 2006. Doğu Anadolu Bölgesi Pomzalarının Bazı Fiziksel Özellikleri ve Su Tutma Kapasiteleri. Y.Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Köse, H., Pamukçu, Ç., Yalçın, N., Seçer, T., 1997. Pomza ve Yapı Malzemesi Olarak Kullanım Olanakları. 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.
- Kurt, E., B., 2007. Silis Dumanının Betonun Durabilite Özelliklerine Etkisi. Y.Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Kuşçu, M., 2001. Endüstriyel Kayaçlar ve Mineraller. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınları Yayın No: 2, Isparta.
- Mor, R., 2007. Bims Betondan İmal Edilmiş Yapı Elemanlarının Isı İletim Katsayılarının İyileştirilme Çalışmaları. Y.Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Türkiye.
- Örüng, İ., 1995. Hafif Betonların Dayanıklılığı. DSİ Teknik Bülteni, Sayı 82.
- Öz, E., 2007. Nevşehir Dolaylarında Yüzeyleyen Asidik Pomzanın Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği. Y.Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye.
- Öz, V., 2007. Hafif Agregalı Blok Üretiminde Yatagan Uçucu Külünün Etkisinin Araştırılması. Y.Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, Türkiye.
- Özkan, Ş. G., Tuncer, G., 2001. Pomza Madenciliğine Genel Bir Bakış. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.
- Özkan, Ş., 2009. Kimyasal Etkilere Dayanıklı Çimento Üretimi Üzerine Bir Araştırma. Y.Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye.
- Özkul, H., Doğan, Ü., A., İlki, A., 2006. Beton Bileşim ve Geçirimlilik Özelliklerinin Donatı Korozyonu Üzerine Etkisi, İstanbul.



- Polat, R., Demirboğa, R., Karakoç, M. B., Türkmen, İ., 2009. The Influence of Lightweight Aggregate on the Physico-Mechanical Properties of Concrete Exposed to Freeze-Thaw Cycles, *Cold Regions Science and Technology*, 1-6.
- Sağın, S., Demir, İ., 2005. Pomza ile Üretilen Hafif Beton Blokların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Konferansı, 352-358.
- Sancak, E., Şimşek, O., 2006 Yüksek Sıcaklığın Silis Dumanı ve Süperakışkanlaştırıcı Katkılı Hafif Betona Etkileri. *Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der.* Cilt 21, No 3, 443-450.
- Sarı, D., Paşamehmetoğlu, A.G., 2005. The Effects Of Gradation And Admixture On The Pumice Lightweight Aggregate Concrete, *Cement and Concrete Research*, (35) 936-942.
- Serin, G., 1999. Pomzanın Hafif Beton Blok Duvar Elemanı Olarak Kullanılmasının Araştırılması. Y.Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye.
- Şahin, R., Demirboğa, R., Uysal, H., Gül R., 2003. The Effects of Different Cement Dosages, Slumps and Pumice Aggregate Ratios on The Compressive Strength and Densities of Concrete, *Cement and Concrete Research*, (33) 1245-1249.
- Şahin, S., Örüng, İ., Okuroğlu, M., Karadutlu, Y., 2008. Properties of Prefabricated Building Materials Produced From Ground Pumice Aggregate and Binders, *Construction and Building Materials*, (22) 989-992.
- Şahin,R., 2005. Kocapınar Pomzası ile Üretilen Hafif Betonun Mukavemetinin Araştırılması. Y.Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Şengün, N., 2004. Pomzanın Hafif Harç Yapımında Endüstriyel Hammadde Olarak Kullanımı. Y.Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye.
- Şentürk, A., Gündüz, L., Sarıışık, A., 1995. Hafif İnşaat ve İzolasyon Hammaddesi Olarak Pomza Taşının Değerlendirilmesi. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir.
- Şimşek, O., Dur, A., Yaprak, H., 2004. Silis Dumanı Katkılı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *Politeknik Dergisi Cilt: 7 Sayı: 2 s. 169-178.*
- Tanyıldızı, H., Coşkun, A.,2006. Pomza ile Elde Edilen Taşıyıcı Hafif Betonun Ultrasonik Ses Geçirgenliğine Silis Dumanının Etkisinin Araştırılması. 2. Ulusal Mühendislik Kongresi, Zonguldak, 479-484.
- Taşdemir, C., 2003. Hafif Betonların Isı Yalıtım ve Taşıyıcılık Özellikleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 427.
- Tolğay,A., Yaşar,E., Erdoğan,Y., 2004. Nevşehir Pomzasının Agrega Olarak Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.
- Topçu, İ., B., 2006. Hafif Beton. *Beton Teknolojisi*. Uğur Ofset A.Ş. Eskişehir, 215-235.
- Topçu, İ.B., 2001. Canbaz, M., Uçucu Kül Kullanımının Betondaki Etkileri. *Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi C.XIV, S.2, 1-14.*
- Topçu., İ.B., Karakurt,C., 2007. Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufunun Çimento Üretiminde Katkı Olarak Kullanımı. 7. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 395-404.
- TS 1114, Hafif Agregalar, 1986.

- TS 3068, Beton Deneyleri-Deney Numuneleri-Bölüm 2: Dayanım Deneyleri İçin Deney Numunelerinin Yapımı ve Kuru. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS 3530 EN933-1, Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini, Eleme Metodu, 1999.
- TS 3673, Beton Agregalarında Organik Kökenli Madde Tayini Deney Metodu, 1982.
- TS 706 EN12620, Beton Agregaları, 2003.
- TS 707, Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi, 1980.
- TS EN1097-3, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler Bölüm 3: Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini, 1999.
- TS EN1097-6, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve su emme oranı Tayini, 2002.
- TS EN12350-1, Beton- Taze Beton Deneyleri-Bölüm 1: Numune Alma, 2002.
- TS EN12350-2, Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi, 2002.
- TS EN12350-6, Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 6: Yoğunluk, 2002.
- TS EN12390-3, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Nisan 2003.
- TS EN12390-7, Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini, 2002.
- TS EN12390-8, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 8: Basınç Altında Su İşleme Derinliğinin Tayini, 2002.
- Tuncer, G., 1997. Dünya Pomza Rezervleri ve Üretiminde Türkiye'nin Yeri ve Önemi. Isparta Pomza Sempozyumu, Isparta.
- Tuygun, C., S., 2002. Çayırhan Uçucu Külünün Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi ve Etkinlik Faktörünün İncelenmesi. Y.Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Türkel, S., Kadiroğlu, B., 2007. Pomza Agregalı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt:13 Sayı:3 Sayfa:353-359.
- Türkmen, İ., 2006. Van-Erciş Pomzasından Üretilen Hafif Betonun Donma-Çözölmeye Etkisi. . Y.Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Uğur, İ., 2003. Kırmataş Agregalı Hafif Betonların Mühendislik Özelliklerinin İyileştirilmesi Üzerine Bir Analiz. 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.
- Ulusoy, A., 2008. Uçucu kül-tekstil fabrikası atık külü ve bazaltik pomzanın tuğla üretiminde katkı olarak kullanılması. Y.Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, Türkiye..
- Ulus, H., 2006. Erzincan ve Nevşehir Yöresi Pomzalarının Çimentolu Sistemlerde Kullanılabilirliği. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye.
- Uysal, H., Demirboğa, R., Şahin, R., Gül R., 2004. The Effects of Different Cement Dosages, Slumps and Pumice Aggregate Ratios on The Thermal Conductivity and Density of Concrete, Cement and Concrete Research, (34) 845-848.
- Ünal, O., Demir, İ., Uygunoğlu, T., 2003. Pomza ve Diatomitin Hafif Blok Eleman Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması. 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.

- Ünal,O., Uygunoğlu,T., 2004. Soma Termik Santral Atığı Uçucu Külün İnşaat Sektöründe Değerlendirilmesi. Türkiye 14 Komur Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak,Türkiye.
- Yanık, S., 2007. Bazik Pomzaların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği. Y. Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye.
- Yasar, E., Atis, C. D., Kilic, A., Gülşen, H.,2003. Strength Properties of Lightweight Concrete Made With Basaltic Pumice and Fly Ash, Materials Letters, (57) 2267-2270.
- Yazıcıoğlu, S., 2003. Arıcı, E., Gönen.T., Pomza Taşının Kullanım Alanları ve Ekonomiye Etkisi. F.Ü. DAUM Dergisi , 1 , 118-123.
- Yazıcıoğlu, S., Bozkurt, N., 2006. Pomza ve Mineral Katkılı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 21, No 4, 675-680.
- Yazıcıoğlu, S., Bozkurt, N., 2006. Silis Dumanı Katkılı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 10.Cilt, 1.Sayı, 22-27.
- Yazıcıoğlu, S., Demirel, B., 2006. Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılan Elazığ Yöresi Pomzasının İlerleyen Kür Yaşlarında Betonun Basınç Dayanımına Etkisi. Fırat Üni. Fen ve Müh. Bil. Dergisi (3), 367-374.
- Yıldırım, A., N., 2007. Pomza ve Uçucu Kül Kullanılarak İmal Edilen Hafif Betonların Agresif Su Ortamlarında Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Y.Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye.
- Yıldız, S., Yalınbaş, M., Keleştemur, O., 2005. Silis Dumanı Katkılı Yapı Alçılarında Eğilmede Çekme Dayanımının Araştırılması. Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt:20, No:3, 395-399.

## ÖZGEÇMİŞ

### **Kişisel bilgiler**

Adı Soyadı : Mustafa PEKDEMİR  
Doğum yeri- Yılı : Turhal / 1985  
Medeni hali : Evli  
Yabancı dil : İngilizce

### **Eğitim Durumu**

İlkokul : Tokat Alparslan İlkokulu, 1991-1996  
Ortaokul-Lise : Tokat Anadolu Lisesi, 1996-2003  
Lisans : Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2004-2008  
Yüksek lisans : Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilimdalı,  
2008-2011

### **Çalıştığı Kurum/ Görevi**

2010-2011 Iğdır Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü /  
Araştırma Görevlisi  
2011- .. Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü /  
Araştırma Görevlisi