

BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİTLİS POMZASI İLE KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HAFİF BETON TASARIMI VE  
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Vural TAŞKIN

AĞUSTOS 2016

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİTLİS POMZASI İLE KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HAFİF BETON TASARIMI VE  
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Hazırlayan  
Vural TAŞKIN

Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Nusret BOZKURT

Jüri Üyeleri  
Yrd. Doç. Dr. M. Emin ÖNCÜ  
Yrd. Doç. Dr. Nusret BOZKURT  
Yrd. Doç. Dr. Ercan IŞIK

AĞUSTOS 2016

Vural TAŞKIN tarafından hazırlanan “**Bitlis Pomzası ile Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton Tasarımı ve Özelliklerinin Araştırılması**” adlı tez çalışması 30/09/2016 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

#### Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emin ÖNCÜ

(Başkan)


Yrd. Doç. Dr. Nusret BOZKURT

(Danışman)

Yrd. Doç. Dr. Ercan IŞIK

(Üye)

İmza



Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun **08/11/2016** gün ve **42/11** Sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Doç. Dr. Mehmet Cihan AYDIN  
Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

### BİTLİS POMZASI İLE KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HAFİF BETON TASARIMI VE ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Vural TAŞKIN

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nusret BOZKURT

Ağustos 2016, 113 sayfa

Bu tez çalışması, Bitlis pomzası ile kendiliğinden yerleşen hafif beton tasarımı ve özelliklerinin araştırılması üzerine laboratuvar çalışması sonuçlarını sunmaktadır. Tez çalışmasında, bamğlayıcı olarak CEM I 42.5 N tipi çimento kullanılmıştır. Bununla birlikte, barit tozu (BT), uçucu kül (UK) ve volkanik pomza taşı tozu (PT) viskozite arttırıcı katkı olarak kullanılmıştır. Karışım tasarımında, çimento iki farklı dozajda ( $350 \text{ kg/m}^3$  ve  $400 \text{ kg/m}^3$ ), bahsedilen bu katkılar ile  $150 \text{ kg/m}^3$  ve  $200 \text{ kg/m}^3$  oranlarında kullanılmıştır. Tüm tasarımlarda, kaba agrega olarak volkanik pomza taşı kullanılmışken, tasarım sürecinde ince agrega olarak doğal nehir kumu ve öğütülmüş pumza kumu kullanılarak karışımlar çeşitlendirilmiştir. Tüm bu malzemeler ve farklı kullanım oranları ile birlikte akma-yayıma, V-hunisi ve L-kutusu deneyleri uygulanarak 9 kendiliğinden yerleşen hafif beton (KYHB) tasarlanmıştır. Tasarlanan KYHB'lar 3, 7, 14, 28, 56, 90 ve 150 günlük  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  standart su kürü uygulanmıştır. Her bir kür yaşı sonrasında, tasarlanan beton serilerine basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenlik deneyleri uygulanmıştır. Buna ek olarak, 90 günlük kür yaşı sonrasında bazı

durabilite deneyleri uygulanmıştır. Tasarlanan KYHB'ların durabilite özelliklerini belirleyebilmek için yüksek sıcaklık, donma-çözünme, ıslanma-kuruma, asite dayanıklılık ve görünür porozite deneyleri uygulanmıştır.

Genel sonuç olarak, KYHB tasarımı 9 farklı beton karışımı (E1-E9) ile sağlanmıştır ve bu tasarımı gerçekleştirilen betonların taze beton, dayanım ve durabilite özellikleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda genel olarak en iyi sonuçlar karışımında ince nehir kumu ve UK katkısı içeren E4 serisinden ve en kötü sonuçlar ise agrega olarak tamamıyla pomza taşı ve katkı olarak PT içeren E7 serisinden elde edilmiştir. 28 günlük kür yaşı sonrasında, tüm tasarlanan KYHB'lar taşıyıcı beton özellikleri kazanmıştır. Karışımında ince agrega olarak doğal nehir kumu kullanılan betonlar, ince agrega olarak öğütülmüş pomza taşı kumu kullanılan betonlardan daha yüksek dayanım özellikleri sergilemişlerdir. KYHB tasarımı UK kullanımı daha iyi dayanım ve durabilite özellikleri verirken karışımında PT kullanılan seriler bunu takip etmiştir. Tasarımda BT kullanımı ise rölatif birim ağırlık olarak daha ağır beton üretimine neden olmuş ve PT katkısı içerikli seriler ile benzer dayanım ve durabilite özellikleri vermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Kendiliğinden yerleşen hafif beton, taze, dayanım ve durabilite özellikleri.

## ABSTRACT

### THE DESIGN OF SELF COMPACTING LIGHTWEIGHT CONCRETE PRODUCED WITH BİTLİS PUMICE AND INVESTIGATION OF ITS PROPERTIES

Vural TAŞKIN

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Nusret BOZKURT

August 2016, 113 pages

This thesis reports a laboratory work results on the design of self-compacting lightweight concrete produced with Bitlis pumice and investigation of its properties. In the thesis, CEM I 42.5 N type cement was used as a binder. Moreover, barite powder (BP), fly ash (FA) and volcanic pumice powder (VPP) were used as viscosity enhancing admixtures. In the mix design, cement was used in two different dosages ( $350 \text{ kg/m}^3$  and  $400 \text{ kg/m}^3$ ) with mentioned powder admixtures in the rates of  $150 \text{ kg/m}^3$  and  $200 \text{ kg/m}^3$ . While volcanic pumice aggregate was been using as a coarse aggregate in all designed, natural river sand and crashed volcanic pumice aggregates were used in the design process. With all these materials and different usage percentages, 9 Self-compacting lightweight concrete (SCLWC) were designed applying slump-flow, V-funnel and L-box tests. Designed SCLWCs were cured at the ages of 3, 7, 14, 28, 56, 90 and 150-days in standard water cure at the temperature of  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ . After the curing process, compressive strength, flexural tensile strength and ultrasonic pulse velocity tests were applied at each curing day. Besides, some durability tests were also implemented after the 90-curing day. High temperature, freezing-thawing, wetting-drying, acid resistance and relative-porosity tests were performed to detected durability properties of designed SCLWCs.

SCLWC design was achieved in 9 different concrete mixes (E1-E9) and identified their fresh concrete, strength and durability properties. The best results were obtained from the series E4 including fine river aggregate and FA while the worst result obtained from the series E7 containing fully volcanic pumice aggregates and VPP. After the 28-curing day, all designed

SCLWCs gained structural concrete properties. Concretes including river sand as fine aggregate gave the more strength properties than concretes containing fully volcanic pumice aggregates. FA using in the SCLWC design gave the better strength and durability properties and VPP using followed it. BP using in the design caused to produce the heavier concretes in terms of relative unit weight and gave the relatively similar strength and durability properties with VPP using.

**Keywords:** Self-compacting lightweight concrete, fresh, strength and durability properties.



## TEŞEKKÜR

Tez alıőması sırasında her tŸrlŸ bilgi, teővik ve deneyimleri ile yardımlarını esirgemeyen Danıőmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Nusret BOZKURT'a, yŸksek lisans eğitimim sŸresince sağladıkları katkılardan dolayı İnaőat MŸhendisliėi ABD. Őėretim Ÿyeleri, pomzanın temininde yardımlarını esirgemeyen DOLAN Bims İnaő. Dış Tic. LTD. ŐTİ, Barit tozu temininde yardımcı olan Muş End. Dış Ticaret A.Ő, SŸper akışkanlaştırıcı katkı maddesini temininden yardımcı olan SİKA Yapı Kimyasalları A.Ő firmalarına ve yŸksek lisans eğitimim sŸresince her tŸrlŸ maddi ve manevi destekleri ile gŸstermiő oldukları sabırdan dolayı canım aileme teőekkŸr ederim.

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

<b>ÖZET .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iii</b>
<b>TEŞEKKÜR.....</b>	<b>v</b>
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....</b>	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ.....</b>	<b>x</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ.....</b>	<b>xiv</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....</b>	<b>xv</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Genel Değerlendirme.....	1
1.2. Kendiliğinden Yerleşen Beton .....	4
1.2.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tanımı .....	4
1.2.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tarihsel Gelişimi.....	5
1.2.3 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kullanım Alanı.....	6
1.2.4. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mühendislik Özellikleri .....	7
1.2.4.1. Basınç Dayanımı .....	7
1.2.4.2. Çekme Dayanımı.....	8
1.2.4.3. Elaste Modülü .....	8
1.2.5 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Bileşenleri .....	8
1.2.5.1. Çimento .....	9
1.2.5.2. Mineral Katkılar .....	9
1.2.5.3. Toz Malzeme .....	10
1.2.5.4. Karışım Suyu.....	10
1.2.5.5. Süper-akışkanlaştırıcı Katkı .....	10
1.2.5.6. Viskozite Artırıcı Katkı .....	10
1.2.5.7. Agregalar .....	10

1.2.6. Taze Betonda Kendiliğinden Yerleşebilirlik Deney Metotları .....	11
1.2.6.1. Slump yayılma deneyi .....	12
1.2.6.2. V-Hunisi Deneyi.....	13
1.2.6.3. L-Kutusu deneyi .....	13
1.2.6.4. U-Kutusu Deneyi.....	14
1.2.6.5. J-Halkası Deneyi .....	14
1.2.7. Taze Beton Reolojisi ve Kendiliğinde Yerleşen Beton .....	15
1.3. Hafif Beton .....	16
1.3.1 Hafif Betonun Tarihçesi .....	16
1.3.2. Hafif Betonun Tanımı.....	16
1.3.3. Hafif Betonların Sınıflandırılması .....	17
1.3.4. Hafif Agrega .....	18
1.3.4.1. Pomza .....	18
4.5. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton .....	25
<b>2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>26</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEMLER .....</b>	<b>35</b>
3.1. Materyal .....	35
3.1.1. Kullanılan Malzemeler .....	35
3.1.1.1. Çimento .....	35
3.1.1.2. Viskozite Arttırıcı Toz Malzeme.....	36
3.1.1.3. Agrega .....	37
3.1.1.4. Karışım Suyu.....	38
3.1.1.5. Kimyasal Katkı Malzemesi .....	38
3.2. Metot .....	39
3.2.1. Karışım Oranları .....	39
3.2.2. Taze Beton Deney Yöntemleri .....	42
3.2.2.1. Çökme-Yayılma deneyi.....	42

3.2.2.2. V-Hunisi Deneyi.....	43
3.2.2.3. L-Kutusu Deneyi .....	44
3.2.3. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesinde Uygulanan Deneyler.....	45
3.2.3.1. Basınç Dayanımı Deneyi.....	45
3.2.3.2. Çekme Dayanımı Deneyi .....	46
3.2.3.3. Kuru Birim Ağırlık Tayini Yöntemi .....	47
3.2.3.4 Ultrasonik Ses Geçirgenlik Hızı Tayini Deneyi.....	47
3.2.4. Durabilite Özelliklerinin Belirlenmesinde Uygulanan Deneyler.....	49
3.2.4.1. Rölatif Porozite Deneyi .....	49
3.2.4.2. Yüksek Sıcaklık Deneyi .....	50
3.2.4.3. Donma-Çözünme Deneyi .....	51
3.2.4.4. Asit dayanıklılığı deneyi .....	52
3.2.4.5. Islanma-Kuruma Deneyi .....	53
<b>4. BULGULAR.....</b>	<b>55</b>
4.1. Taze Beton Özelliklerinin İncelenmesi .....	55
4.2 Mekanik Özelliklerin İncelenmesi .....	59
4.2.1. Basınç Dayanımı Deneyi .....	59
4.2.2. Kiriş Numunelerde Eğilmede Çekme Deneyi .....	65
4.2.3. Tasarlanan Betonların Kuru Birim Ağırlıklarının Tayini .....	67
4.3. Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi .....	68
4.3.1. Yüksek Sıcaklık Deneyi Bulgularının İncelenmesi.....	68
4.3.2. Donma-Çözünme Deneyi Bulgularının İncelenmesi.....	78
4.3.3. Asit Dayanıklılık Deneyi Bulgularının İncelenmesi.....	84
4.3.4 Islanma-Kuruma Deneyi Bulgularının İncelenmesi .....	87
4.3.5. Rölatif Porozite Deneyi Bulguları .....	95
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>97</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>102</b>



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. U-kutusunun tipik görünümü .....	14
1.2. J-halkası deney düzeneği.....	15
1.3. a)Reolojik modeller, b)Normal beton ve KYB arasındaki farklılıklar .....	15
1.4. Pomzanın Oluşum Evreleri .....	20
1.5. Farklı Sektörlerdeki CO2 salınım oranları .....	22
1.6. Pomza taşının ülkemizde rezerv durumu .....	23
3.1. Agreganın numunelerin depolanması.....	38
3.2. Kür havuzları ve su kürü uygulanan numuneler .....	40
3.3. Yayılma deneyin tipik tasarımı ve boyutları .....	43
3.4. V-hunisi tipik tasarımı ve boyutları .....	44
3.5. L-kutusunun tipik tasarımı ve boyutları .....	45
3.6. Yük kontrollü pres.....	46
3.7. Yük kontrollü eğilmede çekme deney aleti.....	47
3.8. USG Hızı Tayini deney aleti .....	48
3.9. Rölatif porozite deney düzeneği (Arşimet terazisi) .....	50
3.10. Yüksek sıcaklık deneyinde kullanılan laboratuvar tipi yüksek sıcaklık fırını .....	51
3.11. Donma-çözünme deneyinde kullanılan dondurucu aleti .....	52
3.12. Asit dayanıklılık deneyi düzeneği .....	53
3.13. Asit dayanıklılığı testi sonrası çıkarılan numune .....	53
3.14. Islanma-kuruma deneyinde kullanılan otomatik kontrollü etüv .....	54
3.15. Islanma-kuruma deneyinde kullanılan otomatik kontrollü etüv .....	54
3.16. Van gölü suyunda Islanma-kuruma deneyi sonrası bazı numunelerin görünümü .....	55
4.1. Tasarlanan KYHB serilerinin çökme-yayılma deney sonuçları.....	57
4.2. Tasarlanan KYHB serilerinin 500 mm çapa yayılma süreleri .....	58
4.3. Tasarlanan KYHB serilerinin V-Hunisi deneyindeki akma süreleri.....	58
4.4. Tasarlanan KYHB serilerinin L-kutusu deneyindeki H2/H1 oranı.....	59
4.5. Beton türlerinin yaşlara göre basınç dayanımları.....	60
4.6. Beton türlerinin yaşlara göre USG hızı .....	60

4.7. Sertleşmiş KYHB serilerinin ortalama suya doygun birim hacim ağırlık değerleri .....	61
4.8. Küp örneklerin 3 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması .....	62
4.9. Küp örneklerin 7 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması .....	62
4.10. Küp örneklerin 14 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması .....	63
4.11. Küp örneklerin 28 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması .....	63
4.12. Küp örneklerin 56 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması .....	64
4.13. Küp örneklerin 90 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması.....	64
4.14. Küp örneklerin 150 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması .....	65
4.15. Sertleşmiş betonların eğilme çekeme dayanım değerleri .....	66
4.16. Eğilme deney sonucu kırılma biçimi.....	66
4.17. 200 °C (soldaki resim) ve 400°C (sağdaki resim) sonrasında numune yüzeylerinde meydana gelen seyrek mikro çatlakların görünümü.....	68
4.18. 600°C sonrasında numune yüzeylerinde meydana gelen yoğun mikro çatlakların görünümü .....	69
4.19. 800°C sonrasında numune yüzeylerinde meydana gelen makro çatlakların görünümü .....	69
4.20. 1000°C sonrasında numune yüzeylerinde meydana gelen yoğun makro çatlaklar .....	70
4.21. 1000°C sonrasında kırılmaya tabi tutulan bir numunenin içyapısı .....	70
4.22. 1000°C sonrasında bir numunenin içyapısındaki oluşumu .....	71
4.23. Yüksek sıcaklığın KYHB birim ağırlığına etkisi .....	71
4.24. Yüksek sıcaklık deneylerine tabi tutulan KYHB serilerinin USG hızına etkisi .....	72
4.25. 200 °C Yüksek sıcaklık deneyine tabi tutulan KYHB serilerinin USG hızına etkisi .....	73
4.26. 400 °C Yüksek sıcaklık deneyine tabi tutulan KYHB serilerinin USG hızına etkisi .....	73
4.27. 600 °C Yüksek sıcaklık deneyine tabi tutulan KYHB serilerinin USG hızına etkisi .....	74
4.28. 800 °C Yüksek sıcaklık deneyine tabi tutulan KYHB serilerinin USG hızına etkisi .....	74
4.29. 1000 °C Yüksek sıcaklık deneyine tabi tutulan KYHB serilerinin USG hızına etkisi .....	75

4.30. Yüksek sıcaklık deneyi sonrası beton serilerinin basınç dayanımı değişimi	77
4.31. Yüksek sıcaklık deneyi sonrası beton serilerinin basınç dayanım kayıpları	77
4.32. Donma-çözünme deneyi sonrası E1, E2 ve E3 nolu numunelerin fiziki görünüşleri	79
4.33. Donma-çözünme deneyi sonrası E4, E5 ve E6 nolu numunelerin fiziki görünüşleri	79
4.34. Donma-çözünme deneyi sonrası E7, E8 ve E9 nolu numunelerin fiziki görünüşleri	80
4.35. Donma-çözünme deneyi sonrası KYHB serilerin birim ağırlık kaybı	81
4.36. Donma-çözünme deneyinde KYHB serilerinde elde edilen USG hızları	82
4.37. Donma-çözünme deneyi sonrası KYHB serilerinin USG hızı artış oranı	82
4.38. Donma-çözünme deneyi sonrası KYHB serilerinin basınç dayanım değişimi	83
4.39. Donma-çözünme deneyi sonrası KYHB serilerinin küp basınç dayanım kaybı değişimi	83
4.40. Asit deneyi sonrası E1, E2 ve E3 nolu numunelerin fiziksel değişimi	84
4.41. Asit deneyi sonrası E4, E5 ve E6 nolu numunelerin fiziksel değişimi	85
4.42. Asit deneyi sonrası E7, E8 ve E9 nolu numunelerin fiziksel değişimi	85
4.43. Asit dayanıklılık deneyi öncesi ve sonrası KYHB serilerinin USG hızı değişimi	86
4.44. Asit dayanıklılık deneyi sonrası KYHB serilerinin basınç dayanımı değişimi	87
4.45. Asit dayanıklılık deneyi sonrası KYHB serilerinin basınç dayanımı kaybı	87
4.46. KYHB numunelerin tuzlu su deney sonrası kristal tuz oluşumu ve yüzeyde çatlakların şekli	89
4.47. Tuzlu su sonrası numunelerde çatlak olan kısımlarda oluşan tuzların görünümü	89
4.48. Tuzlu su sonrası numunelerde oluşan çatlak genişliğin ölçümü	89
4.49. KYHB numunelerin Van Gölü suyu sonrası yüzeyde çatlakların şekli	90
4.50. Van gölü suyu sonrası numunelerde oluşan çatlak genişliğin ölçümü	90
4.51. KYHB serilerinin tuzlu su ıslanma-kuruma deneyi öncesi ve sonrası, kontrol betonu ile birlikte USG hızı değişimi	92
4.52. Van Gölü suyu ıslanma-kuruma deneyi öncesi ve sonrası kontrol betonuna göre KYHB serilerinin USG hızı değişimi	92

4.53. Islanma-kuruma deneyi sonrası KYHB serilerinin USG hızı değişim oranı değişimi .....	93
4.54. Tuzlu suda ıslanma-kuruma deneyi sonrası beton serilerinin basınç dayanımı değişimi .....	94
4.55. Tuzlu suda ıslanma-kuruma deneyi sonrası beton serilerinin basınç dayanımı kaybı .....	94
4.56. Van gölü suyu ile ıslanma-kuruma deneyi sonrası beton serilerinin basınç dayanımı değişimi .....	95
4.57. Van gölü suyu ile ıslanma-kuruma deneyi sonrası beton serilerinin basınç dayanımı kaybı .....	95



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. KYB' nin kabul edilebilir limit değerleri .....	12
1.2. KYB' yi değerlendirmek için test özellikleri ve metotları .....	12
1.3. KYB'nun Slump-flow kriterleri .....	13
1.4. KYB'nun V-funel kriterleri.....	13
1.5. KYB'nun L-kutusu kriterleri ( $PA = H_2/H_1$ ) .....	13
3.1. Çimentoya ait kimyasal ve fiziksel değerler ile TS EN197-1 sınır değerleri .....	35
3.2. Tez çalışmasında kullanılan barit tozu, pomza tozu ve uçucu külün kimyasal analizleri .....	37
3.3. Pomza agregalarına ait fiziksel özellikler .....	37
3.4. Kimyasal katkıya ilişkin teknik bilgiler .....	39
3.5. Kendiliğinden yerleşen hafif betonlara ait hacimce karışım oranları .....	41
4.1. KYHB serilerinin taze beton özellikleri.....	56
4.2. 28, 90 ve 150 gün sonunda uygulanan kuru birim ağırlıklarının ortalamaları .....	67
4.3. D-Ç, AD, TS, ve VS deneyi ile porozite değişimi .....	97

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

MPa	Megapascal
°C	Sıcaklık
sn	Saniye
G.O	Geçme oranı
KB	Kuru birim ağırlık
WK	Numune kuru ağırlık
WS	Numune su altı ağırlık
Wdyk	Numune doymun kuru yüzey ağırlık
V	Numune hacmi
S	Mesafe
Pr	Rölatif porozite
KYB	Kendiliğinden Yerleşen Beton
HB	Hafif Beton
KYHB	Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton
P	Pomza Agregası
Ç	Portland Çimento
N	Nehir Kumu
BT	Barit Tozu
UK	Uçucu Kül
PT	Pomza Tozu
D-Ç	Donma-çözünme
AD	Asit Dayanıklık
TS	Tuzlu su
VS	Van Gölü suyu
USG	Ultasonik Ses Geçirgenliği
EFNARC	European Federation of National Trade Associations
BHA	Birim Hacim Ağırlık
T <sub>500</sub>	500 mm çapa uluşma süresi

# 1.GİRİŞ

## 1.1. Genel Değerlendirme

1824 yılında Joseph Aspdin'in Portland çimentosunu bulmasıyla birlikte başlayan ve 1800'lü yılların sonlarına doğru betonarme, 1930'lu yıllarda da öngerilmeli beton yapı sistemlerinin geliştirilmesiyle hızlanan süreçte beton vazgeçilmez bir yapı malzemesi olmuştur [1]. Beton, imalat üstünlükleri, ucuz maliyeti, dayanıklılığı nedeni ile günümüzde en çok kullanılan yapı malzemesidir. Bu sebeple bu yapı malzemesinin sürekli araştırılması ve geliştirilmesi gerekmektedir. Bunun için son yıllarda betonun üretim yöntemlerinde ve kullanılan malzemelerde önemli gelişmeler elde edilmiştir. Teknolojinin ilerlemesiyle ve üretim yöntemlerinin gelişmesi ile birlikte yapı malzemelerinin dayanımı, yüksek performansları, kolayca üretilebilmesi, çevreye zarar vermemesi ve ekonomi sağlaması beklenmektedir. Bu görüşten sürdürülebilirlik, kullanılabilirlik ve çok işlevsellik yapı malzemelerinin araştırma konularının en üstünde yer almaktadır [2-4]. Bilim ve teknolojinin ilerlemesiyle birlikte çevre dostu, kaliteliyi ve daha iyiyi bulma çabası inşaat biliminde de hız kazanmıştır [5]. İnşaat endüstrisinde kullanım alanına en fazla olan karma malzemelerden biri betondur [5-6]. Eski medeniyetlerin kurulmasında ve muasır toplumların temelini oluşturan önemli bir yere sahip yapı malzemesi olup teknolojisi sürekli gelişmekte olan bir endüstri alanıdır [7-8]. 21. Yüz yıla girdiğimiz bu günlerde çok fazla değişmeye uğramıştır. Dayanımı 800 MPa seviyelerine ulaşırken diğer taraftan dayanıklılığı da hayli artmış ve çevreye dost olması da temin edilmiştir [9]. Dünyada kullanım alanına baktığımız zaman en çok tüketim yüzdesinden konuşmak gerekirse sudan sonra en çok kullanılan malzeme durumundadır. Bu malzemenin böylesi fazla kullanılmasında en büyük faktör emsallerine göre daha ekonomik avantajı olmasıdır. Örneğin; çelik, betondan 20 kat daha fazla enerji ile üretilebilmektedir [10]. Bu ekonomiklik avantajları nedeniyle günümüz şartlarında en çok tercih edilen yapı malzemesidir. Ekonomik, emniyetli, dayanıklı olan ve fazla revizyon istemeyen en önemli yapı malzemelerinden bir tanesidir beton. Ayrıca alt yapı inşaat çalışmalarında vazgeçilmez bir unsurdur. Tüneller, köprüler Barajlar, demir yolları, yollar, bariyerler, viyadükler vb. beton tarafından yapılabilmektedir [7,11]. Beton yeni karıştırıldığında taze beton adını alırken, katılaşıp dayanım kazanınca sertleşmiş beton adını alır. Taze betonda işlenebilirlik, sertleşmiş betonda ise dayanım ve dayanıklılık özellikleri betonda aranan en önemli özelliklerdir. Öte yandan büyük miktarlarda kullanıldığı için betonun en ekonomik şekilde üretilmesi beton teknolojisi için çok önemlidir. Kaliteli bir beton, kaliteli

malzemeler ve deneyimli elemanlarla belirli kurallara ve standartlara uyularak yapılabilir [12-13].

Beton teknolojisindeki gelişmeler özellikle kimyasal katkı teknolojisinde meydana gelen yeni buluşlardan kaynaklanmaktadır. Kimyasal katkı, betonun ana bileşenleri olan çimento ve agregadan çok daha farklı bir işlevi yerine getirmektedir. Günümüzde kimyasal katkı kullanmaksızın beton üretimi neredeyse yapılmamaktadır. Kimyasal katkıları betonda hem teknik hem de ekonomik avantajlar sağlamaları nedeniyle artık vazgeçilmez hale gelmiştir [9]. Kimya alanındaki teknolojik gelişmeler, 1980'li yılların yarısına gelindiği zaman çok etkili akışkanlaştırıcıların buluşuna sebep olmuştur. Yüksek derecede su kesme kabiliyetine sahip bu akışkanlaştırıcılar aynı zamanda yeni oluşmuş taze betonun işlenebilirliğini de arttırmaktadır. Yeni nesil akışkanlaştırıcıların sağladığı bu etki bilim adamlarını taze betonun yerleştirilmesi sırasında gereken sıkıştırma enerjisini ortadan kaldırmak için araştırma yapmaya yöneltmiştir. Bu sebeple kendiliğinden yerleşen beton (KYB) tanımı ortaya çıkmıştır [2].

KYB iyi işlenebilir bir betonun taze haldeki temel özelliklerinden olanı kolay yerleşebilmeyi vibratör uygulamadan gerçekleştirmekte, aynı zamanda ikinci özellik olan ayrışma direncini de yüksek oranda sağlamaktadırlar. Seksenli yılların sonlarında Japonya'da geliştirilen KYB'lar [14-15] doksanlı yıllarda Dünya'ya yayılmaya başlamış, Türkiye'de kullanımı ise 2000'li yıllara rastlamaktadır hatta bu konuda ülkemiz Türk Standartları Enstitüsü KYB hakkında standartlar yayınlamıştır [15]. Japonya'da 80'li yılların başında betonarme yapılarda kalıcılık ilgili problemleri incelenmiş ve bu problemlerin en mühim sorunlardan birinin, yaş betonu yeterli sıkıştırmanın pratik olmadığı belirlenmiş bu gibi sınırlanmış dar yerlerde betonun yerleştirilmesi ve sık donatılı elemanların dökümü için kabul görmüştür. Özellikle taze betonun sıkıştırılması için gerekli kalifiye işçi yetersizliği, yerleştirilen betonun niteliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Diğer taraftan işçi ne kadar eğitilmiş olursa olsun, yaş betona homojen sıkıştırma enerjisi verilebilmesi, özellikle işlenebilirliğin düşük olması halinde uygulamada mümkün değildir. Bu sorunu çözmek için betonun kendi ağırlığını kullanarak sıkıştırma enerjisine ihtiyaç olmadan sıkışarak yerleşebilecek özel bir beton portföy yapımı tasarlanmıştır [2,5,16]. KYB, kendi ağırlığı altında kalıbına yayılabilen sık donatılı derin ve dar kesitlere yerleşebilen, dış veya iç vibrasyon gerektirmeksizin kendiliğinden sıkışabilen, bu özelliklerini sağlarken terleme ve ayrışma gibi sorunları oluşturmayarak stabilitesini (kohezyonunu) koruyabilen, dayanım ve dayanıklılığı yüksek, çok akıcı kıvamı özel bir beton türüdür [16-17].

Beton yapımında kullanılan malzemelerin en başından gelen yapı malzemelerden bir tanesinde agregalar gelmektedir. Özellikle hafif beton yapımında kullanılan volkanik bir malzeme

olan pomzaların agrega olarak kullanılabilirliğinin araştırılması üzerine çalışmalar giderek artmıştır. Pomza türk standardına göre tanımı: birbirine bağlantısız boşluklu, sünger görünümlü, silikat esaslı, sertliği Mohs skalasına göre yaklaşık 6 olan, birim hacim ağırlığı genellikle 1 gr/cm<sup>3</sup>'ten küçük ve camsı doku gösteren volkanik bir madde olarak tanımlanmaktadır [18-19]. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre, dünyada pomza rezervlerin yaklaşık 18 milyar m<sup>3</sup> olduğu ve bu rezervlerinin yaklaşık % 40 civarında ülkemizde bulunmakta olup, Türkiyedeki illere göre rezerv durumuna bakıldığı zaman (Şekil 1.6) Van ve Bitlis illerimiz ise rezerv büyüklüğü olarak en önde gelen illerimiz arasındadır [20]. Günümüzde sünger taşı (pomza), yapıların ölü yüklerini ve yanal deprem kuvvetlerini azaltmak açısından önemli bir avantaj sağlayan ve yüksek izolasyon özelliğine sahip hafif beton üretiminde düşük yoğunluk özelliğinden dolayı agrega olarak kullanılmaktadır. Pomza gözenekli yapısından dolayı betonun su emme oranının artmasına sebep olmakta buda pomzanın dezavantajlarından. [18].

Sertleşmiş haldeki betondan istenen veya istenebilecek olan parametrelerden biri betonun hafif olmasıdır. Birim ağırlığı TS EN 206-1 standardında 800–2000 kg/m<sup>3</sup> arasında olan betonlara hafif beton (HB) denilmektedir [6]. Depreme karşı alınacak önlemlerin biri de bu hafiflik avantajından dolayı binaların zati yüklerinin azaltılmasıdır. Bunun sağlamasının da en uygun ve etkili yolu yapı üretiminde HB kullanılmasıdır. Bu sebeple HB son 50 yıldır taşıyıcı elemanlarda kullanılan ve oldukça yaygınlaşmış bir beton türüdür. Ayrıca HB kullandığında zaman binalarda yalıtım malzemesi kullanılması gerekmez ve bu nedenle ekonomi açısından ve enerji kullanılmasında önemli bir tasarruf sağlanabilir. Yapıların inşaatında hafif agregalı betonun kullanılmasından dolayı, yapının birim hacim ağırlığında %20–25 oranında bir azalma ortaya çıkabilir. Bu nedenle binalarda taşıyıcı elemanların, taşıdıkları yükler azalır, binalarda elemanların boyutları azalır ve depreme karşı davranışları da daha iyileşebilmektedir [6,21,22]. HB elde etmek için hafif agrega kullanmak, köpük katkıları veya gaz üreten katkıları kullanmak ve ince agregasız karışım hazırlama olarak üç farklı yöntem bulunmaktadır. Hafif betonun, işlenebilme problemi ve basınç dayanımının düşüklüğü en büyük dezavantajlarıdır. Kendiliğinden yerleşen beton ise çok iyi işlenebilme özelliklerine sahip ve genelde hedef dayanımdan daha yüksek mukavemet özellikleri gösteren bir beton türüdür [6].

Verilen bu bilgilerin ışığında bu tez çalışmasının amacı, hafif beton ile kendiliğinden yerleşen betonun her ikisinin de teknik özelliklerini içeren yeni bir kompozit beton elde edip, gerek endüstriyel gerekse atık olarak bulunan minerolojik katkılarla da daha nitelikli hale getirilmiş, çevre dostu ve sürdürülebilir yeni bir kompozit malzeme üretmek ve özelliklerini incelemektir. Bu belirtilen genel amacın dışında özel amaç olarak; bu çalışmada Bitlis yöresi pomza taşı daha önce hiç bir tez çalışmasında kullanılmamış olup Bitlis yöresi Türkiye'nin en

önemli pomza rezervlerine sahip olmasına rağmen Bitlis yöresi ve havalisinde yalnızca briket olarak kullanılmakta ve çoğu zaman bu malzeme bu kullanım yöntemiyle israf edilmektedir. Bu çalışmada, Bitlis pomza taşı kullanılarak kendiliğinden yerleşen hafif beton üretim dayanım ve dayanıklılık özellikleri yüksek aynı zamanda ekonomik olarak avantajlı üretilebilecek bir beton türünün ortaya konulmasıdır. Bu çalışmanın hayata geçilmesiyle Bitlis yöresi pomzası taşı kullanılarak katama değeri daha yüksek yeni bir yapı malzemesi kazandırılmış olacak ve yöremizin deprem kuşağında olması nedeniyle daha hafif, yalıtım özellikli aynı zamanda diğer mühendislik özellikleri geliştirilmiş yeni bir beton sunulmuş olacaktır. Bu yolla yörede hizmet veren beton santrallerine de ürün portföyü olarak katkıda bulunulacaktır. Aynı zamanda yoğun deprem tehlikesine sahip Bitlis ve havalisinde böyle bir betonun kullanılması bu çalışmayla yaygınlaşacaktır. Bu tezin hayata geçilmesiyle Bitlis yöresi pomzası kullanılarak beton teknolojisine yeni bir ürün daha kazandırılmış olacaktır.

## **1.2. Kendiliğinden Yerleşen Beton**

### **1.2.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tanımı**

Taze betonun sıkıştırma işlemi ile özellikle işlenebilirliğin düşük olduğu betonlarda ve sık donatılı kalıplara homojen bir şekilde yerleştirilmesi oldukça güçtür. Betonun sıkıştırma enerjisine gerek olmadan kendi ağırlığı ile özellikle sık donatılı kalıplara beton döküm uygulamalarında betonun kendisi yerleşerek sıkışması istenmiştir. Yeni nesil kimyasal katkıların sağladığı yararlar bilim adamlarını bu konuda araştırma yapmaya yöneltmiş, özel bir tip beton üretilmesi ihtiyacı hissedilmiştir. Taze betonun dökümünde iç ve dış vibrasyon ile sıkıştırma işlemini ortadan kaldırmak için kendiliğinden yerleşen beton (KYB) kavramı ortaya çıkmıştır [1,23]. Taze betonun kendiliğinden yerleşme özelliği, betonun sadece yer çekimi etkisiyle, homojenliğini kaybetmeden kalıbı doldurabilme ve donatıları sarabilme kabiliyeti olarak tanımlanır. Bu kabiliyete kendiliğinden yerleşen betonun doğal reolojik özelliklerini kazanacak şekilde karışım tasarımı yapılmasıyla ulaşılır. Eğer betona yerleştirme esnasında vibrasyon, şişleme veya buna benzer bir etkiden kaynaklanan herhangi bir dış enerji uygulanması gerekmiyorsa bu beton, “kendiliğinden yerleşen” olarak tanımlanabilir [24,25]. KYB’lar bu özelliklerini yeni nesil kimyasal yüksek akıcı katkıları sayesinde, işlenebilirliğini kaybetmeden ve ayrışmaya uğramadan sağlamaktadırlar. İşlenebilirlik kaybı ve segregasyon KYB için taze haldeki önemli problemlerden ikisi olup bu durum KYB’nun kararlılığını bozması olarak tanımlanabilir. Bu problemlerin ortadan kaldırılması için, çeşitli akıcılık sağlayıcı kimyasallarla

beraber, kullanılan bu kimyasallar ile birlikte çalışabilecek viskozite düzenleyici maddeler ve/veya ince malzemeler kullanılmaktadır. Tasarımla bu şekilde yapılan KYB'ler düşük su/çimento oranına ve üstün kalıcılığa sahip betonlar olduğu için, dayanımları yüksek betonlar sınıfına girerler [26].

KYB'ler özellikle onarım güçlendirme işleri, hazır-beton sektörü ve prefabrik inşaat sektörü başta olmak üzere yapıların beton ile ilgili tüm dallarında giderek daha fazla uygulama alanı bulmaktadır. Vibratör gerektirmeden yerleşmesi, yüksek dayanım özelliği, yüksek segregasyon direncine sahip oluşu gibi nedenlerle dayanım ve performansı yüksek beton üretimine olanak vermektedir [27].

KYB literatürde farklı isimlerde kullanılmaktadır. Bunlar, Kendiliğinden Yerleşen Beton (Self-Consolidating Concrete), Kendiliğinden Sıkışan Beton (Self-Compacting Concrete) ve Kendiliğinden Seviyelenen Beton (Self-Leveling Concrete)'dur. Bunlardan en çok kullanılanı ise kendiliğinden yerleşen beton adıdır [28]. ACI'nın kendiliğinden yerleşen beton tanımı şöyledir; Kendiliğinden yerleşen beton, yüksek akışkanlığa sahip, ayrışma göstermeden yayılarak kalıbı doldurabilen ve mekanik vibrasyona ihtiyaç duymadan donatıyı sarabilen betondur [29]. Kuzey Amerika'da, kendiliğinden sıkışma (self-compacting) yerine (self-consolidating) tabiri kullanılmaktadır. Kendiliğinden seviyelenme (self-levelling) özelliğinin, zorunlu olmamakla birlikte, kendiliğinden sıkışma özelliğine eş değer olduğu belirtilmektedir [30]. 2002 yılında çıkarılan EFNARC (2002) Standardı da kendiliğinden yerleşen betonu homojenliğini kaybetmeden ve vibrasyon ihtiyacı duymadan, sık donatılı durumlarda dahi kendi ağırlığı ile akabilen ve kalıbı tamamen doldurabilen beton olarak adlandırılmıştır [1].

### **1.2.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tarihsel Gelişimi**

1988 yılında ilk kez Japonya'da kalıcı betonarme yapılar yapmak amacıyla KYB geliştirildi. 1989 yılında Ozawa tarafından Doğu Asya ve Pasifik Yapı Mühendisliği Konferansında KYB üzerine yazılan ilk bildiri sunulmuştur. Aynı bildirinin İstanbul'daki CANMET & ACI Uluslararası Konferansında 1992'de sunulması üzerine, KYB kavramı dünyaya hızla yayılmaya başlamıştır. 1994 yılında Bangkok'taki ACI çalıştayından sonra KYB, dünyadaki mühendislerin ve araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir. KYB 1996 yılında New Orleans'da ACI Sonbahar Kongresinde, Kanada ve Amerika da iyice yaygın hale gelmiştir. Sonuç olarak bu tarihte birlikte KYB üzerine dünya ölçeğinde araştırmalar başlamış ve bugüne değin farklı yönleri araştırmalara konu edilmiştir [31]. Diğer bir görüşe göre ise KYB Japonya'da su altı beton dökümü uygulamalarında vibrasyonsuz tekniğin kullanılmasının verdiği tecrübelerle üretilmeye

başlanmıştır. 1986 yılında Tokyo Üniversitesinde Okamura'nın başlattığı çalışmaları Ozawa, Maekawa ve Ouchi devam ettirmişlerdir. Collepardi [32]'ye göre ise, ilk KYB uygulaması 1980'lerin başında İtalya'nın S. Marco Rıhtım inşaatında su altı temel betonu dökümünde 40.000 m<sup>3</sup> Reoplastik Beton kullanılarak yapılmıştır. Bu betonun çok yüksek viskoziteye (kohezif), vibrasyona gerek duyulmadan su altında kalıba yerleşebilen ve bu kohezyonuyla deniz suyunun yıkayıcı etkisine direnç gösterebilen özelliklere sahip olduğu belirtilmektedir. Sonuç itibari ile kimyasal katkı teknolojisinin gelişmesi, su altı betonu ve Reoplastik Beton uygulamalarından tecrübe ve bilgi birikiminin oluşması KYB'nin ortaya çıkmasını sağlamıştır [6,33].

Bugün KYB kullanılarak elde edilen üstünlüklerin ötesinde, bu kullanımı geleneksel hale getirerek genele yayma fikri ulaşılmak istenen bir hedef olarak görünmektedir. KYB ile ilgili dünyada yapılmış araştırmalar KYB'nin tüm sertleşmiş ve taze haldeki özelliklerini incelemek amacıyla yapılmıştır. Pratikteki sorunları görmek için pilot uygulamalı araştırma projeleri geliştirilmiştir. Günümüz itibariyle önemli büyük gelişme ve deneyimler elde edilmiş, ancak bazı noktalarda halen yanıtlanması gereken sorular, çözülmesi gereken problemler bulunmaktadır [34].

### **1.2.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kullanım Alanları**

KYB günümüzde kullanımı yaygınlaşmış olup gelenekselleşse de özel beton sınıfına girmektedir. Genellikle sık donatılı dar kesit özelliklerinin bir arada olduğu perde tipi elemanlarda, büyük boyutlu inşaatlarda, bakım, tamir ve yenileme işlerinde, tünel gibi özel kalıp gerektiren işlerde kullanılan KYB henüz normal beton kadar da geniş kullanım alanına sahip değildir. Her alanda kullanılmamasının en önemli nedeni maliyetinin yanı sıra, uygulama ve tasarım alanlarında yeni teknikler gerektirmesidir. KYB üretiminde yeni yöntemlerin geliştirilmesi çalışmaları, çeşitli kuruluşlar tarafından devam ettirilmektedir [22].

KYB özellikle hazır-beton sektörü, prefabrik inşaat sektörü ve onarım güçlendirme işleri başta olmak üzere inşaatın değişik alanlarında giderek daha fazla uygulama alanı bulmaktadır. Yüksek segregasyon direncine sahip oluşu, vibratör gerektirmeden yerleşmesi, yüksek dayanıklılık özelliği gibi nedenlerle yüksek performanslı beton üretimine olanak vermektedir. Son zamanlarda ülkemizde yeni tanınmaya ve kullanılmaya başlanan KYB'nin bileşimi, etkin bir süper/hiper akışkanlaştırıcı yanında vizkozite düzenleyici katkı kullanımı, toplam ince malzeme miktarı, maksimum agrega boyutu, su/bağlayıcı oranı, kum/toplam agrega oranı ve toplam iri agrega miktarı gibi parametreler açısından geleneksel betondan farklılıklar göstermektedir [27].

ABD’de KYB’nin kullanımı otoyol köprü inşaatlarında ve oldukça sınırlıdır. Bununla beraber, Amerika prefabrik endüstrisi KYB teknolojisini mimari beton uygulamalarında kullanmaya başlamıştır. KYB, otoyol köprü inşaatlarında daha geniş uygulama için yüksek bir potansiyele sahiptir. 2000 yılında Japonya’da prefabrik elemanlarda ve hazır beton olarak kullanılan KYB miktarı yaklaşık, 400.000 m<sup>3</sup> olmuştur [35].

KYB ile betonarme yapılarda geleneksel betona kıyasla mimari ve estetik açıdan çok daha kaliteli dış görünüş elde edilebilmektedir. Aynı zamanda KYB sayesinde oluşturulan boşluksuz yüzey, betonarme elemanlar için geçirimsiz ve dolayısıyla durabil bir yapı anlamına gelir. Polimer teknolojisinin sürekli gelişimiyle gelecek yıllarda çok daha düşük su/toz oranına sahip, dayanım ve dayanıklılık bakımından yüksek performanslı KYB’ler üretilmesi beklenmektedir [36].

#### **1.2.4. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mühendislik Özellikleri**

Bütün özel betonları geleneksel betonun bir türeği olarak düşünmek gerekir. Bu nedenle özel bir beton türünün özellikleri belirlenirken, geleneksel beton referans kabul edilmektedir. KYB için de aynı durum söz konusudur. Örneğin, sertleşmiş betonun özelliklerinin tespiti ve durabilite özellikleri için geleneksel beton ve KYB aynı standartlara tabidir [37].

KYB tasarlanırken, betondan beklenen özellikler belirlenmelidir. Baskın olması istenen özellikler doğrultusunda mühendis, karışım oranları, döküm ve bakım şartları gibi özellikleri belirleyecektir. KYB konusunda yapılan sempozyumlarda sunulan bildirilerde, projelerde ve makalelerde, bu betonun sadece yüksek dayanımlı beton olarak düşünülmesi yanlış olacağı kanaatine varılmıştır. KYB karışım oranları belirlenirken istenen özellikleri (taze veya sertleşmiş halde) doğrultusunda yüksek performans gösteren betondur [38-40].

##### **1.2.4.1. Basınç Dayanımı**

Betonun taşıyabileceği en yüksek gerilmeye beton basınç dayanımı olarak tanımlanabilir. Dayanım, betonun birçok özelliğinin göstergesi olabilmesi nedeniyle ve özellikle basınç dayanımı deneyinin pratik olması bakımından dayanım beton sektöründe gerek kalite kontrolü gerekse kullanılacak betonun tanımlanması için en çok kullanılan özelliktir [41].

Kendiliğinden yerleşen betonlarda düşük su/bağlayıcı oranı dikkate alındığında elde edilen basınç mukavemeti normal betonun basınç mukavemetine göre genellikle daha yüksek çıkmaktadır [42]. Basınç dayanımı, geleneksel betonda olduğu gibi KYB’de de tanımlayıcı en

önemli özelliktir. Tespiti geleneksel betonda olduğu gibidir. Dayanımı yüksek olan betonların, performanslarının da yüksek olacağı bilinmektedir. Ancak belirli bir beton özelliğini iyileştirmek için sürekli beton dayanımını çok yüksek tutmaya çalışmak ekonomik kayıplara yol açacaktır. Bu nedenle inşa edilecek yapı için yeterli dayanım sınıfı ve istenen diğer özellikler belirlenmeli, bu beklentileri karşılayacak şekilde beton karışım oranları düzenlenmeli ve uygulanmalıdır [38]. KYB’de kullanılan toz madde tipi de dayanım sınıfının değişmesine sebep olmaktadır. Aynı çimento dozajında farklı tipte toz maddelerin kullanılması, toz maddelerin puzolanik özellik gösterip göstermediğine göre dayanım sınıfı değişikliğine sebep olabilir. Bu değişkenlik diğer mekanik özellikleri de etkilemektedir. KYB için geleneksel beton gibi dayanım sınıfı su/çimento ilişkisi kurulması ancak sabit bir toz malzeme kullanılması halinde mümkündür. KYB üretiminde kullanılan toz tip ve miktarları çok değişken olduğundan dayanım sınıfı - su/çimento ilişkisinin genellenmesi pratik değildir [41].

#### **1.2.4.2. Çekme Dayanımı**

KYB büyük çoğunlukla basınç dayanımı kullanılarak sınıflandırılır. Bu durumda da geleneksel betonda olduğu gibi çekme dayanımının önemi yoktur ve ihmal edilir. Zaten KYB’nin çekme dayanımı, geleneksel betonda olduğu gibi oldukça küçüktür. Betonarme elemanlardaki çatlak genişliklerini kontrol altında tutmak, erken yaştaki termal etkilerden betonu korumak ve başka diğer sebeplerle betonun çekme dayanımının artırılması gerektiği durumlarda, bu özellik KYB’de lif kullanılarak betona kazandırılır [38,40].

#### **1.2.4.3. Elastisite Modülü**

Yapı elemanlarının sehimlerinin hesaplanmasında, levha elemanlarda kontrol parametresi olarak ve öngerilmeli elemanlarda elastisite modülünün bilinmesi gerekir. Agrega elastisite modülü, tipi ve miktarı, betonun elastisite modülü üzerinde direkt etkilidir. Artan toz miktarı nedeniyle, KYB’nin elastisite modülünde geleneksel betona oranla değişiklikler olacaktır. Bu durum tasarım ve uygulamalarda göz önünde bulundurulmalıdır [38].

#### **1.2.5. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Bileşenleri**

KYB için kullanılan malzemeler geleneksel vibrasyonlu beton için kullanılan malzemelerle aynıdır. Ancak KYB’ nin tutarlı ve üniform bir performansa sahip olması için ilk seçimde ve

ayrıca gelen harmanların üniformluğunun sürekli gözlemlenmesinde ilave dikkat gereklidir. Bu şartları sağlamak için bileşen malzemelerin kontrolü arttırılmalı ve kabul edilebilir değişiklikler sınırlandırılmalıdır. Böylece KYB' nin günlük üretimi her bir harmanı ayarlama ve/veya test etme ihtiyacı olmadan uygunluk kriterleri içinde kalır [43].

### **1.2.5.1. Çimento**

Çimento tipi açısından dayanım ve dayanıklılık kriterleri dikkate alınarak seçim yapılmalıdır [44]. Geleneksel betonda kullanılan çimentolar KYB'de de kullanılmaktadır. KYB'de kullanılacak çimento TS EN197-1'deki standartlara uygun olmalıdır [26]. KYB ile ilgili literatürde PÇ-42.5 çimento kullanımı öngörülmektedir. Çimento dozajının 350-450 kg/m<sup>3</sup> arasında olması tavsiye edilir. Çimento dozajının 500 kg/m<sup>3</sup>'ten fazla olması rötreyi ve dolayısıyla beton çatlaklarını arttıracığı belirtilmektedir. Çimento dozajının 350 kg/m<sup>3</sup>'ten az olması ise aktivitesi yüksek bir uçucu kül veya bir miktar gizli bağlayıcılık özelliği olduğu bilinen yüksek fırın cürufunun çok ince öğütülmüş hali ve bunlara ilaveten sağlanabiliyorsa yeterli miktarda silis dumanı ilavesi ile mümkündür [45].

### **1.2.5.2. Mineral Katkılar**

Günümüzde kendiliğinden yerleşen beton karışımlarında çimentonun yanı sıra granüle yüksek fırın cürufu ve uçucu kül gibi ince taneli mineral katkıları kullanılmaktadır. Bu ince malzemeler taze haldeki normal betonun işlenebilirliğini arttırmakta ve karışımdaki çimento miktarını azaltarak hidrasyon ısısını düşürmektedir. Silis dumanı gibi çok ince mineral katkıları da KYB karışımlarında kullanılmaktadır. Bu türdeki malzemeler işlenebilirliği azaltmakta, istenen işlenebilirlik akışkanlaştırıcı miktarı arttırılarak sağlanmaktadır [42].

Tane boyutu 0.125 mm'den küçük olan, öğütülmüş kireçtaşı, öğütülmüş granit tozu gibi inert toz malzeme ile, silis dumanı, uçucu kül, öğütülmüş yüksek fırın cürufu gibi toz halinde puzolanik malzemeyi içerir. Mineral katkı KYB'de geleneksel betondan daha fazla kullanılır. Beton harcının hacimce %40'ı kum, %60'ı ise mineral katkı+çimento+su' dan oluşan çimento hamurudur [45].

### **1.2.5.3. Toz Malzeme**

Mineral katkı ve çimento miktarı toplamına ‘Toz Malzeme’ denilmektedir. Betonda toz malzeme miktarı genelde 400-600 kg/m<sup>3</sup> arasında kalmaktadır [45].

### **1.2.5.4. Karışım Suyu**

Geleneksel betonda kullanılabilen su KYB’da da karışım suyu olarak kullanılabilir.

### **1.2.5.5. Süper-akışkanlaştırıcı Katkı**

Japonya’da sualtı uygulamaları için geliştirilmek üzere KYB katkıları üretmişlerdir. Özellikle yeni nesil katkılar; betonun, yüksek ayrışma direnci, yüksek akıcılık ve yüksek doldurma kapasitesi gibi özelliklerini artırır. Molekül ağırlığı yüksek olan ve yüksek oranda su kesici özeliğe sahip bir kimyasal katkı kullanılabilir. Bu amaçla naftalin esaslı polimerler ve polikarboksilat yaygın kullanılan katkılardır. Süper-akışkanlaştırıcı kimyasal katkı, asıl bileşeni KYB'nin çalışma süresinin ayarlanmasındadır. KYB’de kullanılacak kimyasal katkı, TS EN 934-2 [46]’ye uygun biçimde olmalıdır. Bu nedenle, katkı olarak, betona en az bir saat çalışma süresi özeliği katabilen ve aynı zamanda, erken dayanım kaybı oluşturmayacak (geciktirici özellikli olmayan) bir kimyasal katkı seçilmelidir. İnce malzeme (toz) miktarı dikkate alınarak KYB tasarımında kullanılacak katkının miktarı belirlenir. Kullanılan ince malzemenin miktarı ve mineralojisindeki değişimler, kuma, ayrışma ve dayanımında düşüklük gibi olumsuzluklara neden olabilirler [26].

### **1.2.5.6. Viskozite Artırıcı Katkı**

Betonda oluşacak segregasyonu yok etmek için kullanılan bir kimyasal katkıdır. Fakat iyi bir tasarımla viskozite ayarlayıcıya ihtiyaç duyulmadan da KYB üretilebilir [46].

### **1.2.5.7. Agregalar**

Normal betonda kullanılan iri ve ince agregalar KYB içinde kullanılabilir. Fakat, KYB’de kullanacak en büyük agrega boyutu geleneksel betondakinden daha küçüktür ve genellikle 2 cm’nin altındadır. Agrega tane boyutları uygulama yapılacak yere göre değişiklik

göstermektedir. Ayrıca normal betondan farklı olarak iri agrega miktarı azalmış, buna karşılık kum oranı artmıştır. KYB’de kullanılacak agregaların TS EN 12620 [47] standartlarına uygun olmalıdır [26].

Kendiliğinden yerleşen betonun özellikleri, agrega nem oranından etkileneceği için agreganın nem oranı mutlaka belirlenmeli ve tasarıma yansıtılmalıdır. Agrega yüzey neminden kaynaklanan su fazlalığının olumsuz etkisi geleneksel betonda emniyet paylarıyla engellenebilir. Örneğin, çimento dozajının artırımının tasarımda güvenlik sağlamak için yeterli olacağı ifade edilmektedir. Fakat kendiliğinden yerleşen betonda su fazlalığı karışımın reolojik özelliklerini kaybetmesine sebep olmaktadır. Kendiliğinden yerleşen beton bu açıdan bakıldığında, agrega nemi ile hassas bir bağlantısı vardır. Su emmesi yüksek olan; uçucu kül agregası, pomza kumu, vb. malzemeler kullanılması halinde tasarımda ek önlemler alınmalıdır. Bu durum hafif KYB üretiminde de en önemli sorundur. Agrega nemi laboratuvar ortamında tespit edilerek deneysel çalışmalarda kolaylıkla dikkate alınabilmektedir. Kendiliğinden yerleşen beton üreten santrallerde de bu işlem hassas bir şekilde yapılmalıdır [41].

#### **a) İri agrega**

Maksimum dane boyutu 20 mm olan, geleneksel betonda kullanılan kırmataş veya doğal agregalar kullanılabilir. Yüksek akışkanlığın sağlanabilmesi için betondaki iri agrega miktarının sınırlandırılması gerekir.

#### **b) İnce agrega**

0.125 mm < d < 4 mm aralığında geleneksel beton için kullanılan doğal veya kırma kum KYB içinde kullanılır.

### **1.2.6. Taze Betonda Kendiliğinden Yerleşebilirlik Deney Metotları**

KYB’nin kabul edilebilirliği için, KYB taze beton deneyleri yapılır ve bu deneylerde ölçülen değerler için kabul edilebilir sınır değerler vardır. Bu sınır değerler ve test özellikleri Çizelge 1.1 ve Çizelge 1.2’de verilmiştir. Bu kısımda taze beton deneylerinden en yaygın kullanılanları açıklanmıştır.

**Çizelge 1.1.** KYB' nin kabul edilebilir limit değerleri [38]

Deney metodu	Birim	Limit değer	
		min	max
Yayılma tablasında ilk 50 cm yayılma için geçen süre	sn	2	5
Yayılma tablasında yayılma	mm	650	800
V-hunisi	sn	6	12
V hunisi 5 dakika gecikmeli	sn	0	3
L-kutusu	H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub>	0,8	1
U-kutusu	(H <sub>2</sub> -H <sub>1</sub> ) mm	0	30

**Çizelge 1.2.** KYB' yi değerlendirmek için test özellikleri ve metotları [38]

Özellik	Test metodu	Ölçülen değer
Akıcılık/doldurma yeteneği	Çökme – yayılma deneyi	Toplam yayılma
	Kajima kutusu	Görsel doldurma
Viskozite/akıcılık	T500	Akma zamanı
	V- huni	Akma zamanı
	O- huni	Akma zamanı
	Orimet	Akma zamanı
Geçme yeteneği	L-kutusu	Geçme oranı
	U-kutusu	Yükseklik farkı
	J-halkası	Kademeli yükseklik,
	Fill Box	Geçme Kkabiliyeti
	Kajima kutusu	Görsel geçme yeteneği
Ayrışma direnci	Penetrasyon	Derinlik
	Elek ayrışması	Terleme yüzdesi
	Oturma kolonu	Ayrışma oranı

### 1.2.6.1. Slump yayılma deneyi

Bu deney çökme TS EN 12350-2 [48] deneyinin farklı bir şeklidir. Standart çökme deneyinde 200 mm'den daha çok çöken betonlarda, yayılma çapı ile kıyaslama yapmak karşılaştırma açısından daha hassas sonuçlar vermektedir [22]. Deney aparatı olarak çökme (slump) hunisi ve 900x900 mm boyutlarında bir tabla kullanılır. Çökme hunisi KYB ile doldurularak kendi ağırlığı ile seviyelemesi beklenir. Slump hunisi çekildiğinde dairesel olarak yayılan KYB'nun ortalama çapı ölçülür. Ayrıca bir kronometre ile 50 cm yayılma değeri için geçen zaman tutulur. EFNARC [38] (European Federation of National Trade Associations) tarafından hazırlanan slump-flow sınıfı Çizelge 1.3'te verilmiştir.

**Çizelge 1.3.** KYB'nun Slump-flow kriterleri [38]

Sınıf	Yayıma Çapı, mm
SF1	550-650
SF2	660-750
SF3	760-850

### 1.2.6.2. V-Hunisi Deneyi

V-hunisi deneyi KYB viskozite ve doldurma becerisini belirlemek üzere kullanılır. Deney, agrega en büyük tane büyüklüğü 22,4 mm'den daha fazla olan betonlar için uygun değildir [49]. Bu deney, taze KYB'un kendi ağırlığı ile özel tasarlanmış bir huninin dar olan ağzından boşalma süresinin ölçülmesini içerir. Aparat olarak özel bir huni kullanılır. Huniye KYB doldurulduktan sonra en altta bulunan sürgülü kapak açılır ve huni içindeki tüm betonun boşalma süresi tutulur. EFNARC tarafından hazırlanan viskozite (V-funel) sınıfı Çizelge 1.4'te verilmiştir.

**Çizelge 1.4.** KYB'nun V-funel kriterleri [38]

Sınıf	T <sub>500</sub> , sn	Boşalama süresi, sn
VS1/VF1	≤ 2	≤ 8
VS2/VF2	> 2	9 - 25

### 1.2.6.3. L-Kutusu deneyi

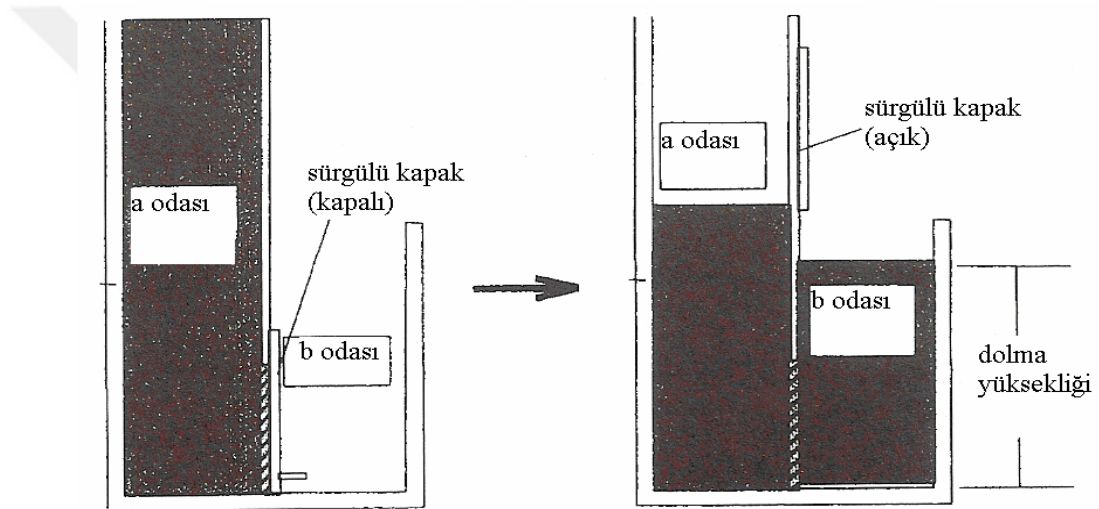
L-kutusu deneyi, kendiliğinden yerleşen betonun, donatı çubukları ve diğer engeller arasındaki dar açıklıklardan, ayrışmaya veya tıkanmaya uğramadan akarak geçme yeterliliğinin değerlendirilmesi için kullanılır. Deneyin iki çeşidi bulunmaktadır. Bunlardan ilki iki çubuklu deney ve diğeri ise üç çubuklu deneydir. Üç çubuklu deney daha sık donatı çubuklarının bulunduğu durumları simgeler. Hacmi bilinen belli bir miktar taze betonun dikey konumdaki düzgün donatı çubukları arasından yatay olarak akması sağlanır ve donatının ilerisine geçen betonun yüksekliği ölçülür. EFNARC tarafından hazırlanan geçme yeteneği (L-kutusu) sınıfı Çizelge 1.5'te verilmiştir.

**Çizelge 1.5.** KYB'nun L-kutusu kriterleri ( $PA = H_2/H_1$ ) [38]

Sınıf	Geçme yeteneği
PA1	≥ 0,80 (2 çubuklu ile)
PA2	≥ 0,80 (3 çubuklu ile)

#### 1.2.6.4. U-Kutusu Deneyi

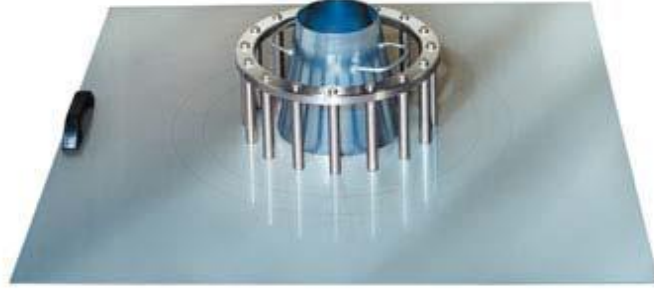
Taze KYB'nin kendiliğinden yerleşme yeteneğinin ve numunenin özel bir kutu içerisinde, kendi ağırlığı ile yükselmesini içerir. U borusu şeklinde, iki kutu yan-yanaya yerleştirilmiş ve aralarında alttan 19 cm'lik açıklık olacak şekilde Şekil 1.1 ayarlanmıştır. KYB herhangi bir vibrasyon ve sıkıştırma uygulanmadan doldurulduktan sonra, taze beton 60 saniye bekletilir. Sürgülü kapak çekilerek betonun akışını diğer bölüme doğru dolarak yükselmesi beklenir. Beton akışı durduktan sonra her iki bölmede bulunan beton yüksekliklerinin farkına bakılarak betonun geçme yeteneğini gösterir. Ölçülen yükseklik farkının en fazla 300 mm olması istenir. Deney toplam süresi 5 dakikadır. Donatı açıklıkları ve çapları projeye uygun seçilebilir [26,27].



Şekil 1.1. U-kutusunun tipik görünümü

#### 1.2.6.5. J-Halkası Deneyi

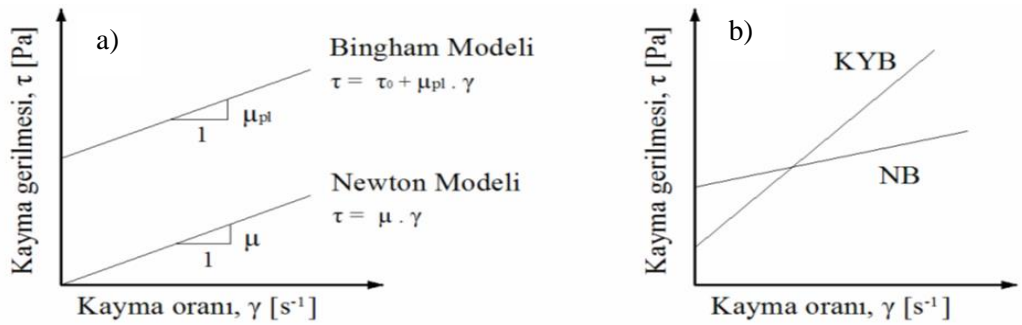
J halkası deneyi, kendiliğinden yerleşen betonun, donatı çubukları ve diğer engeller arasındaki dar açıklıklardan, ayrışma veya tıkanma olmaksızın akarak taze betonun geçiş kabiliyeti değerlendirilmesi için kullanılır. Deney aleti, dar çubuk aralıklı J halkası için çapı  $\varnothing 18 \pm 0,5$  mm olan düz çubukların,  $300 \pm 2$  mm çaplı halka üzerine çubuk aralıkları  $41 \pm 1$  mm olacak şekilde, geniş çubuk aralıklı J halkası için çapı,  $\varnothing 18 \pm 0,5$  mm olan düz çubukların, aynı halka üzerine çubuk aralıkları  $59 \pm 1$  mm olacak şekilde, Şekil 1.2'de gösterilen ölçülerde monte edilmesiyle oluşturulur. Slump hunisinin içerisine doldurulan beton, huni kaldırılınca, çubukların arasından akmaya ve yayılmaya başlar. Deney sonucunda yayılma miktarı uzunluk cinsinden ve  $T_{50}$  süresi saniye cinsinden ölçülür. [50].



Şekil 1.2. J-halkası deney düzeneği

### 1.2.7. Taze Beton Reolojisi ve Kendiliğinde Yerleşen Beton

Reoloji, maddenin akışı ve deformasyonu ile ilgilenen bir bilim dalı olarak ifade edilebilir. Özellikle mühendislik uygulamalarında reoloji kavramı, ideal katılara, basit akışkanlara ve gazlara uymayan malzemelerin davranışını incelemeye kullanılır. Davranışları ideal malzeme kanunlarına uyan malzemelerin, özellikleri arasında önemli farklılıklar yoktur. Mühendislik uygulamalarında reoloji, genellikle karmaşık davranışlar gösteren malzemeler için incelenmektedir. Beton söz konusu olduğunda, taze betonun reolojik davranışları göz önüne alınır [40]. Taze betonun akıcılık özelliği dikkate alındığında, matematiksel olarak modellenmesi için, sıvı olarak incelenmesi gerekir. Bu modellemeye betonun, yerleşme, yüzeyinin düzelmesi, ayrışma ve kalıp basıncı gibi konuların özelliklerinin belirlenmesi için ihtiyaç duyulur. Tüm beton çeşitlerinde reoloji ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. KYB, Bingham Modeli kullanılarak, yüzey gerilmesi ve plastik viskozite olarak iki parametre ile modellenir. Ancak KYB de çoğu zaman yüzey gerilmeleri küçük olduğu için Newton sıvısı olarak da modellenebileceği vurgulanmaktadır (Şekil 1.3.a-1.3.b). Normal betonda oluşan yüzey gerilmeleri, KYB'den daima büyüktür. Bu durum, KYB'de hidrostatik basıncın daha büyük olması, dolayısıyla kalıpların daha büyük basınçlara maruz kaldığı anlamına gelmektedir. Bu durum uygulamalarda dikkate alınması gereken önemli bir özelliktir [51].



Şekil 1.3. a) Reolojik modeller, b) Normal beton ve KYB arasındaki farklılıklar [52]

Betonda reolojik özelliklerin belirlenmesi için 60'ın üzerinde test metodu kullanılmaktadır. Bunların %70'inden fazlası tek parametre ölçen metotlardır. Bu parametreler, yüzey gerilmesi veya plastik viskozitedir [53,54].

### **1.3. Hafif Beton**

#### **1.3.1. Hafif Betonun Tarihçesi**

Günümüz şartlarında, gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılan aynı zamanda gelişmekte olan ülkelerde de yaygınlaşmaya başlayan “hafif beton” kullanımı eski zamanlara dayanmaktadır. M.Ö. 3000 yıllarda Sümerler Babylon’u inşa ederken kullanmışlardır. Yunanlılar ve Romalılar M.S. 4 yy. Ayasofya kilisesinde, M.S. 14 y. su kemerlerinde, M.S. 118 yy. Roma tapınağında, M.S. 70 yy. ve 80 yy. amfi tiyatrolarında olduğu gibi bazı yapı inşaatlarında hafif agrega olarak pomzayı kullanmışlardır. M.S. 624-987 yy. Meksika’daki Maya medeniyetinde ise piramitlerin yapımında hafif agrega malzemesi kullanıldığı bilinmektedir [55].

Hafif betonların M.Ö. Romalılar döneminde kullanılmaya başlandığı ve o dönemde inşa edilmiş olan yapıların günümüzde varlığını sürdürdüğü dikkate alındığında; kullanılan bu malzemeleri eski bir yapı malzemesi olarak tanımlamak doğru olacaktır. O dönemde hafif betonlar ponza ve maden cürufu gibi volkanik kökenli doğal agregalar ve sönmüş kireç kullanılarak üretilmişlerdir. Ayasofya Camii, St. Sofia Katedrali, Panteon Tapınağı ve Kolezyum hafif betonlarla inşa edilmiş olan ve günümüzde varlığını sürdüren yapılara birkaç örnektir. Hafif betonların kullanıldığı en kapsamlı proje ise 1928–1929 yılları arasında inşa edilen 14 katlı “Southwestern Bell Telephone Company” binasıdır. Bina üzerinde yapılan incelemeler, taşıyıcı sisteminin 8 ilave kat daha çıkılmasına elverişli olduğunu göstermiştir. Hafif betonla inşa edilmiş ilk gökdelen 1929 yılında yapılan St. Louis’ deki 28 katlı Park Plaza Oteli’ dir [56,57].

#### **1.3.2 Hafif Betonun Tanımı**

Hafif beton fırın kurusu durumdaki yoğunluğu  $800 \text{ kg/m}^3$  ile  $2000 \text{ kg/m}^3$  değerleri arasında olan betonlar “hafif beton” olarak adlandırılır [6]. Beton çeşitleri içerisinde hafif betonlar özellikle ısı yalıtımı sağlaması ve zati yükü azaltması nedeni ile önemli bir yere sahiptir. Normal betonlardan birim ağırlığı belirgin şekilde düşük olan hafif betonlar, normal betona oranla yapı ağırlıklarını, dolayısı ile taşıyıcı elemanların kesitlerinin azaltılmasını sağladığından inşaat sektöründe kullanım oranı gittikçe artmaktadır. Hafif betonlarda yüksek dayanım sağlamak için, hamurda

düşük su/çimento oranına ihtiyaç duyulmaktadır. Bir başka deyişle aynı dayanıma sahip normal betonla kıyaslandığında, taşıyıcı hafif betonlarda daha fazla çimento içeriği gerekmektedir. Yüksek boşluk oranlarından dolayı hafif agregalar, daha düşük elastisite modülüne sahiptirler. Bunun sonucu olarak, hafif betonların elastisite modülü normal betonlarınkine kıyasla daha düşüktür. Ayrıca hafif betonda fazla miktardaki hava boşluklarından dolayı ısı iletkenlikte oldukça düşüktür. Düşük ısı iletkenlik katsayısı ise hafif betonun ateşe dayanıklılığının normal betondan daha fazla olmasını sağlamaktadır [58]. Pomzanın yapı endüstrisinde önemli bir kullanımı, üretilen yapı elemanlarında ses ve ısı yalıtımı sağlaması nedeni ile önemli bir alana sahiptir [59].

Kendiliğinden yerleşebilme özelliğinin uygulandığı önemli alanlarından birisi de hafif betonlardır. Hafif betonların zati ağırlıkları normal betonlara oranla daha düşüktür. Bu da kolon kiriş, temel gibi yapı elemanlarının küçülmesine, donatı çeliğinin azalmasına, depreme dayanıklılığa, sonuç olarak daha ekonomik ve daha emniyetli yapıların yapılmasına imkân verecektir. Sabit yükün azalmasıyla orantılı olarak deprem yükü de azalmaktadır. Ülkemizin dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunduğu, topraklarının %92'sinin deprem kuşağı içerisinde olduğu, nüfusun %96'sı bu sınırlar içerisinde yaşadığı, bölgemizin deprem de kuşağı içerisinde yer aldığı düşünüldüğünde hafif betonların kullanılması son derece önemli olmaktadır. Diğer taraftan hafif betonların ısı iletkenliklerinin düşük olması nedeni ile yapıların ısınmasında kullanılan yakıt masraflarını önemli derecede azalttığı bilinmektedir. Bu nedenle inşaatların yapımında geleneksel beton yerine bazı durumlarda hafif beton kullanımı tercih edilmektedir. Ayrıca hafif betonların geleneksel betonlara göre donma çözülmeye karşı daha dayanıklı olduğu, gece gündüz sıcaklık farkının yüksek olduğu bölgelerde dona karşı dayanıklılık koşullarının arandığı durumlarda kullanılabileceği yapılan araştırmalarla ortaya konmuştur [2].

### **1.3.3. Hafif Betonların Sınıflandırılması**

Normal betonlara göre birim ağırlıkları belirgin bir şekilde düşük olan özel betonlara hafif beton denilmektedir. Birim ağırlığı  $1800 \text{ kg/m}^3$ 'ten küçük olan betonlar genel olarak özel betonlar statüsünden hafif beton sınıfına girerler. Hafif betonlar mukavemetlerine, kullanım amacına ve birim ağırlıklarına göre gruplandırılabilirler [60,61].

Hafif betonlar basınç dayanımlarına ve birim ağırlıkları göre şu şekilde sıralanırlar.

- Yalıtım betonu: Basınç dayanımı 0.2-2.5 MPa ve birim ağırlığı  $0.2-0.6 \text{ kg/dm}^3$  olan hafif betonlar.

- Taşıyıcı beton: Basınç dayanımı 15-60 MPa ve birim ağırlığı 1.2-2.0 kg/dm<sup>3</sup> olan hafif betonlar.
- Hem taşıyıcı, hem yalıtım beton: Basınç dayanımı 2.5-10 MPa birim ağırlığı 0.6-1.2 kg/dm<sup>3</sup> olan hafif betonlar [62].

Normal ve hafif betonlar ile yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde agrega beton hacminin yaklaşık % 45-70 arasındaki bir kısmını kapsadığı gözükmektedir [60,63]. Buda agreganın beton içerisinde ne derece önemli olduğunu göstermektedir.

### **1.3.4. Hafif Agregalar**

Birim ağırlıkları 2000 kg/m<sup>3</sup>'den küçük olan agregalar “hafif agregalar” olarak tanımlanmaktadır [62]. Hafif agreganın TS 1114'e göre tanımı şu şekildedir: Meydana gelişleri sırasında gözenekli bir yapı kazanmış bulunan, bims (pomza, süngertaşı), tuf (sedimante, volkanik), diatomit (su yosunları sınıfından tek hücreli mikroskopik alglerin fosilleşmiş silisli kavkılarında meydana gelmiş bir çökeldir), lav cürufu (skorya v.b.) vb. kırılmış veya kırılmamış agregalar [64]. Hafif agregalar, doğadan doğal olarak ya da doğadan doğrudan elde edilebildiği gibi dolaylı olarak da elde edilmeleri mümkündür. Atık veya doğal malzemelerin çeşitli termal işlemlere tabi tutulması sonucu da elde edilirler [65]. Kuru birim hacim ağırlığı 650 kg/m<sup>3</sup>'den büyük olan agregalar da taşıyıcı betonlarda, 400-650 kg/m<sup>3</sup> arası olan agregalar yalıtım ve orta mukavemetli betonlarda, 400 kg/m<sup>3</sup>'e kadar olan agregalar yalıtım betonlarında kullanılabilir [66].

Doğal hafif agregalar: eleme ve kırma işleminden başka işleme tabi tutulmayan, bims, lav cürufu, tuf, diatomit gibi doğal oluşumlu agregalardır [61].

Yapay hafif agregalar: Genellikle ısıtma ve bazı hallerde sinerleşme yolu ile elde edilen hafif hücreli ve granüle inorganik elemanlardan meydana gelen uçucu kül, perlit, obsiden yüksek fırın cürufu, kil, arduvaz veya vermikülit maddelerden yapılmış agregalardır [61].

#### **1.3.4.1. Pomza**

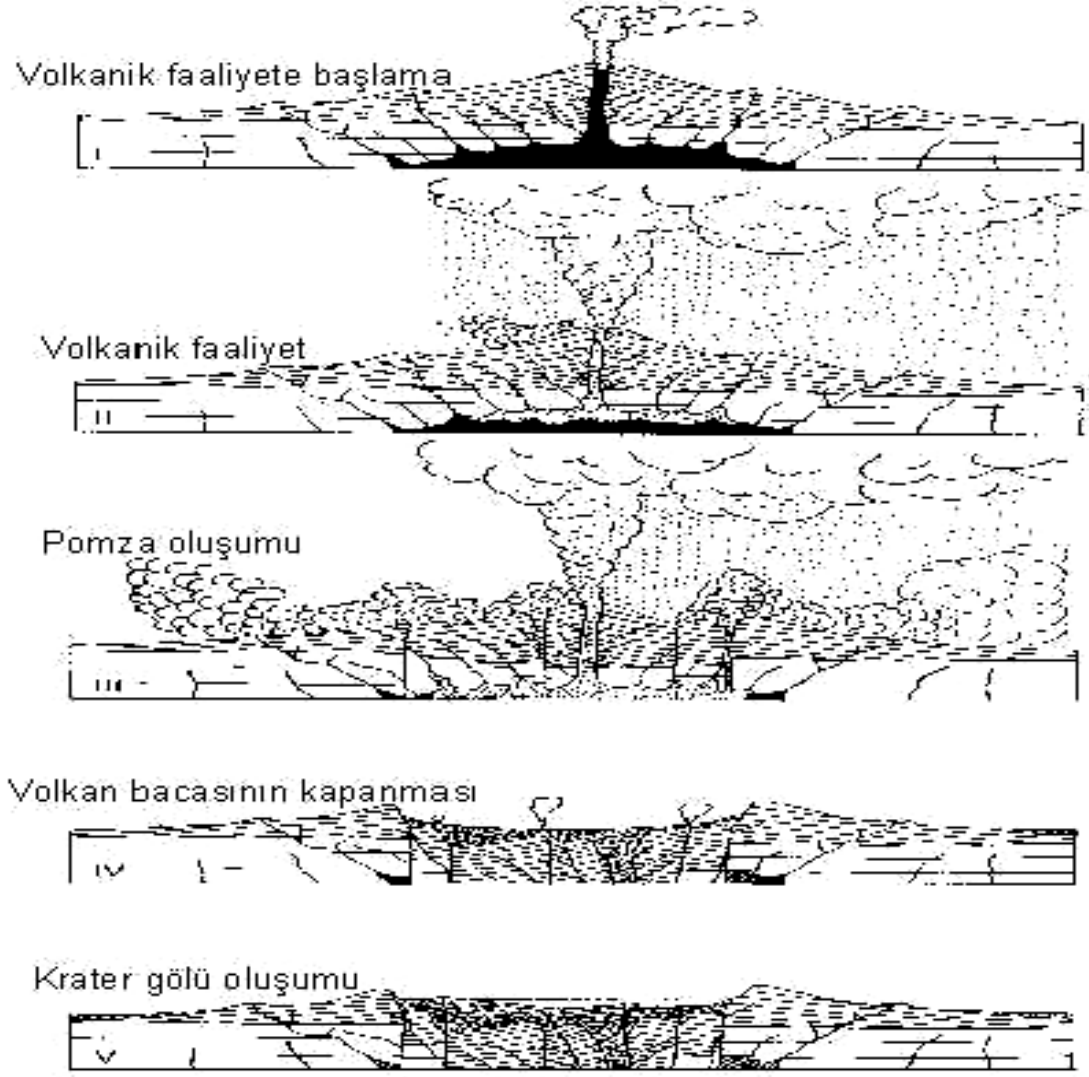
##### **a) Pomzanın Tanımı**

Pomza madeni, volkanik kökenli silikat esaslı camsı ve gözenekli bir yapıya sahip yüksek puzzolanik aktiviteli hafif yapı elemanıdır. Değeri yeni anlaşılan ve Dünya endüstrisinde yeni olmamakla beraber, ülkemiz endüstrisine son 20 yılda girmeye başlamıştır [67].

Türkçe’de pomza, pomza taşı, ponza, hışır taşı, nasır taşı, küvek, sünger taşı, köpük taşı, kisir gibi isimler kullanılmaktadır. Pomza (ponza) terimi İtalyanca bir sözcüktür farklı dillerde tanımlaması şu şekilde olup; Fransızca’da ponce, İngilizce’de iri taneli pomzaya pumice (pümis), ince taneli pomzaya pumicite (pümisit) denmektedir. Almanca’da ise iri taneli pomzaya bimstein, ince taneli pomzaya bims denmektedir. Türkçe’ye İtalyanca’dan girmiştir [68].

## **b) Pomzanın Oluşumu**

Volkanik kayaçlar olarak değerlendirilen pomza taşı, birinci aşamada lavların sakin bir ortamda yeryüzüne yükseldiği ve kraterin ağzından dışarıya taşması şeklinde oluştuğu bilinmektedir. İkinci aşamada ise bacada çok şiddetli oluşan patlamalar sonucu birden genleşen gazların etkisiyle pomza taşları ve küller havaya kül tüfleri olarak püskürmesi şeklindedir. Pomza bazik ve asidik karakterli olup volkanik bir cam yapısında sünger görünümlü, birbirine bağlantısız boşluklu, silikat esaslıdır. Pomza suyun ağırlığından daha hafif olup içindeki gazlar köpürürken kaçmıştır. Pomza taşının kuru hacim ağırlıkları  $500-900 \text{ kg/m}^3$  arasında değişir. Malzemeler elenmiş, ezilmiş ve yıkanmış parçalar halinde farklı tanecikli büyüklüklerdedir [69].



Şekil 1.4. Pomzanın Oluşum Evreleri [70]

### c) Pomzanın fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal ve fiziksel etkilere karşı gözenekli, dayanıklı, camsı bir maddedir. Pomzanın içerisinde bulunan gözeneklerin hacmi yaklaşık olarak, %85'e kadar çıkabilmektedir. Gözenekler arası genelde bağlantısız boşluklu olduğundan hafif, suda uzun süre yüzebilen, permabilitesi düşük ve izolasyonu (ısı - ses yalıtımı) oldukça yüksektir. Sertliği Mohs skalasına göre 5-6'dır [30]. Pomzanın içerisinde bulunan kimyasal bileşim oranları ; % 60-75  $\text{SiO}_2$ , , % 1-3  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  , % 13-17  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , % 7-8  $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$ , % 1-2  $\text{CaO}$ , ve az miktarda  $\text{TiO}_2$  ve  $\text{SO}_3$ 'den oluşmaktadır [71]. Kimyasal içeriğine bakıldığında yaklaşık olarak % 75'e varan silis içeriği bulunabilmektedir.

#### **d) Pomzanın Kullanım Alanları**

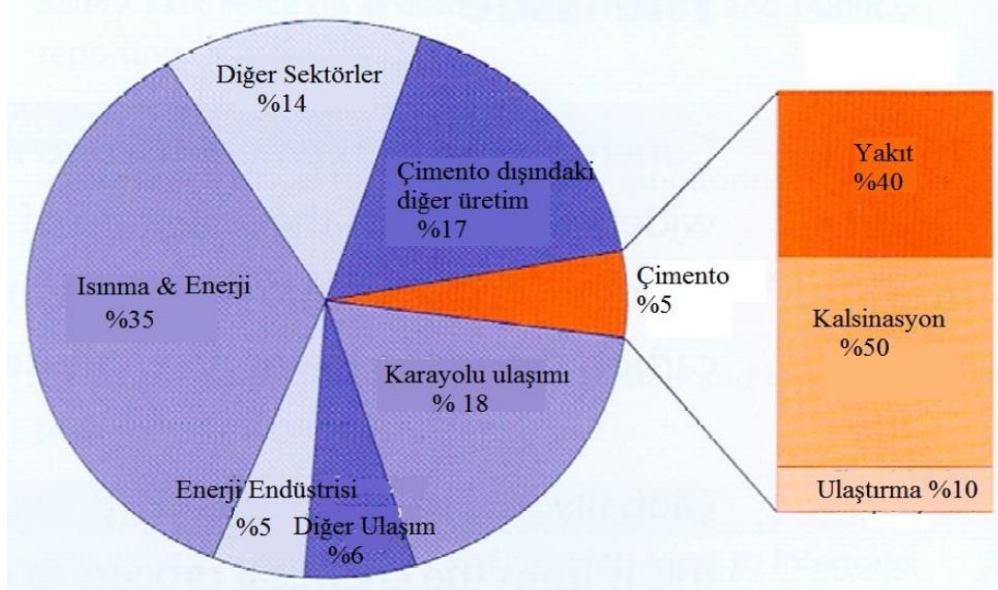
Pomzanın içerisinde bulunan  $\text{SiO}_2$  oranı kayaca aşındırıcılık özelliği kazandırır. Bu özelliğinden dolayı çeliği rahatlıkla aşındırabilecek niteliklere sahip bir kayaç türüdür.  $\text{Na}_2\text{O}$  ve  $\text{K}_2\text{O}$  pomzanın tekstil sanayinde kullanılmasını sağlayan, reaksiyon özellikleri veren mineraller olarak bilinmektedir.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bileşimi ise yüksek ısıya ve ateşe dayanım özelliğini kazandırmaktadır. [66,72]. Birden fazla alanla kullanılmakla birlikte, en fazla kullanım alanı inşaat endüstrisi olmaktadır. Ülkemizde de özellikle inşaat sektöründe kullanımı giderek artmakta ve önem kazanmaktadır. Yapılan çalışmalarda ham pomza agregası ile yapılan taşıyıcı hafif betonların normal betona göre %20 daha hafif olacağı görülmüştür. Bu sayede ölü yükün azalmasına agrega etkisi de eklenmiş olur [73]. Pomza cevheri, inşaat endüstrisi, yapı malzemesi olarak değişik amaçlarla üretilen hafif betonların elde edilmesinde agrega olarak kullanılmaktadır. Pomzadan taşıyıcı olmayan, yarı taşıyıcı ve taşıyıcı olan yapı elemanları ya da yapı bileşenleri üretmek mümkündür. Pomza taşıyıcı olarak üretilen betonlar, taşıyıcı beton olmalarının dışında, ses emme ve ısı yalıtımı amacıyla blok duvar olarak kullanılabilir. Pomza taşının yurdumuzda yaygın olan özel kullanımı da asmolen blok ve beton duvar blokları şeklindedir. Oysa pomza taşı agregasıyla üretilen farklı nitelikteki betonlar, yapının taşıyıcı sisteminde kullanılabileceği gibi ses ve ısı izolasyonu açısından da yapı fiziği sorunlarının çözümünü sağlamaktadırlar. Pomza taşının içerisindeki silis içeriğinden dolayı öğütülerek elde edilen puzolanlar çimento hammaddesi olarak kullanılabilirler [72]. Volkanik faaliyetler sonucunda iki tür pomza oluşumu mevcuttur. Bunlar bazik pomza ve asidik pomzadır. Diğer bir deyişle bazik pomzaya, scoria veya bazaltik pomza da denilmektedir. Bazaltik pomzanın rengi kahverengimsi, koyu renkli ve siyahımsı olabilmektedir. Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan tür olan asidik pomza ise kirli beyaz, grimsi beyaz renktedir. Asidik karakterli pomzalarda silis oranı daha yüksek olup inşaat sektöründe yaygın kullanım alanı bulabilmektedir. Diğer taraftan bazik karakterli pomzalarda magnezyum, alüminyum, kalsiyum ve demir bileşenleri daha yüksek oranda olması nedeniyle tarımda toprak ıslahı, gübre sanayinde katkı maddesi olarak kullanım alanı bulabilmektedir [84].

#### **e) Pomzanın Çimento İçerisinde Kullanımı**

Bir beton karışımı hazırlanmasında kullanılan en önemli yapı malzemelerinden biride porland çimentodur. Porland çimentosu, su ile birleştiğinde hidrolik bağlayıcı özellik gösterir. Yalnız kendiliğinden yerleşen betonlarda karışım tasarımı yapılırken, betonun akıcılığını sağlamak ve

agrega taneleri arasındaki sürtünme etkilerini azaltmak için çimento hamur miktarının artırılması gerekmektedir. Bu miktarın tümünde, çimento kullanılarak karşılandığında beton içerisinde olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Örneğin, hidrasyon ısısından dolayı termal çatlamlar oluşmakta ve rötre miktarı artmaktadır.

Bir beton karışımı % 65-75 oranında agregadan, % 10-18 su ve % 8-16 çimento oluşmaktadır. Beton karışımını oluşturan yapı malzemelerinden sadece çimentonun üretiminde çıkan gazlar dahi kendi başına doğaya zarar vermektedir. Çimento dışındaki karışıma giren malzemelerden agrega, ya doğadan olduğu gibi alınmakta ya da bir miktar öğütüldükten sonra kullanılmaktadır. Çimento ise endüstriyel bir ürün olup üretilmesi sırasında; bir ton çimento üretebilmek için yaklaşık 1.5 ton hammadde, 0.3 ton hava, 6 gigajül yakıt kullanılırken, 0.94 ton karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) de atmosfere salınır. Dünyadaki insan kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonunun yüzde 5'i çimento endüstrisi kaynaklıdır (Şekil 1.5). Çimento üretimindeki CO<sub>2</sub> salınımını azaltmaya yönelik bazı çalışmalar yapılmaktadır. Bunun yanı sıra beton üretimi sırasında çeşitli endüstriyel ya da endüstriyel olmayan atıkları kullanma yönünde çok sayıda çalışmalarda mevcuttur. Başka bir endüstrinin atığı olan bir malzemenin beton endüstrisinde değerli bir katkıya dönüştüğü birçok kez karşılaşılan bir durumdur [10]. Son yıllarda çimento üretiminde kullanılan yakıt fiyatlarındaki yükselmeler çimento maliyetini olumsuz yönde etkilemiş olup, üretici firmaların puzolanlara yönelmelerine neden olmuştur [75]. Bu puzolanlardan Silis dumanı ve uçucu küller bunun en iyi örnekleridir. Pomzanın, birim hacim ağırlığının düşük olması nedeniyle hafif beton teknolojisinde kullanılmakla beraber doğal puzolan olma özelliğiyle de çimentoda katkı maddesi olarak kullanılabilir.

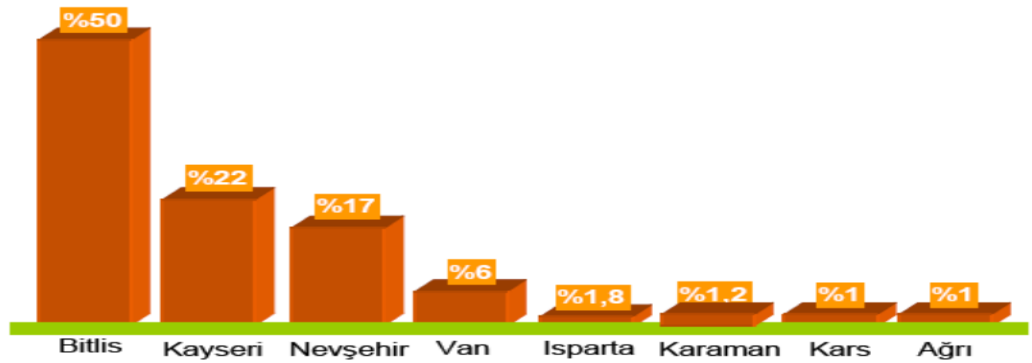


Şekil 1.5. Farklı Sektörlerdeki CO<sub>2</sub> salınım oranları [10]

## f) Pomzanın Türkiye'deki Rezerv Durumu ve İnşaat Sektöründe Kullanım Alanı

Dünya üzerinde tespit edilen pomza rezervleri oldukça fazladır. Tespit edilen pomza rezervi 18 milyar ton civarındadır. Pomza rezervinin yer aldığı ülkelerin başında İtalya, Türkiye ve ABD gelmektedir. Türkiye'de toplam 2.8 milyar m<sup>3</sup> civarında pomza rezervi bulunmakta olup, bu değer Dünya pomza rezervinin %15,8'ine yakındır [76]. Dünyadaki pomza taşı rezervlerinin yaklaşık 1/7'si ülkemizedir. Türkiye'deki pomza rezervinin %55'i, Doğu Anadolu bölgesinde bulunmaktadır [69,77]. Ülkemizdeki toplam rezervin 1,5 milyar tonu Bitlis-Tatvan bölgesiyle Türkiye'nin en büyük pomza taşı rezervli ilimizdir [78]. Pomza taşına, İç Anadolu ve Akdeniz Bölgesinde de rastlanmaktadır. İşletme sayısı bakımından ise İç Anadolu Bölgesi önde gelmektedir [6]. Pomza ocaklarında üretim açık işletme yöntemi ile yapılmakta ve üretiminde dünyada çok az ülke söz sahibidir. En fazla pomza üretimi yapan ülkelerin başında gelen İtalya ve Türkiye'dir. 2000-2007 yılları arasındaki dönemde üretimde ilk sırada İtalya yer alırken, Türkiye ise 2008- 2011 yılları arasındaki dönemde üretim miktarını arttırarak birinci sırada yer almıştır. Örneğin, 2010 yılında Dünya pomza üretimindeki Türkiye'nin yaklaşık miktarı 4.000.000 ton iken (%23) İtalya ise %17'dir. Bu ülkeleri Suudi Arabistan, Yunanistan, Suriye, Şili ve İran takip etmektedir. 2010 yılı itibariyle en fazla pomza üretimini gerçekleştiren ülke Türkiye olup ülkemizi sırasıyla İtalya, İran ve Yunanistan takip etmektedir [76].

Pomzanın birçok kullanım alanı olmakla birlikte, en büyük tüketim alanı ülkemizde ve dünyada inşaat sektörüdür. Türkiye'de üretilen pomzanın yaklaşık %80'inin inşaat endüstrisinde kullanıldığı bilinmektedir.



Şekil 1.6. Pomza taşının ülkemizde rezerv durumu [79].

Hafif beton, hafif tuğla, asmolen, panel, hazır sıva vb. üretiminde kullanılabilen pomza, inşaat sektörüne birçok avantajlar sağlamaktadır. Bu avantajlar şunlardır [80,81].

- Pomzanın diğerk tür agregaların 1/3-2/3'ü oranında yoğunluğa sahip olması ve dolayısıyla hafif olması nedeniyle işçilikten ve zamandan tasarruf sağlanmaktadır.
- Diğerk tür agregalara göre, hafif olması nedeniyle zemin mekaniği ve temele iletilen yükler açısından kullanılan demir miktarında %17 oranında azalma gerektirir. Bu da demirden tasarruf sağlamaktadır.
- Normal betondan üretilen betonun ısı iletkenlik katsayısı, pomza agregasından 6 kat daha az yalıtım sağladığı anlaşılmıştır. Bu nedenle pomzadan üretilen beton yapılarda yakıt tasarrufu sağlar.
- Yangına dayanıklılık açısından pomzadan üretilen betonun normal betona göre %20 oranında daha emniyetli olduğu kabul edilmektedir.
- Pomzalı yapı elemanları ve betonları dondan etkilenmemektedir.
- Pomzalı beton, normal betona göre deprem yüklerine karşı daha elastik davranış gösterebilmektedir

Türkiye'de üretilen pomzanın, yaklaşık %90 inşaat sektöründe değerlendirildiği, daha fazla katma değer sağlayan yeni kullanım alanlarında yeterince değerlendirilmediği, dolayısıyla ülke ekonomisine yapması beklenen katkının düşük olduğu söylenebilir. Pomzanın farklı ve yeni kullanım alanlarında değerlendirildiği takdirde ülkemiz ekonomisine önemli bir katkı yapması beklenmektedir [76].

### **g) Pomzanın Üretim Yöntemi ve Teknoloji**

Türkiye'de pomza madenciliği, pomza yataklarının örtü/dekapaj oranları ve oluşum şekli dahilinde açık işletme metodu şeklinde yürütülmektedir. Cevher üretimi genelde, önce pomza üst örtüsünün loder ve/veya dozer ile dekapajı, sonra cevherin paletli yükleyici veya loder ile kazısı ve kamyonlara yüklemesi şeklinde uygulanmaktadır. Ancak üst bölge dekapajında gerekli titizliği gösterilmemesi nedeniyle ya örtünün mevcut kalınlığından fazla dekapaj yapılmakta ve büyük miktarlarda cevher kaybına veya üst örtü malzemesi ile cevher birbirine karışması nedeniyle pomzanın kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Cevher farklı illere taşınması uzun mesafelerde karayolu taşımacılığı ile yapılmakta, bu nedenle taşıma maliyeti cevher üretim maliyetinden çok daha fazla olmaktadır. Bu nedenle ülkemizde gerek rezerv ve gerekse kalite bakımından oldukça kaliteli Doğu Anadolu Pomza Yataklarından istenilen şekilde istifade edilememektedir [67].

A.B. ve A.B.D. ülkelerinde büyük pomza üreticisi firmaların ( İtal Ponza Spa – İtalya, Central Oregon Pumice –ABD gibi) üretim metodu da açık işletme şeklindedir. Ancak üretim

esnasında gereken titizlik yapılmakta; dekapajın kaldırılması, cevher kazısında büyük ve seçici iş makinaları kullanılmasıyla hem üretim maliyeti düşürülmekte hem de üretim esnasında cevher kayıpları minimize edilmektedir. Bununla birlikte cevher nakli genelde karada kısa mesafelerde bant konveyör ile uzun mesafelerde ise demiryolu ile sağlanmakta, büyük çapta cevher nakli için deniz taşımacılığından istifade edilmektedir. ( Örneğin İtalya'nın Lipari adasında üretilen pomza, ocaklardan limana kadar bant konveyör ile nakledilmekte, buradan da gemilerle tüketim yerlerine ulaştırılmaktadır.) Ülkemizdeki demiryolu taşımacılığı ise diğer taşımacılık sektörlerine göre ihmal edilmiştir. Bunun sebeplerinden bir kaçı demiryollarından, büyük tonajlara kifayet etmemesi, küçük tonajlarda ise ekonomik olmaması, ray sitemlerinin eski ve yıpranmış olması (ki çoğu cumhuriyetin ilanından hemen sonra yapılmıştır) nedeniyle istifade edilememektedir. Doğu Anadolu bölgesinin pomza rezervlerinin deniz limanlarına çok uzak mesafede olması ve bu limanlara kadar karayolu taşımacılığını mecbur kılması nedeniyle cevherin nakliye maliyeti, cevher maliyetini defalarca aşmakta ve cevherin uluslararası pazarda rekabet şansını yitirmesine yol açmaktadır [67].

### **1.3.5. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton**

Görüldüğü gibi her iki beton türünün de, yüksek olumlu niteliklerinin yanı sıra olumsuz nitelikleri de vardır. Bu olumlu ve olumsuz niteliklerin bazıları betonun taze haldeki davranışından, bazıları ise sertleşmiş durumdaki davranışlarından kaynaklanmaktadır. Kendiliğinden yerleşen beton ile hafif beton birleştirildiği zaman ise daha geniş teknik faydalar ve daha çok ekonomiklik sağlanabilir. Bu yüzden hafif beton ve kendiliğinden yerleşen beton kombinasyonu hem taze hem de sertleşmiş durumda birbirlerinin olumsuz niteliklerini gidererek daha iyi mühendislik özelliklerine sahip beton tipi üretmeyi mümkün kılacaktır.

Hafif betonların ve kendiliğinden yerleşen betonların özelliklerinin birleştirilmesi ile dayanım ve dayanıklılığı yüksek, işlenebilirliği ve uygulaması kolay hafif betonların üretilmesi çok önemli mühendislik uygulama sentezini teşkil etmektedir. Hafif beton üretiminde KYB kullanımı özellikle prefabrike beton sektörü için önemli avantajlar sağlayacaktır. KYB taze halde süspansiyon davranışı gösterdiği için hafif agregaların bu süspansiyon içindeki davranışı ve agrega tip ve miktarının optimizasyonu önemli bir araştırma konusu olmaya devam etmektedir [6].

Kendiliğinden yerleşen hafif beton kullanımının yapının ömrüne getireceği katkılar, yapım süresinin kısalması, onarım ve bakım harcamalarındaki azalmalar ve gürültü faktörünün düşürülmesi, işçiliğin azalması gibi avantajlar da göz önüne bulduğunda, KYHB'da

ayırışma problemi dikkate alınmak koşuluyla normal ağırlıklı KYB'ye göre daha ekonomik olacağı düşünülmektedir [82].

Kendiliğinden yerleşen hafif beton henüz çok yeni bir beton türüdür. Bu konuda yapılan araştırmalar sayıca azdır. Bir betonun hem kendiliğinden yerleşmesi hem de hafif olması o betonda aranılacak özelliklerden biri olabilir. Bu tez çalışmasında; bir tarafta işlenebilirlik ve ayırışma direnci açısından çok iyi özelliklere sahip bir beton türü olan KYB (normal ağırlıklı) ile hafif fakat işlenebilirliği zor olan HB'nin bir araya gelmesi ile iyi ve yeni bir kompozit malzemenin ortaya çıkacağı düşünülmektedir [6]. Ancak, bu yapılmış olan çalışmaların hiçbirinde Bitlis yöresi pomza taşı kullanarak üretilen bir hafif beton tasarımı olmadığı görülmüştür. Bu tezin amacı Bitlis yöresi pomza taşı kullanarak kendiliğinden yerleşen beton üretilip dayanım ve dayanıklılık özellikleri yüksek aynı zamanda ekonomik olarak avantajlı üretilebilecek bir beton türünün ortaya konulmasıdır. Bu yolla yörede hizmet veren beton santrallerine de ürün portföyü olarak katkıda bulunulacaktır. Belki de, ileride olabilecek ağır ya da yoğun deprem etkisine sahip Bitlis ve havalisinde hafif betonun kullanılması bu araştırmayla yaygınlaşacaktır.

Bu tezin diğer bir önemi ise Bitlis yöresi Türkiye'nin en önemli pomza rezervlerine sahip olmasına rağmen Bitlis yöresi ve havalisinde yalnızca briket olarak kullanılmakta ve çoğu zaman bu malzeme bu kullanım yöntemiyle israf edilmektedir. Bu tezin hayata geçilmesiyle Bitlis yöresi pomzası kullanılarak beton teknolojisine yeni bir ürün daha kazandırılmış olacak ve yöremizin deprem kuşağında olması nedeniyle daha hafif, yalıtım özellikli aynı zamanda diğer mühendislik özellikleri geliştirilmiş yeni bir beton sunulmuş olacaktır.

Bu yüksek lisan tez projesinde Bitlis yöresi pomza agregası ve mineral katkı olarak da uçucu kül, öğütülmüş pomza tozu, ve barit tozu kullanılarak üretilen KYHB numunelerinin mekanik ve durabilite özellikleri araştırılmıştır.

## **2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**

Yanar [83] tarafından 2007 yılında yapılan bir çalışmada, değişik tür ve oranlarda mineral katkı kullanımının kendiliğinden yerleşen betonun özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmışlar. Değişik kombinasyonlarda metakaolin, cüruf, uçucu kül ve portland çimentosu (PÇ) içeren karışımlar ile sadece PÇ içeren karışım aynı oranda su/bağlayıcı madde oranıyla üretilmişler. Yapılması düşünülen her betonun kendiliğinden yerleşebilme özelliği sağlamsı için kullanılmak istenen

süperakışkanlaştırıcı miktarı her karışımda oranında yayılma (slump) deneyi ile belirlenmişler. Mekanik özellik ve işlenebilirlik deneyleri uygulanarak çıkan sonuçlar yorumlamışlardır.

Saglam ve diğ. [31] tarafından 2004 yılında yapılan bir çalışmada, yapmış oldukları Kendiliğinden yerleşen betonun genel özelliklerini, bileşim özelliklerini ve çalışma mekanizmasını incelemişlerdir. Ayrıca prefabrike ve hazır beton sanayinde kullanılan farklı çimentolarla farklı katkılarla uyumlarını araştırmışlardır. Yaptıkları deneysel testlerde taze beton özellikleri ve dayanımlar açısından katkı- çimento etkileşiminin mühim olduğu kanaatin vurgulamışlardır. Bu sebeple uygulamaya başlamadan önce katkı-çimento uyumlarının deneysel çalışmalarla yapılması gerektiğini vermişlerdir.

Mukhlif [84] tarafından 2013 yılında yapılan yüksek lisans tez çalışmasında, volkanik pomza tozunun (VP) silis dumanı (SD) içeren ve içermeyen kendiliğinden yerleşen betonların taze ve sertleşmiş özellikleri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla deneysel bir çalışma yapılmıştır. İlk grup KYB'lar VP'nun çimentoyla ağırlıkça %0, %5, %10 ve %20 oranlarında yer değiştirmeleriyle elde edilmiştir. Daha sonra silis dumanının %8 oranında katılmasıyla ikinci grup KYB'lar üretilmiştir. KYB'ların sertleşmiş özellikleri 28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda test edilmiştir. Bunun yanı sıra genelleştirilmiş doğrusal model varyans analizi kullanılarak VP değişim düzeyi, SD ilavesi gibi faktörlerin istatistiksel anlamlılıkları irdelenmiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre VP miktarının artması KYB'ların akışkanlığını artırırken, SD ilavesi viskoziteyi artırıcı etki göstermiştir. Ayrıca, SD ilavesinin, KYB'ların sertleşmiş özelliklerinde VP kullanımından kaynaklanan olumsuz etkiyi telafi ettiği görülmüştür.

Dolgun [85] tarafından 2010 yılında yapılan bir çalışmada, Nevşehir ilinden getirilen, öğütülmüş toz pomzanın kendiliğinden yerleşen beton üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel karışımlarda su/bağlayıcı oranı ise 0,4 ve bağlayıcı miktarı  $500 \text{ kg/m}^3$  sabit olarak belirlenmiştir. Kontrol betonuna, normal portland çimentosu ile % 10, 15, 20 ve 25 oranlarında pomza tozu ilave etmişlerdir. Üretilen betonlar kaynar kür, sıcak kür, standart kür şartlarında deneylere tabi tutularak ultrasonik ses hız değerleri ve basınç dayanımları ölçülmüştür. Kaynar kür şartlarında basınç dayanımlarının pomza ilavesi ile artış gösterdiği sıcak kür şartlarında pomza tozu ilavesinin basınç dayanımlarında düşüşe neden olduğu tespit edilmiştir. Standart kür şartlarında bırakılan betonların 3 ve 7 günlük basınç dayanımlarının pomza tozu ilavesi ile birlikte düşüşe neden olduğu, 28 gündeki betonların ise pomza tozu ilavesinin kontrol betonun basınç dayanımlarına yaklaştığı bazı betonlarda bir miktar artış sergilediği görülmüştür. Standart kür edilen beton numunelerde 28 günlük aşınma dayanımlarının pomza tozu ilavesi ile arttığı ve üç farklı kür durumunda basınç dayanımlarının ultrasonik ses hız değerleri ile uyum içinde olduğu gözlenmiştir.

Gündüz ve Uğur [86] tarafından 2005 yılında, pomza agregası ile herhangi bir mineral ve akışkanlaştırıcı katkı kullanmadan taşıyıcı hafif beton üretilebilirliği üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bunun için farklı agrega ve çimento oranlarında karışımlar hazırlanmıştır. Karışımların çökme değerlerinin 35 ile 45 mm arasında değiştiğini, aynı dayanıma sahip normal ağırlıklı betonlardan %30 ile %40 arasında daha hafif olduğunu belirtmektedirler. 450 kg/m<sup>3</sup> çimento kullanarak ürettikleri betonun kuru birim ağırlığı 1270 kg/m<sup>3</sup>, 28 günlük basınç dayanımı 28 MPa, statik elastisite modülünü 11129 MPa ve çekme dayanımını 6,38 MPa olarak belirlemişlerdir. Çimento miktarının artmasıyla betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinde artmalarını olduğunu belirtmektedirler. Bu betonların ısı iletim katsayısının 0,455 ile 0,345 W/mK arasında değiştiğini, bu değere göre normal ağırlıklı betonlardan % 50 daha düşük ısı iletim katsayısına sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Ceylan [80] tarafından 2005 yılında yapılan çalışmada, farklı pomza agrega türlerinden elde edilen hafif betonun sıcaklık etkisindeki karakteristiği araştırılmıştır. Bu çalışma için, İzmir ili Menderes İlçesi'nden çıkarılan perlitik pomzaları, Kayseri ili bölgesinde bulunan Talas ilçesi'nden ve Nevşehir İli bölgesinde bulunan Göre Beldesi'nden çıkarılan pomzalar çalışmada kullanılmak üzere temin edilmiştir. Çalışmada, elde edilen hafif beton numunelerinin su emme, dayanım, kuru birim hacim ağırlık, sıcaklık etkisinde dayanım gibi bazı teknik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, pomza çeşitlerinden üretilen hafif betonların sıcaklık etkisindeki karakteristikleri ile ilgili çıkarımlar elde edilmeye çalışılmışlardır.

Yazıcıoğlu ve Bozkurt [87] (2006), yapmış oldukları çalışmalarında, agrega olarak pomza taşı ve mineral katkı olarak silis dumanı (SD) kullanılarak elde edilen taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada, ultrasonik ses geçirgenlik (USG) basınç dayanımı, yarımada çekme dayanımı deneyleri 3, 7, 14 ve 28 günlük numunelere uygulanmışlardır. 150x150x150 mm ölçülerindeki küp numunelere USG ve basınç mukavemeti deneyleri, 150/300 mm ölçülerindeki silindirik numunelere yarımada çekme dayanım deneyleri uygulamışlardır. Beton numunelerin hazırlanmasında kaba agrega olarak ise pomza taşı, ince agrega olarak nehir kumu kullanmışlardır. Yapılan karışımlarda kullanılan CEM I 42,5 N çimentosun ağırlıkça SD ile % 10 oranında yer değiştirmişlerdir. Çalışma sonucunda elde edilen verilere göre silis dumanı katkılı beton (SDB) numunelerin kontrol betonuna (KB) göre daha iyi dayanım özellikleri sergilediği gözlemlenmiştir. Katkısız olarak hazırlanan beton numuneler (KB) ilk yaşlarda SDB numuneleri ile benzer özellikler sergilerken özellikle 7 günlük kür süresinden sonra SDB numunelerinde belirli bir dayanım artışı gözlemlenmiştir. Bir özel beton türü olan taşıyıcı hafif betonlar kullanılacak betonarme yapı elemanlarının alanlarının

küçültülmesinde ve özellikle bir yapının ölü yükünü azalttığından dolayı kullanılmakta olduğunu vurgulamışlardır.

Öz [88] tarafından 2007 yılında farklı oranlarda agrega (asidik pomza ve dere kumu), uçucu kül ve kimyasal katkı kullanarak betonun birim hacim ağırlık, dayanım, ısı ve ses yalıtım özelliklerindeki değişiklikler araştırılmıştır. Yapılan çalışmada asidik pomzanın tek başına beton agregası olarak istenilen şartları vermemesinden dolayı, tasarımlarda asidik pomza ile birlikte değişik oranlarda dere kumu ve uçucu kül kullanılmıştır. Değişik beton tasarımları değerlendirildiğinde agrega oranları % 60 asidik pomza, %40 dere kumu, 400 kg çimento, 200 kg uçucu kül, 96 kg su ve çimentonun % 1.5'i kadar kimyasal katkı kullanılarak yapılan betonun yoğunluk (1700 kg/m<sup>3</sup>), tek eksenli basınç (31 MPa), ısı iletkenliği (0.48 kcal/m<sup>2</sup>h°C) ve ses yalıtımı (20,17 dB) açısından en iyi sonucu verdiği görülmüştür.

Türkel ve Kadiroğlu [89] 2007 yılında Kayseri ili bölgesine ait pomza agregasını temin edilerek taşıyıcı özeliği sağlayan hafif betonlar üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Üretilen hafif beton karışımlarında hidrolik bağlayıcı olarak CEM I 42.5 çimentosu ve mineral katkı olarak uçucu kül ve silis dumanı kullanmışlardır. Hafif betonlar üzerinde taze durumda iken birim hacim ağırlık, hava içeriği ve çökme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sertleşmiş hafif betonların ise yarmada çekme dayanımı basınç dayanımı ve eğilme dayanımı belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre, pomza agregası kullanılarak üretilen hafif betonlar, TS EN 206-1 standardında hafif betonlar için belirtilen LC 20/22 ve LC 25/28 dayanım sınıflarını sağlamaktadır. Ayrıca bu çalışmada ACI 213R-87'de taşıyıcı hafif betonlar için belirtilen 17.2 MPa dayanım değerinin oldukça üzerinde dayanım değerine sahip taşıyıcı hafif betonlar üretilebileceğini göstermiştir.

Dikici [90] tarafından 2010 yılında gerçekleştirdikleri çalışmalarında, pomza agregası ve değişik oranlarda mineral katkı kullanılarak üç ayrı tip taşıyıcı hafif beton üretmişlerdir. Üretilen taşıyıcı hafif betonlar, değişik yaş (7, 28 ve 56) ve değişik kür koşullarında ( su kürü ve buhar kürü) kuru yüzey doygun ve etüv kurusu halinde mekanik deneylere tabi tutulmuşlardır. Mekanik deneyler olarak elastisite modülü, eğilmede çekme, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisini araştırılmıştır. Kuru yüzey doygun haldeki numunelerin birim hacim ağırlık değerleri bütün numune tiplerinde 2000 kg/m<sup>3</sup>' ün altında elde etmişlerdir. Etüv kurusu numunelerde ise birim hacim ağırlığı oldukça düşerek 1500-1600 kg/m<sup>3</sup> civarında değer aldığı göstermişlerdir. Çalışmanın bir diğer kısmında % 10 oranında silis dumanı Portland çimentosu ile yer değiştirilerek kullanılmış ve birim hacim ağırlığı 1900 kg/m<sup>3</sup> civarında 28 günlük basınç mukavemeti değeri 23 MPa olan hafif betonlar elde edilmiştir. Yine sadece uçucu kül kullanılarak dökülen hafif betonlarda incelenmiş ve bunlarında silis dumanı ile beraber kullanılmadan 20 MPa' ı geçemeyeceği gözlemlenmiştir. Etüv kurusu durumunda kırılan

numunelerin basınç dayanımı sonuçları, kuru yüzey doygun hale göre yüksek çıkarken, eğilmede çekme ve yarmada çekme dayanımında tam tersi sonuç görülmüştür. Buhar kürü ile bir günde elde edilen sonuçlar, kuru yüzey doygun halde yedi günde elde edilen sonuçlar ile paralellik göstermişlerdir. Diğer taraftan kuru yüzey doygun haldeki elastisite modülü sonuçları ise etüv kurusu durumundan yüksek değerler vermiştir.

Akkaş [81] tarafından 2011 yılında yapılan bir çalışmada, yöresel bir malzeme olan pomza agregası kullanılarak birim ağırlığı normal betona göre düşük taşıyıcı hafif beton üretilmiştir. Çalışmalarında, Isparta bölgesinden çıkarılan pomza agregası ve yine Isparta bölgesinden sağlanan normal agrega kullanılarak hafif beton üretilmiştir. Katkı ve agrega değişiminin betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemek için karışım içerisindeki agrega oranının yüzdesine bağlı kalarak agrega ve pomza belli oranlarda değiştirilerek Taşıyıcı Hafif Beton (THB) serileri ile tüm agregası pomza olan Hafif Beton (HB) serisi üretilmişlerdir. Çalışma kapsamında üretilen betonların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenerek karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca taşıyıcılık özelliklerinin belirlenmesi için (150x250x2300 mm) ebatlarında betonarme kirişler üretilerek yük etkisi altında deformasyonları incelenmiştir. Çalışmaların sonucunda; HB THB1 ve THB2 serileri hafif betonların 28. günlük basınç dayanımlarının sırasıyla 14,04, 20,17 ve 16,50 MPa olduğu tespit edilmişlerdir. HB ve nispeten THB2 serilerine göre THB1 serisine ait betonların Amerika Beton Enstitüsü (ACI) 213R-87' deki standartta göre taşıyıcı hafif betonlar için belirtilen 17 MPa dayanım değerinin üzerinde dayanım değerine sahip taşıyıcı hafif betonlar olduğu belirlenmiştir. Agregası ikamesi yapılarak üretilen pomza agregalı taşıyıcı betonların taşıyıcı elemanlarda kullanılabilir olduğu ve taşıyıcılık özelliği ile standartlarda verilen ölçütlere uygun olduğunu göstermişlerdir.

Öztürk [60] tarafından 2012 yılında yapılan bir çalışmada, beton karışımında hafif agrega kullanılarak betonun birim kütlesi düşürülmüş, fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiş ve ısı yalıtım özelliği verilmek istenmiştir. Bu nedenle, çeşitli oranlarda hafif agregalar ve EPS kullanılarak üretilen hafif beton numuneleri (150x150x150) mm ebatlarında küp şeklindeki kalıplara yerleştirilmiş. 24 saat sonra kalıplardan çıkarılan numuneler 23°C suda 7-28 gün bekletilmiştir. 7 ve 28 gün sonlarında kür havuzundan çıkarılan numunelere, basınç, su emme gibi çeşitli deneylere tabi tutularak hafif agregalarla üretilen ısı yalıtım amaçlı hafif betonun özellikleri incelenmiş ve normal betonun özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak hafif agrega kullanılarak üretilen hafif betonun, enerji verimliliği açısından büyük bir gelişim ortaya kayarak klasik beton anlayışına yeni bir bakış açısı getirmişlerdir.

Tapan ve dig. [91] tarafından 2012 yılında, Van ve Ağrı illerinde bulunan, farklı türdeki pomzaların (asidik pomza ve bazik skorya) betonda katkı olarak kullanılabilirlikleri

araştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre kullanılan pomzaların betonda belirli oranlara kadar çimento yerine kullanılabilir oldukları belirlenmiştir. Asidik karakterli pomza örneklerinin deneysel sonuçları betona %30 oranına kadar katıldığında kontrol için hazırlanan katkısız beton örneklerinden daha fazla dayanımın elde edildiğini göstermişlerdir. Bazik karakterli skorya örneklerinin deneysel sonuçlarında ise; betona %10 oranına kadar katıldığında kontrol beton örneklerinden erken dayanımda %112, %20 oranında katıldığında ise kontrol beton örneğine göre 28 ve 91 günlük örneklerde sırasıyla %63 ve %84 daha fazla dayanıma sahip olduğu belirlenmiştir.

Temiz ve Akçekale [92] tarafından 2014 yılında, pomza agregası kullanarak üretilen hafif beton numunelerin yalıtım özellikleri ve dayanım araştırılmışlardır. Ayrıca ahşap talaşı, uçucu kül ve öğütülmüş portakal kabuğu kırıntısından katkı maddesi olarak yararlanılmışlardır. Deneysel sonuçlara göre ahşap talaşı, uçucu kül ve portakal kabuğu kırıntısının pomzalarla birlikte kullanılmasıyla ses ve ısı yalıtım özellikleri iyi olan malzeme üretmişlerdir.

Kaya [93] tarafından 2010 yılında yapılan bir çalışmada, uçucu kül, kireç taşı filler ve kum taşı filler mineral katkıları bir referans karışımın çimentosuyla %20, %30 ve %40 oranlarında değiştirilerek elde edilen betonların işlenebilirlik özellikleri ve temel mekanik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen deney sonuçları kendi aralarında ve referans karışımın sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Deney sonuçlarının değerlendirilmesiyle kullanılan mineral katkıların çimento ile belirtilen oranda değiştirilmesinin işlenebilirlikte belirgin değişimlere neden olmadığı, mekanik özelliklerde ise sadece basınç dayanımında belirgin ve düzenli bir azalmaya neden olduklarını göstermişlerdir.

Yoğurtçu [24] tarafından 2005 yılında yapılan bir çalışmalarında, normal ağırlıkta kendiliğinden yerleşen beton üretimi ve bu betonda kullanılan iri agregaya yerine hafif iri agregaya yerleştirilmesi ve hava sürükleyici katkı kullanımı ile birim hacim ağırlığı azaltılmış kendiliğinden yerleşen taşıyıcı hafif beton (KYHB) elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Kayseri yöresinden temin edilen pomza agregası kullanılmıştır. Deneysel çalışmada, EFNARC KYB standardında belirtilen taze beton deneyleri uygulanmış, araştırma sonucunda ise, hafif agregaya kullanımı ile birim hacim ağırlığı azaltılmış ve taşıyıcı özelliği olan KYHB üretiminin mümkün olduğu gösterilmiştir.

Uygunoğlu [28] tarafından 2008 yılında yapılan doktora tezi çalışmada, yoğunluğu fazla olan kendiliğinden yerleşen betonların (KYB) birim ağırlıklarının azaltılması amaçlanmıştır. Bu nedenle KYB üretiminde kullanılan normal agregaya, farklı hafif agregalarla yer değiştirilmiştir. Normal agregaya olarak 4-16 mm boyutundaki kırmataş agregası kullanılmış. Hafif agregaya olarak da yine 4-16 mm tane boyutlarındaki pomza, volkanik tüf ve diatomit kullanılmıştır. İnce

agrega olarak tüm karışımlarda 0-4 mm tane boyutundaki dere kumu kullanılmıştır. Seriler, 0.28, 0.31, 0.34, 0.36 ve 0.38 olacak şekilde beş farklı su-toz oranında ve ince malzeme miktarı da 600 kg/m<sup>3</sup> olacak şekilde toplam 20 farklı şekilde tasarlanmıştır. Normal agregayla üretilen seriler kontrol serisi olarak belirlenmiştir. Taze haldeki KYB'lerin doldurabilme, geçebilme ve ayrışmaya karşı dirençlerinin belirlenmesi için tüm serilerde çökmede yayılma, yayılmada T500 süresi, V-kutusu akış süresi, VT5 akış süresi, L-kutusu, U-kutusu, doldurma kutusu ve J-halkasında çökmede yayılma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca taze betonların birim hacim ağırlıkları da belirlenmiştir. Diğer yandan farklı agregalarla üretilmiş KYB'lerin sertleşmiş beton özelliklerinin belirlenmesi için de, basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı, ultrases geçiş süresi, yoğunluk, porozite, su emme, ısı iletkenlik, ısıl sekil değiştirme, ısıl genleşme, kılcal su emme ve yüzeysel aşınma deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, düşük su-toz oranında üretilen KYB'lerde hafif agrega kullanılmasıyla yüksek doldurma, geçebilme ve ayrışma direnci elde edilmiştir. Kırmataşla en düşük su-toz oranında üretilen KYB serilerinin 3 ile 90 gün arasındaki basınç dayanımları 35 ile 60 MPa arasında değerler aldığı gözlenmiştir. Aynı su-toz oranı ve aynı yaş aralığı için hafif agregalı serilerde basınç dayanımı değerleri pomzalı serilerde 15 ile 28 MPa; tüflü serilerde 16 ile 25 MPa; diyatomitli serilerde 9 ile 22 MPa arasında değerler aldığı görülmüştür. Su-toz oranının arttırılmasıyla tüm serilerin basınç dayanımı değerleri azalmıştır. Hafif agrega ile yüksek sıcaklık etkisindeki ısı genleşme katsayıları azaltılmıştır. Ayrıca yalıtım değerlerinin de arttığını göstermişlerdir. Kırmataşla üretilen KYB'lerde betonun taze birim ağırlığı su-toz oranına bağlı olarak 2325 ile 2283 kg/m<sup>3</sup> arasında değerler almıştır. Pomza, tuf ve diyatomit gibi hafif agrega kullanılması durumunda KYB'nin taze birim ağırlığı 1814 ile 1640 kg/m<sup>3</sup> arasında değerler aldığı bu da KYB'lerin yoğunluklarını da önemli derecede azalttığını göstermişlerdir.

Gönen [6] tarafından 2009 yılında yapılan çalışmada, kendiliğinden yerleşen hafif beton üretmek için, bazaltik pomza ve perlit agregası seçilmiştir. Agregatane dağılımının, toz malzemelerin ve agrega tipinin etkisinin incelendiği çalışmada ayrıca iki farklı kür uygulanmıştır. Viskozite sağlayıcı malzeme olarak silis dumanı, uçucu kül, pomza tozu ve toz perlit değişik oranlarda kullanılmıştır. Bu tozların optimum kullanım miktarları, hem mekanik hem de dayanıklılık özellikleri için tespit edilmeye çalışılmıştır. Mekanik özelliklerden basınç dayanımı ve eğilme dayanımı incelenmiş, dayanıklılık da ise donma-çözülme, yüksek sıcaklık, karbonatlaşma ve sülfürik asit parametrelerine bakılmıştır. Bunların yanında dayanıklılık açısından fikir verebilecek kılcal su emme, porozite ve basınçlı su geçirimsizliği özellikleri araştırılmıştır. Sonuç olarak bazaltik pomza agregası ile yüksek mukavemetli KYHB elde edebilmişlerdir. Hazırlanan betonların birim ağırlıkları 1700-1800 kg/m<sup>3</sup> ve basınç dayanımları

50 ile 60 MPa arasında elde edilmiştir. Deneysel sonuçları, iki farklı toz malzemenin birlikte kullanımının kendiliğinden yerleşen taşıyıcı hafif beton yapımında daha yararlı olduğunu göstermiştir. Suda kür edilme durumunda KYB'lerin performansları KYHB'lere göre yüksek olguyu göstermişlerdir. Havada kür durumunda ise KYHB'lerin mukavemet ve dayanıklılıkları, dere agregalı KYB'ler kadar etkilenmemiş olduğunu belirtmiştir.

Kurt [2] tarafından 2009 yılında, bölgemizden elde edilen doğal hafif agregası (pomza) ile kendiliğinden yerleşen, taşıyıcı hafif beton ve ısı yalıtımlı hafif betonların, üretim ve kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu amaç kapsamında yapılan deneysel çalışma iki temel gruba ayırılmışlardır. I. grup deneylerde %100 hafif agregadan (pomza) oluşan ve 0.35, 0.40 ve 0.45 olacak şekilde üç farklı su/(çimento+mineral katkı) oranı, çimento yerine yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve pomza tozu, üç farklı oranda ikame edilmesi ile elde edilen KYHB üretilmiştir. II. grup deneylerde ise pomza agregası %20, %40, %60, %80 ve %100 oranında normal agregası ile yer değiştirilerek sabit su/(çimento+mineral katkı) ve çimento yerine sabit oranda yüksek fırın cürufu ve uçucu ikame edilmesi ile KYHB'lar üretilmiştir. Üretilen betonların fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmanın sonunda, kendiliğinden yerleşen ısı yalıtım betonu ve taşıyıcı hafif betonlar üretilebileceği belirtilmiştir. Genel olarak yüksek fırın cürufu ve uçucu kül KYHB'ların işlenebilirlik özellikleri iyileştirirken, pomza tozu olumsuz etki gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Mineral katkıları KYHB'ların birim ağırlık, ısı iletkenlik ve rötre değerlerini azaltırken, su emme miktarını artırmış. Basınç dayanımına etkileri ise zamana ve işlenebilirliğe bağlı olduğu görülmüştür.

Hızal [1] tarafından kendiliğinden yerleşen taşıyıcı hafif betonun durabilitesi ve bunu etkileyen faktörleri araştırmaya yönelik bir çalışma yapmışlardır. Üretilen betonların su emme özellikleri, yüksek sıcaklık direnci ve su geçirimsizlik özellikleri incelenmişlerdir. Bununla beraber bazı mekanik özellikler de test edilmişlerdir. Kendiliğinden yerleşen taşıyıcı hafif beton üretimi için İzmir (Menderes) ve Kayseri yörelerinden pomza agregası tedarik etmişlerdir. Üç farklı karışım tasarımı yapılmış; A serisinde kaba agregası olarak %100 Menderes yöresi pomzası, B serisinde ise kaba agregası olarak %100 Kayseri pomzası kullanılmışlar, C serisi ise tamamıyla normal ağırlıkta agregası kullanılarak beton serileri üretilmiştir. İstenilen özellikte betonların üretilebilmesi için deneme karışımları hazırlanmış, bu karışımlardan elde edilen sonuçlar dikkate alınarak belirtilen beton tasarımları oluşturulmuştur. Karışımların ilgili durabilite özelliklerini belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Çalışma sonunda, hafif agregası kullanılarak kendiliğinden yerleşen taşıyıcı özellikte beton üretiminin mümkün olduğu gösterilmiştir. Özellikle Menderes yöresi pomzasıyla üretilen betonların yüksek sıcaklık direncinin oldukça iyi olduğu, aynı zamanda su emme ve geçirimsizlik özelliklerinin de çok zayıf olmadığı

belirlenmiştir. Kayseri pomzasıyla üretilen betonların ise dayanıklılığının yüksek olmadığı gösterilmiştir.

Booya [94] tarafından 2012 yılında yapılan bir çalışmada, soğuk bağlama yöntemiyle üretilmiş uçucu kül hafif agregası kullanılarak hazırlanan kendiliğinden yerleşen hafif betonların (KYHFB) taze ve sertleşmiş özelliklerinin incelendiği deneysel bir çalışmanın sonuçları sunulmuşlardır. KYHFB üretiminde uçucu kül ve silis dumanının ikili ve üçlü sistem birleşimleri kullanılmışlardır. Toplam bağlayıcı miktarı 550 kg/m<sup>3</sup> sabit su-bağlayıcı oranı 0.35 olan toplam 9 karışım tasarımı dizaynetmişlerdir. Kontrol karışımı bağlayıcı olarak sadece çimento içerirken diğer karışımların hazırlanmasında portland çimentosu, silis dumanı ve uçucu küllün ikili ve üçlü birleşimleri göz önünde bulundurulmuşlardır. KYHFB'lerin taze özellikleri T500 yayılma süresi, yayılma çapı, L-kutusu yükseklik oranı ve V-hunisi akış süresi bakımından test edilmiştir. Sertleşmiş betonlar için basınç dayanımı, ultrasonik ses dalgası geçiş hızı, hızlı klorür iyonu geçirimsizliği, gaz geçirimsizliği, toplam su emme ve kılcal su emme deneyleri 28. ve 90. günlerde gerçekleştirilmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre uçucu kül ve silis dumanının birlikte kullanılması yayılma ve V-hunisi akış sürelerini azaltmıştır. Öte yandan, L-kutusu yükseklik oranı önemli düzeyde iyileşmişlerdir. Ayrıca, KYHFB'lerin sertleşmiş özelliklerinin, kullanılan mineral katkının tipinden ve miktarından önemli oranda etkilendiği görülmüşlerdir.

Öz [95] tarafından 2014 yılında yapılan bir çalışmada, soğuk bağlama yöntemini kullanarak üretilen uçucu küllü hafif agregalı kendiliğinden yerleşen betonların birtakım mekanik, kırılma, fiziksel ve durabilite özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. İlk olarak, hafif uçucu kül agregaları üretmek için ağırlıkça %90 uçucu kül ve %10 çimentodan oluşan kuru toz karışım dönen eğimli bir diskte oda sıcaklığında ıslatma yoluyla peletlenmiş ve sonra 28 gün kürlenme işlemi yapmışlardır. Daha sonra, doğal agreganın soğuk bağlanmış ince ve iri agregayla %10, %20, %30, %40, 50% hacimsel oranlarda yer değiştirmişler oluşan toplam on yedi kendiliğinden yerleşen hafif agregalı beton 0.32 su/bağlayıcı oranı ile tasarlanmışlardır. Kendiliğinden yerleşen hafif agregalı betonların işlenebilirliği yayılma süresi ve çapı, L-kutusu yükseklik oranı, V-hunisi akma süresi deneyleriyle gözlemlenmiştir. Ayrıca, taze betonların reolojik özellikleri ICAR reometresi ile belirlenmişlerdir. Sonrasında, sertleşmiş betonların özellikleri basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, eğilmede çekme dayanımı, kırılma enerjisi, kılcal su geçirimsizliği, basınçlı su geçirimsizliği, hızlı klor geçirimsizliği ve gaz geçirimsizliği testleri ile ölçülmüşlerdir. Ek olarak, kuruma rötresi, ağırlık kaybı ve sınırlandırılmış rötre çatlağı gibi fiziksel özellikleri de incelenme yapmışlardır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Kullanılan Malzemeler

###### 3.1.1.1. Çimento

Tez çalışmasında, TS EN 197-1 [96] ile uyumlu CEM I 42.5 N tipi Portland Çimento kullanılmıştır. Çimento, Elazığ'da bulunan Çimentaş Sanayi A.Ş. fabrikasından temin edilmiştir. Deney sonuçlarının etkilenmemesi için, tüm deney serileri için gerekli olan çimento yaklaşık olarak hesaplanıp tek seferde temin edilerek rutubetsiz ve kuru bir ortamda saklanmıştır. Taze olarak temin edilen ve uygun koşullarda saklanarak kullanılan çimento, süresi içinde bozulmaya uğramadan tüketilmiştir. Kullanılan çimentoya ait kimyasal ve bazı fiziksel özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Çimentoya ait kimyasal ve fiziksel değerler ile TS EN197-1 sınır değerleri

Analiz sonuçları	TİP I 42.5 N [108]	TS EN 197-1:2002 [96]
2 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	22.4	$\geq 20.0$
7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	39.4	
28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	51.0	$62.5 \leq X \leq 42.5$
SO <sub>3</sub> (%)	2.6	$\leq 3.5$
MgO (%)	2.1	$\leq 5.0$
CI (%)	0.007	$\leq 0.1$
Kızdırma Kaybı (%)	1.7	$\leq 5.0$
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0.3	$\leq 5.0$
Özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3749	
Priz Başlangıç (dakika)	161	$\leq 60.0$
Priz Sonu (saat)	04:20	
Hacim Sabitliği (mm)	0,4	$\leq 10,0$
Serbest Kireç (%)	0,5	-
Eşdeğer Alkali (Na <sub>2</sub> O+0,658K <sub>2</sub> O) (%)		-
Su İhtiyacı (Vicat Suyu) (%)	29,6	-

### 3.1.1.2. Viskozite Arttırıcı Toz Malzeme

Tez çalışması için tasarlanan karışımların ince malzeme oranını arttırmak için katkı malzemesi olarak barit tozu, uçucu kül ve pomza tozu kullanılmıştır.

#### a) Barit Tozu

Muş End. Dış Ticaret A.Ş.'den temin edilen öğütülmüş haldeki barit tozu, özgül ağırlığı 4.2 gr/cm<sup>3</sup>, su emme oranı %1.10, mevcut rutubeti %0.60 ve aşınma miktarı 4-16mm dane çapı için 500 devirde %18.60 olarak ölçülmüştür [97]. Barit tozunun kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

#### b) Uçucu Kül

Uçucu kül Sivas Kangal termik santralinden temin edilmiştir. Bu tür santrallerden açığa çıkan atıkların, özellikle de uçucu külün önemli çevre sorunları oluşturduğu bilinmektedir. Bu atığın inşaat sektöründe, özellikle çimento ve beton üretiminde değerlendirilmesi çevresel, teknik ve ekonomik yönden büyük faydalar sağlamaktadır. Elde edilen bu mineralojik katkı maddesi laboratuvar şartlarında torbalanmış olarak çalışma süresince muhafaza edilerek kullanılmıştır. Kangal Termik santralinden elde edilen uçucu külün özgül ağırlığı 2.26 gr/cm<sup>3</sup> içerdiği hakim kristal fazlar: kuvarz, hematit, manyetit, anhidrit, feldspat ve serbest kireçtir. Ana faz ise amorf ve camı fazdır. Kangal uçucu külünün içeriği yakından incelendiğinde camı fazın silisle birlikte alümine içeren bir karakterde olduğu anlaşılır [5]. Uçucu külün kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.2 verilmiştir.

#### c) Öğütülmüş Pomza Tozu

Bitlis ili Ahlat bölgesinde bulunan pomza ocaklarından temin edilen pomza agregasını öğütme işlemine tabi tutularak pomza tozu elde edilmiştir. Pomza tozları, beton karışımına katılmadan önce 105 °C'de kurutulmuş ve tamamı 0.063 ve 0.125 mm'lik eleklerden elenerek kullanılmıştır. Pomza tozunun özgül ağırlığı 2.35 gr/cm<sup>3</sup>, prozitesi %85, nemlilik %1.8, rengi açık gri ve mineralojik bileşimi volkan camı şeklindedir. [98]. Pomza tozunun kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2** Tez çalışmasında kullanılan barit tozu, pomza tozu ve uçucu külün kimyasal analizleri

İçerik	Ağırlıkça (%)		
	Barit Tozu [97]	Uçucu Kül [5]	Pomza Tozu[98]
<b>Yoğunluk (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	4.20	2.26	2.35
<b>BaSO<sub>4</sub></b>	94.12	-	-
<b>SiO<sub>2</sub></b>	2.23	38.26	68,08
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.30	16.42	13,12
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.13	5.13	4,47
<b>CaO</b>	0.04	27.36	0,71
<b>MgO</b>	0.15	1.56	0,14
<b>SrO</b>	2.61	4.43	-
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	-	0.62	5,25
<b>Diğer</b>	0.3	5.45	6.42
<b>Kızdırma Kaybı</b>	0.14	0.76	1,84

### 3.1.1.3. Agrega

Tez çalışmasında kullanılmış olan iri agrega Bitlis Ahlat yöresi pomza agregasıdır. Kullanılan agrega da diğer deney malzemelerinde olduğu gibi toleranslı olarak hesaplanarak tek seferde temin edilmiştir. Beton tasarımında yüksek akıcılık ön planda olduğu için maksimum agrega çapı 16 mm olarak seçilmiştir. Malzemeler temin edildikten sonra nem ve rutubetten uzak laboratuvar şartlarında metal konteynirlara (Şekil 3.1) doldurularak depolanmıştır. Deney numunelerinin üretiminde agregaların nem içeriği kontrol edilerek, agregalar kısa süre içerisinde kullanılmış ve deney sonuçlarının agrega su içeriğinden etkilenmemesine dikkat edilmiştir [99]. Kullanılan agregaya ait bazı fiziksel özellikler Çizelge 3.3’de verilmiştir. Çalışma kapsamında ince agrega olarak ise 0-4 mm doğal dere kumu ve ince pomza taşı kullanılmıştır.

**Çizelge 3.3** Pomza agregalarına ait fiziksel özellikler

Agrega Grubu	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm
<b>30 dk Su Emme oranı (%)</b>	33.90	17.48	26.57
<b>Toplam Su Emme Oranı (%)</b>	40.16	38.89	51.84
<b>Gevşek Birim Ağırlığı (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	0.45	0.38	0.29
<b>Kuru Özgül Ağırlık (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	0.94	0,88	0,69



**Şekil 3.1.** Agrega numunelerin depolanması

#### **3.1.1.4. Karışım Suyu**

Deneysel çalışma süresince, karışımların tasarımında ve deney numunelerinin üretiminde TS EN 1008 [100] standartlarına uygun olacak şekilde, Bitlis Eren Üniversitesi şebeke içme suyu kullanılmıştır. Karışım suyu herhangi bir bekletme, dinlendirme gibi işlemlere tabi tutulmadan şebekeden alındığı gibi kullanılmıştır.

#### **3.1.1.5. Kimyasal Katkı Malzemesi**

Kendiliğinden yerleşen beton karışımlarında, kimyasal katkı olarak, Sika Yapı Kimyasalları AŞ'den temin edilen, yüksek performanslı bir hiper-akışkanlaştırıcı olan 3. nesil beton ve harç katkısı kullanılmıştır. Bu ürün yüksek oranda su azaltması yanında uzun işlenebilirlik sağlaması sebebiyle tercih edilmiştir. Bu özelliklerinin yanı sıra sık donatılı betonarme imalatında kullanımında da oldukça iyi performans sergilediği bilinmektedir. Ayrıca çift etkili bir katkı olup çimento tanecikleri üzerinde elektriksel etkileşim ve saçaklanma yöntemleri ile hidrasyon sürecine paralel olarak [101].

- Yüksek oranda su azaltma, yüksek birim ağırlık ve dayanım olanağı,
- İyi derecede kendiliğinden yerleşme özelliği kazandırma,
- Dona karşı dayanıklılığı artırma,
- Klorür içermemesi dolayısı ile donatı zararını en az seviyeye indirme,

- Betonun karbonatlaşma hızını düşürme,
- Betonda büzülme azaltma gibi birçok avantaj sağlamaktadır.

Kullanılan bu ürünle ilgili bazı teknik bilgiler Çizelge 3.4’da sunulmuştur.

**Çizelge 3.4.** Kimyasal katkıya ilişkin teknik bilgiler [101]

Görünüm/Renk	Açık kahverengi sıvı
Ph değeri	5-9
Kimyasal yapı	Modifiye polikarboksilat esaslı polimer
Yoğunluk (kg/l, 20°C’de)	1.045-1.085
Donma noktası (°C)	-6
Suda çözünebilir klorür (%)	En fazla %0.1, klorür içermez

## 3.2. Metot

### 3.2.1. Karışım Oranları

Beton karışım hesapları TS 2511’e [102] göre yapılmıştır. KYHB mekanik ve durabilite özelliklerini araştırmak amacıyla 3 tip mineral katkı ve 2 farklı ince agrega içeriği ile 9 farklı karışım oranına sahip beton serisi tasarlanmıştır. Beton karışımlarında su/bağlayıcı oranı 0.3 ve toplam bağlayıcı miktarı 350 ve 400 kg/m<sup>3</sup> olarak iki dozaj seçilmiş ve bu şekilde her bir mineral katkı madde için ikişer adet farklı karışım tasarlanmıştır. Bu dozajlarla birlikte toplam toz miktarı 550 kg/m<sup>3</sup> olacak şekilde karışımlara daha önce belirtilen toz malzemeler ilave edilmiştir. KYHB tasarımında tüm agregası pomza taşı olan ve ince agregası nehir kumu kaba agregası pomza taşı olan iki ana beton grubu oluşturulmuştur. Bunun sebebi nehir kumunun kullanılmasıyla kompozit agregalı bir beton karışımı oluşturup beton mukavemetini artırmaktır. Bu gruplar ise kendi arasında farklı çimento dozajı ve toz malzeme ikamesi olarak çeşitlendirilmiştir. Kendiliğinden yerleşen beton tasarımında, çimentonun yüksek miktarda kullanılması; betonda maliyet artışı, termal gerilme ve rötre gibi olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Bu nedenle, çalışmada hazırlanan beton karışımlarına çimento yerine 3 tip mineral katkı olarak barit tozu, uçucu kül ve pomza tozu değişik oranlarda katılarak puzolanik aktiviteleri de araştırılmıştır. KYHB karışımlarının hazırlanmasında kullanılabilir hacmi 55 dm<sup>3</sup> kapasiteli pan tipi bir beton karıştırıcı kullanılmıştır. Bütün KYHB’ların hazırlanmasında aynı yöntem izlenmiştir. Öncelikle ince ve kaba agregalar karıştırıcıya konulmuş ve kuru olarak 1 dk karıştırılmıştır. Homojen bir karışım elde edildikten sonra gerekli olan suyun 3/4 tartılarak karışıma ilave edilmiş ve 30 dk süre ile ara ara karıştırılarak beklenmiştir. 30 dk süre sonunda çimento ve mineral katkı konulup son olarak da suyun geri kalanı ve hiper akışkanlaştırıcı katkı

karışıma eklenerek 10 dk daha karıştırılmıştır. Karıştırma süresinin bu kadar uzun seçilmenin sebebi hem pomza agregasının gözenekli yapısından kaynaklanan su emme ihtiyacı hem de günlük beton döküm işleminde hazırlanan karışımın nakil mikserlerinde bu süreye yakın bekletilmesidir. Karıştırma işlemi tamamlandığında bir miktar taze beton mikserin içinden alınarak taze beton deneyleri olan EFNARC 2005 [38] ve TS'ye göre çökme yayılma deneyi, V-hunisi akış deneyi ve L-kutusu deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler 32 farklı karışım oranı ile tekrarlanarak KYB özelliklerini sağlayan 9 karışım oranı belirlenmiştir. Taze beton deneylerinin şartlarını sağlayan bu 9 esas karışım oranı ile taze beton karışımları kalıplara konularak laboratuvar koşullarında bekletilmiştir. Daha sonra kalıptan çıkarılmış ve 3, 7, 14, 28, 56, 90 ve 150 güne kadar  $23\pm 2$  °C sıcaklığa sahip su havuzunda deney gününe kadar kür edilmiştir. Şekil 3.2 kür havuzları ve su kürü uygulanan numuneler, gösterilmektedir. KYHB'lerin hacimce karışım oranları Çizelge 3.5' de verilmiştir.



**Şekil 3.2.** Kür havuzları ve su kürü uygulanan numuneler

**Çizelge 3.5.** Kendiliğinden yerleşen hafif betonlara ait hacimce karışım oranları

No	Çimento ve Kullanılan Toz Malzemeler Ç:Çimento, BT:Barit Tozu, UK:Uçucu Kül, PT:Pomza Taşı Tozu				Kullanılan Agregalar N:Nehir Kumusu; P:Pomza Agregası				HA (%)	
	Ç (%)	BT (%)	UK (%)	PT (%)	Su (%)	0-4 (N) (%)	0-4(P) (%)	4-8(P) (%)		8-16(P) (%)
E1	11.15	4.76	0	0	16.50	39.65	0	10.58	15.86	2.0
E2	12.74	3.57	0	0	16.50	39.41	0	10.51	15.77	2.0
E3	11.15	0	8.85	0	16.50	37.20	0	9.92	14.88	2.0
E4	12.74	0	6.64	0	16.50	37.57	0	10.02	15.03	2.0
E5	11.15	0	0	8.51	16.50	37.41	0	9.95	14.93	2.0
E6	12.74	0	0	6.38	16.50	37.73	0	10.06	15.09	2.0
E7	11.15	0	0	8.51	16.50	0	43,88	7.36	11.16	2.0
E8	12.74	0	0	6.38	16.50	0	41,84	7.98	11.98	2.0
E9	12.74	0	6.64	0	16.50	0	42.10	8.21	12.31	2.0

Uygulanacak dayanım ve durabilite deneyleri için 100x100x100 mm, 150x150x150 mm ölçülerinde küp ve 75x75x300 mm ölçülerinde prizmatik numuneler hazırlanmıştır. Bunlardan prizmatik olan numuneler karışımların tasarımı sırasında en iyi performansı gösteren seriler için hazırlanmıştır. Her bir deney için 3'er adet numune hazırlanmış olup deney tarihi gelen numuneler kür havuzundan yaklaşık olarak 1 saat önce çıkarılıp hava ortamında bekletildikten sonra teste tabi tutulmuştur.

Karışımların kısaltılmış isimlerinin açıklamaları aşağıda verilmiştir. Bundan sonraki bölümlerde bu kısaltmalar kullanılacaktır.

**E1** – Toz malzeme olarak barit tozu ( $200 \text{ kg/m}^3$ ), 350 dozajlı, ince agregası olarak dere kumu ve kaba agregası olarak pomza taşının kullandığı tasarımlar sonucu elde edilen birinci esas seriyi ifade eder.

**E2** – Toz malzeme olarak barit tozu ( $150 \text{ kg/m}^3$ ), 400 dozajlı, ince agregası olarak dere kumu ve kaba agregası olarak pomza taşının kullandığı tasarımlar sonucu elde edilen ikinci esas seriyi ifade eder.

**E3** – Toz malzeme olarak uçucu kül ( $200 \text{ kg/m}^3$ ), 350 dozajlı, ince agregası olarak dere kumu ve kaba agregası olarak pomza taşının kullandığı tasarımlar sonucu elde edilen üçüncü esas seriyi ifade eder.

**E4** – Toz malzeme olarak uçucu kül ( $150 \text{ kg/m}^3$ ), 400 dozajlı, ince agregası olarak dere kumu ve kaba agregası olarak pomza taşının kullandığı tasarımlar sonucu elde edilen dördüncü esas seriyi ifade eder.

**E5** – Toz malzeme olarak pomza tozu ( $200 \text{ kg/m}^3$ ), 350 dozajlı, ince agregası olarak dere kumu ve kaba agregası olarak pomza taşının kullandığı tasarımlar sonucu elde edilen beşinci esas seriyi ifade eder.

**E6** – Toz malzeme olarak pomza tozu ( $150 \text{ kg/m}^3$ ), 400 dozajlı, ince agrega olarak dere kumu ve kaba agrega olarak pomza taşının kullandığı tasarımlar sonucu elde edilen altıncı esas seriyi ifade eder.

**E7** – Toz malzeme olarak pomza tozu ( $200 \text{ kg/m}^3$ ), 350 dozajlı, ince agrega olarak pomza taşı ve kaba agrega olarak pomza taşının kullandığı tasarımlar sonucu elde edilen yedinci esas seriyi ifade eder.

**E8** – Toz malzeme olarak pomza tozu ( $150 \text{ kg/m}^3$ ), 400 dozajlı, ince agrega olarak pomza taşı ve kaba agrega olarak pomza taşının kullandığı tasarımlar sonucu elde edilen sekizinci esas seriyi ifade eder.

**E9** – Toz malzeme olarak uçucu kül ( $150 \text{ kg/m}^3$ ), 400 dozajlı, ince agrega olarak pomza taşı ve kaba agrega olarak pomza taşının kullandığı tasarımlar sonucu elde edilen dokuzuncu esas seriyi ifade eder.

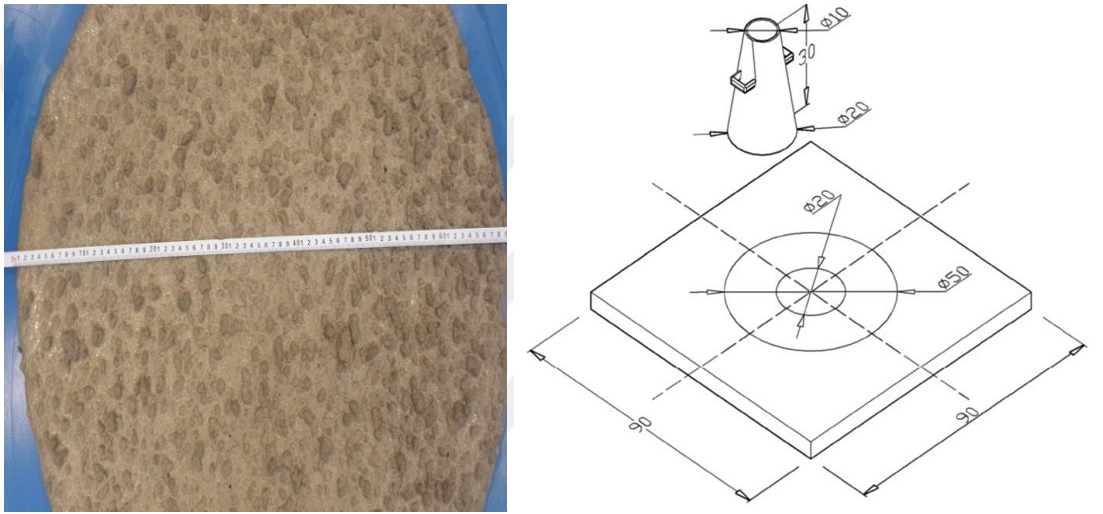
### **3.2.2. Taze Beton Deney Yöntemleri**

Tez çalışmasının tüm deneysel ve teknik çalışma kısmı Bitlis Eren Üniversitesi Yahya Eren İleri Araştırma Laboratuvarlarında yapılmıştır. Taze beton deneyleri, standartlarca KYB elde etmek için tasarlanan aparatlar ile yapılmıştır. Bu aparatlar ilgi TS ve EFNARC kriterleri kapsamında Bitlis-Tatvan sanayi sitesinde yaptırılmıştır. Bu çalışmada KYHB karışımları tasarlayabilmek için çökme-yayılma ( $T_{500}$  ve yayılma çapı), V-hunisi ve L-kutusu deneyleri yapılmıştır.

#### **3.2.2.1. Çökme-Yayılma Deneyi**

Deney için taban plakası düz çelik plakadan imal edilmiş, betonun üzerine yerleştirileceği yatay alanı en az  $900 \times 900$  mm olan tablo, akış zamanını kaydetmek için 0.1 saniye hassasiyetli bir kronometre, taban plakası yataylığını kontrol etmek için su düzeci, deney numunesini bir seferde taşıyabilmek ve aktarabilmek için kap, doldurma başlığı ve slump hunisine ihtiyaç vardır [103]. Pürüzsüz tabakanın merkezine Şekil 3.3’de görüldüğü gibi çapları 200 mm ve 500 mm olan daireler çizilir. Plaka ve koni temizlenir ve deneyden hemen önce, yüzeylerinde serbest su bulunmayacak şekilde rutubetlenir. Tabakada kuru yer kalmayacağı gibi su artığı da olmamalıdır. Temizlenmiş tabaka sabit ve dengeli bir şekilde düzçe kontrol edilerek yerleştirilir. Huni 200 mm’lik dairenin içerisine yerleştirilerek hazırlanmış olan 6-7 litrelik taze beton karışımı, standart şişleme yapılmadan, bir kap vasıtasıyla serbest düşürülerek doldurulur. Huninin hidrostatik basınç etkisiyle yukarı kalkmasını ve betonun sızmasını engellemek için

doldurma sırasında huniyi tabakaya doğru bastırmak gerekir. Huni 30 sn'den fazla bekletilmeden tabakaya dik olarak tek bir hareketle yukarı doğru yaklaşık 1sn ila 3 sn arasında kaldırılır.  $T_{500}$  değerini ölçmek için, huninin tabaka ile bağlantısının koptuğu anda kronometre başlatılır ve taze betonun 500 mm çaplı daireye ilk temas etmesine kadar geçen sürede çıkan değeri kaydedilir. Yayılma tamamlanıncaya kadar beklenir. Bu değer taze betonun akış hızını belirler ve plastik viskozite ile ilişkilendirilmektedir. 500 mm çapa yayılma süresi  $T_{500}$  olarak adlandırılır. Viskozitesi yüksek karışımlarda yayılmanın tamamlanması için birkaç dakika beklemek gerekebilir. Yayılma durunca birbirine dik iki çap ölçülerek deney tamamlanır. Bu çaplar arasındaki fark 5 cm'den fazla ise deney tekrarlanmalıdır [43,103].

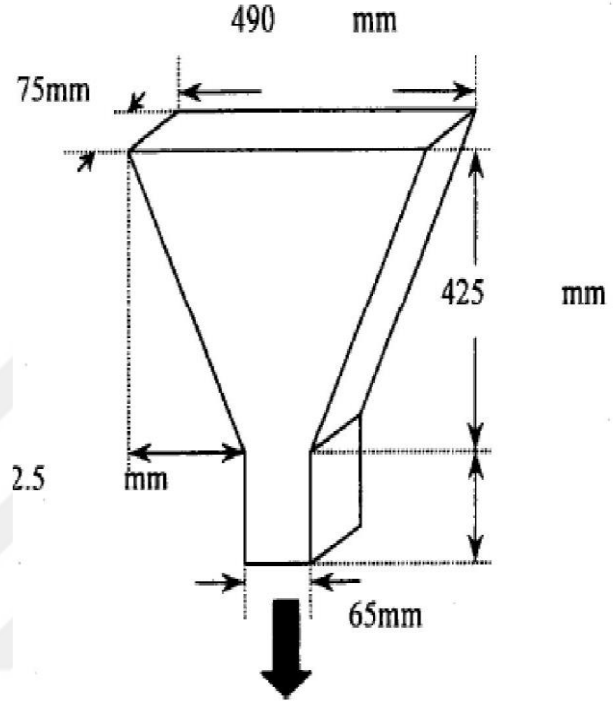


Şekil 3.3. Yayılma deneyin tipik tasarımı ve boyutları [54]

### 3.2.2.2. V-Hunisi Deneyi

Deney için V-hunisi, iç ölçüleri Şekil 3.4'da gösterildiği gibi olan, tabanına ani açılan pimli veya kayar sızdırmaz kapak monte edilmiş ve huni üst yüzeyi yatay olacak şekilde, kapaktan sonra huninin altına kap yerleştirilmeye müsait mesafe kalacak şekilde bir çerçeve üzerine oturtulan deney düzeneğine ihtiyaç vardır. Ayrıca, akış zamanını kaydetmek için 0.1 saniye hassasiyetli bir kronometreye ve huniden akan taze beton numuneyi toplamak için kaba ihtiyaç vardır. Deneye başlamadan önce, huni ve alt kapak temizlenir ve kapak içi de dahil olmak üzere, huni iç yüzeyinin tamamı rutubetlenir. Bu işlem sonrasında V-hunisinde kuru yer kalmayacağı gibi su artığı da olmamalıdır. Kapak kapatılır ve huni içerisine taze beton numunesi herhangi bir mekanik sıkıştırma veya zorlama olmaksızın tek bir seferde doldurulur. Ardından beton numunesinin üst yüzeyi düz bir çubuk ile düzeltilir ve böylece beton numunesinin üst yüzeyi ile

huninin üstünün aynı hizada olması sağlanır. Huninin taze betonla doldurulmasından ( $10 \pm 2$ ) sn sonra alt kapak hızlıca açılır ve kapağı açıldıktan sonra huninin üstünden aşağıya bakıldığında ilk olarak alttaki kap görünene kadarki betonun huniden kaba geçiş zamanını (tv) kronometre ile 0.1 saniye hassasiyetinde ölçülür. Burada tv, V-hunisi akma süresi olarak kaydedilir. [49].



Şekil 3.4. V-hunisi tipik tasarımı ve boyutları [38]

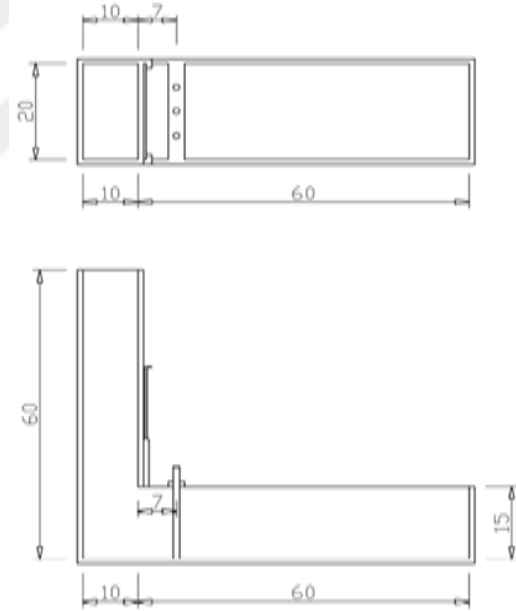
### 3.2.2.3. L-Kutusu Deneyi

L-kutusu düz ve yatay bir taban üzerine oturtulur, dikey ve yatay kısımlar arasındaki kapağı kapatılır. Beton numunesi kaptan L-kutusunun besleme gözüne dökülür ve  $60 \pm 10$  saniye kadar bekletilir. Ayırışma olursa not edilir ve daha sonra kapağı kaldırarak beton numunenin yatay kısma geçişi sağlanır. Betonun akması durduğunda L-kutusunun yatay kısmının en sonunda kutunun genişliği boyunca eşit aralıklarla üç noktada, betonun üst kısmı ile kutunun yatay kısmının üst kısmı arasındaki dikey mesafe ölçülür. Ardından kutunun yatay kısmının yüksekliği kullanılarak bu üç ölçüm ile betonun ortalama derinliği ( $H_2$  mm) hesaplanır. Aynı işlem takip edilerek kapağın hemen arkasındaki betonun ortalama yüksekliği de ( $H_1$  mm) ölçülür [104]. Bu işlemler sonucunda betonun geçme oranı (GO) aşağıdaki denklemle hesaplanır [43].

$$GO = H_2 / H_1 \quad (3.1)$$

Test aletleri;

1. L-kutusu: Şekil 3.5'deki genel düzeneğe ve boyutlara (tolerans  $\pm 1$  mm ) göre hazırlanmış olmalıdır. L-kutusu rijit olacak şekilde hazırlanmalı, yüzeyleri düz, pürüzsüz, çimento harcı ile reaksiyona girmeyecek ve paslanmaya uğramayacak şekilde olmalıdır. Dikey kazan temizlik kolaylığı için kaldırılabilir olmalıdır. Kapı kapandığında dikey kazanın hacmi en üst seviyeye kadar doldurulduğunda 12.6-12.8 litre olmalıdır. Donatıyı tutan düzenekte, iki çubuklu deney için 55 mm aralıklı 12 mm çapında 2 adet düzgün çubuk ve üç çubuklu deney için 12 mm çapında 41 mm aralıklı 3 adet düzgün yüzeyli çubuk kullanılır. Bu donatıların L-kutusunda yerleri değiştirilebilir olmalı ve L-kutusunda kutu içerisinde dikey ve yatay olarak eşit uzaklıklarda yerleştirilmelidir.
2. Cetvel: 0 mm' den 300 mm' ye kadar her 1 mm' de bir işaretlenmiş metal cetvel.
3. Kap: Numuneyi tutmak için hacmi 14 litreden az olmayan bir kap



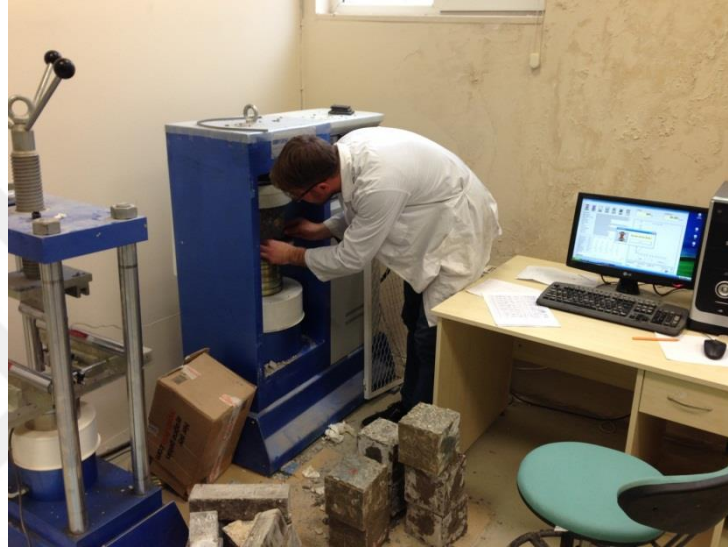
Şekil 3.5. L-kutusunun tipik tasarımı ve boyutları [38]

### 3.2.3. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesinde Uygulanan Deneyler

#### 3.2.3.1. Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı deneyi 150x150x150 mm ölçülerindeki küp numuneler üzerinde 3, 7, 14, 28, 56, 90 ve 150 günlük su kürü sonrasında ve yapılan durabilete deneyleri sonrasında

uygulanmıştır. Her bir KYHB serisinden 3'er adet numune basınç deneyine tabi tutulmuştur. Numunelere basınç dayanımı deneyi TS EN 12390-3 [105] standardındaki hususlar dikkate alınarak uygulanmıştır. Basınç dayanımı deneyinin uygulanmasında 3000 kN yükleme kapasiteli hidrolik yüklemeli, bilgisayar kontrollü otomatik pres kullanılmıştır. Basınç deneyi sonrasında kırımı gerçekleştirilen her bir numuneye ait bilgiler özenle deney föylerine işlenerek, bu bilgiler ışığında sonuç grafikleri oluşturulmuştur. Basınç deneylerinin uygulandığı pres Şekil 3.6'de sunulmuştur.



Şekil 3.6. Yük kontrollü pres

### 3.2.3.2. Çekme Dayanımı Deneyi

Tez çalışmasında üretilen beton serilerinden, sadece 3 beton E4, E8 ve E9 serisinde eğilmede çekme deneyi uygulanmıştır. Bu serilerin seçilmesinin sebebi, daha önce de belirtildiği üzere, tasarımlar sırasında en iyi performansı sergileyen seriler olmasıdır. Uygulanan çekme dayanımı deneyleri ise 75x75x300 mm ebatlarındaki prizmatik kiriş numuneler üzerinde uygulanan 3 noktalı eğilmede çekme deneyidir. Eğilmede çekme dayanımı deney aletine ilişkin düzenek Şekil 3.7'de sergilenmiştir. Basınç dayanımı deneyinde olduğu gibi çekme dayanımı deneylerinde de her bir seriden 3'er adet deney numunesi 3, 7, 14, 28, 56, 90 ve 150 günlük su kürü sonrasında belirtilen çekme deneyine tabi tutulmuştur. Test edilen numunelere dair bilgiler deney föylerine işlenerek sonuç grafikleri oluşturulmuştur.



Şekil 3.7. Yük kontrollü eğilmede çekme deney aleti

### 3.2.3.3. Kuru Birim Ağırlık Tayini Yöntemi

Beton numunelerin birim ağırlıkları, her grup için 28, 90 ve 150 günde belirlenmiştir. Numuneler etüvde  $105\pm 5^{\circ}\text{C}$  de değişmez ağırlığa kadar kurularak kuru birim ağırlıkları tespit edilmiştir. Numunelerin kuru birim ağırlığı aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmıştır.

$$KB = WK/V \quad (3.2)$$

Burada;

KB= Numunenin kuru birim ağırlığı ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

WK= numunenin 24 saat  $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de kurutulmuş ağırlığı (kg)

V= Numunenin hacmi ( $\text{m}^3$ )

### 3.2.3.4 Ultrasonik Ses Geçirgenlik Hızı Tayini Deneyi

Üretilen beton serilerinin ultrasonik ses geçirgenlik (USG) hızını belirlemede Pundit cihazı kullanılmıştır. Bu alet kullanılarak, ses dalgasının numunenin düzgün bir yüzeyinden, karşılıklı olarak diğer yüzeyine geçiş süresi tespit edilerek kaydedilmiştir. Ses dalgasının geçiş esnasında kat ettiği mesafe kaydedilen süreye oranlanarak USG hızı (3.3) denklemi ile bulunmuştur [106].

$$V = (S/t) 10^6 \quad (3.3)$$

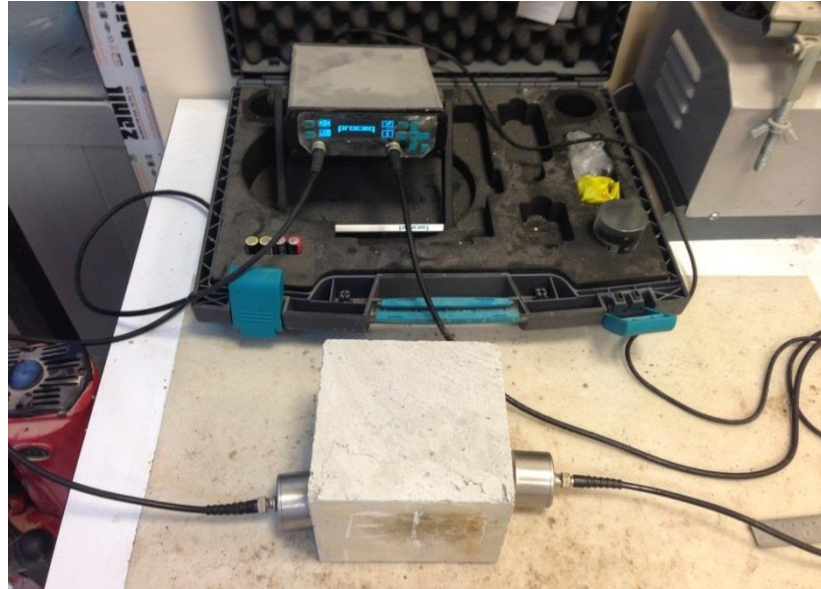
Burada;

V = Dalga hızı (metre/saniye),

S= Beton bloğun ses-üstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe (m),

t = Dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden, alındığı yüzeye kadar geçen zamandır. (sn),

Tez çalışmasında USG hızı tayini için 100x100 mm ve 150x150 mm ebatlarındaki küp numuneler kullanılmıştır. Küp numunelere 3, 7, 14, 28, 56, 90 ve 150 günlük su kürü sonrasında USG hızı tayini deneyi uygulanmıştır. Su kürü sonrasında uygulanan her deneyde olduğu gibi bu deneyde de numuneler deney öncesinde 1 saat bekletilerek yüzeylerinin kuruması ve bekletme neticesinde tüm deney numunelerinin su kürü sonrası durumlarının bir ölçüde standardize edilerek, deney sonuçlarının değişik nem içeriğinden etkilenmemesi sağlanmıştır. Bu bekleme süresi sonrasında deney numunelerinin yüzeyleri olası toz, kir, çapak ve benzerlerinden arındırılarak Pundit dalga verici ve alıcı uçlarının beton yüzeylerine tam teması sağlanmıştır. Bu şekilde deneye hazırlanan beton numunelerin düzgün 4 yüzeyinden karşılıklı olarak 2 okuma yapılmış ve bu 2 değerın ortalaması alınarak deney föylerine işlenmiştir. Bu bilgiler ışığında USG hızı tayinine dair sonuç grafikleri oluşturulmuştur.



Şekil 3.8. USG Hızı Tayini deney aleti

### 3.2.4. Durabilite Özelliklerinin Belirlenmesinde Uygulanan Deneyler

#### 3.2.4.1. Rölatif Porozite Deneyi

Rölatif porozite deneyi 100x100x100 mm ölçülerindeki küp numuneler üzerinde uygulanmıştır. Rölatif porozite deneyi, mekanik dayanım deneyleri uygulanan numuneler hakkında fiziki bilgi edinebilmek, porozitenin deney sonuçlarını ne ölçüde etkilediğini gözlemleyebilmek ve durabilite deneyleri sonucunda porozitedeki değişimleri gözleyip bu değişimin oluşturduğu etkileri saptayabilmek için çalışma kapsamına alınmıştır. Rölatif porozite (3.4) denklemi ile bulunmuştur.

$$Pr = \frac{W_{dyk} - W_k}{W_{dyk} - W_s} \quad (3.4)$$

Burada;

Pr: Rölatif porozite (%),

Ws: Numunenin su içindeki ağırlığı (kg),

Wk: Numunenin etüv kurusu ağırlığı (kg),

Wdyk: Numunenin doymun yüzey kuru ağırlığıdır (kg).

Rölatif porozite deneyi için hazırlanan deney düzeneği Şekil 3.9'de sunulmuştur.



Şekil 3.9. Rölatif porozite deney düzeneği (Arşimet terazisi)

#### 3.2.4.2. Yüksek Sıcaklık Deneyi

Yüksek sıcaklık, yangın direnci ve benzeri isimlerle literatürde isimlendirilen bu durabilite deneyi birçok araştırmacı tarafından ele alınmış ve incelenmiştir. Yapılan çoğu çalışmada beton numuneler üzerinde, farklı sıcaklıklar ve farklı uygulama süreleri denenmiş ve bu uygulamaların daha çok basınç dayanımı üzerindeki etkileri irdelenmiştir [5-6]. Literatürde yapılan bu tür araştırmalardan farklı olarak bu tez çalışmasında, 6 farklı sıcaklık ( $23\pm 2$ , 200, 400, 600, 800, 1000) derecesinde 1 saat süre ile sıcaklık deneyine tabi tutulan KYHB numuneleri üzerinde basınç ve USG hızı tayini deneyleri uygulanmıştır. Ancak, belirtilen pik sıcaklık derecelerine ulaşma süresi 3 saat olarak belirlenmiştir. Yüksek sıcaklık deneyi için Şekil 3.10'da sunulan otomatik ısı kontrollü fırın kullanılmıştır. Isınma hızı  $6^{\circ}\text{C}/\text{dakika}$ ,  $1200^{\circ}\text{C}$  limit sıcaklık kapasitesi gibi teknik özelliklere sahip olan laboratuvar tipi bu fırınla, ısınma hızını, numunenin bekletileceği limit sıcaklık derecesini, bekleme süresini otomatik olarak ayarlama imkanı vardır. Deney sonunda alet yine otomatik olarak durmakta ve soğuma moduna geçmektedir. Bu kullanım koşulları altında uygulanan yüksek sıcaklık deneyi sonrasında deney numuneleri, fırının iç sıcaklığı numuneleri çıkarmaya elverişli dereceye düştüğünde, fırından çıkarılarak oda

sıcaklığına soğutması beklenmiştir. Yüksek sıcaklık deneyinde 100x100x100 mm ölçülerinde küp numuneler kullanılmıştır.



**Şekil 3.10.** Yüksek sıcaklık deneyinde kullanılan laboratuvar tipi yüksek sıcaklık fırını

#### **3.2.4.3. Donma-Çözünme Deneyi**

Donma-çözünme deneyinde Şekil 3.11’de sunulan alet kullanılmıştır. Deney numunesi olarak 100x100x100 mm ölçülerinde küp numuneler kullanılmıştır. Deney standartlarda verilen döngü şartlarına uygun olarak ve tüm beton serileri için aynı şartlar uygulanarak gerçekleştirilmiştir [107]. Donma-çözünme döngüleri, sıcaklığın öncelikle 120 dakikada 0°C’ye düşürülmesi, 120 dakika 0°C’de bekletilmesi, 600 dakika süre aralığında -15°C’ye düşürülmesi, 120 dakika -15°C’de bekletilmesi ve 480 dakika süre aralığında +20°C’ye yükseltilmesi ile toplamda 24 saat olacak şekilde ayarlanmış ve bu döngü 50 kez (50 gün) tekrarlanmıştır [100]. 50 donma-çözünme döngüsü sonunda numuneler üzerinde basınç dayanımı, USG hızı tayini ve rölatif porozite tayini deneyleri uygulanarak sonuçlar irdelenmiştir.



**Şekil 3.11.** Donma-çözünme deneyinde kullanılan deney aleti

#### **3.2.4.4. Asit dayanıklılığı deneyi**

Asit dayanıklılık deneyi için 100x100x100 mm ölçülerinde küp numuneler kullanılmıştır. Asit dayanıklılık deneyine tabi tutulacak numuneler üzerinde bu deneye tabi tutulmadan önce deney sonrası karşılaştırma amaçlı USG hızı tayini ve rölatif porozite tayini gibi bazı ön testler uygulanmıştır. Deneyde sülfirik asit kullanılmıştır. Sülfirik asit ile Ph derecesi 3 olarak hazırlanan çözelti Şekil 3.12’de görüldüğü gibi plastik leğenlere doldurularak, küp numuneler çözelti içine özenle yerleştirilmiş ve laboratuvar koşullarında 50 gün bekletilmiştir. Ph derecesinin 3 seçilmesinin sebebi asit yağmurlarının ve endüstriyel asit çözeltisi atıklarının Ph derecesine simüle edebilmek içindir. 50 günün sonunda leğenlerden numuneler çıkarılmış, Şekil 3.13’da görüldüğü gibi beton numunelerin yüzeylerinde herhangi bir aşınmanın olmadığı, sadece orta kısım bölgelerinde hafif pullanmalar gözlemlenmiştir. Tüm deney numuneleri yıkayıp dinlendirildikten sonra, diğer deneylerle benzer koşullar altında basınç dayanımı, USG hızı tayini ve rölatif porozite tayini deneylerine tabi tutulmuşlardır.



Şekil 3.12. Asit dayanıklılık deneyi düzeneği



Şekil 3.13. Asit dayanıklılığı testi sonrası çıkarılan numune

#### 3.2.4.5. Islanma-Kuruma Deneyi

Islanma-kuruma deneyi için 100x100x100 mm ölçülerinde küp numuneler kullanılmıştır. Uygulanan ıslanma-kuruma deneyinde numuneler için öncelikle 2 tane plastik leğen hazırlanarak ilkinde % 3 tuz konsantrasyonunda tuzlu su çözeltisi ikinci leğene ise Van gölü suyu doldurularak düzenek hazırlanmıştır. Islanma-kuruma deneyine tabi tutulacak numuneler üzerinde bu deneye tabi tutulmadan önce deney sonrası karşılaştırma amaçlı USG hızı tayini ve rölatif porozite tayini gibi bazı ön testler uygulanmıştır. Daha sonra bu numuneler Şekil 3.14’de sunulan ısı ayarlı otomatik etüv yardımı ile fırın kurusu hale getirilmiş ve laboratuvar ortamında soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan numuneler hazırlanan tuzlu su çözeltisi ve Van gölü suyu içine yerleştirilerek numunelerin tuzlu suya ve Van gölü suyuna doymun hale gelmesi sağlanmıştır. Bu

hali ile numuneler 45°C sıcaklıktaki fırına yerleştirilerek ıslanma-kuruma çevriminin başlaması sağlanmıştır. Numuneler bu şekilde 6 saat fırın içerisinde kurumaya bırakılmış, sonrasında 1 saat laboratuvar ortamında soğumaya alınmıştır. Daha sonra soğuyan numuneler 4 saat tuzlu su çözeltisi ve Van gölü suyuna yerleştirilerek ıslanma etkisine bırakılmıştır. Bu şekilde ıslanma-kuruma deneyi 50 çevrim tekrarlanmıştır. 50 çevrim uygulanan bazı deney numuneleri Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'de sunulmaktadır. Bu çevrim sonrasında serilerde meydana gelen bozulmalar kaydedilmiş ve numuneler üzerinde mekanik deneyler uygulanmıştır. Elde edilen veriler laboratuvar şartlarında aynı süre boyunca bekletilen numunelerden elde edilen sonuçlarla kıyaslanarak bulgular kaydedilmiştir.



**Şekil 3.14.** Islanma-kuruma deneyinde kullanılan otomatik kontrollü etüv



**Şekil 3.15.** Tuzlu suda Islanma-kuruma deneyine tabi tutulan bazı numunelerin görünümü



**Şekil 3.16.** Van Gölü suyunda Islanma-kuruma deneyi sonrası bazı numunelerin görünümü

#### **4. BULGULAR**

Bu bölümde, tasarlanan 9 farklı karışımın taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Deney sonuçları ve değerlendirmeler, taze beton, dayanım ve dayanıklılık ana başlıkları altında incelenmiştir.

##### **4.1. Taze Beton Özelliklerinin İncelenmesi**

Deneme karışımları sonucu, taze beton özellikleri belirlenen 9 adet KYHB karışımının taze beton özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

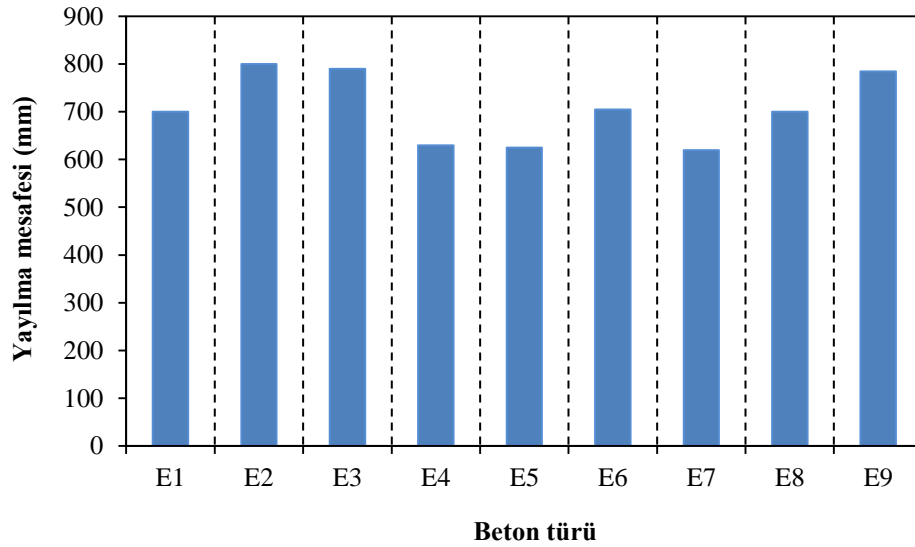
**Çizelge 4.1.** KYHB serilerinin taze beton özellikleri

Beton Karışımları	Çökme-Yayılma Çapı (mm)	Çökme-Yayılma Süresi T <sub>500</sub> (sn)	V-Hunisi (sn)	L-Kutusu (H2/H1)	Bet. Sıc. - Ortam Sıc. Farkı (°C)	Taze Bet. BHA (kg/m <sup>3</sup> )
E1	700	1.92	4.90	0.81	1.9	1910
E2	800	0.75	4.21	0.85	3.4	1930
E3	790	1.2	7.39	0.99	2.9	1827
E4	630	1.23	6.32	0.87	3.5	1820
E5	625	3.10	7.81	0.80	3.8	1814
E6	705	3.02	8.34	0.93	4.4	1860
E7	620	2.85	5.26	0.81	2.1	1565
E8	700	2.65	6.24	0.83	4.8	1433
E9	785	1.08	5.65	0.84	3.8	1571

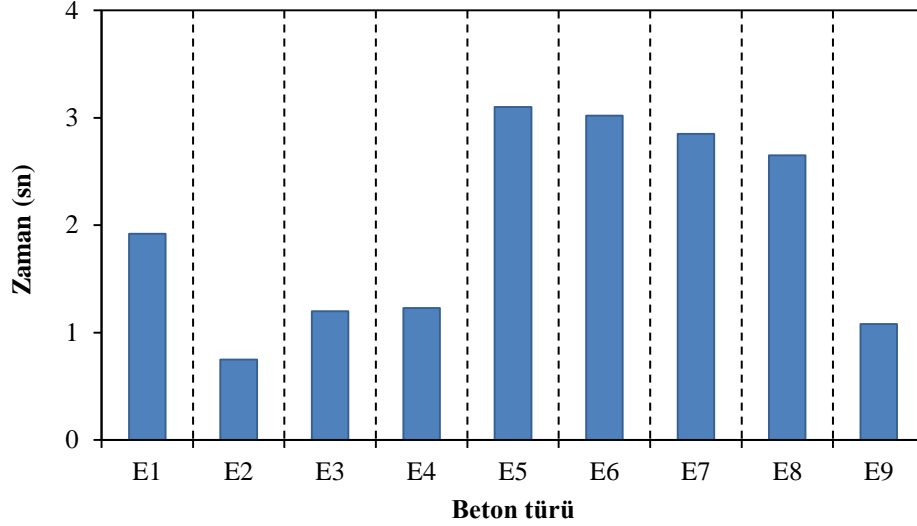
Çizelge 4.1’de, bütün karışımların taze beton deney sonuçları görülmektedir. Beton dökümleri, ortam sıcaklığının taze beton deneyleri üzerine olumsuz etkisini en aza indirmek amacıyla aynı mevsim koşulları içinde dökülerek ortam sıcaklık değerlerinin farklılık göstermesi engellenmeye çalışılmıştır.

Genel olarak Çizelge 4.1’de incelendiğinde, tasarlanan 9 beton serisinde KYB özelliği sergilediği ve taze birim hacim ağırlıklarının (BHA) da 2000 kg/m<sup>3</sup>’ten az olması sebebi ile tez çalışmasının amaçları doğrultusunda hafiflik avantajında kazandırılmış olduğu görülür. Böylelikle tez çalışmasının genel hedeflerden biri olan KYHB tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar kendi içinde değerlendirildiğinde, çökme-yayılma çapının 620 mm ile 800 mm arasında değiştiği, çökme-yayılma süresinin ise 0.75 sn ile 3.10 sn arasında değiştiği görülmektedir. Bu sonuçlar bize, E4, E5 ve E7 nolu beton karışımları EFNARC [38]’ın taze beton deneylerinde yaptığı sınıflandırmaya göre, çökme-yayılma çapı için SF1 içinde olduğunu E1, E6 ve E8 nolu beton serilerinin SF2 sınıfı ve E2, E3, E9 nolu beton karışım serilerinin ise SF3 içinde olduğunu göstermektedir. Çizelge 4.1 de görüldüğü gibi, E2 nolu seri tasarlanan diğer serilere göre daha uzun yayılma çapı uzunluğuna daha kısa sürede ulaşabilmekte ve işlenebilirliği daha iyi bir beton görüntüsü vermektedir. Ancak BT katkılı KYHB’ların taze haldeyken segregasyona çok daha meyilli olduğu tasarım çalışmalarında dikkati çekmiştir. Yani agregası ile BT katkılı harç fazının birbirine kohezyonunun zayıf olduğu ve bu sebeple daha fazla akıcı olduğu söylenebilir. KYB’nin yayılma ve yerleşme özelliğinin ağırlığınca sağlandığı bilindiğinden, yoğunluğun artmasıyla yayılma ve yerleşme özelliklerinin de artması, beklenen sonuç olmuştur. Çizelge 4.1

incelendiğinde genel olarak kullanılan mineralojik katkı azaltıldığında ve bununla birlikte çimento oranı artırıldığında yayılma çapı ve hızında artış gösterdiği görülmektedir. Bu genellemeyi diğer karakteristik KYB testleri içinde geçerli olduğu Çizelge 4.1’den anlaşılabilir. Akma hızının test edildiği V-hunisi deneyinde de en iyi sonucu BT katkıli seriler verirken, 2. sırada UK katkıli seriler ve son sırada ise PT katkıli seriler sergilemiştir. L-kutusu deneyinde katkı miktarı ve çimento dozajına göre seriler kendi içinde değerlendirildiğinde ise yine 400 dozlu çimento içerikli serilerin daha iyi sonuçlar verdiği aşikârdır. Bu testlerde UK ve PT katkıli KYHB seriler birbirine nispetten yakın sonuçlar vermiştir. Bu durumun mukavemet değerlerinde yansımış olduğu ileriki bölümlerde görülmektedir. UK katkıli kullanılan E3 numunesi BT katkıli E2 numunesi ile karşılaştırıldığında uçucu kül içeren seride yapışma kabiliyeti daha fazla ve kohezyonuda artırdığını dolayısıyla E2 barit tozlu karışım içerisinde ham kalan bir malzeme olduğu görülmektedir. Barit tozunun puzolanik özelliği fazla olmayan malzemedir. Dolayısıyla yapışma kabiliyeti taze haldeyken uçucu külün daha fazla iken akması da yapışkan çamur şekline benzer olduğu gözlenmiştir. Çizelge 4.1’de sıcaklık farklarını incelendiğinde, tasarlanan betonlarda çimento dozajı artırılmasıyla hidrasyon ısı artmış aynı zamanda PT kullanıldığı karışımlarda en yüksek sıcaklık farkı elde edilirken en düşük sıcaklıklar BT içerikli karışımlardan elde edilmiştir. Çizelgedeki değerlere ait grafikler aşağıda verilmiştir.

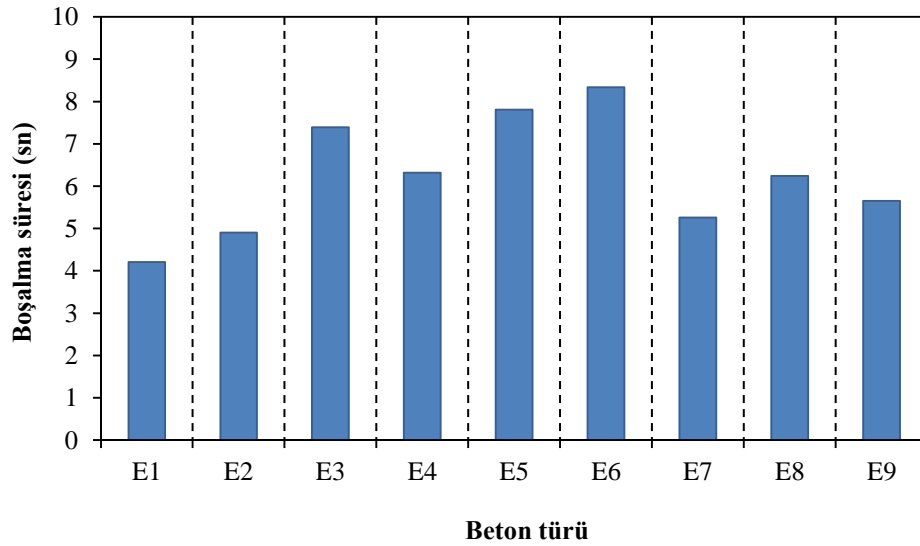


**Sekil 4.1.** Tasarlanan KYHB serilerinin çökme-yayılma deney sonuçları



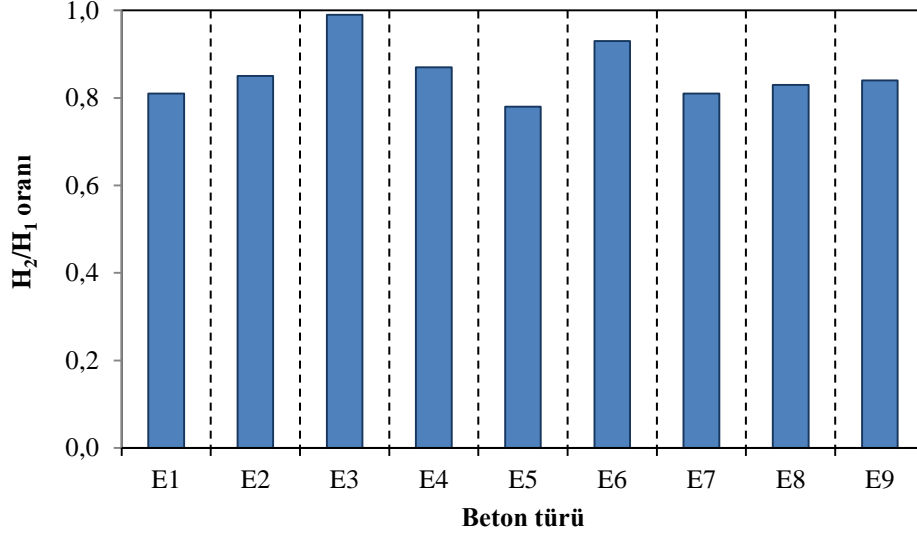
**Şekil 4.2.** Tasarlanan KYHB serilerinin 500 mm çapa yayılma süreleri

KYHB'un viskozitesi ve geçiş yeteneği hakkında fikir edinmek amaçlı yapılan V-Hunisi deneyinde ilk akış sürelerine bakıldığında en hızlı akıcılık gösteren beton E1, en yavaş akıcılık gösteren ise E6 betonu olmuştur. Sonuçlar göstermiştir ki EFNARC [38] tarafından hazırlanan viskozite sınıfına göre, tüm tasarlanan beton serilerinin VS1/VF1 sınıfında olduğu gözlenmiştir.



**Şekil 4.3.** Tasarlanan KYHB serilerinin V-Hunisi deneyindeki akma süreleri

Taze betonun geçiş yeteneğinin ve ayrışmaya karşı direncinin gözlemlenmesini kapsayan L-Kutusu deneyinde, EFNARC [38] tarafından hazırlanan kriterlere göre, tüm KYHB serilerinin PA2 sınıfında yer aldığı gözlenmiştir.



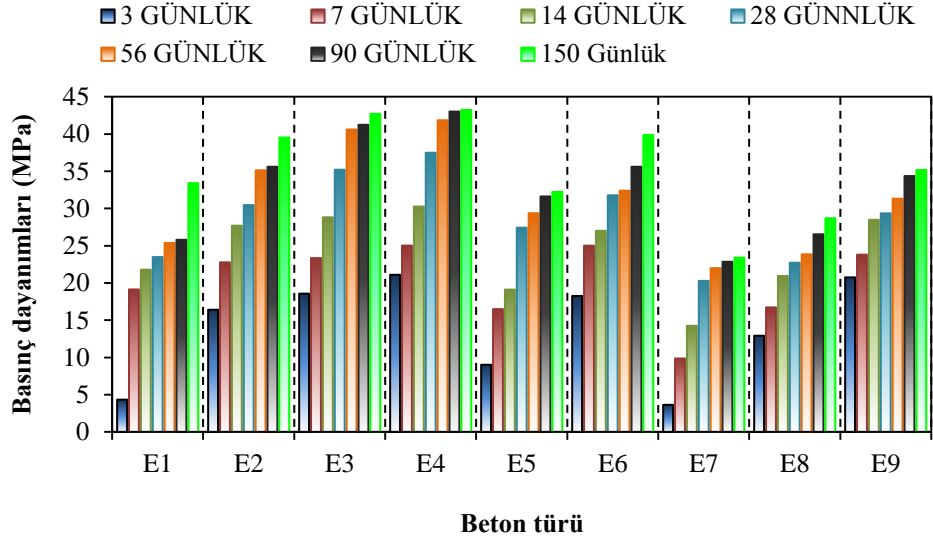
**Şekil 4.4.** Tasarlanan KYHB serilerinin L-kutusu deneyindeki H<sub>2</sub>/H<sub>1</sub> oranı

## 4.2 Mekanik Özelliklerin İncelenmesi

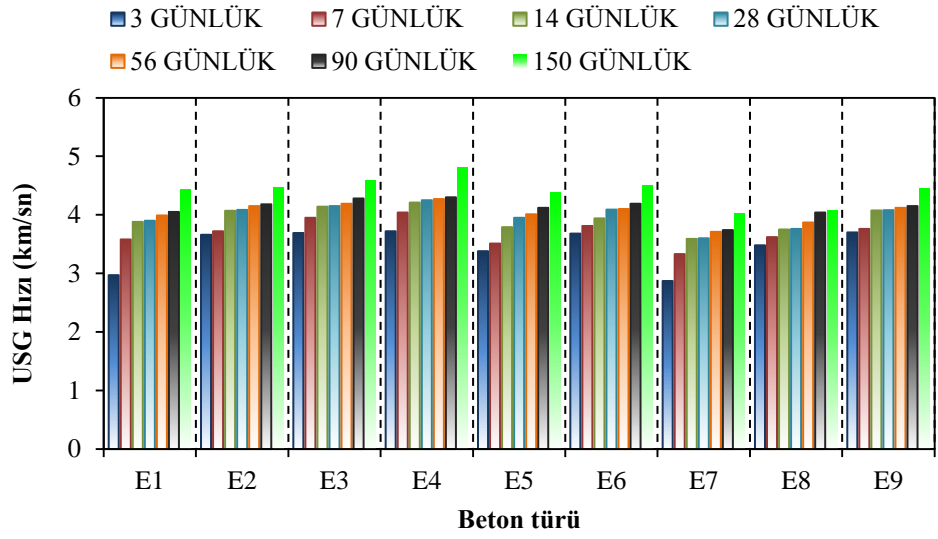
Sertleşmiş beton üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar deney türüne göre aşağıdaki şekilde verilmiştir.

### 4.2.1. Basınç Dayanımı Deneyi

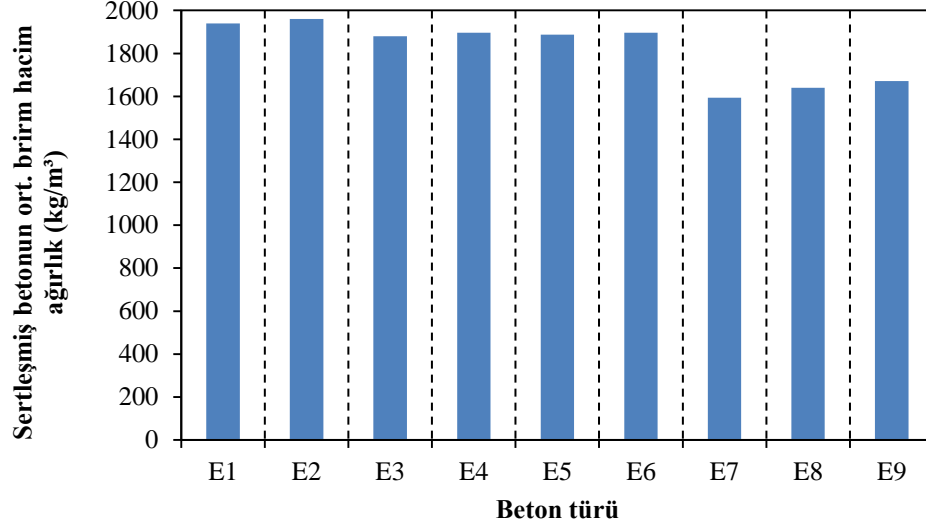
Karışımların ilerleyen kür yaşlardaki basınç dayanım değerleri, USG hızı ve beton karışım örneklerinin sertleştikten sonraki suya doymun ortalama birim hacim ağırlıkları aşağıdaki Şekil 4.5-14'de verilmiştir. Beton örnekleri kalıplardan çıkarıldıktan sonra dayanım değerlerinin saptanacağı yaşlara kadar kür havuzunda bekletilmişlerdir. Tasarlanan KYHB serileri 3, 7, 14, 28 gün standart su kürü sonrasında erken yaş mukavemetlerini değerlendirmek için; 56, 90 ve 150 gün su kürü sonrasında ise ileri yaş mukavemetlerini değerlendirmek için basınç mukavemeti deneyine tabi tutulmuşlardır. USG hızı tayini deneyi ise basınç mukavemeti deneylerinin tahribatsız olarak bir teyidi hükmünde aynı kür yaşlarda gerçekleştirilmiştir. Bu gözlem başlığı altında sertleşmiş beton ortalama (suya doymun halde) birim hacim ağırlıklarının verilmesinin sebebi ise, tasarlanan KYHB serilerinin suya doymun halde bile 2000 kg/m<sup>3</sup>' ten aşağı olduğu belirtmek ve elde edilen mukavemet değerlerinin birim ağırlığında kıyaslanmasını sağlamak içindir.



Şekil 4.5. Beton türlerinin yaşlara göre basınç dayanımları



Şekil 4.6. Beton türlerinin yaşlara göre USG hızı



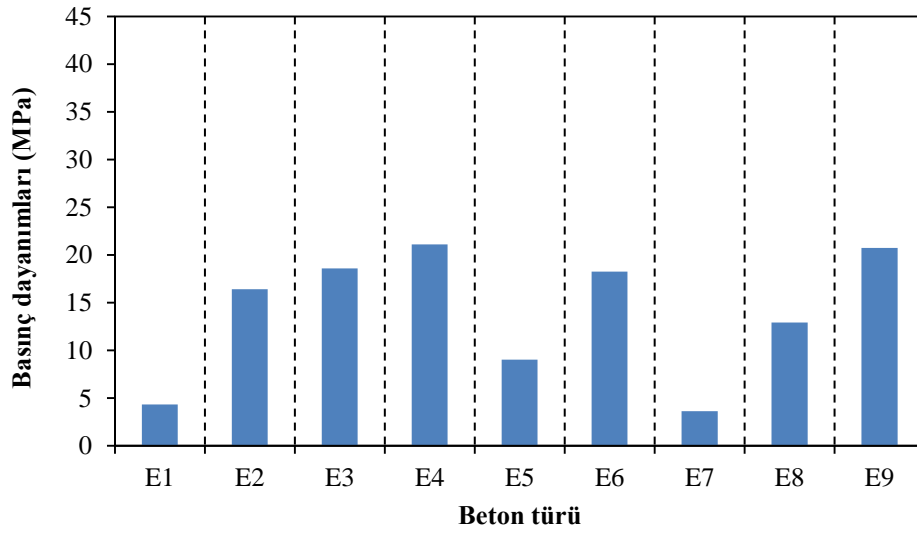
**Şekil 4.7.** Sertleşmiş KYHB serilerinin ortalama suya doymuş birim hacim ağırlık değerleri

3 gün sonunda yapılan basınç mukavemeti deneylerine göre en yüksek basınç dayanım değerine E4 (21.10 MPa) serisinde ulaşılmıştır. En düşük değer ise E7 (3.64 MPa) serisinde görülmüştür. E4 kodlu KYHB serisi 400 dozlu çimento içermesi ve ince agrega olarak nehir kumu kullanılmasından dolayı en yüksek sonucun elde edilmesi normaldir. Benzer şekilde E7 serisi 350 dozlu çimento ve ince agrega olarak pomza taşı agregası içermesi sebebiyle en düşük mukavemeti vermesi normaldir. Ancak burada daha çok dikkati çeken sonuç, benzer çimento içerikli olan farklı toz katkı içeriğine sahip olan E6 serisinde ilk yaşlarda yaklaşık 20 MPa basınç mukavemeti vermiş olmasıdır. Daha çarpıcı olarak grafiğe yansıyan sonuç ise tüm agrega içeriği pomza taşı olan ve UK toz katkısının kullanıldığı E9 serisidir. Şekil 4.8'den de anlaşılacağı üzere E9 serisi ile E4 serisinin bu yaştaki mukavemetine neredeyse eşdeğer bir mukavemet değeri sergilemiştir.

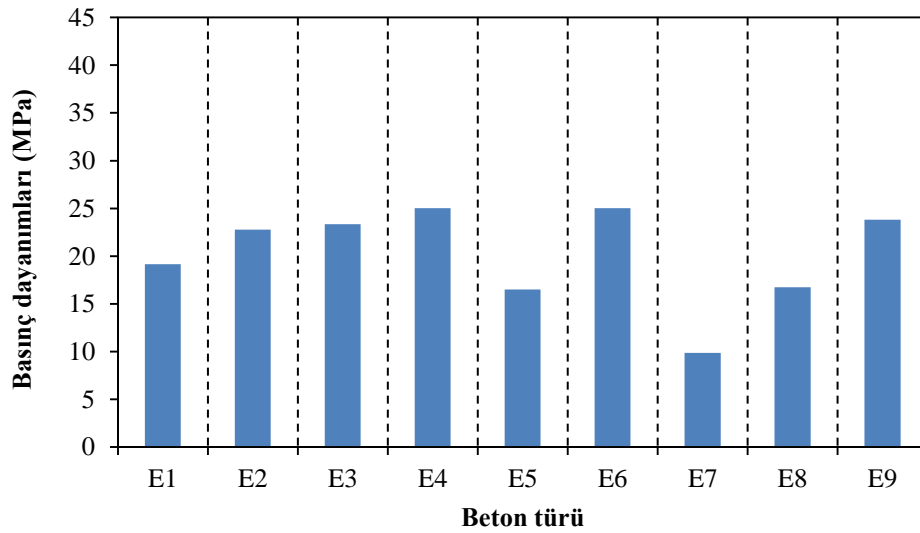
Şekil 4.8-10 birlikte incelendiğinde sonuçlar arasındaki değerlendirilmenin yine benzer şekilde olduğu görülür. Bu grafikler toz katkı içeriğine göre değerlendirdiğinde ince agregası nehir kumu olan BT ve PT katkı içerikli serilerin benzer mukavemet davranışları gösterdiği ve UK katkılı serisinin en iyi mukavemet sonuçlarını sergilediği görülür. İnce agregası pomza taşı olan serilerde ise yine en iyi mukavemeti UK katkılı seri verilmiştir. 28 günlük standart kür süresi sonrası basınç mukavemetinin verildiği Şekil 4.11 incelendiğinde en düşük basınç mukavemeti değeri E7 (22.00 MPa) serisinde en yüksek basınç mukavemeti değeri ise E4 (38.45 MPa) serisinde elde edildiği görülmektedir. Burada en çok dikkati çeken sonuç ise E7 serisinin sergilemiş olduğu mukavemet değeridir. 350 dozlu olan PT katkısının ve agrega olarak tamamen pomza taşını kullandığı bu seri dahi 28 gün kür sonrasında literatürde ve standart belirtilen

taşıyıcı hafif beton silindirik basınç mukavemeti sınır değeri olan 17 MPa' yı geçmiştir. E4 serisinden ise C30-C35 arası (38.45 MPa) bir standart silindirik mukavemet değerinin elde edildiği görülmektedir.

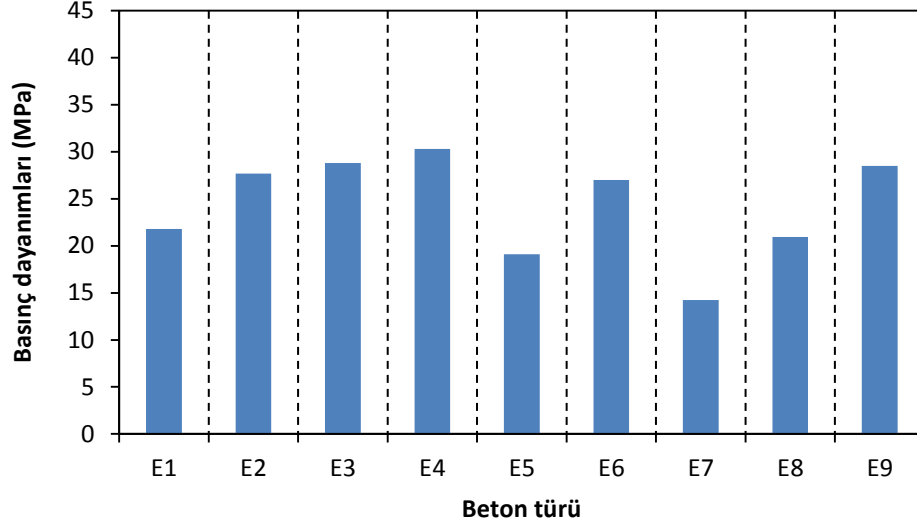
Nispetten ileri yaş mukavemetlerinin sergilediği Şekil 4.12-14 birlikte incelendiğinde 56 ve 90 günlük yaşlarda mukavemet artışı kayda değer nispetten artış gösterirken 150 günlük kür sonrasında basınç mukavemetinin artışının küçük farklılıklar ile grafiklere yansıdığı görülmektedir. Bu durum ise karışıma eklenen toz katkılarının 56 ve 90 gün ile aktive olduklarını gösterirken daha ileri yaşlarda mukavemet belirgin bir etkisinin olmadığını göstermektedir.



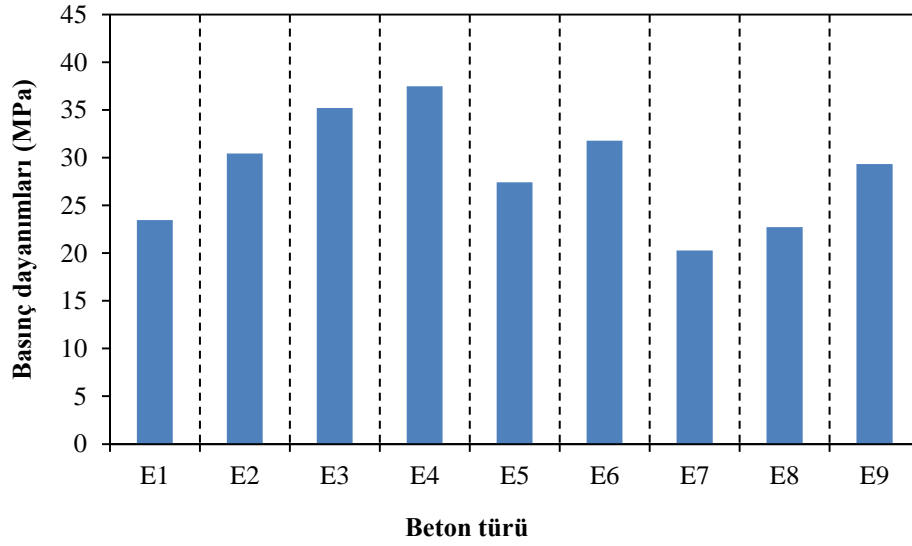
**Şekil 4.8.** Küp örneklerin 3 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması



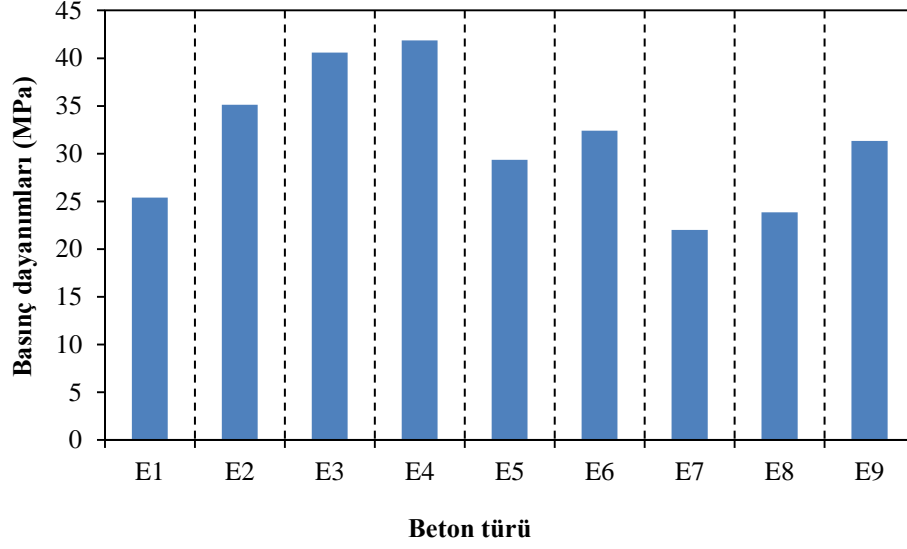
**Şekil 4.9.** Küp örneklerin 7 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması



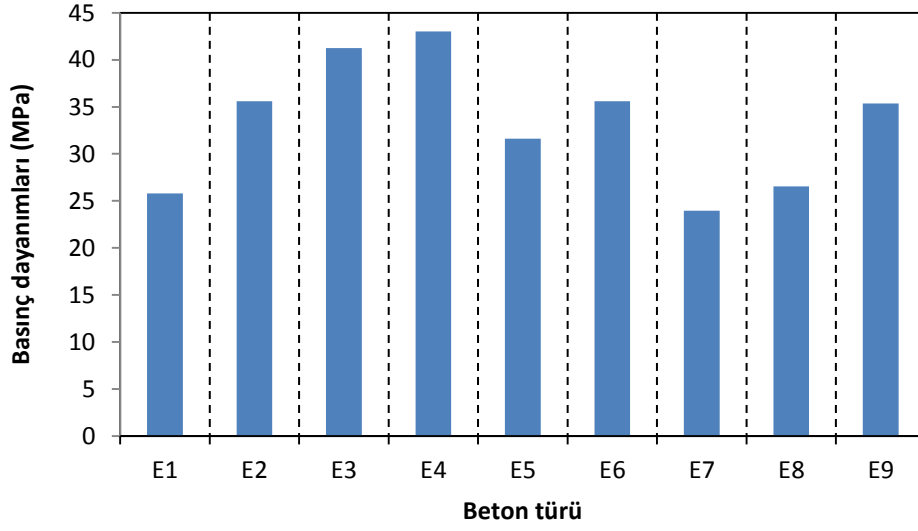
**Sekil 4.10.** Küp örneklerin 14 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması



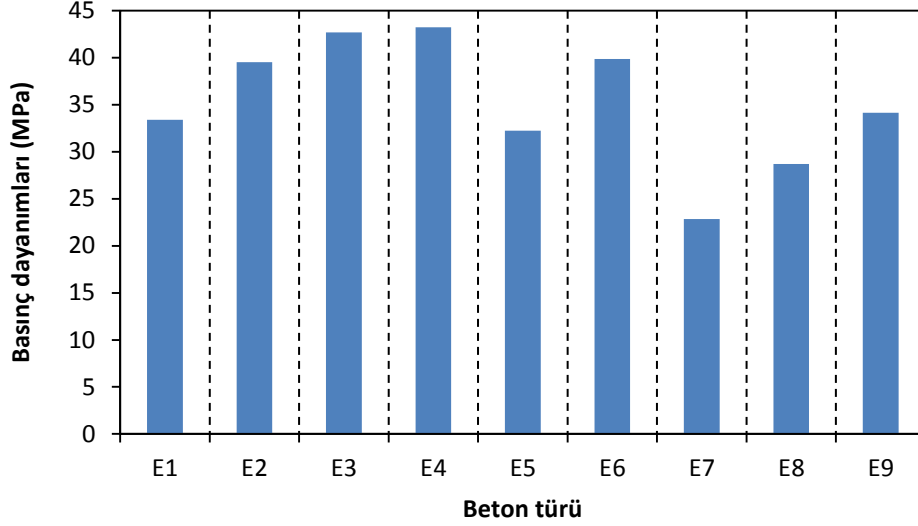
**Sekil 4.11.** Küp örneklerin 28 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması



**Sekil 4.12.** Küp örneklerin 56 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması



**Sekil 4.13.** Küp örneklerin 90 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması



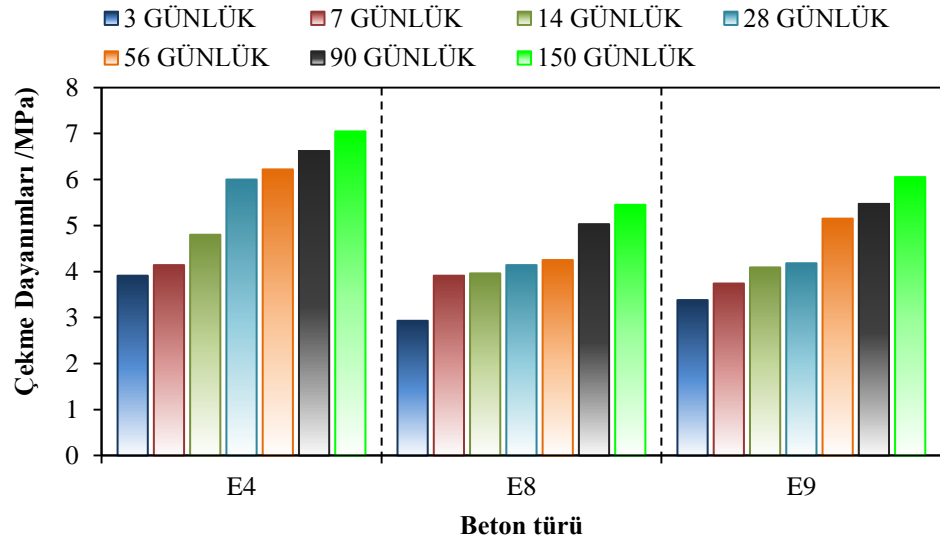
**Sekil 6.14.** Küp örneklerin 150 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması

USG hızı yönünden sonuçlar değerlendirdiğinde ise sonuçların büyük oranda basınç mukavemeti deney sonuçlarını teyit ettiği anlaşılmaktadır. Şekillerde görüldüğü gibi, çimento yerine belli oranlarda UK ihtiva eden karışıma ait numunelerin basınç mukavemeti değerleri ve USG hızları diğer KYHB karışımlarından elde edilen değerlere göre daha yüksek elde edilmiştir. İnce dere kumu kullanılan serilerde USG hızının ve basınç mukavemeti değerinin daha yüksek sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bu durum yoğunluğu daha fazla ve boşluk oranı daha düşük malzemelerden USG hızını daha yüksek elde edildiği ve bu şartlardaki numunelerinde diğerlerine göre mukavemet özelliklerinin de daha yüksek olacağını kanıtlanmaktadır. Sertleşmiş ortalama birim hacim ağırlığına bakıldığında, tüm tasarlanan KYHB serilerinin daha öncede belirtildiği gibi  $2000 \text{ kg/m}^3$ 'ten düşük olduğu görülmektedir. Şekil 4.7 incelendiğinde, karışımında ince nehir kumunun kullanıldığı ilk altı KYHB serileri, ince kum olarak pomza taşının kullanıldığı serilerden daha ağır olmuştur. Nehir kumu kullanılan serilerin suya doymun BHA'ları ortalama  $1850 \text{ kg/m}^3$  iken, agrega olarak %100'ü pomza taşı şeklinde tasarlanan KYHB'ların ortalama suya doymun BHA'ları  $1600 \text{ kg/m}^3$  olmuştur. Bu sayede tasarlanan binaların betondan kaynaklanan ölü yüklerinde sırasıyla %25 ve %35'lik azalma meydana gelecektir.

#### 4.2.2. Kiriş Numunelerde Eğilmede Çekme Deneyi

Kiriş numuneler üzerinde 3 noktalı eğilmede çekme deneyi 3, 7, 14, 28, 56, 90 ve 150 günlük standart su kürü sonrasında uygulanmıştır. Bu deney, tasarlanan KYHB'lardan en iyi performans

sergileyen seriler (E4, E8, E9) üzerinde gerçekleştirilmiştir. Eğilmede çekme dayanım deneyleri Şekil 4.15 verilmiştir.



Şekil.4.15. Sertleşmiş betonların eğilme çekeme dayanım değerleri

Beton prizmalar üzerinde yapılan eğilme çekme deneyi sonucunda E4, E8 ve E9 serilerinde fazla deformasyon yapmadan orta noktalarına yakın bölgelerinden ikiye ayrılmışlardır. Örneğin, E9 serisinde kesme kırılması (Şekil 4.16) meydana gelmiş, numuneler başlangıçtan ortalama 15 ve 16 cm uzaklıkta çekme bölgesinden başlayarak yukarı doğru çatlama başlamış ve deformasyon yapmaya devam etmiş sonunda çatlağın olduğu bölgede kırılma meydana gelmiştir.



Şekil 4.16. Eğilme deney sonucu kırılma biçimi

Şekil 4.15 genel olarak incelendiğinde 3 KYHB serisinde ilerleyen kür yaşlarına göre mukavemet geliştiği görülmektedir. En yüksek eğilme çekme dayanımı her yaşta E4 serisinden elde edilmiştir. Bunu sebebi E4 serisinin ince agrega içeriğinin diğer iki karışımdan farklı olarak nehir kumu olmasıdır. Aynı zamanda içeriğindeki UK katkısının puzulonik aktivitesinden kaynaklanmaktadır. E8 ve E9 serisinin birbirinden farkı içerisindeki toz katkı malzemesidir. Burada da görüldüğü gibi benzer şekilde UK tozu içeren E9 serisinin eğilme çekme dayanımı PT içeriğine sahip E8 den daha yüksek çıkmıştır. E8 ve E9 serileri birbirine kür yaşına göre kıyaslandığında PT içerikli E8 serisi 90. gün ile birlikte eğilme çekme mukavemetin de kayda değer bir artış sergilerken, UK katkılı E9 serisinde ise 56 gün ile birlikte böyle bir mukavemet artışı gözlenmektedir. Bu durum yine UK katkısının, PT katkısına göre eğilmede çekme mukavemeti için daha erken yaşlarda etkide bulunduğunu göstermektedir.

#### 4.2.3. Tasarlanan Betonların Kuru Birim Ağırlıklarının Tayini

Tez çalışması kapsamında tasarımı gerçekleştirilen KYHB' lara ait 28, 90 ve 150 gün sonunda uygulanan kuru birim ağırlık deney sonuçlarının üçünün ortalaması alınarak Çizelge 4.2'de sunulmuştur.

**Çizelge 4.2.** 28, 90 ve 150 gün sonunda uygulanan kuru birim ağırlık ortalamaları

	Beton Türü								
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
Ort. Kuru BHA (kg/m <sup>3</sup> )	1826.1	1857.6	1805.3	1844.8	1790.5	1823.7	1453.8	1398.1	1495.8

Bilindiği gibi hafif beton etüv kurusu durumundaki yoğunluğu 800 kg/m<sup>3</sup> ile 2000 kg/m<sup>3</sup> arasında olan ve 2000 kg/m<sup>3</sup>'ü geçmeyen betonlar TS EN 206-1 de hafif beton olarak tanımlanırlar. Çizelge 4.2'de elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında üretilen beton numuneler hafif beton sınıfına girmektedir. E7, E8 ve E9' nolu beton serileri diğer beton karışımlarına göre daha hafif olmasının nedeni kullanılan kaba ve ince agreganın pomza taşı olmasındandır. Görüldüğü gibi kuru haldeki KYHB serilerinin BHA yaklaşık olarak 1400-1860 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Bu sonuç ise ortalama normal ağırlıklı betonun BHA 2500 kg/m<sup>3</sup> olduğu düşünüldüğünde ölü ağırlıkta sırasıyla %44-%26 düşüş olacağını göstermektedir.

### 4.3. Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi

Bu başlık altında, Materyal ve Yöntemler Bölümü'nde tanıtılan durabilite deneyleri sonrasında elde edilen deney bulguları tartışılmıştır. Farklı fiziki şartlara tabi tutulan KYHB'ler, sonrasında basınç mukavemeti, USG hızı tayini ve bazı şartlar için de bunlara ek olarak ağırlık kaybı ve porozite değişimi gibi deneyler uygulanarak dayanıklılık özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu özelliklerin belirlenmesinde, mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan numune boyutlarından farklı olarak 100x100x100 mm ebadında numuneler üretilmiş ve ön test çalışmalarında hesaplanan katsayılar yardımı ile elde edilen sonuçlar 150x150x150 mm ölçülerindeki numune sonuçlarına indirgenmiştir.

#### 4.3.1. Yüksek Sıcaklık Deneyi Bulgularının İncelenmesi

Yüksek sıcaklık için hazırlanan deney numunelerine 200, 400, 600, 800 ve 1000°C sıcaklıklar sonrasında ve laboratuvar koşullarında ( $23\pm 2$  °C) birim ağırlık kaybı tayini, USG hızı tayini ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Farklı sıcaklıklar neticesinde, üretilen KYHB serilerinde öncelikle bazı fiziksel değişimler gözlenmiştir. Yüksek sıcaklık deneyi sonrası numune yüzeylerinde, farklı ısı dereceleri uygulanmasından dolayı farklı renklenmeler, farklı çatlak yoğunluğu ve genişliği gibi değişimler gözlenirken içyapıda bozulmalar belirlenmiştir. Uygulanan 200°C ve 400°C sıcaklık neticesinde, Şekil 4.17'de görüldüğü gibi numunelerde yer yer mikro yüzey çatlakları oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 4.17. 200 °C (soldaki resim) ve 400°C (sağdaki resim) sonrasında numune yüzeylerinde meydana gelen seyrek mikro çatlakların görünümü



**Şekil 4.18.** 600°C sonrasında numune yüzeylerinde meydana gelen yoğun mikro çatlakların görünümü

600°C derece sonrasında ise, numunelerde belirgin bir renk farklılığı gözlenmiştir. Numunelerin yüzey rengi 200°C sıcaklık sonrasında normal betonlardan çok farklı olmadığı gözlenirken, 400°C ve 600°C sonrasında koyu gri renk olduğu, 800°C sonrasında açık gri renkte olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.18.'de görüldüğü gibi numune yüzeylerindeki mikro çatlak yoğunluğu ve genişliği artarak, görüntüyü büyütme işlemine gerek kalmaksızın gözle görülür ölçülere ulaşmıştır. Yine Şekil 4.18'de görüldüğü üzere çatlakların birbirine daha yakın olduğu ve birbiri ile bağlantılı bir ağ yapısı sergilediği gözlenmektedir.



**Şekil 4.19** 800°C sonrasında numune yüzeylerinde meydana gelen makro çatlakların görünümü

Şekil 4.19'da görüldüğü gibi numune yüzeylerindeki makro çatlaklar görüntüyü büyütme işlemine gerek kalmaksızın gözle görülür ölçülere ulaşmıştır. Yine Şekil 4.19'da görüldüğü

üzere çatlakların birbirine daha yakın olduğu ve birbiri ile bağlantılı bir ağ yapısı sergilediği gözlenmektedir.

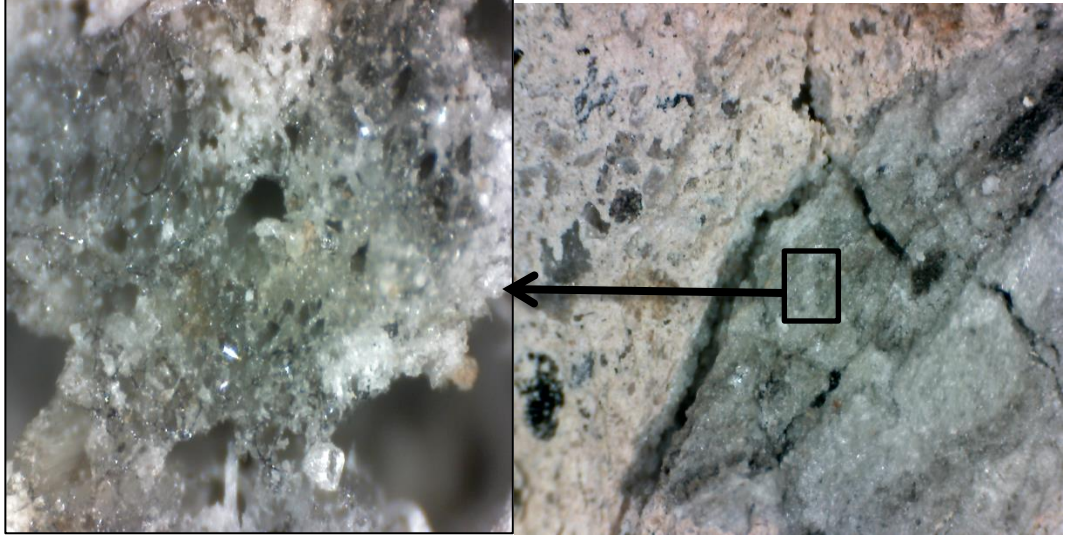


**Şekil 4.20.** 1000°C sonrasında numune yüzeylerinde meydana gelen yoğun makro çatlaklar

1000°C sonrasında ise numuneler tam olarak sarımsı-krem renge dönüşmüş ve 600°C sıcaklıkta gözlenmiş olan yoğun mikro çatlak yapısı makro yapıya ulaşmıştır. Şekil 4.20’de bu durum herhangi bir büyütme işlemine gerek kalmaksızın açıkça görülmektedir. Şekil 4.21’de ise kırılmaya tabi tutulan bir KYHB serisinin kırılmadan sonraki durumu görülmektedir. Şekil 4.22’de ise 1000 °C deney sonrasında yarılarak iç yapısı mikroskopla incelenmiştir. Şekil 4.22’de beton içyapısında eriyerek camsı yapı haline dönüşen kaba agrega görülmektedir. Aynı zamanda 1000°C sonrası içyapıda oluşan çatlaklar sergilenmektedir.

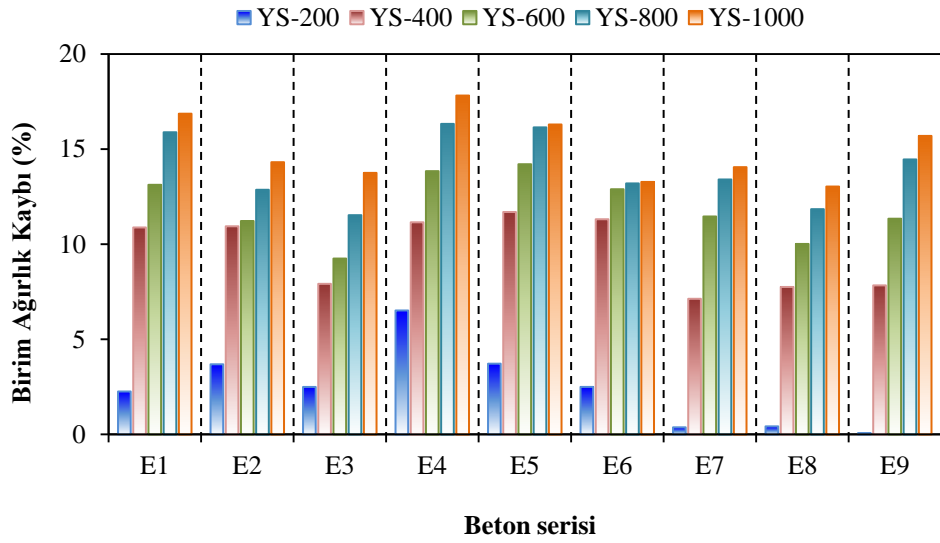


**Şekil 4.21.** 1000°C sonrasında kırılmaya tabi tutulan bir numunenin içyapısı



Şekil 4.22. 1000°C sonrasında bir numunenin içyapısındaki oluşumu

#### a) Yüksek Sıcaklığın KYHB Birim Ağırlığına Etkisi



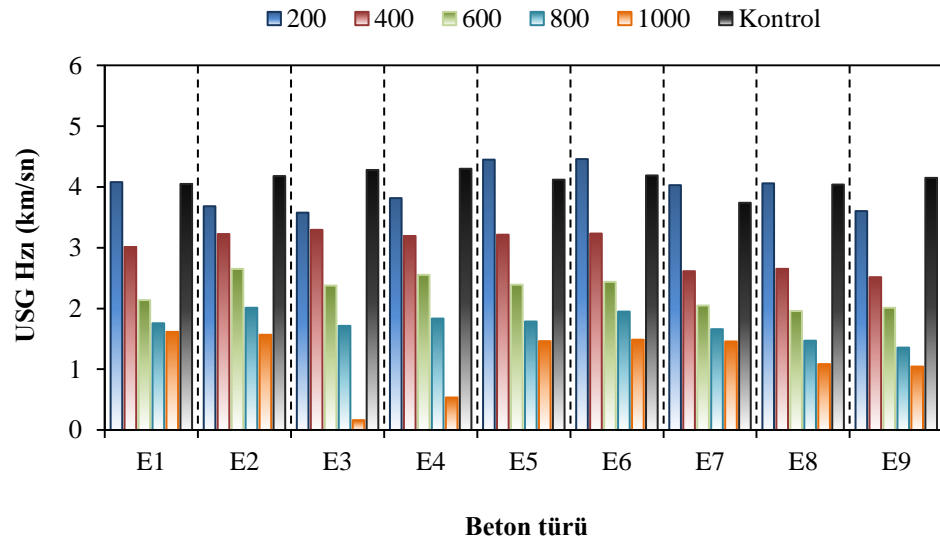
Şekil 4.23. Yüksek sıcaklığın KYHB birim ağırlığına etkisi

Yüksek sıcaklık deneyi KYHB birim ağırlığına etkisi değerlendirmesinde, standart kür koşullarında bekletilen KYHB numuneleri yüksek sıcaklığa tabi tutulmadan önce laboratuvar koşullarında otomatik etüvde kurutulup ilk ağırlıkları tartıldıktan sonra 200, 400, 600, 800 ve 1000 °C pik sıcaklıklarına 1 saat maruz bırakılmış ve yüksek sıcaklık deneyi toplamda 4 saat sürmüştür. Bu süre zarfından sonra numuneler oda sıcaklığına geldikten sonra ikinci kez ağırlıkları ölçülerek birim ağırlıkları hesaplanmış ve yüksek sıcaklık etkisi ile oluşan birim

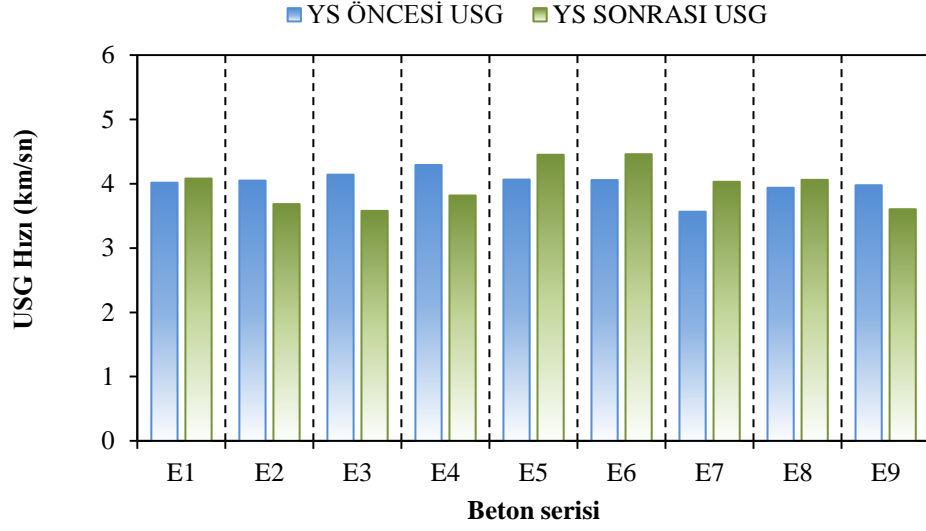
ağırlık kayıpları Şekil 4.23’de gösterilmiştir. İnce agregası dere kumu olan serilerde toz malzemesi uçucu kül olan beton serisinde birim ağırlık kaybının diğer numunelere kıyasla fazla olduğu, ince agregası pomza olan ve toz malzemesi pomza olan serilerin birim ağırlık kaybının diğer numunelere göre daha az olduğu görülmüştür.

## b) USG Hızı Tayini

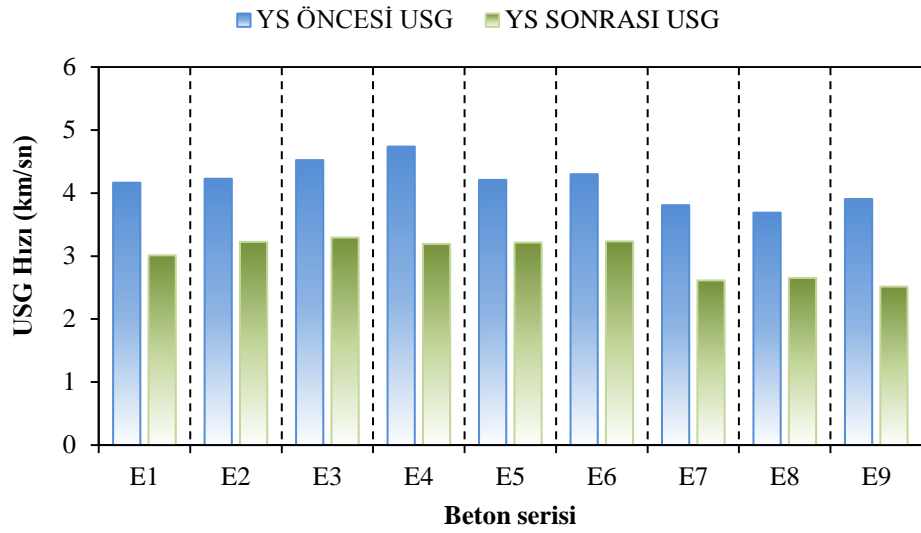
Yüksek sıcaklık deneyi sonrasında numunelere uygulanan USG hızı tayini neticesinde elde edilen veriler Şekil 4.24-29’da sunulmuştur. Yüksek sıcaklık deneyinin değerlendirilmesinde, her seri için kendisi ile eş ve ortam sıcaklığında ( $23^{\circ}\text{C}\pm 2$ ) bekletilmiş olan numunelerin USG hızı ortalamaları kullanılmıştır. Standart kür koşullarında bekletilen KYHB numuneleri 200, 400, 600, 800 ve 1000 °C sıcaklıklarına maruz bırakılmış ve deney öncesi ile sonrasında ultrases deneyleri yapılarak hesaplanan ultrases geçiş hızı kayıpları aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.



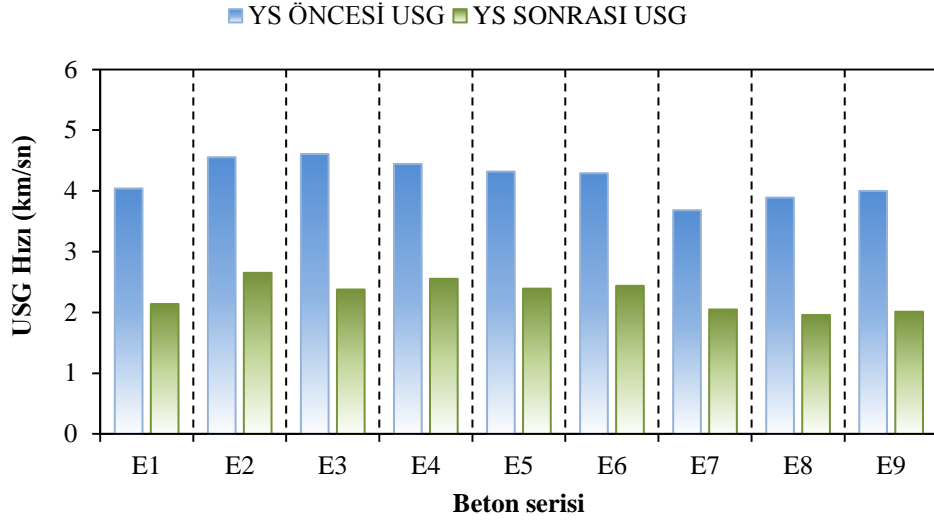
Şekil 4.24. Yüksek sıcaklık deneylerine tabi tutulan KYHB serilerinin USG hızına etkisi



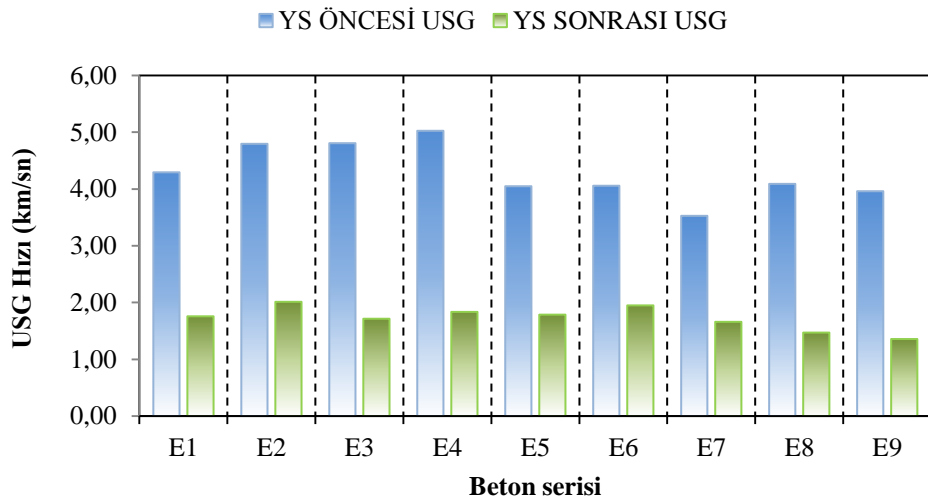
**Sekil 4.25.** 200 °C Yüksek sıcaklık deneyine tabi tutulan KYHB serilerinin USG hızına etkisi



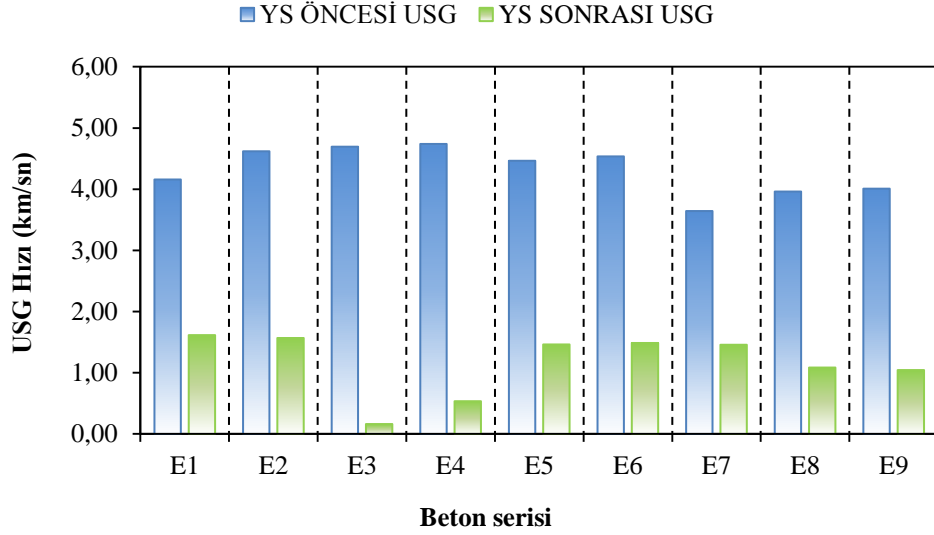
**Sekil 4.26.** 400 °C Yüksek sıcaklık deneyine tabi tutulan KYHB serilerinin USG hızına etkisi



**Sekil 4.27.** 600 °C Yüksek sıcaklık deneyine tabi tutulan KYHB serilerinin USG hızına etkisi



**Sekil 4.28.** 800 °C Yüksek sıcaklık deneyine tabi tutulan KYHB serilerinin USG hızına etkisi



**Sekil 4.29.** 1000 °C Yüksek sıcaklık deneyine tabi tutulan KYHB serilerinin USG hızına etkisi

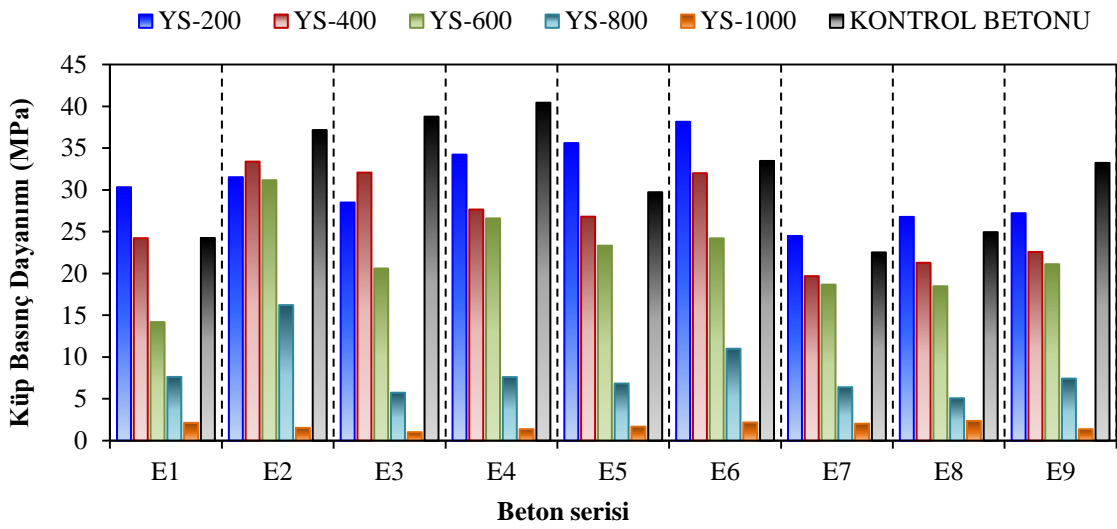
Şekil 4.24-29'da genel olarak incelendiğinde, uygulanan sıcaklık değerlerinin artmasıyla doğal olarak USG hızlarında düşüş göstermiş olduğu görülür. Beklenen bu sonuçlardan farklı olarak göze çarpan önemli bulgulardan biri ise 800°C ve 1000°C yüksek sıcaklığa tabi tutulan KYHB serilerinin USG hızı değerlerinin belirgin olarak düşüş ve özellikle UK içeren serilerdeki düşüşün daha fazla olduğudur. Çok belirgin olmasa da göze çarpan bir diğer önemli nokta ise kontrol betonu ve 200°C sonrasında elde edilen USG hızı değerleri bir biri ile nispeten yakın değerler gösterirken, 800°C ve 1000°C sonrasında elde edilen değerler ile bu değerler arasındaki fark daha yüksektir. Genel olarak bakıldığında karışım içerikleri aynı olan fakat çimento dozaj miktarı fazla olan seriler kendi aralarında karşılaştırdığı zaman USG hız kaybının daha az olduğu görülmektedir. Şekil 4.24'de incelendiğinde karışımında tamamı pomza taşı bulunan KYHB serilerinin (E7, E8, E9) USG hızı değerlerinin bir biri ile yakınlık göstermekte olduğu görülür. USG hızı değerlerinde 200, 400, 600, 800 ve 1000°C sıcaklıklar sonrasında sırası ile ortalama %3.25, %27.31, %44.53, %58.05 ve %71.60 oranlarında düşüş oluşmuştur. Şekil 4.24 sunulan ince dere kumu içeren beton serilerinden, yüksek sıcaklık deneyi sonucu USG hızı değerinde en yüksek düşüş oranı 1000°C sonrasında ortalama olarak %92'lik düşüş ile mineral katkı olarak UK katkılı E3 ve E4 nolu serilerden elde edilmiştir. Şekiller incelendiğinde karışımında tamamen pomza taşı içeren KYHB serilerinin birbiri ile benzer USG hızı değerleri sergilediği görülmektedir. Aynı durum dere kumu içeren seriler incelendiğinde ise 1000°C hariç; E3, E4, E5 ve E6 nolu numuneler içinde geçerlidir.

### c) Basınç Dayanımı Deneyi

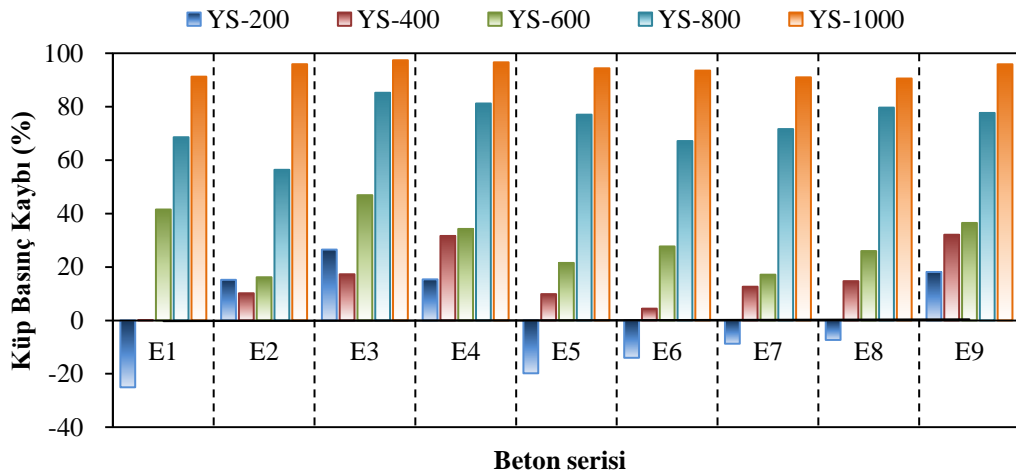
Yüksek sıcaklık deneyi sonrasında, yüksek sıcaklıklara tabi tutulan KYHB serileri ile bunların her birinin karşılığı olarak laboratuvar koşullarında bekletilen KYHB serileri beton basınç mukavemet deneyine tabi tutularak elde edilen veriler Şekil 4.30-31 sunulmuştur. Yüksek sıcaklık deneyinin değerlendirilmesinde, her seri için kendisi ile eş ve ortam sıcaklığında ( $23^{\circ}\text{C}\pm 2$ ) bekletilmiş olan numunelerin basınç dayanımı ortalamaları kullanılmıştır. Şekillerde sunulan sütun grafiklerde, her bir beton serisi için sıcaklık derecelerine göre dayanımı gösteren 6 sütun kullanılmıştır. Bunlar sırası ile YS-200, YS-400, YS-600, YS-800, YS-1000 ve kontrol betonudur. Kontrol betonu yani herhangi bir sıcaklığa maruz bırakılmadan basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuş ve her bir KYHB serisinin ortam sıcaklığında bekletilmiş kendi kontrol serisini ifade etmektedir. YS-200 kodu ise, kontrol betonu ile birlikte her bir KYHB serisinin  $200^{\circ}\text{C}$  yüksek sıcaklık uygulanan serisini ifade etmektedir. Diğer kodlamalar da  $200^{\circ}\text{C}$ 'de olduğu gibi, her bir beton serisinin diğer yüksek sıcaklık uygulamalarından elde edilen basınç dayanımı değerlerini ifade etmektedir. Şekil 4.30'da  $200^{\circ}\text{C}$ ,  $400^{\circ}\text{C}$ ,  $600^{\circ}\text{C}$ ,  $800^{\circ}\text{C}$ ,  $1000^{\circ}\text{C}$  ve kontrol betonu sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımı değerleri verilmiştir. Şekil 4.31'de ise 5 farklı sıcaklık derecesinde meydana gelen dayanım kayıpları görülmektedir.

Şekil 4.31'de verilen sonuçlar içerisinde bazı değerlerin negatif olduğu görülmektedir. Özellikle  $200^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa maruz kalmış bazı numuneler yüksek sıcaklık etkisinde beklenen aksine basınç dayanımında azalma değil de artış göstermiştir. Acay E. [109] yazdığı eserinde, KYB'de sıcaklığın  $400^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar artması ile numunelerin basınç dayanımlarında azalma olmadığını belirtmiş, sıcaklığın  $400^{\circ}\text{C}$ 'den fazla artması ile basınç dayanımlarında azalmalar olduğunu belirtmiştir. Gönen T. [6], Hızal S. [1] doktora tez çalışmalarında, benzer şekilde sıcaklığın  $300^{\circ}\text{C}$ 'ye artması ile bazı serilerinde basınç dayanımlarında artmalar olduğunu belirtmişlerdir. Düşük sıcaklık ve düşük nem ortamında, çimentonun hidrasyonu çok yavaş seyretmekte, hidrasyon ürünleri daha yavaş ortaya çıkmaktadır. Buna karşılık, yüksek sıcaklık ve yüksek orandaki nem, hidrasyon hızında çok büyük artış sağlamakta, çimento hamuru ve beton daha hızlı dayanım kazanabilmektedir. Genel olarak bakıldığında Şekil 4.30'da görüldüğü gibi, uygulanan sıcaklığın artırılması ile beton basınç dayanımında normal olarak düşüş gözlenmiştir. Şekil 4.30 incelendiğinde en düşük dayanım değerlerinin UK katkılı E3, E4 ve E9 nolu numuneleri ile BT katkılı E2 nolu KYHB serilerinden elde edildiği görülmektedir. Bu numunelere  $1000^{\circ}\text{C}$  sıcaklık uygulaması sonucu, dayanımlarında sırası ile %97, %96, %94 ve %95 oranlarında düşüşler kaydedilmiştir.  $200^{\circ}\text{C}$  sonrasında tüm serilerin basınç dayanımında -

%27 ile %26 oranları aralığında artışlar ve düşüşler gözlenmiştir. Şekil 4.31 incelendiğinde E5, E6, E7, E8 nolu KYHB serilerinde ise ortalama basınç dayanımlarında kayıplar yerine 200°C’de sırasıyla %20, %14, %9, %8 artış olduğu; 400°C ile birlikte ise bu serilerde %9, %4, %12, %14 düşüş olduğu belirlenmiştir. 600°C ve sonraki sıcaklıklarda dayanım kaybı farkının giderek arttığı belirlenmiştir. Yine bu seriler için 600°C sıcaklıktaki kayıplar sırasıyla %21, %26, %16, %24; 800°C’de %76, %66, %70, %76 ve 1000°C’de %92, %91, %90, %90 olduğu belirlenmiştir. Bu serilerde diğer serilere nazaran kayıpların az olmasının nedeni kullanılan pomza miktarın fazla olmasından dolayıdır. Şekil 4.30’da incelendiğinde 800°C sıcaklık sonrası tüm KYHB serilerinde betonun taşıyıcı özeliğinin kaybettiğini görmüştür.



Şekil 4.30. Yüksek sıcaklık deneyi sonrası beton serilerinin basınç dayanımı değişimi



Şekil 4.31. Yüksek sıcaklık deneyi sonrası beton serilerinin basınç dayanım kayıpları (Negatif yüzde oranları yüksek sıcaklık deney sonrası basınç değerinde artma olduğunu belirtmektedir.)

Şekil 4.30 incelendiğinde; 200°C sonunda yapılan kırımlara göre en yüksek basınç dayanım değerine PT katkılı E6 (38.15 MPa) betonunda ulaşılmıştır. En düşük değer ise PT katkılı E7 (24.49 MPa) betonunda görülmüştür. 400°C sonunda yapılan kırımlara göre en yüksek basınç dayanım değerine BT katkılı E2 (33.39 MPa) betonunda ulaşılmıştır. En düşük değer ise E7 (19.68 MPa) betonunda görülmüştür. 600°C sonunda yapılan kırımlara göre en yüksek basınç dayanım değerine E2 (31.16 MPa) betonunda ulaşılmıştır. En düşük değer ise PT katkılı E8 (18.47 MPa) betonunda görülmüştür. 800°C sonunda yapılan kırımlara göre en yüksek basınç dayanım değerine E2 (16.22 MPa) betonunda ulaşılmıştır. En düşük değer ise E8 (5.08 MPa) betonunda görülmüştür. 1000°C sonunda yapılan kırımlara göre en yüksek basınç dayanım değerine E8 (2.36 MPa) betonunda ulaşılmıştır. En düşük değer ise UK katkılı E3 (1.02 MPa) betonunda görülmüştür. BT katkılı E2 serisinin basınç dayanımının yüksek olduğu görülmüştür. KYHB'ın yüksek sıcaklık etkisi altında nasıl bir performans sergiledikleri belirlenmiştir.

#### **4.3.2. Donma-Çözünme Deneyi Bulgularının İncelenmesi**

KYHB serilerine 50 donma-çözünme çevrimi sonunda birim ağırlık tayini, USG hızı tayini ve basınç dayanımı tayini deneyleri uygulanarak üretilen KYHB serilerinin performansları değerlendirilmiştir. Genel gözlem olarak donma-çözünme deneyi sonrasında numunelerin dış yüzeyleri incelendiğinde KYHB serilerinde belirgin bir parça kaybı ya da belirgin yüzey çatlağına rastlanmamıştır. Yine de uygulanan deneyler sonucu farklı oranlarda dayanım kayıplarının olduğunun belirlenmesi, içyapı bozulmalarını ortaya koymaktadır. Donma-çözünme sonrasında uygulanan mekanik deneylerden ve bu mekanik deneyleri desteklemek için uygulanan USG hızı tayini deneyinden elde edilen veriler şekillerle ayrıntılı olarak verilmiş ve oluşan dayanım kayıpları hesaplanarak ayrıca sunulmuştur. Şekillerin kolay kavranabilmesi için tüm şekillerde aynı sunum yöntemi uygulanmıştır. Dayanım değerlerini belirten tüm şekillerde sunulan sütun grafiklerde her bir beton serisi donma-çözünme çevrimine girmeyen kendi serisi ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Grafikler incelendiğinde her bir KYHB serisi kendi kontrol serisi ile kıyaslanabilmesi sağlanmıştır. Dayanım değerleri sunulan KYHB serilerinde oluşan dayanım kayıpları da her bir serinin sunulduğu grafikten sonra verilmiştir. Şekil 4.32-34 incelendiğinde, uygulanan donma-çözünme deneyi sonrası serilerde çatlama, pullanma ve kopma oluşmadığı görülecektir. Yapılan literatür çalışmasında Bozkurt N. [5] fiber takviyeli kendiliğinden yerleşen beton konusu üzerinde yapılan doktora tez çalışmasında, beton numuneler üzerinde yaptığı 150 donma-çözünme çevrimi sonucunda beton numuneler de parça kaybı yada belirgin yüzey çatlağına ve basınç dayanımlarında ise kontrol betona göre yaklaşık %15-%25

arsında dayanım kayıpları olduğunu vurgulamıştır. Bu tez çalışmasında daha düşük sayıda donma-çözünme çevrimi uygulanmış olduğundan numune yüzeylerinde herhangi bir çatlak oluşumu, pullanma ve parça kaybına rastlanmamıştır. Kandemir A. [44] yazdığı eserde, beton numuneler üzerinde yaptığı 35 donma-çözünme çevrimi sonucunda beton numuneler de uçucu kül katkı içeren serilerde mukavemet artışı görülürken taş tozu katkısı kullanılan serilerinde dayanım kaybı gözlemlendiğini belirtmiştir.



Şekil 4.32. Donma-çözünme deneyi sonrası E1, E2 ve E3 nolu numunelerin fiziki görünüşleri



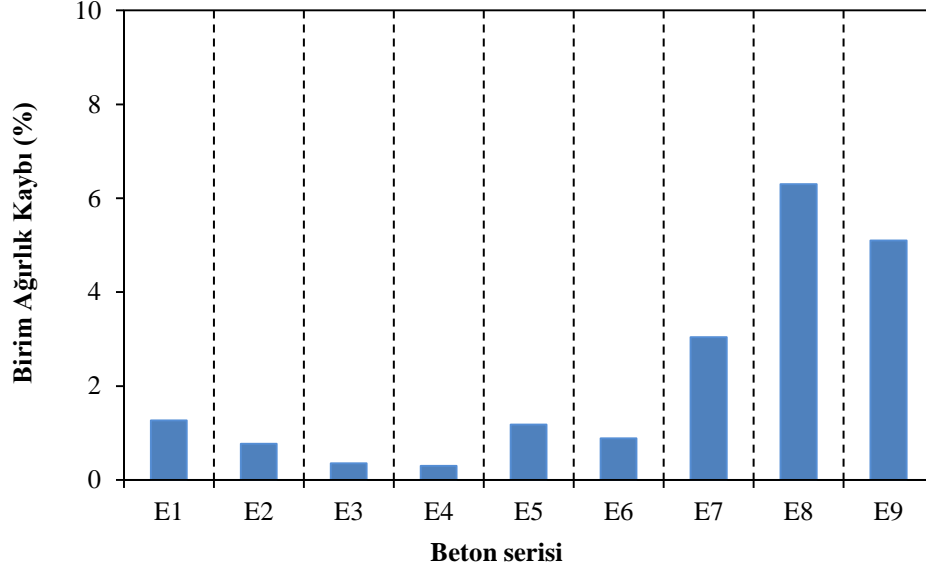
Şekil 4.33. Donma-çözünme deneyi sonrası E4, E5 ve E6 nolu numunelerin fiziki görünüşleri



**Şekil 4.34.** Donma-çözünme deneyi sonrası E7, E8 ve E9 nolu numunelerin fiziki görünüşleri

#### **a) Donma Çözünmenin KYHB Birim Ağırlığına Etkisi**

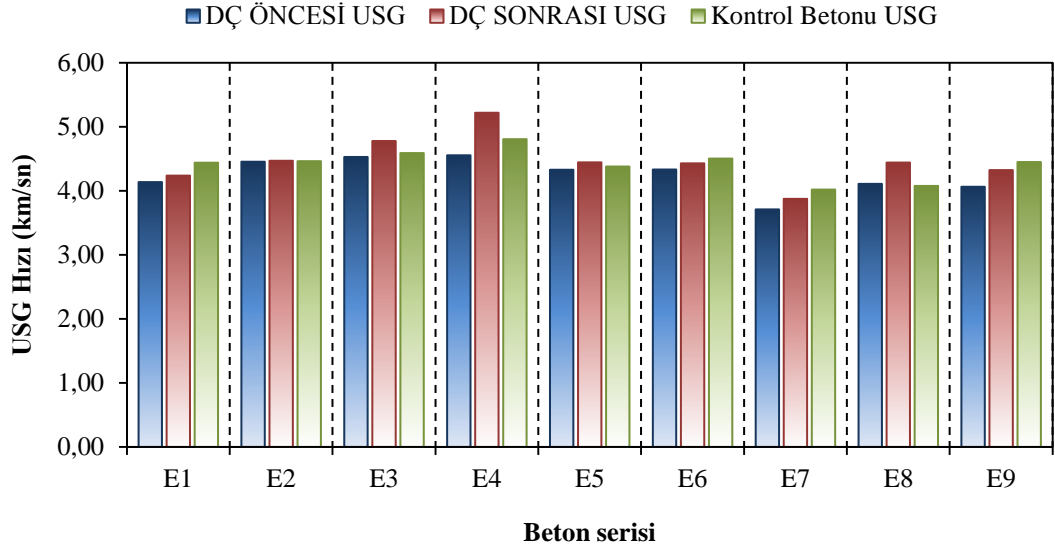
Standart kür koşullarında bekletilen KYHB numuneleri doymuş kuru yüzey ağırlığına geldikten sonra ağırlıkları ölçülerek donma-çözünme deney aleti içine yerleştirilerek deneye başlanmıştır. Donma-çözünme döngüleri, sıcaklığın öncelikle 120 dakikada 0°C'ye düşürülmesi, 120 dakika 0°C'de bekletilmesi, 600 dakika süre aralığında -15°C'ye düşürülmesi, 120 dakika -15°C'de bekletilmesi ve 480 dakika süre aralığında +20°C'ye yükseltilmesi ile toplamda 24 saat olacak şekilde ayarlanmış ve bu döngü 50 kez (50 gün) tekrarlanmıştır. Bu süre zarfından sonra numuneler tekrardan doymuş kuru yüzey ağırlığına getirilerek ağırlıkları ölçülmüş, birim ağırlıkları hesaplanmış ve donma çözünme etkisi ile oluşan birim ağırlık kayıpları Şekil 4.35'de gösterilmiştir. Donma-çözünme sonrası yaşanan ağırlık kaybının kapiler boşluklara giren suyun donarak hacminin genişmesi sonucu, beton numunelerin içyapısında parçalanma, çatlama ve ayrışmalara sebep olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte üretilen KYHB serilerinin diğer durabilite deneylerine nazaran donma-çözünme deneyinden daha az etkilediği görülmüştür. Şekil 4.35 genel olarak incelendiğinde donma-çözünme sonrası birim ağırlık kaybının %0.3-%11.5 arasında değiştiği görülmektedir.



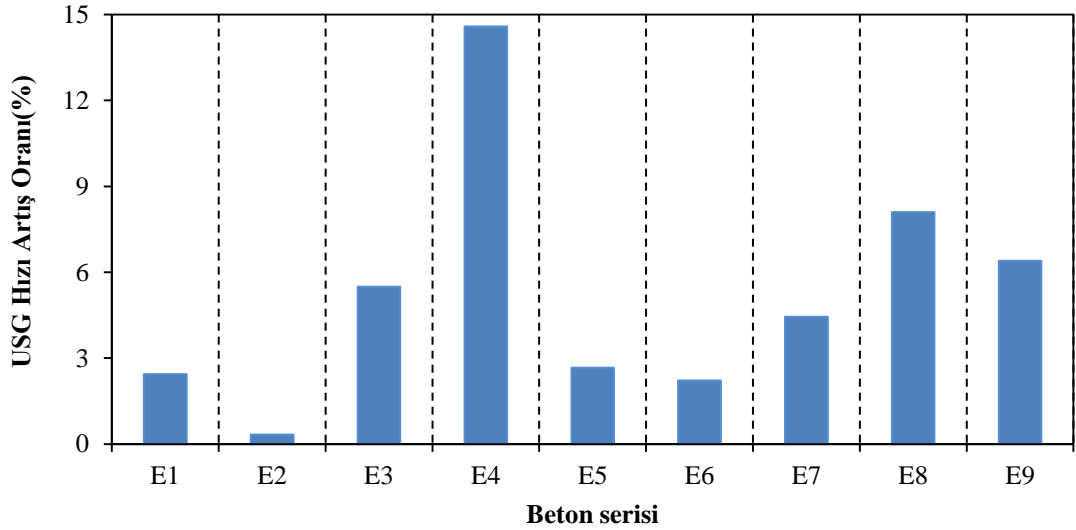
**Sekil 4.35.** Donma-çözünme deneyi sonrası KYHB serilerin birim ağırlık kaybı

#### b) USG Hızı Tayini

Donma-çözünme deneyi sonrasında KYHB serileri üzerinde uygulanan USG hızı tayini deney sonuçları Şekil 4.36-37’de sunulmuştur. Genel olarak Şekil 4.36 değerlendirildiğinde; donma-çözünme çevrimi sonrasında KYHB serilerinin USG hızlarında yükseliş gözlenmiştir. Fakat bu yükseliş yüksek sıcaklık deneyinde numunelerde meydana gelen düşüş kadar belirgin değildir. Şekil 4.36’da incelendiğinde çok belirgin olmasa da E2, E3, E4, E5 ve E8 nolu beton numunelerin donma-çözünme sonrasında elde edilen USG hızı değerlerine bakıldığında kontrol betonu göre artış olduğu diğer geri kalan numuneler ise kontrol betona göre azalma olduğu görülmektedir. Şekil 4.37 bakıldığında donma-çözünme deneyi öncesi ve sonrası serilerdeki USG hızı değişimleri incelendiğinde, tüm KYHB serilerinde deney öncesine göre bir artma gözlenmiştir. Bu artmalar değerlendirildiğinde en yüksek yüzde artma oranı E4 nolu serisinde % 14.6 olarak belirlenmiştir. UK katkılı serilerde diğer beton serilerine göre daha düzenli bir artma olduğu tespit edilmiştir. Donma-çözünme deneyi sonunda yapılan USG hızı tayinine göre en yüksek USG hızı değerlerinin E3 ve E4 (4.78-5.22 km/sn) serilerinde elde edilmiştir. En düşük değer ise E7 (3.88 km/sn) serisinde gözlenmiştir.



Şekil 4.36. Donma-çözünme deneyinde KYHB serilerinde elde edilen USG hızları

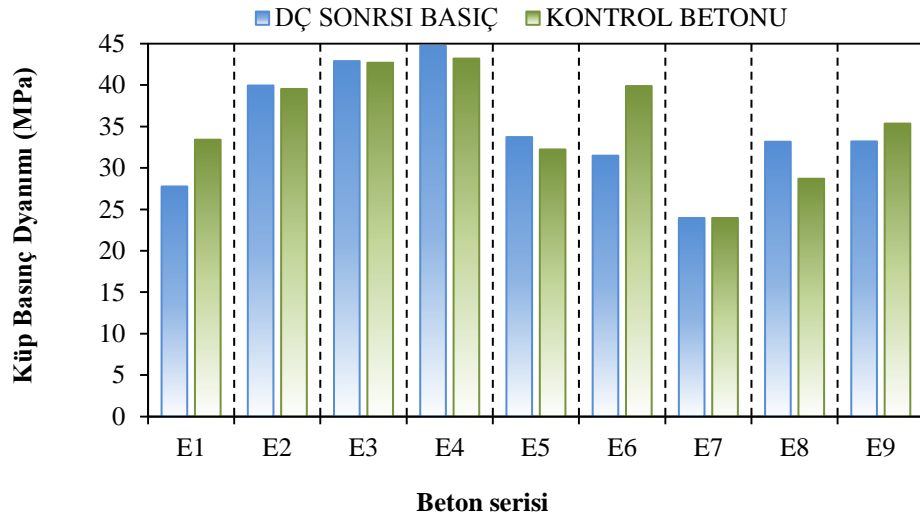


Şekil 4.37. Donma-çözünme deneyi sonrası KYHB serilerinin USG hızı artış oranı

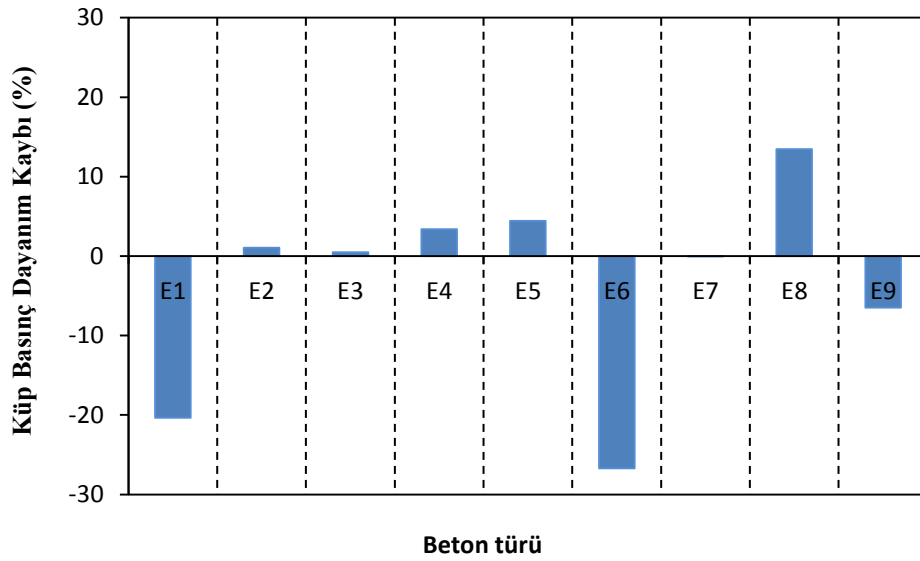
### c) Basınç Dayanımı Deneyi

Donma-çözünme deneyi sonrası uygulanan basınç dayanımı deney sonuçları ve KYHB serilerinde oluşan % olarak dayanım kayıpları Şekil 4.38-39'da kendi kontrol serileri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Donma-çözünme deneyi sonrası tüm içeriği pomza olan seride en düşük basınç dayanımı değeri E7 (23.95 MPa) nolu KYHB serisinde elde edildiği görülmektedir. Şekil 4.38'de görüldüğü gibi ince agregası dere kumu içeren serilerde en yüksek basınç dayanımı değerini UK katkılı E4 (44.72 MPa) nolu KYHB serisi sergilerken, en düşük

basınç dayanımı değerlerini ise BT katkılı E1 (27.76 MPa) nolu KYHB serilerinden elde edildiği görülmektedir. Şekil 4.39 incelendiğinde donma-çözünme deneyi sonrası serilerdeki basınç dayanım kayıp değişimleri bazı KYHB serilerde artma bazı serilerde ise düşüş şeklinde gözlenmektedir. Şekil 4.39 yer alan beton dayanım kayıp verilerine bakıldığında, E8 beton serisinde en yüksek veri %13.5 dayanım artışı görülürken, E6 beton serisinde en düşük %26.6 dayanım kaybı görülmektedir. Seriler üzerinde uygulanan 50 çevirim donma-çözünme deney sonrası numuneler hala taşıyıcı beton sınıfında olduğu görülmektedir.



Şekil 4.38. Donma-çözünme deneyi sonrası KYHB serilerinin basınç dayanım değişimi



Şekil 4.39. Donma-çözünme deneyi sonrası KYHB serilerinin küp basınç dayanım kaybı değişimi

(Negatif yüzde oranları donma-çözünme basınç değerinde azalma olduğunu belirtmektedir.)

### 4.3.3. Asit Dayanıklılık Deneyi Bulgularının İncelenmesi

Tez çalışmasında, KYHB serilerinin asitli ortamlara karşı direncini belirleyebilmek için beton serileri asit etkisi altında bırakılmıştır. Bölüm 3’te detayları anlatıldığı şekli ile asit etkisi altında bırakılan seriler üzerinde: basınç dayanımı deneyi sonucu kayıplar araştırılmıştır. Ayrıca mekanik özellik deneyini desteklemesi açısından, dayanım özellikleri ile bağlantılı olan USG hızı tayini de asit etkisi öncesi ve sonrasında uygulanarak değerler Şekil 4.43-45’de grafiklere yansıtılmıştır. Beton serileri, asit etkisine tabi tutulmayan kendi kontrol serileri ile de karşılaştırılabilecek biçimde şekiller tasarlanmıştır. Her bir beton serisinin asit etkisi uygulanmayan kontrol serisi ile kıyaslanarak hesaplanan % olarak dayanım ile USG hızı deney öncesi ve sonrasında oluşan USG hızı kayıpları da şekillerde sunulmuştur. Şekil 4.40-42’de görüldüğü gibi asit etkisine maruz bırakılan numune yüzeylerinde erime ve renk değişimi gözlenmemiştir. Bu şekilde asitli ortamdan çıkarılan numuneler cilde zarar vermemesi için yıkanarak temizlenmiştir. Şekil 4.40-42’de bakıldığında asit deneyi sonrası çıkarılan numunelerde genel itibari ile beton kenar yüzeyinde ve bazı orta kısımda çok hafif pullanma olduğu görülmüş ama deney sonrası numunelerde kayda alınmayacak kadar kütle kaybı olmuştur. E9 serisinde yüzeysel kılcal çatlaklar oluştuğu, bu çatlakların biçiminin birbirine yakın kareler şeklinde olduğu gözlemlenmiştir. Literatür çalışmasında Gönen T, [6] yazdığı eserde, kullanılan asit miktarı artırıldığında ve çözelti içerisinde fazla bekletildiği zaman zarfında numunelerde; yüzey erimesi ve mukavemet kayıplarının yaşandığını kaydetmiştir.



Şekil 4.40. Asit deneyi sonrası E1, E2 ve E3 nolu numunelerin fiziksel değişimi



Şekil 4.41. Asit deneyi sonrası E4, E5 ve E6 nolu numunelerin fiziksel değişimi

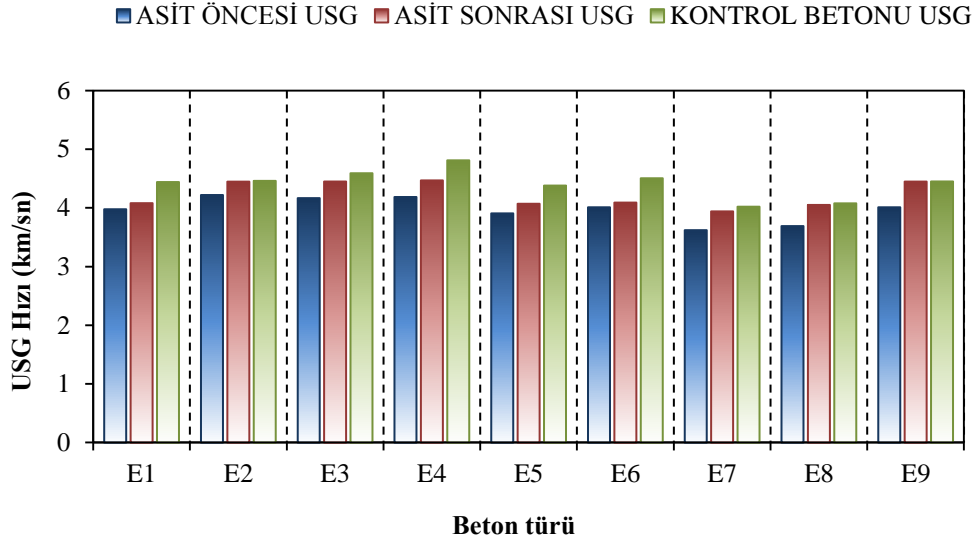


Şekil 4.42. Asit deneyi sonrası E7, E8 ve E9 nolu numunelerin fiziksel değişimi

#### a) USG Hızı Tayini

Asit dayanıklılık deneyi sonrası uygulanan USG hızı tayini deneyinden elde edilen veriler Şekil 4.43'de görülmektedir. Asit etkisi sonrası tüm numunelerin USG hızlarında yükseliş gözlenmiştir. Tüm seriler içinde USG hızı yükseliş oranının en yüksek olanı ortalama artışı %9.31'lik oranda ince agregası pomza ve PT katkılı olan E7, E8 serilerinde gözlenmiştir. Tüm şekiller birlikte incelendiğinde beton serilerinin diğer durabilite deneylerinden donma-çözünme deneyinde olduğu gibi USG hızı değerlerinin birbirine yakınlık gösterdiği ama ıslanma kuruma deneylerine göre artış gösterdiği görülmektedir. Asit deneyi sonrası ölçülen USG hızlarında, ince agregası dere kumu ile PT katkılı kullanılan E5, E6 serilerinin toplam ortalama hız kaybı oranı, diğer serilerin ortalama hız yükseliş oranlarından daha düşük değerdedir. BT katkılı E1, E2 serilerin grup ortalama hız yükseliş oranı %4, E3 ve E4 serilerin grup ortalama hız yükseliş oranı %6.78, E5 ve E6 serilerin grup ortalama hız yükseliş oranı %3.10, tamamı pomza taşı olan PT katkılı E7 ve E8 serilerin grup ortalama hız yükseliş oranı %9.31 ve tüm içeriği pomza taşı olan UK katkılı E9

serilerin ortalama hız yükseliş ise %11.0 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.43’de USG hızları verilen her bir KYHB serisi grubunda karışımında ince malzemesi dere kumu ile UK katkılı olan seriler daha yüksek USG hızı değerleri vermiştir.

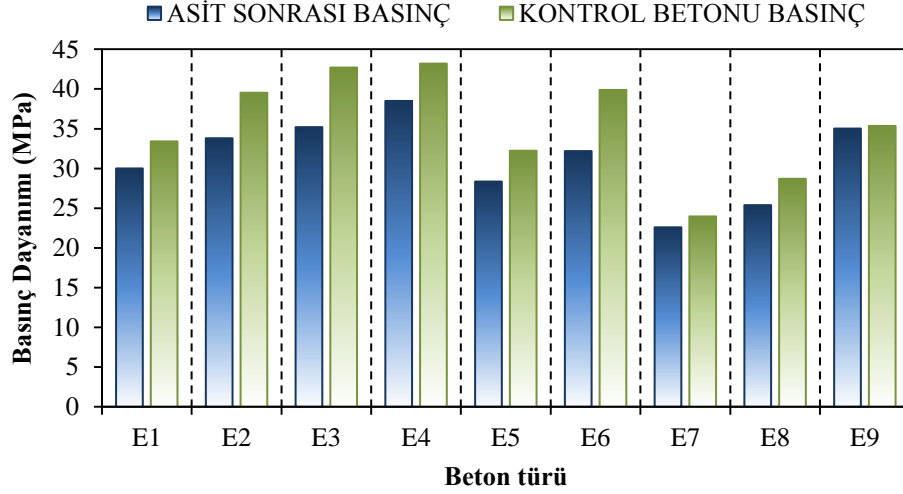


**Şekil 4.43.** Asit dayanıklılık deneyi öncesi ve sonrası KYHB serilerinin USG hızı değişimi

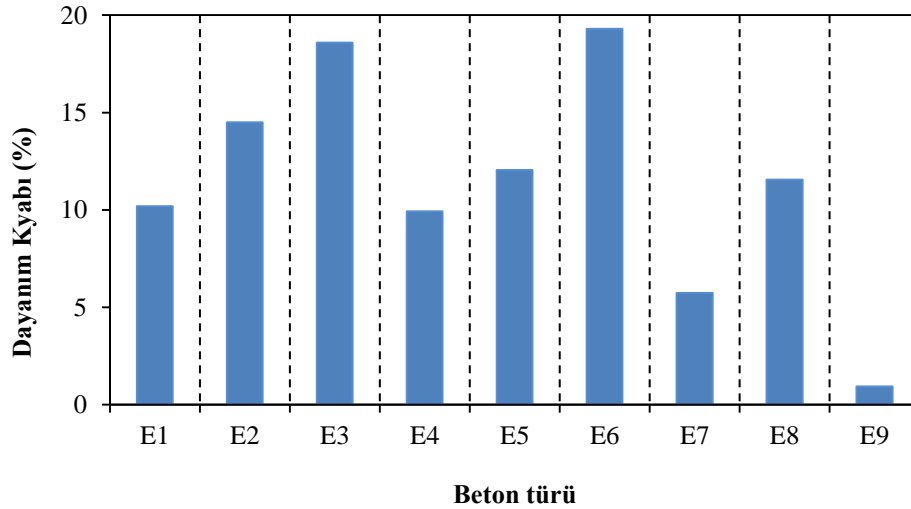
#### b) Basınç Dayanımı Deneyi

Asit etkisine maruz bırakılan KYHB serileri ile bu etkiye maruz kalmayan kontrol numunelerinin basınç dayanımı sonuçları ve basınç dayanımlarındaki kayıplar Şekil 4.44-45’de verilmiştir. Asit etkisi sonrası basınç dayanımında, ince malzemesi dere kumu ile PT katkı içerikli KYHB serileri yüksek oranda bu dayanıklılık deneyinden etkilenmiştir. Asit dayanıklılık deneyi sonrası basınç dayanımı değerlerindeki farklılık bazı numunelerde daha belirgindir. Şekil 4.44-45 incelendiğinde bu farklılık hemen göze çarpmaktadır. KYHB serilerinden ince agregası kum olan BT katkısı kullanılan E1, E2 beton serileri ile tüm içeriğinde pomza taşı kullanılan E7, E8 beton serilerinde basınç dayanım farkı birbiri ile benzerlik göstermektedir. İnce malzeme olarak kum kullanılan serilerde en düşük basınç dayanımı değerleri BT katkılı E1 nolu beton serisi ile PT katkılı E5 serisinden elde edilmiştir. Benzer biçimde, basınç dayanımı kaybı da en yüksek PT katkılı E6 serisinden, bunu takiben E2 ve E3 nolu serilerinden elde edilmiştir. Asit etkisi sonrası E6 serisi ile bu etkiye maruz bırakılmayan kontrol betonu serisi ile kıyaslandığında basınç dayanımı kaybı %19.30 olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde E2 ve E3 nolu serileri kendi kontrol serileri ile karşılaştırıldığında basınç dayanımlarında sırası ile %14.5 ve %18.6 oranlarında kayıplar olduğu tespit edilmiştir. Tüm içeriği pomza taşı olan E7 ve E8 nolu

serilerinde ise dayanım kayıpları sırası ile %5.73 ve %11.56 oranlarındadır. Şekil 4.45 incelendiğinde E9 nolu serinin basınç dayanım kaybındaki yükselişin az olduğu gözlenmektedir. Bu yükseliş oranlarına bakıldığında %1 oranlarındadır.



Şekil 4.44. Asit dayanıklılık deneyi sonrası KYHB serilerinin basınç dayanımı değişimi



Şekil 4.45. Asit dayanıklılık deneyi sonrası KYHB serilerinin basınç dayanımı kaybı

#### 4.3.4 İslanma-Kuruma Deneyi Bulgularının İncelenmesi

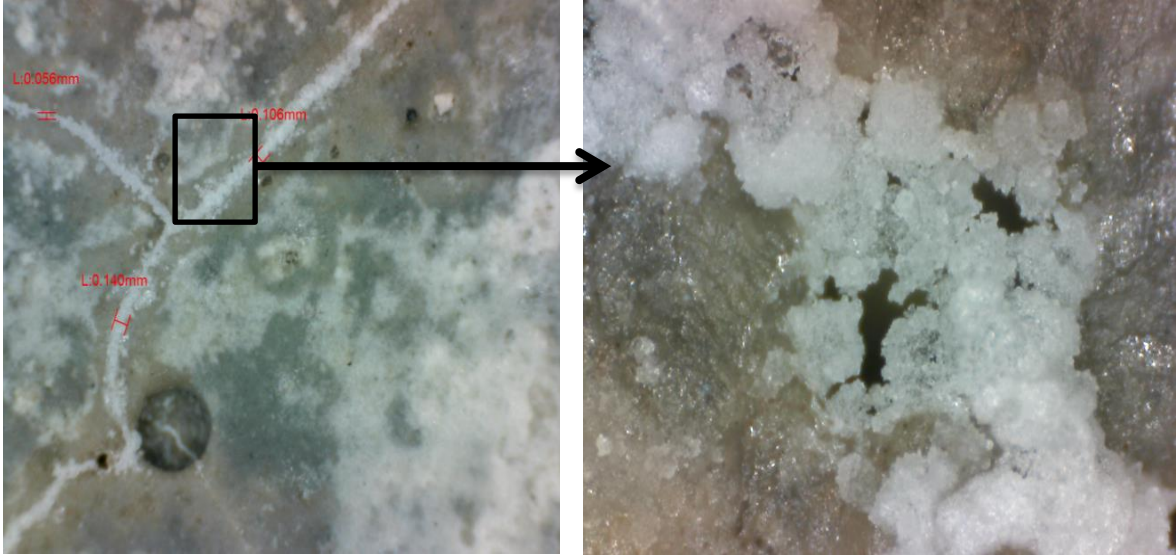
KYHB serileri üzerinde etkili olan bir diğer dayanıklılık deneyi de ıslanma-kuruma deneyidir. İslanma-kuruma deneyinde KYHB serileri 50 ıslanma-kuruma çevrimine tabi tutulduktan sonra belirtilen beton serilerinin mekanik özelliklerindeki değişim incelenmiştir. İslanma-kuruma deneyi sonrası beton numunelerin durumu incelendiğinde, tuzlusu içerisinde yapılan ıslanma-

kuruma deneyi sonrasında tüm KYHB serilerinin yüzeylerinde çatlakların olduğu bu kısımlarda tuz oluşumu ve bu numune yüzleyenlerinde oluşan çatlakların şekli ise örümcek ağına benzer şekilde olduğu görülmüştür. Özellikle E7 nolu beton serisinde bozulma oranı yüksek düzeylerde olduğu, numunede şişme ve çatlak derinliği diğer serilere nazaran fazla olduğu gözlenmiştir. E8 ve E9 nolu serilerde oluşan çatlakların sık ve birbirine yakın şekilde olduğu diğer kalan serilerin ise çatlakların birbirinden uzak olduğu Şekil 4.46’da verilmiştir.

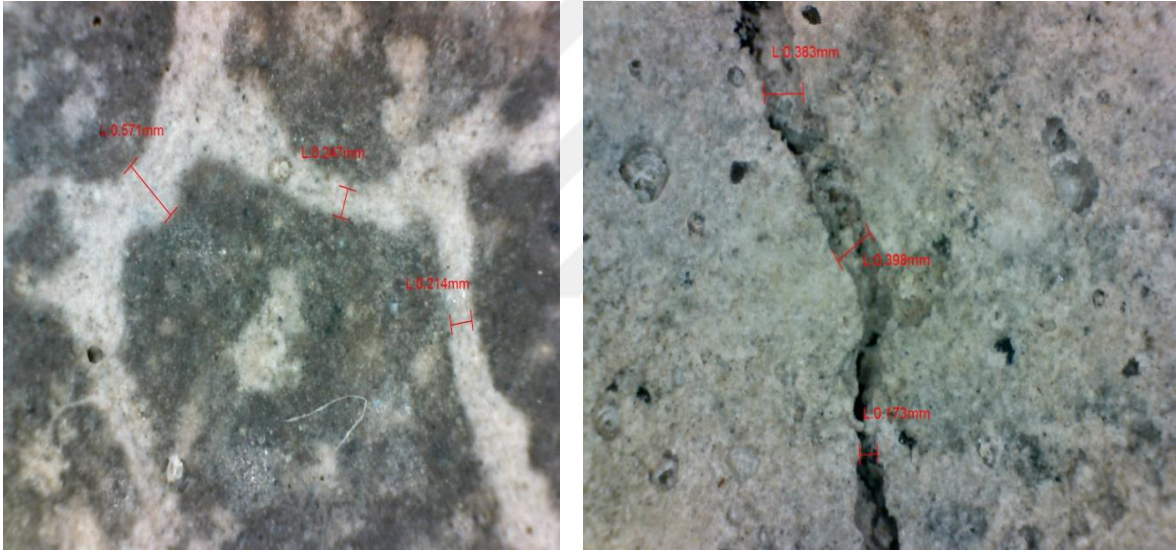


**Şekil 4.46.** KYHB numunelerin tuzlu su deney sonrası kristal tuz oluşumu ve yüzeyde çatlakların şekli.

Şekil 4.46’da incelendiğinde, Tuzlu su ıslanma-kuruma deneyi sonrası beton numunelerin durumu KYHB serilerinin yüzeylerinde pamuklanma veya belirgin yüzey parça kaybı gözlenmemiştir. Şekil 4.47-48’de de ise tuzlu su ıslanma-kuruma deneyi sonrası numuneler mikroskop ile incelendiğinde, yüzeylerinde mikro çatlaklar oluştuğu ve bu çatlaklar boyunca tuz kusması olduğu gözlenmiştir.



**Şekil 4.47.** Tuzlu su sonrası numunelerde çatlak olan kısımlarda oluşan tuzların görünümü

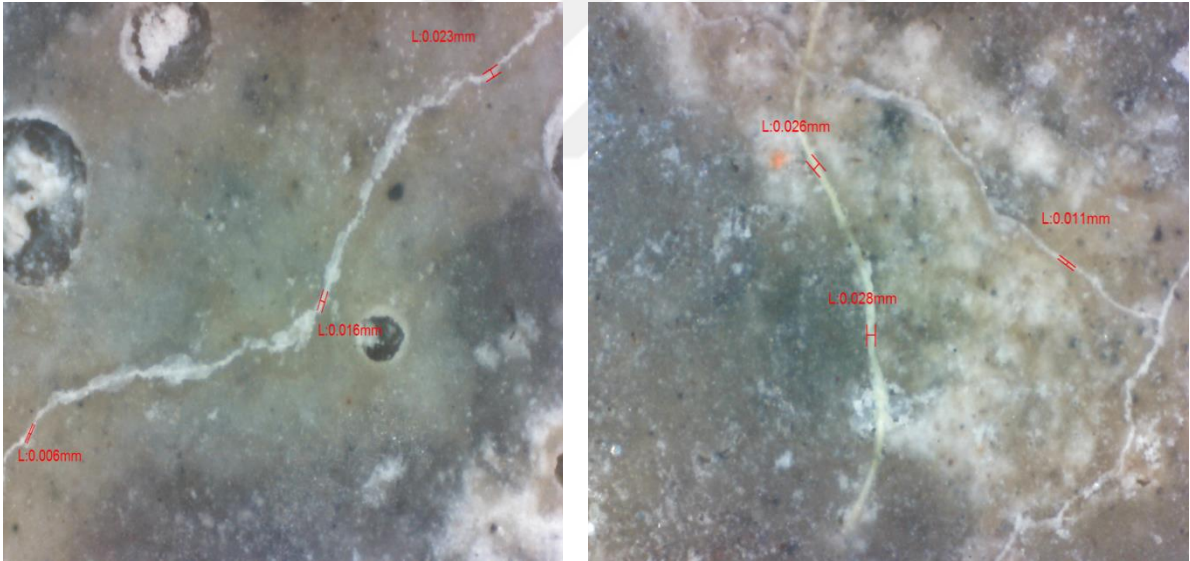


**Şekil 4.48.** Tuzlu su sonrası numunelerde oluşan çatlak genişliğinin ölçümü

Van Gölü suyu ıslanma-kuruma deneyi sonrası beton numunelerin durumu Şekil 4.49’da verilmiştir. Yapılan incelemelerde, E9 nolu beton serisi yüzeyinde oluşan çatlakların örümcek ağı şeklinde ve sık olduğu gözlenmiştir. E5 nolu beton serisinde ise oluşan yüzeysel çatlakların birbirinden geniş olduğu ve kenar kısımlarda çatlakların daha fazla olduğu gözlenmiştir. Diğer kalan beton serilerinde yüzeylerindeki çatlakların çok az olduğu, genel gözlem olarak Van Gölü ıslanma-kuruma deneyi sonrasında hiçbir KYHB serisinde belirgin yüzey parça kaybı olmadığı belirlenmiştir. Şekil 4.50’de ise Van gölü suyu ıslanma-kuruma deneyi sonrası numuneler mikroskop ile yüzeyindeki çatlakların genişliği ölçülmüştür. Tuzlu suya göre ölçülen çatlak genişliklerinin boyutları küçük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.49. KYHB numunelerin Van Gölü suyu sonrası yüzeyde çatlakların şekli



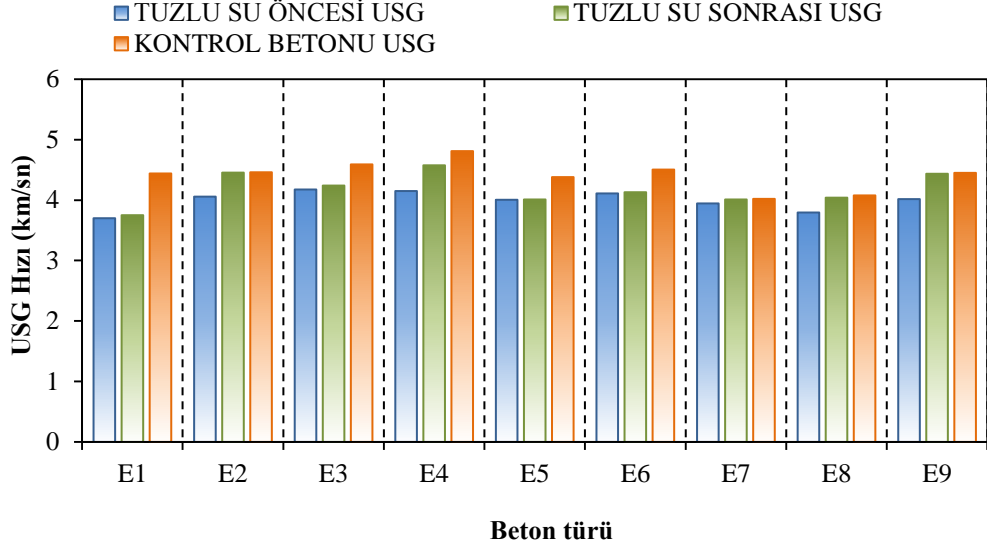
Şekil 4.50. Van gölü suyu sonrası numunelerde oluşan çatlak genişliğinin ölçümü

#### a) USG Hızı Tayini

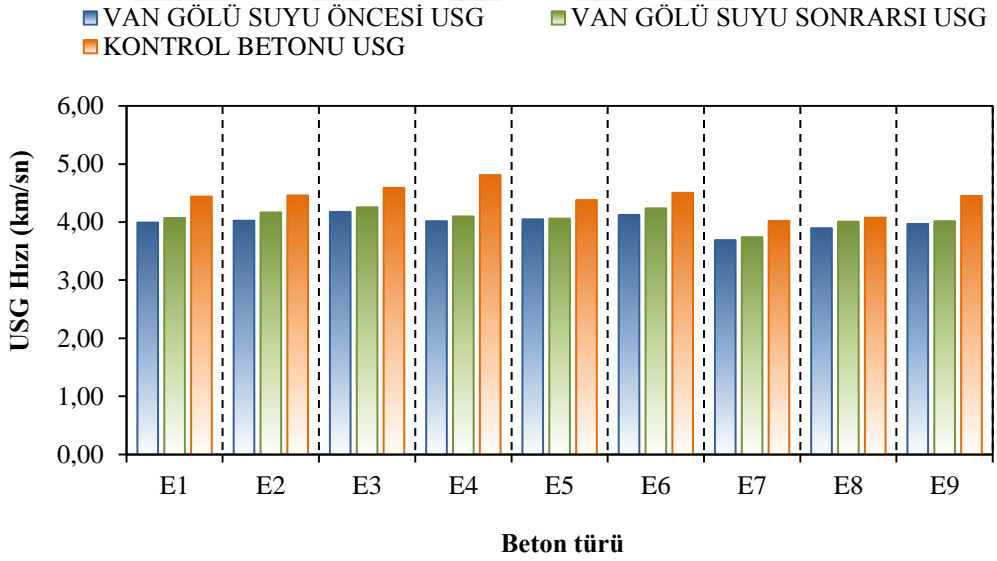
Islanma-kuruma deneyi sonrasında KYHB serileri üzerinde uygulanan USG hızı tayini deney sonuçları Şekil 4.51-53'te sunulmuştur. Islanma-kuruma deneyinin değerlendirilmesinde, her seri için kendisi ile eş ve ortam sıcaklığında ( $23^{\circ}\text{C}\pm 2$ ) bekletilmiş olan numunelerin USG hızı ortalamaları ile ıslanma-kuruma deneyi öncesi ile sonrasında ölçülen USG hızı değerleri

gruplandırılarak verilmiştir. Genel olarak şekiller değerlendirildiğinde tuzlu suda ıslanma-kuruma çevrimi sonrasında tüm KYHB serilerde USG hızlarında yükseliş gözlenmiştir. Tuzlu suda ıslanma-kuruma sonrası USG hızları en yüksek olan seri toz malzemesi uçucu kül olan ve çimento dozajı 400 içeren E4 (4.58 km/sn) serisi iken, sonrasında ise en yüksek değer toz malzemesi yine barit tozu içeren E2 (4.45 km/sn) serilerinden elde edilmiştir. Şekil 4.51’de incelendiğinde tüm KYHB numunelerin tuzlu su ıslanma-kuruma sonrasında elde edilen USG hızı değerlerine bakıldığında kontrol betonuna göre azalış olduğu gözlenmektedir. Tüm KYHB serilerin USG hızında bir artma gözlenmektedir. Bu artmalara bakıldığında ince malzemesi kum PT katkılı içeren E5, E6 serilerde artışın az olduğu en yüksek artış tüm içeriği pomza taşı olan E8 beton serisinde %10.69 oranında artış olduğunu göstermektedir. E5 serisinde ise diğer serilerin en düşük USG %0.12 bir artış olduğu gözlenmiştir.

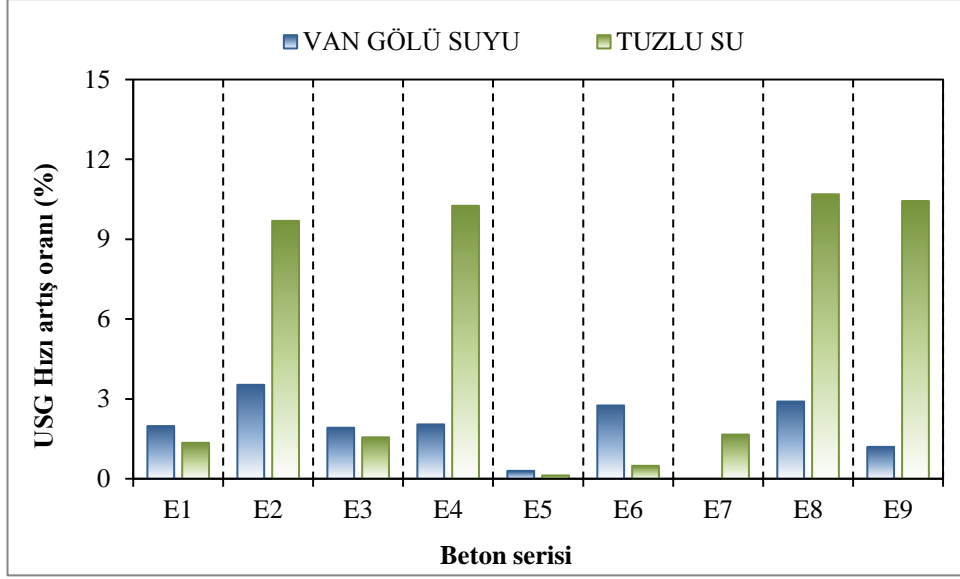
Van Gölü suyunda yapılan ıslanma-kuruma çevrimi sonrasında genel olarak Şekil 4.52 değerlendirildiğinde tüm KYHB serilerde USG hızlarında çok belirgin olmasa da yükseliş gözlenmiştir. Van Gölü suyu ıslanma-kuruma sonrası USG hızları en yüksek olan seri E3 (4.26 km/sn) serisi iken, sonrasında ise en yüksek değer ise pomza toz içeriği sahip olan E6 (4.24 km/sn) serilerinden elde edilmiştir. Şekil 4.53’te incelendiğinde tüm KYHB numunelerin Van Gölü suyu ıslanma-kuruma sonrasında elde edilen USG hızı değerlerine bakıldığında kontrol betonu göre azalış olduğu gözlenmektedir. Tüm KYHB serilerinden USG hızında bir artma gözlenmektedir. Bu artmalara bakıldığında en yüksek artışın BT katkılı E2 beton serisinde %3.53 oranında olduğu görülmektedir. E5 ve E7 serilerinde ise %0.3 ve %0.01 oranlarında diğer serilerin en düşük artış gözlenmiştir. Şekil 4.52’de incelendiğinde, UK katkılı E4 beton serisinin Van Gölü suyuna nazaran tuzlu suda daha fazla artış gözlenirken, PT katkılı E5 serisi her iki ıslanma-kuruma deneyleri sonrası artışların nispeten birbirlerine yakın olduğu gözlenmiştir.



**Şekil 4.51.** KYHB serilerinin tuzlu su ıslanma-kuruma deneyi öncesi ve sonrası, kontrol betonu ile birlikte USG hızı değişimi



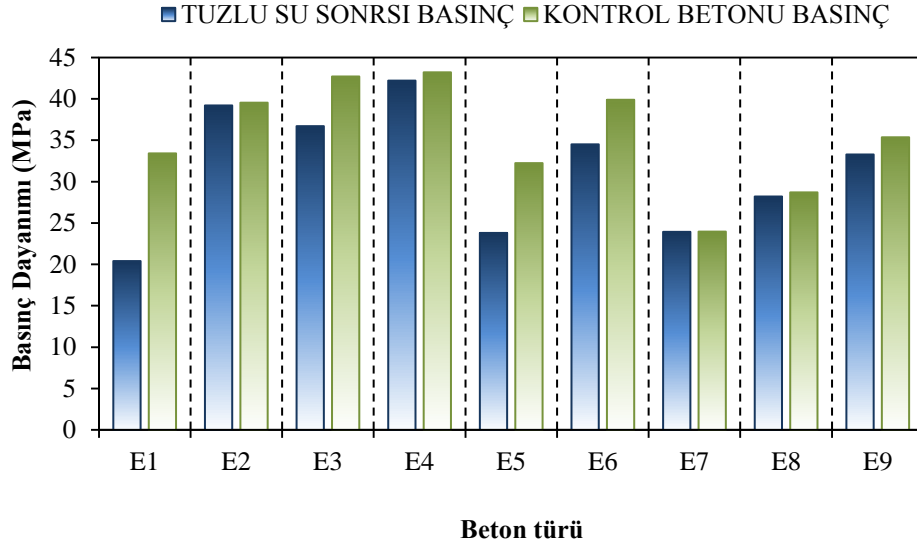
**Şekil 4.52.** Van Gölü suyu ıslanma-kuruma deneyi öncesi ve sonrası kontrol betonuna göre KYHB serilerinin USG hızı değişimi



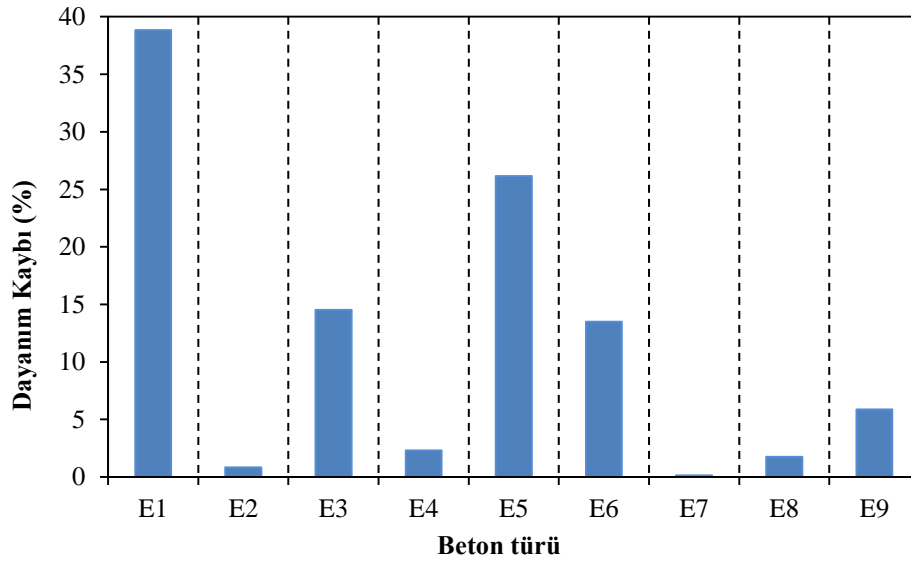
Şekil 4.53. İslanma-kuruma deneyi sonrası KYHB serilerinin USG hızı değişim oranı

#### b) Basınç Dayanımı Deneyi

Şekil 4.54-57’de ıslanma-kuruma deneyi sonrası uygulanan basınç dayanımı deneyinden elde edilen sonuçlar ve oluşan % olarak basınç dayanımı kayıpları verilmiştir. KYHB serilerinin dayanıklılık özelliklerini belirlemek amacı ile uygulanan deneylerden ıslanma-kuruma deneyi sonrasında da bazı numunelerin basınç dayanımlarında belirgin bir farklılık gözlenmiştir. Tuzlu su ile ıslanma-kuruma çevirimi deney sonuçlarına bakıldığında; genel olarak ince malzemesi kumlu serilerden E1, E5 daha düşük basınç dayanımı değerleri verdiği görülürken bu serilerin aynı zamanda dayanım kayıp oranlarının da daha yüksek olduğu görülmektedir. Karışımında ince agrega olarak kum ile BT katkılı kullanılan E2 seri ile UK katkılı E4 serilerinin yüksek basınç dayanımı değerleri sergilerken ıslanma-kuruma deneyinden etkilenme oranının da daha düşük olduğu görülmektedir. Tüm içeriği pomza taşı olan E7 ve E8 serilerinde ise göze çarpan tuzlu su ile ıslanma-kuruma çevirimi deney sonrası mukavemette azalmanın az olduğu görülmektedir. E1 kodlu seri, kendi kontrol serisine oranlandığında ise basınç dayanımında %38.8 dayanım kaybı olduğu görülmüştür. Bu dayanım düşüş grubunda %0.1 oranında basınç dayanımı kaybı ile en düşük dayanım kaybı değerine sahip olan seri ise tüm içeriği pomza taşı olan E7 kodlu olmuştur.



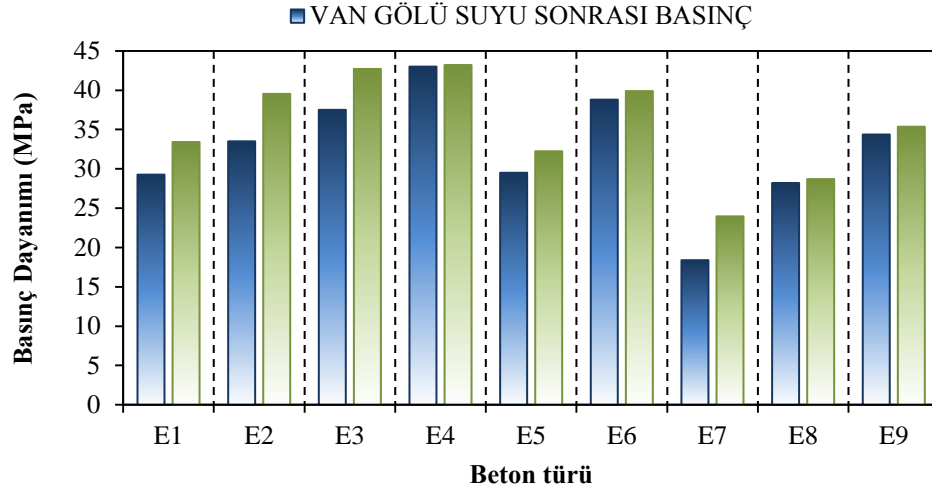
**Şekil 4.54.** Tuzlu suda ıslanma-kuruma deneyi sonrası beton serilerinin basınç dayanımı değişimi



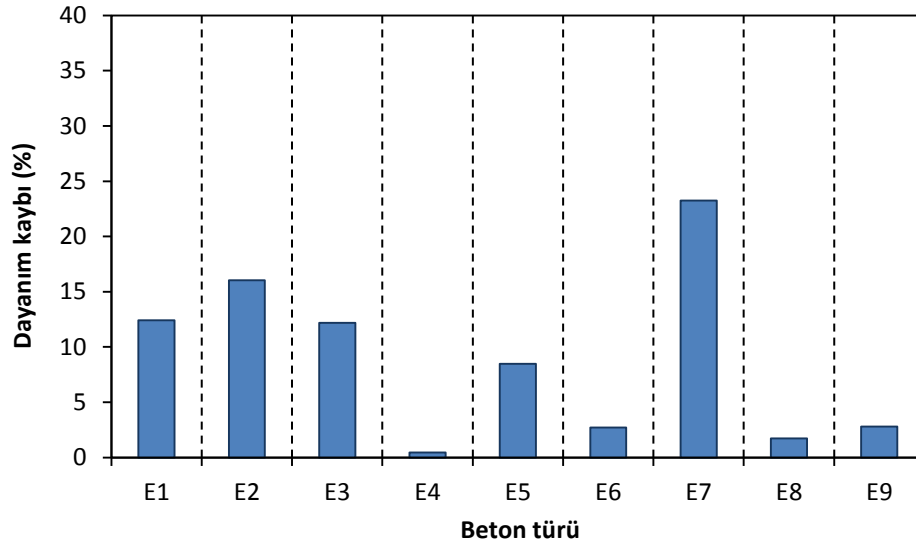
**Şekil 4.55.** Tuzlu suda ıslanma-kuruma deneyi sonrası beton serilerinin basınç dayanımı kaybı

Van gölü suyu ile ıslanma-kuruma çevrimi deneyi sonrasında, genel olarak Şekil 4.56'da incelendiğinde ince agrega olarak pomza içeren E7 serisinin daha düşük basınç dayanımı değerleri verdiği görülürken bu serinin aynı zamanda dayanım kayıp oranları da daha yüksek olduğu görülmektedir. UK katkılı E3, E4 serileri ile PT katkılı E6 serilerinin ise daha yüksek basınç dayanımı değerleri sergiledikleri ıslanma-kuruma deneyinden etkilenme oranının da daha düşük olduğu özellikle E4 serisi göze çarpmaktadır. E7 nolu serisi kendi kontrol serisine oranlandığında ise basınç dayanımında %23.3 dayanım kaybı gerçekleştiği görülmüştür. Bu

düşüş grubunda %0.5 oranında basınç dayanımı kaybı ile en düşük dayanım kaybı değerine sahip olan UK katkısı içeren E4 kodlu serisi olmuştur.



Şekil 4.56. Van gölü suyu ile ıslanma-kuruma deneyi sonrası beton serilerinin basınç dayanımı değişimi



Şekil 4.57. Van gölü suyu ile ıslanma-kuruma deneyi sonrası beton serilerinin basınç dayanımı kaybı

#### 4.3.5. Rölatif Porozite Deneyi Bulguları

Normal şartlar altında deneylere tabi tutulan KYHB serileri ile durabilite deneyleri uygulanan KYHB serilerinin, ölçümler sonucu hesaplanan rölatif porozite değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir. Rölatif porozitelerin belirlenmesinde, şartları ayrı olan her seri için ayrı kontrol

serilerinin rölatif poroziteleri değerlendirilmiştir. Örnek olarak, donma-çözünme deneyine tabi tutulan her bir serinin, deney uygulanmadan ve deney uygulandıktan sonra porozite değerleri ölçüldüğü sonrasında çıkan farkın % artış yada % kayıp olarak Çizelge 4.3'e işlenmiş, ıslanma-kuruma ve asit dayanıklılık deneyleri içinde ayrı değerler hesaplanmıştır. Böylece her bir farklı şart uygulanan beton serisi, yine kendi ile değerlendirilmiştir.

Donma-çözünme deneyi sonucu poroziteler ve porozitelerde meydana gelen değişimler Çizelge 4.3'de sunulmuştur. Donma-çözünme deneyi sonrasında KYHB serilerinin porozite değerleri -%85.21 ve %58.78 aralığında değişim göstermiştir. Çizelge 4.3'de incelendiğinde, ince agrega olarak kum ve UK katkılı E3 ve E4 serilerindeki porozite artış oranının düşüklüğü dikkati çekmektedir. Benzer şekilde ince agrega olarak kum ve BT katkılı serilerinde porozite artış oranları kullanılan ince agrega olarak kum ve PT katkılı serilerine kıyasla artış oranlarından oldukça düşük değerlerdedir. Çizelge 4.3 incelendiğinde, porozitelerdeki en yüksek artış PT katkılı serilerde gözlenmektedir.

Asit dayanıklılık deneyi sonrasında üretilen KYHB serilerinin porozite değerleri -%63.17 ve %11.82 aralığında değişim göstermiştir. Asit deneyi sonrasında da porozite değerlerinde ve dolayısı ile porozite değişim oranlarında her biri kendi kontrol serileri ile karşılaştırıldığında E4 serisi hariç artış gözlenmiştir. Bu deneyde de ince agrega olarak kum ve UK katkılı E3 ve E4 serilerinde porozite artış oranının düşüklüğü dikkati çekmektedir. Çizelge 4.3 incelendiğinde, porozitelerdeki en yüksek artış PT katkılı E7 serisinde gözlenmektedir.

Tuzlu suda ıslanma-kuruma deneyi sonrasında ise porozite değerlerinde beklenmedik bir şekilde bazı seriler hariç düşüş gözlenmiştir. Tuzlu su ile ıslanma-kuruma deneyi ile KYHB serilerinin porozitelerinde meydana gelen değişimler sırası ile Çizelge 4.3'de sunulmuştur. Çizelge 4.3'de incelendiğinde, çimento dozajı artan serilerde porozite değişiminde düşüşler gözlemlenmiştir. Tuzlu suyla ıslanma-kuruma deneyi sonrasında üretilen KYHB serilerinin porozite değerleri -%51.04 ve %17.03 aralığında değişim göstermiştir. En yüksek artış tüm içeriği pomza taşı olan E7 serisi olurken en az azalış ise ince agregası kum ve BT katkılı E2 serisinde görülmektedir. Van gölü suyunda ıslanma-kuruma deneyi sonrasında üretilen KYHB serilerinin porozite değerleri -%65.76 ve %34.58 aralığında değişim göstermiştir. Islanma-kuruma deneyleri sonrasında ince agregası kum ve UK katkılı E3 ve E4 serilerindeki porozite artış oranının düşüklüğü dikkati çekmektedir. Bazı serilerde oluşan porozitelerdeki düşüş; Richardson [110], Mehta ve Monteiro [111] yazdıkları eserlerde, deniz suyunun beton üzerindeki negatif etkilerini anlatırken, betonun kapılar çekim ile tuz adsorbe edebileceğini ve bu sayede içyapıda tuz kristalizasyonu oluşacağını belirtmişlerdir. Çalışmada ıslanma-kuruma deneyinin tuzlu su ortamında yapıldığı ve literatürde yapılan bu açıklamalar göz önünde

bulundurulduğunda, bu deney sonrası üretilen betonların boşluk yapısının tuz kristalizasyonu ile tıkanmış olabileceği görülmüştür. Ayrıca bu deneyde de numunelerin öncelikle tamamen kurutulduktan sonra ıslanma-kuruma çevrimine tabi tutuldukları da dikkate alındığında belirtilen olasılığın kuvveti artmaktadır. Bozkurt N. [5] yapmış olduğu doktora çalışmasında benzer bulgulara ulaştığını belirtmektedir.

**Çizelge 4.3.** D-Ç, AD, TS, ve VS deneyi ile porozite değişimi

Num. No	D-Ç % Değişim*	AD %Değişim*	TS % Değişim*	VS % Değişim*
E1	-38.97	-21.75	-10.22	-3.02
E2	-31.79	-63.17	17.03	10.18
E3	-16.14	-24.91	-25.83	-10.09
E4	58.78	11.82	16.50	34.58
E5	-60.87	-29.17	9.60	-3.66
E6	-44.90	-13.21	-0.70	-12.65
E7	-53.32	-96.72	-51.04	-65.76
E8	6.32	-15.97	3.99	4.89
E9	-85.21	-18.15	2.10	-26.83

\* negatif yüzde oranları porozite değerinde artma olduğunu belirtmektedir.

D-Ç: donma-çözünmedeki Pr değişimi.

AD: asit deneyindeki Pr değişimi.

TS: tuzlu su deneyindeki Pr değişimi.

VS: Van gölü suyu deneyindeki Pr değişimi.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, doğal hafif agrega kullanımının beton maliyetini önemli ölçüde azaltabileceği düşünülerek, normal ağırlıklı olarak üretilen ve gittikçe kullanımı yaygınlaşan kendiliğinden yerleşen betonun, Tatvan-Bitlis pomza agregası kullanarak, kendiliğinden yerleşen hafif beton olarak üretilmesi amaçlanmıştır. Hafif betonun ısı yalıtkanlığının iyi olması, donmaya ve ateşe karşı dayanıklı olması ve bu betondan yapılan yapıların zati ağırlığından dolayı depremden doğacak yatay tesirlerin azalması, beton maliyetinin önemli ölçüde azalmasına sebep olmaktadır. Bunun yanında KYHB kullanımının yapının ömrüne getireceği katkılar, bakım ve onarım harcamalarındaki azalmalar, yapım süresinin kısalması ve işçiliğin azalması, gürültü faktörünün düşürülmesi gibi avantajlar da göz önüne alındığında normal ağırlıklı KYB'ye göre daha ekonomik olacağı düşünülmektedir. Tez çalışmasında kendiliğinden yerleşen hafif beton

üretilmeye çalışılmıştır. Bu doğrultuda 32 farklı kendiliğinden yerleşen taze hafif beton karışımı denenmiştir. Bunlardan sadece 9 tanesi istenilen birim ağırlık ve taze beton özelliklerini sağlamış, geri kalan karışımlar ise kendiliğinden yerleşen betonun taze beton özelliği gösterememiştir.

Bu tez çalışmasında, çimento yerine karışıma farklı oranlarda BT, UK ve PT katkıları kullanılmış. Bu katkıların kullanımı ile çimento kullanımında ekonomi sağlanmakla birlikte, karışımların viskoziteleri de düzenlenmiştir. KYHB üretimi için, tüm serilerde iri agrega olarak pomza taşı seçilmiş ince agrega olarak ilk altı seride dere kumu diğer kalan üç serisinde ise pomza kullanılmış olup, tüm karışımlar KYB özelliklerini sağlamıştır.

Hazırlanan KYHB'lerin taze haldeki birim ağırlıkları  $1433-1930 \text{ kg/m}^3$ , sertleşmiş haldeki birim ağırlıkları  $1594-1960 \text{ kg/m}^3$  ve etüv kurusu birim ağırlıkları  $1390-1858 \text{ kg/m}^3$  arasında değişmiştir. Birim ağırlıkları  $2000 \text{ kg/m}^3$ 'ten az olması sebebi ile tez çalışmasının amaçları doğrultusunda hafiflik avantajının da kazandırılması sağlanmıştır. Bitlis yöresi pomzası ile KYHB üretiminde, birim ağırlıklarda normal betona göre yaklaşık olarak %23-%45 arasında azalma gözlenmiştir. Birim hacim ağırlıkların azaltılmasında mineral katkılı tozların kendi birim ağırlıkları da büyük rol oynamaktadır. En düşük birim ağırlık değeri diğer toz katkılara göre daha çok gözenek yapısına sahip olan tüm içeriği pomza taşı ile üretilen serilerde elde edilmesiyle birlikte en düşük dayanımlar da tamamı pomza agregasıyla üretilen serilerde gözlenmiştir. Yapının tüm ağırlığının azalmasından dolayı deprem olayı sırasında daha küçük dinamik kuvvetler oluşması sağlanacaktır. Böylece dinamik etkilerin azalmasıyla bunların oluşturacağı gerilmelerin küçülmesi de sağlanacak ve yapının depreme dayanıklılığı artırılmış olacaktır. Ayrıca, hem yapılarda zemine aktarılan yükün azaltılması ve hem de yapının hafiflemesinden dolayı taşıyıcı elemanların kesitlerindeki azalmalar ile ekonomik yarar sağlanacaktır.

Bu tez çalışmasında, BT, UK ve PT olmak üzere üç tip toz malzeme kullanılmıştır. Bu malzemelerin kullanıldığı taze beton özelliklerinin karakteristikleri oldukça farklıdır. Taze beton deneyleri kendi içinde değerlendirildiğinde, çökme-yayılma çapının 620 mm ile 800 mm arasında değiştiği, çökme-yayılma süresinin ise 0.75 sn ile 3.1 sn arasında değiştiği görülmektedir. BT katkılı E2 serisinin yayılma hareketini çok çabuk tamamlamakta, akma süresi oldukça düşmektedir. E2 nolu seri tasarlanan diğer serilere göre daha uzun yayılma çapı uzunluğuna daha kısa sürede ulaşabilmekte ve işlenebilirliği daha iyi bir beton görüntüsü vermektedir. Ancak BT katkılı KYHB'ların taze haldeyken segregasyona çok daha meyilli olduğu tasarım çalışmalarında dikkati çekmiştir. Yani agrega fazı ile BT katkılı harç fazının birbirine kohezyonunun zayıf olduğu ve bu sebeple daha fazla akıcı olduğu söylenebilir. Genel olarak kullanılan mineralojik katkı azaltıldığında ve bununla birlikte çimento oranı artırıldığında

taze beton serilerinin yayılma çapı ve hızında artış görülmüştür. Bu genellemeyi diğer karakteristik KYB testleri içinde geçerlidir. Akma hızının ve geçme/yerleşme yeteneğinin test edildiği V-hunisi ve L-kutusu deneylerinde de en iyi sonucu BT katkıli seriler verirken, 2. Sırada UK katkıli seriler ve son sırada ise PT katkıli seriler sergilemiştir. Katkı miktarı ve çimento dozajına göre seriler kendi içinde değerlendirildiğinde ise yine 400 dozlu çimento içerikli serilerin daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Katkı tipi olarak UK kullanılan örnekler tüm kür süreleri sonrasında, BT ve PT katkıli karışımlardan daha yüksek basınç dayanım değerleri vermiştir. UK sahip olduğu puzolanik aktivite özelliğinin barit tozu ile PT kıyasla oldukça fazla olması, basınç dayanım değerlerinin yüksek çıkmasına neden olmuştur. Basınç dayanımları açısından, tüm numuneler ele alındığında, en düşük dayanımlar tüm içeriği pomza taşı olan E7 serisinde elde edilmiştir. En yüksek dayanım ise dere kumu agregası ile üretilmiş ve UK katkıli E4 serisinde görülmüştür. E4 kodlu KYHB seride 400 dozlu çimento ve ince agrega olarak nehir kumu kullanılmasından dolayı en yüksek sonuç elde edilmiştir. Benzer şekilde E7 serisi 350 dozlu çimento ve ince agrega olarakta pomza taşı agregası içermesi sebebiyle en düşük mukavemeti vermiştir. Agrega içeriği tümü pomza olan ve UK katkıli E9 serisinin 3 günlük kür yaşı sonrasında bile taşıyıcı beton özeliğini sağladığı görülmektedir. Bu sonuç kalıp sökme süresi yönünden de önemlidir. İnce agregası nehir kumu olan BT ve PT katkı içerikli serilerin benzer mukavemet davranışları gösterdiği ve UK katkıli serilerin en iyi mukavemet sonuçlarını sergilediği görülmüştür. İnce agregası pomza taşı olan serilerde ise yine en iyi mukavemeti UK katkıli seri verilmiştir. 350 dozlu olan PT katkısının ve agrega olarak tamamen pomza taşını kullanıldığı bu seri dahi 28 gün kür sonrasında literatürde ve standartta belirtilen taşıyıcı hafif beton silindirik basınç mukavemeti sınır değeri olan 17 MPa' yı geçmiştir. E4 serisinden ise C30-C35 arası (37.50 MPa) bir standart silindirik mukavemet değerinin elde edildiği görülmüştür. 56 ve 90 günlük yaşlarda mukavemet artışı kayda değer artış gösterirken, 150 günlük kür sonrasında basınç mukavemetinin artışının çok küçük farklılıklar ile grafiğe yansdığı görülmüştür. Bu durum ise karışıma eklenen toz katkılarının 56 ve 90 gün ile aktive olduklarını gösterirken daha ileri yaşlarda mukavemete belirgin bir etkisinin olmadığını göstermiştir.

KYHB'de yüksek sıcaklığın artması ile birim ağırlıklarda azalmalar gözlenmiştir. KYHB'de sıcaklığın artması ile USG hızlarında azalmalar gözlenmiştir. Yapılan yüksek sıcaklık deneyleri neticesinde genel görünüm mukavemeti yüksek olan betonun daha fazla dayanım kaybettiğidir. 200°C sıcaklığa maruz kalmış bazı numuneler yüksek sıcaklık etkisinde beklenen aksine basınç dayanımında azalma değil de artış göstermiştir. Genel olarak bakıldığında uygulanan sıcaklığın arttırılması ile beton basınç dayanımında normal olarak düşüş gözlenmiştir.

Basınç dayanımında 200, 400, 600, 800 ve 1000°C sıcaklıklar sonrasında sırası ile ortalama %0.03, %14.75, %29.72, %73.82 ve %94.04 oranlarında, kayıplar oluşmuştur. USG hızı değerlerinde ise ortalama %3.25, %27.31, %44.53, %58.05 ve %71.60 oralarında düşüş oluşmuştur.

Donma-çözülme deneyi öncesi ve sonrasında en yüksek basınç dayanımı E4 serisi sergilerken, en düşük dayanım ise E7 serisinden elde edilmiştir. Dayanım kayıpları, KYHB'lerde %26.6 ile -%13.5'tir. E8 beton serisinde en yüksek veri %13.5 dayanım artışı görülürken, E6 beton serisinde en düşük %26.6 dayanım kaybı görülmektedir. Seriler üzerinde uygulanan 50 çevirim donma-çözünme deney sonrası numunelerin taşıyıcılık özelliğini kaybetmediği görülmüştür.

Asit dayanıklılık deneyi sonrasında da yüksek sıcaklık deneyinde olduğu gibi, serilerin mekanik özelliklerinde yüksek oranda dayanım kayıpları oluşmuştur. Basınç dayanımı kaybı en yüksek PT katkılı E6 serisinden, bunu takiben UK katkılı E3 serisinden elde edilmiştir. Asit etkisi sonrası E6 serisi ile bu etkiye maruz bırakılmayan kontrol betonu serisi ile kıyaslandığında basınç dayanımı kaybı %19.30 olarak hesaplanmıştır. E4 serisi hariç diğer kalan KYHB serilerinde porozitede artış olmuştur. Kullanılan çözeltilerin pH değerinin 3 olması, KYHB serilerinin yüzeyinde erime ya da parça kaybına neden olmamıştır.

Islanma-kuruma deneyi sonrası tüm KYHB serilerinin yüzeyinde çatlaklar oluştuğu ama parça kaybı olmadığı görülmüştür. Tuzlu su ile ıslanma-kuruma deneyi sonrası UK katkısı içeren E9 serisinin yüzeylerinde yoğun bir şekilde çatlama ve çatlama olan kanallarda tuz kristallerin oluşumu görülmüştür. Karışımında ince agrega olarak kum ile UK katkısı kullanılan E3, E4 serilerinin ise yüksek basınç dayanımı değerleri sergilerken ıslanma-kuruma deneyinden etkilenme oranının da daha düşük olduğu görülmüştür. Tüm içeriği pomza taşı olan E7 ve E8 serilerinde ise göze çarpan tuzlu su ile ıslanma-kuruma çevirimi deney sonrası mukavemette azalmanın az olduğu görünmektedir. E6 kodlu seri, kendi kontrol serisine oranlandığında ise basınç dayanımında %40.3 dayanım kaybı oluştuğu görülmüştür. Van gölü suyu ile ıslanma-kuruma çevirimi deneyi sonrasında, genel olarak ince agregası pomza olan E7 serisinin daha düşük basınç dayanımı değerleri verdiği görülürken bu serinin aynı zamanda dayanım kayıp oranları da daha yüksek olduğu görülmüştür. UK katkılı E3, E4 serileri ile PT katkılı E6 serilerinin ise daha yüksek basınç dayanımı değerleri sergiledikleri; ıslanma-kuruma deneyinden etkilenme oranının da daha düşük olduğu (özellikle E4 serisi) göze çarpmaktadır.

Görünen porozite değerlerinin azalması, birim hacim ağırlık değerleriyle de ilişkilidir. Birim hacim ağırlık değerleriyle ters orantılı olarak, en az porozite değeri seriler içerisinde en fazla birim ağırlık değerine sahip olan BT katlı serilerde elde edilirken, en fazla porozite değeri

de, en az birim ağırlık değerine sahip olan PT katkı serilerde elde edilmiştir. Donma-çözünme deneyi sonrasında serilerin porozite değerleri %16.14-85.21 aralığında değişim göstermiştir. Asit dayanıklılık deneyi ve ıslanma-kuruma deneyi sonrasında porozite değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Bu düşüşler asit dayanıklılık deneyinde, kullanılan asit etkisi ile ve ıslanma-kuruma deneyinde ise tuz kristali oluşumu ile beton içyapısındaki boşluklarda tıkanma olasılığına bağlanmıştır.

Sonuç olarak KYHB kullanılması ile yetersiz sıkıştırmadan ve yetersiz kürden kaynaklanan mukavemet ve durabilite kayıpları en aza indirgenmiş olacaktır. Bu betonun kendiliğinden yerleşebilen ve hafiflik özelliği, deprem bölgelerindeki yapılar ve ayrıca prefabrikasyon için tercih sebebi olabilir. Bu tezin hayata geçilmesiyle Bitlis yöresi pomzası kullanılarak beton teknolojisine yeni bir ürün daha kazandırılmış ve yöremizin deprem kuşağında olması nedeniyle daha hafif, yalıtım özellikli aynı zamanda diğer mühendislik özellikleri geliştirilmiş yeni bir beton sunulmuştur.

## KAYNAKLAR

- [1] Hızal S, 2010. Kendiliğinden Yerleşen Taşıyıcı Hafif Betonun Tasarımı ve Durabilite Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [2] Kurt M, 2009. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [3] Anonim, 2016. İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemesi Giriş Ders Sayfaları. <http://95.183.198.2/dosyalar/bolum/insaatmuhendisligi/editör/DersSayfası/YapMalzGgiris.pdf> ( Erişim tarihi: 08.08.2016 ).
- [4] Esmaeilzade A, 2013. Mineral Katkılı Hafif Betonlarda Sülfat Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [5] Bozkurt N, 2009. Fiber Takviyeli Kendiliğinde Yerleşen Betonun Mekanik ve Durabilite Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [6] Gönen T, 2009. Kendiliğinden Yerleşen Taşıyıcı Hafif Betonun Mekaniksel ve Durabilite Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [7] Akakın T, Kılınç C, Işık A, Zengin H, 2013. Hazır Beton Sektörü ve Beton Kullanımındaki Gelişmeler. Beton 2013 Hazır Beton Kongresi, Türkiye Hazır Beton Birliği-Ankara, s: 66 -72.
- [8] Yazıcı H, Yalçınkaya Ç, 2011. Yeni Nesil Yüksek Performanslı Beton. Reaktif Pudra Betonu Üzerinde Araştırma Makalesi. İMO İzmir Bülteni, Sayı: 156/26-29.
- [9] Sağlık A, 2013. Beton ve Kimyasal Katkı Teknolojisinde Yeni Gelişmeler ve Standartlar, DSİ Genel Müdürlüğü, TAKK Daire Başkanlığı Beton-Malzeme Lab. Şb. Md.'lüğü ilgili bir çalışma, Ankara

- [10] Gönen T, Onat O, Cemalgil C, Yılmaz B, Altuncu YT, 2012. Beton Teknolojisi İçin Yeni Atık Malzemeler Üzerine Bir İnceleme. Yapı Tek.nolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 8 (1): 36-43.
- [11] Özkul H, Taşdemir MA, Tokyay M, Uyan M, 1999. Her Yönüyle Beton. Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.
- [12] Karagöz H, 2013. Kendiliğinde Yerleşen Harçlarda Kullanılan Mineral Katkıların Yüksek Sıcaklık Performansına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- [13] Topçu İB, 2006. Beton Teknolojisi. Uğur Ofset A.Ş., s: 570
- [14] Okamura H, Ouchi M, 2003. J Adv. Conc. Tech., vol. 1. p: 5-15
- [15] Özkul MH, 2014. Kendiliğinden Yerleşen Betonlar. 2013 Hazır Beton Kongresi Bildiri Kitabı, s: 61 – 66 İstanbul.
- [16] Okamura H, Ouchi M, 2003. Self-Compacting Concrete. Journal of Advanced Concrete Thnology, 1(1): 5-15.
- [17] Felekoğlu B, 2003. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fizksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [18] Türkmenoğlu ZF, Kılıç AM, Tolga D, 20015. Van Pomzası ve Mermer Tozu Atıkları ile Üretilmiş Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30 (1): 105-116.
- [19] Demir İ, Orhan M, 2001. Pomza Hammaddesinin Tuğla Üretiminde Kullanılması. Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, 416-(6) 207-208.
- [20] TUIK, 2009. Türkiye İstatistik Kurumu, İnşaat Yapılar İstatistiği.

- [21] Kotan T, 2009. Pasinler-Demirdöven Pomzası İle Üretilen Hafif Betonların Mekanik Özelliklerine Atmosferik Basıncılı Buhar Kürünün Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [22] Felekoğlu B, 2003. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fizksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [23] Felekoğlu B, Türkel S, Baradan B, 2004. Kendiliğinden Yerleşen Beton: Bölüm 1 Genel Tanıtım, Kullanım Alanları. TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Haber Bülteni, 19(117): 20-24.
- [24] Yoğurtçu E, 2005. Kendiliğinden Yerleşen Taşıyıcı Hafif Beton. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [25] Skarendahl A, 2000. Self-Compacting Concrete. State of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC, RILEM Publications.
- [26] Topçu İB, Bilir T, Baylavlı H, 2008. Kendiliğinden Yerleşen Beton Özellikleri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt: XXI, No: 1.
- [27] Gürdal H, Yüceer Z, 2004. Türkiye ve Dünyada Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları, 2004 Beton Kongre Bildiri, İstanbul.
- [28] Uygunoğlu T, 2008. Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [29] ACI 237R-07, 2007. Self-Consolidating Concrete. Reported by ACI Committee 237.
- [30] RILEM, 2008. Final report of RILEM TC 205-DSC: Durability of Self-Compacting Concrete. Materials and Structures 41: 225-233.

- [31] Sağlam AR, Parlak N, Doğan ÜA, ve Özkul MH, 2004. Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Katkı-Çimento Uyumu. 2004 Beton Kongresi Bildirileri, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.
- [32] Collepardi M, Collepardi S, Troli R, 2007. Pratical Applications of SCC in European Works, Proceedings of Special Session in Honor of Prof. Jean Pera, Sustainable Construction Materials and Technologies, Coventry (U.K.), 11-13 June, 51-58.
- [33] Wattanalamerd C, Ouchi M, 2005. Flowability of Fresh Mortar in Self- Compacting Concrete Using Fly Ash. First International Symposium on Design, Performance and Use of Self-consolidating Concrete, China, 261-270.
- [34] Li Y, Zhou S, Yin J, Zhou W, 2005. Experimental Study on Bond Strength of Rebar in High Performance Concrete Containing Ultra Fine Fly Ash. First International Symposium on Design, Performance and Use of Self-consolidating Concrete, China, 449-456.
- [35] Ouchi M, 1999. Self-compacting concrete-Development, applications and investigations. Nordic Concrete Research Commitee Publications.
- [36] Arsalan S, 2005. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Uçak Pist Çabuk Onarım Malzemesi Olarak Kullanımının Araştırılması. Yüksek Lisan Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [37] TS EN 206-1, 2002. Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [38] EFNARC, 2005. The European Guidelines for Self-compacting Concrete: Specification. Production and Use, The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems. May. 2005.
- [39] Domone PL, 2007. A Review of The Hardened Mechanical Properties of Selfcompacting Concrete. Cement and Concrete Compozites, 29: 1-12.

- [40] Alyamaç K, 2008. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Lineer Olmayan Kırılma Mekanik Prensipleriyle İncelenmesi. Doktora tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [41] Kaymak H, 2010. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Metakalin ve Kalsit Kullanımı. Yüksek Lisan Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- [42] Ulukaya S, 2008. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Rötire ve Rötire Çatlaklarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [43] Özkul MH, 2014. Kendiliğinden Yerleşen Beton. 2013 THBB kongresi. Eylül-Ekim 2014, 61-70.
- [44] Kandemir A, 2005. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kalıcılık Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [45] Sarıdemir H, 2007. Mineral ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkılarının Kendiliğinden Yerleşen Betonun İşlenebilirlik ve Basınç Dayanımına Etkisi. Yüksek lisan tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [46] TS EN 934-2, 2002. Beton Katkıları-Tarifler, Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [47] TS 706 EN 12620, 2003. Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [48] TS EN 12350-2, 2010. Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 2: Çökme (slamp) Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [49] TS EN 12350-9, 2010. Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 8: Kendiliğinden Yerleşen Beton V-hunisi deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [50] TS EN 12350-10, 2010. Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 8: Kendiliğinden Yerleşen Beton J-halkası deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- [51] Billberg P, 2005. Mechanisms Behind Reduced Form Pressure When Casting with SCC. First International Symposium on Design, Performance and Use of Self-consolidating Concrete (May 26-28, 2005), China, 589-598.
- [52] Ögüler AT, 2007. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekaniksel Özelliklerine Agrega Tipinin Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [53] Ferraris C, 2005. Concrete Rheology: What Is It and Why Do We Need It?, First International Symposium on Design, Performance and Use of Self-consolidating Concrete (May 26-28, 2005), China, 229-236.
- [54] Schwartzentruber LD, Roy RL, Cordin J, 2006. Rheological Behaviour of Fresh Cement Pastes Formulated From a Self-compacting Concrete (SCC). Cement and Concrete Research, 36, pp. 1203-1213.
- [55] Davraz M, Başpınar E, 2011. Agrega Porozitesinin Hafif Betonların Fiziko-Mekanik Özelliklerine Etkisi. SDU International Technological Science, 3 (3): 35-51.
- [56] Orcay EA, 2010. Hafif Betonların Mekanik Özellikleri ve Isı İletkenlik Katsayıları. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [57] ESCSI, 1960. Lightweight concrete (History, Application, Economics). Washington D.C
- [58] Akol C, 2010. Genleştirilmiş Vermikulit İçeren Hafif Betonların Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Davranışı. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- [59] Can Ö, Gökçe HS, 2009. Pomza Agregasının Farklı Zamanlardaki Su Emmelerinin Hafif Betonun Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Etkisi. Politeknik Dergisi, 12(4): 293-298
- [60] Öztürk M, 2012. Pomza ve Perlit İçerikli Hafif Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.

- [61] Sancak E, 2005. Silis Dumanı Katkılı Bims Betonların Özellikleri. Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- [62] Topçu TH, 2006. Zonguldak-Bartın Arasındaki Cangaza Bazaltlarının Agregata Olma Özellikleri ve Beton Üretiminde Kullanabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- [63] Gökçe S H, 2010. Hafif Beton Üretiminde Genleştirilmiş Perlitin Kullanabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [64] TS 1114, 1986. (Tadil: 1987.10.13).Hafif Agregalar-Beton İçin. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [65] Ulusu İ, 2007. Ham Perlit Agregası Kullanılarak Yüksek Dayanımlı Hafif Beton Üretilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [66] Gündüz L, Sarıışık A, Tozaçan B, Davraz M, Uğur İ, Çankıran O, 1998. Pomza Teknolojisi, Cilt II. 203 s. Isparta.
- [67] DPT, 2001. Pomza, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı-Madencilik Özel İhtisas Komisyon Raporu Ankara, s: 6.
- [68] Davraz M, Yiğit Y, Gündüz L, 1997. Granülomertik Pomza Tanelerinin Çatı ve Taban Döşemede Değerlendirilebilirliği. 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 195-205.
- [69] Çankıran O, 2007. Tekstil Sektöründe Pomza Taşı Hammaddesinin Kullanımı. Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2007 (2) 33 -37.
- [70] Rittmann AL, 1976. Volcanoes, Orbis Publishing, London.
- [71] Gündüz L, Hüseyin A, 2001. Türkiye ve Dünyadaki Pomza Oluşumlarının Malzeme Karakteristiği Analizi. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu İzmir, 118-19.

- [72] Bilgiç M, 2009. Yüksek Performanslı Prefabrikte Hafif Betonların Özelliklerinin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- [73] Gökçe HS, Şimşek O, 2011. Prefabrik Taşıyıcı Hafif Beton Elemanlarda Bazaltik Pomza Agregasının Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Politeknik Dergisi, 14(1): 25-29.
- [74] DPT, 2001. Pomza, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı-Madencilik Özel İhtisas Komisyon Raporu Ankara, s: 20.
- [75] Yazıcıoğlu S, Demirel B, 2006. Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılan Elazığ Yöresi Pomzasının İlerleyen Kür Yaşlarında Betonun Basınç Dayanımına Etkisi. Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 18 (3): 367-374.
- [76] Elmastaş N, 2012. Türkiye Ekonomisi İçin Önemi Giderek Artan Bir Maden: Pomza (Süngertaşı). Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 5(23): 197-206.
- [77] Yazıcıoğlu S, Arıcı E, Gönen T, 2003. Pomza Taşının Kullanım Alanları ve Ekonomiye Etkisi. Fırat Üniversitesi DAUM Dergisi, 1: 118-123.
- [78] Erkoyun H, 2005. Pomzanın Türkiye'deki Yeri ve Önemi. Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi Bildirimler Kitabı Nevşehir, 1-7.
- [79] Gündüz L, Şapcı N, Bekar M, İsker M, 2006. Bims Betonların Genleştirilmiş Perlit Agregalar ile Teknik Özelliklerinin İyileştirilmesi Üzerine Teknik Bir Analiz. IV.Ulusal Kırmatas Sempozyumu, 2-4 Aralık İstanbul.
- [80] Ceylan H, 2005. Farklı Pomza Agregası Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Karakteristiği. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [81] Akkaş A, 2011. Pomza Agregalı Hafif Betonların Taşıyıcılık Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

- [82] Günaydın M, 2006. Nevşehir Bims Agregasından Kendiliğinden yerleşen Hafif Beton Üretilmesi. Yüksek lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [83] Yanar MT, 2007. Mineral Karışımların Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri Üzerindeki Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- [84] Müklif SAR, 2013. Volkanik Pomza Tozunun Yalın ve Silis Dumanı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- [85] Dolğun O, 2010. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Öğütülmüş Pomza Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- [86] Gündüz L, Uğur İ, 2005. The Effects of different fine and coarse aggregate/cement ratios on the structural concrete properties without using any admixture. Cement and Concrete Res., 35: 1859-1864.
- [87] Yazıcıoğlu S, Bozkurt N, 2006. Pomza Ve Mineral Katkılı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 21(4) 675-680.
- [88] Öz E, 2007. Nevşehir Dolaylarında Yüzeyleyen Asidik Pomzanın Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [89] Türkel S, Kadiroğlu B, 2007. Pomza Agregalı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13(3) 353-359.
- [90] Dikici T, 2010. Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- [91] Tapan M, Özvan A, Erik O, 2012. Van Gölü Kuzeyindeki Asidik Pomza ve Skoryanın Betonda Katkı Olarak Kullanılabilirliği. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17 (2): 108-117.
- [92] Temiz H, Akçekale AH, 2014. Hafif Agregalı Betonun Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 4 (2): 7-20.
- [93] Kaya AO, 2010. Farklı Türde Mineral Katkı Kullanımının Kendiliğinden Yerleşen Betonun Taze Faz ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [94] Booya EA, 2012. Soğuk Bağlama Yöntemiyle Üretilmiş Uçucu Kül Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze ve Serleşmiş Özelliklerinin Silis Dumanı ve Uçucu Külün İkili ve Üçlü Birleşimlerinin Kullanılarak İyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- [95] Öz HÖ, 2014. Soğuk Bağlama Yöntemi İle Elde Edilen Uçucu Kül Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri. Doktora Tezi, Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- [96] TS EN 197-1, 2002. Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, TSE, Ankara.
- [97] Esen Y, Orhan E, Kurt A, 2011. Öğütülmüş Barit ile Üretilen Betonun Basınç Dayanımı ve Fiziksel Özelliklerinin Deneysel Olarak Araştırılması, e-Journal of New World Sciences 6 (4): 1281-1290.
- [98] YEBİM, 2013. Bitlis Pomzası Analiz Sonucu, Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkez (YEBİM). Ankara.
- [99] TS 802, 2009. Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, TSE, Ankara
- [100] TS EN 1008, 2003. Beton-Karma Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları, TSE, Ankara.

- [101] Sika Ürün Bilgi Föyü, 2009. Sika ViscoCrete Hi-Tech 30, Sika Yapı Kimyasalları A.Ş., İstanbul.
- [102] TS 2511, 1977. Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesapları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [103] TS EN 12350-8, 2010. Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 8: Kendiliğinden yerleşen beton-Çökme Yayılma Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [104] TS EN 12350-10, 2010. Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 8: Kendiliğinden Yerleşen Beton L-kutusu deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [105] TS EN 12390-3, 2003. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, TSE, Ankara.
- [106] ASTM C 597, 1994. Standart Test Method For Pulse Velocity Through Concrete, Annual Book of ASTM Standards.
- [107] TSE, CEN/TR 15177, 2011. Betonda donma-çözünme direncinin tayini, TSE, Ankara.
- [108] Çimentoş Ürün Bilgi Föyü, 2016. TİP I 42.5 N, Çimentoş Sanayi A.Ş., Elazığ.
- [109] Acay E, 2010. Uçucu Kül Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonda Yüksek Sıcaklık Etkisi, Yüksek lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [110] Richardson MG, 2002. Fundamentals of Durable Reinforced Concrete, Spon Press, London, s: 260.
- [111] Mehta PK, Monteiro P J M, 2006. Concrete: Microstructure, Properties and Materials. McGraw-Hill Professional Publishing third edition, USA, s: 684.

## ÖZGEÇMİŞ

30.08.1988 yılında Hasköy/MUŞ'ta doğdu. İlköğretimi Merkez İlköğretim Okulu'nda, ortaokulu Merkez İlköğretim Okulu'nda ve liseyi Hasköy Çok Programlı (ÇPL) Lisesi'nde tamamladı. 2009 yılında kazandığım Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2013 yılında mezun oldu. Eylül 2014'te Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı. Haziran 2016'da yüksek lisansımı tamamladı. Yabancı dili İngilizce'dir.

Vural TAŞKIN

