



**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONDA
OBSİDİYEN VE ÇİNKO CÜRUF TOZU KATKILARI
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

Ömer Furkan ÖZBEY

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Türkay KOTAN**

**2022
Her hakkı saklıdır.**



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONDA OBSİDİYEN VE ÇİNKO CÜRUF
TOZU KATKILARI KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

Ömer Furkan ÖZBEY

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Türkay KOTAN

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Erzurum

2022

Her hakkı saklıdır

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

27 / 01 / 2022

Ömer Furkan ÖZBEY

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONDA OBSİDİYEN VE ÇİNKO CÜRUF TOZU KATKILARI KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Ömer Furkan ÖZBEY

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Türkay KOTAN

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB); işlenebilirliği iyi, ancak fazla çimento ihtiyacı dolayısıyla maliyetli bir özel beton türüdür. KYB'lerin maliyetini azaltmak için çeşitli mineral katkıların kullanımı araştırılmaktadır. Bu çalışmada, KYB üretiminde obsidiyen ve çinko cüruf tozu katkıları kullanımının, betonun işlenebilirlik, birim ağırlık, basınç ve yarmada çekme dayanımı, ultrases geçiş hızı, beton test çekici, kapiler su emme ve aşınma direnci özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada; çimento yerine ağırlıkça %2,5-5-7,5-10 oranlarında çinko cürufu ve %5-10-15-20-25 oranlarında obsidiyen tozu ikame edilerek üretilen harç numunelerinin 56 ve 90 günlük pozolanik aktiviteleri belirlenmiştir. İkinci aşamada ise; pozolanik aktivite sonuçlarından hareketle, çinko cürufu ve obsidiyen katkıları, seçilen oranlarda, çimento yerine ikame edilerek 577 kg/m³ sabit dozajlı KYB grupları oluşturulmuş, bu grupların araştırılan taze ve sertleşmiş beton özelliklerinin belirlenmesine yönelik deneyler yapılmıştır. Çalışma sonucunda; pozolanik aktivite indeksleri %64-88 aralığında bulunan malzemelerin optimum ikame oranları, çinko cürufu için %5 ve obsidiyen için %15 olarak belirlenmiştir. KYB üretiminde çinko cürufu ve obsidiyen tozu katkıları kullanımının; işlenebilirliğe olumlu etkileri olduğu, mekanik performansı kısmen azalttığı, ancak 90 günlük kür sonrası aşınma direncini %49 gibi önemli bir oranda artırdığı görülmüştür. Betonun diğer mekanik özelliklerini kısmen düşürmesine karşın, bu malzemelerin ekonomik ve çevresel avantajları nedeniyle yol vb. imalatlarda kullanılan KYB'lerde tercih edilebileceği düşünülmektedir.

2022, 77 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), Obsidiyen, Çinko cürufu, Pozolanik aktivite, Mekanik özellikler, Aşınma direnci

ABSTRACT

MS. Thesis

INVESTIGATION OF THE USE OF OBSIDIAN AND ZINC SLAG POWDER ADDITIVES IN SELF-COMPACTING CONCRETE

Ömer Furkan ÖZBEY

Erzurum Technical University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Türkay KOTAN

Self-Compacting Concrete (SCC) is a special concrete type with good workability but expensive because of more cement requirement. For decrease cost of SCC, the use of various mineral additives is being investigated. In this study, the effects of the use of obsidian and zinc slag powder additives in SCC production on the workability, unit weight, compressive and splitting tensile strength, ultrasonic pulse velocity, rebound (Schmidt), capillary water absorption and abrasion resistance properties of concrete were investigated. This study consists of two stages. In the first stage; the pozzolanic activities of the mortar samples produced by substituting 2.5-5-7.5-10% by weight of zinc slag and 5-10-15-20-25% by weight of obsidian powder instead of cement were determined after 56 and 90 days curing periods. In the second stage; based on the pozzolanic activity results, SCC groups with constant dosage of 577 kg/m³ were formed by replacing cement with zinc slag and obsidian additives as selected ratios, and then experiments were carried out to determine the investigated fresh and hardened concrete properties of these groups. As a result of the study, the optimum replacement ratios of the materials with pozzolanic activity indexes in the range of 64-88% were determined as 5% for zinc slag and 15% for obsidian. It has been observed that the use of zinc slag and obsidian powder additives in SCC production has positive effects on workability, partially reduces the mechanical performance, but increases the abrasion resistance by 49% after 90 days of curing. Although it partially reduces the other mechanical properties of concrete, it is thought that these materials can be preferred in SCCs used in road etc. productions due to their economic and environmental advantages.

2022, 77 page

Keywords: Self-compacting concrete (SCC), Obsidian, Zinc slag, Pozzolanic activity, Mechanical properties, Abrasion resistance

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak hazırladığım bu çalışmada, bilgi ve tecrübeleriyle bana ılık tutan, ilgisini ve zamanını benden esirgemeyen, anlayışı ve sabrına ömür boyu minnettar kalacağım danışman hocam, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Türkay KOTAN' a teşekkürü bir borç bilirim.

Değerlendirmeleri ile çalışmama önemli katkılar sağlayan jüri üyeleri, Sayın Prof. Dr. Abdulkadir KAN'a ve Sayın Doç. Dr. Rıza POLAT'a,

Tez çalışmalarımda yardımını benden hiç esirgemeyen, sürecin başından sonuna benimle beraber ter döken Sayın Arş. Gör. Metehan ARDAHANLI'ya,

Lisansüstü hayatım boyunca bana destek veren kıymetli arkadaşlarım Sayın İnş. Müh. İlhan ASLAN ve Sayın Arş. Gör. Resul ŞAHİN'e,

Çalışmama, 2020/09 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi ile destek sağlayan ve laboratuvar imkanlarından yararlandığım Erzurum Teknik Üniversitesi'ne,

Son olarak varlıklarıyla bana güç veren, maddi manevi her daim yanımda olan anneme, babama ve kardeşlerime teşekkürü bir borç bilirim.

Ömer Furkan ÖZBEY
Ocak 2022

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Kendiliğinden Yerleşen Beton	6
1.2. Kendiliğinden Yerleşen Beton Katkıları	9
1.2.1. Kimyasal katkılar	10
1.2.2. Mineral katkılar (Puzolanlar)	11
1.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mekanik Özellikleri	16
1.3.1. Basınç dayanımı	16
1.3.2. Elastisite modülü	17
1.3.3. Çekme ve kayma mukavemeti	17
1.3.4. Rötire ve sünme.....	18
1.3.5. Aşınma direnci	18
2. KAYNAK ÖZETLERİ	20
2.1. KYB ve Aşınma Direnci Konusunda Kaynak Özetleri	20
2.2. Obsidiyen Katkı Maddesi Konusunda Kaynak Özetleri	23
2.3. Çinko Cürufu Katkı Maddesi Konusunda Kaynak Özetleri	24
3. MATERYAL ve YÖNTEM	26
3.1. Materyal.....	26
3.1.1. Çimento.....	26
3.1.2. Agregası	26
3.1.3. Karışım suyu	27
3.1.4. Kimyasal katkı.....	27
3.1.5. Obsidiyen	28
3.1.6. Çinko cürufu.....	29
3.2. Yöntem	30
3.2.1. Puzolanik aktivite deneyi.....	30
3.2.2. Beton karışım oranları	30

3.2.3. Taze beton deneyleri.....	31
3.2.4. Sertleşmiş beton deneyleri	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	39
4.1. Pozolanik Aktivite Deney Sonuçları	39
4.2. Taze Beton Deney Sonuçları	43
4.2.1. KYB Yayılma çapı	44
4.2.2. KYB T50 süresi.....	45
4.2.3. KYB V-Hunisi süresi	47
4.2.4. KYB L-Kutusu oranı	48
4.2.5. KYB U-Kutusu farkı	49
4.3. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları.....	50
4.3.1. Basınç dayanımı deney sonuçları.....	50
4.3.2. Yarmada çekme dayanımı deney sonuçları	52
4.3.3. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları	55
4.3.4. Beton test çekici deney sonuçları	59
4.3.5. Aşınma dayanımı deney sonuçları	62
4.3.6. Birim hacim ağırlık sonuçları	64
4.3.7. Kapiler su emme deney sonuçları	66
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR.....	71

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
-----------------	-----------------

°	Derece
cm	Santimetre
mm	Milimetre
MPa	Mega paskal
P	Basınç
sn	Saniye

Kısaltmalar

ÇC	Çinko Cürufu
dk.	Dakika
DKY	Doygun kuru yüzey
K	Kontrol numune grubu
KYB	Kendiliğinden Yerleşen Beton
MTA	Maden Teknik Arama
O	Obsidiyen
PAİ	Puzolanik Aktivite İndeksi
TS	Türk Standardı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Puzolanların sınıflandırılması (Ramachandran 1995; Eren 2018; Sarıcı 2019).	12
Şekil 2. Türkiye ve çevresinde obsidiyen kaynakları ve dağılımı (Ceylan ve Akçelik 2021).....	14
Şekil 3. Türkiye çinko-kurşun yatakları haritası (Anonim 2020)	15
Şekil 4. Obsidiyen kayacı görünümü.	28
Şekil 5. Çinko cürufunun granül halde görünümü	29
Şekil 6. Yayılma tablası deneyi.....	32
Şekil 7. L Kutusu deneyi.....	32
Şekil 8. V Hunisi deneyi	33
Şekil 9. U Kutusu deneyi	34
Şekil 10. Basınç Deneyi.....	35
Şekil 11. Yarmada çekme deneyi	35
Şekil 12. Betonda kapiler su emme deney düzeneği	36
Şekil 13. Böhme aşındırma deneyi.....	37
Şekil 14. Ultrases geçiş hızı deneyi.....	38
Şekil 15. Beton test (Schmidt) çekici	38
Şekil 16. Harç numunelerinin puzolanik aktivite indeksi (PAİ)	40
Şekil 17. KYB karışım gruplarının yayılma çapı değerleri	44
Şekil 18. KYB karışım gruplarının T50 süresi değerleri	46
Şekil 19. KYB karışım gruplarının V-Hunisi süresi değerleri.....	47
Şekil 20. KYB karışım gruplarının L-Kutusu oranı değerleri.....	48
Şekil 21. KYB karışım gruplarının U-Kutusu fark değerleri.....	49
Şekil 22. KYB karışım gruplarının basınç dayanım sonuçları.....	51
Şekil 23. KYB karışım gruplarının kontrol numunesine göre basınç dayanımı değişimi.	52
Şekil 24. KYB karışım gruplarının yarmada çekme dayanım sonuçları	53
Şekil 25. KYB karışım gruplarının kontrole göre yarmada çekme dayanımı değişimi .	54
Şekil 26. KYB karışım gruplarının (basınç – yarmada çekme) dayanımı arasındaki ilişki.....	55
Şekil 27. KYB karışım gruplarının ultrases hızı sonuçları	56
Şekil 28. KYB karışım gruplarının kontrole göre ultrases hızı değişimi	57

Şekil 29. KYB karışım gruplarının (basınç dayanımı – ultrases hızı) arasındaki ilişki .	58
Şekil 30. KYB karışım gruplarının beton çekici ortalama geri tepme sayısı sonuçları..	60
Şekil 31. KYB karışım gruplarının kontrole göre beton çekici geri tepme sayıları değişimi	61
Şekil 32. KYB karışım gruplarının (basınç dayanımı – geri tepme sayısı) arasındaki ilişki.....	62
Şekil 33. KYB karışım gruplarının aşınmada ağırlık kaybı sonuçları.....	63
Şekil 34. KYB karışım gruplarının kontrol numunesine göre aşınma direnci değişimi.	63
Şekil 35. KYB karışım gruplarının etüv kurusu birim hacim ağırlık deney sonuçları...	65
Şekil 36. KYB karışım gruplarının 7 günlük kapiler su emme sonuçları.....	66
Şekil 37. KYB karışım gruplarının 28 günlük kapiler su emme sonuçları.....	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. KYB için tavsiye edilen tipik malzeme miktarları (Anonymous 2005).	8
Çizelge 2. CEM I 42,5 R tipi çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri	26
Çizelge 3. Agregaların fiziksel özellikleri	27
Çizelge 4. Kimyasal katkının fiziksel ve teknik özellikleri	27
Çizelge 5. Pasinler obsidiyeninin kimyasal içeriği (Chataigner et al. 2013) ve farklı eleklerden geçen yüzde miktarı	28
Çizelge 6. Çinko cürufunun kimyasal içeriği ve farklı eleklerden geçen yüzde miktarı.	29
Çizelge 7. Puzolanik aktivite deney gruplarına ait bileşen malzeme oranları	30
Çizelge 8. KYB karışımlarını oluşturan bileşen malzeme miktarları.	31
Çizelge 9. Harç numunelerine ait ortalama basınç dayanımı sonuçları.	39
Çizelge 10. KYB karışım gruplarının taze beton deney sonuçları	44
Çizelge 11. KYB karışım gruplarının basınç dayanımı deney sonuçları.....	50
Çizelge 12. KYB karışım gruplarının yarmada çekme dayanımı deney sonuçları	53
Çizelge 13. KYB karışım gruplarının ultrases hızı deney sonuçları.	56
Çizelge 14. Betonun UPV sonuçlarına göre karşılaştırılması (IS 13311, 1992).....	58
Çizelge 15. KYB karışım gruplarının beton çekici deney sonuçları	59
Çizelge 16. KYB karışım gruplarının birim hacim ağırlık deney sonuçları	64

1. GİRİŞ

Doğal taşlar, insanoğlunun yerleşik düzene geçişinden bugüne yapı malzemesi olarak tercih edilen malzemelerden biri olmuştur. Doğal taşlar kullanılarak yapılmış ve günümüze kadar ulaşmayı başaran birçok tarihi yapı bulunmaktadır. Kullanılan doğal taşlar yapılarda belirli bir dayanıklılık sağlamakla beraber, yapısal elemanlarda kullanımı fazla işçilik gerektirir, ayrıca doğal taşların kullanımı yapı genel ağırlığını ve hacmini artırır. Doğal taşlar yapılarda sadece basınç gerilmelerini karşılayacak şekilde kullanılabilir. Bütün bu özellikleri sebebiyle doğal taşlar kullanılarak geniş açıklıklar geçilememekte ve günümüz insan nüfusunun büyük ihtiyaçlarına cevap verebilecek nitelikte yüksek yapılar inşa edilememektedir.

Gelişen sanayileşme, endüstri ve teknoloji ile bu ihtiyaçlara cevap verebilecek yapı malzemeleri geliştirilmiştir. Bu malzemelerden en önemli ve en yaygın olan iki malzeme olarak çimento ve beton öne çıkmaktadır. Çimento; 1824 yılında Joseph Aspdin'in kalker ve kil karışımını pişirip öğütmesiyle bulunmuştur (Erdoğan ve Erdoğan 2010). EN 197-1 Avrupa Standardı (Anonymous 2011) ve TS EN 197-1 Türk standardı (Anonim 2012)'ye göre çimento; su ile birleştiğinde başta hidrasyon olmak üzere çeşitli prosesler sayesinde priz alan, sertleşen bir hamur (pasta) oluşturan ve priz sonrası suyun altında bile dayanımı ile kararlılığını koruyan, inorganik ve ince öğütülmüş, hidrolik bağlayıcı olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde, yapılarda bağlayıcı olarak dünyada en fazla kullanılan bağlayıcı malzeme çimentodur. 2019 yılında dünya genelinde 4.1 milyar ton çimento üretilmiştir (Anonymous 2020).

Çimentonun üretim sürecinde ihtiyaç duyulan yoğun enerji gereksinimi ve dünya genelinde insan menşeli CO₂ salınımının yaklaşık %5-8'lik kısmından sorumlu olması sebebiyle, üretiminde yenilikçi, çevreci ve ekonomik metotlara ihtiyaç duymaktadır (Akgün 2019). Çimentonun ve çimentoya bağlı olarak betonun yapı malzemesi olarak kullanımının sürdürülebilirliğini sağlamak için akla en yatkın ve en kolay çözümlerden biri olarak betondaki çimento miktarının veya çimentodaki klinker miktarının belirli oranlarda ikame malzemelerle değiştirilmesi fikri öne çıkmaktadır. Bu yaklaşım ekonomik ve sürdürülebilir olması sebebiyle sektör tarafından da kabul görüp uygulanan bir yöntem olmuştur. Dünya genelinde üretilen çimentoların bileşiminde kullanılan

klinker oranı 2003 yılında %85 iken, 2010 yılında %77'ye inmiştir ve gelecekte %71'e kadar düşmesi beklenmektedir (Schneider et al. 2011).

Çimento ve beton üretiminde uzun süredir ikame malzemesi olarak kullanılan puzolanlar; silisli veya silis ve alüminli yapıda olup tek başına bağlayıcı özellik göstermeyen, ancak ince öğütülmüş halde, normal sıcaklıkta ve rutubetli ortamlarda sönmüş kireçle reaksiyona girip bağlayıcı özelliğe sahip bileşenler oluşturabilen malzemeler olarak tanımlanmaktadır (Anonymous 1991). Puzolan kullanımı, maliyet konusunda getirdiği avantajların yanı sıra, betonun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerini olumlu yönde etkileyebilmektedir.

En kısa tanımıyla beton; agrega, çimento ve su karışımıdır. Beton karışımı hazırlandıktan hemen sonra bir müddet işlenebilir durumdadır ve içeriğindeki su ile çimento bileşenleri arasında gerçekleşen hidratasyon reaksiyonları sayesinde zamanla sertleşir (Erdoğan 2015). Çimentonun keşfinden bu yana, beton kullanımı giderek artmakta ve kullanım alanları giderek çeşitlenmektedir. Dünya genelinde her yıl yaklaşık 6 milyar ton beton tüketilmektedir (Karri et al. 2015).

Betondan beklenen başlıca özellikler; yeterli dayanımda, durabilitesi yüksek, üniform ve ekonomik olmasıdır. Betonun karışım tasarımı yapılırken, imalinde kullanılacağı yapının özellikleri ile çevresel koşullar dikkate alınmalı ve üretilen beton, ihtiyaçlara cevap verebilecek nitelikte olmalıdır (Anonim 2016). Çağımızda büyüyen ve çeşitlenen yapısal ihtiyaçlar, betondan beklenen özelliklerin de çeşitlenmesine ve özel beton türlerinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bu özel beton türlerinden biri olan ve yüksek performanslı beton sınıfına giren Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB); sıkıştırma işlemine ihtiyaç duymadan, özellikle donatının fazla sık olduğu dar ve derin kesitlere segregasyona uğramadan ve terleme yapmadan kendi ağırlığı ile kolayca yerleşebilen akıcı kıvamlı bir betondur (Su et al. 2001).

1986 yılında Tokyo Üniversitesi'nde, kendiliğinden yayılabilen ve sıkışan beton üzerinde araştırmalar yapılmaya başlanmış ve böylece KYB tasarımının ilk adımları atılmıştır (Ozawa et al. 1989).

1990 yılında İsveç karayolu yapılarında KYB kullanılması Avrupa'daki ilk örnekleridir. 1996'da New Orleans'da ACI Sonbahar Kongresi'nde, KYB ile ilgili bildirilerin yayınlanmasıyla, Amerika ve Kanada'da KYB daha fazla kullanılır olmuştur. 1997 yılından sonra Avrupa Birliği de KYB kullanımını arttırmayı hedefleyen çalışmalar başlatmıştır (Okamura and Ouchi 1999).

KYB'lerin geleneksel betona kıyasla öne çıkan önemli avantajları vardır. KYB'nin yerleştirilmesi için vibrasyon uygulanmamaktadır, bu sayede ortaya çıkan titreşim ve gürültü miktarı düşer. Prefabrik imalat süreci KYB ile daha hızlı tamamlanabilir. Donatılar arasında kolaylıkla akması sayesinde boşluksuz olarak yerleşir. KYB kullanımı ile beton kendiliğinden yerleştiğinden işçilikten kaynaklanan uygulama hataları minimize olur. Geleneksel betona kıyasla daha geçirimsiz olmaları sebebiyle yapıların servis ömürlerine olumlu katkıda bulunurlar (Topçu vd 2007).

KYB kullanımı para ve zamandan tasarruf sağlar. Örneğin; bir yapıda, döşeme ve düşey elemanların üretimi geleneksel betonla üretime göre, KYB ile 1/5 oranında daha kısa sürede gerçekleşmektedir (Semioli 2001).

Tüm bu özellikleri sayesinde KYB'nin günümüzde kullanımı giderek yaygınlaşmakta ve bu beton türü üzerine yapılan çalışmaların sayısı da artmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı KYB'nin ihtiyaç duyduğu yüksek çimento dozajını puzolanik katkı kullanımıyla azaltarak KYB'yi ekonomik olarak avantajlı kılmaya ve yöneliktir.

KYB'nin yüksek işlenebilirlik özellikleri geniş alanlara hızlıca yayılabilmesi ve düşük işçilik maliyetleri açısından yol vb. kullanımlar için cazip hale getirmektedir. Bu tür kullanım durumlarında aşınma direnci önemli bir faktördür.

Betonun aşınma direncini etkileyen en önemli özelliği dayanımıdır. Ama bunun yanı sıra betonun yüzey özellikleri de aşınma direncini etkileyen bir başka faktördür. Yüksek dayanım betonun doluluğu ile doğru orantılı olduğundan ve KYB'nin hamurunda yüksek miktarda çimento gerektiğinden dolayı KYB'lerde hidrasyon ısısı yüksek olur ve terleme sebebiyle yüzey bölgesi bu durumdan fazlaca etkilenir. Bu amaçla KYB'de

tasarımında puzolan kullanımı ekonomik avantajlarının yanı sıra yüzey özelliklerini de geliştirebilecek bir tasarım yöntemidir.

Bu çalışmaya konu olan obsidiyen ve çinko cürufu malzemelerinin betonda kullanımına yönelik çalışmaların literatürde oldukça sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Bu puzolanların, potansiyel olarak KYB'ye üstün özellikler katabileceği ve ekonomik olarak avantajlı kılabilceği düşünülmektedir.

Obsidiyen, yapısında yüksek oranda (%70-80) silisyum oksit bulunduran amorf özellikte camsı bir doğal mineraldir. Türkiye'de Erzurum-Kars bölgesinde geniş yatakları olan obsidiyen, yapısındaki yüksek silis sebebiyle potansiyel olarak puzolanik katkı maddesi kullanımına uygun bir maddedir (Kaya and Ustabaş 2018).

Diğer bir puzolan olarak çinko cürufu ise endüstriyel atık olarak ortaya çıktığından ekonomik olarak bir değeri olmamakla beraber depolama maliyetleriyle üreticilere yük olmaktadır. Yüksek puzolanik aktivitesi olması sebebiyle puzolanik katkı maddesi olarak kullanılma potansiyeli olan bir maddedir.

Bilimsel literatür incelendiğinde, obsidiyen ve çinko cürufu malzemelerinin betonda kullanılabilirliğini ve betonun özelliklerine etkilerini ortaya koymaya yönelik çalışmaların çok sınırlı sayıda olduğu anlaşılmaktadır. Nitekim kimyasal bileşimleri, puzolanik özellikleri, rezerv ve üretim miktarları ile çevreye etkileri bakımından, bu potansiyele sahip olduğu düşünülen obsidiyen ve çinko cürufu malzemelerinin, betonda kullanımına yönelik bilimsel çalışmaların yapılması yararlı olacaktır. Öyle ki bu çalışma, obsidiyen ve çinko cürufu malzemelerinin, geniş yüzeyli yapı ve elemanlara uygun yerleşebilirlik özelliği yanında yüksek miktarda çimento ve mineral katkı kullanımına ihtiyaç duyulan KYB'de puzolanik katkı maddesi olarak kullanılabilirliği ve beton özelliklerinin iyileştirilmesi genel amacı üzerine kurgulanmıştır. Literatürde, bu malzemelerin KYB türünde kullanıldığı çalışmaya rastlanmamış olup, yapılan çalışma bu yönüyle özgün değere sahiptir.

Bu çalışmanın başlıca amaçları aşağıda verilmiştir;

- 1) Obsidiyen ve çinko cürufunun pozolanik katkı olarak KYB üretiminde kullanılabilirliğinin tespit edilerek bu sonuçların olumlu olması durumunda daha ekonomik ve çevreci bir KYB üretiminin gerçekleştirilmesi.
- 2) Obsidiyen ve çinko cürufunun pozolanik katkı olarak kullanımının KYB'nin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi ve özelliklere etkisinin belirlenmesi.
- 3) Kimyasal yapısında silisyum miktarı yüksek olan, obsidiyen ve çinko cürufu malzemelerinin uzun süreli pozolanik aktivite özelliklerinin belirlenmesi.
- 4) Ülkemizde geniş rezervleri olan obsidiyenin kullanılarak bu taşın yeni pazarlarının oluşturulması.
- 5) Depolama maliyetleri yüksek bir atık malzeme olan çinko cüruflarının kullanılarak ekonomiye geri kazandırılması.

Çalışma kapsamında önce, obsidiyen ve çinko cürufu malzemelerinin, önceki çalışmalar ışığında 56 ve 90 günlük pozolanik aktivite özelliklerinin belirlenmesi için, kontrol harç grubu ile birlikte, çimento yerine 9 farklı oranda ikame edilerek oluşturulan harç numune gruplarının pozolanik aktivite indeksleri belirlenmiştir. Daha sonra, kontrol betonu olarak 577 kg/m³ dozajla üretilen kendiliğinden yerleşen betonda, obsidiyen ve çinko cürufu malzemeleri, harç numune grupları arasından seçilen üçer ikame oranı ile tekil ve en yüksek pozolanik aktivite gösteren ikame oranları ile bir hibrit şekilde çimento yerine ikame edilerek, toplam sekiz KYB karışım grubu oluşturulmuştur. Üretimi gerçekleştirilen KYB karışım gruplarının, taze beton özellikleri ile 7, 28 ve aşınma direnci için 90 günlük standart su kürü periyotları sonrasında sertleşmiş betonun basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, ultrases hızı, beton test çekici, aşınma dayanımı, birim ağırlık ve kapiler su emme olmak üzere bazı fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. KYB karışım grupları için elde edilen taze ve sertleşmiş beton deney sonuçlarından hareketle, obsidiyen ve çinko cürufu katkıları kullanımının KYB özelliklerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

1.1. Kendiliğinden Yerleşen Beton

Kendi ağırlığı ile sıkıştırma işlemine gerek duyulmadan sık donatılı elemanlara, dar ve yüksek kalıplara kolaylıkla yerleşebilen bu özelliklerini sağlarken segregasyona uğramayan ve terleme yapmayan, akıcılığı yüksek betonlar kendiliğinden yerleşen betonlar olarak adlandırılmaktadır (Su et al. 2001).

KYB'ler düşük su/çimento oranına rağmen üstün akıcılığa ve yüksek dayanıma sahip betonlardır bu sebeple yüksek dayanımlı beton sınıfında yer alırlar (Bonavetti et al. 2003). KYB'ler kendi ağırlığı ile akar, kalıbını tamamen doldurabilir ve hatta sıkı donatı bölgelerinde bile tam bir sıkışma sağlayabilirler. Sertleşmiş KYB özellikleri ise geleneksel beton ile benzerdir.

Geleneksel betona kıyasla KYB kullanılarak inşa edilen yapıların inşaat süresi çok daha kısadır. KYB yüksek akıcılığı sayesinde kalıba hızlı bir şekilde yerleştirilebilir ve yine yüksek akıcılığı sayesinde beton kesitinde düşük boşluk miktarı ve yüksek uniformluk oluşmasını sağlar. KYB erken dayanım, daha erken kalıp sökme ve yapı elemanlarını daha hızlı kullanım potansiyeli sağlayarak genellikle düşük s/ç oranı ile üretilebilir (Okamura and Ouchi 2003).

1980'li yılların başında beton kalitesi zamanla düşmeye başlamış ve buna sebep olarak kalifiye işçi sayısının zamanla düşmesi ve betonda gerektiğince sıkıştırma işlemi yapılamaması gösterilmiştir. Bu problemin sonucu olarak yeni bir beton çeşidi ihtiyacı doğmuş ve sıkıştırma işlemine gerek duymaksızın kendi ağırlığı altında kalıbın her köşesine yerleşebilen beton kavramı ortaya çıkmıştır. Betonda kendiliğinden yerleşebilirlik konsepti ilk olarak 1986 yılında Tokyo Üniversitesinde Prof. Dr. Hajime Okamura tarafından öne sürülmüştür. KYB ortaya çıkışının henüz daha erken tarihlerinde 1988 yılında prototip olarak piyasada yer almaya başlamıştır (Okamura and Ouchi 2003).

1994 yılında gerçekleştirilen Bangkok ACI çalıştayını sonrası, akademisyen ve araştırmacılar KYB üzerinde araştırma yapmaya başlamıştır. ACI 1996 New Orleans sonbahar Kongresi'nde, KYB ile ilgili yayınların sunulmasından sonra. Kanada ve ABD'de KYB kullanımı artmıştır (Topçu vd 2008).

2005 yılına gelindiğinde KYB kullanımını arttırmak amacıyla, Avrupa Çimento Birliği (CEMBUREU), Uluslararası Prefabrike Beton Üreticileri Birliği (BIBM), Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO), Avrupa Beton Katkı Üreticileri Federasyonu (EFCA) ve Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu (EFNARC) bir araya gelerek ortak bir şartname hazırlamışlardır (Okamura and Ouchi 1999). 1990'lı yıllardan sonra önce Avrupada sonra Ülkemizde kullanılmaya başlanmıştır.

KYB'lerin geleneksel betona kıyasla sağladığı avantajlar;

Vibrasyonla sıkıştırma işlemine ihtiyaç duyulmaması, gürültü kirliliği yaratmaması ve işçilik maliyetinin azalması (Topçu ve Bilir 2010), işçilik maliyetinin düşük olması, kalıp maliyetlerinin düşmesi, uygulama süresinin kısa olması bu sayede zaman maliyetinin düşük olması, Sık donatılı kesitlere kolaylıkla girebilmesi, daha boşluksuz ve geçirimsiz beton üretilebilmesi, dayanımının yüksek olması, insan hatalarının azalması, betonarme tasarımlarında özgürlük sağlanması, daha pürüzsüz bir yüzey elde edilmesi (Corradi et al. 2002).

KYB'lerin geleneksel betona kıyasla sağladığı dezavantajlar;

Malzeme maliyetinin yüksek olması, KYB performansının malzeme tip ve oranlarına göre çok değişken olması, kontrol sürecinin daha çok dikkat gerektirmesi, kesin bir tasarım ve kontrol standartının olmaması, erken dönemde küre karşı daha hassas olması (Turcry et al. 2002), çimento hamurunun sızması için kalıp iççiliğinde hassasiyet gerektirmesi, akışkanlaştırıcıların etkilerinin farklı olması, pürüzsüz yüzeyin sıva tutmama durumu (Wu 2005), eğimli yüzeylerde uygulanmasının zor olması olarak sıralanabilir.

KYB'ler özel tip betonlar arasındadır. Geleneksel betonun teknik gereksinimlere cevap vermediği durumlarda kullanılabilir. Ayrıca işçilik ve zaman maliyetleri konusunda sağladığı avantajlar sebebiyle de tercih edilebilir. Vibratör kullanılmayan yerler, zor ve ulaşılmaz kalıplar, estetik kalıp tasarımları, sık donatılı elemanlar, güçlendirme projeleri, prefabrik elemanlar, paneller ve döşemeler, zemin

1. GİRİŞ

güçlendirmeleri, su yapıları, yatay olarak geniş ölçülerdeki uygulamalar başlıca kullanıldığı yerler arasında sayılabilir.

KYB'ler henüz geleneksel beton kadar yaygınlaşmamıştır. Bunun sebebi maliyet başta olmak üzere henüz net standartlarının olmaması, uygulama ve üretim aşamalarında iyi bir kontrol gerektirmesidir. KYB'ler geleneksel beton kadar yaygın olmasa da giderek yaygınlaşmakta ve çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

KYB Tasarımının esas hedefi betonun ayrışmadan, terlemeden 65-80 cm yayılabilmesini ve işlenebilirliğini en az 1 saat koruyabilmektir. Akışkanlaştırıcılar yayılma ve kıvam özelliklerini genel manada kazandırsa bile, betonda ayrışmayı önlemek ve işlenebilirliğin yeterli süre muhafaza edilmesi için karışımın tasarımı ve kimyasal katkı seçimi önem arz etmektedir (Anonymous 2002).

Başlıca KYB tasarım kriterleri; Betonun hacimsel olarak yaklaşık %50'si harç ve %50'si kaba agregadan, %50'lik harç kısmının %30'u çimento, %30'u su ve %40'ı ince agregadan oluşmalıdır. Düşük su/çimento oranı ve uzun süreli işlenebilirlik elde edebilmek için akışkanlaştırıcı katkıları kullanılabilir. Tipik karışım için tavsiye edilen malzeme miktarları Çizelge 1'deki gibidir.

Çizelge 1. KYB için tavsiye edilen tipik malzeme miktarları (Anonymous 2005)

İnce Malzeme Miktarı ($<0,125$ mm)	400-600 kg/m ³
Kum Miktarı (0,125 mm-4mm)	Yaklaşık olarak harç hacminin %40'ı
Kaba Agrega Miktarı D _{max} = 15mm	Yaklaşık olarak gerçek birim ağırlığının %50'si
Uçucu Kül Miktarı	Yaklaşık olarak çimento + uçucu kül hacminin %40'ı
Su/Toz	0,9-1,0 (Hacimsel olarak)

Kendiliğinden Yerleşen Beton İlgili Standart Esasları;

- Tasarım’da kullanılacak malzemelerin özellikleri TS EN 206 standartlarına uygun olmalıdır (Anonim 2014).
- Çimento: TS EN 197-1’e uygun olmalıdır. Al_2O_3 miktarı %10’nun üzerinde olan çimentolar çalışma süresinin kısılmasına neden olur (Anonim 2012).
- Agregâ: TS EN 12620’ye uygun olmalıdır. Partikül boyutları tasarıma ve uygulamaya göre değişmekle birlikte, D_{max} için limit değeri genellikle 20 mm’dir. Partikül boyutu 0,125 mm’nin altında olan malzemeler tasarımda ince malzeme miktarına dahil edilmelidir (Anonim 2003).
- Karışım Suyu: TS EN 1008’e uygun olmalıdır (Anonim 2003).
- Süper Akışkanlaştırıcı Katkı: TS EN 934-2’ye uygun olmalıdır. Kimyasal katkı seçimi, betonda erken dayanım kaybı oluşturmaz ve betonun minimum 1 saat işlenebilir olmasını engellemeyecek özellikte olmalıdır (Anonim 2010).
- Viskozite Ayarlayıcı Katkı: TS EN 934-2’ye uygun olmalıdır (Anonim 2010).
- Hava Sürükleyici Katkı: TS EN 934-2’ye uygun olmalıdır (Anonim 2010).
- Mineral Katkı: Mineral katkılardan bir veya birkaçı tasarıma bağlı olarak beton’da kullanılabilir. TS EN 12620’ye uygun olmalıdır (Anonim 2003).

1.2. Kendiliğinden Yerleşen Beton Katkıları

Beton günümüz ihtiyaçlarına cevap vermesi dolayısıyla en çok kullanılan yapı malzemelerinden biridir (Yazıcı ve Sezer 2008). Beton kullanımının yaygınlaşması ve endüstrinin gelişmesi ile birlikte betonun teknik özelliklerinin iyileştirilmesi, ekonomikleştirilmesi ve çevre dostu hale getirilmesi ihtiyacı doğmuştur.

Betonun çeşitli amaçlara özelliklerinin geliştirilmesi için beton içerisine; kimyasal ve mineral katkıları olmak üzere çeşitli katkıları katılarak olumlu sonuçlar almak mümkündür (Topçu ve Boğa 2005).

KYB tasarımının asıl amacı kendi ağırlığı altında yerleşebilen yüksek akıcılığa sahip beton üretmektir. KYB yüksek akıcılığa sahip olurken aynı zamanda mekanik ve kalıcılık özelliklerini kaybetmemelidir. Buda ancak betona katkı eklenmesi ve betondaki

ince malzeme miktarının arttırılması ile mümkün olmaktadır. Bu sebeple katkı kullanımı KYB tasarımında çok tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir (Topçu vd 2007).

1.2.1. Kimyasal katkılar

Kimyasal katkılar taze beton ve prizini almış betonun özelliklerini iyileştirmeye yarayan malzemelerdir (Yaphary et al. 2017). Kimyasal katkılar beton içeriğindeki çimento ağırlığının %5'inden fazla olmamalıdır (Anonim 2010).

Kimyasal katkı maddeleri; hava sürükleyici katkılar, su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkılar, su tutucu katkılar, priz hızlandırıcı katkılar, sertleşmeyi hızlandırıcı katkılar, yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkılar, priz geciktirici katkılar, su geçirimsizlik katkıları şeklinde farklı sınıflara ayrılır (Akman 1996; Uyan vd 1996; Erdoğan 1997). Bu katkılar arasında en yaygın olarak kullanılan katkı; Su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkı maddeleridir.

KYB'ler ortaya çıkış gayeleri gereği yüksek akışkanlığa sahip betonlardır. KYB'lerin kıvam özellikleri yüksek su/çimento oranı ile sağlanırsa, üretilen KYB dayanım ve kalıcılık özellikleri bakımından istenilen performans veremeyebilir. Su azaltıcı/akışkanlaştırıcı kimyasal katkıların kullanımı KYB'lerin düşük su/çimento oranlarıyla bile üretilmesine olanak sağladığı için KYB tasarımlarında oldukça yaygın kullanılır (Corradi et al. 2002). Süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı, betonun ihtiyaç duyduğu karışım suyu miktarını %30 oranlarına kadar düşürebilmektedir (Neville 2004). KYB'nin gelişimi, süper akışkanlaştırıcı teknolojisinin ve linyosülfonat bazlı malzemelerin iyi değerlendirilmesinin bir sonucu olarak görülebilir (Schutter et al. 2008).

Süper akışkanlaştırıcılar başlıca üç ana grupta toplanabilir;

- 1. Nesil Süper Akışkanlaştırıcılar: Modifiye lignosülfonatlar
- 2. Nesil Süper Akışkanlaştırıcılar: Polisülfonatlar (polinaftalin, polimelamin)
- 3. Nesil Süper Akışkanlaştırıcılar: Polikarboksilatlar

Modifiye lignosülfonatlar ve polisülfonatlar çimento tane yüzeylerini negatif (-) yükle yükleyerek tanelerin birbirini itmeleri sonucu kayma eşiğini düşürür ve betonda

akışkanlığı sağlar. Polikarboksilatlar olarak bilinen katkılarda ise çimento tanelerinin yüzeylerinin negatif yüklenmesine ek olarak moleküllerin büyüklüğü sebebiyle sterik itki kuvvetleri oluşur. Dozajlarına ve kimyasal yapılarına bağlı olarak değişmekle beraber genel olarak polikarboksilat esaslı akışkanlaştırıcı kullanımı, modifiye lignosülfat ve polisülfonat esaslı akışkanlaştırıcılara kıyasla betonun işlenebilirliğini daha uzun süre korumasını sağlar (Aitcin 2007; Yousaf et al. 2013).

Ortaya ilk çıkan akışkanlaştırıcılardan olan modifiye lignosülfatlar betonun içerisine çok fazla hava boşluğu sürüklerler, bu sebeple dayanım kaybına sebebiyet verebilirler. Modifiye lignosülfatların dayanım kaybına varan dezavantajları sebebiyle 2. nesil akışkanlaştırıcılar olarak adlandırılan polisülfonatlar geliştirilmiştir. Polisülfonatlar 1. nesil akışkanlaştırıcılara kıyasla, su kesme ve akışkanlaştırıcılık özellikleri bakımından daha iyi performansa sahip olmalarına rağmen, bu tip katkılar kullanıldığında betonun işlenebilirliği zamana bağlı olarak istenilen düzeyin altında kalabilmektedir. Betonda akışkanlaştırıcı olarak kullanılan 1. ve 2. nesil katkıların sahip olduğu dezavantajlar sebebiyle yeni bir akışkanlaştırıcı katkıya ihtiyaç duyulmuş ve 3. nesil kimyasal katkılar (polikarboksilatlar) geliştirilmiştir. Polikarboksilat esaslı katkılar 1. ve 2. nesil katkıların sahip olduğu dayanım kaybı ve erken işlenebilirlik kaybı dezavantajlara sahip olmadığından kullanımı her geçen gün artmaktadır (Ramachadan 1995; Parlak ve Akman 2002; Felekoğlu ve Tosun Felekoğlu 2014).

1.2.2. Mineral katkılar (Puzolanlar)

Puzolanlar, tek başlarına kullanıldığında bağlayıcı olmayan veya çok düşük bağlayıcılık özelliği gösteren, ancak çok ince taneli öğütülmüş haldeyken, su bulunan ortamda ve normal çevre sıcaklığında çözünmüş kalsiyum hidroksit ile birleştirildiğinde hidrolik bağlayıcılık özelliğine kavuşan silika ve alümina içerikli malzemelerdir (Erdoğan 2015).

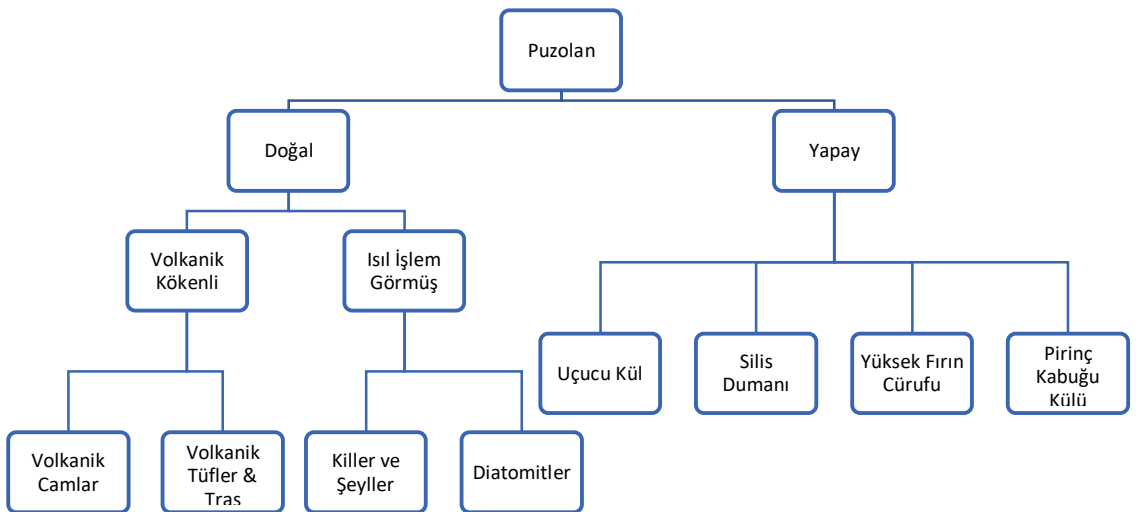
Puzolanlar, çimento ile birlikte kullanıldığında bağlayıcı özellik gösterdiğinden, beton üretiminde ikame malzemesi veya katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Puzolanlar, betonun ihtiyaç duyduğu çimento miktarını azaltarak maliyetlerin azalmasına, hidrasyon ısının düşmesine ve taze betonun işlenebilirlik özelliklerinin

1. GİRİŞ

artmasına sebep olurlar, bu özellikleri dolayısıyla KYB uygulamalarında sıklıkla tercih edilirler (Khayat and Roussel 2000). Puzolanların beton içeriğinde kullanılması, sayılan faydalarına ek olarak çimento hamurunun daha boşluksuz olmasını sağlama, betonun durabilite özelliklerini iyileştirme ve hatta bazı durumlarda beton dayanımını artırma gibi ek faydalar sağlayabilir. Puzolanlar ya da puzolanik malzemeler, doğal ve yapay puzolanlar olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar.

Doğal puzolanlar adından da anlaşılacağı üzere doğal halde bulunan ve çok ince öğütüldüklerinde, normal sıcaklık şartlarında, su ve kireçle birleşerek bağlayıcılık özelliği kazanabilen, silis ve alümin oksitlerince zengin malzemelerdir (Topçu 2008). Doğal olarak sınıflandırılan puzolanlar, onlarca asırdır, sönmüş kireçle birlikte kullanılarak, su altında bile priz alabilen bir çeşit beton ve harç yapımında kullanılmıştır. Hem doğal puzolanlar hem de yapay puzolanlar, portland çimentosunun icadından sonraki süreçte çimento ve beton bünyesinde kullanılmaya devam etmiştir.

Yapay puzolanlar, genel olarak sanayi üretim atıklarıdır. Bu tür puzolanlar, özellikle insan müdahalesiyle gerçekleştirilen ve genellikle bir ısıtım işlemi aşaması içeren belirli imalatların ve işlemlerin sonucu olarak ortaya çıktığından yapay sınıflı ile sınıflandırılmıştır. Yapay puzolanlara örnek olarak; yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı ve pirinç kabuğu külü gibi malzemeler gösterilebilir (Topçu 2008). Puzolanlar için literatürde genel kabul gören bir sınıflandırma Şekil 1’de gösterilmiştir.



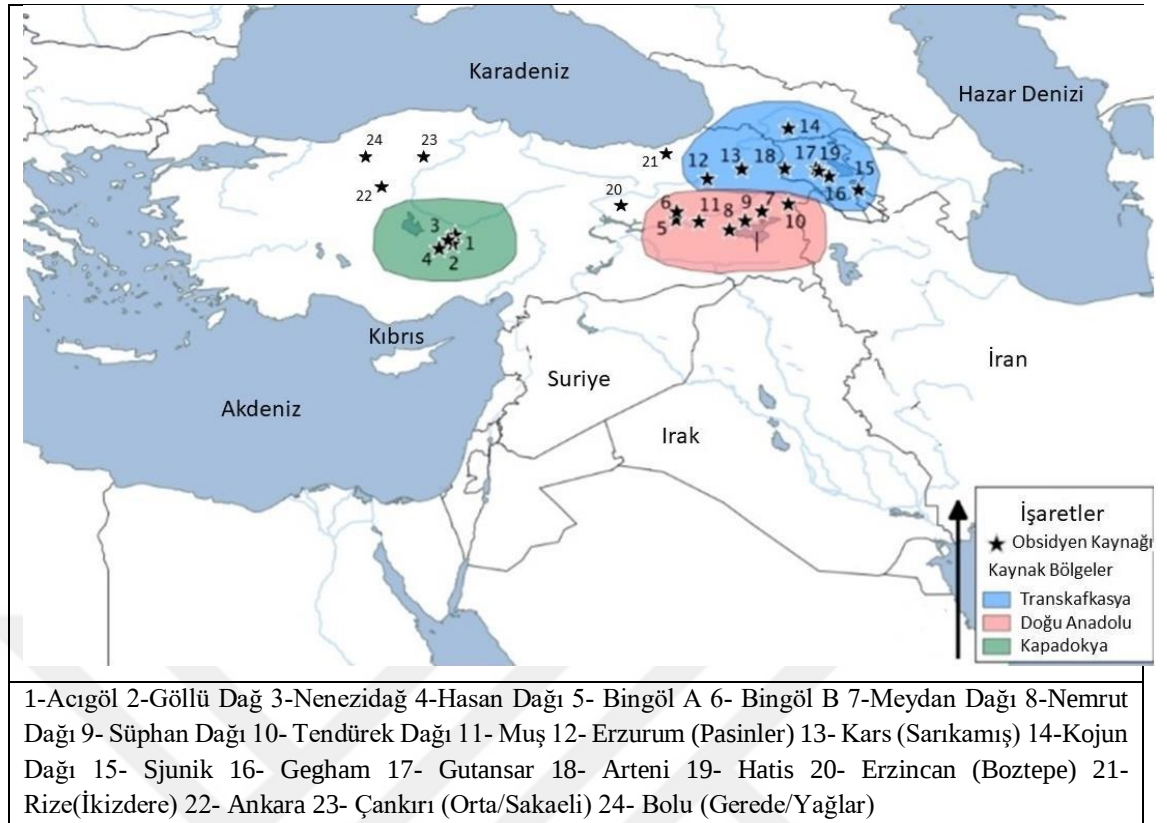
Şekil 1. Puzolanların sınıflandırılması (Ramachandran 1995; Eren 2018; Sarıcı 2019)

a) Obsidyen

Obsidyen kimyasal yapısı itibarıyla yaklaşık %75-80 oranında silis bulunduran, amorf yapılı, volkanik orjinli bir cam türüdür (Yanık 2019). Volkanik sahalarda, soğumanın hızlı olduğu lavın kenar kesimlerinde oluşur. Volkanik aktivitelerin sonucunda oluşan püskürme esnasında, silisli ve alüminli malzemeler açısından zengin durumdaki magma, yeryüzüne lav olarak çıktıktan sonra çok çabuk soğuyarak camsı (amorf) yapıya sahip olur. Püskürme esnasında atmosfere salınan büyük miktarda gazın da etkisiyle, ortaya çıkan malzemeler gözenekli yapıya ve çok büyük yüzey alanına sahip olur. Volkanik camlar sınıfındaki puzolanlar, yüzey alanlarının büyük olması ve amorf yapıları sayesinde, suyun varlığında kalsiyum iyonlarıyla kolayca reaksiyona girebilirler (Ramachandran 1995).

Obsidyen; kuvars, plajiyoklas, biyotit, piroksen, kalkopirit, pirit, manyetit, hematit, Fe-Ti oksit, apatit, zirkon ve anhidrit gibi kimi mineraller içerir (Hanedan 2008).

Ülkemiz volkanik topografya haritası göz önüne alındığında, obsidyen varlığı bakımından oldukça zengin bir bölgedir. Özellikle Doğu Anadolu Bölgesi'nde eğimli göl-akarsu yatakları ve ovaların yakınlığında fazla miktarda obsidyen kaynağı bulunmaktadır (Akköprü vd 2017). Obsidyenin yaygın olarak kullanıldığı herhangi bir alan yoktur, ekonomik olarak değersiz bir taş türüdür. Obsidyen taşı süs eşyası olarak kullanılabilecek olmasına rağmen işlenebilirliği kötü olan bir malzemedir (Yanık 2019). Şekil 2'de, Türkiye ve çevresindeki obsidiyen kaynakları ve dağılımları harita üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2. Türkiye ve çevresinde obsidiyen kaynakları ve dağılımı (Ceylan ve Akçelik 2021).

Literatürde obsidiyen taşının puzolan olarak kullanılabilirliği araştırılmış ve bu taşın betonda puzolanik katkı olarak kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

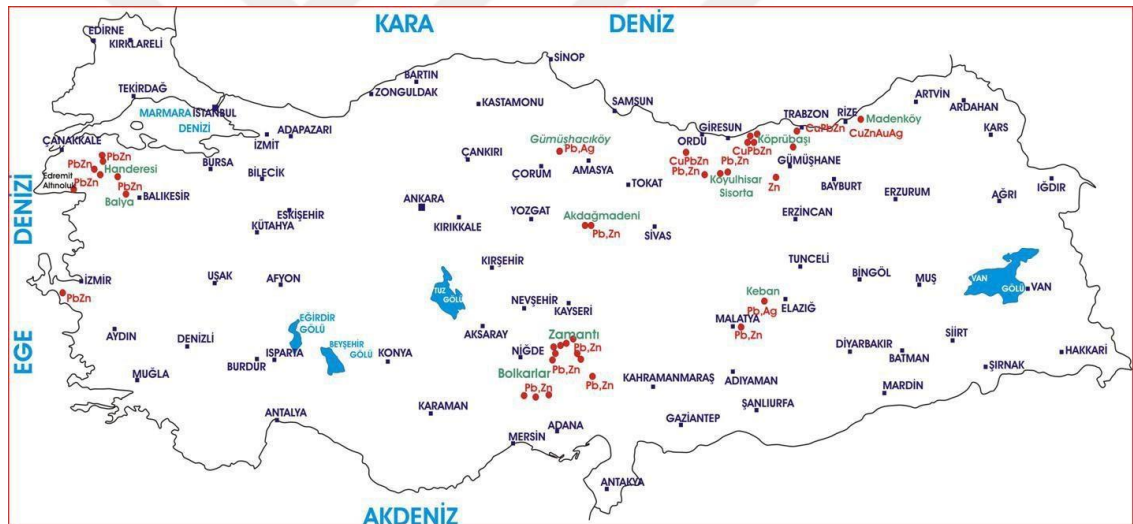
Kaya and Ustabaş (2018) çalışmasında obsidiyenin puzolanik aktivite indeks değerinin, çalışmada kullanılan uçucu külün puzolanik aktivite indeks değerinden yüksek olduğunu tespit etmiş ve bu nedenle obsidiyenin puzolanik katkı olarak kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

Obsidiyen taşı, ülkemiz coğrafyasında bol miktarda rezervlere sahip olduğundan, bu malzemenin kullanım alanlarını arttırmak, ülkemiz ekonomisine fayda sağlayabilir.

b) Çinko Cürufu

Beton sektöründe son zamanlarda ortaya çıkan bir diğer yönelim endüstriyel atıkların beton içerisinde kullanımını sağlamaktır. Bu sayede ek depolama maliyetlerinin önüne geçilmesiyle ekonomik ve çevresel katma değer oluşturulması amaçlanmaktadır.

Bu malzemelerden birisi çinko cürufudur, çinko cürufu yapay puzolanlar sınıfına giren ve endüstriyel üretim sonucu ortaya atık bir malzemedir. Çinko cürufu, çinko oksit, kalker ve kok malzemelerinin 1300°C’de döner fırında pişirilmesi sonucu granüle halde elde edilir. Endüstride en çok kullanılan metallerden biri olan çinko, ülkemizde geniş rezervleri bulunması sebebiyle kullanım alanlarının araştırılması gereken bir metaldir. Şekil 3’te Türkiye çinko-kurşun yatakları haritası verilmiştir.



Şekil 3. Türkiye çinko-kurşun yatakları haritası (Anonim 2020)

Çinko cevheri atığının agrega olarak kullanıldığı çalışmalar literatürde çoğunlukta puzolan olarak kullanımına ilişkin çalışmalar oldukça kısıtlıdır.

Alwaeli (2013) çalışmasında, granül haldeki kurşun-çinko cürufunu beton bünyesindeki kum ile ağırlıkça %25-50-75 ve 100 oranlarında yer değiştirerek ve kontrol numunesi ile kıyaslamış ve cürufun kullanıldığı numunelerin daha iyi mukavemet gösterdiğini tespit etmiştir.

Chaipanich et al. (2015) çalışmalarında, betona %1, 2 ve 5 oranlarında çinko oksit katarak numuneler oluşturmuş ve yaptıkları deneyler sonucunda 28 günlük basınç dayanımlarının, kontrol betonu numunesine kıyasla yaklaşık %15 oranında arttığı, en iyi dayanımın ise %1 katkı miktarı ile sağlandığı sonucuna varmışlardır.

Bu çalışmalardan yola çıkılarak çinko cürufu betonda ikame malzeme olarak kullanım için potansiyel vaat eden bir malzemedir.

1.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mekanik Özellikleri

KYB'ler, geleneksel betonların tersine basınç dayanımı yerine işlenebilirlik özelliklerine göre sınıflandırılmalarına rağmen, bazı mekanik özellikleri açısından yeterli performansı sağlaması istenir. KYB'lerin mekanik özellikleri tıpkı geleneksel betonda olduğu gibi büyük ölçüde tasarım parametreleri ve taze haldeki özelliklerine bağlıdır. Yeterli mekanik performans elde edilebilmesi; istenilen performansa kriterlerine uygun malzeme tipi ve oranlarının seçilmesi, beton üretimi esnasında homojen malzeme kullanılması ve karışımın homojen dağılmasının sağlanması, ortam koşullarının dikkate alınarak gerekli önlemlerin alınması gibi kriterlere bağlıdır.

Literatüre bakıldığında KYB'lerin genel olarak mekanik özelliklerinin geleneksel betondan iyi olduğu görülmektedir. Bu durumun; KYB'lerde ince madde miktarı geleneksel betona kıyasla daha fazla olması ve agrega taneleri ve çimento hamuru arasında daha güçlü ve dayanıklı bir ara yüz oluşmasına sebebiyet vermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Schutter et al. 2008).

1.3.1. Basınç dayanımı

KYB'lerde kıvam özelliklerinden sonra en önemli tasarım kriteri basınç dayanımıdır. KYB'ler genellikle bünyelerinde yüksek oranda ince malzeme barındırır. Bu durum ince malzemelerin pozolanik aktivitesine göre değişmekle beraber genellikle basınç dayanımında bir artışa neden olabilir. Buna rağmen betonun kendiliğinden yerleşebilir olması direkt yüksek dayanımlı olacağı anlamına gelmez (Klug and Holschemacher 2003; Schutter et al. 2008).

Xie et al. (2002) çalışmalarında 'da 300-350 kg/m³ çimento dozajı, 500 - 600 kg/m³ (çimento ile birlikte) toz madde dozajı kullanarak, farklı su ve akışkanlaştırıcı katkı miktarları ile oluşturdukları KYB'lerde , 28 günlük standart kür sonrası 60 ila 80 MPa arası basınç dayanımlarını elde edebildiklerini rapor etmişlerdir.

Puzolan ve farklı toz tipleri kullanılarak üretilmiş KYB'ler için geleneksel beton gibi dayanım sınıfı su/çimento ilişkisi kurulması, kullanılan puzolan tipleri ve miktarları çok değişken olduğundan mümkün olamamaktadır. Özetle toz tipi metoduyla üretilen KYB'lerin basınç dayanımı bileşenlerin çok çeşitli olması sebebiyle tam olarak öngörülemede ve su/çimento basınç dayanımı ilişkisi sadece ilk yaklaşım olarak kullanılabilmektedir.

1.3.2. Elastisite modülü

Betonun bileşenlerinden biriside iri agregalardır, iri agregalar beton hacminin büyük kısmını oluştururlar ve betonun elastik modül değerini belirleyen ana etmenlerdir. Yapılan çalışmalarda KYB ve geleneksel betonun elastisite modülleri karşılaştırılıp, kullanılan KYB'lerin elastisite modülünün daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen gözlemlere göre, iri agregalar miktarındaki düşüşün ve çimento hamuru miktarındaki artışın KYB'nin elastik modül değerindeki azalmanın esas sebebi olduğu düşünülmektedir (Klug and Holschemacher 2003; Ambrosie and Pera 2002).

1.3.3. Çekme ve kayma mukavemeti

KYB'lerin basınç dayanımları üzerine yapılan çalışmaların aksine, çekme ve kayma mukavemetlerinin araştırıldığı çalışma sayısı oldukça azdır. Turcry (2002) çalışmasında; Benzer dayanım sınıflarında, Geleneksel beton ile KYB'lerin çekme/basınç dayanımı oranlarını karşılaştırmış ve elde ettiği bu oranların kullandığı KYB'lerde daha yüksek olduğu sonucunu elde etmiştir. Bu durumun KYB'lerin kesitte daha homojen dağılması ve mikro yapı kusurlarının geleneksel betona kıyasla daha az olması olduğu düşünülmektedir.

1.3.4. Rötire ve sünme

KYB’lerde rötire ve sünmeyi etkileyen faktörler, geleneksel betondan çokta farklı değildir. Bunlar arasında başlıca faktörler; su/çimento oranı, agrega özellikleri, tercih edilen çimento tipi ve içeriğidir. KYB’lerin karışım tasarımları iyi yapılırsa geleneksel betonla yakın veya aynı rötire ve sünme miktarları elde edilebilmektedir (Poppe and Schutter 2005).

1.3.5. Aşınma direnci

Aşınma, beton yüzeylerinin tekrarlı veya uzun süreli kullanıma veya etkiye maruz kalması nedeniyle malzeme kaybı ile sonuçlanabilen, ilerleyen bir deformasyon olarak tanımlanır. Bunun sonucunda betonun şekli ve yüzey özellikleri değişerek performans kaybı meydana gelebilmektedir.

Kullanıldığı yapı türüne göre betonda çeşitli aşınma şekilleri oluşabilir. Su etkisine maruz kalan yapılarda agregaların sökülmesi- erozyon oluşabilirken, kara ve yaya yollarında tekrarlı yüklenme ve sürtünme etkisiyle şeklinde pürüzlülük değişimleri- kayıpları (abrasion) meydana gelebilir. Aşınma direnci üzerine yapılan çalışmalarda, basınç dayanımı, yüzey bitirme şekli, kür şartları, agrega özellikleri ve test koşullarının (kuru-ıslak, vb.) etkili faktörler olduğu belirtilmektedir.

Beton, başlıca agrega ve çimento hamuru fazı olmak üzere iki ana fazdan oluşmaktadır. Betonun aşınma direnci bu iki fazdan daha düşük olana göre artmakta veya azalmaktadır (Baradan ve Felekoğlu 2004).

Aşınmaya karşı direncin yüksek olması; Kullanılan hidrolik bağlayıcının basınç dayanımının yüksek olmasına, Bağlayıcı dozajının bütün agrega tanelerini tamamen saracak yeterlilikte olmasına bağlıdır (Macit 2009).

Geleneksel betonda vibrasyon işlemi sonucu, beton bünyesinde bulunan su, iri agregaların etrafında kümelenerek agrega ile çimento hamuru arasındaki aderans kuvvetini azaltır ve boşluklu bir kesit oluşturur. KYB’ler vibrasyon işlemine gerek

1. GİRİŞ

duymadığından, eğer beton tasarımı iyi yapılırsa iri agregalar ve çimento harcı arasında daha kuvvetli bir aderans etkisi oluşur. Bu bilgiler ışığında çokça aşınma etkilerine maruz kalan yapı ve yapı yüzeylerinde KYB kullanımı makul bir seçenek olarak ön plana çıkmaktadır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. KYB ve Aşınma Direnci Konusunda Kaynak Özetleri

Felekoğlu vd (2006) çalışmasında; aynı çimento dozajı ve farklı agrega granülometreleri ile viskozite artırıcı toz malzeme olarak uçucu kül ve taş tozu mineral katkıları kullanarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonların (KYB) yüzeysel aşınma performansı, dayanım sınıfı eşdeğer ve geleneksel sıkıştırma işlemi yapılmış betonlar ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda; uçucu kül ve taş tozu mineral katkılı 7 ve 28 günlük KYB'lerin geleneksel betona göre sırasıyla %47,6 ve %30 oranında daha az aşınma ağırlık kaybına uğradığı belirlenmiştir.

Uygunoğlu (2008) çalışmasında; farklı hafif agregalar ile üretilen kendiliğinden yerleşen betonların aşınma dirençleri incelenmiştir. Çalışmada pomza, tuf ve diatomit agregası kullanılmış ve aşınma kaybı pomza agregalı serilerde 30 ile 40 mm; tüflü serilerde 29 ile 44 mm arasında; diatomitli serilerde de 27 ile 45 mm arasında değerler aldığı belirlenmiştir.

Mohamed (2011) çalışmasında; farklı oranlarda uçucu kül ve silis dumanı kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonların mekanik özelliklerini incelemiştir. İki farklı kür şartı ile silis dumanının (%10, 15, 20) ve uçucu külün (%10, 20, 30, 40, 50) çimento yerine ikamesi ile üretilen kendiliğinden yerleşen betonlarda; tek başına uçucu kül kullanarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonlarda en yüksek dayanımın %30 oranında, tek başına silis dumanı kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonlarda ise en yüksek dayanımın %15 oranında olduğu belirlenirken, 28 gün su küründe hibrit oran olarak %10 uçucu kül+%10 silis dumanı ikamesi ile elde edilen kendiliğinden yerleşen betonlarda en yüksek dayanımın elde edildiği gözlemlenmiştir.

Atlı (2012) çalışmasında; farklı iri agregalar ile üretilen kendiliğinden yerleşen betonların aşınma direnci incelenmiştir. Üretilen KYB numunelerinde uçucu kül miktarı sabit (150 kg/m³) alınmış olup iri agrega olarak bazalt, dolomit, mermer, kumtaşı ve kireç taşı agregaları kullanılmıştır. 28, 56 ve 90 gün standart kür sonunda bazalt agregası

kullanılarak üretilen KYB numunelerinde diğer agregalar ile üretilen numunelere göre daha yüksek bir aşınma direncinin olduğu belirlenmiştir.

Siddique (2013) çalışmasında; ince agrega yerine farklı oranlarda kömür külü kullanılması ile üretilen kendiliğinden yerleşen betonların aşınma direncini incelemiştir. Kömür külü, ince agrega yerine %10-20-30 oranlarında kullanılmış olup üretilen numuneler 28, 91 ve 365 gün standart su küründe tutulmuştur. Aşınma deneyi sonucunda; kömür külü agregasının kendiliğinden yerleşen betonların tüm kür sürelerinde aşınma direncini artırdığı ve en iyi aşınma direncinin ince agrega yerine %30 oranında kömür külü agregasının kullanılması ile elde edildiği belirlenmiştir.

Tohumcu ve Bingöl (2013) çalışmasında; farklı oranlarda çimento yerine silis dumanı ve uçucu kül ikame edilerek üretilen kendiliğinden yerleşen betonların mekanik özellikleri incelenmiştir. Çimento yerine ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında silis dumanı ve %25, %40 ve %55 oranlarında F tipi uçucu kül kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen beton numunelerinde en yüksek basınç dayanımı değeri 88 MPa değeri ile %15 silis dumanı kullanılarak üretilen serilerde elde edilmiştir.

Dinakar vd (2013) çalışmasında; farklı oranlarda çimento yerine uçucu kül (%10-30-50-70) kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonların mekanik özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonuçları incelendiğinde; uçucu külün %30 ve %50 oranlarında çimento yerine kullanılması ile kendiliğinden yerleşen betonların taze beton özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği gözlemlenmiştir. 3, 7, 28 ve 56 gün standart su küründe tutulan sertleşmiş kendiliğinden yerleşen beton numunelerinin basınç dayanım sonuçları incelendiğinde ise en yüksek dayanımın %30 oranında uçucu kül katkısının kullanıldığı serilerde elde edildiği belirlenmiştir.

Beycioğlu ve Aruntaş (2014) çalışmasında; aynı oranlarda uçucu kül (%20, 40, 60) ve yüksek fırın cürufu (%20, 40, 60) kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonlardaki mekanik ve kapilarite özellikleri incelemiştir. Üretilen numuneler 7,28 ve 90 gün standart küre bırakılmış olup, kapilarite ve basınç dayanımı arasında ilişki incelendiğinde uçucu kül ikamesi kapilarite katsayısı üzerinde anlamlı bir etki oluşturmazken yüksek fırın cürufu ikame oranının artması kendiliğinden yerleşen

betonların kapilarite katsayılarının önemli düzeyde azalmasına sebep olmuştur ve üretilen numunelerde en yüksek basınç dayanımı değeri %20 oranında uçucu kül ikamesi ile elde edilmiştir.

Ghafoori et al. (2014) çalışmasında; farklı su/çimento oranları ve farklı çimento miktarları kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonlar ile vibrasyon kullanılarak üretilen geleneksel betonların aşınma dirençlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. 3 farklı su/çimento oranı (0,35-0,40-0,45) ve 4 farklı dozaj (386, 445, 504, 564 kg/m³) kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonlar ile geleneksel betonların basınç dayanımına göre %15-30 arasında daha yüksek olduğu ve aşınma dirençlerinin ise geleneksel betona göre %50-70 oranında daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Jain et al. (2021) çalışmasında; çimento yerine ikame olarak uçucu kül ve ince agrega yerine farklı oranlarda granit atığı içeren kendiliğinden yerleşen betonlardaki mekanik özellikler incelenmiştir. Granit atığı, ince agrega yerine %20-25-30-35-40-50-60 oranlarında kullanılmış olup numuneler 7, 28, 90 ve 180 gün standart su küründe bırakılmıştır. 180 gün kür sonunda uçucu küllü kendiliğinden yerleşen betonların basınç dayanımı kontrol numunelerinin basınç dayanımına göre daha yüksek olduğu ve en yüksek basınç dayanımlarının uçucu küllü %35 oranında ince granit atık agregası içeren numunelerde elde edildiği belirlenmiştir.

Choudhary et al. (2021) çalışmasında; silis dumanı, uçucu kül ve mermer tozu içeren kendiliğinden yerleşen betonların mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada 16 farklı seri oluşturulmuş ve bu serilerde silis dumanı oranı %5 olarak sabit iken uçucu kül oranı %15-25-35, mermer tozu oranı ise %10-20-30 olarak alınmıştır. 7, 28, 90 ve 180 gün standart kür sonunda silis dumanı %5, uçucu kül %15 ve mermer tozunun %10 oranında kullanıldığı serilerde en yüksek basınç dayanımları ve aşınma dirençleri elde edilmiştir.

Zhao et al. (2015) çalışmasında; farklı oranlarda uçucu kül (%20-30-40) ve yüksek fırın cürufu (%20-30-40) içeren kendiliğinden yerleşen betonları mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, 7 günlük standart kür sonunda numunelerin mekanik performansının azaldığı fakat 90 günlük standart kür sonunda kontrol betonu ile

uçucu kül ve yüksek fırın cürufu karışımlar arasındaki mekanik performansta yaklaşık eşdeğerlik durumu olduğu belirlenmiştir.

2.2. Obsidiyen Katkı Maddesi Konusunda Kaynak Özetleri

Ustabaş and Kaya (2018) çalışmasında; Türkiye'nin Rize İli İkizdere İlçesi'nde çıkarılan obsidiyenin puzolanik özellikleri, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu puzolanları ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çimento esaslı standart harç bileşiminde, üç farklı incelikteki (45, 60, 75 μm) obsidiyen ve diğer puzolanik katkıların, çimento yerine sabit %25 oranında ikame edilerek kullanıldığı çalışma sonucunda; obsidiyen (75 μm) için 7, 28 ve 90 günlük puzolanik aktivite değerleri sırasıyla %77, %90 ve %96 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, obsidiyen katkısının uçucu kül katkısına göre puzolanik olarak daha olumlu etkiler sağladığı ve yüksek fırın cürufuna eşdeğer olduğu görülmüştür. Nitekim bölgede bulunan obsidiyenin, çimentoda puzolan olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Ardahanlı and Oltulu (2021) çalışmasında; Türkiye'nin Erzurum İli Pasinler İlçesi'nde çıkarılan obsidiyenin ve çinko cürufu puzolanlarının, puzolanik özellikleri incelenmiştir. Puzolanik aktivite deneyleri için %5, 10, 15, 20, 25 oranlarında obsidiyen ikamesi, %2,5, 5, 7,5, 10 oranlarında çinko cürufu kullanılarak harç numuneleri üretilmiştir. Üretilen numuneler 7 ve 28 gün standart küre tabi tutulmuş ve kür süreleri sonunda puzolanik aktivite deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek puzolanik aktivite indeksleri, obsidiyen ikameli numunelerde %15 ikame oranında, çinko cürufu ikameli numunelerde %5 ikame oranında elde edilmiş ve her iki malzemenin' de çimento yerine puzolan olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

Ardahanlı (2020) çalışmasında; atık seramik, obsidiyen ve çinko cürufu kullanılarak üretilen betonun, mekanik özelliklerini iki farklı aşamada incelemiştir. İlk aşamada çalışmada kullanılan katkıların maksimum puzolanik özellik gösterdiği ikame oranlarını araştırmış ve obsidiyen için %15, çinko cürufu için %5 olarak belirlemiştir. İkinci aşamada ise betonun mekanik özelliklerini araştırmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre seramik atık agregasının beton basınç ve eğilme dayanımını artırdığı çinko cürufu ve obsidiyenin beton basınç dayanımını kısmen azalttığı ve seramik atık ile birlikte üçünün

kullanılmasının ise kontrol betonu dayanımına yaklaşık eşdeğer dayanım gösterdiği sonucuna varmıştır.

Ustabaş ve Ömür (2019) çalışmasında; Rize yöresi obsidiyeninin çimentonun hidratasyon ısisına olan etkisini incelemiştir, obsidiyen ile çimentoda mineral katkı olarak sık tercih edilen mineral katkılardan uçucu külün ve yüksek fırın cürufununun, hidratasyon ısisına etkileri ve harçların basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. Obsidiyenin, katılan diğer mineral katkılarla benzer olarak çimentonun hidratasyon ısisını azalttığı belirlenmiştir. %10, 20, 30 ve 40 oranlarında obsidiyen ikameli numuneler 28 gün standart küre bırakılmış ardından harçların basınç dayanımları kıyaslandığı obsidiyen miktarının artışına bağlı olarak dayanımın düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca obsidiyen, uçucu kül, yüksek fırın cürufundan çimentoya %40 oranında katılarak oluşturulan çimentolar ile oluşturulan harçların basınç dayanımları kıyaslanmış olup en yüksek basınç dayanımları sırasıyla yüksek fırın cürufu, obsidiyen, uçucu küllü harçlarda elde edilmiştir.

2.3. Çinko Cürufu Katkı Maddesi Konusunda Kaynak Özetleri

Öztürk vd (2018) çalışmasında; agrega yerine çinko cürufunun farklı oranlarda kullanılması ile elde edilen betonların deneysel sonuçlarını incelemiştir. Çalışmada çinko cürufu, 0-5 mm ve 5-15 mm boyutlarında agreganın yerine kullanılmış olup 28 günlük standart kür sonunda kontrol betonuna eşdeğer dayanımlı ve daha hafif beton numuneler elde edildiği belirlenmiştir.

Alwaeli (2013) çalışmasında; kum yerine %25, %50, %75, %100 ikame oranlarında granüle çinko-kurşun cürufu kullanarak beton numuneleri elde etmiş ve bu betonların deneysel sonuçlarını incelemiştir. Çalışma sonucunda çinko cürufu ikame miktarı arttıkça betonun mukavemetinin arttığı ve betonun gama radyasyonu geçirgenliğinin azaldığı belirlenmiştir.

Alwaeli (2017) çalışmasında; çinko-kurşun cürufu atıklarının betonda ince agrega yerine kullanılması ile oluşturulan hibrit karışımın, geleneksel betondan daha yüksek basınç dayanımına ve daha iyi radyasyon kalkanı özelliklerine sahip olduğunu belirlemiş

ve bu tür katkılar kullanılarak radyasyona karşı dirençli yapı elemanları yapılabileceği sonucuna ulaşmıştır.

Aslan vd (2019) yaptıkları çalışmada, çimento yerine sırasıyla %10, 20 ve 30 oranlarında çinko cürufu ikame edilmesi ile oluşturulan harç numunelerinde 7, 14 ve 28 günlük standart kür sonrası en yüksek basınç dayanımlarının %10 çinko cürufu ikame ile elde edildiği sonucuna varmışlardır

Mosavinezhad and Nabavi (2012) çalışmalarında; Çinko cürufu, kurşun cürufu ve granüle yüksek fırın cürufunu ince agrega yerine kullanarak numune grupları oluşturmuş ve deneyler yapmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre granüle yüksek fırın cürufu ikameli numunelerde basınç dayanımı artarken, çinko cürufu ve kurşun cürufu kullanılan numunelerde basınç dayanımında ufak bir miktar düşüş gözlemlenmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Çimento

Bu çalışmada TS EN 197-1 (Anonim 2012) standardına uygun olarak Erzurum Aşkale Çimento Fabrikası'ndan temin edilen CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmış olup çimentoya ait özellikler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. CEM I 42,5 R tipi çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal Bileşenler	Oran (%)	Fiziksel Özellikler	Değeri
SiO ₂	18,10	İncelik 45 mikron elek üstü	7,18
Al ₂ O ₃	4,48	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3,12
Fe ₂ O ₃	3,09	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3690
CaO	63,65	Hacim Genişlemesi (mm)	1
MgO	2,58		
SO ₃	2,84	Mekanik Özellikler	Değeri
Kızdırma Kaybı	3,9	Basınç Dayanımı (2. Gün)	27,9 MPa
Na ₂ O	0,21	Basınç Dayanımı (28. Gün)	58,0 MPa
K ₂ O	0,62	Priz Başlangıcı	2 saat-31 dakika
Na ₂ O+0,66K ₂ O	0,62	Priz Sonu	3 saat-11 dakika
Cl	0,015		
Ölçülemeyen	0,52		
Toplam	100		
Serbest CaO	0,44		
Çözölemeyen Kalıntı	0,55		

3.1.2. Agrega

Çalışma kapsamında KYB numunelerinin üretiminde agrega olarak, Erzurum Büyükşehir Belediyesi Palandöken Yatırım A.Ş. Beton ve Beton Elemanları Üretim Tesisinden temin edilen ve 0-2, 2-4, 4-8, 8-16 mm olmak üzere 4 farklı boyut aralığındaki bazalt agregası kullanılmıştır. Bazalt agregasına ait fiziksel özellikler Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Agregaların fiziksel özellikleri

Agrega Sınıfı (mm)	Tane Yoğunluğu (DKY) (gr/cm ³)	Su Emme Oranı (%)	Yüzey Nemi (%)
0-2	2,61	2,98	2,59
2-4	2,61	2,95	2,39
4-8	2,63	1,40	1,49
8-16	2,63	1,47	1,17

3.1.3. Karışım suyu

Çalışmada karışım suyu olarak TS EN 1008 (Anonim 2003) standardına uygun Erzurum Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarı içilebilir musluk suyu kullanılmıştır.

3.1.4. Kimyasal katkı

Deneyler öncesinde yapılan ön denemeler neticesinde TS EN 934-2+A1 (Anonim 2014) standardına uygun olarak 2. nesil süper akışkanlaştırıcı katkı MasterGlenium SKY 608 % 2,6 oranında kullanılmıştır.

Çizelge 4. Kimyasal katkının fiziksel ve teknik özellikleri

Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik Eter Esaslı
Görünüm	Kahverengi -Sıvı
Özgül ağırlık (20°C’de)	1.069 – 1.109 kg/lt
pH değeri	5-7
Alkali içeriği (%)	≤ 3.00 (Kütlece)
Klor iyon içeriği (%)	≤ 0.10 (Kütlece)
Korozyon davranışı	Sadece EN 934-1:2008, EK A.1 standardına uygun bileşenleri içerir.
Tehlikeli maddeler	Tamamen EN 934-2 Ek-AZ’ye uygundur

3.1.5. Obsidiyen

Erzurum Pasinler İlçesi'nden temin edilen obsidiyen kayalar imento boyutuna kadar küçültülüp imento yerine ikame olarak kullanılmıştır. TS 25 (Anonim 2008) standardı incelendiğinde, bir malzemenin puzolan olarak beton karışımında kullanılabilmesi için 90 mikronluk elek üstü kalan malzeme en fazla %8 oranında olduğu ifade edilmiştir. Obsidiyen tozuna ait kimyasal özellikler ile 63 ve 75 mikron çaplı eleklerden geçen yüzde miktarı izelge 5'te verilmiştir. Çalışmada kullanılan Pasinler obsidiyeninin Ardahanlı (2020)'ya göre özgül ağırlığı 2,46 (g/cm³) tür. Obsidiyen kayacının görünümü şekil 4'te verilmiştir.

Çizelge 5. Pasinler obsidiyeninin kimyasal içeriği (Chataigner et al. 2013) ve farklı eleklerden geçen yüzde miktarı.

İçerik Türü	Yüzde (%)
SiO ₂	73,87
Al ₂ O ₃	16,33
Fe ₂ O ₃	1,08
CaO	0,30
MgO	0,04
Na ₂ O	3,94
K ₂ O	4,30
<63 Mikron (Elekten Geçen)	60
<75 Mikron (Elekten Geçen)	85



şekil 4. Obsidiyen kayacı görünümü

3.1.6. Çinko cürufu

Kayseri ilinde faaliyet gösteren Çinkom A.Ş. firmasından temin edilen iri agrega boyutlu çinko cürufları toz haline getirilerek betonda çimento yerine ikame olarak kullanılmıştır. Agrega tane sınıfı 0-4 olan çinko cüruflarının DKY ağırlığı $2,22 \text{ gr/cm}^3$, su emmesi %10,2 iken, 4-8 olanların DKY ağırlığı $2,23 \text{ gr/cm}^3$, su emmesi %9,5'dir. Çinko cürufuna ait kimyasal özellikler ile 63 ve 75 mikron çaplı eleklerden geçen yüzde miktarı Çizelge 6'da verilmiştir. Çinko cürufunun görünümü Şekil 5'te verilmiştir.

Çizelge 6. Çinko cürufunun kimyasal içeriği ve farklı eleklerden geçen yüzde miktarı

İçerik Türü	Yüzde (%)
SiO ₂	16,10
Al ₂ O ₃	8,53
Fe ₂ O ₃	26,47
CaO	29,83
MgO	3,22
Na ₂ O	-
K ₂ O	-
Na ₂ O + 0,66K ₂ O	-
Kızdırma Kaybı	11,10
<63 Mikron (Elekten Geçen)	58
<75 Mikron (Elekten Geçen)	82



Şekil 5. Çinko cürufunun granül halde görünümü

3.2. Yöntem

3.2.1. Pozolanik aktivite deneyi

Pozolanik aktivite deneyi için referans numunesine ek olarak çimento yerine %5-10-15-20-25 oranlarında obsidiyen ve %2,5-5-7,5-10 oranlarında çinko cürufu içeren 50×50×50 mm boyutlu küp harç numuneleri üretilmiştir (Çizelge 7). Üretilen numuneler 56 ve 90 gün boyunca standart küre bırakılmıştır. Bu malzemeler kullanılarak üretilen 7 ve 28 günlük harç numunelerinin pozolanik aktivite sonuçlarına ek olarak (Ardahanlı 2020), bu çalışmada obsidiyen ve çinko cürufunun daha uzun süreli pozolanik aktiviteleri incelenmiştir. Pozolanik aktivite deneyi TS EN 196-1 (Anonim 2016) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 7. Pozolanik aktivite deney gruplarına ait bileşen malzeme oranları

Harç Numune Grupları	Ağırlıkça Malzeme Oranları			
	Çimento	İkame Oranı	Kum	Su
Kontrol	1	-	3	0,5
O5	0,95	0,05	3	0,5
O10	0,90	0,10	3	0,5
O15	0,85	0,15	3	0,5
O20	0,80	0,20	3	0,5
O25	0,75	0,25	3	0,5
ÇC2,5	0,975	0,025	3	0,5
ÇC5	0,95	0,05	3	0,5
ÇC7,5	0,925	0,075	3	0,5
ÇC10	0,90	0,10	3	0,5

K: Kontrol, O: Obsidiyen, ÇC: Çinko cürufu

3.2.2. Beton karışım oranları

KYB beton tasarımı için TS 802 (Anonim 2016) ve EFNARC (Anonymous 2005) standartlarından yararlanılmıştır. Çalışma kapsamında yer alan KYB gruplarının üretimi için, yapılan ön denemeler ile uygunluğu belirlendiği üzere, beton bileşimindeki çimento

3. MATERYAL ve YÖNTEM

ağırlığının %2,6'sı kadar süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesi kullanılmıştır. Kullanılan malzeme miktarları Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8. KYB karışımlarını oluşturan bileşen malzeme miktarları

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) Grupları	Bileşen Malzeme Miktarları, kg/m ³ ($\pm 0,01$ m ³)									
	Çimento	Obsidiyen	Çinko Cürufu	Agrega (mm)				Su	Su/Bağlayıcı Oranı	Akışkanlaştırıcı
				0-2	2-4	4-8	8-16			
K	577	-	-	568	353	308	307	208	0,36	15,2
O15	491	87	-	568	353	308	307	208	0,36	15,2
O20	462	116	-	568	353	308	307	208	0,36	15,2
O25	433	144	-	568	353	308	307	208	0,36	15,2
ÇC5	549	-	29	568	353	308	307	208	0,36	15,2
ÇC7.5	534	-	43	568	353	308	307	208	0,36	15,2
ÇC10	520	-	58	568	353	308	307	208	0,36	15,2
O15 ÇC5	462	87	29	568	353	308	307	208	0,36	15,2
K: Kontrol, O: Obsidiyen, ÇC: Çinko cürufu										

Çizelge 8'de verilen bileşen miktarları, kontrol betonu grubunda mutlak hacim esasına göre hesaplanmış ve çalışma kapsamında kullanılan obsidiyen ve çinko cürufu tozu malzemeleri, bu miktarlar esas alınarak çimento yerine farklı oranlarda ikame edilmiştir.

3.2.3. Taze beton deneyleri

a) Yayılma tablası deneyi

Taze KYB'nin şekil değiştirme hızının gözlenmesine ek olarak taze beton numunesinin kendi ağırlığı ile yayılarak oluşturacağı çapın ölçülmesini içerir. Deney aparatı olarak çökme (Abrams Konisi) hunisi ve 80 x 80 cm boyutlarında bir tabla kullanılır. Deney TS EN 12350-8 (Anonim 2019)'a göre yapılmıştır. Şekil 6'da gerçekleştirilen yayılma tablası deneyine ait fotoğraf verilmiştir.



Şekil 6. Yayılma tablası deneyi

b) L Kutusu deneyi

Taze KYB'nin kendiliğinden yerleşme yeteneğinin, doldurma yeteneğinin, geçiş yeteneğinin ve ayrışmaya karşı direncinin, L şeklindeki bir kutu içerisinde gözlenmesini içerir. L kutusunun alt orta kısmında sürgülü bir kapağa ek olarak engel oluşturan demir çubuklar bulunmaktadır. Sürgülü kapak çekilerek betonun diğer bölüme geçişi sonucunda iki taraftaki yükseklik farkı belirlenir. Deney TS EN 12350-10 (Anonim 2011)'e göre yapılmıştır. Şekil 7'de gerçekleştirilen L kutusu deneyine ait fotoğraf verilmiştir.



Şekil 7. L Kutusu deneyi

c) V Hunisi deneyi

KYB'nin birim zamandaki yayılması değerlendirilir. Taze KYB'nin kendi ağırlığı ile özel tasarlanmış bir huninin dar olan ağzından boşalma süresinin ölçülmesini içerir. Betonun boşluklardan geçebilme yeteneğini ölçmek için yapılan kendiliğinden yerleşebilirlik deneyidir. Deney genel olarak KYB'nin viskozitesi ve geçiş yeteneği hakkında fikir vermektedir. Bu deney için, özel bir v hunisinde yararlanılır. Huniye taze KYB, hiçbir sıkıştırma ve vibrasyon uygulanmadan doldurulduktan sonra, huninin altındaki sürgülü kapak açılır ve huni içindeki tüm betonun alttaki kovayı doldurma süresi kaydedilir. Deney TS EN 12350-9 (Anonim 2011)'e göre gerçekleştirilmiştir. Şekil 8'de gerçekleştirilen V Hunisi deneyine ait fotoğraf verilmiştir.



Şekil 8. V Hunisi deneyi

d) U Kutusu deneyi

Deney düzeneğine yerleştirilen taze KYB'nin kendi ağırlığı ile donatı çubuklarının arasından geçebilme kabiliyetinin incelendiği bir deney yöntemidir. Şekil 9'da gerçekleştirilen U kutusu deneyine ait fotoğraf verilmiştir.

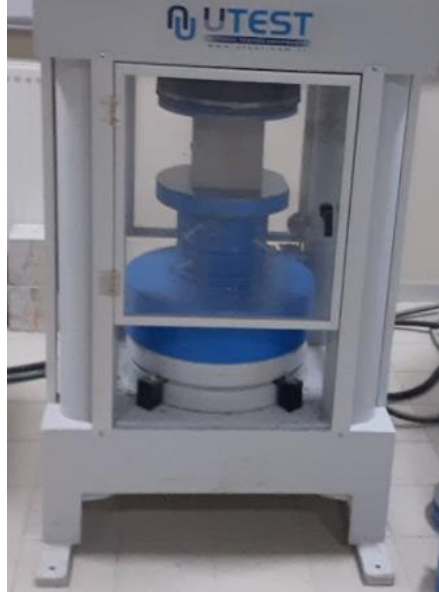


Şekil 9. U Kutusu deneyi

3.2.4. Sertleşmiş beton deneyleri

a) Basınç dayanım deneyi

Betonlardaki dayanım gelişimi 7 ve 28 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilen basınç dayanımı deneyi ile belirlenmiştir. Basınç dayanımı deneyi 150×150×150 mm boyutlu küp numunelerde TS EN 12390-3 (Anonim 2010) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiş olup deney sırasında yükleme hızı 0.4 MPa/s olarak alınmıştır. Küp numunelerin basınç dayanımı deneyi Utest markalı 200-300 ton kapasiteli otomatik yükleme hızına sahip olan cihazda gerçekleştirilmiştir. Şekil 10'da gerçekleştirilen basınç dayanımı deneyine ait fotoğraf verilmiştir.



Şekil 10. Basınç Deneyi

b) Yarmada çekme deneyi

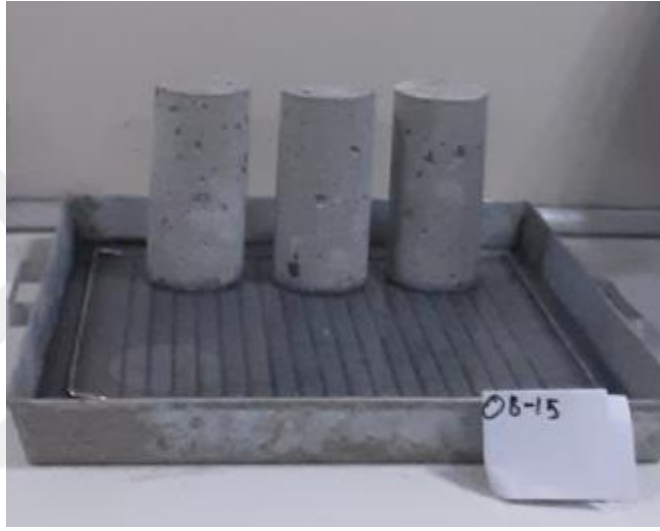
Üretilen beton numuneler 7 ve 28 gün standart kürde bırakıldıktan sonra numuneler üzerinde beton yarmada çekme deneyi uygulanmıştır. Beton yarmada çekme deneyi 100×200 mm boyutlu silindir numunelerde TS EN 12390-6 (Anonim 2010) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiş olup deney sırasında yükleme hızı 0,05 MPa/s olarak alınmıştır. Şekil 11’de gerçekleştirilen yarmada çekme dayanımı deneyine ait fotoğraf verilmiştir.



Şekil 11. Yarmada çekme deneyi

c) Kapiler su emme deneyi

Betonda kılcal emilim deneyi TS EN 13057 (Anonim 2004) standardına göre 100×200 mm boyutlu silindir numunelerde gerçekleştirilmiştir. Numuneler su kürü ortamından alınarak 24 saat süreyle 100°C etüvde tutulduktan sonra yüzeyleri batacak şekilde suya bırakılmış ve belirli aralıklarla (5dk, 10dk, 20dk, 1s, 2s, 4s, 8s, 24s) su içerisinden çıkarılarak ağırlıkları ölçülmüştür. Şekil 12’de gerçekleştirilen kapiler su emme deneyine ait fotoğraf verilmiştir.



Şekil 12. Betonda kapiler su emme deney düzeneği

d) Böhme aşındırma deneyi

Betonun aşınma direncinin belirlenmesinde Böhme aşınma deneyi TS 2824 EN 1338 (Anonim 2005) “Zemin döşemesi için beton kaplama blokları - Gerekli şartlar ve deney metotları” standardına uygun olarak yapılmıştır. Bu deney yönteminde 30 devir/dk. ± 1 devir/dk hızla dönmesini sağlayan yaklaşık 750 mm çapında yatay olarak yerleştirilmiş döner bir aşındırma diski bulunmaktadır. Numuneye dönen disk üzerinde belirli bir kuvvet uygulayan donanım yüzey aşındırıcı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca disk her 22 devirde cihazı otomatik olarak durduracak tertibata ve devir sayısını gösteren bir numaratóre sahiptir. Sürtünme ile aşınma kaybı deneyi için TS 2824’e uygun olarak kenar uzunlukları 71 mm $\pm 1,5$ mm olan küp biçiminde deney numuneleri hazırlanmıştır. Bu numunelerde temas eden ve ona karşı gelen yüzü paralel ve düz olmalıdır. Deneylerde

20 gr $\pm$ 0,5 gr zımpara tozu sürtünme şeridi üzerine serpilir ve elik manivela aracılığı ile 294 $\pm$ 3 N ile yüklenir. 22 devir sonunda otomatik olarak duran disk üzerinden zımpara tozu ve numune atıkları temizlenir. Yeniden 20 gr $\pm$ 0,5 gr zımpara tozu sürtünme şeridi üzerine serpilir ve numune düşey eksen etrafında 90° çevrilir. Her numune için 22 devirden meydana gelen deney, numuneye 16 defa uygulanır. Deney numunesi iyice temizlendikten sonra numune boyutları 0.01 mm hassasiyetle olan kumpas ile llr ve numune hassas terazide tartılır. Şekil 13'te gerçekleştirilen bhme aşındırma deneyine ait fotoğraf verilmiştir.



Şekil 13. Böhme aşındırma deneyi

e) Ultrases geçiş hızı deneyi

Ultrases deneyi, 150 $\times$ 150 $\times$ 150 mm boyutlu kp numunelerde TS EN 12504-4 (Anonim 2012) standardına uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında Proceq markalı Ultrases Hızı Cihazı kullanılmıştır. Şekil 14'te gerçekleştirilen ultrases geçiş hızı deneyine ait fotoğraf verilmiştir.



Şekil 14. Ultrases geçiş hızı deneyi

f) Beton test (Schmidt) çekici ile yüzey sertlik deneyi

Beton test (Schmidt) çekici ile yüzey sertlik deneyi, 150×150×150 mm boyutlu küp numunelerde TS EN 12504-2 (Anonim 2013)'e standardına uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 15). Deney sırasında Proceq markalı N tipi Schmidt çekici kullanılmıştır. Şekil 15'te gerçekleştirilen beton test (Schmidt) yüzey sertlik deneyine ait fotoğraf verilmiştir.



Şekil 15. Beton test (Schmidt) çekici

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında, kendiliğinden yerleşen betonda mineral katkı maddesi olarak kullanılabilirliği araştırılan obsidiyen ve çinko cürufu malzemelerinin puzolanik aktivite özellikleri ve bu mineral katkı maddelerinin farklı oranlarda kullanımı ile üretilen KYB'lerin taze ve sertleşmiş beton özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışma sonuçları, bu bölümde ilgili özelliklere ait 3 ayrı başlık altında sunulmuştur.

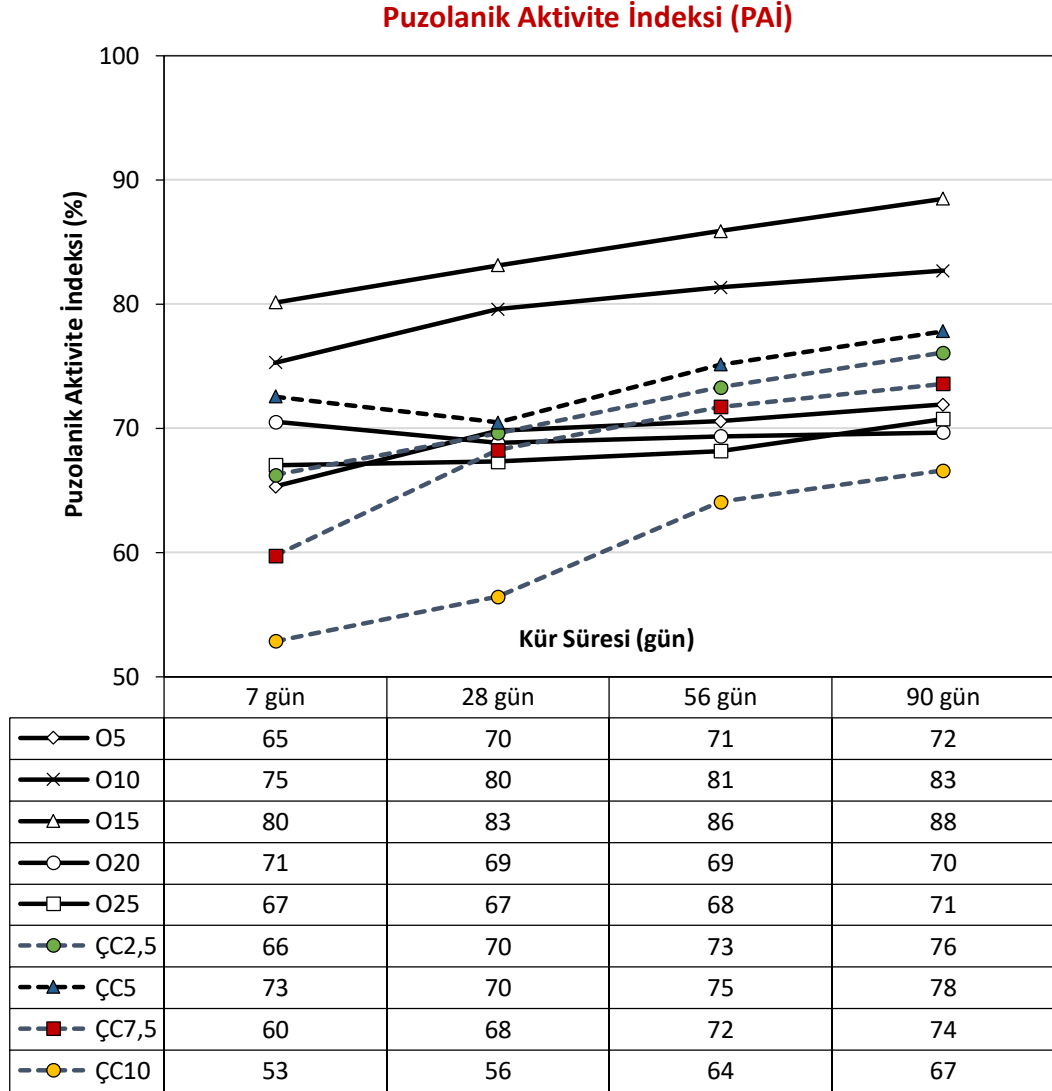
4.1. Puzolanik Aktivite Deney Sonuçları

Çalışma kapsamında, KYB üretiminde kullanılabilirliği araştırılan obsidiyen ve çinko cürufu malzemelerinin farklı sürelerdeki puzolanik aktivitelerinin belirlenmesi amacıyla yapılan puzolanik aktivite deneylerinden elde edilen sonuçlar bu bölümde verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan obsidiyen ve çinko cürufu malzemeleri için, aynı kaynaklardan alınarak daha önce yapılmış Ardahanlı (2020) çalışmasında belirlenen 7 ve 28 günlük puzolanik aktivite özellikleri aynı ikame oranları kullanılarak, bu çalışmada mukayese amacıyla aynen dikkate alınmış, daha uzun süreli olarak 56 ve 90 günlük puzolanik aktivite özellikleri ise bu çalışma kapsamında yapılan testler ile belirlenmiştir. Bu numunelerin ortalama basınç dayanımı sonuçları Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 9. Harç numunelerine ait ortalama basınç dayanımı sonuçları

Harç Numune Grupları	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)			
	7 gün	28 gün	56 gün	90 gün
K	52,82	68,96	79,99	87,19
O5	34,50	48,13	56,45	62,69
O10	39,76	54,89	65,07	72,09
O15	42,33	57,31	68,70	77,14
O20	37,25	47,46	55,48	60,75
O25	35,41	46,42	54,54	61,69
ÇC2,5	34,99	48,01	58,63	66,34
ÇC5	38,32	48,59	60,09	67,84
ÇC7,5	31,56	47,06	57,37	64,17
ÇC10	27,92	38,93	51,25	58,08
K: Kontrol, O: Obsidiyen, ÇC: Çinko cürufu				

Şekil 16’da harç numunelerinin, puzolanik aktivite indeksleri (PAİ) ve değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 16. Harç numunelerinin puzolanik aktivite indeksi (PAİ)

Şekil 16’da görüldüğü üzere obsidiyen tozu ikameli 56 ve 90 günlük harç numuneleri arasında en yüksek puzolanik aktivite indeksi sırasıyla, %85,9-%88,5 değerleri ile 7 ve 28 günlük numunelerde de olduğu gibi O15 harç numunesi grubunda, en düşük puzolanik aktivite indeksleri ise 56 günlükte %68,2 ile O25 grubunda, 90 günlükte %69,7 değeri ile O20 harç numunesi grubunda gözlemlenmiştir.

Puzolanik aktivite indeksi, 7 ve 28 günlük numunelerde olduğu gibi %5’lik obsidiyen ikame değerinden %15’lik obsidiyen ikame değerine kadar ikame değerinin

artmasıyla doğru orantılı olarak artmış, bu değer geçildikten sonra O20 ve O25 numune gruplarının puzolanik aktivite indekslerinden görüldüğü üzere, ikame oranının artmasıyla doğru orantılı olarak azaldığı gözlemlenmiştir.

Birbirinin ardı sıra gelen obsidiyen ikamesi oranlarında en yüksek puzolanik aktivite artış değerleri; 56 günlük harç numunelerinde yaklaşık %10,8 değeri ile O5 numune grubundan O10 grubuna geçildiğinde, 90 günlük harç numunelerinde ise yaklaşık %10,8 değeri ile yine O5 numune grubundan O10 grubuna geçildiğinde gözlemlenmiştir.

Birbirinin ardı sıra gelen obsidiyen ikamesi oranlarında en yüksek puzolanik aktivite azalış değerleri; 56 günlük harç numunelerinde yaklaşık %16,5 değeri ile O15 numune grubundan O20 grubuna geçildiğinde, 90 günlük harç numunelerinde ise yaklaşık %18,8 değeri ile yine O15 numune grubundan O20 grubuna geçildiğinde gözlemlenmiştir.

Obsidiyen ikameli harç numunesi gruplarına bakıldığında, en yüksek puzolanik aktivite indeksi farkının; 56 günlük harç numunelerinde %17,7 değeri ile O15 ve O25 grupları arasında, 90 günlük harç numunelerinde ise %18,8 değeri ile O15 ve O20 grupları arasında gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Bu gözlemlerden hareketle; 7 ve 28 günlük numunelerde de olduğu gibi obsidiyen ikameli numune grupları arasında en yüksek puzolanik aktivite indeksi değerine sahip olan O15 grubunun, çimento yerine ağırlıkça obsidiyen ikamesi değeri olan %15 optimum obsidiyen ikame değeri olarak görülmektedir.

Şekil 16'da görüldüğü üzere Çinko cürufu ikameli 56 ve 90 günlük harç numuneleri arasında en yüksek puzolanik aktivite indeksi sırasıyla, %75,1-%77,8 değerleri ile ÇC5 harç numunesi grubunda, en düşük puzolanik aktivite indeksleri ise 56 günlükte %64,1 ve 90 günlükte %66,6 değerleri ile ÇC10 harç numunesi grubunda gözlemlenmiştir.

Puzolanik aktivite indeksi, %2,5'lik çinko cürufu ikame değerinden %5'lik çinko cürufu ikame değerine geçildiğinde artmış, bu değer geçildikten sonra ÇC7,5 ve ÇC10 numune gruplarının puzolanik aktivite indekslerinden görüldüğü üzere, ikame oranının artmasıyla doğru orantılı olarak azaldığı gözlemlenmiştir.

Birbirinin ardı sıra gelen Çinko cürufu ikamesi oranlarında tek puzolanik aktivite artış değerleri; 56 günlük harç numunelerinde yaklaşık %1,8 değeri ile ÇC2,5 numune grubundan ÇC5 grubuna geçildiğinde, 90 günlük harç numunelerinde ise yaklaşık %1,7 değeri ile yine ÇC2,5 numune grubundan ÇC5 grubuna geçildiğinde gözlemlenmiştir.

Birbirinin ardı sıra gelen Çinko cürufu ikamesi oranlarında en yüksek puzolanik aktivite azalış değerleri; 56 günlük harç numunelerinde yaklaşık %7,65 değeri ile ÇC7,5 numune grubundan ÇC10 grubuna geçildiğinde, 90 günlük harç numunelerinde ise yaklaşık %7 değeri ile yine ÇC7,5 numune grubundan ÇC10 grubuna geçildiğinde gözlemlenmiştir.

Çinko cürufu ikameli harç numunesi gruplarına bakıldığında, en yüksek puzolanik aktivite indeksi farkının; 56 günlük harç numunelerinde %11,1 değeri ile ÇC5 ve ÇC10 grupları arasında, 90 günlük harç numunelerinde ise %11,2 değeri ile yine ÇC5 ve ÇC10 grupları arasında gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Bu gözlemlerden hareketle; çinko cürufu ikameli numune grupları arasında en yüksek puzolanik aktivite indeksi değerine sahip olan ÇC5 grubunun, çimento yerine ağırlıkça çinko cürufu ikamesi değeri olan %5 optimum çinko cürufu ikame değeri olarak görülmektedir.

TS EN 15167-1 (Anonim 2006) standardına göre yüksek fırın cürufunun puzolan olarak karışımlarda kullanılabilme şartı olarak 7 günlük puzolanik aktivite indeksi değerinin minimum %45 oranında olması gerekmektedir. Obsidiyen tozu kullanılarak hazırlanan numuneler arasında en düşük puzolanik aktivite indeksi değeri olarak gözlemlenen %65, yüksek fırın cürufunun puzolan olarak kullanılabilirlik sınırından yaklaşık %20 yüksektir. Çinko cürufu kullanılarak hazırlanan numuneler arasında en

düşük pozolanik aktivite indeksi değeri olarak gözlemlenen %52,9, yüksek fırın cürufunun pozolan olarak kullanılabilirlik sınırından yaklaşık %7,9 yüksektir.

TS EN 450-1 (Anonim 2013) standardına göre uçucu külün çimentoda pozolan olarak kullanılabilmesi için 28 günlük pozolanik aktivite indeksinin minimum %75 ve TS EN 15167-1 (Anonim 2006) standardına göre ise yüksek fırın cürufunun çimentoda pozolan olarak kullanılabilmesi için 28 günlük pozolanik aktivite indeksinin ise minimum %70 olması gerekmektedir. Şekil 16’da görüldüğü üzere 28 günlük pozolanik aktivite indeksleri; O15 numune grubunda %83,1 ve ÇC5 numune grubunda 70,5 olup bu değerlerden hareketle iki malzemenin de çimento yerine ikame şeklinde katılarak pozolan olarak kullanılabilir olduğu görülmüştür.

7-28 ve 56-90 günlük numunelerin pozolanik aktivite indeksleri sonuçlarından görüldüğü üzere bu çalışma kapsamında hazırlanan 56-90 günlük numunelerin sonuçları ile Ardahanlı (2020)’nin çalışmasında belirlenen 7 ve 28 günlük pozolanik aktivite sonuçları arasında paralellik olduğu ve bu bakımdan iki çalışmanın birbirleri arasında tutarlı olduğu gözlemlenmiştir.

4.2. Taze Beton Deney Sonuçları

Çalışma kapsamında, obsidiyen ve çinko cürufu katkı maddelerinin farklı ikame oranları ile üretilen KYB’lerin taze beton özelliklerini belirlemek amacıyla, Yöntem bölümünde açıklandığı şekilde yapılan bu özel beton türüne özgü Yayılma, V-Hunisi, L-Kutusu ve U-Kutusu deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 10’da topluca verilmiştir.

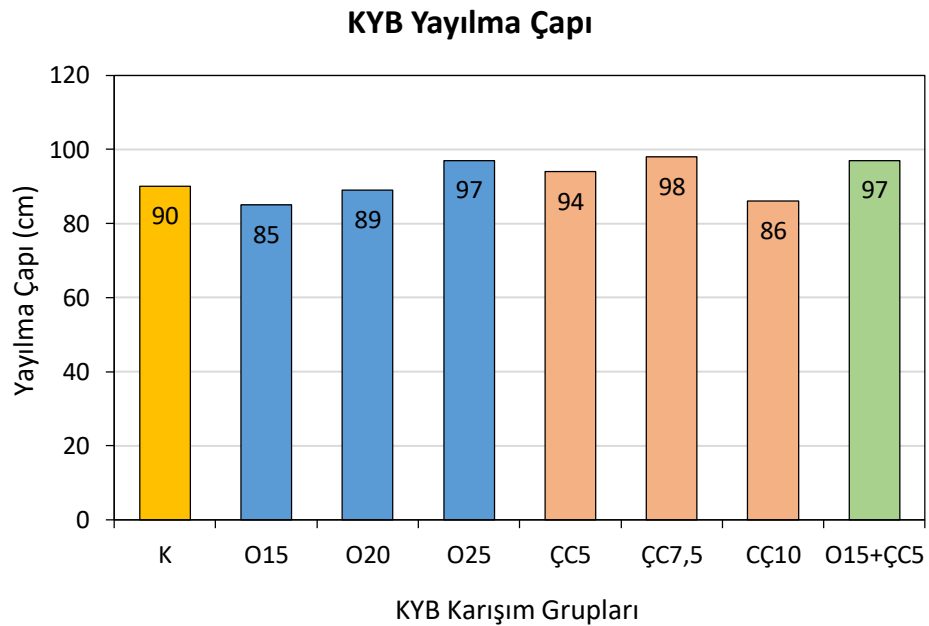
Çizelge 10. KYB karışım gruplarının taze beton deney sonuçları

KYB Taze Beton Özellikleri		KYB Karışım Grupları							
		K	O15	O20	O25	ÇC5	ÇC7,5	ÇC10	O15+ÇC5
Yayılma çapı	cm	90	85	89	97	94	98	86	97
T-50 süresi	sn	2,25	2,24	1,9	0,98	1,92	1,64	2,25	1,11
V-Hunisi süresi	sn	5,36	14,9	10,8	4,84	3,91	4,98	4,2	5,58
L-Kutusu oranı	h1/h2	1,13	1,08	1,08	1,13	1,11	1,08	1,10	1,01
U-Kutusu farkı	cm	1	0,4	0,3	0,5	0,5	0,6	0,8	0,5

K: Kontrol, O: Obsidiyen, ÇC: Çinko cürufu

4.2.1. KYB Yayılma çapı

KYB karışım gruplarında yapılan taze beton deneyleri ile yayılma çapı için elde edilen sonuçlar Şekil 17’de gösterilmiştir. EFNARC’a göre; kendiliğinden yerleşen betonlarda yayılma çapı 650 – 800 mm arasında olmalıdır. Ancak, KYB’nin kullanım alanının genişletilebilmesi için, Avrupa KYB şartnamesinde sınır değer yükseltilmiştir (Anonymous 2005). Çalışma kapsamında hazırlanan tüm KYB gruplarında elde edilen yayılma çapı değerlerinin, EFNARC’ta belirtilen 650 mm eşik değerinin üzerinde olduğu ve KYB için akıcılık koşulunu sağladığı görülmektedir. Şekil 17’de KYB karışım gruplarının yayılma çapı değerleri birlikte gösterilmiştir.

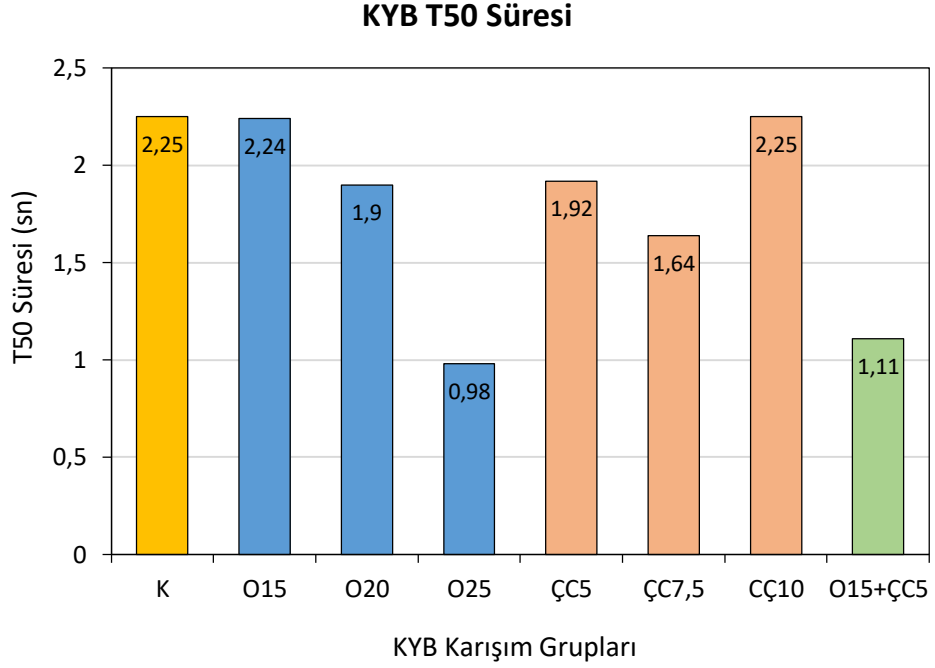
**Şekil 17.** KYB karışım gruplarının yayılma çapı değerleri

Şekil 17’de verilen sonuçlar incelendiğinde; KYB karışım gruplarında en yüksek yayılma çapı obsidiyen ikameli karışımlarda 97 cm değeri ile O25 karışım grubunda, çinko cürufu ikameli karışımlarda ise 98 cm değeri ile ÇC7,5 karışım grubunda elde edildiği gözlemlenmiştir. Numunelerde en düşük yayılma çapı ise, obsidiyen ikameli karışımlarda 85 cm değeri ile O15 karışım grubunda, çinko cürufu ikameli karışımlarda ise 86 cm değeri ile ÇC10 karışım grubunda elde edilmiştir.

Yayılma çapı, obsidiyen katkılı karışım gruplarında ikame oranı ile orantılı olarak artmış ve O25 karışım grubunda kontrol betonuna göre yaklaşık %8 oranında bir artış göstermiştir. Çinko cürufu katkılı karışım gruplarında ise yayılma çapı, ÇC5 ve ÇC7,5 gruplarında ikame oranı ile orantılı olarak artmış ve O15+ÇC5 hibrit karışım grubu ile birlikte kontrol karışımına göre daha fazla olmuştur. ÇC10 karışım grubunda yayılma çapının, ikame oranındaki artışla ters orantılı olarak azaldığı ve kontrol karışımına göre 4 cm daha küçük olduğu belirlenmiştir. Elde edilen yayılma çapı deney sonuçlarına göre; obsidiyen ve çinko cürufu katkılarının, obsidiyen için %15, 20, 25 ve çinko cürufu için %5 ve 7,5 ikame oranlarında tekil, ayrıca obsidiyen %15 + çinko cürufu %5 ikame oranlarında hibrit kullanımı ile KYB’lerin akışkanlık ve yerleşme özelliklerini iyileştirdiği söylenebilir.

4.2.2. KYB T50 süresi

KYB karışım gruplarında yapılan taze beton deneyleri ile T50 süresi için elde edilen sonuçlar Şekil 18’de gösterilmiştir. Kontrol ve katkılı KYB karışım gruplarının geneli için T50 süresi 0,98 ile 2,25 sn aralığında değişim göstermiş olup, obsidiyen ve çinko cürufu katkılarının değişik ikame oranlarında tekil ve hibrit kullanımı ile T50 süresinde kontrol betonuna göre yaklaşık eşit veya daha küçük değerler elde edilmiştir. Şekil 18’de KYB karışım gruplarının T50 süresi değerleri birlikte gösterilmiştir.



Şekil 18. KYB karışım gruplarının T50 süresi değerleri

Şekil 18’de verilen sonuçlar incelendiğinde; KYB karışım gruplarında en küçük T50 süreleri, obsidiyen ikameli karışımlarda 0,98 sn ile O25 karışım grubunda, çinko cürufu ikameli karışımlarda ise 1,64 sn ile ÇC7,5 karışım grubunda elde edilmiştir. KYB karışım gruplarında en büyük T50 süreleri ise, obsidiyen ikameli karışımlarda 2,24 sn değeri ile O15 karışım grubunda, çinko cürufu ikameli karışımlarda ise 2,25 sn değeri ile ÇC10 karışım grubunda elde edilmiştir.

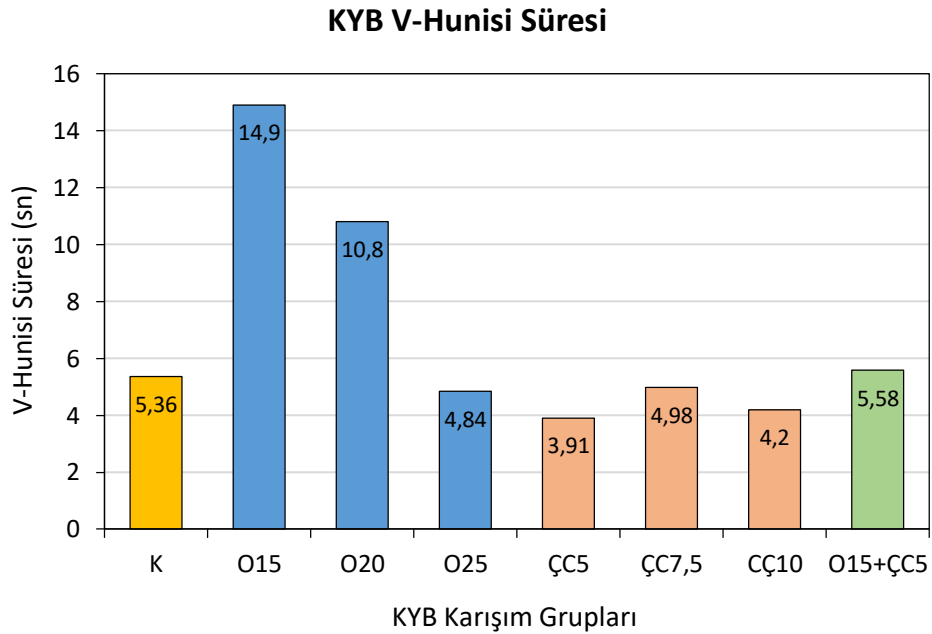
Obsidiyen katkılı KYB karışım gruplarında, obsidiyen ikame oranının artmasıyla T50 süreleri azalma eğilimi göstermiştir. Çinko cürufu katkılı karışım gruplarında ise, ikame oranına bağlı olarak istikrarlı bir artış veya azalış eğilimi gözlenememekle birlikte, T50 süreleri kontrol betonuna yaklaşık eşdeğer düzeyde olduğu görülmüştür. Ayrıca iki mineral katkının optimum ikame oranları kullanılarak oluşturulmuş O15+ÇC5 beton grubunda ise 1,11 sn olan T50 süresi değeri, bulunan en küçük değer olan ve O25 beton grubunda elde edilen 0,98 sn T50 süresine çok yakın olduğundan diğer beton gruplarına kıyasla daha iyi bir performans gösterdiği söylenebilir.

O20, O25, ÇC5, ÇC7,5 ve O15+ÇC5 beton gruplarının T50 süresi değerlerinin, kontrol beton grubunun T50 süresi olan 2,25 sn’den düşük çıktığı gözlenmiştir. Bu

gözleme dayanarak, obsidiyen ve çinko cürufu katkıları kullanımının KYB'lerin akışkanlık ve yerleşme özelliklerini iyileştirdiği söylenebilir.

4.2.3. KYB V-Hunisi süresi

KYB karışım gruplarının taze beton karakteristik özelliklerinden viskozite yeteneğini belirlemeye yönelik V-Hunisi deneylerinden elde edilen sonuçlar Şekil 19'da gösterilmiştir. Sonuçlara göre, karışım gruplarının V-hunisi süreleri; ÇC5 ve O15 karışımlarında ölçülen sırasıyla 3,91 ile 14,9 sn arasında değişim göstermektedir.



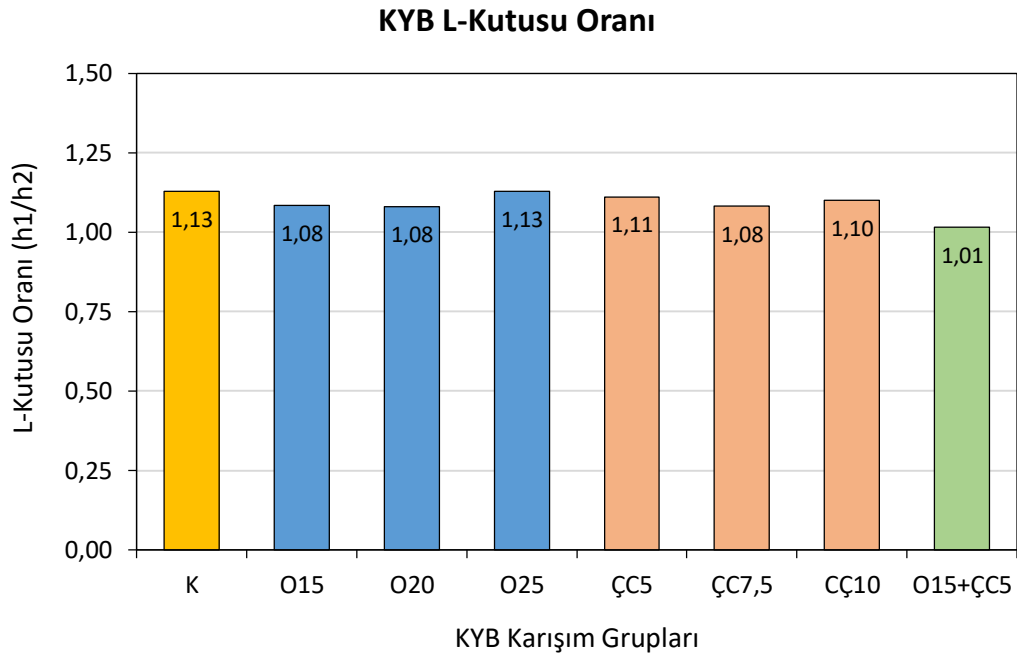
Şekil 19. KYB karışım gruplarının V-Hunisi süresi değerleri

Şekil 19'da verilen sonuçlar incelendiğinde; O15 karışımında 14,9 sn ve O20 karışımında 10,8 sn olarak ölçülen V-hunisi süreleri, kontrol betonunda 5,36 sn olarak ölçülen V-hunisi süresine göre sırasıyla yaklaşık 3 kat ve 2 kat oranında artış göstermiştir. Nitekim obsidiyen tozunun, bu ikame oranlarında KYB karışımlarının viskozitesini önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. O25, ÇC5, ÇC7,5 ve ÇC10 beton gruplarının V-Hunisi sürelerinin, kontrol beton V-Hunisi süresi değeri olan 5,36 sn'den düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Bu gözleme dayanarak obsidiyen ve çinko cürufu katkıları kullanımının KYB'lerin akışkanlık ve yerleşme özelliklerini iyileştirdiği söylenebilir.

İki mineral katkının optimum ikame oranları kullanılarak oluşturulmuş O15+ÇC5 beton grubunda ise 5,58 sn olan V-Hunisi süresi değeri, bulunan en küçük değer olan ve ÇC5 beton grubuyla elde edilen 3,91 sn V-Hunisi süresine çok yakın olduğundan diğer beton gruplarına kıyasla daha iyi bir performans gösterdiği söylenebilir.

4.2.4. KYB L-Kutusu oranı

KYB karışım gruplarının taze beton karakteristik özelliklerinden geçiş yeteneğini belirlemeye yönelik L-Kutusu deneylerinden elde edilen sonuçlar Şekil 20’de gösterilmiştir. Sonuçlara göre, karışım gruplarının L-kutusu oranları; O15+ÇC5 ile K (kontrol) ve O25 karışımlarında ölçülen sırasıyla 1,01 ile 1,13 değerleri arasında değişim göstermiştir.



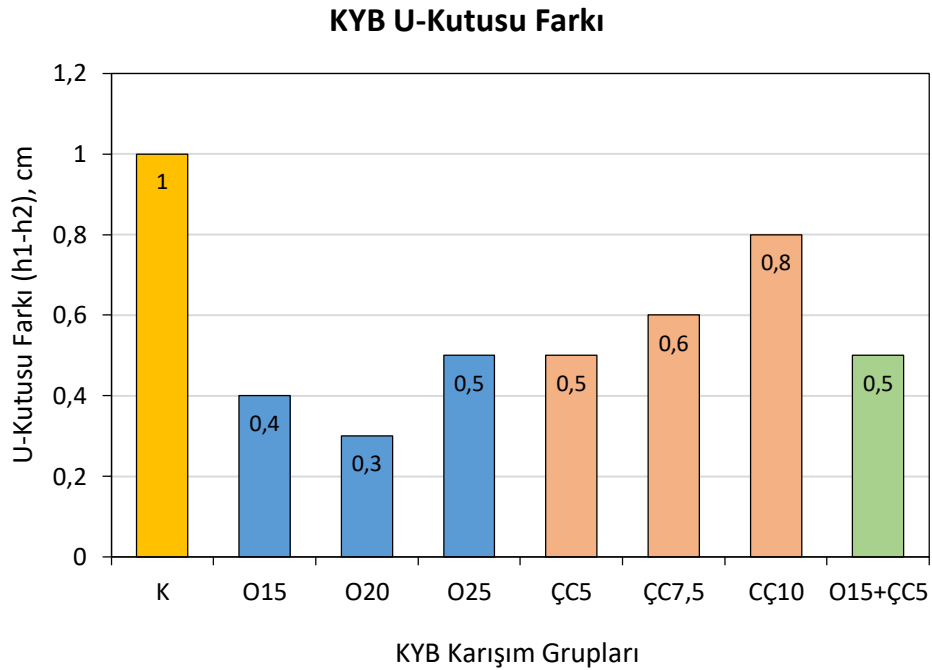
Şekil 20. KYB karışım gruplarının L-Kutusu oranı değerleri

Şekil 20’de verilen sonuçlar incelendiğinde; karışımlarda en yüksek L-kutusu oranının obsidiyen ikameli numunelerde 1,13 değeri ile O25 numune grubunda, çinko cürufu ikameli numunelerde ise 1,11 değeri ile ÇC5 numune grubunda elde edildiği gözlemlenmiştir.

Şekil 20’de verilen sonuçlar incelendiğinde; ikame oranlarının değişimiyle L-Kutusu oranları arasında istikrarlı bir değişim görülmemiştir. O25 karışım grubu haricinde diğer tüm karışım gruplarının L-Kutusu oranlarının kontrol betonuna kıyasla düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, KYB üretiminde obsidiyen ve çinko cüruf tozu katkıları kullanımının betonun işlenebilirlik özelliklerini iyileştirdiği söylenebilir.

4.2.5. KYB U-Kutusu farkı

KYB karışım gruplarının taze beton karakteristik özelliklerinden geçiş yeteneğini belirlemeye yönelik U-Kutusu deneylerinden elde edilen sonuçlar Şekil 21’de gösterilmiştir.



Şekil 21. KYB karışım gruplarının U-Kutusu fark değerleri

Şekil 21’de verilen sonuçlar incelendiğinde; en düşük U-Kutusu farkının; obsidiyen ikameli beton karışım gruplarında 0,3 değeri ile O20 grubunda, çinko cürufu ikameli gruplarda ise 0,5 değeri ile ÇC5 grubunda elde edildiği gözlemlenmiştir. Obsidiyen ikameli gruplarda ikame oranlarının değişimiyle U-Kutusu farkı arasında istikrarlı bir değişim görülmemiş, çinko cürufu ikameli gruplarda ise ikame miktarının

artmasıyla U-Kutusu farkının arttığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kullanılan çinko cürufu miktarının artmasıyla işlenebilirliğin azaldığı fakat iki tür katkı kullanımının da işlenebilirliği iyileştirdiği söylenebilir.

4.3. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

Bu bölümde, çalışmada üretilen KYB karışım gruplarının sertleşmiş beton deneyleri ile elde edilen basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, ultrases geçiş hızı, beton test çekici, aşınma direnci ve kapiler su emme deney sonuçları ilgili alt başlıklar halinde verilmiştir.

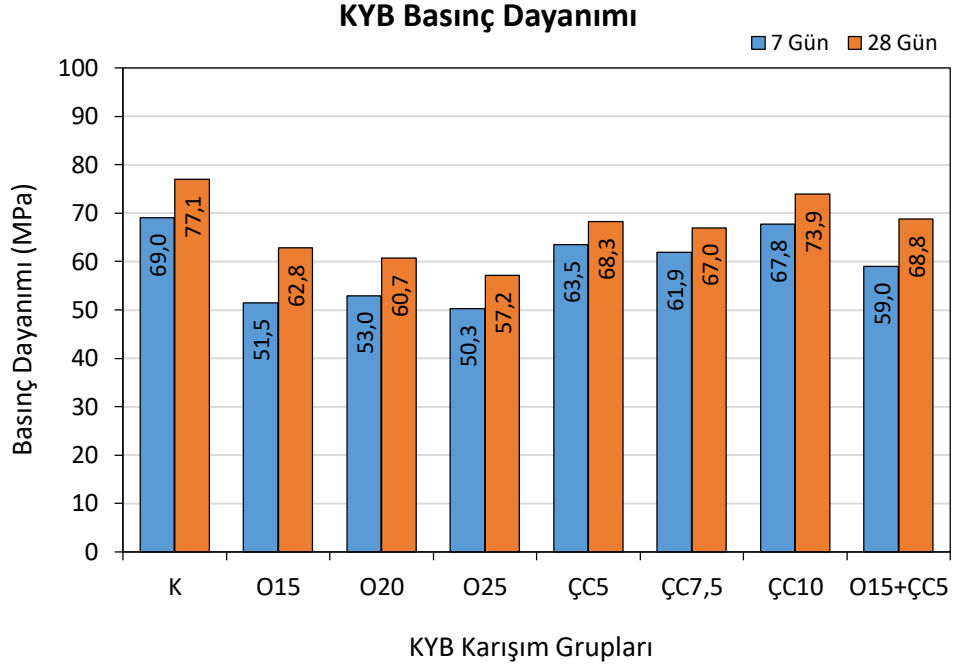
4.3.1. Basınç dayanımı deney sonuçları

Beton basınç deneyleri için her bir beton grubundan 3'er adet 15×15×15 cm ebatlarında küp numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler, 20±2° C sıcaklıktaki kirece doymun su içerisinde 7 ve 28 gün süreyle kür edilmiş ve kür periyotları sonrasında numunelere basınç dayanımı deneyi yapılmıştır.

Deneylerde KYB karışım gruplarına ait numunelerden elde edilen basınç dayanım sonuçları, Çizelge 11'de ve Şekil 22'de verilmiştir.

Çizelge 11. KYB karışım gruplarının basınç dayanımı deney sonuçları

Beton Numune Grupları	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	
	7 gün	28 gün
K	69,0	77,1
O15	51,5	62,8
O20	53,0	60,7
O25	50,3	57,2
ÇC5	63,5	68,3
ÇC7,5	61,9	67,0
ÇC10	67,8	73,9
O15+ÇC5	59,0	68,8
K: Kontrol, O: Obsidiyen, ÇC: Çinko cürufu		

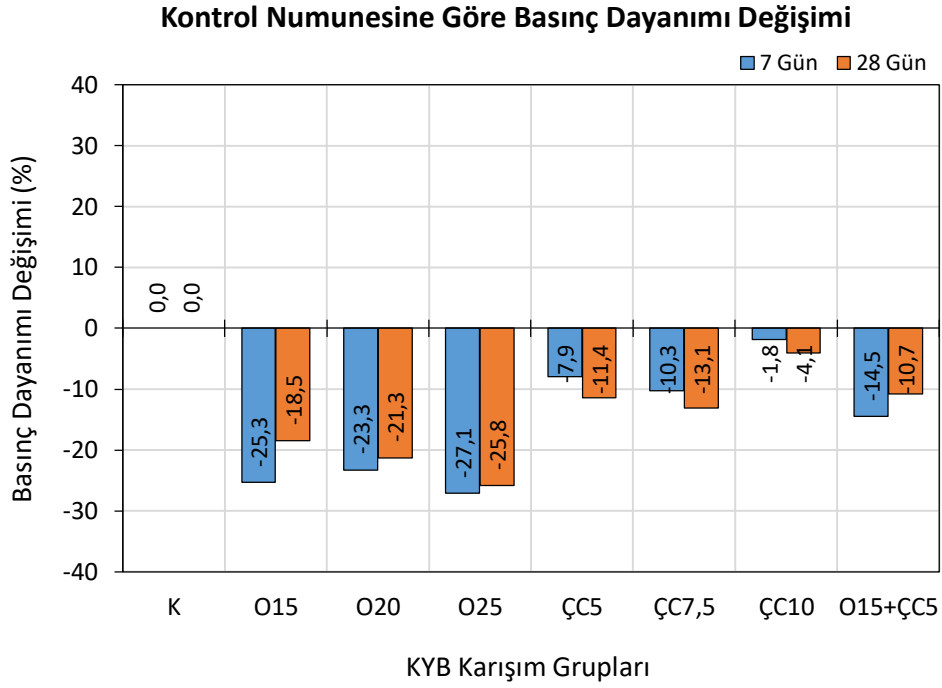


Şekil 22. KYB karışım gruplarının basınç dayanım sonuçları

Şekil 22'ye bakıldığında 28 günlük numunelerde en düşük basınç dayanımının; obsidiyen ikameli numunelerde 57,2 MPa değeri ile O25 numune grubunda, çinko cürufu ikameli numunelerde ise 67,0 MPa değeri ile ÇC7,5 numune grubunda elde edildiği gözlemlenmiştir. Obsidiyen katkılı beton gruplarında katkı miktarının artmasıyla birlikte basınç dayanımının düştüğü görülmektedir. Çinko cürufu katkılı numunelerde ikame oranının değişmesiyle beraber istikrarlı bir değişim görülmemiştir.

Yine Şekil 22'den görülebileceği üzere; iki tür katkı kullanımının da beton dayanımını düşürdüğü fakat fakat elde edilen 28 günlük basınç dayanımlarının minimum 57 MPa olması sebebiyle bu tür katkılar kullanılarak yüksek dayanımlı beton elde edilebildiği gözlemlenmiştir.

Şekil 22'ye ve Şekil 23'e bakıldığında çinko cürufu ikameli numunelerin basınç dayanımlarının, obsidiyen ikameli numunelere kıyasla daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bu durumun çinko cürufu katkısının kimyasal bileşimindeki CaO miktarının, obsidiyen tozu katkısının kimyasal bileşimindeki CaO miktarından fazla olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.



Şekil 23. KYB karışım gruplarının kontrol numunesine göre basınç dayanımı değişimi

Yine Şekil 23'e bakıldığında, oluşturulan beton gruplarının 28 günlük basınç dayanımlarının maksimum %25,8 düştüğü ve bu düşüşe rağmen minimum 57,2 MPa gibi iyi bir değer elde edildiği görülmektedir. Bu bilgilerden hareketle KYB'ler kullanılarak inşa edilen yapıların maliyetleri, atık malzemelerin kullanılması sayesinde ise çevre kirliliği ve ek masrafa sebep olan yüksek atık depolama ücretlerinin obsidiyen ve çinko cürufu katkıları kullanılarak azaltılabileceği düşünülmektedir.

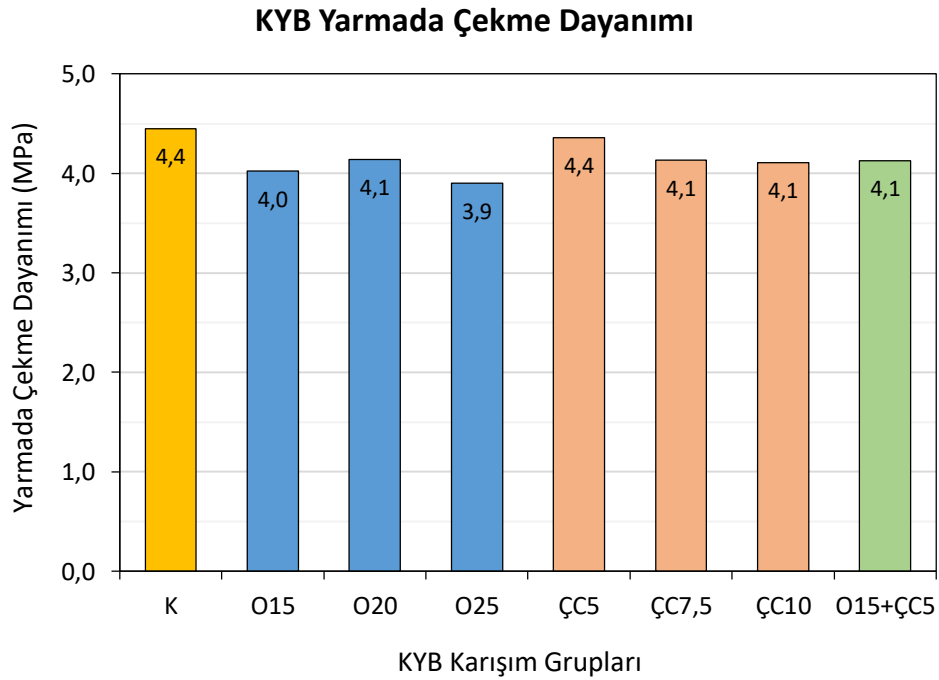
4.3.2. Yarmada çekme dayanımı deney sonuçları

Yarmada çekme dayanımı deneyleri için her bir beton grubundan 3'er adet olmak üzere toplamda 24 adet Ø10/20 cm ebatlarında silindirik numuneler üretilmiştir. Üretilen bu numuneler 28 gün boyunca kirece doymun su küründe bekletilmiştir. 28 günlük kür periyotları sonrasında numunelere yarmada çekme deneyi yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 12'de ve Şekil 24'de verilmiştir.

Çizelge 12. KYB karışım gruplarının yarmada çekme dayanımı deney sonuçları

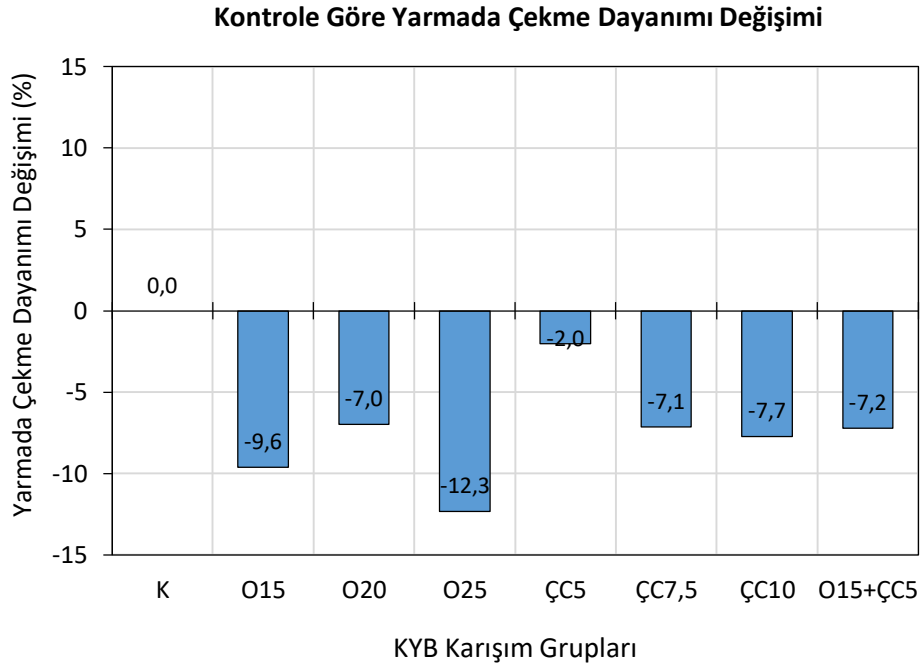
Beton Numune Grupları	28 Günlük Ortalama Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)
K	4,45
O15	4,02
O20	4,14
O25	3,90
ÇC5	4,36
ÇC7,5	4,13
ÇC10	4,11
O15+ÇC5	4,13

K: Kontrol, O: Obsidiyen, ÇC: Çinko cürufu

**Şekil 24.** KYB karışım gruplarının yarmada çekme dayanım sonuçları

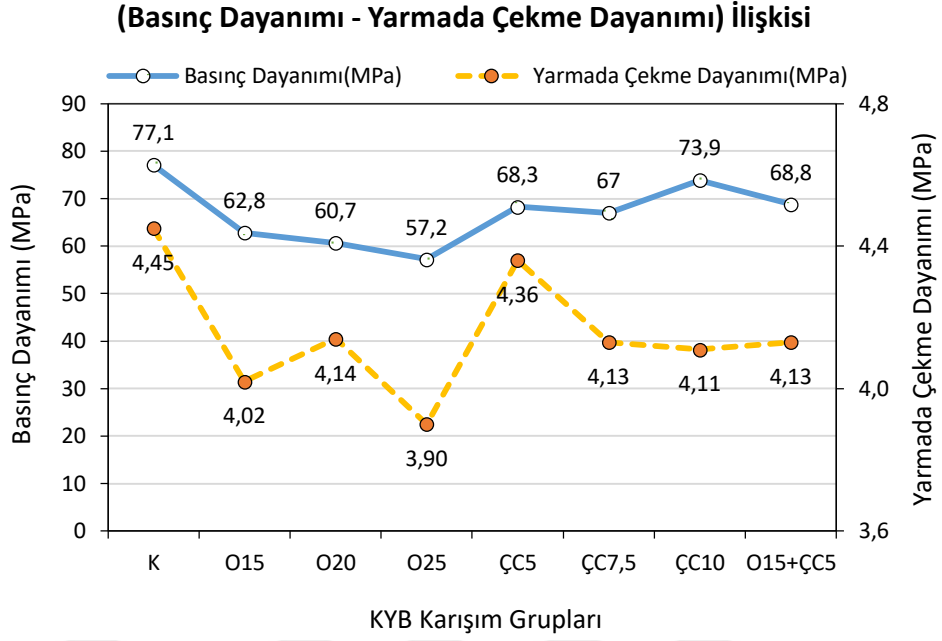
Şekil 24’de verilen sonuçlar incelendiğinde numunelerde en yüksek yarmada çekme dayanımının; obsidiyen ikameli numunelerde 4,14 MPa değeri ile O20 numune grubunda, çinko cürufu ikameli numunelerde ise 4,36 MPa değeri ile ÇC5 numune grubunda elde edildiği gözlemlenmiştir. Optimum ikame oranları kullanılarak oluşturulan O15+ÇC5 grubunda ise yarmada çekme dayanımı 4,13 MPa değeri ile diğer gruplara kıyasla ortalarında yer almıştır. Obsidiyen ikameli numunelerde O15 beton grubundan O20

grubuna geçildiğinde yarmada çekme dayanımında %3'lük bir artış olmuş, O20 grubundan O25 grubuna geçildiğinde ise %6'lık bir düşüş olmuştur. Çinko ikameli beton gruplarında ise yarmada çekme dayanımı ÇC5 grubundan ÇC7,5 grubuna geçildiğinde %5,5 düşmüştür. Şekil 25'te KYB karışım gruplarının kontrole göre yarmada çekme dayanımı değişimleri birlikte gösterilmiştir.



Şekil 25. KYB karışım gruplarının kontrole göre yarmada çekme dayanımı değişimi

Şekil 25'e bakıldığında, oluşturulan beton gruplarının kontrol betonla aralarındaki yarmada çekme dayanımı farkı yüzdelерinin maksimum %12 dolaylarında olduğu görülmektedir.



Şekil 26. KYB karışım gruplarının (basınç – yarmada çekme) dayanımı arasındaki ilişki

Şekil 26’da yarmada çekme dayanımları ile basınç dayanımları birlikte gösterilmiştir. İki grafiğin birbiriyle benzeştiği gözlemlenmiştir, bu durumda iki deneyin birbirini desteklediği söylenebilir.

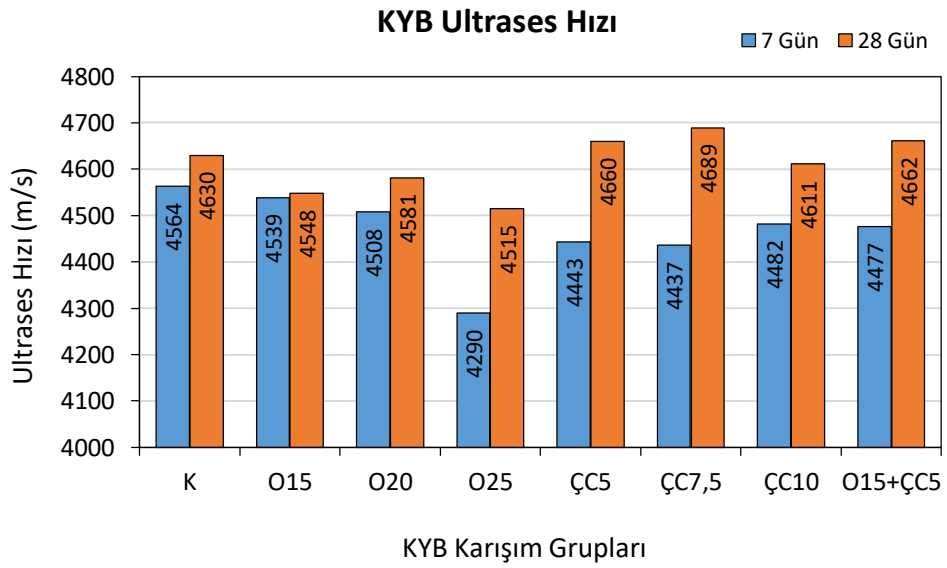
4.3.3. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları

Tahribatsız bir deney yöntemi olan ultrases hızı ölçümleri 7 ve 28 gün boyunca kirece doymun su küründe bekletilen 15×15×15 cm ebatlarında küp numunelere uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 13’te ve Şekil 27’de verilmiştir.

Çizelge 13. KYB karışım gruplarının ultrases hızı deney sonuçları

Beton Numune Grupları	Ultrases Hızı (m/s)	
	7 gün	28 gün
K	4564	4630
O15	4539	4548
O20	4508	4581
O25	4290	4515
ÇC5	4443	4660
ÇC7,5	4437	4689
ÇC10	4482	4611
O15+ÇC5	4477	4662

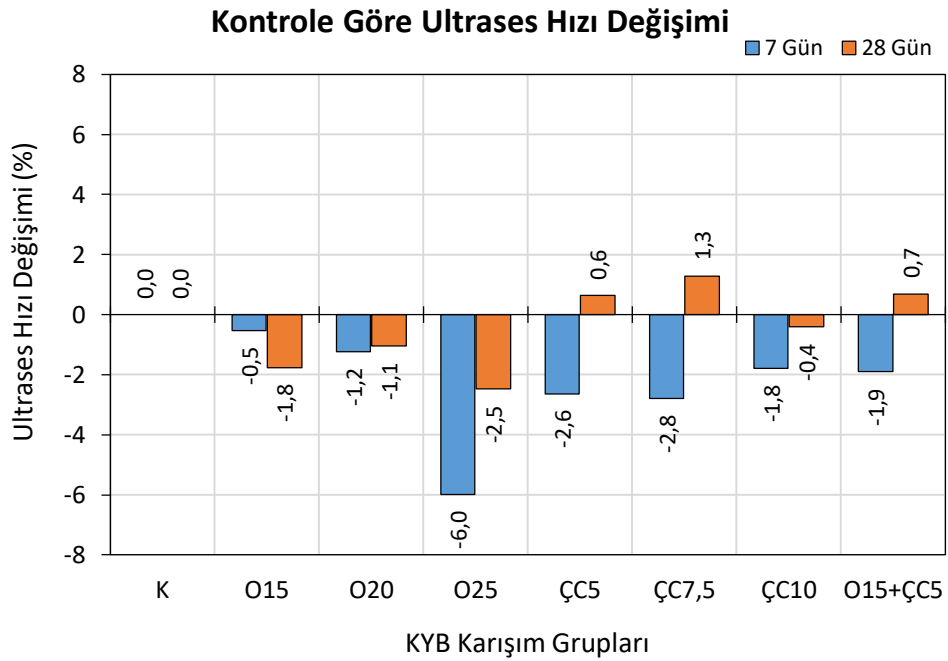
K: Kontrol, O: Obsidiyen, ÇC: Çinko cürufu

**Şekil 27.** KYB karışım gruplarının ultrases hızı sonuçları

Şekil 27’de verilen sonuçlar incelendiğinde 7 günlük numunelerde en yüksek ultrases hızının; obsidiyen ikameli numunelerde 4539 m/s değeri ile O15 numune grubunda, çinko cürufu ikameli numunelerde ise 4482 m/s değeri ile ÇC10 numune grubunda elde edildiği gözlemlenmiştir. 28 günlük numunelerde en yüksek ultrases hızının; obsidiyen ikameli numunelerde 4581 m/s değeri ile O20 numune grubunda, çinko cürufu ikameli numunelerde ise 4689 m/s değeri ile ÇC7,5 numune grubunda elde edildiği gözlemlenmiştir.

7 günlük numunelerde en düşük ultrases hızının; obsidiyen ikameli numunelerde 4290 m/s değeri ile O25 numune grubunda, çinko cürufu ikameli numunelerde ise 4437 m/s değeri ile ÇC7,5 numune grubunda elde edildiği gözlemlenmiştir. 28 günlük numunelerde en düşük ultrases hızının; obsidiyen ikameli numunelerde 4415 m/s değeri ile yine O25 numune grubunda, çinko cürufu ikameli numunelerde ise 4611 m/s değeri ile ÇC7,5 numune grubunda elde edildiği gözlemlenmiştir.

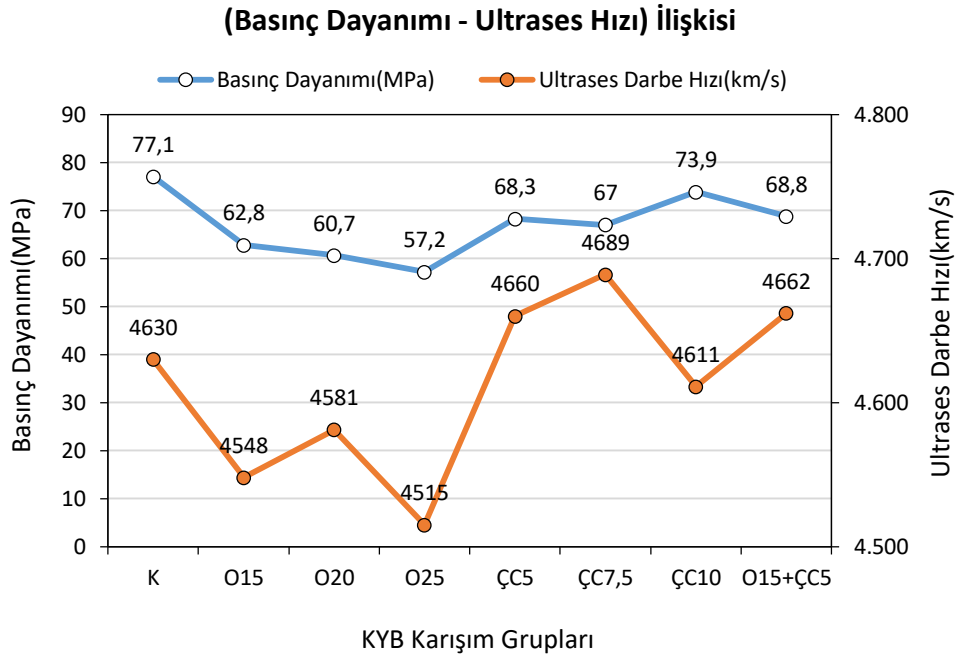
Obsidiyen ve çinko cürufu katkılarının pozolanik aktivite indeksine göre belirlenen optimum ikame oranlarında birlikte kullanılması ile oluşturulan O15+ÇC5 grubunda ise ultrases hızı değeri diğer gruplara kıyasla ortalarda yer almıştır. Şekil 28’de KYB karışım gruplarının kontrole göre ultrases hızı değişimleri birlikte gösterilmiştir.



Şekil 28. KYB karışım gruplarının kontrole göre ultrases hızı değişimi

Şekil 28’e bakıldığında, oluşturulan beton gruplarının ultrases hızlarının kontrol betonla aralarındaki ultrases hızı farkı yüzdesinin fazla olmadığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlardan hareketle obsidiyen katkı kullanımının betonunun ultra ses geçirgenliğini azalttığı dolayısı ile basınç dayanımını düşürdüğü söylenebilir. Çinko cürufu katkılı beton numunelerinde ise ultrases hızı değerleri kontrol betonundan görece yüksek çıkmış fakat fark miktarı yüzdesel olarak maksimum %1,3 dolaylarında

görülmüştür. Çinko cürufu katkılı beton numunelerinin ultrases hızlarının kontrol betonunundan yüksek çıkmasının sebebi olarak katkının tamamının hidrasyon sürecine dahil olmasa bile betonda yine de bir doluluk sağlaması ve oluşan farkın %5 anlamlılık düzeyinin altında olması sebebiyle anlamlı bir fark olmadığı şeklinde açıklanabilir. Şekil 29’da KYB karışım gruplarının (basınç dayanımı – ultrases hızı) arasındaki ilişki birlikte gösterilmiştir.



Şekil 29. KYB karışım gruplarının (basınç dayanımı – ultrases hızı) arasındaki ilişki

Şekil 29’da ultrases hızları ile basınç dayanımları birlikte gösterilmiştir. İki grafiğin birbiriyle benzeştiği gözlemlenmiştir, bu durumda iki deneyin birbirini desteklediği söylenebilir. Çizelge 14’te IS 13311 standardına göre UPV-Beton Kalitesi ilişkileri verilmiştir.

Çizelge 14. Betonun UPV sonuçlarına göre karşılaştırılması (IS 13311 1992)

Ultrases Darbe Hızı (m/s)	Beton Kalitesi
>4500	Çok İyi
3500-4500	İyi
3000-3500	Orta
<3000	Kötü

Çizelge 14'ten görülebileceği üzere 28 günlük numunelerin beton kalitesi çok iyi çıkmaktadır.

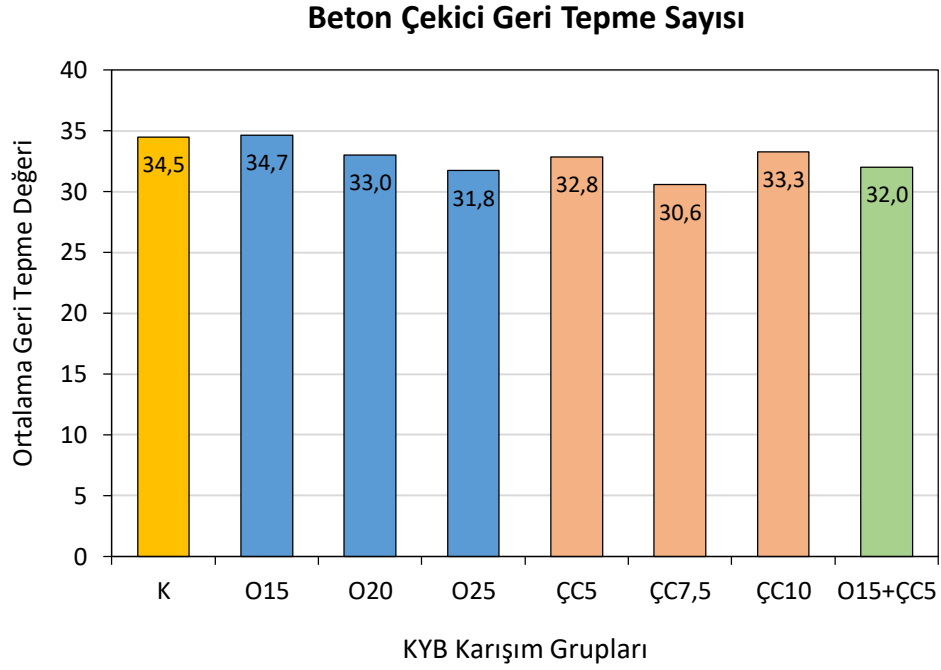
4.3.4. Beton test çekici deney sonuçları

Tahribatsız bir deney yöntemi olan beton test çekici ölçümleri 28 gün boyunca kirece doymuş su küründe bekletilen 15×15×15 cm ebatlarında küp numunelere TS EN 12504-2 (Anonim 2013) standardına uygun bir şekilde uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 15'de ve Şekil 30'da verilmiştir.

Çizelge 15. KYB karışım gruplarının beton çekici deney sonuçları.

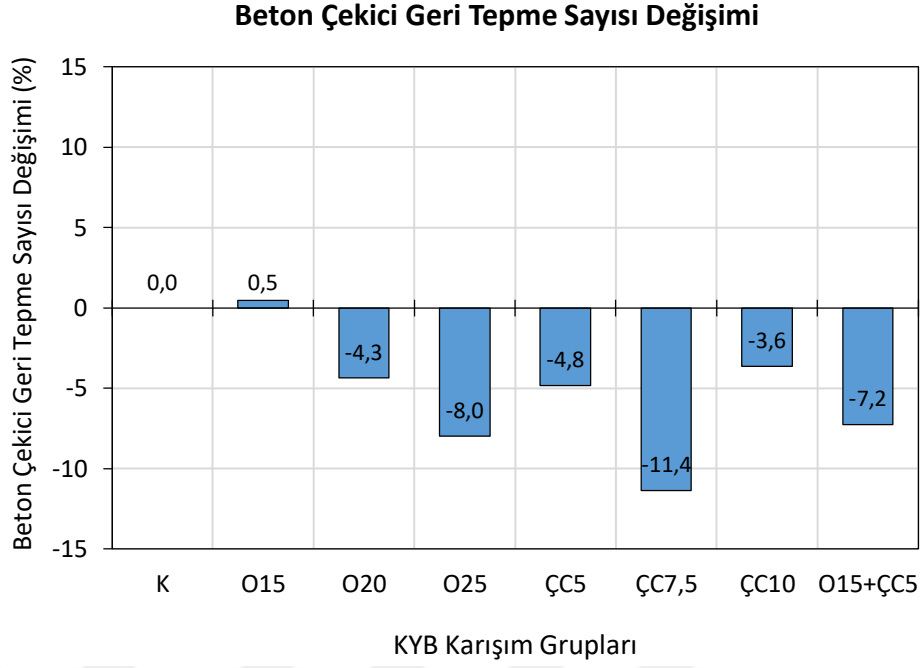
Beton Numune Grupları	Beton Çekici Ortalama Geri Tepme Sayısı (28 gün)
K	34,5
O15	34,7
O20	33,0
O25	31,8
ÇC5	32,8
ÇC7,5	30,6
ÇC10	33,3
O15+ÇC5	32,0
K: Kontrol, O: Obsidiyen, ÇC: Çinko cürufu	

Sonuçlar incelendiğinde numunelerde en yüksek geri tepme sayısının; obsidiyen ikameli numunelerde 34,7 değeri ile O15 numune grubunda, çinko cürufu ikameli numunelerde ise 33,3 değeri ile ÇC10 numune grubunda elde edildiği gözlemlenmiştir.



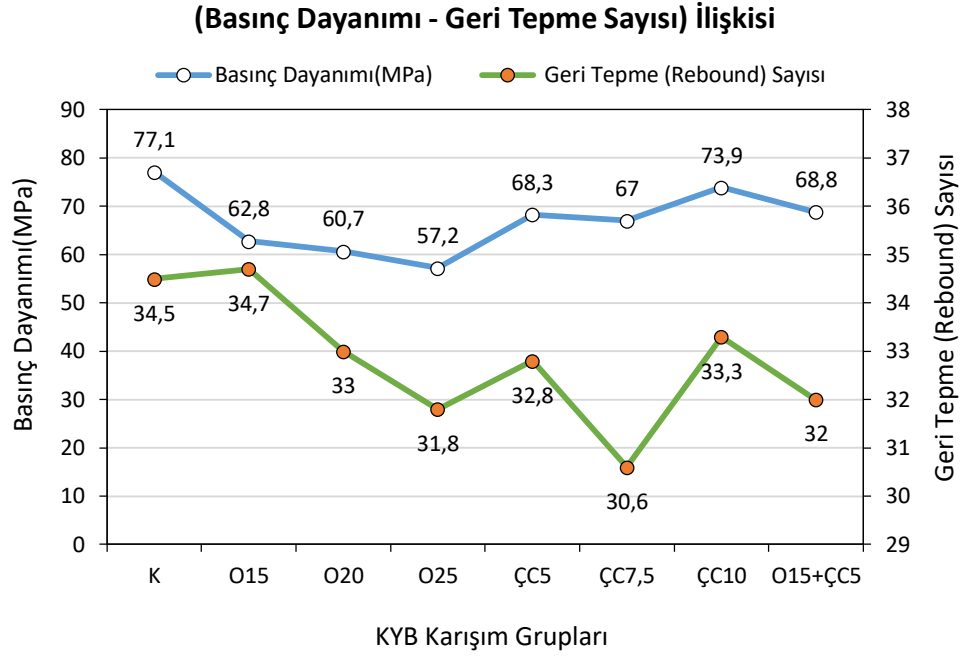
Şekil 30. KYB karışım gruplarının beton çekici ortalama geri tepme sayısı sonuçları

Şekil 30’da görüleceği üzere obsidiyen katkılı beton gruplarında katkı miktarının artmasıyla birlikte geri tepme sayısının düştüğü görülmektedir. Çinko cürufu katkılı numunelerde ikame oranının değişmesiyle beraber istikrarlı bir değişim görülmemiştir. Obsidiyen ve çinko cürufu katkılarının pozolanik aktivite indeksine göre belirlenen optimum ikame oranlarında birlikte kullanılması ile oluşturulan O15+ÇC5 grubunda ise geri tepme sayısı değerleri diğer gruplara kıyasla ortalarında yer almıştır. Şekil 31’de KYB karışım gruplarının kontrole göre beton çekici geri tepme sayıları değişim (%) yüzdeleri birlikte gösterilmiştir.



Şekil 31. KYB karışım gruplarının kontrole göre beton çekici geri tepme sayıları değişimi

Şekil 31'e bakıldığında O15 grubunda kontrol beton numunesinde geri tepme sayısının kontrol numunesinden %0,5 fazla olduğu bu farkın schmit çekici ölçümlerinin engellenemez şekilde deneysel hatalara açık olması ve düşük örneklem sayılarında anlamsız sonuçlar verebilmesi sebebiyle anlamlı olmadığı düşünülmektedir. Yine Şekil 31'den görülebileceği üzere oluşturulan numune betonlarının kontrol betonu numunesiyle aralarındaki geri tepme sayısı farkı yüzdesinin fazla olmadığı görülmektedir. Şekil 32'de KYB karışım gruplarının (basınç dayanımı – geri tepme sayısı) arasındaki ilişki birlikte gösterilmiştir.

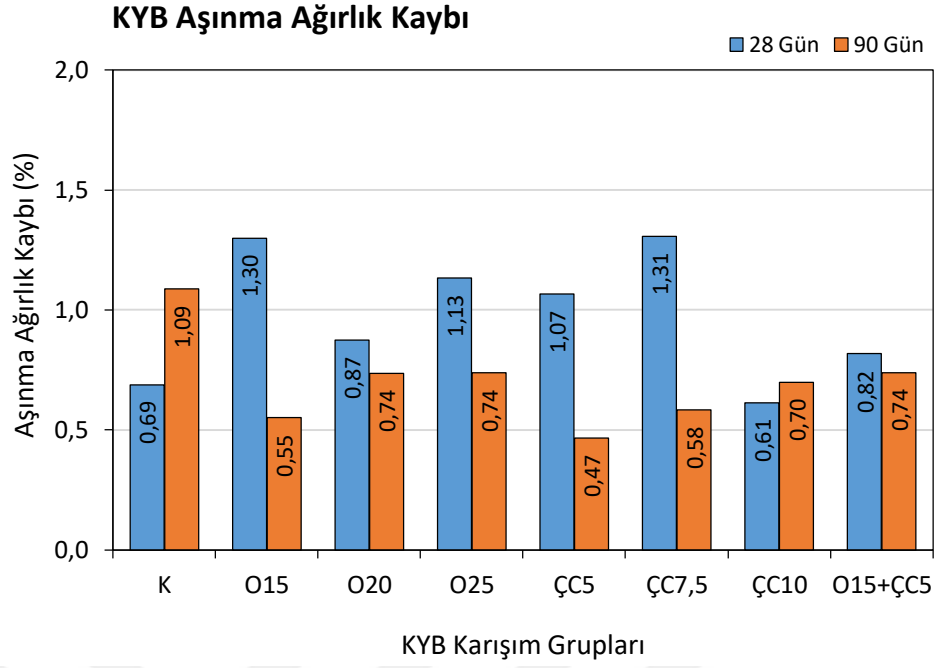


Şekil 32. KYB karışım gruplarının (basınç dayanımı – geri tepme sayısı) arasındaki ilişki

Şekil 32’de geri tepme sayıları ile basınç dayanımları birlikte gösterilmiştir. İki grafiğin birbiriyle benzeştiği gözlemlenmiştir. Bu sebeple iki deneyin birbirini desteklediği söylenebilir.

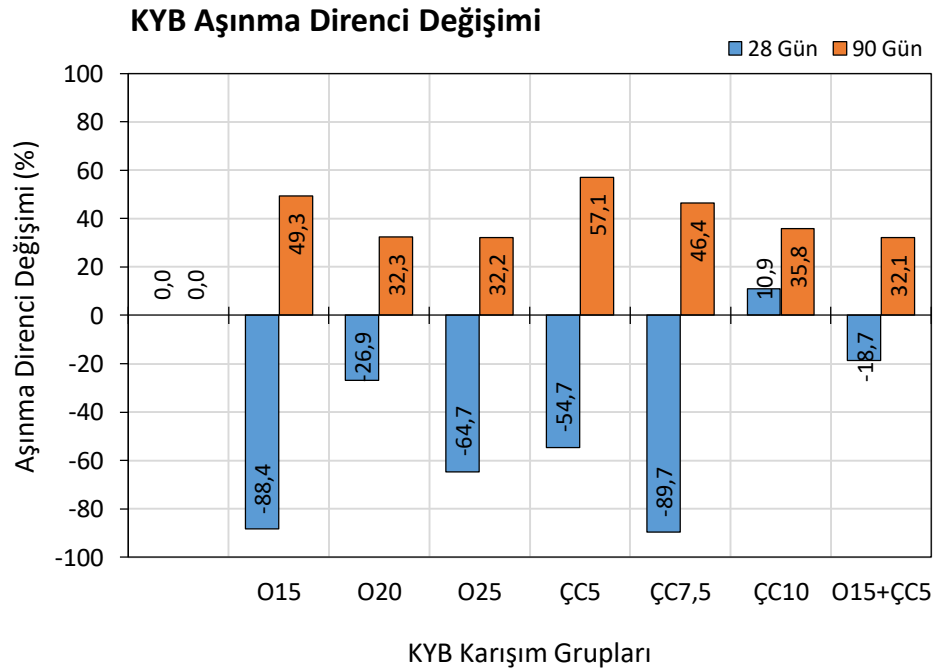
4.3.5. Aşınma dayanımı deney sonuçları

Bütün beton grupları için Böhme (Aşındırma) deneyi yapılmış ve sonuçlar Şekil 33’te gösterilmiştir.



Şekil 33. KYB karışım gruplarının aşınmada ağırlık kaybı sonuçları

Şekil 33'e bakıldığında; oluşturulan bütün beton numunelerinin 90 günlük aşınma kayıplarının kontrol betonuna göre kayda değer oranlarda iyi sonuç verdiği görülmektedir. Şekil 34'te KYB karışım gruplarının kontrole göre aşınma direnci değişimi birlikte gösterilmiştir.



Şekil 34. KYB karışım gruplarının kontrol numunesine göre aşınma direnci değişimi

Şekil 34'te görülebileceği üzere, en iyi sonuçlar obsidiyen ikameli gruplarda %49,3 aşınma direnci artış değeri ile O15 numune grubunda, çinko cürufu ikameli gruplarda ise %57,1 aşınma direnci artış değeri ile ÇC5 numune grubunda gözlemlenmiştir. Obsidiyen ve çinko cürufu katkılarının puzolanik aktivite indeksine göre belirlenen optimum ikame oranlarında birlikte kullanılması ile oluşturulan O15+ÇC5 grubunda ise aşınma ağırlık kaybı değerleri diğer gruplara kıyasla ortalarda yer almıştır.

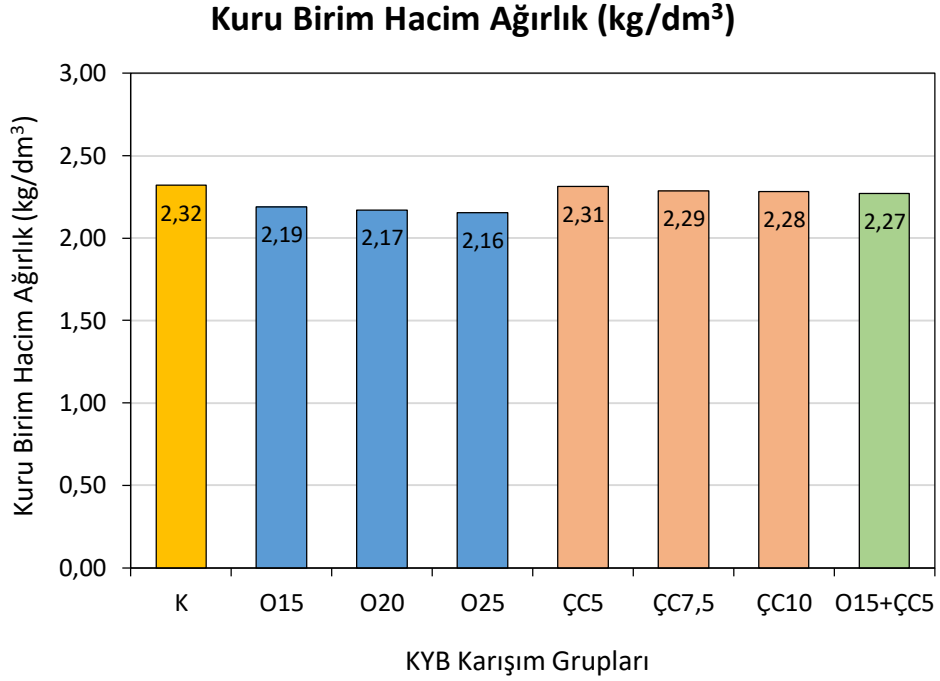
Sonuçlara bakıldığında; iki tür katkı kullanımında da ikame oranlarının artışı ile aşınmaya karşı direncin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum betonun mekanik etkilere karşı direncinin, hamur fazının mekanik özellikleriyle doğrudan ilintili olması ve dolayısı ile belirli bir miktar ikame oranı geçildikten sonra hamur fazının mekanik özelliklerinin kötüleşmesi ile açıklanabilir.

4.3.6. Birim hacim ağırlık sonuçları

Bütün beton grupları için birim hacim ağırlık deneyi yapılmış, sonuçlar Çizelge 16. KYB karışım gruplarının birim hacim ağırlık deney sonuçları ve Şekil 35'te gösterilmiştir.

Çizelge 16. KYB karışım gruplarının birim hacim ağırlık deney sonuçları

Beton Numune Grupları	28 Günlük Ortalama Kuru Birim Hacim Ağırlıklar (kg/dm ³)
K	2,32
O15	2,19
O20	2,17
O25	2,16
ÇC5	2,31
ÇC7,5	2,29
ÇC10	2,28
O15+ÇC5	2,27
K: Kontrol, O: Obsidiyen, ÇC: Çinko cürufu	



Şekil 35. KYB karışım gruplarının etüv kurusu birim hacim ağırlık deney sonuçları

Şekil 35'e bakıldığında 28 günlük numunelerde en yüksek etüv kurusu birim hacim ağırlığı düşüşü obsidiyen ikameli numunelerde %7,04 değeri ile O25 numune grubunda, çinko cürufu ikameli numunelerde ise %1,62 değeri ile ÇC10 numune grubunda gerçekleşmiştir.

Obsidiyen ve çinko cürufu katkılarının pozolanik aktivite indeksine göre belirlenen optimum ikame oranlarında birlikte kullanılması ile oluşturulan O15+ÇC5 grubunda ise birim hacim ağırlık değerlerinin çinko cürufu ikameli gruplara yakın olarak gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

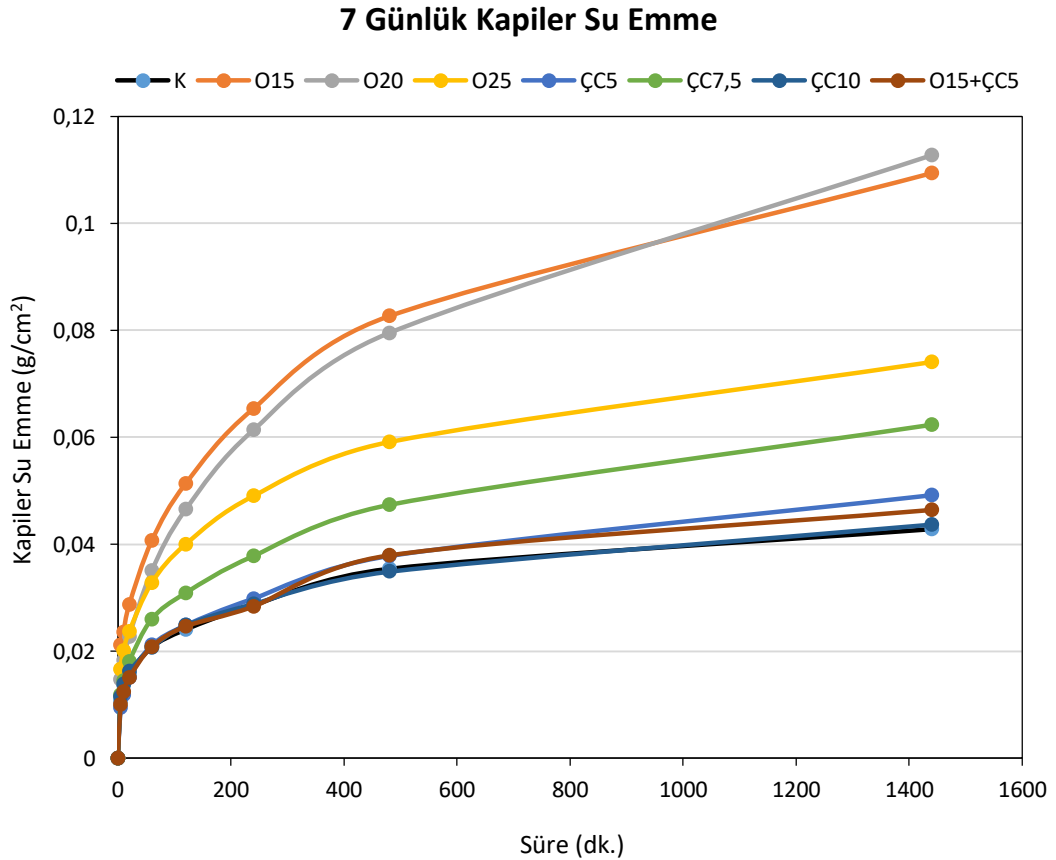
Obsidiyen ve çinko cürufu ikameli numunelerin tümünde ikame oranı arttıkça birim hacim ağırlığın düştüğü, fakat çinko cürufunda farkın daha az olduğu gözlemlenmiştir.

İki tür katkı kullanımında da ikame oranı arttıkça numunelerin birim hacim ağırlığın düşmesine, çimentonun özgül ağırlığının katkılardan yüksek olması ve katkıların çimentonun yerine ikame olarak kullanılmasının sebep olduğu düşünülmektedir.

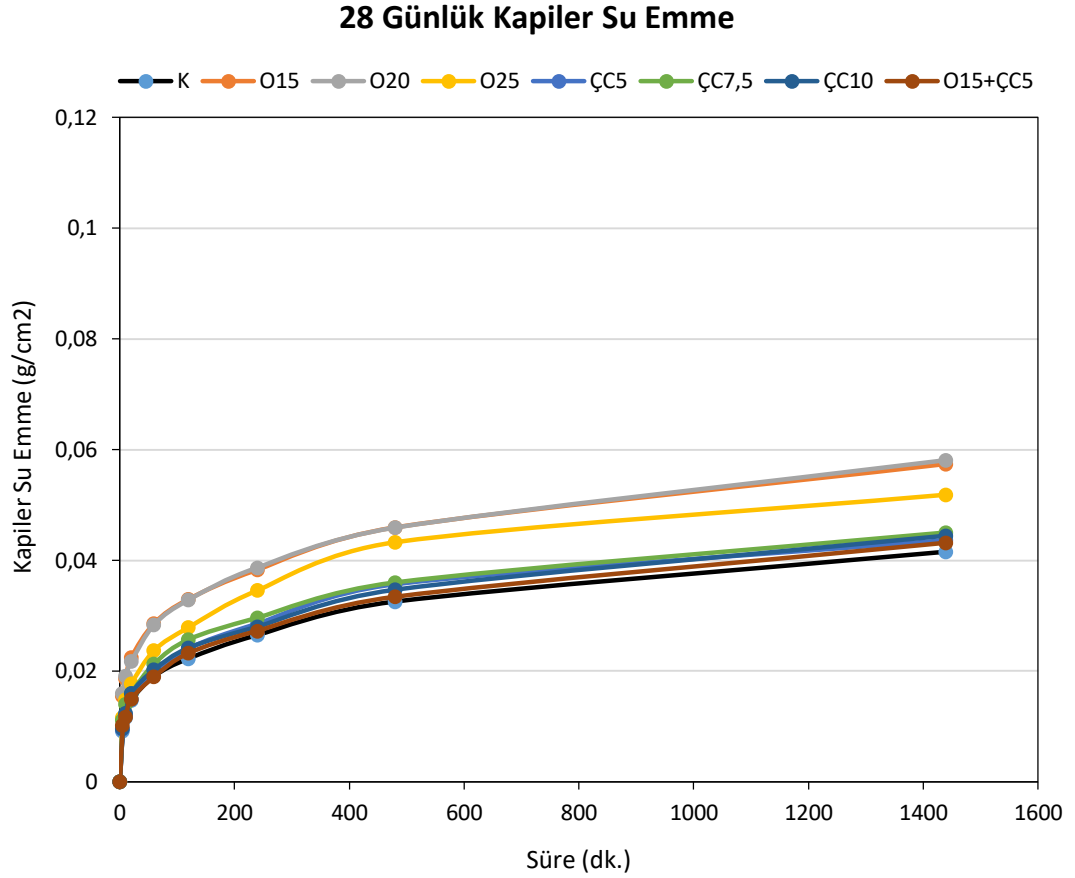
Çinko cürufu katkılı numunelerin birim hacim ağırlıklarının, obsidiyen tozu katkılı numunelerden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. İki tür puzolanik katkının arasındaki bu farkın çinko cürufunun bünyesindeki kireç (CaO) miktarının obsidiyen tozu katkısının bünyesindeki kireç (CaO) miktarından fazla olması olduğu ve dolayısı ile hidrasyon reaksiyonuna daha fazla katılarak karışımdaki suyu bünyesine daha fazla bağlaması olduğu düşünülmektedir.

4.3.7. Kapiler su emme deney sonuçları

Kapiler su emme deneyi, betonun su emme oranı ve boşluk miktarı ile ilgili bilgiler verir. Kapiler su emme deneyleri için her bir beton grubundan 3'er adet olmak üzere toplamda 48 adet Ø10/20 cm ebatlarında silindirik numuneler üretilmiştir. Üretilen bu numuneler 7-28 gün boyunca kirece doymuş su küründe bekletilmiştir. 7-28 günlük kür periyotları sonrasında numunelere kapiler su emme deneyi uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 36'da ve Şekil 37'de verilmiştir.



Şekil 36. KYB karışım gruplarının 7 günlük kapiler su emme sonuçları



Şekil 37. KYB karışım gruplarının 28 günlük kapiler su emme sonuçları

Şekil 36 ve Şekil 37’ye bakıldığında iki kür süresi sonunda da ölçülen kapiler su emme sonuçlarının birbiri ile örtüştüğü söylenebilir. Yine bu şekillere bakıldığında beton gruplarında katkı miktarının artmasıyla birlikte su emme miktarının düştüğü söylenebilir. Bu durumun katkıların özgül ağırlığının çimentonun özgül ağırlığından düşük olması sebebiyle, ikame miktarı arttıkça betondaki boşlukların daha fazla dolmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, bilimsel literatürdeki mevcut çalışmalar ışığında, obsidiyen ve çinko cüruf tozu malzemelerinin Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) üretiminde puzolanik katkı maddesi olarak kullanılabilirliği ve betonun işlenebilirlik ile birim ağırlık, basınç ve yarmada çekme dayanımı, ultrases geçiş hızı, beton test çekici, kapiler su emme ve aşınma direnci özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla öncelikle, obsidiyen ve çinko cüruf tozu malzemelerinin, çimento yerine sırasıyla %5-10-15-20-25 ve %2,5-5-7,5-10 oranlarında ikame edildiği harç numuneleri üzerinde 56 ve 90 günlük puzolanik aktivite indeksleri ile basınç dayanımı bakımından optimum ikame oranları belirlenmiştir. Sonrasında ise, tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen referans KYB kontrol betonu ile birlikte, obsidiyen ve çinko cüruf tozu malzemelerinin belirlenen optimum ve üzerindeki ikiye farklı oranda tekil ve bir hibrit şekilde çimento yerine ikame edildiği diğer KYB beton grupları üretilmiştir. Üretilen bu beton numune grupları üzerinde, çalışmanın amacına yönelik taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmış, elde edilen sonuçlar Araştırma Bulguları ve Tartışma bölümünde verilerek irdelenmiştir. Bu bölümde ise, çalışmada elde edilen bulgular ışığında ulaşılan genel sonuçlar ve ayrıca öneriler maddeler halinde verilmiştir.

1. Çalışmanın ilk aşamasında, obsidiyen ve çinko cüruf tozu katkıları çimento yerine sırasıyla %5-10-15-20-25 ve %2,5-5-7,5-10 oranlarında ikame edilerek üretilen harç numunelerinin, çalışma kapsamında belirlenen 56 ve 90 günlük uzun süreli Puzolanik Aktivite İndeksi (PAİ) ve bu değerlere bağlı olarak optimum ikame oranları sırasıyla; obsidiyen için %15 ikame oranında %86 ve 88, çinko cürufu için %5 ikame oranında %75 ve 78 olarak belirlenmiştir.
2. Obsidiyen ve çinko cüruf tozu malzemelerinin çalışma kapsamında belirlenen uzun süreli PAİ değerlerinin %70 oranının üzerinde belirlenen bu Puzolanik Aktivite İndeksi değerlerine göre, her iki malzemenin de beton üretiminde puzolanik katkı maddesi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

3. Çalışma kapsamında, obsidiyen ve çinko cüruf tozu malzemelerinin KYB üretiminde mineral katkı maddesi olarak kullanımının, betonda genel olarak işlenebilirlik özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür.
4. Obsidiyen tozu katkısı kullanımının, kontrol betonuna göre KYB'nin sertleşmiş beton özelliklerinden;
 - 28 günlük basınç dayanımlarını %18,5-25,8 aralığında düşürdüğü ve yarmada çekme dayanımı, ultrases hızı ile beton çekici test sonuçlarında da kısmen azalmalara neden olduğu,
 - 90 günlük KYB numune gruplarında aşınma etkisindeki ağırlık kayıplarını %32-49 oranında azalttığı ve nitekim aşınma direncini önemli oranda iyileştirdiği,
 - Kuru birim hacim ağırlığı yaklaşık %6-7 oranında azalttığı,
 - Ayrıca, kapiler su emme miktarını göreceli olarak artırdığı ve obsidiyen tozu ikame oranındaki artışa bağlı olarak kapiler su emme miktarını azalttığı,
 - Bu bulgulara göre; obsidiyen tozu katkısı kullanımının, KYB'nin sertleşmiş beton özelliklerini kısmen olumsuz etkilediği ancak, aşınma direncine olumlu yönde etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.
5. Çinko cürufu katkısı kullanımının, kontrol betonuna göre KYB'nin sertleşmiş haldeki özelliklerinden;
 - 28 günlük basınç dayanımlarını %4,1-13,1 aralığında düşürdüğü ve yarmada çekme dayanımı, ultrases hızı ile beton çekici test sonuçlarında da kısmen azalmalara neden olduğu,
 - 90 günlük KYB numune gruplarında aşınma etkisindeki ağırlık kayıplarını %35-57 oranında azalttığı ve nitekim aşınma direncini önemli oranda iyileştirdiği,
 - Kuru birim hacim ağırlığı yaklaşık %0-2 oranında azalttığı,
 - Ayrıca, kapiler su emme miktarını göreceli olarak artırdığı ve çinko cürufu tozu ikame oranındaki artışa bağlı olarak kapiler su emme miktarını kısmen azalttığı,
 - Bu bulgulara göre; çinko cürufu tozu katkısı kullanımının, KYB'nin sertleşmiş beton özelliklerini kısmen olumsuz etkilediği ancak, aşınma direncine olumlu yönde etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

6. Obsidiyen ve çinko cürufu katkılarının hibrit kullanımının, kontrol betonuna göre KYB'nin sertleşmiş haldeki özelliklerinden;
 - 28 günlük basınç dayanımını yaklaşık %11 düşürdüğü ve yarmada çekme dayanımı, ultrases hızı ile beton çekici test sonuçlarında da kısmen azalmalara neden olduğu,
 - 90 günlük KYB numune grubunda aşınma etkisindeki ağırlık kaybını %32 oranında azalttığı ve nitekim aşınma direncini önemli oranda iyileştirdiği,
 - Kuru birim hacim ağırlığı yaklaşık %2 oranında azalttığı,
 - Ayrıca, kapiler su emme miktarını göreceli olarak artırdığı sonucuna varılmıştır,
 - Bu bulgulara göre; obsidiyen ve çinko cürufu tozu katkılarının hibrit kullanımının, KYB'nin sertleşmiş beton özelliklerini kısmen olumsuz etkilediği ancak, aşınma direncine olumlu yönde etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.
7. Nitekim çalışmada, obsidiyen ve çinko cürufu malzemelerinin betonda puzolanik katkı maddesi olarak kullanımına dair elde edilen olumlu bulgulara dayanılarak, kullanım alanları çok kısıtlı olan bu malzemelerin, yeni bir kullanım alanı olarak beton sektöründe de kullanılabileceği, dolayısıyla ülke ekonomisine ve çevrenin korunmasına da katkı sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

Gelecek çalışmalarda, obsidiyen ve çinko cüruf tozu katkılarının; diğer tür çimentolar ile birlikte kullanıldığı özel ve normal betonların farklı kür şartları ve sürelerindeki performans özellikleri, sektörel ölçekte kullanımının ekonomik analizi, ayrıca farklı boyutta ve ikame oranlarında kullanımının etkileri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Ağar, E. ve Taşdemir, Y. 2007. Silindirle Sıkıştırılabilen Beton Yollar. Türkiye Hazır Beton Birliği, Web Sitesi: <http://www.thbb.org> Erişim Tarihi: 12.10.2021.
- Aİtçin, P. C. 2007. Binders for durable and sustainable concrete. CRC Press, 528, London.
- Akgün, Y. 2019. Alternatif puzolan kalsine marn içeren sürdürülebilir katkılı çimentolar. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 10 (2), 779-789.
- Akköprü, E., Mouralis, D., Robin, A. K., Kuzucuoğlu, C. ve Erturaç, M. K. 2017. Doğu anadolu'daki obsidiyen kaynak alanlarının belirlenmesinde jeomorfolojik ve volkanolojik göstergelerin önemi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 60(1), 49-62.
- Akman, M. S. 1996. Süperakışkanlaştırıcı Katkıların Taze Beton İşlenebilmesindeki Sorunları, 4. Ulusal Beton Kongresi, 30-31 Ekim, İMO, ÇDT-55, 71, İstanbul, Türkiye.
- Alwaeli, M. 2013. Application of granulated lead–zinc slag in concrete as an opportunity to save natural resources. Radiation Physics and Chemistry, 83, 54-60.
- Alwaeli, M. 2017. Investigation of gamma radiation shielding and compressive strength properties of concrete containing scale and granulated lead-zinc slag wastes. Journal of Cleaner Production, 166, 157-162.
- Ambrosie J. and Pera J. 2002. Design of Self-Levelling Concrete, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 12-13 November, North Western University Publishing, 93-98, Chicago, USA.
- Anonim, 2003. TS EN 1008: Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 2003. TS EN 12620: Beton agregaları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 2010. TS EN 934-2: Kimyasal katkıları - Beton, harç ve şerbet için - Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları - Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 2012. TS EN 197-1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 2012. TS EN 197-1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 2014. TS EN 206 Beton - Özellik, performans, imalat ve uygunluk standardı. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 2014. TS EN 206: Beton - Özellik, performans, imalat ve uygunluk standardı. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- Anonim, 2014. TS EN 934-2+A1: Kimyasal katkılar - Beton, harç ve şerbet için - Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları - Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 2016. TS 802: Beton karışım tasarımı hesap esasları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 2021. Çinko Madeni Yatakları. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Web Sitesi: https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/turkiyede-madencilik/images/maden_yataklari/b_h/kur_cin.jpg, Erişim Tarihi: 05.07.2021.
- Anonymous, 1991. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete.
- Anonymous, 2004. ACI 212: Chemical Admixtures for Concrete.
- Anonymous, 2005. Efnarc: European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification and Production and Use.
- Anonymous, 2011. EN 197-1 Composition, specifications and conformity criteria for common cements. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 2020. Cement and Concrete Activity Report, Web Sitesi: <http://www.cembureau.eu/media/1sf4sk4/cembureau-activity-report-2020.pdf>, Erişim Tarihi: 15.10.2021
- Ardahanlı, M. 2020. Atık seramik, çinko cürufu ve obsidiyen kullanılarak üretilen betonların mekanik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 102, Erzurum.
- Ardahanlı, M. ve Oltulu, M. 2001. Investigation of pozzolanic activity indexes of pasinler obsidian and zinc slag. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 11(2), 507-521.
- Aslan, İ. Oltulu, M. and Karakurt C. 2019. Investigation of the waste zinc slag on the workability and mechanical properties of cement based mortars, 3rd International Conference on Advanced Engineering Technologies, 19-21 September, Book of Abstracts, Bayburt, Turkey.
- Atlı, İ. 2012. Farklı iri agregâ içeriğinin kendiliğinden yerleşen betonların yüzey aşınma direncine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 65, Sakarya.
- Aykan, G., Tezel, O. O., Gürol, G. ve Yüceer, Z. 2004. Kendiliğinden Yerleşen Beton Deney Metodları ve Uygulama Örnekleri, Hazır Beton Kongresi, 10-12 Haziran, Bildiriler Kitabı, 266-276, İstanbul.
- Baradan, B. ve Felekoğlu, B. 2004. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özellikleri, Hazır Beton Kongresi, 10-12 Haziran, Bildiriler Kitabı, 234-243, İstanbul.

- Beycioğlu, A. ve Aruntaş, H. Y. 2014. Yapay puzolanların kendiliğinden yerleşen betonlarda kapilarite ve basınç dayanımına etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(2), 352-361.
- Bonavetti, V., Donza, H., Menindez, G., Cabrera, O. and Irassar, E. F. 2003. Limestone filler cement in low w/c concrete: a rational use of energy. *Cement and Concrete Research*, 33(6), 865–871.
- Ceylan, A. ve Akçelik, S. S. 2021. Yüzey araştırmalar ışığında erzurum pasinler ilçesinde tespit edilen obsidyen merkezleri ve atölyeleri. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 10(3), 1964-1988.
- Chaipanich, A., Choopun, S., Sekine, Y. and Nochaiya, T. 2015. Microstructure, characterizations, functionality and compressive strength of cement-based materials using zinc oxide nanoparticles as an additive. *Journal of Alloys and Compounds*, 1(10), 630.
- Choudhary, R., Gupta, R., Nagar, R. and Jain, A. 2021. Mechanical and abrasion resistance performance of silica fume, marble slurry powder, and fly ash amalgamated high strength self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, 269.
- Corradi, M., Khurana, R., Magarotto, R. and Torresan I. 2002. Zero Energy System: An Innovative Approach for Rationalized Precast Concrete Production, *BIBM 17th International Congress of the Precast Concrete Industry*, 1-4 May, 8, İstanbul.
- Demirtaş, M. 2001. Yüksek Akışkanlığa Sahip Betonlarda (Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda) Bileşimin Taze ve Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 93, İstanbul.
- Dinakar, P., Reddy, M. K. and Sharma, M. 2013. Behaviour of self compacting concrete using Portland pozzolana cement with different levels of fly ash. *Materials & Design*, 46, 609-616.
- Erdoğan, S. T. ve Erdoğan, T. Y. 2010. Portland Çimentosunun Joseph Aspdin Tarafından İcadı ve Çimento Üretiminde Aspdin Ailesinin Rolü. Web Sitesi: http://www.as-beton.com/pdf/portland_cimentosunun_icadi.pdf, Erişim Tarihi: 05.08.2021.
- Erdoğan, T. Y. 1997. *Admixtures for Concrete*. Middle East Technical University, 188 s, Ankara.
- Erdoğan, T. Y. 2004. *Sorular ve Yanıtlarıyla Beton Malzemeleri*. THBB yayınevi, 85, İstanbul.
- Erdoğan, T. Y. 2015. *Beton*. ODTÜ yayınevi, 757, Ankara.
- Felekoğlu, B. ve Tosun Felekoğlu, K. 2014. Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı katkıların kullanımı. *Hazır Beton*, 124, 60-69.

- Felekoğlu, B. ve Yardımcı, M. Y. 2006. Uçucu külün ve taş tozunun kendiliğinden yerleşen betonda aşınma direncine etkileri. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19(1), 11-22.
- Ghafoori, N., Najimi, M. and Aqel, M. A. 2014. Abrasion resistance of self-consolidating concrete. Journal of Materials in Civil Engineering, 26(2), 296-303.
- Gödek, E., Felekoğlu, B. ve Felekoğlu, K. T. 2015. Hazır beton sektörüne uygun polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı katkı seçimi ve kendiliğinden yerleşen beton üretimindeki performansı. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15(2), 8-18.
- Hanedan, A. 2008. Büyük yayla obsidiyenlerinin (İkizdere-Rize) petrografisi, mineralojisi, mineral kimyası ve jeokimyasal özellikleri. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 241, Trabzon.
- Jain, A., Chaudhary, S. and Gupta, R. 2022. Mechanical and microstructural characterization of fly ash blended self-compacting concrete containing granite waste. Construction and Building Materials, 314.
- Karri, S. K., Rao, G. V. R., Raju, P. M. 2015. Strength and durability studies on GGBS concrete, SSRG International Journal of Civil Engineering (SSRG-IJCE), 2 (10), 34-41.
- Kaya, A. and Ustabaş, İ. 2018. Comparing the pozzolanic activity properties of obsidian to those of fly ash and blast furnace slag. Construction and Building Materials, 164, 297-307.
- Khayat, K. H. and Roussel, Y. 2000. Testing and performance of fiberreinforced, self consolidating concrete. Materials and Structures, 33, 338-344.
- Khurana, R., Magaratto, R. and Torresan, I. 2002. New Generation of Polycarboxylate Superplasticizer to Eliminate Steam Curing of Concrete, In Proceedings–International Congress on Challenges in Concrete Construction, September, 213-224, Dundee, Scotland.
- Klug, Y. and Holschemacher, K. 2003. Comparison of the hardened properties of self-compacting and normal vibrated concrete, Proceedings of the Third RILEM International Symposium on Self-Compacting Concrete, RILEM Publications, 17-20 August, 663-671. Reykjavik, Iceland.
- Macit, S. 2009. Beton yol inşaatında kendiliğinden yerleşen beton'un kullanılması üzerine bir araştırma. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 118, Trabzon.
- Mohamed, H. A. 2011. Effect of fly ash and silica fume on compressive strength of self-compacting concrete under different curing conditions. Ain Shams Engineering Journal, 2(2), 79-86.

- Mosavinezhad, S. H. G. and Nabavi, S. E. 2012. Effect of 30% ground granulated blast furnace, lead and zinc slags as sand replacements on the strength of concrete. KSCE Journal of Civil Engineering, 16(6), 989-993.
- Neville, A. M. 2004. Properties of Concrete, Pearson Education Limited, Fourth Edition, 844, England.
- Okamura, H. and Ouchi, M. 1999. Self-Compacting Concrete Development Present Use and Future, First International RILEM Symposium, 13-14 September, 3-14, Stockholm, Sweden.
- Okamura, H. and Ouchi, M. 2003. Self compacting concrete. Journal of Advanced Concrete Technology, 1(1), 5-15.
- Ozawa, K., Maekawa, K., Kunishima, M. and Okamura, H. 1989. High-Performance Concrete Based on the Durability Design of Concrete Structures, Second East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, Proceedings Book, 445-450, Chiang Mai, Thailand.
- Öztürk, Z. Bağır, M. Sağlar, B. Arslan, L. ve Aycan, Ş. 2018. Agregası olarak çinko madeni cürufu kullanımının beton basınç dayanımına etkisi. International Journal of Engineering Research and Development, 10 (2), 144-152.
- Parlak, N. ve Akman, M. S. 2002. Lignosulfonatların Üretimi, Özellikleri ve Süper Akışkanlaştırıcı Olarak Geliştirilmesi. Sika Teknik Bülten, 1, 3-13.
- Poppe, A. M. and Schutter, G. D. 2005. Creep and Shrinkage of Self-Compacting Concrete, First International Symposium on Design, Performance and Use of Self-Consolidating Concrete Of SCC, Pro-42, 26-28 May, 329-336, Hunan, China.
- Ramachandran, V. S. 1995. Concrete Admixtures Handbook, Second Edition, Noyes Publication, 1184, New Jersey, USA.
- Sarıcı, T. 2019. Puzolan ile güçlendirilmiş inşaat ve yıkıntı atıklarının granüler dolgu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi. Doktora Tezi. İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 310, Malatya.
- Schneider, M., Romer, M., Tschudin, M. and Bolio, H. 2011. Sustainable cement production present and future. Cement and Concrete Research, 41(7), 642-650.
- Schutter, G. D., Bartos, P. J. M., Domone, P. and Gibbs, J. 2008. Self-Compacting Concrete. Whittless Publishing, 296, Caithness, Scotland.
- Schutter, G. D., Bartos, P. J. M., Domone, P. and Gibbs, J. 2008. Self-Compacting Concrete, Whittless publishing, 274, Dunbeath, Scotland.
- Semioli, W. J. 2001. Self-Placing concrete, Concrete International, 23(12), 69-72.
- Siddique, R. 2013. Compressive strength, water absorption, sorptivity, abrasion resistance and permeability of self-compacting concrete containing coal bottom ash. Construction and Building Materials, 47, 1444-1450.

- Su, N., Hsu, K. C. and Chai, H. W. 2001. A simple mix design method for self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research*, 31(12), 1799-1807.
- Tohumcu, İ. ve Bingöl, A. F. 2013. Silis dumanı ve uçucu kül katkılı kendiliğinden yerleşen betonların taze beton özellikleri ve basınç dayanımları. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 15(43), 31-44.
- Topçu, İ. B., Bilir, T. and Boğa, A. R. 2010. Estimation of the modulus of elasticity of slag concrete by using composite material models. *Construction and Building Materials*, 24(5), 741-748.
- Topçu, İ. B., Bilir, T. ve Baylavlı, H. 2008. Kendiliğinden yerleşen betonun özellikleri. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(1), 1-22.
- Topçu, İ. B. ve Boğa, A. R. 2005, Uçucu kül ve çelik liflerin beton ve beton borularda kullanımı. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(2), 1-14.
- Topçu, İ. B., Uygunoğlu, T. ve Ünal O. 2007. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Mineral Katkıların Taze Beton Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması, *Yapıda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, 23-24 Nisan, 181-193, Ankara.
- Topçu, İ. B. 2006. *Yapı Malzemeleri ve Beton*. Şahvar Ofset A.Ş., 502, Eskişehir.
- Turcry, P., Loukili, A. and Haidar, K. 2002. Mechanical Properties, Plastic Shrinkage and Free Deformations of Self-Consolidating Concrete, *First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, 335-340, Rosemont, USA.
- Türkel, S. ve Felekoğlu, B. 2004. Aşırı dozda akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanımının taze ve sertleşmiş betonun bazı özellikleri üzerine etkileri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(1), 77-89.
- Ustabaş, İ. ve Ömür, İ. 2019. Rize yöresi obsidyeninin çimentonun hidrasyon ısısına etkisi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1), 78-87.
- Uyan, M., Yıldırım, H. ve Süvari, Y. 1996. Akışkanlaştırıcı Katkıların Etkinliği, 4. Ulusal Beton Kongresi, 30 Ekim–1 Kasım, Bildiriler Kitabı, İstanbul, Türkiye.
- Uygunoğlu, T. 2008. Hafif agregalı kendiliğinden yerleşen betonların özellikleri. *Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, 155, Isparta.
- Wu, S. 2005. Application of Self-Compacting Concrete in Frame-Shear Wall Structure and Road Construction, In *SCC'2005-China: 1st International Symposium on Design, Performance and Use of Self-Consolidating Concrete*, RILEM Publications SARL, 705-712, China
- Xie, Y., Liu, B., Yin, J. and Zhou, S. 2002. Optimum mix parameters of highstrength self-compacting concrete with ultrapulverized fly ash. *Cement and Concrete Research*, 32(3), 477-480.

- Yanık, M. 2019. Farklı incelikte öğütölmüş obsidyen katkılı çimentoların puzolanik özelliklerinin tayini. Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 55, Rize.
- Yaphary, Y. L., Lam, R. H. W. and Lau, D. 2017. Chemical Technologies for Modern Concrete Production. *Procedia Engineering*, 172, 1270-1277.
- Yazıcı, Ş. ve İnan Sezer, G. 2008. Çelik lifli betonların darbe direncine agrega maksimum boyutunun etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(3), 237-245.
- Yousaf, M., Siddiqi, Z. A., Sharif, B. and Khan, A. H. 2013. Performance of 3rd generation locally available chemical admixtures in the production of SCC, *Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12, 9-20.
- Yu, Z., Shi, C. ve Khayat, K. H. 2005. Performance and Use of Self-Consolidating Concrete-SCC, PRO 42: 1st International RILEM Symposium on Design, 26-27 May, RILEM Publications, Vol 42, 299, China.
- Zhao, H., Sun, W., Wu, X. and Gao, B. 2015. The properties of the self-compacting concrete with fly ash and ground granulated blast furnace slag mineral admixtures. *Journal of Cleaner Production*, 95, 66-74.