

**LASTİK AGREGALI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN FİZİKSEL VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Mehmet EMİROĞLU

Doktora Tezi

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Servet YILDIZ

İkinci Danışman: Doç. Dr. M. Halidun KELEŞTEMUR

MAYIS-2012

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LASTİK AGREGALI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN FİZİKSEL VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Mehmet EMİROĞLU

(06125201)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 Nisan 2012

Tezin Savunulduğu Tarih : 02 Mayıs 2012

**Tez Danışmanı
Diğer Jüri Üyeleri**

: Doç. Dr. Servet YILDIZ (F.Ü)
: Prof. Dr. Ragıp İNCE (F.Ü)
Yrd. Doç. Dr. Erdinç ARICI (F.Ü)
Doç. Dr. Yılmaz KOÇAK (D.Ü)
Doç. Dr. Oğuzhan KELEŞTEMUR (F.Ü)

MAYIS-2012

ÖNSÖZ

Doktora tezimle ilgili çalışmaların başından sonuna dek takipçisi olan, tez konusunun tespiti, deney programı ve deneylerin gerçekleştirilmesinde desteğini esirgemeyen birinci ve ikinci danışman hocalarım Doç. Dr. Servet YILDIZ ve Doç. Dr. M. Halidun KELEŞTEMUR'a, karışım oranlarının belirlenmesinde yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Ragıp İNCE ve Yrd. Doç. Dr. Kürşat E. ALYAMAÇ'a, bölüm laboratuvarları imkânlarını kullanıma açan Fırat Üniversitesi ve Düzce Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölüm Başkanlıklarına, dinamik elastisite modülü deneylerinin gerçekleşmesinde deney düzeneğini sağlayan ayrıca istatistiksel analizlerin gerçekleştirilmesi, sonuçların yorumlanması ve daha birçok konuda desteğini esirgemeyen Doç.Dr. Serkan SUBAŞI'na, yine doktora çalışmam süresince yönlendirmelerinden ve maddi/manevi desteklerinden dolayı Prof. Dr. M. Emin EMİROĞLU, Doç. Dr. Salih YAZICIOĞLU, Doç. Dr. Yılmaz KOÇAK, Yrd. Doç. Dr. Hakan ARSLAN ve Öğr. Gör. Ahmet BEYCİOĞLU'na, deneylerde yapmış oldukları yardımlar ve maddi ve manevi tüm desteklerinden dolayı saygıdeğer çalışma arkadaşlarım, Uzman Bekir ÇOMAK, Arş. Gör. Sercan SERİN ve Uzman Şükrü ÖZKAN'a, ayrıca deneysel çalışmaların büyük bir bölümünde her zaman yardımlarını gördüğüm Düzce Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü öğrencilerine, özellikle Altan ALTOK ve Eser BALLI'ya, deneylerin gerçekleşmesinde yardım eden sevgili kardeşim Semih EMİROĞLU'na, karışım tasarımında zaman zaman fikirlerine danıştığım Yrd. Doç. Dr. Tahir GÖNEN ve Yrd. Doç. Dr. Nusret BOZKURT'a, süper akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici katkı seçimindeki teknik desteği ve yakın ilgisinden dolayı İKSA Yapı Kimyasalları A.Ş. ve Murat GÖKÇE'ye, bu tez çalışmasını proje ile destekleyen Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (FÜBAP), maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen anneme, babama, kardeşlerime ve tüm aile fertlerime, çalışmalarım süresince sonsuz sabırlarından dolayı eşim Hatice EMİROĞLU ve oğlum Musab EMİROĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet EMİROĞLU

ELAZIĞ – 2012

I. İÇİNDEKİLER

I. İÇİNDEKİLER	I
II. ŞEKİLLER LİSTESİ	III
III. TABLOLAR LİSTESİ	V
ÖZET	VI
ABSTRACT	VII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tez Konusu.....	1
1.2. Araştırmanın Kapsamı	3
2. BETON.....	5
2.1. Beton Teknolojisi	5
2.2. Beton Karışımına Giren Malzemeler.....	6
2.3. Özel Betonlar	6
2.3.1. Hafif Beton	6
2.3.1.1. Pomza	7
2.3.1.2. Diatomit	8
2.3.1.3. Perlit	9
2.3.1.4. Vermikülit.....	9
2.3.1.5. Genleştirilmiş Kil	9
2.3.1.6. Lastik Agrega	10
3. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON (KYB).....	12
3.1. KYB’lerde Karışıma Giren Malzemeler ve Karışım Oranları.....	14
3.2. Çimento	15
3.3. İnert, Puzolanik ve Hidrolik Katkılar	15
3.3.1. Uçucu Kül.....	17
3.3.2. Granüle Yüksek Fırın Cürufu	17
3.3.3. Silis Dumanı	18
3.4. Agrega	19
3.5. Su	21
3.6. Kimyasal Katkılar.....	23
3.7. KYB Karışım Oranları	25
3.8. Akışkanlık Parametreleri İçin Test Yöntemleri.....	26
3.8.1. Slump-Yayılma Deneyi	27
3.8.2. V-Hunisi Deneyi.....	28
3.8.3. L-Kutusu Deneyi	29
3.8.3.1.1. J-Ringi	31
3.9. Taze ve Sertleşmiş Haldeki KYB Özellikleri.....	32
4. KATI ATIKLARIN BETON İÇERİSİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ	42
4.1. Kullanılmış Lastiklerin Beton İçerisinde Değerlendirilmesi.....	42
5. BETON-DONATI ADERANSI	52
6. MATERYAL ve METOT	54
6.1. CEM I 42.5 R	54
6.2. CEM IV/B (P) 32.5 R.....	55
6.3. Yüksek Fırın Cürufu	55
6.4. Süperakışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı.....	56
6.5. Hava Sürükleyici Kimyasal Katkı	57

6.6. Su	57
6.7. Agrega	57
6.8. Lastik Agrega	58
6.9. Karışım Oranları	58
6.10. Numune Hazırlama ve Taze/Sertleşmiş Beton Deneyleri	60
6.10.1. Numune Hazırlama	60
6.10.2. Taze Beton Birim Ağırlığı	62
6.10.3. Slump-Yayılma Deneyi	63
6.10.4. V-Hunisi Deneyi	63
6.10.5. L-Kutusu Deneyi	64
6.10.6. J-Ringi Deneyi	64
6.10.7. Sertleşmiş Betonda Birim Ağırlık, Su Emme ve Görünür Porozite Deneyleri	65
6.10.8. Ultrases Hızı Ölçümleri	66
6.10.9. Dinamik Elastisite Modülü Tayini	66
6.10.10. Beton Basınç Dayanımı	68
6.10.11. Yarmada Çekme Dayanımı	69
6.10.12. Eğilme-Çekme Dayanımı	69
6.10.13. Donatı Aderansı	70
7. ARAŞTIRMA BULGULARI	72
7.1. Akışkanlık Parametreleri	72
7.1.1. Slump-Yayılma	72
7.1.2. V-Hunisi Akma Süresi	73
7.1.3. L-Kutusu Deneyi	74
7.1.4. J-Ringi Deneyi	74
7.2. Taze Beton Birim Ağırlık	75
7.3. Sertleşmiş Beton Birim Ağırlık	76
7.3.1. Beton Birim Hacim Ağırlığı (1 Günlük)	76
7.3.2. Beton DYK Birim Hacim Ağırlığı (7 ve 28 Günlük)	77
7.4. Su Emme Oranı	78
7.5. Porozite	80
7.6. Ultra Ses Geçiş Hızı Ölçümleri	81
7.6.1. Küp Numuneler (10x10x10 cm)	82
7.6.2. Prizma Numuneler (10x10x50 cm)	83
7.7. Dinamik Elastisite Modülü	85
7.8. Basınç Dayanımı	86
7.9. Yarmada Çekme Dayanımı	89
7.10. Optik Mikroskop Görüntüleri	91
7.11. Eğilme-Çekme Dayanımı	97
7.12. Donatı Aderansı	98
7.13. İstatistiksel Analizlerin Değerlendirilmesi	100
8. SONUÇ ve ÖNERİLER	102
KAYNAKLAR	106
ÖZGEÇMİŞ	
Ek_A	
Ek_B	
Ek_C	

II. ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Hafif betonların yaklaşık birim ağırlıkları ve kullanım aralıkları (ACI 213-R87)	7
Şekil 3.1. Slump-yayılma deney düzeneği (EFNARC, 2005)	27
Şekil 3.2. V-Hunisi deney düzeneği (EFNARC, 2005)	29
Şekil 3.3. L-kutusu deney düzeneği (EFNARC, 2005)	30
Şekil 3.4. J Ringi deney düzeneği	31
Şekil 4.1. Atık lastik yığınlarından bir örnek	45
Şekil 4.2. Atık lastiklerin kontrolsüz yığılması sonucu oluşan çevre kirliliği	45
Şekil 4.3. Atık lastiklerin kontrolsüz şekilde yakılması sonucu ortaya çıkan çevre sorunu	46
Şekil 4.4. Çelik telleri için yakılmış atık lastiklerden bir görünüş	46
Şekil 4.5. Atık lastiklerden toprak set oluşturulması	49
Şekil 5.1. Çekip-çıkarma (Pull-out) deney düzeneği	52
Şekil 6.1. Kullanılan agregaya ait granülometri eğrisi	57
Şekil 6.2. Lif şeklindeki lastik agregalar	58
Şekil 6.3. Optimum ince/toplam agrega seçimi	59
Şekil 6.4. KYB karışımlarının hazırlanmasında kullanılan mikser	61
Şekil 6.5. Donatı aderansı deneylerinde kullanılan kalıplar	62
Şekil 6.6. Kür tankında bekletilen numunelerden bir görünüş	62
Şekil 6.7. Slump-yayılma deneyi	63
Şekil 6.8. V-hunisi deney aleti	63
Şekil 6.9. L-kutusu deney aleti	64
Şekil 6.10. J-ringi deneyi	65
Şekil 6.11. Ultrases geçiş hızı ölçümü	66
Şekil 6.12. Rezonans frekansı ölçüm aleti	67
Şekil 6.13. Boyuna rezonans frekansı ölçümü	67
Şekil 6.14. Basınç dayanımı deneylerinde kullanılan hidrolik pres	68
Şekil 6.15. Yarmada çekme deneyi	69
Şekil 6.16. Üç nokta eğilme deneyi	70
Şekil 6.17. Çekip çıkarma deney düzeneği	70
Şekil 7.1. Taze beton birim ağırlık deney sonuçları	75
Şekil 7.2. Birim hacim ağırlık deney sonuçları (1 günlük)	76
Şekil 7.3. DYK birim hacim ağırlık deney sonuçları (7 ve 28 günlük)	78
Şekil 7.4. Su emme deney sonuçları	79
Şekil 7.5. Porozite deney sonuçları	81
Şekil 7.6. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları (10x10x10 cm)	83
Şekil 7.7. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları (10x10x50 cm)	84
Şekil 7.8. Dinamik elastisite modülü deney sonuçları	85
Şekil 7.9. Basınç dayanımı değerleri	87
Şekil 7.10. Basınç dayanımı sonrası numunelerde oluşan kırılma yüzeyleri	88
Şekil 7.11. Yarmada çekme dayanımı deney sonuçları	90
Şekil 7.12. Yarmada çekme dayanımı sonrası genel görünüm (R0 serisi)	91
Şekil 7.13. Yarmada çekme dayanımı sonrası genel görünüm (R15 serisi)	91
Şekil 7.14. R0 serisinden tespit edilen çatlağın genel görünüşü (20x)	92
Şekil 7.15. Çatlağın başlamasına neden olan kusur (60x)	92
Şekil 7.16. R15 serisi genel görünüm (20x)	93
Şekil 7.17. Lastik agregası ile çimento harcı arayüzey görüntüsü (80x)	93

Şekil 7.18. Normal vibrasyonlu lastik agregalı ikameli betondan elde edilmiş görüntü (Emiroğlu, 2006).	94
Şekil 7.19. Normal vibrasyonlu betonda lastik-çimento harcı arayüzey aderansı (Emiroğlu, 2006).	94
Şekil 7.20. Lastik agregaların betondan sıyrılması (20x).....	95
Şekil 7.21. Lastik-harç arayüzeyinde başlayan çatlak harç üzerinde ilerlemesi (60x).....	95
Şekil 7.22. Lastik-harç arayüzeyinde meydana gelen bir çatlak (20x).....	96
Şekil 7.23. Arayüzeyde tespit edilen çatlak 60x büyütme ile incelenmesi	96
Şekil 7.24. Eğilme-çekme dayanımı deney sonuçları	98
Şekil 7.25. Donatı aderansı deney sonuçları	99
Şekil 7.26. Donatı aderansı deney sonrası kırılma şekilleri	100

III. TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. EFNARC 2005'e göre KYB karışımı için sınır değerler.....	26
Tablo 3.2. Slump-Yayılma Sınıfları (EFNARC, 2005).....	27
Tablo 3.3. KYB'nin Viskozite Sınıfları (EFNARC, 2005).....	27
Tablo 3.4. KYB'nin L-kutusu Geçme Kabiliyeti Sınıfları (EFNARC, 2005)	30
Tablo 4.1. Lastik üretiminde kullanılan tipik malzemeler.	43
Tablo 4.2. Atık lastiklerin bulundukları şekle göre sık kullanım alanları	47
Tablo 4.3. Hafif beton karakteristikleri	50
Tablo 6.1. CEM I 42.5 R tipi çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler	54
Tablo 6.2. CEM IV/B (P) 32.5 R tipi çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler	55
Tablo 6.3. Yüksek fırın cürufuna ait fiziksel ve kimyasal özellikler	56
Tablo 6.4. Süperakışkanlaştırıcı katkının teknik özellikleri (URL-5).....	56
Tablo 6.5. Hava sürükleyici katkı malzemesine ait teknik özellikler (URL-6).....	57
Tablo 6.6. KYB karışım oranları (1 m ³).....	60
Tablo 7.1. Slump yayılma deney sonuçları	72
Tablo 7.2. V-hunisi akma süresi.....	73
Tablo 7.3. L-kutusu deney sonuçları	74
Tablo 7.4. J-ringi deney sonuçları	74
Tablo 7.5. Birim hacim ağırlık (1 Günlük) deney sonuçları	76
Tablo 7.6. DYK birim hacim ağırlık deney sonuçları	77
Tablo 7.7. Su emme oranı deney sonuçları	78
Tablo 7.8. Porozite deney sonuçları	80
Tablo 7.9. Küp numunelerden elde edilen ultrases geçiş hızı değerleri.....	82
Tablo 7.10. Prizma numunelerden elde edilen ultrases geçiş hızı deney sonuçları	83
Tablo 7.11. Dinamik elastisite modülü deney sonuçları	85
Tablo 7.12. Basınç dayanımı deney sonuçları.....	86
Tablo 7.13. Yarmada çekme dayanımı deney sonuçları.....	89
Tablo 7.14. Eğilme-çekme dayanımı deney sonuçları	97
Tablo 7.15. Donatı aderansı deney sonuçları	98

ÖZET

Kendiliğinden yerleşen beton ve lastik agregalı beton 90'lı yıllardan bu yana beton teknolojisinde üzerine çeşitli çalışmalar yapılan iki beton türüdür. Lastik agregalı betonların kullanıma sebeplerinin başında, atıkların değerlendirilmesi, betonun düktilitesinin artırılması ve düşük birim ağırlık elde etmek gelmektedir. Ancak lastik agregalı betonların en büyük dezavantajının lastikler ile çimento arasındaki aderansın yetersizliği olduğu bilinmektedir. Kendiliğinden yerleşen beton ise geleneksel sıkıştırılan betona göre daha yüksek harç içeriği ve yüksek toz malzeme (≤ 0.125 mm) oranı ile elde edilen yüksek performanslı bir betondur. Kendiliğinden yerleşen beton içerisinde lastik agrega kullanımı ile aderans probleminin aşılabileceği ve yüksek dayanıma sahip karışımların hazırlanabileceği düşüncesiyle son zamanlarda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada lif şeklindeki lastiklerin yüksek harç oranına sahip kendiliğinden yerleşen betonların eğilme-çekme karakteristiklerine katkı sağlayabileceği düşüncesiyle kendiliğinden yerleşen lastik agregalı beton karışımları hazırlanmıştır. Çalışmada iki adet referans ve dört farklı lastik ikame oranına sahip olmak üzere toplam altı seri kendiliğinden yerleşen beton karışımı hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar üzerinde taze halde, Slump-yayılma, V-hunisi, L-kutusu, J-ringi ve birim ağırlık deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sıkıştırılmadan kalıplara dökülen karışımların, birim ağırlık, su emme, porozite, ultrases geçiş hızı, dinamik elastisite modülü, basınç, yarmada çekme ve eğilme-çekme dayanımları ile donatı aderansları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda atık lastik kullanımıyla kendiliğinden yerleşen betonların elde edilebildiği ancak yüksek lastik ikamelerinde karışımın doldurma ve geçme kabiliyetinin azaldığı gözlenmiştir. Bunun yanında, düşük lastik içeriklerinde, özellikle %15 lastik ikamesinde betonun yarmada çekme ve eğilme-çekme dayanımlarında bir iyileşme sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden Yerleşen Beton, Atık Yönetimi, Lastik Agrega, Dinamik Elastisite Modülü, Donatı Aderansı

ABSTRACT

Investigation of Physical and Mechanical Properties of Self-Compacting Rubberized Concrete

Self-compacting and rubberized concrete are two concrete types examined with different studies since 90's up to now. Waste management, enhance of concrete ductility and obtain a lower unit weight are the major reasons for the use of rubberized concretes. However, the biggest disadvantage of rubberized concretes are known to be poor adherence between the rubbers and cement paste. Self-compacting concrete is a high performance concretes with higher paste volume and powder amount (≤ 0.125 mm) than the traditional vibrated concrete. Some of the studies have been made thinking that it is possible to overcome the adherence problem and prepare high strength mixes with the use of rubber aggregates in the self-consolidating concrete recently.

In this study, rubberized self-compacting concrete mixes were prepared considering the contribute to flexural-tensile characteristics of self consolidating concretes having higher paste volume and prepared with the tire fibers. A total of six series of self-compacting concretes, two of them are reference and four of them having different rubber replacement, were prepared in the study. Slump flow, V-funnel, L-box, J-ring and unit weight of fresh concrete were performed on the prepared mixtures. Unit weight, water absorption, porosity, ultrasonic pulse velocity, dynamic modulus of elasticity, compressive, tensile splitting strength, flexural strength and bond strength tests were performed on the mixtures poured in the moulds without vibrating. As a results, it is observed that self-compacting rubberized concretes can be obtained, but filling and passing ability of the mixture were decreased with the increase of rubber replacement. Besides, an improvement have been provided on the tensile splitting and flexural strength of concrete with low rubber content in particular 15% rubber replacement.

Keywords: Self-Compacting Concrete, Waste Management, Rubber Aggregate, Dynamic Modulus of Elasticity, Bond Strength

1. GİRİŞ

Bu başlık altında yapılan tez çalışmasının konusu, amacı ve kapsamı ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

1.1. Tez Konusu

Malzeme seçimi yapılırken, dayanım, dayanıklılık, maliyet ve amaca uygunluk bir malzemede aranan özelliklerin başında gelmektedir. Beton teknolojisinde de bu amaçla farklı ülke ve laboratuvarlarda çeşitli çalışmalar yapılmış ve standartlar oluşturulmuştur (Eriç, 2002). Yüksek akışkan özelliğe sahip, sık donatılı alanlara kolaylıkla yerleşebilen ve aynı zamanda dayanım ve dayanıklılık açısından yüksek performans sergileyen bir beton üretiminin gerçekleştirilmesi hususu bu malzemenin tarihsel gelişimi sırasında en önemli sorunlardan biri olmuştur. İlk olarak 80’li yılların sonuna doğru Japonya’da geliştirilen ve bahsedilen özelliklere sahip yüksek performanslı betona zaman içerisinde çeşitli isimler verilmiş olmasına rağmen literatüre Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) olarak geçmiştir (Okamura ve Ouchi, 2003). Günümüzde KYB, yüksek akışkanlığa sahip ve en sık donatılı alanlara dahi segregasyona uğramadan, ayrıca vibratör kullanımı gerektirmeden yerleşebilen yüksek performanslı beton olarak tanımlanmaktadır (Özkul, 2002; EFNARC, 2005). Uygun bir akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanımı ile birlikte düşük su/çimento ve farklı iri agrega/ince agrega oranlarına sahip olan KYB, geleneksel betonlardan farklılık göstermektedir. KYB’ler, “toz tip” KYB, “viskozite tip” KYB ve “kombinasyon (birleşik) tip” KYB olmak üzere üç farklı yöntemle üretilmektedirler (Safiuddin, 2008). İlk KYB karışımları, çok yüksek çimento içeriği ile elde ediliyordu ve segregasyondan kaçınmak için uzman kontrolünde bir yerleştirme gerektirmekteydi. Yüksek çimento içeriği, KYB karışımlarında büzülme ve yüksek hidratasyon gibi olumsuz etkiler gözlenmekteydi (Kumar, 2006).

Büzülme, yüksek hidratasyon, maliyet gibi olumsuzluklar ve KYB’nin harç reolojisinin geliştirilmesi açısından günümüzde KYB karışımlarında toz malzeme olarak adlandırılan, uçucu kül, ince öğütülmüş yüksek fırın cürufu, silis dumanı, pirinç kabuğu külü, metakaolin ve taş tozu gibi filler malzemeler kullanılmaktadır (EFNARC, 2005). Uygun su/toz oranı ve beton karışımına eklenen hava sürükleyici, süper akışkanlaştırıcı, viskozite

düzenleyici gibi kimyasal katkıların kullanımı ile istenilen özellikte yüksek performanslı karışımlar hazırlanabilmektedir (EFNARC, 2005; Domone, 2007).

Atık lastiklerin beton içerisinde agrega olarak değerlendirilmesi yaklaşık otuz yıldır çeşitli araştırmacılar tarafından irdelenmektedir. Burada amaç, doğal agregaya göre çok daha hafif ve esnek olan lastik atıklarını beton içerisinde değerlendirilmesi ile hem çevreye zarar veren katı atıkların bertarafına katkı sağlamak hem de betonun yük altında aniden hasar görmesine sebep olan gevrek davranışını sınırlandırmaktır. Bu amaçla, geleneksel beton içerisinde agrega yerine lastik agregaların kullanılması ile başlayan ve öncülüğünü Eldin ve Senouci (1993); Topçu (1995); Li vd., (1998); Katip ve Bayomy (1999) gibi araştırmacıların yaptığı çalışmalar yürütülmüştür.

Lastik agregalı betonların başlangıçta, slump, birim ağırlık, hava içeriği, basınç, eğilme-çekme, yarmada çekme dayanımları vb. temel karakteristikleri belirlenmiş ve beton içerisinde atık lastiklerin kullanımı ile daha hafif yapı elemanlarının elde edilmesinin mümkün olduğu ancak, birim ağırlıktaki düşüşe rağmen dayanımlarda da kayda değer bir azalmanın meydana geldiği bildirilmiştir. Dayanımlarda meydana gelen düşüşler ve bu betonun uzun dönem performansının henüz bilinmiyor olması vb. nedenlerden dolayı lastik agregalı betonların yüksek dayanımın gerekmediği taşıyıcı olmayan beton uygulamalarında kullanılmasının uygun olacağı bildirilmiştir (Khatib ve Bayomy, 1999; Nehdi ve Khan, 2001; Kaloush vd., 2005).

Lastik agregaların temel karakteristiklerinin belirlendiği ilk çalışmaları, bu betonların, statik ve tekrarlı yükler altındaki davranışları, farklı yüzey işlemleri uygulayarak lastik agregalara yüzey pürüzlülüğü kazandırıp aderansın artırılması, kırılma performanslarının değerlendirilmesi, donma çözülme, korozyona ve sülfat iyonlarına karşı göstermiş olduğu direnç, ses ve ısı yalıtım kapasiteleri, kaldırım parkesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması ve daha bir çok yeni çalışma izlemiştir (Savaş vd., 1996; Olivares vd., 2002; Guoqiang vd., 2004; Güneyisi vd., 2004; Turgut vd., 2007; Turgut ve Yeşilata, 2008; Zheng vd., 2008; Taha vd., 2008; Richardson vd., 2012; Keleştemur, 2010).

Lastik agregalı betonların temel karakteristik özellikleri ve farklı yükleme ile ısıll koşullardaki davranışları üzerine çalışmalar devam ederken, beton teknolojisinde de yeni teknolojiler ortaya çıkmıştır. Bu nedenle son zamanlarda lastik agregalı kendiliğinden yerleşen beton karışımlarının hazırlanması ve bu karışımların fiziksel ve mekanik

özelliklerinin araştırılmasına başlanmıştır (Bignozzi ve Sandrolini, 2006; Turatsinze ve Garros, 2008; Topçu ve Bilir, 2009; Najim ve Hall, 2010; Najim ve Hall, 2012).

Günümüze kadar yapılan çalışmaların büyük bir bölümünde lastik agregalar ya ince öğütülmüş toz halinde ya da yonga halinde kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda lif şekilli lastiklerin performanslarının yonga şekilli olanlara nazaran daha iyi olduğu bildirilmiştir. Ancak boy/çap oranlarının çok yüksek olmaması gerektiği aksi takdirde karıştırma işlemi esnasında lif şekilli lastiklerin birbirine dolanma riski taşıdıkları bilinmektedir (Guoqiang vd., 2004; Emiroğlu, 2006).

Bu çalışmada, lastik kaplama işlemi sırasında atık olarak ortaya çıkan ve lif şeklinde elde edilebilen lastik agregalar kullanılarak kendiliğinden yerleşen beton üretimi olanakları araştırılmıştır. Ayrıca, bu şekilde elde edilmiş betonların, taze ve sertleşmiş beton özellikleri araştırılmıştır.

1.2. Araştırmanın Kapsamı

Bu çalışma, lif şekilli atık lastik agregaların iri agrega ile yer değiştirilmesi suretiyle kendiliğinden yerleşen betonlar içerisinde kullanılmasını kapsamaktadır. Elde edilen lastik agregalı kendiliğinden yerleşen betonun reolojik ve mekanik özellikleri çalışma kapsamında incelenmiştir.

Toz tipi ve oranı, akışkanlaştırıcı katkı tipi ve miktarı, viskozite düzenleyici katkı çeşidi, maksimum agrega çapı, farklı ince agrega/iri agrega oranları gibi parametrelerin araştırılması bu çalışmanın kapsamı dışında kalmaktadır. Çalışmada toplam toz malzeme miktarı, ince agrega hacmi, su/toz malzeme oranı, maksimum agrega çapı, toplam agrega hacmi gibi parametreler sabit tutulmuştur.

Çalışmada başlangıçta EFNARC (2005)'in önermiş olduğu limit değerleri sağlayan referans (lastik içermeyen) bir karışım hazırlanmıştır. Bu referans kendiliğinden yerleşen beton karışımı üzerinde iri agregalar hacimce lastik agregalarla değişik oranlarda yer değiştirilerek lastik agregalı kendiliğinden yerleşen betonlar elde edilmiştir. Atık lastik agregaların özgül ağırlıklarının doğal agregalardan çok daha düşük olması ve kendiliğinden yerleşen betonların yüksek harç hacmi içermesi nedeniyle oluşabilecek segregasyon probleminin önüne geçmek amacıyla lastik ilaveli kendiliğinden yerleşen betonların tüm karışımlarında sabit olacak şekilde hava sürükleyici katkı maddesi kullanılmıştır. Hava sürükleyici katkı maddesinin dayanımı düşüreceği bilindiğinden hava

sürükleyici içeren ikinci bir referans beton üretilmiştir. Bu betonda, lastik ilaveli kendiliğinden yerleşen betonlarda kullanılan oranda hava sürükleyici kullanılmıştır.

Atık lastik agregaların endüstriyel olarak betonda kullanılmak üzere yeterli miktarda üretiminin olmaması nedeniyle agrega miktarındaki azalmanın sağlayacağı toplam maliyet kazancı çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. Ancak bu çalışmada, katı atıklar arasında yer alan atık lastiklerin geri dönüşümü sayesinde sağlanacak çevresel kazançlar irdelenmiştir.

2. BETON

Çalışmanın bu bölümünde, beton teknolojisi hakkında özet bilgi verildikten sonra beton karışımına giren malzemeler hakkında kısa bir tanım yapılmış ve özel beton türleri ile hafif agregalar kısaca tanıtılmıştır.

2.1. Beton Teknolojisi

Beton, dünyada yaygın bir şekilde kullanılan, agrega, çimento, su ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin birlikte kullanılmasıyla üretilen kompozit, gevrek ve yapay bir yapı malzemesidir. Günlük yaşantımız birçok açıdan doğrudan ya da dolaylı olarak beton ile bağlantılıdır. Betondan imal edilmiş evlerde yaşar, işyerlerinde çalışır, eğitim görür, beton yol ve köprüler vasıtasıyla ulaşım sağlarız. Ayrıca içme suyu ve tarımsal sulama ihtiyaçlarımız için gerekli su, beton barajlar ardında stoklanır ve betondan imal edilmiş borular, kanallar ve suyolları ile dağıtılırlar. Betonun yaygın kullanılma sebepleri arasında, betonun suya karşı ahşap ve çelikten daha dayanıklı olması, istenilen şekil ve boyutta imal edilebilir olması ve ekonomik olması sayılabilir (Mindness ve Young, 1981; Neville, 2002; Erdoğan, 2003).

Beton, karışım malzemelerinin karılması ile birlikte ilk başta plastik bir malzeme özelliği sergilemektedir. Bu durum, betona istenilen şekli verilebilme, sıkıştırılabilme, taşınabilme, pompalanabilme ve yüzey düzeltilebilme gibi avantajlar sağlamaktadır. Zamanla hidratasyon sonucu beton dayanım kazanmakta ve sert, katı bir malzeme halini almaktadır (Erdoğan, 2003)

Yüksek dayanım, düşük birim ağırlık, iç ve dış etkilere karşı dayanıklılık, ses ve ısı yalıtımı, geçirimsizlik ve tokluk sertleşmiş betondan beklenen özelliklerdir. Ancak geleneksel beton bu özellikleri tek başına bünyesinde bulundurmamaktadır. Bu nedenle betonun tarihsel gelişimi esnasında yapılan çalışmalarda araştırmacılar, betonun arzu edilen bu özelliklerini geliştirmesine yoğunlaşmışlardır.

Amaca uygun bir beton üretiminde betona girecek malzemelerin seçimi oldukça önemlidir. Bu seçimi yapacak kişinin akılcıca bir seçim yapabilmesi için karışım malzemelerini çok iyi tanıması, ne seçtiğini, nasıl seçtiğini ve niçin seçtiğini iyi bilmesi gerekmektedir (Popovics, 1992). Bu nedenle killi topraklar ile başlayan, alçı, kireç ve

çimento ile devam eden bağlayıcı malzemelerin on bin yıllık tarihi boyunca çalışmalar süregelmiştir.

2.2. Beton Karışımına Giren Malzemeler

Beton, çimento, agrega, su, katkı maddeleri vb. doğal ve yapay malzemelerin karışımından meydana gelen çok fazlı kompozit bir malzemedir. Betonun birden fazla malzemenin bir araya gelmesi ve tüm bu işlemlerin insan yapımı olması nedeniyle üretim sırasında oldukça dikkatli davranılması gerekmektedir. Kaliteli bir beton elde edebilmek için malzeme seçimi, beton üretimi ve servis ömrü boyunca bakım-onarımının hassasiyetle yapılması gerekmektedir.

Betonun performansı karışımına giren malzemelerin kalitesine, onların karakteristiklerine, yerleştirme esnasındaki hassasiyete ve dış şartlara karşı korunmasına bağlıdır. Örneğin, klinker üretiminde kullanılan ham maddelerin kalitesi, kalsinasyon koşulları, çimento parçacıklarının inceliği ve boyutları çimento ana bileşenlerinin oranları ve karışım suyu gibi özellikler, sertleşmiş betonun fiziko-mekanik özelliklerini etkilemektedir (Ramachandran, 1995).

2.3. Özel Betonlar

Beton teknolojisindeki hızlı artışa paralel olarak uygulamada ortaya çıkan özel durumlar için özel beton üretimi de artış göstermiştir. Dünyanın dört bir yanında araştırmacılar çeşitli gereksinimleri karşılayacak farklı özelliklere sahip özel betonlar üretmektedirler. Bu bölümde bazı özel beton türleri, kullanılan malzemeler, uygulama alanları ve teknik özellikleri açısından değerlendirilerek özetlenecektir.

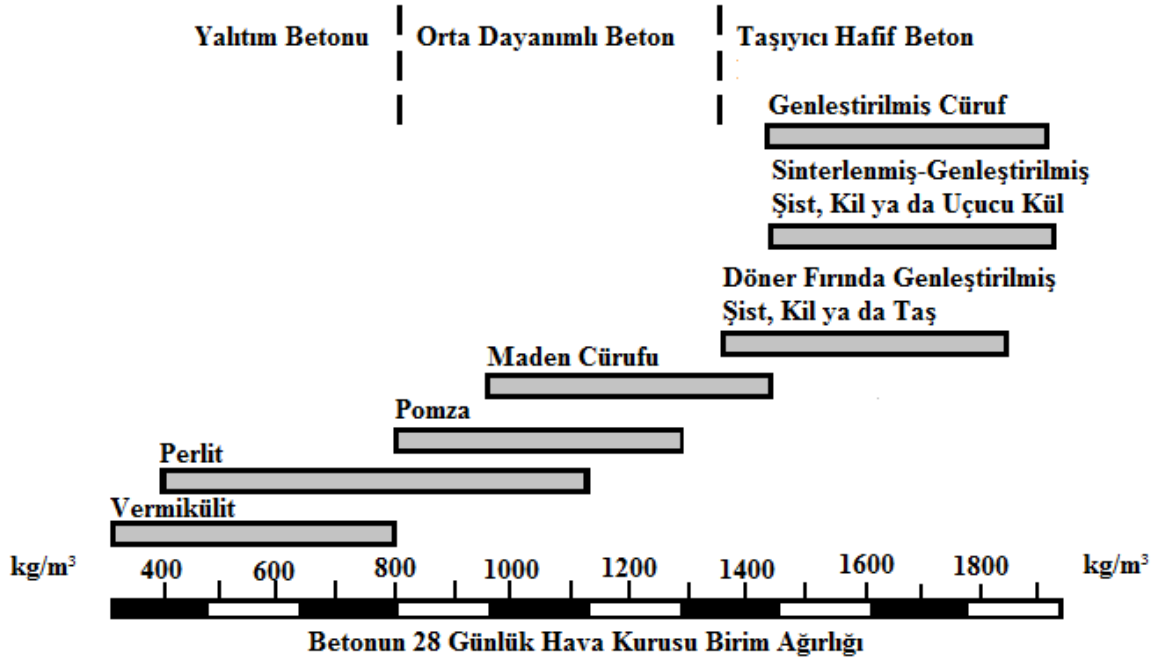
2.3.1. Hafif Beton

Etüv kuru yoğunluğu $0.8-2.0 \text{ kg/dm}^3$ arasında olan hafif betonlar, hafif agrega kullanımı, kimyasal köpüklerle, ince agrega kullanılmaksızın ve kimyasal metotlar kullanarak gaz oluşturmak gibi bazı teknikler kullanılarak üretilirler (Şimşek, 2007). Hafif beton kavramı beton teknolojisinde yeni bir kavram değildir. Modern yapılaşmada hafif beton oldukça önemlidir ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Antik zamanlardan itibaren hafif agrega kullanılarak üretilmiş yapı örnekleri görmek mümkündür. Bu yapılar

volkanik kaynaklı pomza ve cüruf gibi doğal agregalardan imal edilmişlerdir. Bu antik yapılara bir örnek de günümüzde halen ayakta duran Ayasofya Camii'dir (ACI 213-R87, 1999; Chandra ve Berntsson, 2002).

Hafif betona olan ihtiyacın artması ile birlikte teknolojik olarak hafif agrega üretiminde de artış gözlenmiştir. 19. Yüzyılda Almanya'da bünyesindeki su hızlı bir şekilde buharlaştırılarak gözenekli kil ürünleri elde edilmiştir (Chandra ve Berntsson, 2002).

Hafif agregalar doğal kaynaklı ya da yapay (insan yapımı) olabilmektedirler. Doğal kaynaklı hafif agregaların en önemli kaynağı volkanik malzemelerdir. Bu agregalar adından da anlaşılacağı üzere doğal olarak var olmaktadır ve yalnızca kırma, eleme gibi mekanik işlemler sonucu elde edilmektedirler. Doğal hafif agregalar genellikle volkanik kökenli olduklarından dolayı dünyada belirli bölgelerde bulunmaktadır Yapay ya da sentetik agregalar ise fabrikalarda ısıt işlemler sonrası üretilmektedirler (Chandra ve Berntsson, 2002). Günümüzde yaygın olarak kullanılan hafif agregalı betonlar ve birim ağırlık sınıfları Şekil 2.1'de verilmiştir (ACI 213R-87).



Şekil 2.1. Hafif betonların yaklaşık birim ağırlıkları ve kullanım aralıkları (ACI 213-R87)

2.3.1.1. Pomza

Antik Yunan ve Roma dönemlerinden beri kullanılan en eski yapı malzemelerinden biri olan pomza, amfityatrolar, tapınaklar, su kemerleri, hamamlar, mahzenler ve konut

inşaatlarında yaygın olarak kullanılmıştır. Volkanik faaliyetin durumuna göre asidik ve bazik olmak üzere iki çeşit pomza mevcuttur. Bunlar renkleri ve birim ağırlıkları açısından farklılık göstermektedirler (DPT 2434, 1996; Gönen, 2009). Bazik pomzaya bazaltik pomza veya Scoria da denilmektedir. Bazaltik pomza, koyu renkli, kahverengimsi, siyahımsı olabilmektedir. Özgül ağırlığı 1.0-2.0 civarındadır. Asidik pomza, beyaz, kirli görünümde ve grimsi beyaz renkte olup özgül ağırlığı bazaltik pomzadan hafif ve 0.5-1.0 civarındadır. Çok geniş kullanım alanına sahip olan pomza, inşaat, kimya, tekstil ve tarım sektöründe kullanılmaktadır (Öz, 2007).

2.3.1.2. Diyatomit

Diyatomit temel olarak silikatlardan (SiO_2) oluşmaktadır. Ölü diyatomitlerin küçük kabukları, iç denizlerde kizelgur meydana getirmektedir. Fosil durumundaki diyatomit kabuklarından meydana gelen kayalara diatomit denilmektedir. Diatome kavkısı amorf silis ($\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$) yapısındadır. Rezervler, oluşma ortamının yapısı ve şartlarına bağlı olarak, genellikle kil, volkanik kül, kum ve organik kalıntılar ihtiva ederler. Ticari değere haiz kayaçların % 86-94 ünü silis, geri kalan kısmını ise alüminyum, demir ve muhtevadaki kilden gelen alkaliler tamamlar (DPT:2421, 1996). Ülkemiz hammadde kaynakları açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Kaynakların ne şekilde ve hangi alanlarda değerlendirilebileceği konusunda önemli çalışmalar devam etmektedir. Ancak bazı hammadde kaynaklarına yeterince önem verilememiştir. Bu hammadde kaynaklarından birisi de dünya rezervinin %2'sini oluşturan diyatomittir. Diyatomitin yüksek gözenekliliği, ısı, ses ve elektriği az geçirmesi, erime noktasının 1400-1600 °C olması, kimyasal maddelere karşı dayanıklılığı ve yoğunluğunun az olması gibi fiziksel özellikleri nedeni ile filtre yardımcı malzemesi, dolgu maddesi, izolasyon maddesi, absorbent, cila maddesi, katalizör ve katalizör taşıyıcısı, hafif yapı malzemesi, refrakterler ve sentetik silikat imali gibi birçok sanayi dalında kullanılmaktadır (Ünal ve Uygunoğlu, 2007). Diyatomit, dinamit üretiminde, kâğıt, boya, tuğla, kiremit, seramik, plastik, sabun, deterjan gibi birçok maddelerin üretiminde dolgu maddesi olarak kullanılır. Çok yumuşak bir aşındırıcı özelliği taşıdığı için diş macunlarının ve metal cilalarının içine katılır. Beton ve harçların işleme kolaylığını artırdığı için, çimentolar içine katkı maddesi olarak konur (Gönen, 2009).

2.3.1.3. Perlit

Perlit asidik bir volkanik camdır. Perlit ismi bazı perlit tiplerinin kırıldığı zaman inci parlaklığında küçük küreler elde edilmesi nedeni ile inci anlamına gelen perle kelimesinden türetilmiştir. Perlit, ısıyla genleşme özelliği olan, genişletildiğinde çok hafif ve gözenekli bir hale geçen bir kayadır. Perlit kelimesi hem ham perlit için hem de genişletilmiş perlit için kullanılmaktadır. Çeşitli perlit kayalarının renkleri ve yapıları birbirinden çok farklı olabilir. Bu bakımdan perlit göze tanımak oldukça zordur. Ham perlitin rengi saydam açık griden parlak siyaha kadar değişmekte olup, genişletildiğinde renk tamamen beyazlaşır. Perlitte en önemli özellik % 2-6 oranında değişen içeriğindeki sudur ve bu su perlitin kararlılığını sağlamaktadır (Gönen, 2009; DPT:2434, 1996).

2.3.1.4. Vermikülit

Vermikülit, volkanik magma kaynaklarından elde edilen, mikanın doğal aşınmasıyla oluşmuş magnezyum alümino silikat kil mineralidir ve yüksek ısı ile işlenerek hacmi genişler, geçirgenliği artar ve hacim ağırlığı belirgin bir şekilde düşerek şekil değiştirir. Elde edilen ürün çok hafif ve sterildir. Uzun süre bir çeşit trioktahedral mika minerali olarak bilinen vermicülit, hızlı ısıtma ile yapraklara ayrılır ve küçük kurtçuklara benzeyen bir şekil alır. Vermikülit terimi, bu özelliği kullanılarak Latince vermiculareden türetilmiş ve 2:1 genleşebilen, tabaka yükü simetrikinden büyük olan ve mikaya benzeyen mineraller için kullanılmıştır. Doğada; oluşumuna ve bulunduğu ortamlara göre, toprak, otojenik, metamorfik ve makroskopik olmak üzere dört tipine rastlanmıştır. Vermikülitin sertliği 2.1 ve 2.8 arasında değişir, özgül ağırlığı 2.5'tir. Bronzdan yeşilimsi kahverengiye ve hatta siyaha kadar değişen renklere sahiptir. Vermikülitin birim hücresinde su tabakasının bulunması, vermicülitte ticari değer kazandıran özelliğidir. 1600 °F (850 °C) üzerinde ani bir ısı uygulandığında suyun buhara dönüşmesiyle klivaj düzlemlerine dik yönde ani bir genleşme meydana gelir. Teorik olarak, saf vermicülit orijinal hacminin 30 katına kadar genleşebilir (DPT:2434, 1996).

2.3.1.5. Genleştirilmiş Kil

Yaklaşık 180 milyon yıldır doğada var olan kil ve kireç insanoğlunun yerleşik hayata geçişinde yapmış oldukları yapıların temel malzemesi olmuşlardır. Genleştirilmiş kil

agregası kilin kaynağından çıkarılıp ve toz haline getirilerek, küçük kürecikler halinde granüle edilmesi ve daha sonra yaklaşık 1200 °C sıcaklıkta pişirilmesi ile elde edilmektedir. Böylece, kilin organik bileşenleri yakılır ve küreler genişlerken genişleştirilmiş kil agregalar meydana gelir. İnce dağılımı ve düzenli gözeneğe sahip yapısı nedeniyle yüksek termal yalıtım, ısı tutma, ses yalıtımı ve duruma göre ses absorbe etme gibi özelliklere sahip olan genişleştirilmiş kil agregalar, boyutsal olarak stabil, yanıcı olmayan, hem donmaya karşı dirençli hem de mekanik dayanımı yüksek bir malzemedir. Düşük birim ağırlığı, gözenekli yapısı ve tane dağılımı göz önüne alındığında beton içerisinde hafif agrega olarak kullanmak için uygundur (Subaşı vd., 2009).

2.3.1.6. Lastik Agrega

Ömrünü tamamlamış atık lastikler çeşitli kesim ve öğütme yöntemleri uygulanarak beton içerisinde agrega olarak kullanılmaya hazır hale getirilebilmektedir. Kesim-doğrama yöntemi ve kullanım alanına göre atık lastikler, hurda, yırtık, çip şeklinde, öğütülmüş ve kırıntı lastik olarak sınıflandırılmaktadırlar. Lastikler suya bırakıldıklarında yüzeyde ve gelişigüzel seviyelerde kalırlar fakat su geçirmezler. Yürütülen çeşitli çalışmalar sonucunda lastiklerin maksimum su emme oranlarının %2-4 arasında olduğu belirlenmiştir. Isı iletkenliği oldukça kötüdür ve zemin ve agreganın tersine daha iyi ısı yalıtıcıdır. Lastik kauçuklar, sırasıyla güneş ışığı ve kimyasal bozunma direncini geliştirmek için karbon siyahı, antioksidan ve ultraviyole dengeleyici içerirler. Bu özellikler parça boyutundan bağımsızdır. Bütün lastiklerin mukavemeti, çelik sargılarla ve kumaşlarla (naylon ve polyester) takviye edilmiştir. Fakat çelik sargı ve kumaşın küçük parçalara ayrılan lastiklerden sıyrılması nedeniyle bu ek dayanım azalmaktadır. Yollar ile temastaki lastiklerin uzun ömürleri aşınma dayanımlarına bir örnek teşkil etmektedir. Lastikler hafif şoklardan kolayca etkilenmezler fakat keskin malzemeler tarafından kolayca kesilebilir veya patlatılabilirler. Lastiklerin ısı yalıtkanlığı parça boyutuna, takviye çelik içeriğine, sıkıştırma oranına, nem içeriğine, çevre sıcaklığına ve diğer değişkenlere bağlıdır. Örneğin, nem içeriği %1'den daha az ve 1 mm boyutundaki parçacıkların ısı geçirgenliği 0.0838 Cal/metre-saat-°C iken nem içeriği %5 ve 25 mm boyutundaki parçacıkların ısı geçirgenliği 0.147 Cal/metre-saat-°C olmaktadır. Lastik kauçukların ses geçirgenliğinin zayıf olması nedeniyle ses yutucu olarak kullanılabilirler. Lastik kauçukların karayollarında ses bariyeri olarak kullanılması buna bir örnek teşkil etmektedir. Lastik

parçacıklarının sıkıştırılabilirliği, lastiklerin titreşimleri soğurmasına imkân tanır. Lastik parçacıklarının deprem titreşim kontrolü olarak kullanımı hakkındaki çalışmalar sürmektedir. Lastik kauçuklar, mimari amaçlarla kullanılan ağaç, kâğıt, köpük ve kumaş gibi bazı yapı malzemelerinden daha yüksek bir sıcaklıkta (yaklaşık 306 °C) yanmaya başlamaktadırlar (Emiroğlu, 2006; Siddique ve Naik, 2004; CIWMB, 1992).

3. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON (KYB)

İşlenebilme terimi taze betonun özelliklerini tanımlamaktadır. Betonun performansı, şekil ve yüzey düzgünlüğü, dayanım, deformasyon, boyutsal stabilite, geçirgenlik ve durabilite ile açıklanmaktadır. Tüm bu özellikler taze betonun performansından etkilenmektedir. İyi bir beton, taşınabilme kapasitesine sahip olmalıdır ve el arabası, damperli kamyon, mikser, taşıyıcı bant, pompa ve tremi gibi metotların biri ya da bir kaçı ile yerleştirilebilmelidir (Tattersall, 1991).

Bunun yanında kalıp içerisinde tüm köşelere, sık donatılı ve biçimsiz kalıp köşelerine dahi yerleşebilmelidir. Ayrıca iyi bir betondan istenen özelliklerden biri de, sertleşmiş betonun maksimum dayanım ve dayanıklılığa erişmesi için bünyesindeki havayı çıkararak doğru bir şekilde sıkışabilmesidir. Beton içerisinde %5 hava miktarı dayanımda yaklaşık %30 azalmaya ve %10'luk bir hava miktarı ise dayanımda yarıdan fazla bir azalmaya neden olmaktadır. Sıkıştırma işlemi bazen elle yapılmaktadır ancak normal uygulamada vibratörler kullanılmaktadır. Prefabrike beton üretiminde ise sıkıştırma işlemi için, hidrolik basınç ya da püskürtme (extrusion) yöntemleri kullanılmaktadır. Düzgün bir beton yüzeyi elde etme, peteğimsi deliklerin ya da hava kabarcığından kaynaklanan delikler vb. yüzey kusurlarının bulunmaması taze betondan beklenen özelliklerden biridir. İşlenebilir bir beton tüm bu özellikleri bünyesinde bulundurmalıdır. Betonun işlenebilirliğini artırmak için basit olarak karışımın su içeriği artırılabilir fakat bu durumda segregasyon ve/veya su kuma meydana gelerek betonun homojenliği azalır ve su/çimento oranı gerekli dayanımın sağlanamayacağı bir seviyeye ulaşmış olur (Tattersall, 1991).

Diğer taraftan betonun işlenebilirliği hem su içeriğinin hem de çimento içeriğinin artırılması ile artmaktadır. Bu durumda, yüksek su/çimento oranından kaynaklanan yüksek maliyet, yüksek hidrasyon ısısı, büzülme ve sünme gibi problemler ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle karışım dizaynı ve taze beton özellikleri arasında dengeli bir uyuma ihtiyaç duyulmaktadır. Temel hedef minimum çimento içeriği ile en ekonomik ve yukarıda listelenen özellikleri sergileyen mümkün olduğunca işlenebilir bir beton elde etmektir (Tattersall, 1991).

Dayanıklı beton üretimi, kalifiye işçiler tarafından iyi bir sıkıştırma ile mümkün olmaktadır. Fakat inşaat sektöründeki kalifiye işçi sayısındaki azalma yapı işlerindeki kalitenin de benzer şekilde azalmasına sebep olmuştur. KYB ilk olarak 1986 yılında

Okamura tarafından geliştirilmiştir. Daha sonra Tokyo Üniversitesinde Ozawa ve Maekawa tarafından KYB'nin işlenebilirliği üzerine çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. 1988 yılında KYB'nin ilk prototipi tamamlanmış ve satışa hazır hale getirilmiştir. İlk başlarda "Yüksek Performanslı Beton" olarak adlandırılan bu beton taze halde kendiliğinden sıkışabilme özelliğine sahipti. Ayrıca, erken yaşlarda daha az kusurlu ve sertleştikten sonra dış etkilere karşı dayanıklı olarak tarif edilmekteydi. Ayrıca üretilen beton, düşük su/çimento oranı sayesinde yüksek durabilite özelliği ile öne çıkmaktaydı. Bu nedenle "Yüksek Performanslı Beton" tanımı yerini zaman içerisinde "Yüksek Dayanıklı Beton" terimine bırakmıştır. Daha sonra araştırmacılar üretilen betonun adını değiştirerek "Kendiliğinden Sıkışan Yüksek Performanslı Beton" olarak adlandırmışlardır. Günümüzde "Kendiliğinden Yerleşen Beton" olarak adlandırılan bu yüksek performanslı beton oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Okamura ve Ouchi, 2003).

Taze haldeyken, kendiliğinden sıkışabilen, erken yaşlarda daha az kusurlu ve sertleştikten sonra da dış etkilere karşı geleneksel betona nazaran oldukça dayanıklı olan yüksek performanslı betona Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) denmektedir. 80'li yılların ortalarına doğru ilk olarak Japonya'da reçeteleri hazırlanmaya başlayan KYB'nin ortaya çıkış nedeni kalifiye işçilikte karşılaşılan sorunlar ve betonun durabilite problemidir (Okamura ve Ouchi, 2003). KYB kendi ağırlığının etkisiyle akabilen, içinde sık ve yoğun donatı ağı bulunan bir kalıba dahi vibrasyona ihtiyaç duymadan yayılan, kalıbı tamamen dolduran ve bu esnada homojen yapısı bozulmayan betondur (Özkul, 2002; EFNARC, 2005). KYB kendiliğinden yerleşme yeteneği sayesinde, inşaat çalışmalarının kalitesinden bağımsız olarak dayanıklı beton yapılar yapmayı mümkün kılar. Geleneksel betona oranla daha fazla çimento, kimyasal katkı ve taş unu gerektirdiği için KYB'nin ilk maliyeti oldukça yüksektir. Ancak vibratör kullanımını ortadan kaldırması ve yüksek basınç dayanımı ve dayanıklılığa sahip olması makro ölçekte KYB'yi ekonomik bir uygulama yapmaktadır (Yanar, 2007). KYB kullanımının, inşaat hızını artırması, işçi sayısını azaltması, taze betonun kalıba daha kolay yerleşmesini sağlaması, taşıyıcı eleman dayanıklılığını artırması, betonarme elemanın şekil ve boyut tasarımında serbestlik sağlaması ve vibratör kullanımı gerektirmemesi ayrıca şantiyelerde titreşim ve gürültü kirliliğini azaltması gibi avantajları vardır (Walraven, 1999).

1970'li yıllardan itibaren akışkanlaştırıcı katkıları yoğun olarak betonun bünyesine girmeye başlamış ve kullanım oranı arttıkça yeni türler üretilerek sürekli bir gelişme kaydedilmiştir. Akışkanlaştırıcı kimyasallar ilk zamanlarda genellikle, sabit işlenebilirlikte

su kesme amacıyla kullanılmaktaydı. Ancak günümüzde yüksek işlenebilirliğe sahip KYB uygulamalarında işlenebilirliği artırmak amacıyla kullanılmaktadırlar (Türkel ve Felekoğlu, 2004). Polikarboksilat eter esaslı süperakışkanlaştırıcıların geliştirilmesi ile KYB özelliğinin temelini oluşturan düşük su/bağlayıcı oranında yüksek işlenebilirlikte beton üretiminin mümkün olması ile KYB üretiminde büyük gelişme sağlanmıştır. Yeni nesil süperakışkanlaştırıcı olarak adlandırılan bu katkılar geleneksel süperakışkanlaştırıcıların elektrostatik etkisinin yanında uzun polimer zincirleri ile sterik etki de yaratarak çimento tanelerini birbirinden ayırıp betonda işlenebilirliği arttırmaktadır (Walraven, 2002; Gaimster ve Dixon, 2004). KYB’lerde yüksek işlenebilirlik süperakışkanlaştırıcılarla sağlanırken ayrılmaya (segregasyona) karşı direnç sağlamak ve betonun kararlılığını (stabilitesini) korumak amacıyla viskozite arttırıcı katkı kullanımı ve/veya ince malzeme miktarının arttırılması uygulanan yöntemler arasındadır (Özkul, 2002; Walraven, 2002; Ramyar, 2007).

Harcın kolayca karılması, taşınabilmesi, kalıba yerleştirilmesi ve bütün bunlara ek olarak ayrışma direncinin yüksek olması taze betondan beklenen özellikler arasındadır. Bu özellikler KYB’nin geliştirilmesi ile çözülmüş durumdadır. Sertleşmiş haldeki betondan beklenen performans ise yerine, zamana, ortam şartlarına, proje, kullanım amacı gibi parametrelere göre değişiklik arz etmektedir (Gönen, 2009).

KYB’nin bilinen sık donatı aralıklarında dahi kendi ağırlığı ile vibrasyon gerektirmeksizin yerleşmesi, vibrasyon gerekmediği için gürültüyü azaltması, kalıba yerleştirmeyi ve taşımayı kolaylaştırması nedeniyle ekonomik oluşu, kalıp titreşim ekipmanlarını ortadan kaldırması, poroziteyi azaltması nedeniyle yüksek dayanıma sahip olması gibi avantajları sıralanabilir (Safiuddin 2008).

3.1. KYB’lerde Karışıma Giren Malzemeler ve Karışım Oranları

EFNARC (2005)’e göre KYB üretiminde kullanılacak malzemeler tıpkı geleneksel vibrasyon uygulanan betonlarda olduğu gibi TS EN-206-1 standardına uygun olmalıdır (EFNARC, 2005). KYB geleneksel betona göre birçok yeniliği bünyesinde bulundurmasına rağmen malzeme seçimi ve üretim aşamasında oldukça titizlik isteyen bir uygulamadır. Bu nedenle çalışmanın bu bölümünde KYB üretiminde kullanılan malzemeler ve karışım oranları hakkında özet bilgi verilecektir.

3.2. Çimento

Çimento terimi oldukça genel bir terim olmakla birlikte yapıştırma, bir arada tutma gibi anlamlara sahiptir. Çimento inşaat endüstrisinde çok yaygın kullanıma sahiptir ancak geleneksel olarak üretilen betonlarda kullanılan çimento Portland çimentosudur ve bu çalışmada Portland çimentosu terimi yerine yalnızca çimento kullanılacaktır.

TS EN 197-1'e göre çimento, su ile karıştırıldığında hidratasyon reaksiyonları ve prosesler nedeniyle priz alan ve sertleşen bir hamur (pasta) oluşturan ve sertleşme sonrası suyun altında bile dayanımını ve kararlılığını koruyan, inorganik ve ince öğütülmüş hidrolik bağlayıcıdır (TS EN 197-1, 2002). ASTM C-219'da ise çimento için, "içerisinde özellikle hidrolik kalsiyum silikat ve genellikle de bir veya birden çok miktarda kalsiyum sülfat içeren klinkerin öğütülmesiyle elde edilmektedir" tanımı yapılmaktadır (ASTM C-219, 2004).

TS EN-197-1'e uygun tüm çimentoların KYB üretiminde kullanılabileceği bilinmektedir. Ayrıca çimento seçimi için en doğru yöntem ya her uygulamanın özel ihtiyacına uygun ya da bunun yerine üretici firmanın güncel olarak kullandığı çimento tipinin seçilmesidir (EFNARC, 2005). Yine çimento seçiminde dayanım ve dayanıklılık önemli bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır (EFNARC, 2005). Yapılan birçok çalışmada en çok tercih edilen çimento türü CEM I (42.5 ya da 52.5) tipi çimentolar olmaktadır (Güneyisi ve Gesoğlu, 2008; Domone, 2007; Persson, 2004; Gönen ve Yazıcıoğlu, 2010; Subaşı ve Emiroğlu, 2008; Emiroğlu vd., 2011).

3.3. İnert, Pozolanik ve Hidrolik Katkılar

KYB'nin taze haldeki gereksinimlerini karşılamak amacıyla, inert, pozolanik/hidrolik katkılar kohezyon ve segregasyon direncini korumak ve geliştirmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu katkılar su ile reaksiyona girme kapasitelerine göre sınıflandırılırlar. İnert ya da yarı inert olan kireçtaşı, dolomit gibi mineraller ve pigmentler I. Tip sınıflandırmaya tabidirler. II. Tip sınıflandırmada ise; uçucu kül, silis dumanı gibi pozolanik ve yüksek fırın cürufu gibi hidrolik bağlayıcılar yer almaktadır (EFNARC, 2005).

Mineral ve pozolanik katkılar TS EN 450, EN 13263, ASTM C618, C989 ve C1240 standartlarına uygun olmalıdırlar (TR-6-03, 2003). Tüm bu mineral katkılar, işlenebilirliği

artırma, dayanımı geliştirme, geçirgenliği azaltmak ve çiçeklenmeyi önlemek amacıyla KYB karışımlarında kullanılmaktadırlar (TR-6-03, 2003).

Mineral katkıların tane dağılımları, yüzey şekilleri ve su emme oranları, karışımın su ihtiyacını etkileyebilmektedir. Kalsiyum karbonat esaslı mineral bağlayıcılar karışıma mükemmel reolojik özellikler kazandırmakta olduklarından KYB içerisinde en yaygın kullanılan katkılardandır. KYB karışımlarında mineral katkıların kullanılabilmesi için en uygun seçim 0.125 mm'den daha ince ve 63 mikronluk elek fraksiyonu %70'den büyük olmalıdır (EFNARC, 2005). Uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu, pirinç kabuğu külü, metakaolin, doğal puzolanlar, öğütülmüş cam, ince filler malzemeler araştırmacıların üzerinde yoğunlaştıkları mineral katkılar arasındadır (Safiuddin, 2008; Ahmadi vd., 2007; Subaşı ve Emiroğlu, 2008; Ulucan vd., 2008; Emiroğlu vd., 2011; Petit, ve Wirquin, 2010).

Mineral katkılar ince öğütülmüş ve beton içerisinde genellikle toplam bağlayıcı oranının kütlece %20-%70 gibi yüksek miktarlarda kullanılan silisli malzemelerdir. Her ne kadar dünyanın bazı bölgelerinde ham ya da bazı ısıtma işlemlerinden geçmiş doğal puzolanlar (ham veya ısıtma işlem görmüş volkanik topraklar, tuf, tras, kil, şeyl vb.) kullanılmakta ise de ekonomik ve çevresel etkenler nedeniyle birçok sanayi yan ürünü (uçucu kül, cüruf, silis dumanı, pirinç kabuğu külü vb.) beton içerisinde mineral katkı olarak birincil kaynak haline gelmiştir (Mehta ve Monteiro 2006; Ramachandran, 1995).

Puzolanlar, kendi başlarına ya çok az ya da hiç bağlayıcılık özelliği olmayan ancak ince öğütüldüğünde ve nemli ortamlarda normal sıcaklıklar altında kalsiyum hidroksit ile kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği kazanan silisli veya silisli ve alüminli malzemelerdir. (ACI 116R-00, 2000).

Beton içerisinde mineral katkı kullanımı ile aşağıda sıralanan amaçlardan biri veya birden fazlasına ulaşabilmek mümkün olmaktadır (Erdoğan, 2003).

- Taze betonun işlenebilirliğini artırmak,
- Betonun, terleme ve segregasyonunu azaltmak, hidrasyon ısını azaltmak, alkali-silika reaksiyonu nedeniyle oluşacak genleşmeyi azaltmak, su geçirgenliği azaltmak, nihai dayanımı azaltmak ve sülfatlara karşı dayanımı azaltmak gibi betonun bir veya birden fazla özelliğini geliştirmek,
- Daha ekonomik bir beton elde etmek.

3.3.1. Uçucu Kül

Termik santrallerin en önemli atık maddesi, toz linyit kömürün yanması ile meydana gelen ve baca gazlarıyla sürüklenen çok ince kül parçacıklarıdır. Uçucu küller elektrostatik yöntemle elektrofilitrelerde ve siklonlarda yakalanmakta böylece baca gazlarıyla atmosfere çıkışı önlenmektedir (Şimşek, 2007). Uçucu kül parçacıkları küresel ve yüksek inceliğe sahiptir. Uçucu küllerin büyük çoğunluğu 1 µm ile 100 µm arasında çapa sahiptirler ve Blaine metodu kullanılarak elde edilen özgül yüzey değerleri 2500-6000 cm²/g civarındadır (Neville, 2002).

Yaklaşık çimento inceliğinde olan uçucu küller, yanma bölgesinden çabucak uzaklaştığı için aniden soğurlar ve puzolanik aktivite kazanırlar. Bütün uçucu küller yeterli derecede puzolanik aktivite göstermeyebilirler. Puzolan olarak kullanılacak uçucu külün ASTM C618'e uygun olması gerekmektedir. Hem puzolanik özelliği hem de inceliği nedeniyle uçucu küller beton içerisinde doğrudan da kullanılmaktadırlar. Çok ince uçucu kül parçacıkları beton boşluklarını doldurur ve beton permeabilitesini azaltır. Ancak çimento yerine uçucu kül ikame edilerek elde edilen betonların başlangıç mukavemetleri oldukça düşüktür. Buna karşılık nihai mukavemette artışlar gözlenmektedir (Yalçın ve Gürü, 2006).

Uçucu küllerin yapılarının büyük bir bölümü (%60-90'ı) amorf durumda geriye kalan kısmı ise kuvars, magnetit ve hematit gibi kristallerden oluşmaktadır. Ağırlıklarının %5'i (hacminin %20'si) içi boş (nitrojen ve karbondioksitle dolu) parçacıklardan oluşmaktadır. Renkleri açık griye koyu griye uzanmakta olan uçucu küllerin yoğunlukları 2.1-2.7 gr/cm³ civarındadır. Silisli ve alüminli amorf yapıya sahip olduklarından uçucu küller kalsiyum hidroksitle sulu ortamda birleştiklerinde, hidrolik bağlayıcılığa sahip olmaktadır. Genellikle beton katkısı olarak çok büyük miktarlarda kullanılabilen uçucu küller beton içerisinde çimento ağırlığının %15-%50'si civarında kullanılmaktadırlar (Erdoğan, 2003).

3.3.2. Granüle Yüksek Fırın Cürufu

Metalürjik işlemlerden kaynaklanan atıkların büyük bir bölümünü cüruflar oluşturmaktadır. Yüksek fırın cürufu en çok araştırılan ve çimento ve beton üretiminden etkili olan malzemelerden biridir. Yüksek fırın cürufunun temel bileşenleri mineral

çimentolarda bulunan CaO , SiO_2 , Al_2O_3 ve MgO gibi oksitlerdir. Yüksek fırın cürufu, demir üretiminin bir yan ürünüdür (Chandra, 1997). Cüruf su ile hızlı olarak soğutulacak olursa, granüle camsı bir yapı kazanır. Granüle yüksek fırın cürufunun puzolanik özelliği camsı yapısı yanı sıra kimyasal bileşimine de bağlıdır. Genel olarak, cürufun alkalinitesi ne kadar yüksek ise, hidrolik özelliğinin de o kadar iyi olduğu kabul edilir. Granüle yüksek fırın cürufunun puzolanik özelliği belirli bir sınır değere kadar CaO/SiO_2 oranı ile artmaktadır. Ancak CaO miktarının çok yüksek olması durumunda ise granülasyon güçleşeceğinden puzolanik özellikte azalma meydana gelmektedir (Yalçın ve Gürü, 2006).

Hidrolik bir bağlayıcı olan cürufun başlıca hidratasyon ürünü çimentoda olduğu gibi kalsiyum silika hidratlardır (CSH). Cüruf tek başına çimentodan daha yavaş hidrate olur ancak hidratasyon uzun bir süre devam eder. Cürufllu çimento kullanımının betonun plastik özellikleri üzerinde bazı etkileri bulunmaktadır. Su ihtiyacının azalması, işlenebilirliğin artması, konsolidasyonun geliştirilmesi ve pompalanabilirlikte artış vb. cürufllu çimento kullanımının betonun plastik özellikleri üzerine etkileri arasındadır. Ayrıca genel olarak cürufllu çimentoların betonun nihai dayanımı (hem basınç hem de eğilme-çekme dayanımı) üzerinde olumlu etkileri bulunmaktadır (Lamond ve Pielert, 2006).

3.3.3. Silis Dumanı

Elektronik endüstrisinde yarı iletkenlerin üretiminde kullanılan saf silisyum veya onun alaşımlarının elektrik ark fırınlarında yüksek sıcaklıkta ısıtılması sonucu elde edilirler. Yüksek sıcaklığın etkisi ile amorf SiO_2 'ye dönüşen silis, baca külü olarak açığa çıkmaktadır (Şimşek, 2007). Silis dumanının kimyasal bileşiminde en az % 85 SiO_2 bulunur. Bunun dışında en önemli bileşeni karbondur ve %6'dan fazla olması istenmez. Silis dumanının, puzolanik aktivitesinin yüksek oluşu nedeniyle bilinen en üstün özellikteki puzolandır. Özgül yüzey değeri oldukça fazla ($>200.000 \text{ cm}^2/\text{gr}$) olduğu için betonun su ihtiyacını artırmaktadır. Silis dumanı kullanımı ile beton permeabilitesi belirgin bir biçimde azalmaktadır. Betonun sülfat korozyonuna dayanıklılığı artmakta ve alkali-agrega reaksiyonunun zararlı etkileri azalmaktadır. Ayrıca belirli sınırlar içerisinde silis dumanı katkısı ile beton basınç dayanımında da olumlu etkiler gözlenmektedir (Yalçın ve Gürü, 2006).

Silis dumanı son zamanlarda beton içerisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yaygın kullanımın silis dumanını yalnızca yüksek puzolanik özelliğinden

kaynaklanmamaktadır. Genel kullanımı %6-10 civarında silis dumanının çimento ile ağırlıkça yer değiştirilmesi suretiyle olmaktadır. Çok ince taneli olması ve çok yüksek miktarda SiO₂ içermesi nedeniyle gerek ilk zamanlarda gerekse nihai olarak oldukça yüksek dayanımlı betonların elde edilmesinde kullanılmaktadır. Yine silis dumanının çok ince tanelerden oluşmuş olması, taze betonun kıvamını ve işlenebilirliğini azaltmakta, su ihtiyacını artırmaktadır. Bu nedenle, yüksek dayanımlı beton üretimi için katkı maddesi olarak silis dumanı kullanıldığında su azaltıcı katkı maddesi de kullanılmaktadır (Erdoğan, 2003).

Silis dumanı kullanımı ile beton özelliklerinde yüksek basınç dayanımı, düşük terleme ve ayrışma, düşük hidratasyon ısısı, sertleşmiş betonda geçirimsizlik, alkali-silika reaksiyonunda azalma ve sülfatlara karşı yüksek dayanıklılık gibi iyileşmeler gözlemlenmektedir. Bunun yanında silis dumanı kullanımı ile betonda, yüksek su ihtiyacı, terlemeyi azaltması nedeniyle beton yüzeyi düzeltilmesinde zorluklar, plastik büzülme çatlağı miktarında artış ve daha koyu renkli beton elde edilmesi gibi olumsuz etkiler de gözlemlenmektedir (Erdoğan, 2003).

3.4. Agregalar

Doğal ya da yapay yollarla granüler hale getirilmiş kaya parçacıkları olan agregalar, kum, çakıl ya da kırmataş gibi isimler almaktadır. Altyapı ve üstyapıda birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılması nedeniyle agrega endüstrisi oldukça büyük bir endüstridir. Agregayı yakından tanımak onun teknolojik özelliklerini iyi bilmek yüksek kalitede beton üretimi için oldukça önemlidir. Bu amaçla, bu bölümde agregalar hakkında açıklayıcı bilgiler verilecektir.

Beton hacminin yaklaşık %70-%80'ini oluşturması nedeniyle agregaların kalitesi beton üretiminde oldukça önemlidir (Mindness ve Young, 1981). Agreganın beton içerisinde bu kadar yüksek miktarda kullanılmasının temel nedenlerinden biri çimentoya göre oldukça ekonomik olmasıdır. Bunun yanında, agrega kullanımı ile betonda yüksek hacim sabitliği ve yalnızca çimento kullanımına oranla daha yüksek dayanıklılık gibi teknik avantajları da agreganın beton üretiminde tercih edilmesinin nedenlerindendir (Erdoğan, 2003; Neville, 2002). Ayrıca, agrega üretiminde birim m³ beton başına 20 kWh elektrik enerjisi tüketilirken aynı büyüklük, çimento üretiminde kullanılan dozaja bağlı olarak 330-660 kWh değerindedir. Dolayısıyla agregalar, betonun ana bileşeni olan çimentoya kıyasla çok

daha ucuz bir yapı malzemesidir. Agregalar bu özelliği ile 21. Yüzyılda da beton teknolojisinin vazgeçilmez malzemesi olma niteliğini koruyacaktır (Arioğlu vd., 2006).

Agregaların, genel olarak beton içerisinde, çimento hamuru tarafından doldurulacak boşlukları azaltması ve betonu rijit bir iskelet yapıda tutması gibi iki temel fonksiyonu bulunmaktadır (Dewar ve Anderson, 2004). Beton içerisinde kullanılacak agregalar dayanıklı, sağlam, inert (kimyasal olarak aktif olmayan), yüzey şekli ve tane dağılımı olarak kullanıma uygun olmalıdırlar. Agregalar kaynağına ve tipine bağlı olarak doğal ya da yapay olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar. Doğal agregalar, dünyada şimdiye kadar en yaygın kullanılan kaynaklardandır. Ancak geri kazanılmış kırma agregalar ve fırın cürufu ile genleştirilmiş kil, şist, perlit gibi fabrikasyon yapay agregalar da sınırlı ölçülerde kullanılmaktadırlar (Newman ve Choo, 2003).

Genel olarak agregalardan beton içerisinde şu işlevleri yerine getirmesi beklenmektedir;

- Betonun dış mekanik zorlamalara karşı koymasını sağlayacak taşıyıcı bir iskelet oluşturması,
- Betonun kompazitesini (doluluk oranı) yükseltmesi,
- Sahip olduğu rijitlik ve yüksek hacimsel sabitliği nedeniyle kuruma büzülmesi olayını önemli ölçüde azaltması ve
- Betonun aşınmaya maruz kalacağı kullanım alanlarında agregaların aşınmaya karşı dayanıklı olmaları gerekmektedir (Arioğlu vd., 2006).

Agregaların en temel özelliklerinden biri tane dağılımıdır (granülometri ya da gradasyon). Agregalar yığını içerisinde değişik büyüklüklerde agregalar bulunmaktadır. Granülometri ile tanelerin yığın içerisindeki oranları belirlenmiş olur. Tane boyu (D) ile gösterilir ve en büyük tane boyu maksimum agregalar çapı olarak adlandırılır (D_{max}) (Güner, 1999). Çimento hamuru, beton karışımında yer alan agregalar tanelerinin yüzeyini kaplamakta ve aralarındaki boşlukları doldurmaktadır. İyi bir gradasyona sahip ve yoğunluğu yüksek agregalarla üretilen beton, hem yüksek dayanıma sahip hem de daha ekonomik olacaktır. Bu nedenle gradasyon beton karışım tasarımı açısından önemlidir.

Agregalar granülometrisi elek analizi sonucunda elde edilmektedir. Temel amaç en büyük göz açıklığına sahip elek en üstte olacak şekilde, küçükten büyüğe sıralanmış kare göz açıklıklı standart eleklerden geçen malzeme miktarlarını yüzde olarak belirlemektir (Erdoğan, 2003). Elde edilen sonuçlar yatay ekseni logaritmik ölçeğe sahip olup elek çaplarını ve düşey ekseni de elekten geçen yüzde miktarlarını ifade eden eğrilerle gösterilir

(Neville, 2002). Bu eğriler standartların vermiş olduğu sınır değerlerle karşılaştırılır ve beton için uygun olup olmadıklarına karar verilir.

Genel olarak beton içerisinde kullanılabilecek bir agregadan beklenen temel özellikler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

- Sert, sağlam, aşınmaya dayanıklı, su etkisiyle yumuşamayan ve dağılmayan, donmaya karşı dayanıklı olmalıdır,
- Çimento bileşenleriyle zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir,
- Tane büyüklükleri ve dağılımı kullanım amacına uygun olmalıdır,
- Agregaların şekilleri ve yüzey dokusu iyi olmalıdır,
- Çakıllarda ana kaya az boşluklu olmalıdır,

Çakıllarda yabancı madde oranı olarak, toprak %5, kömür %1, kil; iri agregalarda %0.25, ince agregalarda %5, silt ise, %1'den fazla olmamalıdır (Güner 1999).

Kullanım amacına uygun olarak normal ve hafif agregalar kendiliğinden yerleşen beton içerisinde kullanılabilmektedirler. Agregaların şekil ve tane dağılımları betonun doluluk ve boşluk oranını etkilediklerinden oldukça önemlidir. KYB'lerde, tane dağılımında 0.125 mm'nin altındaki malzemelerin filler malzemedan sayıldığı unutulmamalıdır (EFNARC, 2005). KYB içerisinde kullanılacak agreganın maksimum dane çapı 12-20 mm arasında olmalıdır. Ayrıca KYB karışımlarında ince agrega miktarı iri agrega miktarına oranla daha fazla olmaktadır (ağırlıkça ince agrega/toplam agrega oranının %48-55 arasında olması gerektiği tavsiye edilmektedir). KYB'lerde kullanılacak agregaların EN 12620'ye uygun olması gerekmektedir (EFNARC, 2005).

3.5. Su

Betonda kullanılan su, karışım suyu, kür suyu ve yıkama suyu olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Bu nedenle, kullanım amacına uygun olarak karışım suyunun kalitesi de değişiklik göstermektedir (Popovics, 1992). KYB'lerde kullanılacak suların karakteristik özellikleri açısından geleneksel betonlarda kullanılan sulardan farklılık göstermemektedir. Her iki beton türü için su açısından tek farklılık karışımdan kullanılacak suyun miktarıdır. KYB'de kullanılacak suyun 200 litre/m³'ten fazla olmaması tavsiye edilmektedir (EFNARC, 2005).

Karışım suyunun beton için iki temel özelliği bulunmaktadır. Bunlar; çimento ile birleşerek hidrasyonun oluşmasını sağlamak ve beton karılma işlemi esnasında agrega ve çimento tanelerinin yüzeyini ıslatarak işlenebilirliği sağlamaktır (Erdoğan, 2003). Fazla kirli olmayan herhangi bir su betonda karışım suyu olarak kullanılabilir. Çimentonun bileşiminde yeterince kireç bulunduğundan karışım suyunun kalsiyum iyonuna bağlı sertliği önemsizdir. Ayrıca bünyesinde aşırı miktarda CO_2 bulunan sular da karışım suyu olarak kullanılabilir. Bu durumda dikkat edilmesi gereken husus CO_2 ihtiva eden suların betonarme donatısını korozyona uğratmamasıdır. Betonda karışım suyu kullanırken en fazla dikkat edilmesi gereken husus SO_4^- iyonlarının varlığıdır. Bu iyonlar daha ziyade $MgSO_4$ şeklinde mevcut olup %1'den fazla $MgSO_4$ ihtiva eden sular karışım suyu olarak kullanılmamalıdır. Tüm bunların dışında, %3'ten fazla NaCl içeren sular da beton dayanımına etki etmesi nedeniyle karışım suyu olarak kullanılmamalıdır (Güner, 1999).

Genel olarak çimento hidrasyonu için kendi ağırlığının 1/4-1/3'ü arasında suya ihtiyaç duymaktadır. Karışım suyu olarak geriye işlenebilirliği sağlamak amacıyla, agregaların yüzeylerini ıslatacak kadar suya ihtiyaç duyulmaktadır. Suyun bu miktardan az ya da fazla olması dayanımı etkilemektedir. Bu nedenle optimum su miktarının iyi ayarlanması gerekmektedir. Gerekenden daha az su kullanımı ile yeterli hidrasyon ve işlenebilme sağlanamamaktadır. Gerekenden daha fazla su kullanıldığı takdirde ise, betonun içerisindeki boşluklar artmakta, sertleşmiş betonun dayanımı ve dayanıklılığı azalmaktadır (Erdoğan, 2003).

Betondan istenilen dayanım ve dayanıklılığın elde edilebilmesi için, beton içerisinde yer alan su ile çimento arasındaki reaksiyonların (hidrasyon) engellenmemesi gerekmektedir. Bu nedenle, yerine yerleştirilmiş taze betonun içerisindeki suyun buharlaşarak azalmaması için, taze betona birkaç hafta süreyle çeşitli kür yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemler arasında en çok kullanılanı, beton yüzeyinin sulandığı veya ıslak bezlerle örtülü tutulduğu yöntemdir (Erdoğan 2003). Kür suyunun betonla münasebetinin kısa süreli olması nedeniyle, kür suyu için yapılacak sınıflandırma, karışım suyunda bahsedildiği kadar zor değildir. Bu nedenle kür suları karışım sularında olduğundan daha fazla miktarda sülfürik anhidrit, asitler, kloritler gibi organik ya da inorganik malzemeler içerebilirler. Ancak kür suyu olarak kullanılacak suyun içinde betonda zararlı kimyasal olaylara ve beton yüzeyinin lekelenmesine neden olabilecek yabancı maddelerin yer almaması gerekmektedir (Erdoğan, 2003; Popovics, 1992).

Karışım ve kür suyu dışında bir de yıkama suyu vardır. Yıkama suyu agrega üzerindeki zararlı maddelerin temizlenmesi ile karışım öncesi ve sonrası betonyerin yıkanmasında kullanılan sudur. Bu suyun içerisinde de betona zarar verecek yabancı maddelerin bulunmaması gerekmektedir (Erdoğan, 2003).

3.6. Kimyasal Katkılar

Genellikle su içerisinde eriyebilen kimyasal katkıları olarak bilinen bu katkıları 1920’li yılların ortasından itibaren beton teknolojisinde kullanılmaktadır. Ülkemizde son yıllarda hızla kullanılmaya başlanan beton kimyasallarının bilgisizce kullanımı kötü sonuçlara sebebiyet verebilmektedir. Bu nedenle kimyasal katkıların temel özelliklerinin iyi bilinip uygun miktarlarda kullanılması oldukça önemlidir. Bu amaçla çalışmanın bu bölümünde beton kimyasalları ile ilgili temel bilgiler verilecektir.

TS EN 934-2’deki tanıma göre beton kimyasal katkısı, betonun taze ve/veya sertleşmiş haldeki özelliklerini değiştirmek için karıştırma işlemi sırasında betona, çimento kütlesinin % 5’ini geçmemek üzere eklenen maddedir (TS EN 934-2, 2002).

Temel olarak beton kimyasalları 8 ana grup altına toplanabilirler (Yalçın ve Gürü, 2006).

- Beton karma suyunu azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkıları
- Süper akışkanlaştırıcı katkıları
- Hava sürükleyici katkıları
- Priz hızlandırıcı katkıları
- Priz geciktirici katkıları
- Beton permeabilitesini azaltıcı katkıları
- Priz hızlandırıcı/su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkıları
- Priz geciktirici/su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkıları

Beton teknolojisi hızlı bir şekilde gelişim göstermektedir. Beton teknolojisinde meydana gelen gelişmelerde en büyük yenilik kimyasal katkı teknolojisindeki buluşlardır. Özellikle hiperakışkanlaştırıcı ve yüksek oranda su azaltıcı katkıların geliştirilmesinden sonra üretilen betonlar çok düşük su/çimento oranlarında ve çok yüksek akışkanlıkla elde edilmeye başlanmıştır (Sağlık, 2005)

Kimyasal katkıların beton üzerinde, su ihtiyacını azaltması, işlenebilirliği artırması, prizi kontrol altına alması, sertleşmeyi hızlandırması, dayanımı geliştirmesi, dayanıklılığı artırması gibi birçok faydalı etkileri bulunmaktadır. Beton kimyasallarının etki mekanizmaları henüz tam olarak bilinmediklerinden dolayı genel olarak deneme yanılma yoluyla kullanılmaktadırlar (Ramachandran, 1995).

Bir kimyasal katkı beton içerisinde, mümkün olduğunca özel malzemelerle birlikte ve kullanım amacına uygun olarak değerlendirilmelidir. Bunun anlamı bir kimyasal katkı daha önce birlikte kullanılmamış malzemelerle birlikte kullanılmamalıdır. Birden çok kimyasal katkı birlikte kullanılabilir. Beton karıştırma ve yerleştirme işlemi esnasında ortam sıcaklığı genel olarak tavsiye edilen değerler içerisinde olmalıdır. Ayrıca unutulmamalıdır ki, kimyasal kullanımı ile çimento tipi, çimento miktarı, agrega gradasyonu ve karışım oranları değişebilmektedir. Birçok kimyasal katkı betonun birden fazla özelliğini etkilemektedir (ACI 212.3R-91, 1999).

KYB hazır beton teknolojisinden, prefabrike üretimine kadar çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Bu farklı kullanım alanlarından kaynaklı farklı gereksinimlerin tümünü karşılanması için, KYB'nin kalitesini belirleyen parametrelerin mükemmel bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Beton kimyasalları, slump yayılma, akışı muhafaza, akış hızı, segregasyon direnci (statik ve dinamik) ve dayanım gelişimi gibi KYB'nin kalitesini belirleyen parametrelerin kontrol altına alınması için kullanılmaktadır (Frunz vd., 2010).

Yüksek oranda su azaltıcı özelliğe sahip kimyasal katkıları genel olarak %15-%30 aralığında su miktarından azaltırken polikarboksilat eter esaslı katkılarda bu oran %40'ın üzerine de çıkmaktadır. Geleneksel beton 200-230 litre/m³ su içermektedirler. Bu suyun yaklaşık 80 litresi çimentonun hidratasyonu için gereklidir. Geriye kalan su karışımın yerleştirilmesi ve sıkıştırılması esnasında etkili bir işlenebilirlik için gereklidir. Taze betonun sertleşmesi sırasında bu fazladan 120-150 litre su (beton hacminin %12-15'i), kapiler gözenekler şeklinde boşluk olarak ortaya çıkmaktadır. Polikarboksilat eter esaslı süper akışkanlaştırıcıların geliştirilmesi KYB teknolojisinin gelişmesine katkıda bulunmuştur. Ancak, yalnızca kimyasal katkı kullanımı KYB üretimi için yeterli olmamış ve toz malzeme olarak adlandırılan mineral katkıların normal betonda olduğundan daha fazla kullanılması zorunlu olmuştur (Dransfield, 2009).

Toz malzeme kullanılmadığı zamanlarda, akışkanlığı önemli ölçüde değiştirmeden karışımın kohezyonunu modifiye eden viskozite ayarlayıcı katkıları (VAK) KYB

retiminde kullanılmaktadır. Ayrıca hava sürükleyici katkılar, KYB retiminde donma-zlmeye karşı direnci artırmak amacıyla kullanılabilmektedirler (EFNARC, 2005).

3.7. KYB Karışım Oranları

KYB retiminde genel olarak üç farklı yöntem kullanılmaktadır.

- Toz (Powder) Tip KYB: İri agrega içeriği sınırlandırılır ve bağlayıcı miktarı artırılarak elde edilir.

- VAK (Viskozite Ayarlayıcı Katkı) Tip KYB: Yüksek oranda sperakışkanlaştırmacı ile birlikte imento ve mineral bağlayıcı miktarını artırmaksızın elde edilir.

- Kombinasyon Tip KYB: Diğer iki tip karışım tasarımının birleşimiyle elde edilir (Safiuddin, 2008).

Toz tip KYB Avrupa lkelerinde katkılı çimentoların kolayca bulunabilmesi nedeniyle oldukça popülerdir. KYB'nin viskozitesi uçucu kül, cam tozu, kireç tozu, silis dumanı ve kuvars tozu gibi filler malzemeler ile sağlanmaktadır.

Viskozite Ayarlayıcı Katkılar (VAK) kendiliğinden yerleşen betonların reolojik özelliklerini ve kıvamını sağlamak amacıyla kullanılan, yüksek moleküler ağırlığa sahip, suda çözünebilen organik polimerlerdir (Nanthagopalan ve Santhanam, 2010). VAK tipi KYB, zellikle Kuzey Amerika'da bir çok reticinin VAK üretmesi nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Geleneksel betonla kıyaslanırsa, KYB'nin karışım tasarımı prensibi, daha düşük iri agrega içeriği, daha fazla pasta hacmi, düşük su/toz oranı, yüksek sperakışkanlaştırmacı miktarı ve bazen de VAK kullanımı ile farklılık göstermektedir.

KYB karışım tasarımı ile ilgili literatürde çeşitli sınır değerler olmakla birlikte çalışmalar yoğun biçimde devam etmektedir. KYB'nin sertleşmiş beton özellikleri yanında taze haldeyken akışkanlık parametrelerinin de önemi büyüktür. Temel olarak bir KYB karışımında taze haldeyken, doldurma kabiliyeti, geçebilme kabiliyeti ve ayrışmaya karşı direnç davranışları belirlenmektedir. KYB'nin taze haldeki özellikleri, çökme-yayılma, V-kutusu akış süresi, L-kutusu, U-kutusu, doldurma kutusu (kajima box), J-ringi, elek ayrışma deneyi, kolon segregasyon deneyleri ile tayin edilmektedir. Numune boyutları ve miktarı, donatı cinsi, yeri ve sargı düzeni, ekipman, yerleştirme yöntemi ve yüzey tamamlama işlemleri açısından iyi bir KYB karışımının EFNARC (2005) tarafından taze beton özellikleri açısından bazı sınır değerler arasında kalması önerilmiş (Tablo 3.1) aksi takdirde uygun olmayan sonuçların ortaya çıkabileceği belirtilmiştir (EFNARC, 2005).

Tablo 3.1. EFNARC 2005'e göre KYB karışımı için sınır değerler

Bileşen	Kütlece Sınır Değerler (kg/m ³)	Hacimce Sınır Değerler (litre/ m ³)
Toz	380-600	-
Pasta	-	300-380
Su	150-210	-
İri Agregat	750-1000	-
İnce Agregat (kum)	Genel olarak toplam agregat hacminin %48-55'i arasında.	
Hacimce Su/Toz Oranı	-	0.85-1.10

3.8. Akışkanlık Parametreleri İçin Test Yöntemleri

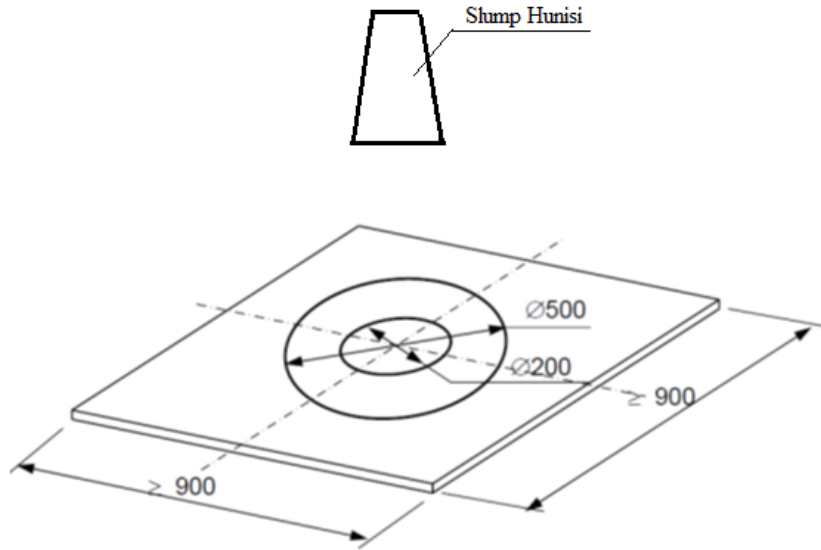
KYB'nin taze beton özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla çok farklı test metotları kullanılmaktadır. Genel olarak KYB'nin taze haldeki özellikleri işlenebilirlik açısından;

- **Doldurma Kabiliyeti:** KYB'nin kendi ağırlığı altında şeklini iyi bir şekilde koruması ve kalıp içerisindeki boşlukları doldurması anlamına gelmektedir. Doldurma kabiliyeti, hem betonun ne kadar aktığını hem de akış hızının ne olduğu ile ilgilidir. Bu özellik slump-yayılma ve Kajima kutusu testleri ile belirlenir.
- **Viskozite:** Betonun akmaya başladığı anda akmaya karşı göstermiş olduğu direnç olarak tanımlanmaktadır. T₅₀₀ slump-yayılma süresi, V-hunisi ve Orimet akma süreleri ile belirlenir.
- **Geçme Kabiliyeti:** L-kutusu, U-kutusu, J-ringi ve Kajima kutusu testleri ile belirlenir.
- **Segregasyon Direnci:** KYB'nin taze haldeyken homojenliğini koruması olarak tanımlanmaktadır. Karışıma giren malzemelerin homojen dağılıp dağılmaması ile ilgilidir. Normal olarak beton hareketsiz ortamlarda segregasyon göstermezler ancak hareketin olduğu durumlarda bunun tam tersi söz konusudur. Ayrıca, sık donatılı bölgelerde taze beton segregasyon riski taşımaktadır. KYB ne hareketli ne de sabit haldeyken, su kusma, çimento pastası/agrega segregasyonu, tıkanmaya neden olan iri agregat segregasyonu ve hava boşluğu dağılımında düzensizlik gibi segregasyon kusurlarından birine ya da birkaçına sahip olmamalıdır. KYB'de segregasyon direnci; penetrasyon, elek segregasyon ve kolon yerleşme oranı testleri ile belirlenir (Gurjar, 2004; EFNARC, 2005, Skarendahl ve Petersson, 2000).

KYB'nin akışkanlık parametrelerini ölçmek amacıyla kullanılan bazı deneyler aşağıdaki gibidir.

3.8.1. Slump-Yayılma Deneyi

KYB'nin akışkanlığını ölçen bu test geleneksel slump deneyine benzeyen oldukça basit bir deneydir (Kumar, 2006). Abrams hunisi kullanılarak yapılan deneyde taze beton sıkıştırmadan huni içerisine yerleştirilir ve huni yukarıya çekilerek betonun 500 mm çapa ulaştığı zaman (T_{500} , sn) kaydedilir (Şekil 3.1). Daha sonra karşılıklı olarak iki adet maksimum yayılma çapı (mm) kaydedilir (EFNARC, 2005).



Şekil 3.1. Slump-yayılma deney düzeneği (EFNARC, 2005)

EFNARC 2005 KYB'yi slump-yayılma çapına göre Tablo 3.2'de görüldüğü gibi üç ve viskozitesine göre ise Tablo 3.3'te görüldüğü gibi iki farklı sınıfa ayırmaktadır (EFNARC, 2005).

Tablo 3.2. Slump-Yayılma Sınıfları (EFNARC, 2005)

Sınıf	Slump-Yayılma Çapı (mm)
SF1	550-650
SF2	660-750
SF3	760-850

Tablo 3.3. KYB'nin Viskozite Sınıfları (EFNARC, 2005)

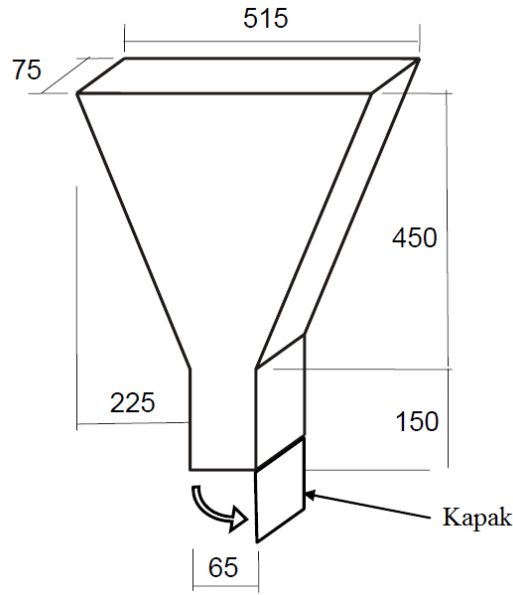
Sınıf	T_{500} (sn)	V-hunisi Akma Süresi (sn)
VS1/VF1	≤ 2	≤ 8
VS2/VF2	> 2	9-25

Betonun kendiliğinden yerleşebilirlik özelliği gösterip, doldurma yeteneğinin olması için yayılma değerinin en az 55 cm olması gerekmektedir. Bu değer büyük olması, doldurma yeteneğinin gittikçe artması manasına gelmektedir. Ancak yayılma değeri arttıkça segregasyon riskinin de artacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Betondaki segregasyon yaklaşık da olsa, yayılma sınır bölgesinde gözle tespit edilebilir. Betondaki fazla su bu bölgede birikecektir. T_{500} süresinin kısa olması, betonun doldurma yeteneği hakkında fikir verir ve taze betonun viskozitesi ile direkt ilişkilidir (Alyamaç, 2008).

Slump yayılma deneyinin avantajları olarak; kolay uygulanabilir ve bilindik bir deney olması, tekrarlanabilir olması, temel reolojik özellikler ile uyumlu olması, karışımın su içeriğine duyarlı olması, modifiye ekipman ile tek kişilik kullanıma müsait olması gibi özellikleri sayılabilir. Bunun yanında; 100x100 cm plakaya ihtiyaç duyulması, plakanın neminin sonuçları etkilemesi, sonuçların tek başına yeterli olmaması ve segregasyon ve viskozite için ek deneylere ihtiyaç duyulması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Bartos, 2005).

3.8.2. V-Hunisi Deneyi

KYB'nin viskozitesini ve doldurma kabiliyetini belirlemek amacıyla yapılan bu deneyde, V şekilli huni (Şekil 3.2) içerisine taze beton sıkıştırmaksızın yerleştirilir ve huni içerisinden betonun tamamen boşalması için gerekli süre kaydedilir. Maksimum agrega çapının 20 mm'den fazla olduğu karışımlar için bu deney uygun değildir ve yaklaşık 12 litre numune ile deney gerçekleştirilir (EFNARC, 2005). Beton ve harç için kullanılmak üzere farklı boyutlara sahip V-hunisi çeşitleri mevcuttur. V-hunisi akma süresi, karışımın viskozitesini belirlemede kullanılır ancak tek başına yeterli bir sonuç vermemektedir. Basit olarak, yüksek viskoziteye sahip karışımların V-hunisi akma süreleri yüksek iken, düşük viskoziteye sahip karışımlarınki ise düşüktür (Skarendahl ve Petersson, 2000).



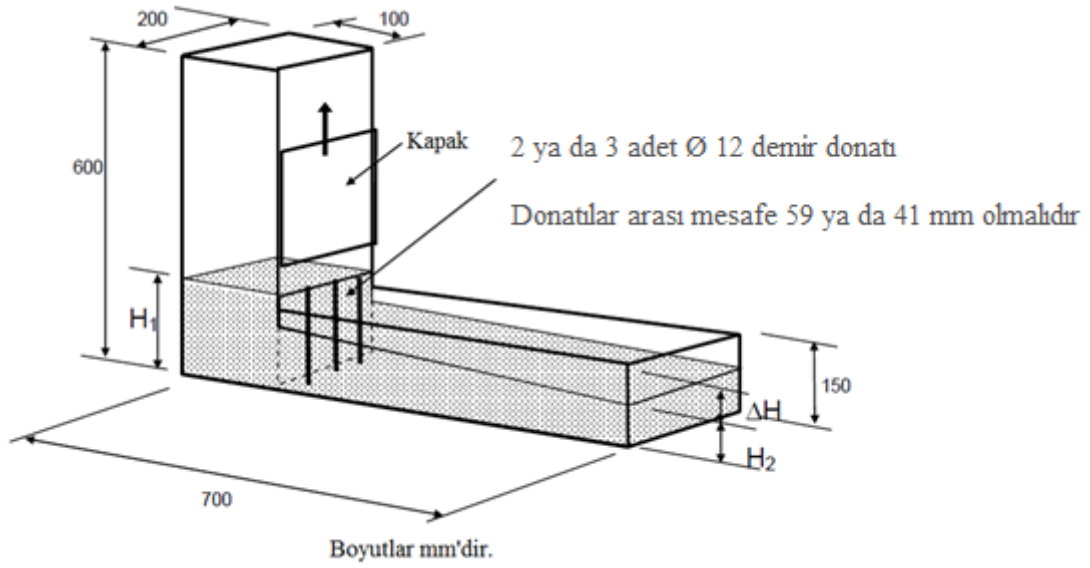
Şekil 3.2. V-Hunisi deney düzeneği (EFNARC, 2005)

EFNARC 2005 KYB'yi slump-yayılma çapına göre Tablo 3.3'te görüldüğü gibi iki farklı sınıfa ayırmaktadır (EFNARC, 2005).

V-hunisi deneyi için karışımın maksimum agrega çapının 25 mm'yi aşmaması gerekmektedir. Deney için yaklaşık 12 ile 15 litre civarında numune gerekmektedir. Bu deney için, viskozite ile arasındaki korelasyonun iyi olması ve tekrarlanabilir olması gibi avantajlar ile tek kişinin yapması için fiziksel zorlukların olması, büyük beton numunelerinin gerekmesi sonuçlar için pratik limitlerin oluşturulmasını zorluğu gibi dezavantajları sayılabilir (Bartos, 2005).

3.8.3. L-Kutusu Deneyi

KYB'nin donatılar arasından geçme kabiliyetini belirlemek amacıyla yapılan bu deneyde, L şekilli kutu (Şekil 3.3) içerisine sıkıştırma yapmadan taze beton yerleştirilir. Alttaki kapak açılarak betonun yerleşmesi beklenir ve yayılan betonun her iki ucu arasındaki beton yükseklikleri kaydedilir (H_1 , H_2) (EFNARC, 2005).



Şekil 3.3. L-kutusu deney düzeneği (EFNARC, 2005).

Seviye ölçümü yanı sıra, karışımın kapak açılmasından itibaren deney aletinin yatay kısmında bulunan 200 ve 400 mm'lik mesafelerden geçiş süreleri de kaydedilir (T_{200} , T_{400}). L-kutusu deneyi, su altı betonlarının akma kabiliyetlerini ölçmek amacıyla kullanılan ve engel olarak herhangi bir donatı içermeyen deney aletinden esinlenerek geliştirilmiştir. Uygulamada birden fazla L-kutusu versiyonu bulunmaktadır ve deney için yaklaşık 12 litre numune gerekmektedir. Deneyin; tekrar edilebilme, sadece deney aletinin sonunda yapılan yükseklik ölçümünün (H_2) yeterli olabilmesi, üretiminde farklı malzemeler kullanabilme ve slump yayılma deneyi ile iyi korelasyona sahip olma gibi avantajları vardır. Bunun yanında, yüksek slump yayılma değerine sahip karışımlarda hassasiyetini kaybetmesi, inşaat sahasında kullanım zorluğu (temizlik açısından) ve tek kişi ile çalışma zorluğu gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Bartos, 2005).

EFNARC 2005 KYB'yi slump-yayılma çapına göre Tablo 3.4'te görüldüğü gibi iki farklı sınıfa ayırmaktadır (EFNARC, 2005).

Tablo 3.4. KYB'nin L-kutusu Geçme Kabiliyeti Sınıfları (EFNARC, 2005)

Sınıf	Geçme Kabiliyeti
PA1	≥ 0.80 (2 donatı için)
PA2	≥ 0.80 (3 donatı için)

3.9. Taze ve Sertleşmiş Haldeki KYB Özellikleri

Taze beton reolojisi, dayanım ve dayanıklılık gibi özellikler doğrudan doğruya karışıma giren toz malzeme tipi ve miktarı, kimyasal katkı tipi ve miktarı ve agrega gradasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Araştırmalar sonucunda, KYB’de iyi bir akışkanlık kabiliyeti ve yüksek segregasyon direnci için maksimum agrega çapının 25 mm’den büyük olmaması, ince agrega miktarının ağırlıkça %48 ile %55 arasında olması, su/bağlayıcı oranının 0.25 ile 0.37 arasında olması ve dayanıklı bir beton elde edebilmek için minimum 290 kg/m³ bağlayıcı kullanılması gerektiği belirtilmektedir (EFNARC, 2005).

Karataş ve Ulucan (2007) uçucu kül ve silis dumanı ikameleri ile hazırladıkları KYB karışımlarında, su/toz oranının işlenebilirlik parametreleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada işlenebilirlik parametrelerini ölçmek amacıyla slump-yayılma, V-hunisi ve L-kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, su/toz oranının slump-yayılma değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı, V-hunisi değerlerinde toz tipine bağlı olarak su/toz oranı arttıkça değişim gözlemlendiği ve L-kutusu değerlerinde su/toz oranı ile h₂/h₁ oranı arasında yüksek bir korelasyonun mevcut olduğu bildirilmiştir (Karataş ve Ulucan, 2007).

Boel ve arkadaşları (2008) yapmış oldukları çalışmalarında, on altı KYB ve dört geleneksel beton karışımının gaz geçirgenliğini su/çimento, filler malzemenin inceliği, filler tipi ve çimento/toz oranı parametrelerine bağlı olarak araştırmışlardır. Sonuç olarak KYB karışımların gaz geçirgenliğinin geleneksel betona oranla 5 kat daha düşük olduğu bildirilmiştir (Boel vd., 2008).

Yahia ve arkadaşları (2005) yapmış oldukları çalışmalarında taş tozu kullanımının çimento harcına etkisini araştırmışlardır. Çalışmada toz oranının slump-yayılma değerlerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı ancak V-hunisi değerlerini azalttığı sonucuna varılmıştır (Yahia vd., 2005).

Felekoğlu ve Baradan (2004) beş farklı KYB karışımı üreterek taze ve sertleşmiş beton özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada toz malzeme olarak taş tozu kullanılmıştır. Sonuç olarak, sabit çimento dozajında akışkanlaştırıcı katkı miktarı artırılıp karışım suyu azaltıldıkça, yayılma değeri belirli sınırlar arasında tutulurken viskozitenin hızla arttığı, üretilen KYB karışımlarının çekme dayanımlarının aynı dayanım sınıfındaki normal

betonlara kıyasla % 3 ile % 17 arasında yüksek olduğu bildirilmiştir (Felekoğlu ve Baradan, 2004).

Karataş ve Ulucan (2007) F sınıfı uçucu kül kullanarak elde ettikleri KYB'nin işlenebilirliği üzerine karışım süresinin etkisini araştırmışlardır. Uçucu kül ikamesi olarak %25-%40 arasında dört farklı oran kullanılmıştır. Sonuç olarak, uçucu kül ikameli KYB'lerde karışım oranı çok iyi ayarlanmış olsa dahi, karıştırma süresinin 3 dakika/45 litre'den fazla olması halinde taze betonda segregasyon gözlemlendiği ve işlenebilirliğin etkilendiği belirtilmiştir (Karataş ve Ulucan, 2007).

Sonebi (2004) yapmış olduğu çalışmada KYB karışım parametreleri ile beton karakteristikleri arasındaki ilişkiyi ifade etmek amacıyla matematiksel modeller ortaya koymuştur. Çalışmada, elde edilen analizler ile eğilimlerin belirlenebileceğini ve gelecekteki olası karışım optimizasyonları için umut verici tahminlerin yapılabileceği vurgulanmıştır. Böylece deneme karışımlarından kaynaklanan maliyet, zaman ve enerji kaybının azalacağı vurgulanmıştır. Çalışmada, su/toz oranının KYB'lerde basınç dayanımı üzerindeki etkisi oldukça fazla olduğu belirtilmektedir (Sonebi, 2004).

Güneyisi ve Gesoğlu (2008), KYB'nin reolojik özelliklerini araştırdıkları çalışmalarında, çimento, metakaolin ve uçucu kül kullanarak ikili ve üçlü karışımlara sahip KYB harcı üretmişlerdir. Çalışmada toplam toz oranı 550 kg/m^3 ve su/bağlayıcı oranı 0.40 (sabit) olmak üzere toplam 16 farklı KYB harcı üretilerek mini-slump, akma çapı, mini-V-hunisi, priz süresi ve viskozite deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, 1, 3, 7, 14, 28. Günlerde basınç dayanımı gelişimi ile ultrases hızı ölçümleri yapılmıştır. Sonuç olarak üçlü karışımların ikili karışımlara göre harçların taze haldeki özelliklerini ve reolojilerini iyileştirdiği bildirilmiştir (Güneyisi ve Gesoğlu, 2008).

Gesoğlu ve Özbay (2007) ikili, üçlü ve dörtlü çimento karışımlarına sahip KYB'lerin taze ve sertleşmiş özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada, su/bağlayıcı oranı 0.32 ve toplam bağlayıcı miktarı 550 kg/m^3 olan toplamda 22 beton karışımı hazırlanmıştır. Toz malzeme olarak uçucu kül, ince öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve silis dumanı kullanılmıştır. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu toplam çimento oranı ile %20, %40 ve %60 oranlarında yer değiştirilirken bu oranlar silis dumanı kullanıldığında %5, %10 ve %15 olarak seçilmiştir. Üretilen taze karışımlar üzerinde işlenebilirlik, geçme kabiliyeti, viskozite ve priz zamanını belirlemek amacıyla slump-yayılma, V-hunisi, L-kutusu, Brookfield reometre ve penetrasyon direnci ölçümleri yapılmıştır. Her karışımdan, basınç dayanımı ve elektrik direnci ölçümlerinin yapılması amacıyla 150 mm küp ve 100x200

mm silindir numuneler hazırlanmıştır. Sonuç olarak, mineral katkısının KYB'nin taze haldeki özelliklerini geliştirdiği, herhangi bir mineral katkısı içeren KYB'nin yalnızca çimentodan üretilen KYB'ye göre slump-yayılma süresinin daha kısa olduğu, uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun birlikte kullanıldığı ikili karışımların sertleşme sürelerinin uzadığı ve uçucu kül içeren karışımların basınç dayanımlarının genellikle düşük olduğu bildirilmiştir (Gesoglu ve Özbay, 2007).

Sonebi ve Bartos (2002) yapmış oldukları çalışmalarında KYB'nin Orimet deneyi ile slump-yayılma ve akış zamanını belirleyerek doldurma kabiliyetini ve plastik yerleşmesini araştırmışlardır. Çalışmada slump-yayılma çapı 580 mm'den büyük ve 500 mm çapa 3 saniyeden daha az sürede ulaşan KYB karışımları hazırlanmıştır. Filler malzeme olarak taş unu ve ince öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Sonuç olarak, su/bağlayıcı oranındaki 0.36'dan 0.39'a yükseliş ve slump-yayılma çapındaki 580 mm'den 660 mm'ye artışın, betonun yüzey yerleşme değerinde artışa neden olduğu, yüzey yerleşme miktarının iri agregaya hacminden ve ince agregaya kaynağından etkilendiği ve yüksek fırın cürufu içeren KYB'lerin yirmi sekiz günlük basınç dayanımlarının taş unu içeren karışımlara oranla daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Sonebi ve Bartos, 2002).

Şahmaran ve arkadaşları (2004) hazırladıkları KYB karışımlarının 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarında su/toz oranındaki artışa paralel olarak bir artış gözlemlemişlerdir (Şahmaran vd., 2004).

Ahmadi ve arkadaşları (2007), pirinç kabuğu külünün ekonomik KYB üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla KYB karışımlarında çimento yerine atık bir malzeme olan pirinç kabuğu külü kullanılmıştır. Bu amaçla, 0.35 ve 0.40 su/çimento oranları için pirinç kabuğu külünü %10 ve %20 oralarında çimento ile yer değiştirmişlerdir. 60 gün ve ileri yaşlar için pirinç kabuğu külünün KYB'lerin mekanik performansını olumlu etkilediği ve %20 pirinç kabuğu ikamesinin en iyi performansı sergilediği bildirilmiştir (Ahmadi vd., 2007).

Safiuddin ve arkadaşları (2010) farklı su/çimento oranı, pirinç kabuğu külü ve hava içeriğine sahip KYB karışımları üzerinde basınç dayanımı, ultrases hızı, su emme oranı, toplam porozite ve elektrik geçirgenlik deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, 0.30-0.50 arasında su/bağlayıcı oranına ve %0-30 arasında pirinç kabuğu külü içeriğine sahip toplam on beş KYB karışımı hazırlanmıştır. Sonuç olarak, düşük su/bağlayıcı oranı ve yüksek pirinç kabuğu külü içeriği ile KYB'nin porozitesi ve su emmesi azalırken, basınç

dayanımı, ultrases geçiş hızı ve elektrik geçirgenliğinin artış gösterdiği bildirilmiştir (Safiuddin vd., 2010).

Nanthagopalan ve Santhanam (2009) farklı su/toz oranına sahip kendiliğinden yerleşen imento harçları için VAK dozajını optimize eden ve Stoke kanununa dayalı basit bir metot geliştirmiştir. alışmalarında, KYB harçlarının reolojik özelliklerini viskometre kullanarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak, oluşturulan model ile bulunan optimum VAK dozajı kullanılarak hazırlanan KYB harçlarında segregasyon gözlenmediğini bildirmişlerdir. Ayrıca optimum dozajdan daha yüksek dozajlarda slump-yayılma değerinin azaldığını bildirmişlerdir (Nanthagopalan ve Santhanam, 2010)

Ovarlez ve Roussel (2006), KYB’lerde kalıp üzerine döküm esnasında ve sonrasında uygulanan yanal basıncın gelişimini açıklamak üzere bir model önermişlerdir. Geliştirilen model, deneysel veriler ve literatür ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak geliştirilen modelin deneysel gözlemler ve teorik verileri açıklamada ve tahmin etmede kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Ovarlez ve Roussel, 2006).

Assaad ve Khayat (2006) döküm hızı ve beton sıcaklığının KYB’nin kalıp basıncı üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada bağlayıcı oranı 450 kg/m^3 ve su/bağlayıcı oranı 0.40 olan dört farklı KYB karışımı kullanılmıştır. Sonuç olarak, döküm hızının 25 m/saat’ten 5 m/saate düşürüldüğünde maksimum ilk kalıp basıncının %15 azaldığını, beton sıcaklığındaki değişimin maksimum kalıp basıncı üzerinde etkisinin sınırlı olduğu ve kalıp basıncındaki düşüşün zamanla artarken beton sıcaklığının artış gösterdiği böylece yapışmada hızlı bir gelişme gözlendiği bildirilmiştir (Assaad ve Khayat 2006).

Khayat ve arkadaşları (2005) iki farklı kesite sahip kalıp kullanarak KYB’nin kalıp yanal basıncındaki değişimi belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmada KYB olarak, 490 kg/m^3 bağlayıcı miktarına sahip, su/bağlayıcı oranı 0.38 ve ince/iri agrega oranı 0.44 olan bir karışım kullanılmıştır. Çalışmada kalıp yanal basıncını ölçmek üzere 100 kPa kapasiteli basınç sensörleri kullanılmıştır. Sonuç olarak, kalıp ölçülerinin yanal basıncın düşüş oranı üzerinde zamanla bir etkisinin olduğu, fakat en yüksek ilk basınç değerinde kayda değer bir değişimin gözlenmediği belirtilmektedir. Ayrıca 200 mm çapa sahip kolon kalıplarında, KYB tarafından uygulanan yanal basıncın döküm hızı 10 m/saat’ten 25 m/saat’e çıkması ile etkilendiği bildirilmiştir (Khayat vd., 2005).

Persson (2004a) geleneksel betonla aynı su/imento oranı ve hava içeriğine sahip KYB’lerde klorür geçirgenliğini araştırmıştır. Sonuç olarak, kireç taşı içeren KYB’lerde klorür geçirgenlik katsayısının normal betondan %60 daha yüksek olduğu, %5 silis dumanı

ve %12 uçucu kül içeren KYB'lerin klorür geçirgenlik katsayısının normal betona oranla % 60 daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Persson, 2004a).

Wüstholtz ve Reinhardt (2007) yapmış oldukları çalışmalarında, C30/37, C45/55 ve C60/75 dayanım sınıfına sahip KYB'lerin deformasyon kapasitelerini 2.5 yılı aşan bir periyotta çekme yüklemesine tabi tutarak araştırmışlardır. Numunelerin hızlı kurumasını ve iç gerilmeleri önlemek amacıyla polietilen folyo ile numuneler sarılmıştır. Uzun dönem çekme dayanımının kısa dönem çekme dayanımının (28 günlük) %69'u olduğu tahmin edilmiştir. Ayrıca, kısa dönem çekme dayanımının %75 oranında yüklenen C60/75 sınıfı KYB'lerin sırasıyla 6 ve 19 günlerde hasara uğradığı belirtilmiştir (Wüstholtz ve Reinhardt, 2007).

Hwang ve Khayat (2009), tamir amaçlı kullanılabilecek KYB'lerde dayanıklılık üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada su/toz oranı 0.35 ve 0.42 olan ve minimum 35 MPa hedef dayanıma sahip iki farklı KYB karışımı tasarlanmıştır. Sonuç olarak su/toz oranı, bağlayıcı tipi ve kimyasal katkı bileşimine bağlı olarak yeterli dayanım ve %80'den daha fazla donatı dayanıklılık faktörüne sahip KYB karışımlarının tasarlanabildiği bildirilmiştir (Hwang ve Khayat 2009).

Nehdi ve Bassuoni (2008) çalışmalarında KYB'nin sülfat ve don etkisine karşı durabilitesinin araştırılmasını amaçlamışlardır. Çalışmada, su/toz oranı 0.38 olan ve birli, ikili, üçlü ve dörtlü karışım bağlayıcı oranlarına sahip toplam yirmi bir KYB karışımı tasarlanmıştır. Hava sürükleyici içermeyen-kum/toplam agrega oranı (S/A) %50 olan bir karışım, hava sürükleyici içeren-S/A oranı %60 olan bir karışım ve hava sürükleyici ile lif katkısı içeren-S/A oranı %40 ve %60 olan bir diğer karışım olmak üzere toplam üç farklı KYB üretilmiştir. Çalışmada mineral katkı olarak, silis dumanı, uçucu kül, cüruf ve taş unu kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerin bir bölümü 12 ve 20 ay süresince %5 sodyum sülfat çözeltisinde bekletilmiştir. Hem kimyasal hem de fiziksel etkiyi temsil etmesi amacıyla numunelerin diğer bölümü ise 2 gün %5 sodyum sülfat çözeltisinde bekletildikten sonra 2 gün -18 °C de dondurularak 1 yılda yaklaşık 90 donma-çözünme çevrimi yapılmıştır. Kimyasal ve fiziksel durabilitesi belirlenmeye çalışılan KYB karışımlarının donma-çözünme çevrimi öncesi ve sonrasında kütle kayıpları, eğilme-çekme dayanımları ve dinamik elastisite modülleri belirlenmiştir. Sonuç olarak ASTM C 1012'de belirtilen ve yalnızca %5 sodyum sülfat çözeltisi ile belirlenen geleneksel yöntemin SCC için uygun olmadığı kendi çalışmalarında uyguladıkları kimyasal ve fiziksel yöntemin birlikte

kullanıldığı uygulamanın farklı karışımlara sahip KYB'lerin durabilite problemlerini ortaya koymak için bir potansiyel taşıdığını belirtmişlerdir (Nehdi ve Bassuoni, 2008).

Persson (2004b) KYB'nin yangın direncini belirlemek üzere, 140 silindir numune ve 40 adet de ön gerilmeli kolon numunesi üzerinde yüksek sıcaklık altında basınç yüklemesi uygulamıştır. Çalışmada filler olarak yüksek oranda taş unu kullanılmış, polipropilen lif kullanımının yangın dayanımına etkisini belirlemek amacıyla bazı karışımlarda polipropilen lif kullanılmış ve su/bağlayıcı oranı 0.40 ile 0.70 arasında seçilmiştir. Dördü normal beton olmak üzere toplamda on altı karışım ile çalışma tamamlanmıştır. Sonuç olarak, KYB kolon numunelerde pullanma hasarı gözlenirken normal betonlarda gözlenmediği, pullanma hasarının temel olarak beton üzerindeki gerilmeye, çimento/toz oranına ve su/çimento oranına bağlı olduğu ve polipropilen lifin yaklaşık 160 °C'de eriyerek suyun betonun iç yapısına hareketini kısıtladığı belirtilmiştir (Persson, 2004b).

Ulucan ve arkadaşları (2008) farklı oran ve tiplerde kullanılan mineral katkıların KYB'nin ultrases hızı ve basınç dayanımı üzerindeki ilişkisini belirlemek üzere bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, mineral katkı olarak silis dumanı ve uçucu kül kullanılmıştır. Sonuç olarak uçucu kül kullanımı ile 3, 7 ve 28. günlerdeki basınç dayanımlarının düşük olduğu ancak tüm ikame oranlarında 130. gün basınç dayanımının yüksek olduğu bildirilmiştir. Ayrıca tüm uçucu kül ikamelerinde kür periyodu arttıkça ultrases hızı değerlerinin de arttığı bildirilmiştir. Bunun yanında silis dumanı kullanıldığında ise ultrases hızındaki en yüksek değerin %10 ikame oranında basınç dayanımındaki en yüksek değerin ise %15 ikame oranında elde edildiği bildirilmiştir (Ulucan vd., 2008)

Hwang ve Khayat (2010) KYB'nin kısıtlanmış büzülme çatlak oluşma potansiyelini belirlemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, test edilen KYB karışımlarının geleneksel betondan ve yüksek mukavemetli betonlardan daha yüksek büzülme çatlak potansiyelinin bulunduğu, bu durumun KYB'nin yüksek çimento pastası hacminden kaynaklanabileceği bildirilmiştir (Hwang ve Khayat 2010).

Topçu ve Uygunoğlu (2010) pomza, volkanik tüf ve diatomit hafif agregaları kullanarak ürettikleri KYB'lerin fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada filler olarak uçucu kül ve taş unu kullanılmıştır. Çalışmada, su/toz oranı 0.36-0.48 arasında değişen toplam on beş farklı KYB üretilmiştir. Sonuç olarak, hafif agregalı KYB karışımlarının normal KYB karışımlarına göre termal özellikler dışında hem fiziksel hem de mekanik olarak düşük performans gösterdiği belirtilmiştir (Topçu ve Uygunoğlu, 2010).

Kantarcı ve Türkmen (2005a) normal ve genleştirilmiş perlit agregası kullanarak elde edilen KYB'lerin basınç dayanımı ve geçirgenlik katsayılarını farklı kür koşullarında belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmada toz malzeme olarak silis dumanı kullanılmış ve su/toz oranı 0.35 seçilerek bağlayıcı miktarı 450 kg/m^3 olarak sabit tutulmuştur. Üretilen numuneler $23 \pm 2^\circ\text{C}$ kirece doymuş suda, kuru olarak dış ortamda, 14 gün dış ortamda günde üç kez sulama ve daha sonra laboratuvar ortamında, 14 gün ıslak çuval altında, daha sonra laboratuvar ortamında ve %100 nemli ortamda olmak üzere beş farklı küre tabi tutulmuştur. Geçirimlilik katsayısı deneyleri 28, 56, 90, 120 ve 150 gün kür periyodu ardından gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, genleştirilmiş perlit agregası kullanımı ile geçirgenlik katsayılarının arttığı, basınç dayanımlarının azaldığı, yüksek nem oranına sahip kür ortamındaki numunelerin geçirgenlik katsayılarının düşük olduğu ve en düşük basınç dayanımı ile en yüksek geçirimlilik katsayısı değerlerinin kuru olarak dış ortamda bekletilen numunelerde görüldüğü bildirilmiştir (Kantarcı ve Türkmen, 2005a).

Kantarcı ve Türkmen (2005b) genleştirilmiş perlit agregası kullanılarak üretilen KYB'lerin yarmada çekme dayanımı ve kuruma rötresini zamana bağlı olarak araştırmışlardır. Çalışmada %10 oranında silis dumanı çimento ağırlığı ile ikame edilerek kullanılmıştır. Toplam bağlayıcı oranı 450 dozaj olarak sabit tutulmuş olup su/bağlayıcı oranı 0.35 olarak seçilmiştir. Sonuç olarak, genleştirilmiş perlit kullanımı ile kuruma rötresi değerlerinin azaldığı bildirilmiştir (Kantarcı ve Türkmen, 2005b).

Kim ve arkadaşları (2010) yapmış oldukları çalışmalarında farklı yoğunluğa sahip iki tip hafif agregası kullanarak KYB üretmişlerdir. Sonuç olarak, hafif agregası kullanılarak elde edilen KYB'nin taze haldeyken, düşük birim ağırlığa sahip olduğu, akışkanlığının arttığı ve segregasyon direncinin azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca üretilen hafif agregalı KYB'nin 28 günlük basınç dayanımı değerlerinin ise 32 MPa'dan yüksek olduğu bildirilmiştir (Kim vd., 2010).

Roussel (2006), görüntü işleme teknikleri kullanarak polistren agregalı KYB'lerde segregasyonu belirlemeye çalışmıştır. Görüntü işleme tekniği ile elde edilen veriler ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında, böyle bir kriterin karışım oranında kullanılabileceği belirtilmektedir (Roussel, 2006).

Topçu ve Bilir (2009) yapmış oldukları çalışmalarında, atık lastiklerin KYB karışımlarında kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada, $60-180 \text{ kg/m}^3$ aralığında 3 farklı lastik oranı agregası ile yer değiştirme şeklinde kullanılmıştır. Filler olarak uçucu kül kullanılarak yapılan çalışmada lastik ilaveli KYB'lerin slump-yayılma, V-hunisi, basınç

dayanımı, yüksek sıcaklık ve donma-çözünme direnci normal KYB karışımlarınki ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, KYB'nin taze haldeki özellikleri, basınç dayanımı, sıcaklık etkisi ve donma-çözünme direnci kriter alındığında optimum lastik içeriğinin 180 kg/m³ olduğu bildirilmiştir (Topçu ve Bilir, 2009).

Turatsinze ve Garros (2008), çimento esaslı malzemelerin düşük çekme gerilmesine sahip olması ve düşük deformasyon kapasitelerine sahip olduklarını, ayrıca bu çimento esaslı malzemelerin gevrek ve kırılmaya eğilimli olduklarını belirtmişlerdir. Bu nedenle yapmış oldukları çalışmalarında atık araç lastiklerini doğal agregaya ile yer değiştirmek suretiyle değerlendirerek KYB karışımları hazırlamışlardır. Çalışmada biri referans olmak üzere beş farklı KYB karışımı hazırlanarak numuneler üzerinde, basınç dayanımı, elastisite modülü ve eğilme-çekme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, lastik agregaya içeriğine bağlı olarak numunelerin eğilme-çekme dayanımları azalmış ancak mikroçatlakların oluşması için gerekli olan deformasyon miktarı lastik içeriğine bağlı olarak artmıştır (Turatsinze ve Garros, 2008).

Benli ve arkadaşları (2008) normal ve KYB'den üretilmiş ve 200x300x2000 mm boyutlarına sahip 12 adet betonarme kiriş numunesi üzerinde dört noktalı eğilme testi gerçekleştirerek aderans dayanımlarını belirlemişlerdir. Ayrıca deney sonuçlarını nümerik olarak da bir sonlu eleman programı kullanarak modellemişlerdir. Çalışmada, toz malzeme olarak silis dumanı, CEM I 42.5 çimento, 20 mm maksimum çapa sahip agregaya kullanarak birer adet KYB ve normal beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, nümerik çözümlerden elde edilen göçme yükleri ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında, normal betondan üretilen numunelerin göçme yükleri arasında %13, KYB ile üretilen numunelerin göçme yükleri arasında %9.6 oranında farkın bulunduğu, hem deneysel hem de sayısal çözümdeki KYB numunelerinin göçme yükleri arasındaki farkın normal betondan üretilenlere göre daha az olmasının ise KYB'nin reolojik ve dayanım özelliklerinden kaynaklandığı bildirilmiştir (Benli vd., 2008).

Sağlam ve Özkul (2006) faktöriyel analiz yöntemi kullanarak çimento hamuru, harç ve beton bileşenlerinin reolojik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada 14 mm maksimum çapa sahip agregaya, uçucu kül, silis dumanı ve polikarboksilat eter bazlı süperakışkanlaştırıcı kullanılarak toplam on yedi adet karışım tasarlanmıştır. Sonuç olarak, süperakışkanlaştırıcı katkılı çimento hamuru ve harç karışımlarının Bingham cismi gibi davranmasına karşılık, beton karışımlarında kayma eşiğinin sıfıra yakın değerler aldığı ve bu nedenle yaklaşık olarak Newton cismi gibi davrandığı görülmüştür (Sağlam vd., 2006).

Beaupré ve arkadaşları (1999) 550 mm slump yayılma çapına sahip su/çimento oranı 0.35 ve 0.41 olan ve %0, %3 silis dumanı içeren KYB'lerin reolojik parametreleri ile donma-çözülme dirençlerini belirlemişlerdir. Taze beton özelliklerinden, beton viskometresi ile plastik viskozite deneyi, hava içeriği, birim ağırlık, slump-yayılma ve L-kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sertleşmiş beton deneylerinden ise, basınç dayanımı, donma-çözülme direnci ve boşluk oranı testleri yapılmıştır. Sonuç olarak, yüksek oranda bağlayıcı miktarı ve farklı su/bağlayıcı oranına sahip KYB'lerin yüksek plastik viskoziteye sahip olduğu, su/bağlayıcı oranı azaldıkça plastik viskozitenin arttığı, KYB'lerin donma-çözülme direncinin artırılması için karışım içerisine hava sürüklenmesi gerektiği bildirilmektedir (Beaupré vd., 1999).

Pons ve arkadaşları (2007) prefabrik bina elemanlarında kullanılmak üzere iki farklı lif kullanarak elde edilen KYB karışımlarının mekanik performansını belirlemeye çalışmışlardır. Bu amaçla normal beton ve KYB karışımları içerisinde lif kullanımının eğilme-çekme dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Normal beton ile KYB karşılaştırıldığında KYB karışımlarında daha iyi bir lif-çimento matrisi aderansı gözlemlendiği belirtilmiştir (Pons vd., 2007).

Cunha ve arkadaşları (2008) hacimce %0.38 ve %0.75 oranlarında çelik lif takviyeli KYB'lerin 12 saat, 24 saat ve 3., 7. ve 28. günlerde elastisite modülü, pik yükte uzama ve kırılma enerjilerini araştırmışlardır. Çalışmada filler malzeme olarak taş tozu kullanılmıştır. Sonuç olarak, beton yaşı arttıkça basınç dayanımı ve elastisite modülü değerlerinde artış gözlemlendiği, lif içeriği arttıkça basınç dayanımı ve elastisite modülü değerlerinin azaldığı bildirilmiştir (Cunha vd., 2008).

Persson (2006) polipropilen lif içeren ve içermeyen KYB karışımlarının iç donma dirençlerini deneysel ve nümerik olarak belirlemek üzere bir çalışma yapmışlardır. KYB karışımlarında toz malzeme olarak silis dumanı ve taş unu kullanılmıştır. Elde edilen numuneler günde iki kez ± 20 °C derecede dondurulmak koşuluyla her numuneye 300 çevrim yaptırılmıştır. 100 ve 300 çevrim sonunda numunelerin uzunluk, ağırlık ve frekans ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, polipropilen lif içeren KYB numunelerinin 300 çevrim sonunda elastiklik modüllerinin %80, lif içermeyen KYB numunelerin elastiklik modüllerinin ise %20 azaldığı belirtilmektedir. (Persson, 2006).

Şengül ve arkadaşları (2006) yapmış oldukları çalışmalarında, çelik lif takviyeli KYB'lerin işlenebilirlik ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Çelik lif içeren ve içermeyen toplam dokuz KYB karışımı hazırlanarak, basınç dayanımı, yarmada çekme

dayanımı ve enerji absorbsiyon kapasiteleri belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre, çelik lif içermeyen ve aynı su/toz oranına sahip karışımların basınç dayanımlarında çimento dozajının 900 kg/m³'ten 650 kg/m³'e düşmesine rağmen önemli bir farklılığın gözlenmediğini, ancak lif katkısı ile KYB karışımlarının kırılma enerjisi ve düktilitelerinde artış sağlandığı bildirilmiştir (Şengül vd., 2006).

4. KATI ATIKLARIN BETON İÇERİSİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

Üretim ve kullanım faaliyetleri sonucu ortaya çıkan, insan ve çevre sağlığına zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı biçimde alıcı ortama verilmesi sakıncalı olan her türlü maddeye atık denilmektedir (Emiroğlu vd., 2009). Cam şişeler, plastik içecek ve yemek kapları, teneke kutular, kereste atıkları, mobilya döşeme atıkları, ezilmiş seramikler ve camlar, atık beton kütleleri, atık araç lastikleri ve kauçuk gibi malzemeler endüstriyel katı atıklar arasında yer almaktadır. Son yıllarda, bu atıklar beton içerisinde değerlendirilerek hem betonun arzu edilen özelliklerinin bazılarının sağlanması hem de çevre için zararlı olan bu atıkların yönetimine katkıda bulunulması amaçlanmaktadır (Emiroğlu vd., 2009; Emiroğlu ve Yıldız, 2010).

Bu çalışmada bu atıklardan kullanılmış lastiklerin inşaat sektöründe özellikle de beton içerisinde değerlendirilmesi hususunda özet bilgiler verilecektir.

4.1. Kullanılmış Lastiklerin Beton İçerisinde Değerlendirilmesi

Faydalı ömrünü tamamladığı belirlenerek araçtan sökülen orijinal veya kaplanmış, bir daha araç üzerinde lastik olarak kullanılamayacak durumda olan ve üretim esnasında ortaya çıkan ıskarta lastiklere ömrünü tamamlamış lastik (ÖTL) denir. Lastikler araç altından söküldükten sonra "kullanılmış lastik" ya da "ömrünü tamamlamış lastik" olurlar (URL-1).

Tekerleğin Sümerler tarafından icadından bugüne kadar beş bin yıldan fazla bir süre geçmiştir. Lastik üretimi, kauçuğun 18. yüzyılda bulunması ile hızlanmış ve günümüzde üst seviyeye gelmiştir. Avrupa ve Amerika'da çok daha önceden atık lastiklerin geri kazanımı ile alakalı yönetmelikler çıkarılmasına rağmen, "Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği" ülkemizde 2006 yılında yürürlüğe girmiştir (Emiroğlu ve Yıldız, 2010).

Atık lastikler, yerel yönetimlerin elle kontrol etmekte zorlandıkları özel atıklar arasında yer almaktadırlar ve stoklandığı bölgelerde insan sağlığı problemlerine, çevresel ve estetik problemlere neden olmaktadır (Emiroğlu, 2006).

Sanayileşmenin ve gelişmişliğin değerlendirme kriterlerinden birisi de inşaat sektörünün büyüklüğüdür. İnşaat sektörü hammadde ihtiyacını bölge sınırları içinden

karşılıyarak birçok sektörün tetikleyicisi olmakta ve sanayileşme sürecinde ivmeyi arttırmaktadır. İnşaat sektörünün ihtiyacı olan doğal taşlar; çimento hammaddeleri (kireçtaşı, alçıtaşı ve alçı), yapı malzemeleri (tuğla, kiremit toprakları) ve agrega (kireçtaşı, kum-çakıl, mıcır) olarak sınıflandırılabilir (Konar vd., 2009). Hiç şüphe yoktur ki hammaddenin en çok tüketildiği sektörlerden birisi de inşaat sektörüdür. Hammaddenin bu kadar çok tüketildiği bir sektör için alternatif kaynak arayışları son yıllarda hızla artış göstermiştir. Lastik üretimi, kauçuğun 18. yüzyılda bulunması ile hızlanmış ve günümüzde üst seviyeye gelmiştir. 1736-1774 yılları arasında Güney Amerika’da incelemeler yapmak için bulunan bir Fransız bilim adamı, yerlilerin hevea adını verdikleri ağaçtan bir sıvı elde ettiklerini kaydetmiştir. Amazon sakinleri bu ağaca Kao (=odun) O-Çu (sızan-ağlayan) diyorlardı, kauçuk buradan türemiştir. Kauçuk hammaddesine dayalı ilk uygulamalar iki Fransız’ın silgi imal ederek piyasaya sürdükleri 1770 yılında başlar (Batır, 2002).

Avrupa’da kauçuk ilk defa 18. yüzyılda ortaya çıkmış ve silgi, yapışkan ve hortum yapımında kullanılmıştır. Materyalin ekonomik olması geçtiğimiz yüzyıl ortalarında Charles Goodyear tarafından vulkanizasyon’un (yakma) keşfi ile olmuştur. Kükürtle ısıtılınca yapışkan ve gevşek malzeme, sert ve elastik hale gelmiş böylece otomobil tekerleklerini kaplayan ve birçok avantajı beraberinde getiren lastik üretimi mümkün olmuştur. Otomobil lastikleri önceleri dolgu şeklinde yapılmaktayken daha sonra ise basınçlı hava içeren şekilde yapılmaya başlanmış ve bu lastikler genelde kauçuk yanında çelik tel, tekstil elyafı ve az miktarda kurum, yağ, reçine ve çinko oksitleri içermektedirler (URL-2). Günümüzde lastik üretiminde kullanılan tipik malzemelerin listesi Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Lastik üretiminde kullanılan tipik malzemeler.

Sentetik Kauçuk	Petrol Mumları
Doğal Kauçuk	Pigmentler (Çinko oksit Titanyum dioksit)
Sülfür ve Sülfür Bileşikleri	Karbon Siyahı
Fenolik Reçine	Yağ Asitleri
Yağ (Aromatik, Naptenik, Parafinik)	Atık malzemeler
Kumaş (Polyester Naylon)	Çelik teller

Lastik dış dibi derinliği 1.6 mm oluncaya kadar güvenle kullanılabilir. Bu nedenle dış derinliği 1.6 mm'den büyük olan lastikler kısmen aşınmış lastikler olup, her türlü ticareti serbesttir. Birçok lastik üzerindeki tırtıkları aşınmadan atılmakta ve depolarda artarak yığılmaktadır. Ülkemizde kullanım ömrünü tamamlamış atık lastikle miktarının yıllık 180 bin ton olduğu bildirilmektedir (URL-3). Atık lastikler, yerel yönetimlerin elle kontrol

etmekte zorlandıkları özel atıklar arasında yer almaktadır. Bu nedenle, atık lastikler, stoklandığı bölgelerde insan sağlığına zarar vermekte ve çevresel-estetik problemlere neden olmaktadır (DPT, 2001). Hızla büyüyen atık lastik stokları, Dünya’da olduğu gibi Ülkemizde de büyük bir çevresel sorun haline gelmektedir. Lastiklerin kompleks yapısı, geri kazanımını zorlaştırmaktadır. Lastiklerin ana yapısı olan kauçuk, kimyasal olarak çapraz bağlı bir polimer olduğundan dolayı doğada kendi başlarına eriyebilme ya da çözülebilme özelliği göstermezler. Sonuç olarak başka şekillere sokulması oldukça zordur. Bu nedenle kullanım ömrünü tamamlamış taşıt lastiklerinin kendiliğinden yok olması için uzun yıllar geçmekte, böylece çevre ve insan sağlığı açısından büyük bir tehdit unsuru olmaktadır (Emiroğlu, 2006).

Lastik atıklar diğer atıklardan ayrı olarak depolandığı zaman, tehlikeler daha belirgin hale gelmektedir. Bütün halindeki parçalanmamış lastikler arasında, yangın başlamasına neden olabilecek yeterli oksijen bulunur. Yangın olduğunda, lastik yığınları aylarca sürebilecek yanmaya ve toksik yağların toprağa, oradan da yeraltı suyuna geçmesine neden olmaktadır. Bütün bu olumsuz özelliklere ek olarak, lastik yığınları sivrisinek ve kemirgenler için ideal bir yetiştirme ortamı sağlamaktadırlar (URL-4, 2002).

Ülkemizde 25.11.2006 yılında yürürlüğe giren Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliğinde, “ömrünü tamamlamış lastiklerin (ÖTL) hangi sebeple olursa olsun vadi veya çukurlarda dolgu malzemesi olarak kullanılması, katı atık depolama tesislerine kabulü ve depolanması, ısınmada kullanılması, gösteri ve benzeri fiilleri kapsayacak şekilde her ne amaçla olursa olsun yakılması yasaktır” ifadesi yer almaktadır. Ayrıca aynı yönetmelikte, “Lastik tamirhaneleri, kaplamacılar, perakende satış noktaları, oto sanayi ve benzeri yerlerde ömrünü tamamlamış lastikler açık alanda biriktirilemez. Biriktirme yerlerinde yangına ve sivrisinek, fare gibi zararlıların üremesine karşı önlem alınır. ÖTL’ler yetkili taşıyıcılara teslim edilinceye kadar en fazla altmış gün bu yerlerde muhafaza edilebilir” ifadesi yer almaktadır. Gerekli denetim ve kontroller, Bakanlık, İl Müdürlükleri ve Belediyeler tarafından yürütülmektedir. Ancak yine de olumsuz örneklerle karşılaşmaktadır. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de ömrünü tamamlamış lastiklerin yığılmasıyla oluşan çevresel soruna birer örnek verilmektedir.



Şekil 4.1. Atık lastik yığınlarından bir örnek



Şekil 4.2. Atık lastiklerin kontrolsüz yığılması sonucu oluşan çevre kirliliği

Atık lastiklerin kontrolsüz yığılması Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de olduğu gibi çevreye yalnızca görüntü açısından tehdit oluşturmamaktadır. Aynı zamanda, özellikle lastiklerin içerisinde bulunan çelik tellerin satılması amacıyla ülkenin birçok bölgesinde bu lastikler kontrolsüz bir şekilde yakılmakta ve hem toprak hem yeraltı suyu hem de hava kirlenmektedir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 atık lastiklerin kaçak bir şekilde yakılması sonucu ortaya çıkan çevre kirliliğine birer örnektir.



Şekil 4.3. Atık lastiklerin kontrolsüz şekilde yakılması sonucu ortaya çıkan çevre sorunu



Şekil 4.4. Çelik telleri için yakılmış atık lastiklerden bir görünüş

Atık lastikler kimyasal olarak kararlı olmaları nedeniyle toksik etki göstermemelerine rağmen açık havada kontrolsüz olarak yakılmaları sonucu hava, su ve toprak kirliliğine yol açarak çevre için önemli bir sorun teşkil ederler. Çünkü yanma sırasında siyah duman, uçucu organik bileşenler, dioksinler ve karbon monoksit, mono ve poliaromatik hidrokarbon açığa çıkar. Fenoller, poliaromatik hidrokarbonlar, çinko ve demir içeren metaller yeraltı sularına ve nehirlerle sızabilirler. Yangını kontrol etmede kullanılan su ve yağmur suyu da bu kirleticilerin toprağa geçmesine ya da civardaki su kütlelerine akmasına neden olabilirler (URL-4, 2002).

Ayrıca atık lastik yığınları ve depoları, lastik boşluklarında yağmur suyunu tutarak, belirli iklim koşullarında hastalıkları insanlara taşıma riski olan sivrisinekler ve benzer böcekler için uygun ortam oluşturlar (Emiroğlu, 2006).

Atık lastiklerin yönetimi için günümüze kadar çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemlerden, atık lastikleri bazı plastik ürünlerde kullanmak amacıyla yeniden değerlendirmek, çimento fabrikalarında ve enerji santrallerinde enerji elde edebilmek için yakıt olarak kullanmak, erozyondan korunmak amacıyla setler oluşturmak, asfalt kaplamada ve beton içerisinde agrega olarak kullanmak en yaygın çözümler arasında yer almaktadır. Atık lastiklerin bulundukları şekle göre sık kullanım alanları Tablo 4.2’de özetlenmektedir (RMA Report, 2009).

Tablo 4.2. Atık lastiklerin bulundukları şekle göre sık kullanım alanları

Lastik Şekli	Kullanım Alanları
Bütün Lastikler	Yapay kayalıklar ve dalgakıranlarda, oyun sahası donanımında, erozyon kontrolünde, anayollarda gürültü bariyeri olarak
Yırtılmış Lastikler	Zemin paspaslarında, contalarda, ayakkabı tabanlarında, tersane tamponlarında, dolgu olarak, yalıtkan olarak kullanılırlar.
Parçalanmış Lastikler	Hafif yol yapım malzemesi olarak, oyun sahası çakıl malzemesi olarak, bataklık ıslahında.
Öğütülmüş Lastikler	Kauçuk ve plastik ürünlerde, demiryolu geçitlerinde, asfalt kaplamalarda katkı malzemesi olarak kullanılırlar.

Atık lastiklerin bertaraf edilmesi için çeşitli yöntemler belirlenmiştir bunlar; yeniden kaplama, geri kazanma, enerji elde edilmesi, depolarda biriktirme ve ihracat olarak sıralanabilir.

Hurda lastiklerin geri kazanılması yöntemleri günümüzde giderek çeşitlenerek yaygınlaşmaktadır. Hurda lastiklerin geri kazanılması bütün halden toz hale kadar, çeşitli boyutlar için yapılmaktadır (Gönüllü, 2004). Atık lastiklerin inşaat sektöründe değerlendirme yöntemleri ise şöyle sıralanabilir; enerji elde edilmesi için çimento

fabrikalarında yakılması, asfalt ve beton agregası olarak kullanımı, dolgu malzemesi olarak değerlendirilmesi, dalgakıranlarda, güvertelerde ve demiryolu balastlarında şok emici olarak ve binalarda deprem izolatörü olarak değerlendirilmesi gibi (Emiroğlu, 2006).

Atık lastiklerin 454 gramında yaklaşık 1266–1688 kJ enerji bulunmaktadır. Bu değer kömürden biraz daha yüksek bir değerdir. Atık lastikler enerji ihtiyacı olan santrallerde ve bazı fabrikalarda yakılmak suretiyle enerji elde edilmesinde kullanılabilirler. Ancak bu yöntemin çevre kirliliği açısından sakıncaları bulunmaktadır.

Atık lastikler;

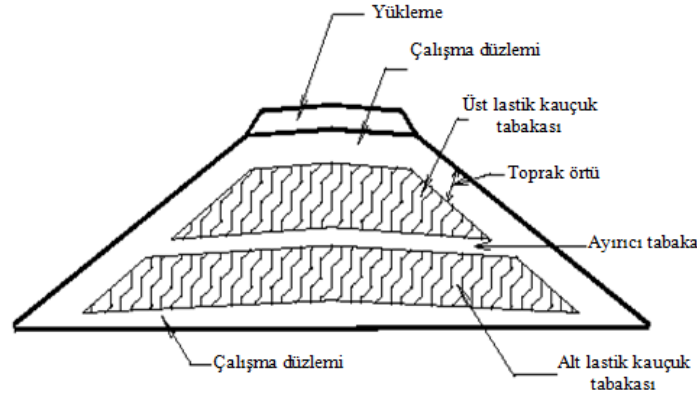
- Enerji santrallerinde,
- Lastik üretim fabrikalarında,
- Çimento fırınlarında,
- Selüloz ve kâğıt fabrikalarında ve
- Küçük üniteli buhar jeneratörlerinde enerji ihtiyacı için yaygın olarak kullanılmaktadırlar (RMA Report, 2009).

Bütün lastikler ile yapay kayalıklar, deniz duvarları ve dalgakıranlar oluşturulabilir. Hem deniz hem de tatlı su limanlarında, lastikler bot siperleri olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca atık lastikler, eğimli arazilerde teras yapımında, spor alanlarında, tartan pist ve tenis kortu yapımında, oyun bahçeleri düzenlemesinde, termoplastik ve plastik karışımlarda yaygın bir biçimde kullanılmaktadırlar (RMA Report, 2009).

Doğu ve Batı deprem kuşaklarının kesişim noktalarında yer alan Türkiye'deki konutların çoğunluğunu oluşturan yığma yapıların kullanılmış otomobil lastikleri yardımıyla sürdürülebilir ve gerçekleştirilebilir bir şekilde depreme karşı dayanıklı hale getirilmesi amacıyla, kullanılmış lastiklerle takviye edilmiş yığma yapı duvarları depreme karşı güçlendirilmiştir. Yapılan bu çalışmada, yığma duvarlar, araba lastiği ile ard-germe uygulanarak güçlendirilmiştir. Çalışmada, hazırlanan 1:1 ölçekli deney için ön data ve önemli parametrelerin tespit edilmesini amaçlamıştır. 1:10 ve 1:1 deney sonuçlarının (numunelerin göçmeye uğradığı ivmeler, yıkılma ve hasar türleri, deney numunelerinin gösterdiği davranış farklılıkları gibi) uyum içinde olduğu bildirilmiştir (Korkmaz vd., 2005).

Atık lastikler düşük birim ağırlıkları sebebiyle mühendislik uygulamalarında hafif agrega gibi değerlendirilmekte ve dolgu malzemesi olarak toprak setlerde, istinat

duvarlarında ve zemin dolgularında kullanılmaktadırlar. Atık lastikler düşük birim ağırlıkları (zeminlerin 1/3'ü kadar), iyi ısı yalıtımı (zeminden 8 kat daha iyi), iyi drenaj kabiliyeti (10 kez daha iyi) ve sıkıştırılabilirlik gibi özelliklerinden dolayı mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadırlar (Amar, vd., 1999). Atık lastiklerin dolgu olarak kullanılmasıyla ilgili bir örnek Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Atık lastiklerden toprak set oluşturulması.

Zayıf zeminlerde, toprak setlerde, heyelan stabilizasyonunda, istinat duvarları ve köprü ayaklarında dolgu malzemesi olarak atık lastikler kullanılmaktadırlar (Hampfrey, 1999).

Asfalt betonu içerisinde atık lastik kullanımı ilk başlarda oldukça ümit vericiydi. Yapılan çalışmalarda, lastikli asfaltların normal asfalta oranla daha iyi kayma direnci gösterdiği, kırılma çatlaklarını azalttığı ve kaplama ömrünü artırdığı bildirilmiştir. Fakat, lastikli asfaltın ilk maliyeti geleneksel asfalta göre %40 ile %100 oranında daha fazla olduğu ve uzun süreli davranışı hakkında kesin bilgilerin olmadığı sonucuna varılmış ve yapılan çalışmalar giderek azalmıştır (Nehdi ve Khan, 2001; Emiroğlu vd., 2009).

Son zamanlarda atık lastiklerin beton içerisinde agrega olarak değerlendirilmesi hakkında çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Beton karışımındaki normal agreganın hacimsel olarak atık lastiklerle yer değiştirilmesi şeklinde masrafı az olan bir yöntem, kauçuklu beton üretimi için kullanılmaktadır.

Kauçuklu beton geleneksel betona göre daha düşük birim ağırlık, yüksek tokluk ve yalıtım özelliği gibi avantajları ile öne çıkmaktadır. Fakat lastik miktarı arttıkça basınç dayanımında bir düşüş meydana gelmektedir. Yapılan çalışmalar, lastik boyutunun ve miktarının artmasıyla dayanımın azaldığını göstermiştir (Emiroğlu vd., 2009; Topçu, 1997; Khatib ve Bayomy, 1999). Beton içerisinde ince öğütülmüş atık lastik parçacıkları kullanılmasıyla, betonun çekme ve basınç dayanımında bir azalma meydana gelmekte

ancak sıcaklıktan kaynaklanan büzülme çatlakları büyük ölçüde azalmaktadır. Ayrıca kauçuklu betonların titreşim ve darbelere karşı büyük ölçüde dayanım kazandığı da bilinmektedir (Turgut vd., 2007; Topçu, 1995; Topçu ve Avcular, 1997a; Topçu ve Avcular, 1997b). Li ve arkadaşları, elde ettikleri kauçuklu betonların, düktil bir kırılma sergilediğini, basınç-eğilme yükleri altında daha fazla enerji soğurduğunu ve iyi bir titreşim yalıtımı sağladıklarını kaydetmişlerdir (Li vd., 1998). Khatib ve Bayomy beton içerisinde ince ve iri agrega yerine iki farklı boyutta lastik agrega kullanılmasının lastik agregalı betonun dayanımını azalttığını, buna karşın tokluğunu arttırdığını belirlemişlerdir (Khatib ve Bayomy, 1999). Oliveras ve arkadaşları ortalama uzunlukları 12.5 mm olan atık lastik ve polipropilen lif kullanımının lastik agregalı betonların basınç dayanımlarını azalttığını belirlemişlerdir (Olivares vd., 2002). Segre ve Joekes atık lastik tozlarını sodyum hidroksit çözeltisi içerisinde yüzey işlemine tabi tutarak beton içerisinde kullanmışlar ve ürettikleri lastik agregalı betonların basınç dayanımları ile tokluklarının arttığını kaydetmişlerdir (Segre ve Joekes, 2000). Güneyisi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, silika katkılı ve silika katkısız lastik agregalı betonun mekanik özelliklerini belirlemişler ve silika füme katkısının lastik agregalı betonun basınç dayanımındaki düşüş oranını azalttığını kaydetmişlerdir (Güneyisi vd., 2004).

Tablo 4.3 farklı uygulamalar için hafif beton dayanım kriterlerini özetlemektedir (Neville, 2002). Yapılan çalışmalar, beton içerisinde yaklaşık %20 lastik agrega kullanımı ile taşıyıcı hafif beton üretiminin söz konusu olduğu, yaklaşık %60 lastik agrega kullanımı ile de orta dayanımlı hafif beton üretiminin mümkün olacağını ve dayanımın ikinci planda olduğu uygulamalarda bu tür betonların kullanılabileceğini göstermiştir.

Tablo 4.3. Hafif beton karakteristikleri

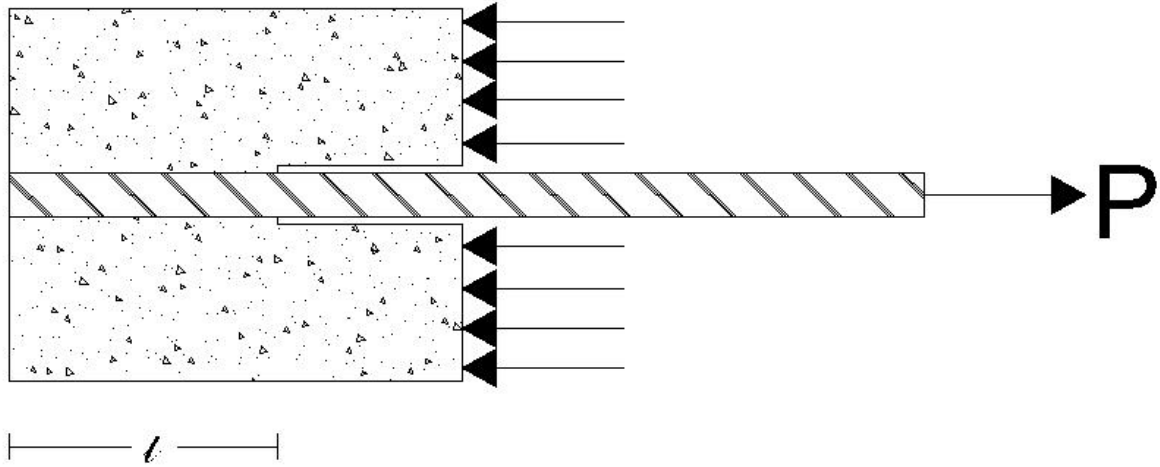
Beton Sınıfı	Yoğunluk (kg/m ³)	Minimum Dayanım (MPa)
Taşıyıcı Hafif Beton	1350-1900	17
Orta Dayanımlı Beton	1900-800	7-17
Düşük Dayanımlı Beton	300-800	Yapısal olmayan amaçlarla kullanılır (Yalıtım panelleri, kaplamalar, bloklar vs.)

Beton içerisinde agreganın hacimsel olarak %60-%75 oranında yer kapladığı bilinmektedir, yeni deprem yönetmeliğinde yapı kalitesinin yükseltilmesi ve depreme dayanıklı yapı tasarımı için deprem bölgelerinde kullanılacak en düşük beton dayanım sınıfını C 20 olarak belirlemiştir. Türkiye Hazır Beton Birliği verilerine göre, 2010 yılında

Ülkemizde düşük dayanımlı (≤ 20 MPa) beton üretimi toplam üretimin yaklaşık %4.38'i civarındadır (THBB, 2011). Sadece beton agregası için tahmin edilen bu veriler dikkate alındığında, hammaddenin en çok tüketildiği sektörlerden biri olan inşaat sektöründe atık lastiklerin yeniden değerlendirilmesinin çevresel korunum, sürdürülebilirlik ve ekonomik kazanım açısından önemini ortaya koymaktadır.

5. BETON-DONATI ADERANSI

Taşıyıcı betonlar birçok durumda demir donatı ile beraber kullanıldığından, her iki malzeme arasındaki aderans yapısal davranış açısından büyük önem taşımaktadır. Betonun yük altında kırılması, çimento hamurunun veya agreganın yeterli direnci gösterememesinden ya da çimento hamuru ile agrega arasındaki aderansın yeterince yüksek olmamasından kaynaklanmaktadır (Erdoğan, 2003). Aderans, beton ile demir donatı arasındaki sürtünme ile yapışma direncinden ve nervürlü donatı kullanımı ile mekanik kenetlenmeden kaynaklanmaktadır. Bu iki tür aderans, ankraj (kenetlenme) aderansı ve eğilme aderansı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ankraj donatının betona gömülmesi olayıdır, burada yük donatı ile beton arasındaki bağ tarafından karşılanır. Pull-out (çekip-çıkarma) deneyi buna en iyi örnektir (Şekil 5.1) (Mindness ve Young, 1981; Neville, 2002; MacGinlet ve Choo, 2003).



Şekil 5.1. Çekip-çıkarma (Pull-out) deney düzeneği

Bir yapıda donatı aderansı yalnızca beton karakteristiklerinden etkilenmez, donatının ve yapının geometrisinden de etkilenir. Beton ve donatı arasındaki aderans, beton-çelik dayanımı, donatı geometrisi, donatının beton içerisindeki konumu (basınç ya da çekme donatısı), yükleme cinsi (çekip-çıkarma ya da eğilme), ankraj boyu, donatı çapı, çevresel etkiler, sıcaklık etkisi, beton örtü kalınlığı ve donatının paslanması gibi birçok faktörden etkilenmektedir (Mindness ve Young, 1981; Neville, 2002).

Aderans gerilmeleri elik ile betonun, aralarındaki sınırlarda birbirlerine paralel yönde rölatif yer değiştirmelerine mani olan kuvvetlerdir. Kuvvetlerin oluşabilmesi için donatı çeliği ve betonun birbirlerini rölatif olarak harekete zorlaması gerekir. Kuvvet tesirleri altında beton ile çeliğin rölatif olarak birbirleri üstünde kaymasına “aderans kayması” denir. Aderans kaymaları fazlalařtıķa beton çatlakları genişler. Kayma sınırsız bir hal alıp aderans tamamen kaybolursa, donatı betondan sıyrılıp çıkar (Karataş, 2007).

6. MATERYAL ve METOT

Lastik agregalı KYB üretimi için hammadde olarak, su, CEM I 42.5 R ve CEM IV/B (P) 32.5 R olmak üzere iki farklı çimento, ince öğütülmüş yüksek fırın cürufu, ince agreg (0-4.75 mm), iri agreg (4.75-12.5 mm), lastik agreg, süperakışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici kullanılmıştır. Lastik agregaların düşük birim ağırlıklarından dolayı segregasyon probleminin önlenmesi amacıyla lastik ilaveli KYB karışımlarında hava sürükleyici katkı maddesi kullanılmıştır. Çalışmada iki farklı çimento kullanılmasının sebebi, KYB üretiminin dezavantajlarından olan yüksek dozaj nedeniyle yüksek hidrasyon ve kuruma rötresi gibi sorunlardan kaçınmak ve karışımın viskozitesini ayarlamaktır. Karışıma giren malzemelerin karakteristik özellikleri bu bölümde özetlenmiştir.

6.1. CEM I 42.5 R

Çalışmada kullanılan çimentolardan biri olan CEM I 42.5 R tipi çimentodur ve Oyak Bolu Çimento Fabrikası A.Ş.'den temin edilmiştir. CEM I 42.5 R tipi çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1. CEM I 42.5 R tipi çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler

Kimyasal kompozisyon		Fiziksel özellikler	
SiO ₂ (%)	18.37	Priz başlangıcı (sa/dk)	02:20
Al ₂ O ₃ (%)	4.26	Priz sonu (sa/dk)	03:55
Fe ₂ O ₃ (%)	3.89	Hacim sabitliği (mm Toplam)	1.3
CaO (%)	64.04	Özgül ağırlık	3.18
MgO (%)	1.52	Özgül yüzey (cm ² /g)	4209
SO ₃ (%)	3.01	Elek üstü (45 µ)	3.65
Na ₂ O (%)	0.12	Mekanik özellikler	
K ₂ O (%)	0.72	Basınç dayanımı (MPa)	
Toplam Alkali	0.59	2. Gün	31.0
Cl ⁻	0.0226	7. Gün	39.7
Kızdırma Kaybı	4.23	28.Gün	55.4
Çözünmeyen kalıntı (%)	0.73	Eğilme Dayanımı (MPa)	
S.CaO (%)	1.40	28. Gün	8.4
Mineralojik kompozisyon			
C ₃ S (%)	72.66		
C ₂ S	-		
C ₃ A	4.69		
2C ₃ A+C ₄ AF	11.84		

6.2. CEM IV/B (P) 32.5 R

Çalışmada kullanılan bir diğer çimento ise CEM IV/B (P) 32.5 R tipi çimentodur ve Oyak Bolu Çimento Fabrikası A.Ş’den temin edilmiştir. Bu çimentoya ait fiziksel kimyasal ve mekanik özellikler Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2. CEM IV/B (P) 32.5 R tipi çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler

Kimyasal kompozisyon	
SiO ₂ (%)	37.37
Al ₂ O ₃ (%)	10.02
Fe ₂ O ₃ (%)	4.01
CaO (%)	38.62
MgO (%)	1.69
SO ₃ (%)	2.69
Na ₂ O (%)	0.93
K ₂ O (%)	0.77
Kızdırma kaybı (%)	1.18
Toplam Alkali	1.44
Cl ⁻	0.0130
Katkı miktarı (%)	46.89
Çözünmeyen kalıntı (%)	-
S.CaO (%)	1.65
Fiziksel özellikler	
Priz başlangıcı (sa/dk)	02:40
Hacim sabitliği (mm Toplam)	1.0
Özgül ağırlık	2.88
Özgül yüzey (cm ² /g)	5649
Elek üstü (45 µ)	0.75

6.3. Yüksek Fırın Cürufu

Çalışmada kullanılan yüksek fırın cürufu Oyak Bolu Çimento Ereğli Öğütme ve Paketleme Tesislerinden temin edilmiş olup fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 6.3’te verilmiştir.

Tablo 6.3. Yüksek fırın cürufuna ait fiziksel ve kimyasal özellikler

Kimyasal kompozisyon		Fiziksel özellikler	
SiO ₂ (%)	41.00	Priz başlangıcı (sa/dk)	02/00
Al ₂ O ₃ (%)	13.32	Priz sonu (sa/dk)	02/25
Fe ₂ O ₃ (%)	1.11	Özgül ağırlık	2.78
CaO (%)	34.17	Rutubet (%)	0.07
MgO (%)	7.29	Özgül yüzey (cm ² /g)	5048
SO ₃ (%)	0.11	Elek üstü (45 µ)	0.90
S ⁼	0.72		
Na ₂ O (%)	0.44		
K ₂ O (%)	0.96		
TiO ₂	0.87		
Mn ₂ O ₃	0.76		
Kızdırma kaybı (%)	0.14		
Cl ⁻	0.0158		
(CaO+ MgO)/ SiO ₂	1.01		
CaO + MgO + SiO ₂	82.46		
Camsı faz	100.00		

6.4. Süperakışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı

Çalışmada kullanılan polikarboksilat bazlı yüksek oranda su azaltıcı, hiper akışkanlaştırıcı beton katkısı, İksa İnşaat Katkıları San. ve Tic. Ltd. Şti.'den temin edilmiş olup firmanın açıklamış olduğu ürün bilgisi Tablo 6.4'te verilmiştir.

Tablo 6.4. Süperakışkanlaştırıcı katkının teknik özellikleri (URL-5)

Teknik Özellikler	
Görünüm:	Açık kahverengi sıvı
Yoğunluk:	1.10 ± 0.03 kg/L
pH:	4.00-5.00
Klorür:	≤ %0.1 (TS EN 480-10)
Alkali içeriği:	≤ %1 (TS EN 480-12)
Kullanım şekli ve dozaj:	Çimento miktarına göre; Akıcı betonlar için % 0.8-1.2, Plastik betonlar için % 0.8-1.5, Kompakt betonlar için en az % 0.5 oranlarında kullanılır. Optimal dozaj; istenilen çalışabilirlik ve mukavemetle ilgili olarak şantiye şartlarında yapılacak ön denemelerle tespit edilir. Beton karışım bileşenleri ve suyun %70'i ilave edilip, homojen bir karışım elde edildikten hemen sonra kalan su ile birlikte ilave edilir. Silis dumanı, uçucu kül gibi malzemelerle uyumludur.

6.5. Hava Sürükleyici Kimyasal Katkı

Çalışmada kullanılan sentetik yüzey aktif kimyasal yapıya sahip, hava sürükleyici katkı maddesi, İksa İnşaat Katkıları San. ve Tic. Ltd. Şti.'den temin edilmiş olup firmanın açıklamış olduğu ürün bilgisi Tablo 6.5'te verilmiştir.

Tablo 6.5. Hava sürükleyici katkı malzemesine ait teknik özellikler (URL-6)

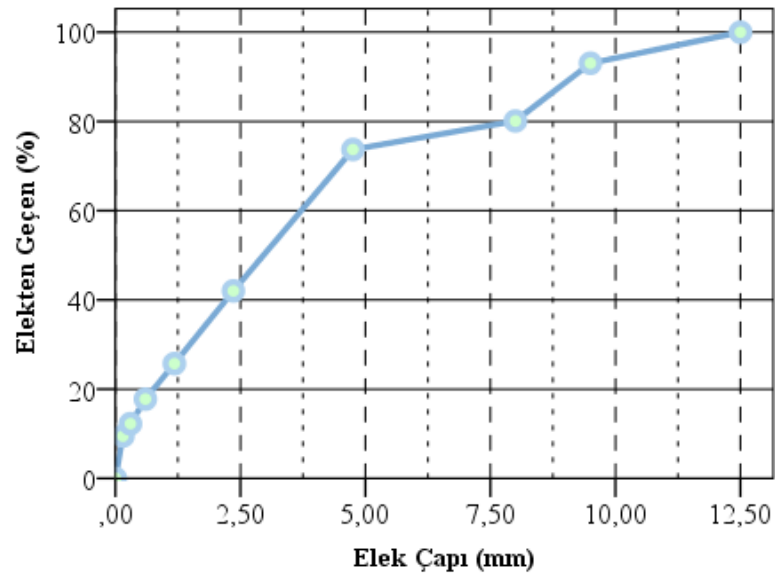
Teknik Özellikler	
Görünüm:	Açık renkli sıvı
Yoğunluk:	1.01 ± 0.02 kg/L
pH:	6.50-7.50
Klorür:	$\leq \%0.1$ (TS EN 480-10)
Alkali içeriği:	$\leq \%10$ (TS EN 480-12)

6.6. Su

Çalışmada şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

6.7. Agregat

Çalışmada ince (0 – 4.75 mm) ve iri agregat (4.75 -12.5 mm) olarak, Düzce yöresinden temin edilen Kapıcıoğlu A.Ş firmasının üretmiş olduğu kireçtaşı kullanılmıştır. Kullanılan agregata ait fiziksel ve mekanik özellikleri, agregat granülometrisi ise Şekil 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1. Kullanılan agregata ait granülometri eğrisi

6.8. Lastik Agregası

Bu çalışmada kullanılan lastik agregaları, lastik kaplama işlemi sırasında ortaya çıkan atık lastiklerden seçilmiştir. Kaplama işlemi için hazırlanan kullanılmış lastiklerin temas yüzeyleri kesici aletler yardımıyla traşlanarak elde edilmiştir. Elde edilen lastikler beton içerisinde kullanmak üzere 4.75 mm elekten elenmek suretiyle ince malzemelerden arındırılmıştır. Eleme işlemi sonrası elde edilen lastik agregaların görünüşleri Şekil 6.2'deki gibidir.



Şekil 6.2. Lif şeklindeki lastik agregaları

100 adet numune üzerinden kumpas ile yapılan maksimum en ve boy ölçümlerinden, kullanılan lastik agregaların ortalama enlerinin 4.39 mm ve ortalama boylarının ise 21.04 mm olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan lif şeklindeki atık lastik agreganın özgül ağırlığı 1.02 olarak tespit edilmiştir.

6.9. Karışım Oranları

Lastik agregalı KYB üretiminde önce lastik içermeyen (referans) KYB tasarımı gerçekleştirilmiş ve KYB içerisinde lastik kullanımının beton özelliklerine etkisini araştırmak amacıyla, literatürde sık karşılaşılan bir yöntem kullanılarak, lastik agregaları iri agrega ile hacimsel olarak yer değiştirilmiştir (Khatib ve Bayomy, 1999; Emiroğlu vd., 2008; Topçu, 1995; Güneyisi vd., 2004).

Lastik agregası içeren KYB karışımlarında olası segregasyon problemini önlemek amacıyla, toplam bağlayıcı oranının % 0.5'i oranında hava sürükleyici katkı maddesi kullanılmış ve referans karışım, hava sürükleyici katkının etkisini araştırmak amacıyla hava sürükleyici içeren ve içermeyen olmak üzere iki gruba ayrılmıştır.

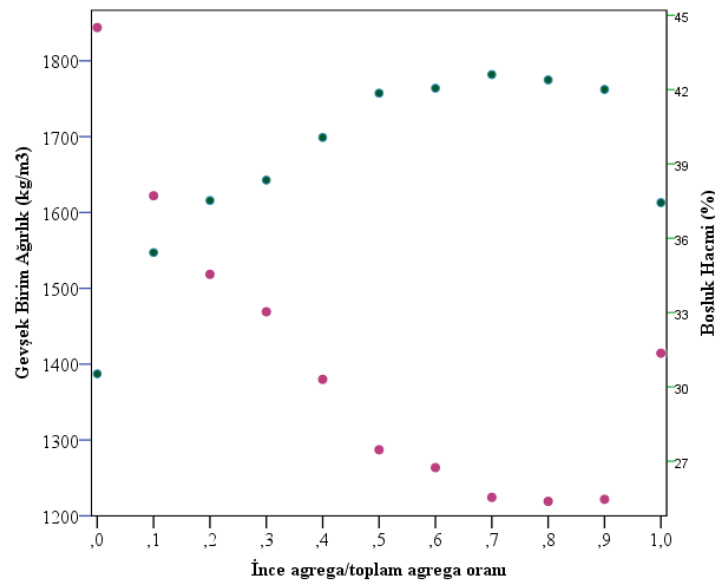
Maksimum doluluğu sağlamak amacıyla çalışmada kullanılan ince ve iri agregaların oranlarının belirlenmesinde, sırasıyla her iki agreganın gevşek birim hacim ağırlıkları ve buna bağlı boşluk hacimleri hesaplanmış ve maksimum doluluğu veren oran tespit edilmiştir. Bu amaçla ağırlıkça ince agregası/toplam agregası oranı %0 ile %100 olacak şekilde her bir karışım için gevşek birim ağırlık (γ_g) ve boşluk hacmi (e) değerleri sırasıyla Denklem 6.1 ve Denklem 6.2 yardımıyla belirlenmiştir (Arıoğlu vd., 2006; Yardımcı, 2007).

$$\gamma_g = \frac{\text{Agregası Ağırlığı}}{\text{Deney Kabı Hacmi}} \quad (6.1)$$

$$e = \left[1 - \gamma_g \frac{a \times (\rho_c - \rho_f) + \rho_f}{\rho_c \times \rho_f} \right] \times 100 \quad (6.2)$$

Burada; e, agregası karışımındaki boşluk hacmi yüzdesini, γ_g , karışımın gevşek birim hacim ağırlığını (kg/m^3), a, karışımındaki ince agregası/toplam agregası oranını ρ_c ve ρ_f ise sırasıyla iri ve ince agregasının kuru özgül ağırlıklarını ifade etmektedir.

Elde edilen sonuçlar Şekil 6.3'te verilmektedir. Şekil 6.3'e göre en uygun ince agregası/toplam agregası oranı 0.70 olarak seçilerek KYB üretiminde bu oranlar kullanılmıştır.



Şekil 6.3. Optimum ince/toplam agregası seçimi

İnce agregat/toplam agregat oranı belirlendikten sonra, toplam toz malzeme miktarı 600 kg/m³ seçilmiş ve slump-yayılma sınıfı SF3 olacak şekilde deneme-yanılma yoluyla ayırmaya yer vermeyecek gerekli su ve akışkanlaştırıcı oranları belirlenmiştir. Toz malzeme olarak, CEM I 42.5 R, CEM IV/B (P) 32.5 R çimento ve Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu kullanılmıştır.

Bu çalışmada, referans KYB karışım oranları belirlendikten sonra karışıma ait doğal iri agregalar hacimce %0, %15, %30, %45 ve %60 oranlarında atık lastik agregalarla yer değiştirilerek lastik agregalı KYB karışımları hazırlanmıştır. Tüm serilere ait karışım oranları Tablo 6.6'da verilmektedir.

Tablo 6.6. KYB karışım oranları (1 m³)

Bileşen	Numune Kodu-Lastik Agregat Oranı (%)					
	R0	R0a	R15	R30	R45	R60
	0	0	15	30	45	60
Çimento (CEM I) (kg/m ³)	300	300	300	300	300	300
Çimento (CEM IV) (kg/m ³)	165	165	165	165	165	165
Yüksek Fırın Cürufu (kg/m ³)	135	135	135	135	135	135
Toplam Filler (kg/m ³)	600	600	600	600	600	600
Su (kg/m ³)	170	170	170	170	170	170
Su/Filler (kg/m ³)	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Su/Çimento	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
Akışkanlaştırıcı (% 1,5) (kg/m ³)	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
Hava Sürükleyici (% 0,5) (kg/m ³)	-	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
İnce Agregat (0-5 mm) (kg/m ³)	1192	1192	1192	1192	1192	1192
İri Agregat (5-12 mm) (kg/m ³)	521	521	443	364	286	208
Lastik Agregat (5-12 mm) (kg/m ³)	-	-	29.8	59.7	89.5	119.3

6.10. Numune Hazırlama ve Taze/Sertleşmiş Beton Deneyleri

6.10.1. Numune Hazırlama

Tablo 6.6'daki oranlarla elde edilen numuneler 100 litre kapasiteli mikser (Şekil 6.4) içerisine sırasıyla agregat, çimentolar ve öğütülmüş yüksek fırın cürufu yerleştirildikten sonra 1 dakika karıştırılmıştır. Karışma işlemi devam ederken su miktarının dörtte üçü ilave edilerek 1 dakika daha karıştırmaya devam edilmiştir. Geriye kalan su (toplam suyun ağırlıkça dörtte biri) akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici ile birlikte karışma eklenerek

topaklaşma bitinceye ve segregasyona sebebiyet vermeyinceye kadar (3.5-4 dakika) mikser çalıştırılmaya devam edilmiş ve taze beton özelliklerinin belirlenmesine geçilmiştir.



Şekil 6.4. KYB karışımlarının hazırlanmasında kullanılan mikser

Karışımların işlenebilirlik, geçme kabiliyeti ve akışkanlık parametrelerini belirlemek üzere, Slump Yayılma, V-hunisi, L-kutusu, J-ringi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca her bir numune için taze beton birim ağırlık deneyi yapılmıştır. Her bir seri için gerekli taze beton deneyleri gerçekleştirilirken iki ayrı beton dökümü yapılmıştır. Buna göre, Slump-yayılma, V-hunisi ve birim ağırlık deneyleri birinci karışımda, L-kutusu ile J-ringi deneyleri ise ikinci karışımda tespit edilmiştir.

Sertleşmiş beton deneylerinden, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, ultrases hızı, birim ağırlık, su emme, görünür porozite, donatı aderansı deneyleri her bir seri için ayrı ayrı araştırılmıştır.

Basınç, yarmada çekme, ultrases hızı, birim ağırlık, su emme oranı ve görünür porozite deneyleri için $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ numuneler kullanılmıştır. Donatı aderansı deneyleri için Şekil 6.5'te detayları verilen $10 \times 10 \times 15 \text{ cm}^3$ numuneler ile 14 mm çapa sahip nervürlü donatılar kullanılmıştır. Tüm bu deneyler 7 günlük ve 28 günlük kür süreleri ardından gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.5. Donatı aderansı deneylerinde kullanılan kalıplar

Hazırlanan tüm numuneler kırılma gününe kadar kür tankında bekletilmiştir. Kür tankında bekletilen numunelere ait görüntü Şekil 6.6’da görülmektedir.



Şekil 6.6. Kür tankında bekletilen numunelerden bir görünüş

6.10.2. Taze Beton Birim Ağırlığı

Taze beton birim ağırlık deneyi yapmak üzere hacmi belli bir kap içerisine numune sıkıştırma yapmaksızın yerleştirilmiş ve terazide tartılarak deney tamamlanmıştır. Taze beton birim ağırlık değerleri hesaplanırken Denklem 6.3 kullanılmıştır.

$$\text{Birim Ağırlık} = \frac{\text{Beton Ağırlığı}}{\text{Kabin İç Hacmi}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \quad (6.3)$$

6.10.3. Slump-Yayılma Deneyi

Hazırlanan taze beton numuneleri EFNARC 2005'te belirtildiği üzere Slump hunisi içerisine sıkıştırmaksızın yerleştirilmiş ve huni dikey olarak yukarı çekilip, T_{500} (sn) akma süresi ile nihai akma tamamlandıktan sonra birbirine dik iki yayılma çapı D_1 ve D_2 (mm) ölçülmüştür (Şekil 6.7).



Şekil 6.7. Slump-yayılma deneyi

6.10.4. V-Hunisi Deneyi

V-şekilli huni içerisine yaklaşık 12 litre taze beton yerleştirildikten sonra alttaki kapağın açılması ile birlikte kronometre başlatılmış ve huni üzerinden aşağı bakıldığında ışık görünen ana kadar olan süre T (sn) kaydedilmiştir. Deney düzeneği Şekil 6.8'de görülmektedir.



Şekil 6.8. V-hunisi deney aleti

6.10.5. L-Kutusu Deneyi

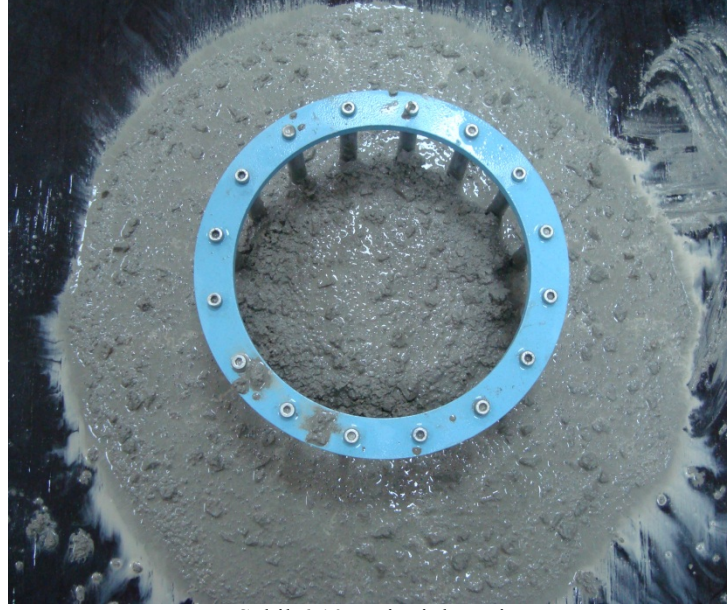
Yatay ve dikey iki kolu bulunan L şeklindeki bir kutu içerisine yaklaşık 12 litre beton doldurularak alttaki kapak açılmış ve kronometre başlatılmıştır. Taze beton öncelikle hemen kapağın ardında yerleştirilmiş olan 3 adet Ø12'lik donatılardan geçmeye çalışmaktadır. Taze betonun yatay kol üzerinde işaretli olan 200 ve 400 mm'lik mesafelere varış süreleri kronometre yardımıyla ölçülmüştür. Taze betonun L-kutusu içerisinde tamamen akmasını tamamladığı anda her iki kolun uç kısmındaki beton yükseklikleri H_1 ve H_2 (mm) ölçülmüştür (Şekil 6.9).



Şekil 6.9. L-kutusu deney aleti

6.10.6. J-Ringi Deneyi

Taze beton geçiş kabiliyetini ölçmek üzere J-ringi içerisine yerleştirilen Slump-hunisine karışım sıkıştırılmadan yerleştirilmiştir. Daha sonra huni dikey olarak yukarı çekilmiştir. Taze beton yerleşmesini tamamladıktan sonra halkanın içinden ve dışından dörder adet ve halkanın ortasından da bir adet olmak üzere toplam dokuz adet çökme değeri (mm) kaydedilmiştir. Ayrıca slump-yayılma deneyinde olduğu gibi birbirine dik iki doğrultuda toplam yayılma çapları (mm) da kaydedilmiştir (Şekil 6.10).



Şekil 6.10. J-ringi deneyi

6.10.7. Sertleşmiş Betonda Birim Ağırlık, Su Emme ve Görünür Porozite Deneyleri

Numuneler 7 ve 28 günlük kür periyotları ardından kür tankından çıkarılıp yüzey nemleri bir bez yardımıyla alınarak hacimleri su ile yer değiştirme metoduna uygun olarak belirlenmiştir. Daha sonra 105 ± 5 °C sıcaklığındaki etüvde 24 saat süreyle kurutulan numuneler tartılarak deney tamamlanmıştır. 7 ve 28 günlük sertleşmiş beton birim hacim ağırlık, su emme ve görünür porozite değerleri sırasıyla Denklem 6.4-6.7 kullanılarak belirlenmiştir.

$$\text{Birim Hacim Ağırlık (DYK)} = \frac{M_1}{M_1 - M_2} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \quad (6.4)$$

$$\text{Birim Hacim Ağırlık (Etüv Kuru)} = \frac{M_3}{M_1 - M_2} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \quad (6.5)$$

$$\text{Görünür Porozite (\%)} = \frac{M_1 - M_3}{M_1 - M_2} \times 100 \quad (6.6)$$

$$\text{Su Emme Oranı} = \frac{M_3}{(M_1 - M_3)} \times 100 \quad (6.7)$$

6.10.8. Ultrases Hızı Ölçümleri

Serleşmiş beton numuneleri üzerinde 7 ve 28 günler ardından ultrases hızı ölçümleri gerçekleştirilmiş ve Denklem 6.8 yardımıyla ultrases geçiş hızı değerleri hesaplanmıştır (Şekil 6.11).

$$V = \frac{S}{t} \left(\frac{\text{km}}{\text{sn}} \right) \quad (6.8)$$



Şekil 6.11. Ultrases geçiş hızı ölçümü

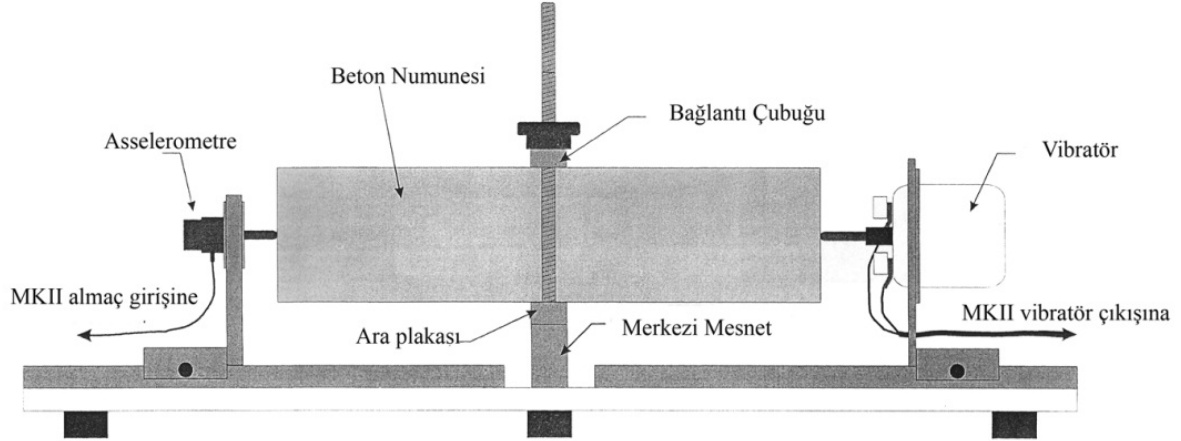
6.10.9. Dinamik Elastisite Modülü Tayini

Birçok bariyer, karayolu temel katmanları, barajlar ve diğer altyapı tesislerinin çoğu betondan imal edilmektedir. Bu yapıların bazıları, araçların hareketinden kaynaklanan ani yükleme ya da dinamik şoklama gibi titreşim etkilerine maruz kalmaktadırlar. Hiç kuşku yoktur ki bu yapıların dinamik özellikleri özellikle titreşim kontrolü ve sesi azaltma açısından önem taşımaktadır (Zheng vd., 2008).

Herhangi bir elastik sistemin en önemli dinamik özelliği titreşimin doğal frekansıdır. Belirli bir boyuttaki kirişin titreşiminde, titreşimin doğal frekansı, dinamik elastisite modülü ve yoğunluğa bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle bir malzemenin dinamik elastisite modülü değeri, prizmatik numuneler üzerinde gerçekleştirilen titreşimin doğal frekansının belirlenmesi ile hesaplanabilmektedir (Malhotra, 2004; Malhotra, 2006).

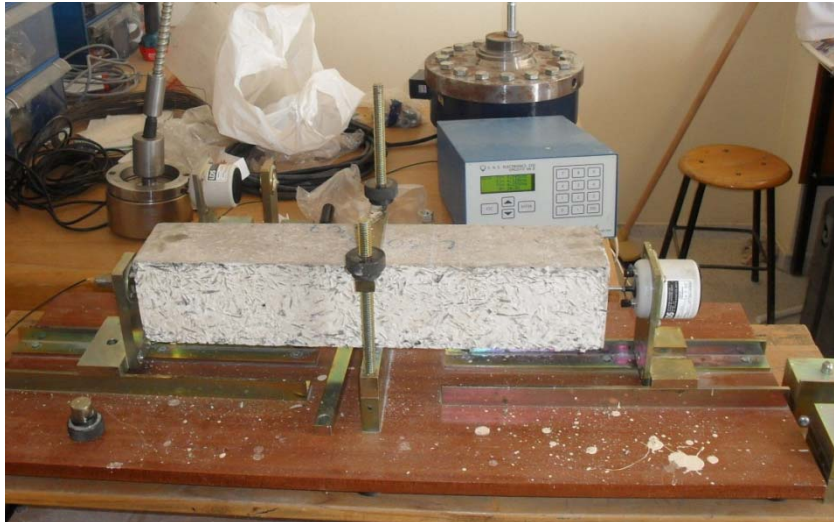
Dinamik elastisite modülü değeri, rezonans frekansı deneyi (ASTM 215, 2002) ile hesaplanabileceği gibi ultrases hızı yöntemi (Malhotra, 2006) ile de hesaplanabilmektedir.

Rezonans frekansı deneyinde Şekil 6.12'deki EruditeMK-II marka deney aleti kullanılmıştır.



Şekil 6.12. Rezonans frekansı ölçüm aleti

Hazırlanan 10x10x50 cm³ prizma numuneler 28 günlük kür işlemi ardından kür tankından çıkarılmış ve 24 saat süre ile hava kurusu hale gelmeleri beklendikten sonra rezonans frekansı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümler boyuna rezonans frekansı modunda gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.13).



Şekil 6.13. Boyuna rezonans frekansı ölçümü

Tüm serilere ait dinamik elastisite modülü değerleri, rezonans frekansı deneyi ardından Denklem 6.9 yardımıyla hesaplanmıştır (Malhotra, 2004; Malhotra, 2006).

$$E=4L^2 \rho N^2 \quad (6.9)$$

Burada;

E = Dinamik elastisite modülü (MPa),

L = Numune uzunluğu (mm),

P = Malzeme yoğunluğu (kg/m^3) ve

N = Boyuna rezonans frekansı (kHz)

6.10.10. Beton Basınç Dayanımı

7 ve 28 günlük basınç dayanımı deneyi tüm seriler için $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ boyutundaki numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımı deneyinde 200 ton kapasiteli tek eksenli hidrolik pres kullanılmıştır (Şekil 6.14).



Şekil 6.14. Basınç dayanımı deneylerinde kullanılan hidrolik pres

Hidrolik pres makinesi, beton numunesinin taşıyabileceği maksimum kuvvete ulaştığı anda yüklemeye otomatik olarak son vermiştir. Maksimum kırılma yüklerine göre küp numunelerin basınç dayanımları Denklem 6.10 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{P_{\max}}{A} \quad (6.10)$$

Burada;

σ = Maksimum basınç gerilmesi (MPa),

$P_{\max}$ = Numunenin kırıldığı maksimum yük miktarı (N),

A = Numunenin kesit alanıdır (mm^2).

6.10.11. Yarmada Çekme Dayanımı

7 ve 28 günlük sertleşmiş beton numunelerinin yarmada çekme dayanımlarının belirlenmesinde basınç dayanımında kullanılan pres kullanılmıştır. 10x10x10 cm³ boyutundaki numuneler Şekil 6.15'te görüldüğü üzere özel aparat yardımıyla kırılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.15. Yarmada çekme deneyi

Prese düzgün bir şekilde yerleştirilen numuneler üzerine yük uygulanmış ve kırılma anında yük otomatik kaldırılarak Denklem 6.11'e göre numunelerin dolaylı çekme dayanımları belirlenmiştir.

$$\sigma_{st} = \frac{2 \times P_{max}}{\pi \times a^2} \quad (6.11)$$

Burada;

σ_{st} = Yarmada çekme dayanımını (MPa);

P_{max} = Maksimum yarılma yükünü (N) ve

a = Numune boyutunu (mm) ifade etmektedir.

6.10.12. Eğilme-Çekme Dayanımı

Sertleşmiş betonun eğilme-çekme dayanımını belirlemek üzere 28 günlük kür periyodu ardından 10x10x50 cm³'lük prizma numuneler Şekil 6.16'da görüldüğü gibi üç nokta

eğilme deneyine tabi tutularak deneyler gerçekleştirilmiştir (TS EN 12390-5). Eğilme-çekme dayanımlarının belirlenmesine Denklem 6.12 kullanılmıştır.

$$\sigma_{e\check{c}} = \frac{3 \times P_{\max} \times L}{2 \times b \times d^2} \quad (6.12)$$



Şekil 6.16. Üç nokta eğilme deneyi

6.10.13. Donatı Aderansı

Hazırlanan lastik agregalı KYB numuneleri üzerinde 7 ve 28 günlük kür periyotları ardından donatı aderansı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Donatı aderanslarının belirlenmesinde Şekil 6.17’de gösterilen çekip çıkarma (pull-out) deneyi kullanılmıştır.



Şekil 6.17. Çekip çıkarma deney düzeneği

Şekil 6.17’de görüldüğü üzere 500 kN kapasiteli üniversal çekme cihazına yerleştirilen numuneler 0.030 mm/sn hızla çekilerek aşağıdaki eşitlik yardımıyla donatı aderansı değerleri hesaplanmıştır.

$$\tau = \frac{P_{\max}}{\pi \times l \times \phi} \quad (6.13)$$

Burada;

τ = Aderans dayanımı (MPa),

$P_{\max}$ = Maksimum yük (N),

l = Donatı ile beton arasındaki temas boyu (mm) ve

ϕ = Donatı çapıdır (mm).

7. ARAŞTIRMA BULGULARI

Kendiliğinden yerleşen lastik agregalı betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmaların sonuçları bu bölümde verilmiştir. Lif etkisi göstermesi beklenen atık lastiklerin kullanıldığı kendiliğinden yerleşen betonların taze haldeki akışkanlık parametreleri, sertleşmiş haldeki fiziksel ve mekanik özellikleri ve beton-donatı aderansı performansları deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada deneysel sonuçların istatistiksel analizler ışığında yorumlanması amacıyla tanımlayıcı istatistikler (Descriptives), varyans analizleri (ANOVA) ve Duncan çoklu karşılaştırma testleri gerçekleştirilmiştir.

7.1. Akışkanlık Parametreleri

Lastik agrega ikameli kendiliğinden yerleşen beton numunelerinin taze haldeki akışkanlık parametrelerinden, slump hunisi, V-kutusu, L-kutusu ve J-ringi deneyleri gerçekleştirilmiş ve deney sonuçları bu başlık altında verilmiştir.

7.1.1. Slump-Yayılma

Tablo 7.1’de slump yayılma deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 7.1. Slump yayılma deney sonuçları

Numune Adı	Lastik Agrega Oranı (%)	Slump Yayılma			
		D1 (mm)	D2 (mm)	D (mm)	T ₅₀₀ (sn)
R0	0	840	840	840	1.69
R0-A	0	740	700	720	5.54
R15	15	765	785	775	2.55
R30	30	710	740	725	5.66
R45	45	640	644	642	8.01
R60	60	610	620	615	5.69

Tablo 7.1’e göre R0 ve R0-A serileri karşılaştırıldığında, hava sürükleyici katkısının KYB’nin slump yayılma çapı değerini düşürdüğü ve T₅₀₀ akma süresini uzattığı görülmektedir. T₅₀₀ süresi KYB’nin viskozitesi ile ilgili olduğundan hava sürükleyici

katkısının viskoziteyi artırdığı görülmektedir. Szwabowski ve Piekarczyk (2009), kendiliğinden yerleşen betonlarda hava sürükleyici kullanımı üzerine yapmış olduğu çalışmada, hava sürükleyici katkıların kullanım oranına bağlı olarak karışımların akış yeteneklerini azalttıklarını belirtmişlerdir. Aynı şekilde, kendiliğinden yerleşen beton karışımları içerisinde hava sürükleyici kullanımının süper akışkanlaştırıcıya oranla slump yayılma çapı değerlerini azalttığı bildirilmiştir (Piekarczyk, 2012; Szwabowski ve Piekarczyk, 2008). Lif şekilli atık lastiklerin kesim işleminden kaynaklanan pürüzlü yapısı ve yüzey alanlarının doğal agregaya göre fazla olması nedeniyle oluşacak sürtünme sayesinde akmayı bir miktar engellediği, lif etkisi gösteren lastik agregaların karışımın akışını engellediği, ayrıca lastik agregaların düşük birim ağırlıklarının da yayılma çapındaki azalmanın bir diğer nedeni olduğu düşünülmektedir.

7.1.2. V-Hunisi Akma Süresi

KYB numunelerinin V-hunisi akma süreleri Tablo 7.2’de verilmiştir. Yüksek lastik ikamelerinde (%45 ve %60) V-hunisi deneyinde tıkanma meydana geldiği görülmektedir. Lifli yapıdaki lastik agregalar huninin alt kısmında betonun akmasını engellemiş ve tıkanmaya sebebiyet vermiştir. Ancak R15 serisinin 23 sn akma süresi ile EFNARC 2005’te verilen sınır değerleri sağladığı gözlenmiştir. Ayrıca R0 ve R0-A serileri karşılaştırıldığında, hava sürükleyici katkının KYB karışımının akmaya karşı direnciyle ilgili olan V hunisi akma süresini artırdığı gözlenmiştir.

Tablo 7.2. V-hunisi akma süresi

Numune Kodu	Hafif Agregat Oranı (%)	V-Hunisi T(sn)
R0	0	11
R0-A	0	17
R15	15	23
R30	30	41
R45	45	T
R60	60	T
T: Tıkanma nedeniyle ölçülemedi		

7.1.3. L-Kutusu Deneyi

Numunelere ait L-kutusu deney sonuçları Tablo 7.3'te verilmiştir. Tablo 7.3 incelendiğinde, R0, R0-A ve R15 serilerinin H1/H2 oranlarının 1 olduğu gözlenmektedir. Bu üç seri numune de L-kutusu içerisinde homojen olarak dağılmış ve kutunun her iki kolunda yükseklik farkı gözlenmemiştir. Ancak R30 ve R45 serilerinin H1/H2 oranları sırasıyla 0.38 ve 0.50 değerlerini almış ve kısmen tıkanmalar gözlenmiştir. Bunun yanında R60 serisinde tamamen tıkanma gözlenmiş olup deney gerçekleştirilememiştir.

Tablo 7.3. L-kutusu deney sonuçları

Numune Kodu	Lastik İkame Oranı (%)	L-Kutusu				
		T ₂₀ (sn)	T ₄₀ (sn)	H1 (mm)	H2 (mm)	H1/H2
R0	0	1.17	2.43	80	80	1
R0-A	0	2.66	4.26	80	80	1
R15	15	2.23	5.03	80	80	1
R30	30	4.51	12.41	50	130	0.38
R45	45	7.60	26.59	80	160	0.5
R60	60	Tıkanma gözlemlendi				

7.1.4. J-Ringi Deneyi

J-ringi deney sonuçları Tablo 7.4'te verilmiştir.

Tablo 7.4. J-ringi deney sonuçları

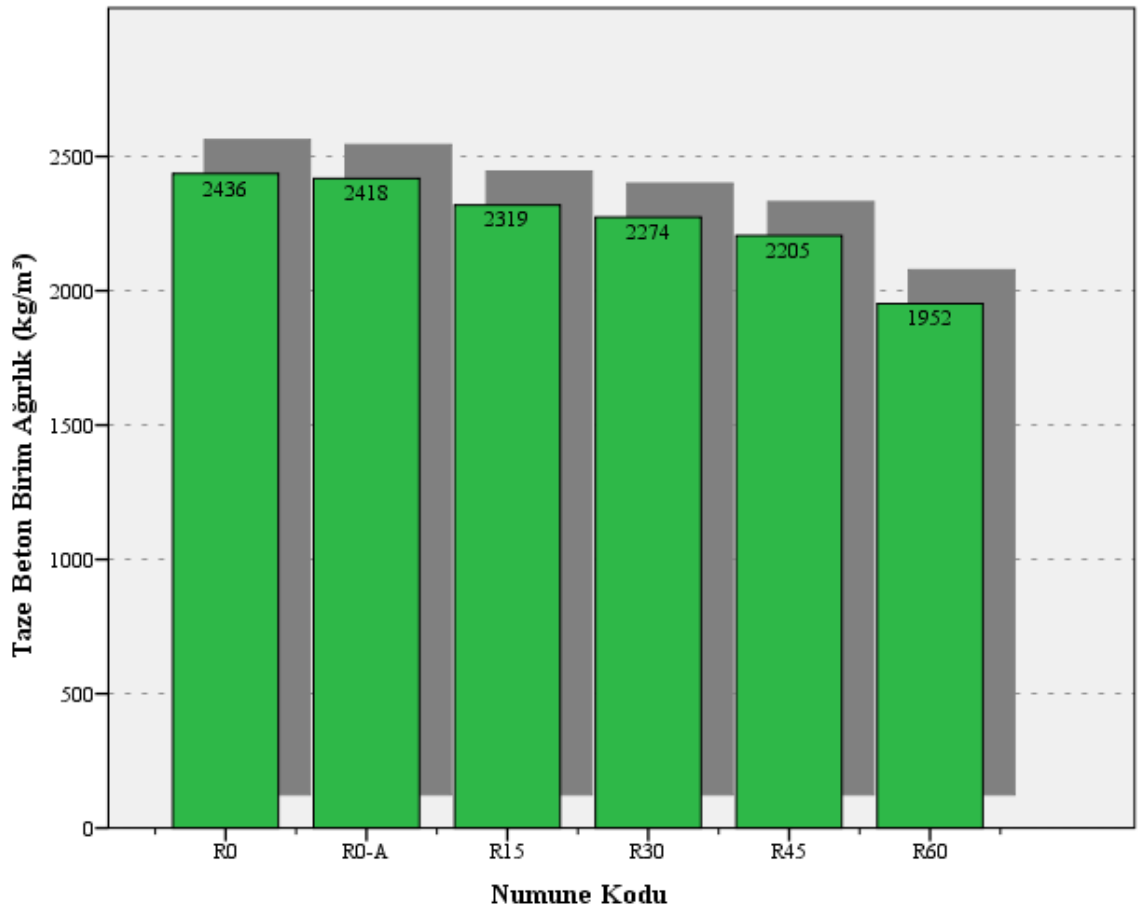
Numune Kodu	Lastik İkame Oranı (%)	Yayılma Çapı				Dış				İç				h-h ort. (mm)	Orta Nokta Çökme
		d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	$\frac{D}{d_1+d_2} \left(\frac{1}{2} \right)$	T ₅₀₀ (sn)	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4		
R0	0	795	795	795	2.31	125	127	125	124	125	120	118	124	3.50	119
R0-A	0	775	727	751	4.55	123	124	123	124	124	119	120	120	2.75	92
R15	15	615	585	600	6.61	122	122	122	122	105	100	110	105	17.00	80
R30	30	720	705	713	5.61	120	123	120	120	98	101	100	97	21.75	95
R45	45	355	360	358	4.60	123	122	120	122	97	97	85	103	26.25	97
R60	60	575	580	578	7.00	122	123	122	122	95	87	90	95	30.50	96

Tablo 7.4'te özetlenen ve KYB'nin donatı engelleri arasından geçme kabiliyetini ölçen J-ringi deney sonuçları incelendiğinde, lastik ikamesine bağlı olarak donatılar arasında

geçiş kabiliyetinde bir azalma gözlenmiş böylece lastik ikameli karışımlar akışını tamamlayamadan tıkanmalar meydana gelmiştir.

7.2. Taze Beton Birim Ağırlık

Hazırlanan numunelerin taze beton birim ağırlıkları Şekil 7.1’de verilmiştir. Şekil 7.1 incelendiğinde düşük özgül ağırlığı nedeniyle lastik ikamesi ile birlikte numunelerin taze beton birim ağırlık değerlerinde azalma gözlenmiştir. Şekil 7.1’e göre maksimum taze beton birim ağırlık değeri R0 referans serisinden elde edilirken minimum taze beton birim ağırlık değeri ise %60 lastik ikamesi içeren R60 serisinden elde edilmiştir.



Şekil 7.1. Taze beton birim ağırlık deney sonuçları

Şekil 7.1 incelendiğinde lastik ikamesine bağlı olarak KYB karışımlarının taze beton birim ağırlık değerlerinde düşüş sağlanmıştır. Lastik agregalar doğal agregalar ile hacimce ikame edildiğinden ve lastik agregaların daha düşük özgül ağırlığa sahip olmalarından dolayı birim ağırlıktaki bu azalma beklenen bir durumdur.

7.3. Sertleşmiş Beton Birim Ağırlık

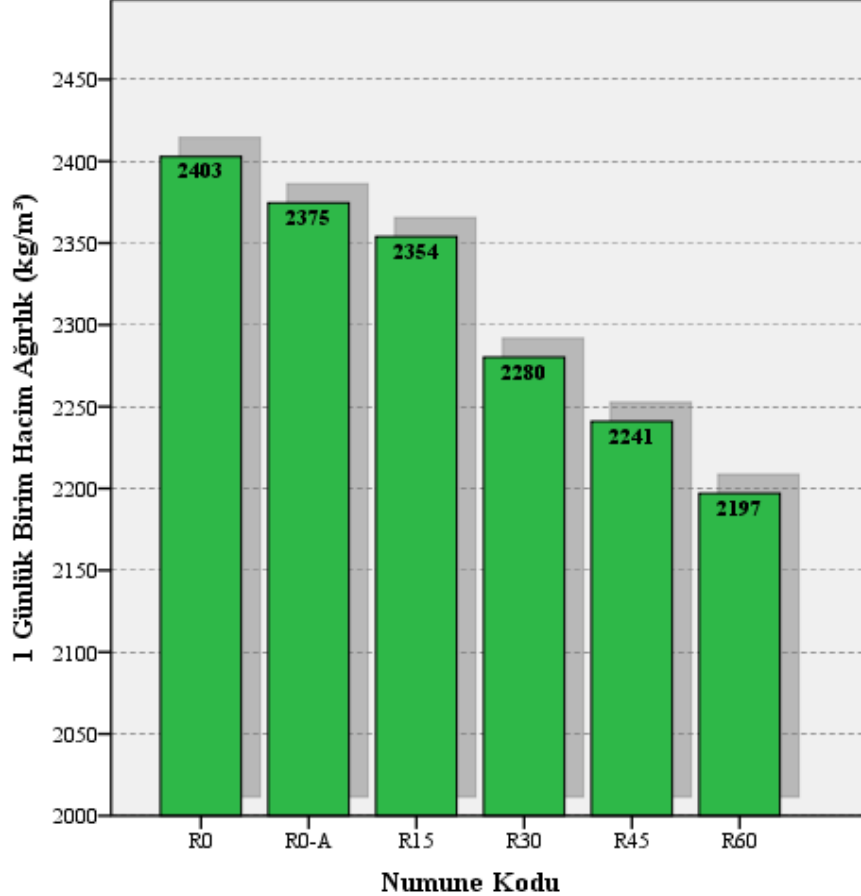
Sertleşmiş beton birim hacim ağırlık deneyleri 1, 7 ve 28 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilmiş ve deney sonuçları bu başlık altında verilmiştir.

7.3.1. Beton Birim Hacim Ağırlığı (1 Günlük)

Numunelere ait 1 günlük birim hacim ağırlık deney sonuçları Tablo 7.5 ve Şekil 7.2’de verilmiştir.

Tablo 7.5. Birim hacim ağırlık (1 Günlük) deney sonuçları

Deney Yaşı (Gün)	R (%)	1 Günlük Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)								Ortalama
		1	2	3	4	5	6	7	8	
7	0	2394	2390	2354	2379	2456	2397	2458	2394	2403
	0-A	2362	2400	2347	2369	2383	2367	2384	2385	2375
	15	2340	2357	2342	2346	2356	2352	2377	2361	2354
	30	2280	2280	2297	2286	2258	2282	2270	2288	2280
	45	2243	2273	2217	2245	2216	2259	2237	2238	2241
	60	2187	2200	2214	2200	2183	2208	2188	2198	2197



Şekil 7.2. Birim hacim ağırlık deney sonuçları (1 günlük)

R0 ve R0-A serileri birbiri ile karşılaştırıldığında; KYB karışımında hava sürükleyici kullanımı ile birim hacim ağırlıkta bir azalma olduğu gözlenmiştir. Lastik ikameli karışımlar ile R0-A serisi karşılaştırıldığında ise; lastik ikamesine bağlı olarak numunelerin bir günlük birim hacim ağırlık değerlerinde sırasıyla %0.87, %3.97, %5.62 ve %7.48 oranlarında azalma gözlenmiştir.

7.3.2. Beton DYK Birim Hacim Ağırlığı (7 ve 28 Günlük)

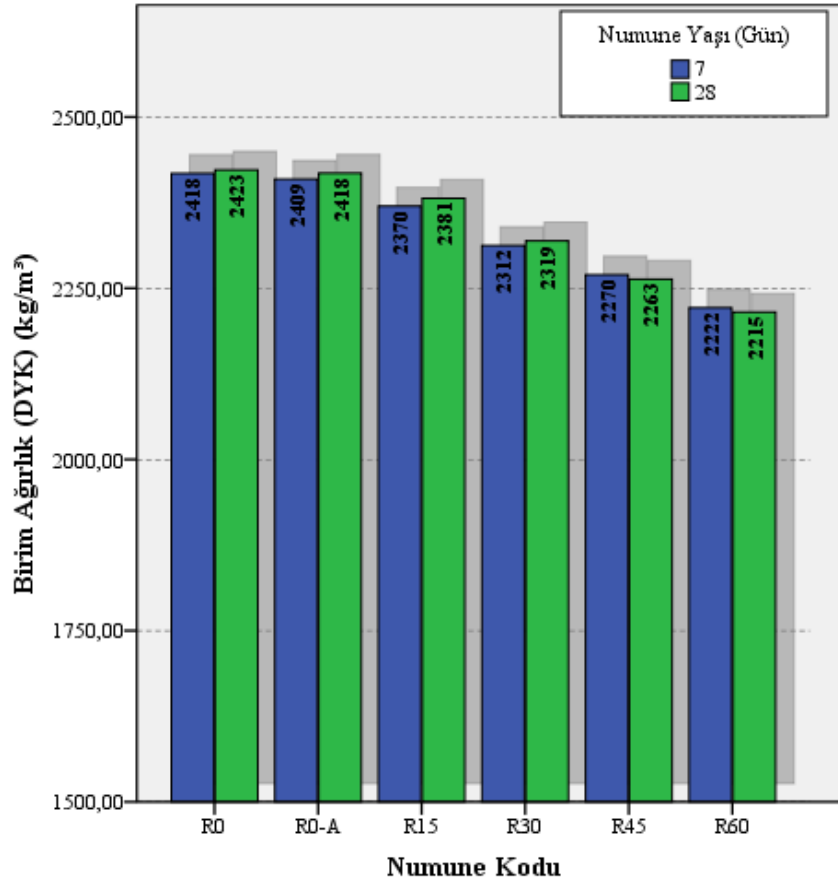
Deney numunelerine ait 7 ve 28 günlük doymuş yüzey kuru (DYK) birim hacim ağırlık deney sonuçları Tablo 7.6’da verilmiştir.

Tablo 7.6. DYK birim hacim ağırlık deney sonuçları

Deney Yaşı (Gün)	R (%)	DYK Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)								Ortalama
		1	2	3	4	5	6	7	8	
7	0	2416	2417	2416	2416	2421	2418	2420	2417	2418
	0-A	2408	2413	2409	2410	2409	2409	2407	2409	2409
	15	2369	2373	2371	2371	2365	2372	2371	2367	2370
	30	2315	2303	2312	2310	2308	2319	2323	2310	2312
	45	2269	2280	2256	2269	2265	2280	2269	2268	2270
	60	2230	2225	2212	2223	2218	2219	2212	2233	2222
28	0	2423	2426	2423	2424	2423	2424	2418	2421	2423
	0-A	2414	2417	2421	2417	2424	2425	2413	2412	2418
	15	2383	2382	2381	2382	2389	2377	2375	2382	2381
	30	2316	2314	2313	2314	2312	2321	2330	2333	2319
	45	2265	2269	2265	2266	2282	2258	2260	2242	2263
	60	2189	2236	2245	2224	2222	2198	2201	2207	2215

Tablo 7.6 incelendiğinde ortalamalar açısından hem 7 hem de 28 günlük test numunelerinde, minimum DYK birim hacim ağırlık değerinin %60 lastik ikamesi içeren grupta, maksimum birim ağırlık değerinin ise lastik içermeyen R0 referans grubunda elde edildiği gözlenmektedir.

Numunelerin 7 ve 28 günlük DYK birim hacim ağırlık değerleri Şekil 7.3’te görülmektedir. Deney sonuçları incelendiğinde, R0 ve R0-A serilerinin DYK birim hacim ağırlık deney sonuçlarının birbirine oldukça yakın olduğu gözlenmektedir. Lastik içermeyen R0-A serisi ile lastik ikameli KYB serileri karşılaştırıldığında; 7 günlük numunelerde lastik ilavesine bağlı olarak %1.64, %4.02, %5.80 ve %7.79 azalma gözlenirken, 28 günlük numunelerde ise sırasıyla %1.51, %4.08, %6.39 ve %8.38 oranlarında bir azalma olduğu gözlenmiştir.



Şekil 7.3. DYK birim hacim ağırlık deney sonuçları (7 ve 28 günlük)

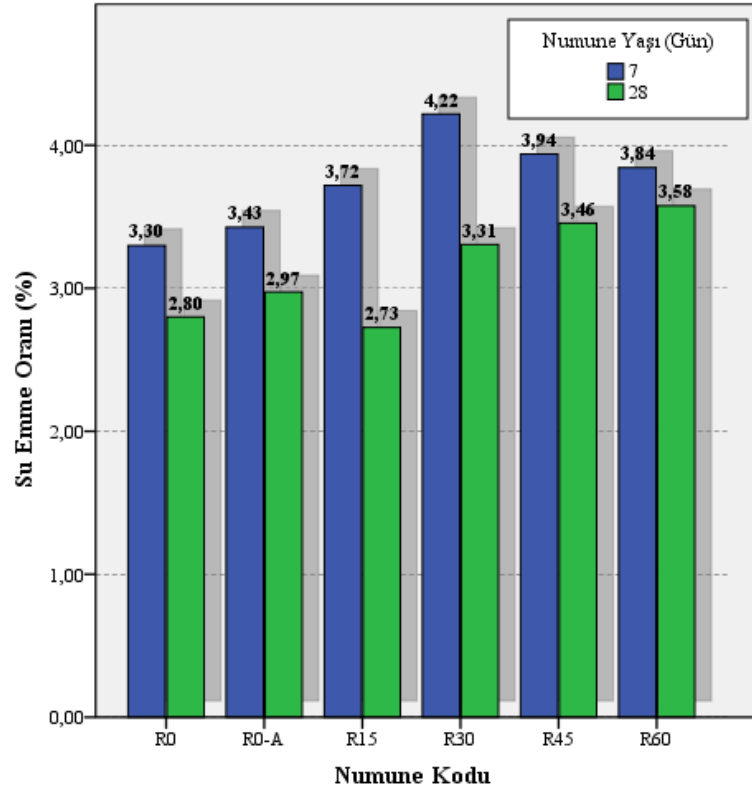
7.4. Su Emme Oranı

Numunelere ait 7 ve 28 günlük su emme oranı deney sonuçları Tablo 7.7’de verilmiştir.

Tablo 7.7. Su emme oranı deney sonuçları

Deney Yaşı (Gün)	R (%)	Su Emme Oranı (%)								Ortalama
		1	2	3	4	5	6	7	8	
7	0	3.25	3.28	3.42	3.32	3.29	3.41	3.18	3.24	3.30
	0-A	3.49	3.36	3.43	3.43	3.43	3.41	3.51	3.36	3.43
	15	3.73	3.64	3.78	3.72	3.78	3.75	3.69	3.67	3.72
	30	4.25	4.22	4.13	4.20	4.28	4.12	4.24	4.31	4.22
	45	3.98	3.78	4.16	3.97	3.90	3.84	3.97	3.91	3.94
	60	3.75	3.80	3.76	3.77	3.84	3.87	3.98	3.98	3.84
28	0	2.80	2.78	2.80	2.79	2.78	2.72	2.93	2.79	2.80
	0-A	3.03	3.06	2.96	3.02	2.97	2.91	2.92	2.92	2.97
	15	2.77	2.82	2.63	2.74	2.69	2.87	2.64	2.65	2.73
	30	3.28	3.53	3.22	3.34	3.18	3.30	3.10	3.49	3.31
	45	3.30	3.23	3.35	3.29	3.15	3.74	3.63	3.95	3.46
	60	3.80	3.44	3.29	3.51	3.50	3.66	3.77	3.64	3.58

Tablo 7.7 incelendiğinde ortalamalar açısından 7 günlük test numunelerinde, minimum su emme değerinin R0 referans grubunda, maksimum su emme değerinin ise %30 lastik ikamesi içeren R30 serisinden elde edildiği gözlenmektedir. 28 günlük test numuneleri incelendiğinde, minimum su emme oranının %15 lastik ikamesi içeren R15 serisinde, maksimum su emme değerinin ise %60 lastik ikamesi içeren R60 serisinden elde edildiği gözlenmektedir.



Şekil 7.4. Su emme deney sonuçları

7 ve 28 günlük deney numunelerine ait deney sonuçları Şekil 7.4'te görülmektedir. Şekil 7.4 incelendiğinde numunelerin 7 günlük su emme değerlerinin 28 günlük su emme değerlerinden yüksek çıktığı gözlenmektedir. 28 günlük test numuneleri değerlendirildiğinde, lastik içermeyen serilerden R0-A, R0 serisinden %6.07 oranında daha fazla su emme oranına sahip olduğu gözlenmektedir. Ayrıca 28 günlük test numunelerinin su emme değeri açısından lastik ikamesine bağlı olarak serilerde farklılıklar gözlenmiştir. R30, R45 ve R60 serilerinin su emme değerleri R15 serisinin değerlerinden sırasıyla %21.23, %26.73 ve %31.18 oranlarında fazla çıkmıştır.

7.5. Porozite

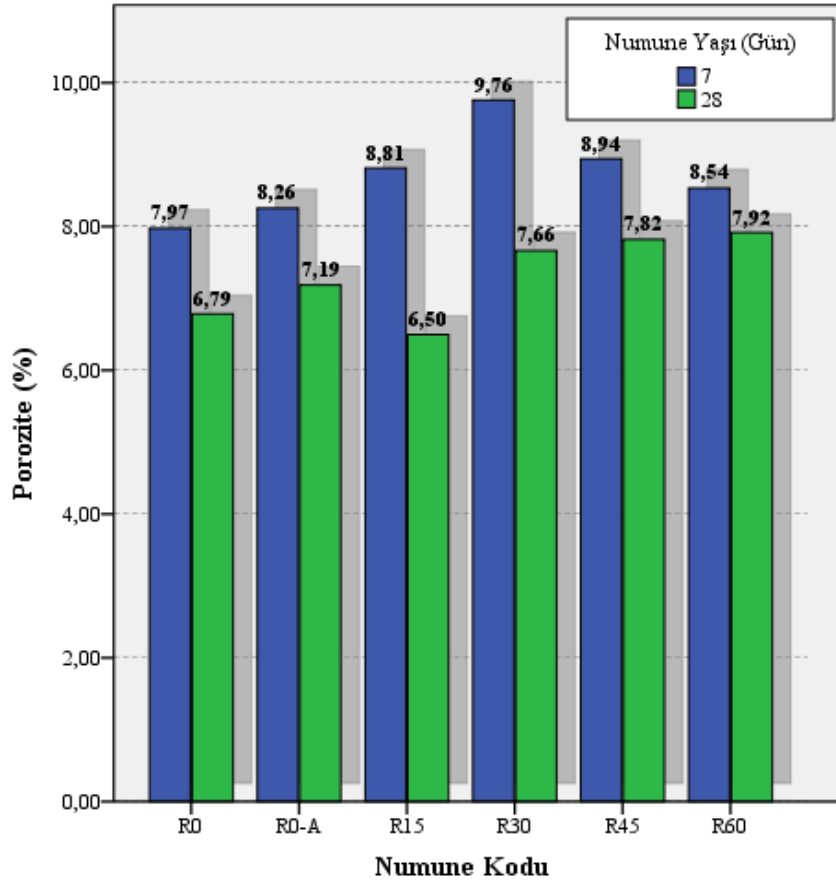
7 ve 28 günlük lastik agregalı KYB karışımlarının porozite deney sonuçları Tablo 7.8’de verilmiştir.

Tablo 7.8. Porozite deney sonuçları

Deney Yaşı (Gün)	R (%)	Porozite (%)								Ortalama
		1	2	3	4	5	6	7	8	
7	0	7.85	7.92	8.26	8.01	7.97	8.25	7.70	7.83	7.97
	0-A	8.40	8.11	8.27	8.26	8.26	8.21	8.44	8.10	8.26
	15	8.84	8.63	8.96	8.81	8.93	8.89	8.75	8.70	8.81
	30	9.83	9.73	9.56	9.71	9.88	9.56	9.86	9.95	9.76
	45	9.04	8.62	9.39	9.02	8.83	8.75	9.01	8.87	8.94
	60	8.36	8.45	8.31	8.37	8.51	8.59	8.81	8.88	8.54
28	0	6.78	6.75	6.79	6.77	6.74	6.61	7.09	6.76	6.79
	0-A	7.31	7.39	7.17	7.29	7.20	7.05	7.04	7.04	7.19
	15	6.61	6.73	6.27	6.54	6.42	6.83	6.26	6.31	6.50
	30	7.60	8.16	7.44	7.73	7.36	7.65	7.22	8.14	7.66
	45	7.47	7.33	7.59	7.46	7.20	8.44	8.20	8.86	7.82
	60	8.33	7.68	7.38	7.80	7.78	8.03	8.30	8.04	7.92

Tablo 7.8 incelendiğinde ortalamalar açısından 7 günlük test numunelerinde, minimum porozite değerinin R0 referans grubunda, maksimum porozite değerinin ise %30 lastik ikamesi içeren R30 grubundan elde edildiği gözlenmektedir. 28 günlük test numuneleri incelendiğinde, minimum porozite değerinin %15 lastik ikamesi içeren R15 serisinde, maksimum porozite değerinin ise %60 lastik ikamesi içeren R60 serisinden elde edildiği gözlenmektedir.

Numunelere ait 7 ve 28 günlük porozite deney sonuçları Şekil 7.5’te görülmektedir. Şekil 7.5 incelendiğinde, su emme deneyinde olduğu gibi numunelerin 7 günlük porozite değerlerinin 28 günlük porozite değerlerinden yüksek çıktığı gözlenmektedir. 28 günlük test numuneleri değerlendirildiğinde, lastik içermeyen serilerden R0-A serisinin R0 serisinden %5.89 oranında daha fazla porozite oranına sahip olduğu gözlenmektedir. Ayrıca 28 günlük test numunelerinde porozite değeri açısından lastik ikamesine bağlı olarak farklılıklar gözlenmiştir. R30, R45 ve R60 serilerinin porozite değerleri R15 serisinininkinden sırasıyla %17.95, %20.36 ve %21.88 oranlarında fazla çıkmıştır.



Şekil 7.5. Porozite deney sonuçları

Lastik agregaların su emme oranları normal agregaya oranla çok azdır, bu nedenle karışımlar içerisinde agregalarla hacimsel olarak ikame edilen lastiklerin karışımın porozite değerini düşürmesi beklenmektedir. Ancak lastik ikameli karışımların taze haldeyken lastik agregaların lif şeklinde davranması nedeniyle akış kabiliyetlerinde azalma meydana gelmiş ve böylece lastik ikameli karışımlar kalıp içerisine yerleşirken bazı kusurlar meydana gelmiştir. Bu nedenle numune içerisinde boşluk oranları artmış böylece referans karışımlarla kıyaslandığında, lastik ikamesi arttıkça numunelerin porozite değerleri ve su emme oranlarında bir artış gözlenmiştir.

7.6. Ultra Ses Geçiş Hızı Ölçümleri

Numunelere ait ultrases geçiş hızı ölçümleri hem küp hem de prizmatik numuneler üzerinde yapılmıştır. 10x10x10 cm ve 10x10x50 cm'lik test numunelerinden elde edilen ultrases geçiş hızı deney sonuçları aşağıda verilmiştir.

7.6.1. Küp Numuneler (10x10x10 cm)

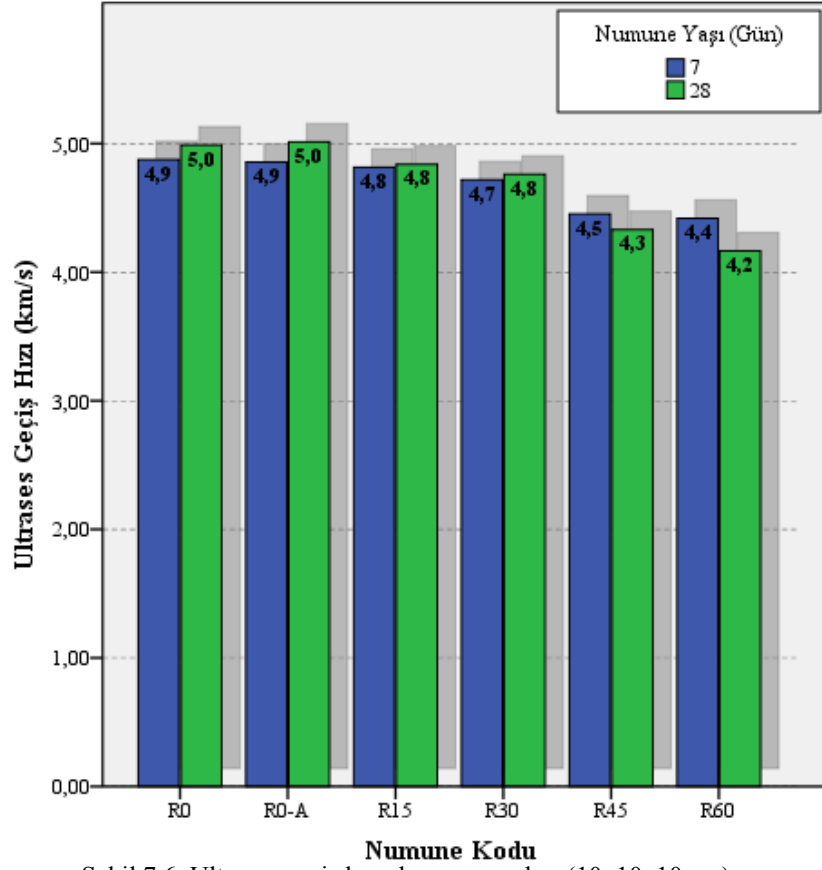
Kendiliğinden yerleşen lastik agregalı karışımlar için 10x10x10 cm’lik numunelerden elde edilen ultrases geçiş hızı deney sonuçları Tablo 7.9’da verilmiştir.

Tablo 7.9. K p numunelerden elde edilen ultrases geçiş hızı değerleri

Deney Yaşı (Gün)	R (%)	Ultrases Geçiş Hızı (km/s)								Ortalama
		1	2	3	4	5	6	7	8	
7	0	4.88	4.85	4.88	4.87	4.85	4.87	4.91	4.89	4.88
	0-A	4.83	4.87	4.82	4.84	4.83	4.88	4.88	4.90	4.86
	15	4.77	4.81	4.84	4.81	4.83	4.80	4.83	4.84	4.82
	30	4.75	4.67	4.72	4.71	4.76	4.71	4.71	4.72	4.72
	45	4.43	4.50	4.47	4.47	4.45	4.47	4.43	4.41	4.45
	60	4.41	4.42	4.36	4.40	4.50	4.43	4.42	4.42	4.42
28	0	4.94	4.98	4.94	4.95	5.03	5.03	5.06	4.98	4.99
	0-A	4.95	5.00	5.08	5.01	5.00	5.05	4.98	5.04	5.01
	15	4.82	4.87	4.87	4.85	4.87	4.87	4.69	4.87	4.84
	30	4.82	4.81	4.73	4.79	4.77	4.69	4.80	4.68	4.76
	45	4.19	4.51	4.46	4.39	4.49	4.22	4.31	4.08	4.33
	60	4.26	4.07	4.41	4.25	4.22	3.96	4.07	4.08	4.17

Tablo 7.9 incelendiğinde ortalamalar açısından 7 günlük test numunelerinde, minimum ultrases geçiş hızı değerinin R60 grubundan, maksimum ultrases geçiş hızı değerinin ise lastik içermeyen R0 referans grubundan elde edildiği gözlenmektedir. 28 günlük test numuneleri incelendiğinde, minimum ultrases geçiş hızı değerinin %60 lastik ikamesi içeren R60 serisinde, maksimum ultrases geçiş hızı değerinin ise lastik ikamesi içermeyen R0-A serisinden elde edildiği gözlenmektedir.

Basınç ve yarmada çekme dayanımı deney numuneleri üzerinde yapılan ultrases geçiş hızı deney sonuçları Şekil 7.6’da görülmektedir. Şekil 7.6 incelendiğinde, lastik içermeyen iki seriden R0 ve R0-A serilerinin ultrases geçiş hızı değerlerinin hem 7 hem de 28 günlük deney sonuçları bakımından değişiklik göstermediği gözlenmektedir. Ayrıca, R0-A serisi ile lastik ikameli seriler karşılaştırıldığında; 7 günlük deney sonuçlarına göre lastik içeriğine bağlı olarak %0.83, %2.82, %8.30 ve %8.99 oranlarında azalma olduğu, 28 günlük deney sonuçlarına göre ise lastik içeriğine bağlı olarak sırasıyla %3.49, %5.04, %13.61 ve %16.93 oranlarında bir azalma olduğu gözlenmiştir.



Şekil 7.6. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları (10x10x10 cm)

7.6.2. Prizma Numuneler (10x10x50 cm)

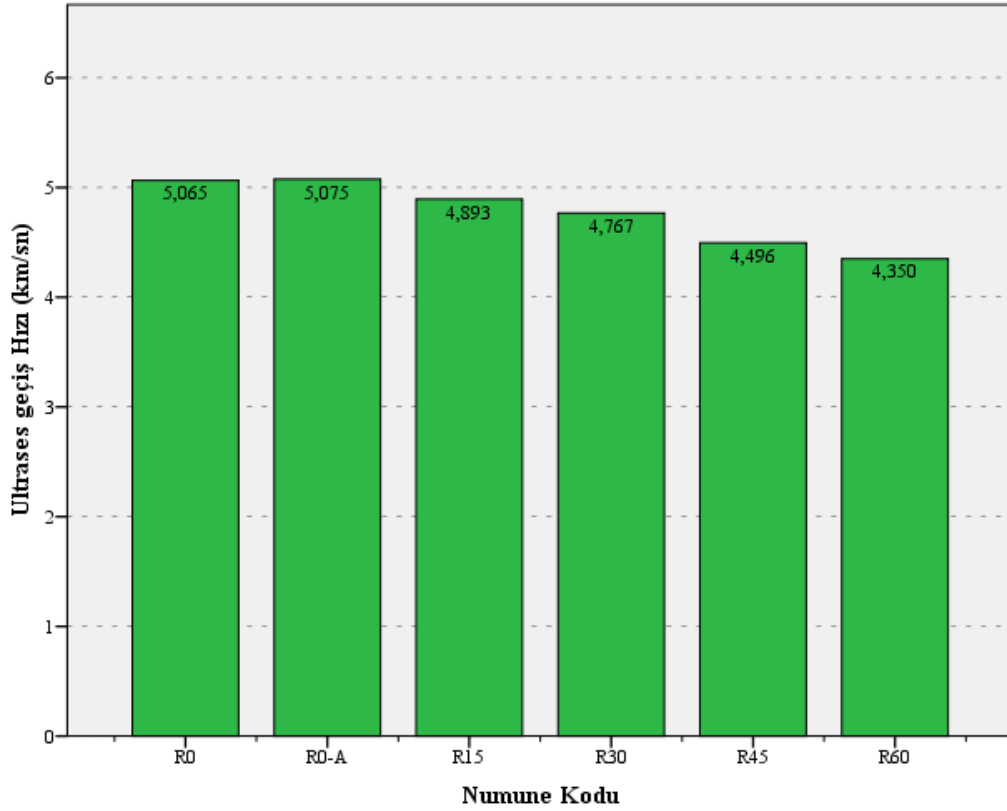
Eğilme-çekme dayanımı deneyleri için hazırlanmış olan 10x10x50 cm boyutlarındaki numuneler üzerinden elde edilmiş olan ultrases geçiş hızı deney sonuçları Tablo 7.10'da verilmiştir.

Tablo 7.10. Prizma numunelerden elde edilen ultrases geçiş hızı deney sonuçları

Deney Yaşı	R (%)	Ultrases Geçiş Hızı (km/s)						Ortalama
		1	2	3	4	5	6	
28	0	5.09	5.04	5.10	5.03	5.10	5.04	5.07
	0-A	5.04	5.08	5.06	5.09	5.10	5.09	5.08
	15	4.93	4.90	4.85	4.93	4.85	4.90	4.89
	30	4.76	4.80	4.71	4.81	4.74	4.78	4.77
	45	4.57	4.49	4.55	4.45	4.45	4.46	4.50
	60	4.36	4.27	4.36	4.40	4.34	4.36	4.35

Tablo 7.10 incelendiğinde ortalamalar açısından minimum ultrases geçiş hızı değerinin %60 lastik ikamesi içeren R60 serisinde, maksimum ultrases geçiş hızı değerinin ise lastik ikamesi içermeyen R0-A serisinden elde edildiği gözlenmektedir.

Eğilme-çekme dayanımının belirlenmesi için hazırlanmış olan ve yirmi sekizinci günün ardından test edilen 10x10x50 cm boyutlarındaki deney numunelerinin ultrases geçiş hızı değerleri Şekil 7.7’de verilmiştir. Şekil 7.7 incelendiğinde; R0 ve R0-A serilerinde ultrases geçiş hızı değerleri açısından kayda değer bir değişikliğin gözlenmediği, ayrıca R0-A serisi ile karşılaştırıldığında lastik ikameli serilerin ultrases geçiş hızı değerlerinin sırasıyla %3.59, %6.08, %11.41 ve %14.29 oranlarında düşük çıktığı gözlenmiştir.



Şekil 7.7. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları (10x10x50 cm)

7.7. Dinamik Elastisite Modülü

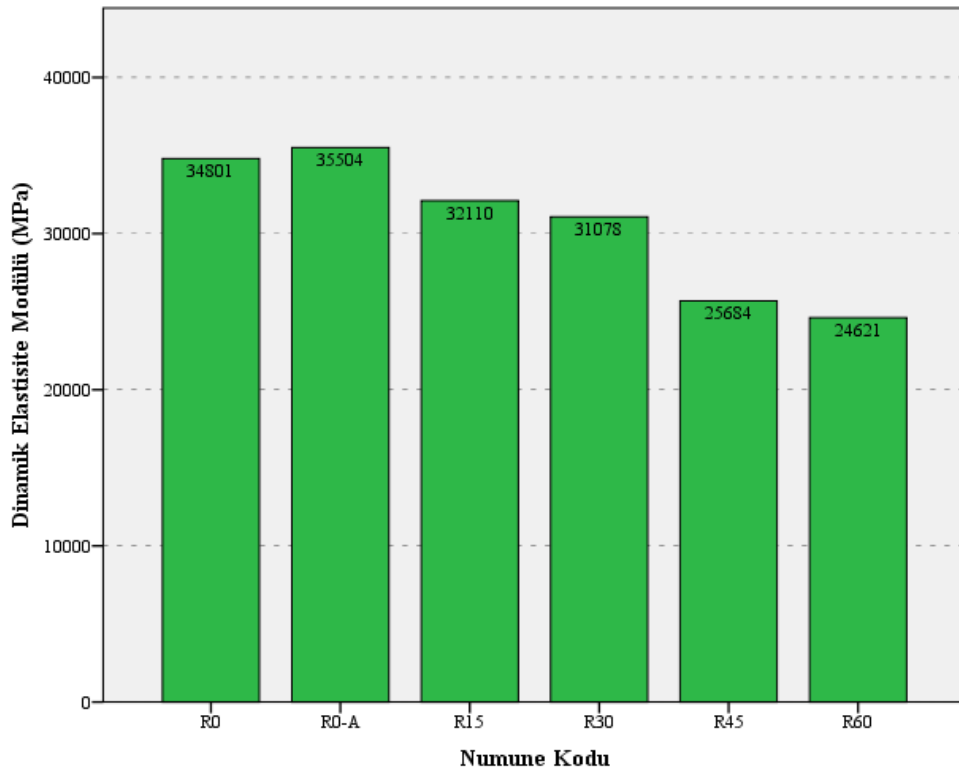
Deney numunelerine ait dinamik elastisite modülü test sonuçları Tablo 7.11’de verilmiştir.

Tablo 7.11. Dinamik elastisite modülü deney sonuçları

Deney Yaşı	R (%)	Dinamik Elastisite Modülü (MPa)						Ortalama
		1	2	3	4	5	6	
28	0	39739	31155	32171	31609	39329	34801	34801
	0-A	31249	30557	31197	39581	40625	39816	35504
	15	37155	26933	27740	27529	37155	36146	32110
	30	26730	27667	26983	35546	35256	34286	31078
	45	30154	29317	22658	22615	24648	24708	25684
	60	22826	21828	20661	27183	27137	28091	24621

Tablo 7.11 incelendiğinde ortalamalar açısından 28 günlük test numunelerinde, minimum dinamik elastisite modülü değerinin %60 lastik ikamesi içeren R60 grubundan, maksimum dinamik elastisite modülü değerinin ise lastik içermeyen R0 referans grubundan elde edildiği gözlenmektedir.

28 günlük dinamik elastisite modülü değerlerine ait deney sonuçları Şekil 7.8’de görülmektedir.



Şekil 7.8. Dinamik elastisite modülü deney sonuçları

Şekil 7.8 incelendiğinde lastik ikamesine bağlı olarak numunelerin dinamik elastisite modülü değerlerinde bir azalma gözlenmiştir. R0-A serisi ile karşılaştırıldığında, lastik ikamesine bağlı olarak dinamik elastisite modülü değerlerinde sırasıyla %9.56, %12.47, %27.66 ve %30.65 oranlarında bir azalma olduğu gözlenmiştir.

7.8. Basınç Dayanımı

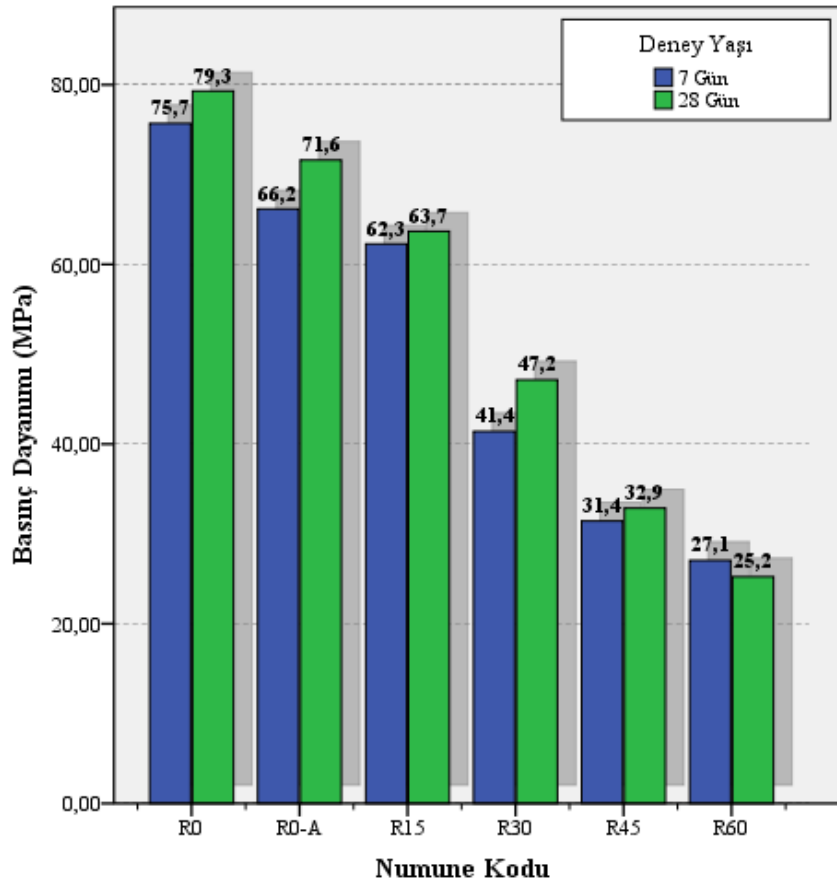
Lastik agregalı KYB karışımlarının 7 ve 28 günlük basınç dayanımı deney sonuçları Tablo 7.12’de verilmiştir.

Tablo 7.12. Basınç dayanımı deney sonuçları

Deney Yaşı	R (%)	Basınç Dayanımı (MPa)				Ortalama
		1	2	3	4	
7	0	78.05	73.12	72.99	78.61	75.69
	0-A	59.36	73.84	65.53	65.94	66.17
	15	65.22	61.82	60.25	61.85	62.29
	30	41.63	43.28	39.69	41.08	41.42
	45	26.07	34.74	30.18	34.81	31.45
	60	27.58	24.90	25.97	29.80	27.06
28	0	73.97	79.41	80.56	83.25	79.30
	0-A	78.45	69.97	67.52	70.49	71.61
	15	63.26	67.81	63.22	60.45	63.69
	30	41.81	43.91	43.25	59.67	47.16
	45	40.06	30.71	31.08	29.68	32.88
	60	27.53	21.83	26.35	25.24	25.24

Tablo 7.12 incelendiğinde ortalamalar açısından 7 günlük test numunelerinde, minimum basınç dayanımı değerinin R60 grubundan, maksimum basınç dayanımı değerinin ise lastik içermeyen R0 referans grubundan elde edildiği gözlenmektedir. 28 günlük test numuneleri incelendiğinde, benzer şekilde minimum basınç dayanımı değerinin %60 lastik ikamesi içeren R60 serisinde, maksimum basınç dayanımı değerinin ise lastik ikamesi içermeyen R0-A serisinden elde edildiği gözlenmektedir.

7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerlerine ait deney sonuçları Şekil 7.9’da görülmektedir. Şekil 7.9 incelendiğinde hem 7 hem de 28 günlük deney numunelerinin lastik içeriği arttıkça basınç dayanımı değerlerinde sistematik bir azalmanın meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 7.9. Basınç dayanımı değerleri

Lastik içermeyen R0 ve R0-A serileri incelendiğinde, 7 ve 28 günlük deney sonuçlarına göre hava sürükleyici katkısı ile KYB numunelerinin basınç dayanımlarının sırasıyla %12.8 ve %9.7 oranında azaldığı gözlenmiştir. R0-A serisi ile lastik ikameli seriler karşılaştırıldığında; 7 günlük deney numunelerinin basınç dayanımlarının lastik içeriğine bağlı olarak %5.86, %37.40, %52.47 ve %59.11 oranlarında azaldığı görülmektedir. Ayrıca 28 günlük deney numunelerinin basınç dayanımlarında ise %11.06, %34.14, %54.08 ve %64.75 oranlarında bir azalmanın olduğu gözlenmektedir. Dayanımdaki bu azalmanın, genel olarak lastikler ile çimento hamuru arasındaki zayıf aderansın bir sonucu olduğu literatürden bilinmektedir (Segre ve Joekes, 2000; Khatib ve Bayomy, 1999; Güneyisi vd., 2004).

KYB içerisinde kullanılan lastik agregalar karışım içerisinde lif etkisi göstermiş ve lastik ikameli karışımların basınç dayanımı deneyi sonrası kırılma şekilleri ile referans karışımların kırılma şekilleri farklılık göstermiştir.



Şekil 7.10. Basınç dayanımı sonrası numunelerde oluşan kırılma yüzeyleri

Şekil 7.10 incelendiğinde lastik içermeyen referans betonun patlayarak kırılma sergilediği görülmektedir. Ancak %30 lastik ikameli numuneden basınç dayanımı deneyi sonrası alınan görüntü lastik agregaların lif etkisi göstererek numunenin kırılma anında patlayarak hasar görmesini engellediği gözlenmektedir. Bu durum basınç yüklemesi altında lastik agregalı betonların normal betona oranla daha sünek davrandığını göstermektedir.

Eldin ve Senouci (1993), lastik agregalı betonların normal betonlara kıyasla hem basınç hem de çekme etkisi altında daha kademeli bir şekilde hasara uğradığını bildirmişlerdir. Yazarlar lastik agregalı betonun basınç altındaki davranışını şu şekilde açıklamışlardır. Basınç gerilmesi altında lastik agregaların uç bölgelerinde mikroçatlaklar oluşmakta ve bu çatlaklar çimento hamuru boyunca bir diğer lastik agrega ile karşılaşınca kadar ilerlemeye devam etmektedir. Lastik agregalar, yüksek çekme deformasyonu kabiliyetleri sayesinde yay gibi hareket ederek çatlakların genişlemesini geciktirir ve betonun dağılmasını önlerler (Eldin ve Senouci, 1993).

7.9. Yarmada Çekme Dayanımı

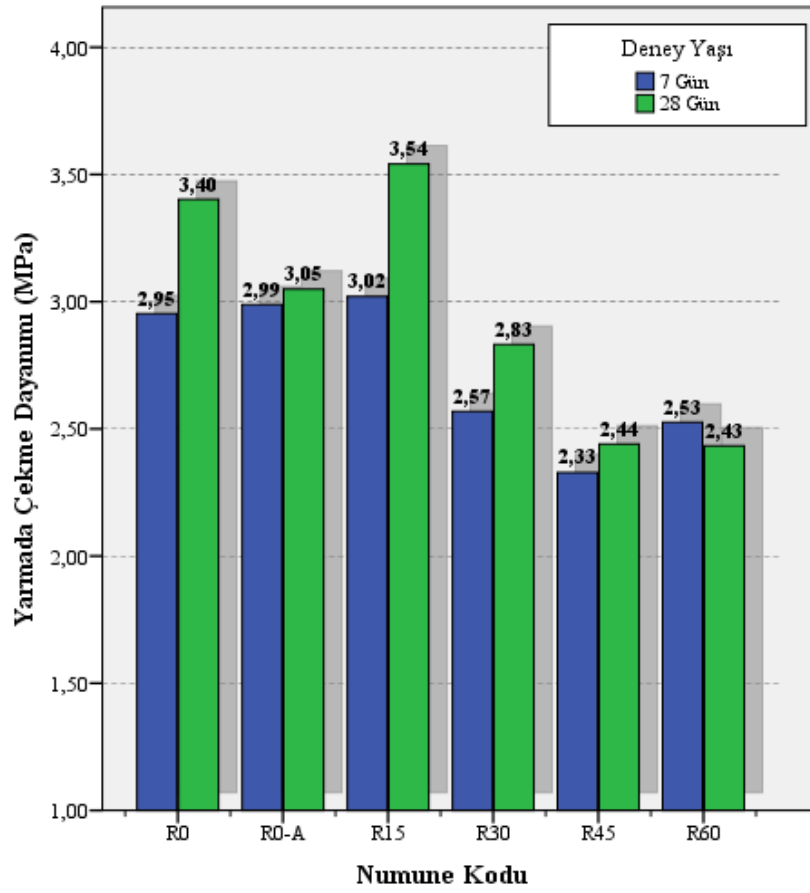
Deney numunelerine ait yarmada çekme test sonuçları Tablo 7.13'te verilmiştir.

Tablo 7.13. Yarmada çekme dayanımı deney sonuçları

Deney Yaşı	R (%)	Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)				Ortalama
		1	2	3	4	
7	0	2.64	3.00	3.18	2.99	2.95
	0-A	3.24	3.63	2.29	2.79	2.99
	15	3.43	2.17	3.35	3.17	3.02
	30	2.60	2.81	2.46	2.40	2.57
	45	2.70	2.10	2.12	2.40	2.33
	60	2.69	2.71	2.27	2.42	2.53
28	0	3.16	3.10	4.10	3.25	3.40
	0-A	2.33	3.69	3.27	2.90	3.05
	15	3.66	3.17	3.62	3.70	3.54
	30	2.93	2.12	3.58	2.70	2.83
	45	2.53	2.42	2.37	2.48	2.44
	60	2.33	2.80	1.91	2.66	2.43

Tablo 7.13 incelendiğinde ortalamalar açısından 7 günlük test numunelerinde, minimum yarmada çekme dayanımı değerinin R45 grubundan, maksimum yarmada çekme dayanımı değerinin ise lastik içermeyen R0-A referans grubundan elde edildiği gözlenmektedir. 28 günlük test numuneleri incelendiğinde, minimum yarmada çekme dayanımı değerinin %60 lastik ikamesi içeren R60 serisinde, maksimum yarmada çekme dayanımı değerinin ise lastik ikamesi içermeyen R0 serisinden elde edildiği gözlenmektedir.

7 ve 28 günlük yarmada çekme dayanımı değerlerine ait deney sonuçları Şekil 7.11'de görülmektedir. Şekil 7.11 incelendiğinde %15 lastik ikamesi içeren R15 serisi haricinde lastik içeriğindeki artışa bağlı olarak numunelerin hem 7 hem de 28 günlük yarmada çekme dayanımı değerlerinde azalma meydana geldiği gözlenmektedir. Lif şeklinde kullanılan atık lastiklerin düşük oranlarında betonun çekme dayanımına olumlu etkisinin olduğu ancak lastik içeriğinin artması ile birlikte yarmada çekme dayanımı değerlerinin azaldığı gözlenmektedir.



Şekil 7.11. Yarmada çekme dayanımı deney sonuçları

Hem basınç hem de yarmada çekme dayanımı deney sonuçları incelendiğinde %60 lastik ikamesinin gerçekleştirildiği R60 serisinde 7 günlük dayanım değerlerinin 28 günlük dayanım değerlerinden yüksek çıktığı gözlenmektedir. Chou vd., (2007), lastik agregalı betonların özellikle basınç dayanımlarında ve bazı temel özelliklerindeki düşüşün nedenini araştırdıkları çalışmalarında, dayanımın lastikler ile çimento harcı arasındaki zayıf aderanstan daha az etkilendiğini asıl sorunun lastik ilavesi ile birlikte çimento hidratasyon ürünlerinin tam olarak ortaya çıkmamasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Karışım içerisinde lastik ikamesi ile birlikte heterojen yapıdaki bu lastiklerin katkısıyla çimento hidratasyonunda yerel kusurlar meydana gelmekte ve dayanım olumsuz etkilenmektedir (Chou vd., 2007). Bu çalışmanın sonuçlarından, yüksek lastik ikamesi ile (%60) çimento hidratasyonunu olumsuz etkilediği ve bu nedenle 28 günlük dayanımların 7 günlük dayanımlardan daha düşük çıktığı söylenebilir.

Yarmada çekme deneyi sonrası iki parçaya ayrılan numunelerin kesit görüntüleri Şekil 7.12 ve Şekil 7.13'te verilmiştir.



Şekil 7.12. Yarmada çekme dayanımı sonrası genel görünüm (R0 serisi)



Şekil 7.13. Yarmada çekme dayanımı sonrası genel görünüm (R15 serisi)

Şekil 7.12 ve Şekil 7.13 incelendiğinde yarmada çekme dayanımı deneyinde deney sonrası beton yüzeyinden sıyrılmış lastik agregalar görülmektedir. Lastiklerin karışım içerisinde yeterince homojen dağıldığı herhangi bir bölgede yerel konumlanmaların olmadığı gözlenmiştir.

7.10. Optik Mikroskop Görüntüleri

Basınç ve yarmada çekme deney numunelerinin test sonrası kırılma yüzeylerinden alınmış numuneler üzerinde lastikler ile çimento harcı arasındaki aderans mekanizmasını belirlemek amacıyla optik mikroskop görüntüleri alınmıştır.

R0 referans serisinin kırılma yüzeylerinden çekilen optik mikroskop görüntüleri Şekil 7.14 ve Şekil 7.15’de verilmiştir.



Şekil 7.14. R0 serisinden tespit edilen çatlakın genel görünüşü (20x)

Şekil 7.14’te lastik içermeyen R0 serisinden 20x büyütme ile elde edilen görüntü üzerinde bir çatlakın genel görüntüsü verilmiştir. Şekil 7.14 incelendiğinde ise yükleme altında numune içerisindeki hava boşluğu kusuru nedeniyle bu bölgede bir çatlakın başlayıp ilerlediği görülmektedir. Şekil 7.15’te çatlakın başlangıç noktasından 60x büyütme ile alınan görüntü verilmiştir. Beton içerisinde mevcut olan yaklaşık 0.70 mm çapındaki küresel hava boşluğu kusuru nedeniyle yükleme esnasında bu bölgede çatlak başlamış ve ilerlemiştir.

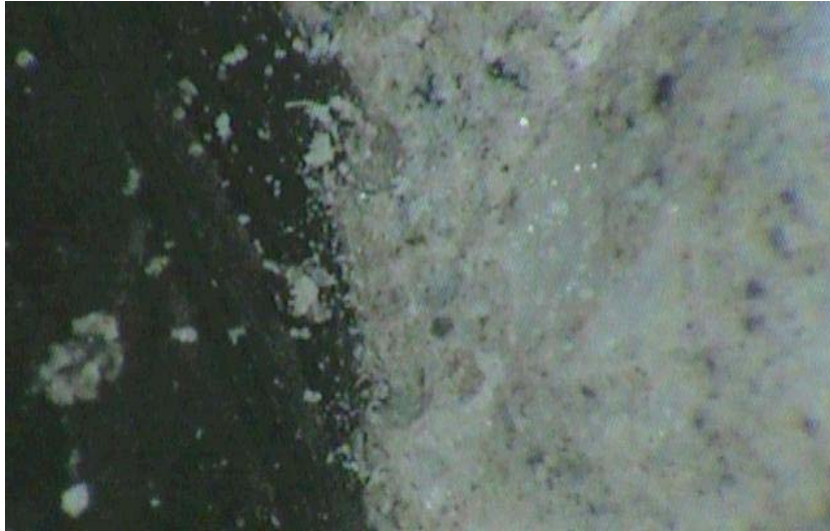


Şekil 7.15. Çatlakın başlamasına neden olan kusur (60x)

Şekil 7.16- Şekil 7.23'te lastik agregalı R15 serisinden elde edilmiş optik mikroskop görüntüleri verilmiştir.



Şekil 7.16. R15 serisi genel görünüm (20x)



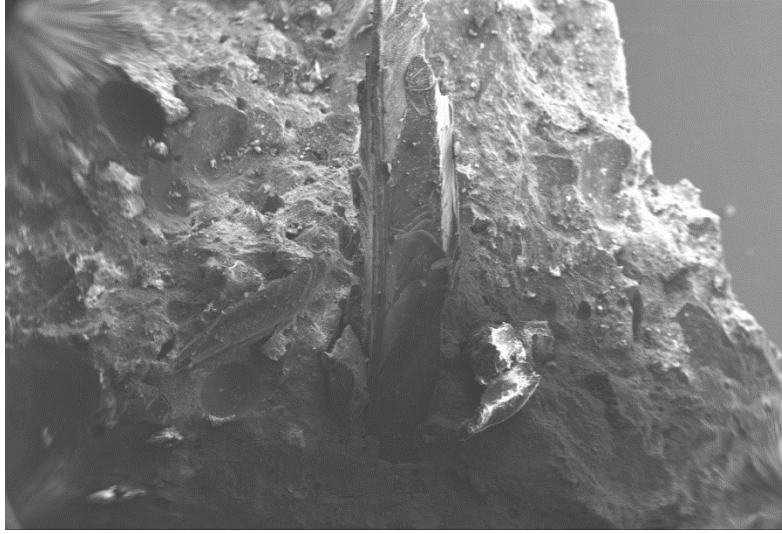
Şekil 7.17. Lastik agregası ile çimento harcı arayüzey görüntüsü (80x)

Şekil 7.16 ve Şekil 7.17 incelendiğinde, lastikler ile çimento harcı arasında aderansın var olduğu görülmektedir. Emiroğlu (2006) tarafından yapılan çalışmada, lif şeklinde kullanılan lastik agregaların normal vibrasyonlu betonların arayüzey bölgelerinden elde etmiş olduğu taramalı elektron mikroskobu görüntüsü Şekil 7.18'de verilmiştir. 30x büyütme ile çekilen görüntü incelendiğinde, vibrasyonlu beton karışımların harç fazında lastik agregası kullanımı ile daha yoğun ve düzensiz bir şekilde hava boşluğu kusurlarına rastlanmaktadır. Ayrıca lastik agregası ile çimento harcı arayüzey aderansı oldukça zayıftır.



Şekil 7.18. Normal vibrasyonlu lastik agregalı betondan elde edilmiş görüntü (Emiroğlu, 2006).

Normal vibrasyonlu lastik agregalı betonlarda lastik-çimento harcı arayüzeyinde oluşan zayıf aderansa bir örnek de Şekil 7.19’da verilmiştir (Emiroğlu, 2006).



Şekil 7.19. Normal vibrasyonlu betonda lastik-çimento harcı arayüzey aderansı (Emiroğlu, 2006).



Şekil 7.20. Lastik agregaların betondan sıyırılması (20x)

Şekil 7.20’de lastik agreganın betondan sıyırılma (pull out) şeklinde kopmasına bir örnek görülmektedir. Şekil incelendiğinde, kendiliğinden yerleşen harcın lastik agreganın pürüzlü yüzeyini başarılı bir şekilde sardığı görülmektedir. Ayrıca lastik agrega ile çimento harcı arayüzeyinden başlayan bir çatlak açıkça görülmektedir. Yükleme altında çatlak en zayıf bölge olan lastik-harç arayüzeyinden başlamış ve ilerlemiştir.

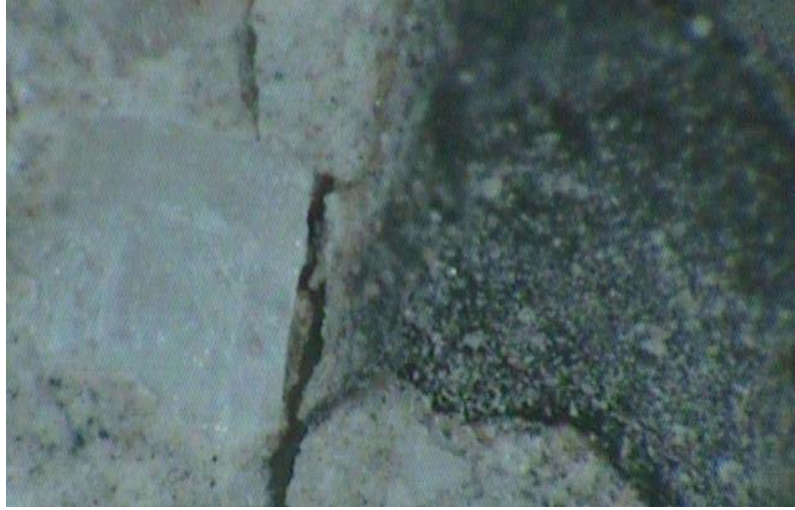


Şekil 7.21. Lastik-harç arayüzeyinde başlayan çatlağın harç üzerinde ilerlemesi (60x)

Şekil 7.21’de 60x büyütme ile lastik-harç arayüzeyinde başlayan çatlağın harç yüzeyinden ilerlemesi görülmektedir. Aynı durum Şekil 7.22 ve Şekil 7.23’ten görüldüğü üzere R30 serisinden elde edilen optik mikroskop görüntülerinden de tespit edilebilmektedir.



Şekil 7.22. Lastik-harç arayüzeyinde meydana gelen bir çatlak (20x)



Şekil 7.23. Arayüzeyde tespit edilen çatlağın 60x büyütme ile incelenmesi

Şekil 7.16-Şekil 7.23 incelendiğinde, yüksek harç içeriğine sahip KYB karışımlarında lastikler ile çimento hamuru arasında bir aderansın varlığından söz edilebilir. Özellikle lastiklerin kesim işlemi nedeniyle pürüzlü yüzeye sahip olması nedeniyle aderansı olumlu etkilediği düşünülmektedir. Döküm esnasında lastiklerin etrafını saran yüksek akışkan harç sertleşirken Şekil 7.20’de görüldüğü gibi lastiklerin şeklini almıştır.

Tüm bu aderanstaki iyileşmeye rağmen lastik agregalı KYB’lerde de dayanımdaki düşüşün önüne geçilememiştir.

7.11. Eğilme-Çekme Dayanımı

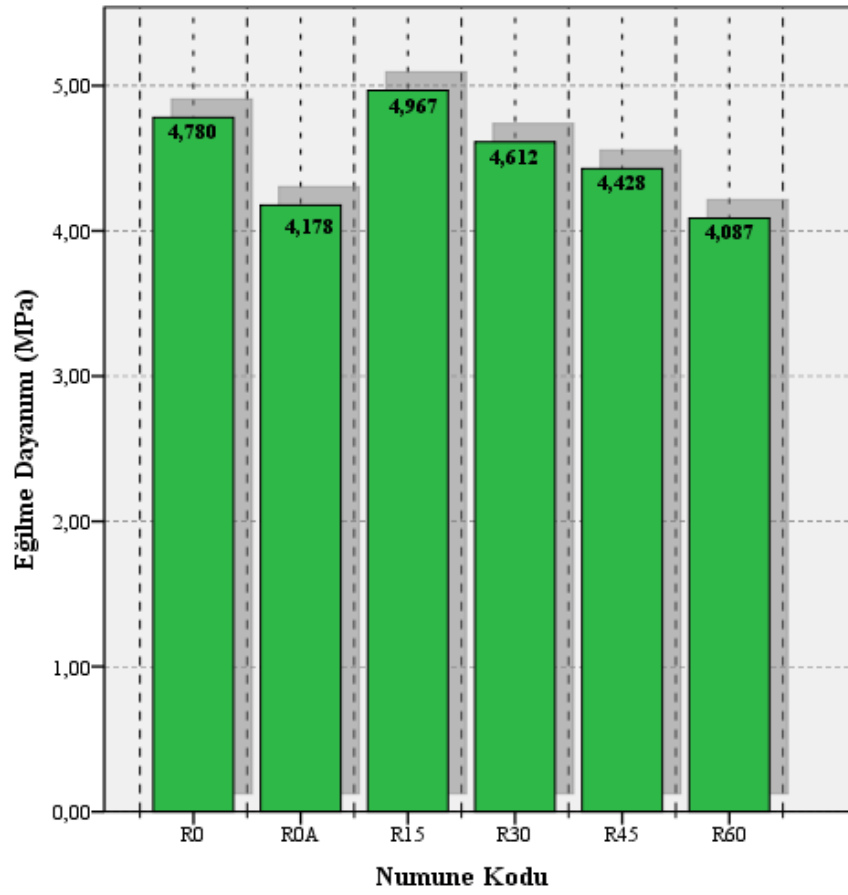
Lif şeklinde elde edilen ve agrega ile ikame edilerek hazırlanan lastik agregalı KYB karışımlarının 28 günlük eğilme-çekme dayanımı deney sonuçları Tablo 7.14'te verilmiştir.

Tablo 7.14. Eğilme-çekme dayanımı deney sonuçları

Deney Yaşı	R (%)	Eğilme-Çekme Dayanımı (MPa)						Ortalama
		1	2	3	4	5	6	
28	0	4.276	4.701	4.438	4.955	5.326	4.986	4.780
	0-A	4.385	4.140	4.008	4.274	4.213	4.045	4.178
	15	4.708	4.839	5.164	5.156	4.889	5.044	4.967
	30	5.233	4.747	4.153	4.315	4.833	4.390	4.612
	45	4.824	4.677	4.060	3.936	4.477	4.593	4.428
	60	3.998	3.581	3.689	4.546	5.071	3.638	4.087

Tablo 7.14 incelendiğinde ortalamalar açısından 28 günlük test numunelerinde, minimum eğilme-çekme dayanımı değerinin %60 lastik ikamesi içeren R60 grubundan, maksimum eğilme-çekme dayanımı değerinin ise %15 lastik agrega içeren R15 grubundan elde edildiği gözlenmektedir.

28 günlük eğilme-çekme dayanımı deney sonuçları Şekil 7.24'te görülmektedir. Şekil 7.24 incelendiğinde lastik ikamesinin eğilme-çekme dayanımı değerlerinde bir iyileşme sağladığı gözlenmektedir. R0 ile R0-A serileri karşılaştırıldığında, hava sürükleyici katkı kullanımı ile KYB karışımının eğilme-çekme dayanımında %12.61 oranında bir azalma gözlenmiştir. R0-A serisi ile lastik ikameli seriler karşılaştırıldığında lastik ikamesine bağlı olarak eğilme-çekme dayanımı değerlerinde R15, R30 ve R 45 serilerinde sırasıyla %18.89, %10.39 ve %5.59 oranında bir artış gözlenirken R60 serisinde %2.16 oranında bir azalma meydana geldiği gözlenmiştir. Eğilme-çekme dayanımındaki bu artışın, lastik agregaların eğilme yüklemesi altında lif şeklinde çalışmasından meydana geldiği düşünülmektedir.



Şekil 7.24. Eğilme-çekme dayanımı deney sonuçları

7.12. Donatı Aderansı

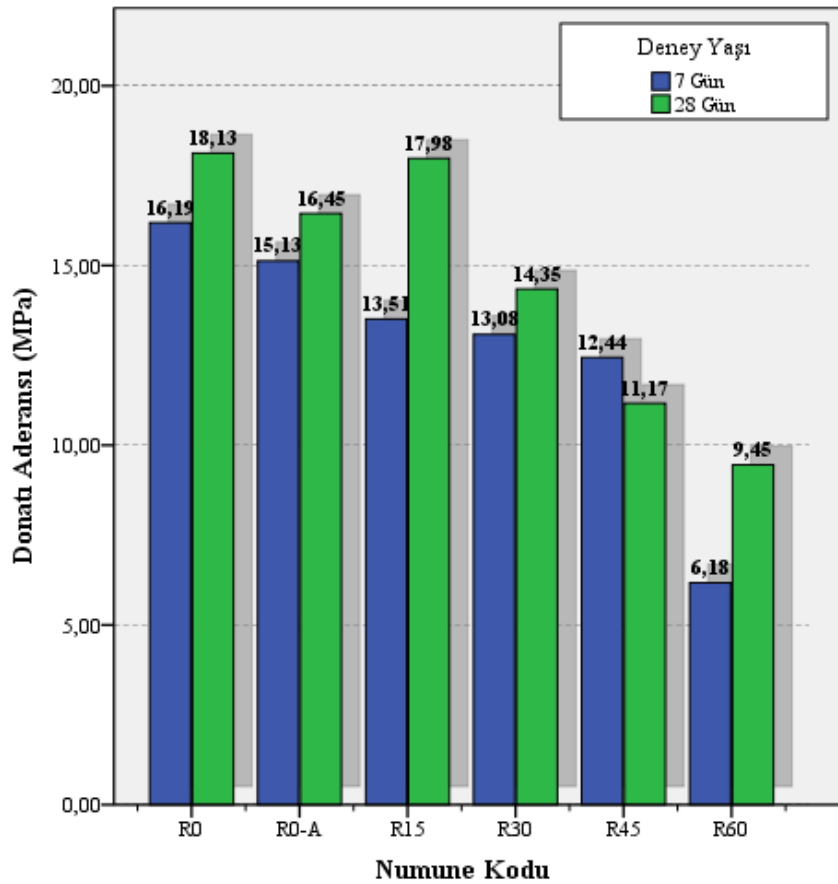
Numunelere ait donatı aderansı deney sonuçları Tablo 7.15'te verilmiştir.

Tablo 7.15. Donatı aderansı deney sonuçları

Deney Yaşı	R (%)	Donatı Aderansı (MPa)			Ortalama
		1	2	3	
7	0	14.52	17.11	16.95	16.193
	0-A	16.05	11.46	17.87	15.127
	15	14.27	16.57	9.69	13.510
	30	13.3	13.63	12.32	13.083
	45	13.37	9.96	13.99	12.440
	60	6.18	7.82	4.53	6.177
28	0	20.46	16.17	17.76	18.130
	0-A	19.32	19.22	10.81	16.450
	15	17.8	18.44	17.7	17.980
	30	7.47	19.19	16.38	14.347
	45	8.42	7.37	17.71	11.167
	60	4.07	11.12	13.18	9.457

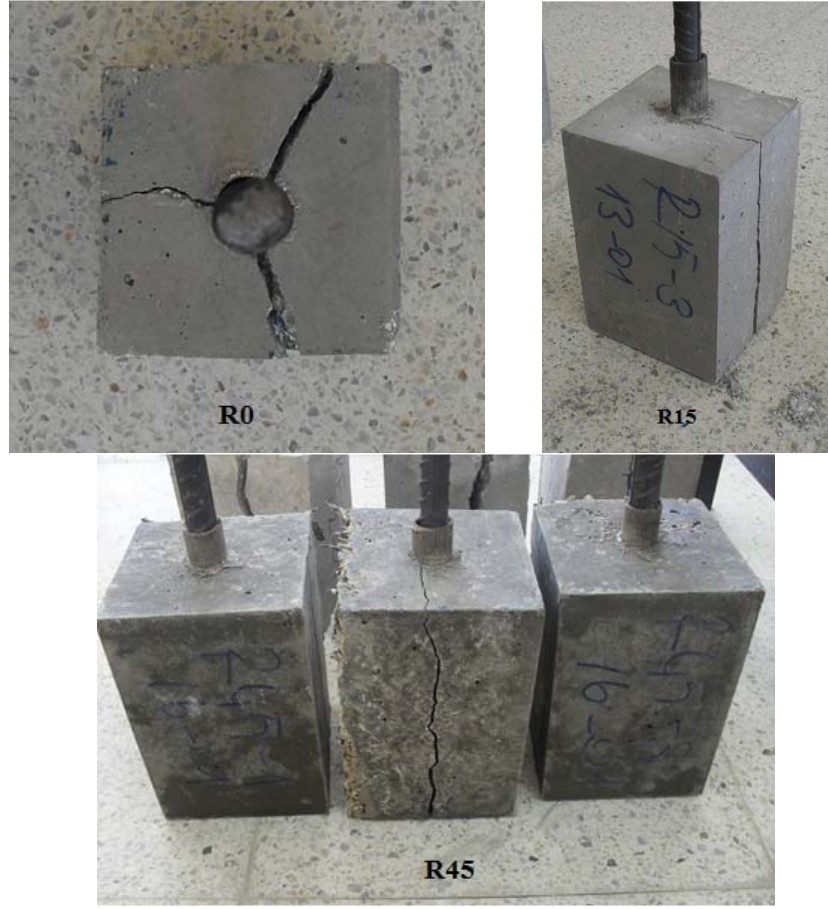
Tablo 7.15 incelendiğinde ortalamalar açısından 7 günlük test numunelerinde, minimum aderans dayanımı değerinin R60 grubundan, maksimum aderans dayanımı değerinin ise lastik içermeyen R0 referans grubundan elde edildiği gözlenmektedir. 28 günlük test numuneleri incelendiğinde, benzer şekilde minimum aderans dayanımı değerinin %60 lastik ikamesi içeren R60 serisinde, maksimum aderans dayanımı değerinin ise lastik ikamesi içermeyen R0 serisinden elde edildiği gözlenmektedir.

7 ve 28 günlük aderans dayanımı değerlerine ait sütun grafik Şekil 7.25'te görülmektedir. Şekil 7.25 incelendiğinde, R0 ve R0-A serileri karşılaştırıldığında, hem 7 hem de 28 günlük donatı aderansı deney sonuçlarında bir azalma meydana geldiği gözlenmektedir. Bir diğer ifadeyle hava sürükleyici katkı kullanımı ile KYB numunelerinin aderans dayanımları azalmıştır. R0-A serisi ile lastik ikameli seriler karşılaştırıldığında; 7 günlük deney numunelerinde lastik ikamesine bağlı olarak sırasıyla %10.71, %13.55, %17.78 ve %59.15 oranlarında bir azalma gözlenmiştir. 28 günlük deney numunelerinde ise %15 lastik ikamesi içeren R15 serisinin aderans dayanımının R0-A serisinden %9.3 oranında fazla olduğu, diğer lastik ikamelerinde ise aderans dayanımlarında sırasıyla %12.77, %32.1 ve %42.49 oranlarında bir azalma gözlenmiştir.



Şekil 7.25. Donatı aderansı deney sonuçları

Şekil 7.26’da aderans deneyi sonrası numuneler üzerinden çekilen kırılma şekilleri görülmektedir.



Şekil 7.26. Donatı aderansı deneyi sonrası kırılma şekilleri

Donatı aderansı deney sonrası numunelerin kırılma yüzeyleri incelendiğinde, her iki referans serisi ve R15 lastik ikameli serinin yarılma şeklinde hasara uğradığı gözlenmiştir. Şekil 7.26’dan açıkça görüleceği üzere R0 serisinde birbiri ile yaklaşık 135 derece açı yapan bir yarılma gözlenmiştir. R15 numunesi daha belirgin bir biçimde ortadan ikiye yarılrken yüksek lastik ikamelerinde (R30, R45 ve R60) hasar modu donatı sıyrılması şeklinde meydana gelmiş ve beton numuneler parçalara ayrılmamıştır. Burada lif şeklindeki lastiklerin, harcın ayrılmasını engellediği ve betonu bir arada tuttuğu söylenebilir.

7.13. İstatistiksel Analizlerin Değerlendirilmesi

Çalışmada elde edilen tüm deneysel sonuçlar istatistiksel olarak bu başlık altında incelenmiştir. İstatistiksel analizde, deneysel verilere ait tanımlayıcı istatistikler, gruplar arası farklılığın anlamlı olup olmadığını belirlemek üzere varyans analizi ve gruplar arası

farklılığın hangi gruplardan kaynaklandığını belirlemek üzere de Duncan çoklu karşılaştırma testleri gerçekleştirilmiştir. Tüm bu istatistiksel sonuçlar Ekler kısmında verilmiştir.

Varyans analizleri ışığında, 7 ve 28 günlük yarmada çekme dayanımı ve 28 günlük donatı aderansı deney sonuçları haricinde tüm deney sonuçlarının ortalamaları açısından gruplar arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu ($p \leq 0,05$) görülmüştür. Diğer bir ifadeyle lastik içeriğine bağlı olarak kendiliğinden yerleşen lastik agregalı betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinde anlamlı bir farklılığın söz konusu olduğu gözlenmiştir. Yarmada çekme dayanımı için hem 7 hem de 28 günlük deney sonuçları açısından p anlamlılık düzeyinin 0.05'in üzerinde (7 ve 28 günlük deney sonuçları için sırasıyla 0.092 ve 0.067) olduğu, ayrıca aderans dayanımı açısından 28 günlük deney sonuçlarının p anlamlılık düzeyinin (28 günlük deney sonuçları için 0.016) 0.05'in üzerinde olduğu gözlenmiştir.

Gruplar arasındaki farklılığın hangi grup/gruplardan kaynaklandığını anlamak üzere yapılan Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları incelendiğinde, 1 ve 7 günlük birim hacim ağırlık değerlerinin 6 farklı alt grupta toplandığı, 28 günlük DYK birim hacim ağırlık değerinin ise 5 farklı alt grupta toplandığı belirlenmiştir. Burada R0 ve R0-A serileri aynı alt grupta toplanmış diğer gruplar birbirinden farklılık göstermiştir. Basınç dayanımı test sonuçları Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulduğunda 7 günlük test numunelerinin 4 farklı alt grupta, 28 günlük test numunelerinin ise 6 farklı alt grupta toplandığı tespit edilmiştir. Eğilme-çekme dayanımları açısından 28 günlük numuneler 4 farklı alt grupta toplanmıştır. Aderans dayanımı deney sonuçları için yapılan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre ise 7 günlük test numunelerinin 2 farklı alt grupta toplandığı gözlenmiştir.

Hem 7 ve 28 günlük yarmada çekme dayanımı hem de 28 günlük aderans dayanımı açısından varyans analizi sonuçlarına göre anlamlılık düzeyi 0.05'in üzerinde çıktığından, bu deney sonuçları için Duncan çoklu karşılaştırma testi yapılmamıştır.

8. SONUÇ ve ÖNERİLER

Lastik kaplama işlemi sırasında atık olarak ortaya çıkan ve lif şeklinde elde edilebilen lastik agregalar kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonlar üzerinde taze ve sertleşmiş halde fiziksel ve mekanik deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tüm veriler aşağıdaki şekilde değerlendirilmiştir.

KYB karışımları içerisinde lastik agrega ikamesi ile birlikte slump yayılma çapı değerlerinde azalma gözlenmiş, ancak lastik agregalı karışımların segregasyon göstermediği ve yayılmanın homojenliğinde değişiklik olmadığı gözlenmiştir. Ayrıca, lif şeklindeki lastik agregaların kullanımı ile T_{500} yayılma hızı değerlerinde referans karışımlara oranla bir artış gözlenmiştir. Lastik agregalar karışımın akışını engellemiş ve yayılmanın daha geç gerçekleşmesine neden olmuştur.

Karışımların V-hunisi akış süreleri incelendiğinde lastik ikamesi ile birlikte karışımların akış süreleri uzamıştır. %45 ve %60 lastik ikamelerinde V-hunisi ağzında lastiklerin bloklaşması ile birlikte tıkanma gözlenmiştir. Yüksek oranlarda lif şekilli lastik ikamesi kullanımı ile KYB karışımlarının doldurma kabiliyetleri azalmıştır.

L-kutusu deney sonuçları incelendiğinde, L-kutusunun yatay kolunda ölçülen T_{200} ve T_{400} sürelerinde lastik ikamesine bağlı olarak bir artış gözlenmiştir. R0, R0-A ve R15 serilerinin H1/H2 oranları 1 olarak tayin edilmiş, yani L-kutusu içerisinde bu karışımlar homojen olarak yerleşmiştir. R30 ve R45 serilerinde ise kutunun her iki kolunda yükseklik farkı meydana gelmiş ve H1/H2 oranları sırasıyla 0.38 ve 0.50 olarak tayin edilmiştir. Yüksek lastik ikamelerinde KYB karışımlarının tıkanma riski artmış ve R60 serisinde tamamen bir tıkanma gözlenmiştir.

J-ringi deney sonuçlarına göre lastik ikamesi ile birlikte orta nokta çökme değerlerinde azalma gözlenmiştir. Yine lastik ikamesi arttıkça J-ringi üzerindeki donatı engellerinin iç ve dışında ölçülen yükseklik farklarında da artış meydana gelmiştir.

Slump-yayılma, V-hunisi, L-kutusu ve J-ringi deney sonuçları birlikte değerlendirildiğinde KYB karışımları içerisinde lif şeklinde kullanılan lastiklerin karışımın viskozitesini etkilememesine rağmen tıkanmaya neden olduğu görülmektedir. Bu durumun, lastik agregaların lifsi şekillerinden ve mekanik kesim işlemi nedeniyle meydana gelen pürüzlü yüzeylerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Taze beton birim ağırlık değerleri ile 1, 7 ve 28 günlük birim ağırlık değerleri incelendiğinde KYB karışımlarında lastik ikamesi ile birlikte birim ağırlıkta düşüş sağlanmıştır. Birim hacim ağırlıktaki bu düşüş, lastik agregaların ikame edildikleri doğal agregadan daha düşük özgül ağırlığa sahip olmasından kaynaklanmaktadır ve beklenen bir durumdur. R0-A serisi ile karşılaştırıldığında lastik ikameli karışımların taze beton birim ağırlık değerlerinde lastik ikamesi arttıkça sırasıyla, %4.09, %5.96, %8.81 ve %19.27 oranlarında bir azalma gözlenmiştir.

Karışımların su emme değerleri incelendiğinde, lastik ikameli serilerin su emme değerleri referans serilerinden yüksek çıkmıştır. Tüm serilerde numuneler kalıba yerleştirilirken sıkıştırma yapılmamıştır. Yüksek lastik ikamelerinde lastiklerin harcın akmasını engellemesi nedeniyle numunelerde boşluk oranları ve buna bağlı olarak da su emme yüzdeleri artmıştır. Porozite deney sonuçları da lastik oranına bağlı olarak KYB içerisinde boşluk oranının arttığını kanıtlamaktadır.

Ultrases geçiş hızı deney sonuçları incelendiğinde, 10x10x10 cm küp ve 10x10x50 cm prizma numuneler üzerinden alınan değerler birbiri ile uyum içerisinde. En düşük ultrases geçiş hızı değeri en yüksek lastik ikamesi içeren R60 serisinde yakalanırken en düşük değerler ise lastik ikamesi içermeyen R0-A ve R0 serilerinden elde edilmiştir.

Dinamik elastisite modülü açısından değerlendirildiğinde yine lastik ikamesi arttıkça dinamik elastisite modülleri de azalmıştır. Ancak Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları incelendiğinde R45 ile R60 serilerinin ortalamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı bu iki serinin aynı alt grupta toplandığı gözlenmiştir. Ayrıca R0, R0-A, R15 ile R30 serilerinin de dinamik elastisite modülü değerleri açısından ortalamaları istatistiksel olarak aynı alt grupta toplanmıştır. R45 ve R60 serileri dışında genel olarak dinamik elastisite modülü değerleri 30 GPa değerinin üzerinde çıkmıştır.

Basınç dayanımı deney sonuçları incelendiğinde literatürle çelişmeyecek şekilde lastik ikamesi arttıkça basınç dayanımı değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Basınç dayanımı deney sonuçlarına ait standart sapma ve standart hata oranları incelendiğinde lastik ikamesi arttıkça karışımların homojenliğinde önemli bir değişikliğin olmadığı söylenebilir. En düşük standart sapma ve standart hata değerleri 7 günlük numuneler için R30 serisinden elde edilirken, 28 günlük numunelerde ise R60 serisinden elde edilmiştir. Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları incelendiğinde ise 7 günlük test numunelerinin basınç dayanımı açısından 3 farklı alt grupta toplandığı, 28 günlük test numunelerinin ise 6 farklı alt grupta toplandığı gözlenmiştir. 28 günlük basınç dayanımları açısından tüm serilerin ortalama

dayanımları birbirinden farklıdır. Lastik içermeyen R0 ve R0-A serileri incelendiğinde, 7 ve 28 günlük deney sonuçlarına göre hava sürükleyici katkısı ile KYB numunelerinin basınç dayanımlarında sırasıyla %12.8 ve %9.7 oranında azalma meydana gelmiştir. R0-A serisi ile lastik ikameli seriler karşılaştırıldığında ise; 7 günlük deney numunelerinin basınç dayanımlarının lastik içeriğine bağlı olarak %5.86, %37.40, %52.47 ve %59.11 oranlarında azaldığı görülmektedir. Ayrıca 28 günlük deney numunelerinin basınç dayanımlarında %11.06, %34.14, %54.08 ve %64.75 oranlarında bir azalma meydana gelmiştir.

Yarmada çekme dayanımı deney sonuçları R15 serisi hariç basınç dayanımı deney sonuçları ile paralellik göstermektedir. Varyans analizi sonuçları incelendiğinde gruplar arası farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı anlaşılmaktadır. Lif şekilli lastiklerin kullanılması ile birlikte düşük ikame oranlarında (%15 lastik ikamesi - R15 serisi) yarmada çekme dayanımı değerinde bir artış gözlenmiştir. Bu durum yükleme altında lastiklerin çevresini saran harçtan sıyrılmadan önce bir miktar enerji sönümlemiş olabileceğini göstermektedir.

Karışımların eğilme-çekme dayanımları incelendiğinde, lastik ikamesi ile birlikte numunelerin eğilme-çekme dayanımlarında olumlu bir etki gözlenmiştir. Ortalama uzunluğu 20 mm ve ortalama genişliği 5 mm olarak lif şeklinde kullanılan lastikler karışımların eğilme kapasitelerini artırmıştır. Varyans analizi sonuçlarına göre gruplar arası farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre ise karışımların ortalamaları açısından 3 farklı alt grupta toplandığı gözlenmiştir. R0 ile R0-A serileri karşılaştırıldığında, hava sürükleyici katkı kullanımı ile KYB karışımının eğilme-çekme dayanımında %12.61 oranında bir azalma gözlenmiştir. R0-A serisi ile lastik ikameli seriler karşılaştırıldığında lastik ikamesine bağlı olarak eğilme-çekme dayanımı değerlerinde R15, R30 ve R45 serilerinde sırasıyla %18.89, %10.39 ve %5.59 oranında bir artış gözlenirken R60 serisinde %2.16 oranında bir azalma meydana gelmiştir.

Donatı aderansı deney sonuçları incelendiğinde, en iyi performansı sergileyen lastik ikameli karışımın %15 lastik içeren R15 serisi olduğu gözlenmiştir. Lastik ikamesi %15'in üzerine çıktığında ise donatı aderansı değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. R0 ve R0-A serileri karşılaştırıldığında, hava sürükleyici katkısı ile hem 7 hem de 28 günlük donatı aderansı deney sonuçlarında bir azalma meydana geldiği gözlenmiştir. R0-A serisi ile lastik ikameli seriler karşılaştırıldığında ise; 7 günlük deney numunelerinde lastik ikamesine bağlı olarak sırasıyla %10.71, %13.55, %17.78 ve %59.15 oranlarında bir

azalma gözlenmiştir. Ayrıca, 28 günlük deney numunelerinde %15 lastik ikamesi içeren R15 serisinin aderans dayanımının R0-A serisinden %9.3 oranında fazla olduğu, ancak diğer lastik ikamelerinde ise aderans dayanımlarında sırasıyla %12.77, %32.1 ve %42.49 oranlarında azalma olduğu gözlenmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda tüm deney verileri birlikte değerlendirildiğinde kendiliğinden yerleşen beton karışımları içerisinde lastik ikamesinin kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Tüm karışımların yüksek lastik içeriklerinde dahi homojenliğini kaybetmediği, ancak lastik ikamesinin KYB karışımlarının yerleşme ve geçiş kabiliyetlerini düşürdüğü sonucuna varılmıştır. Düşük lastik ikamelerinin (maksimum %15) özellikle betonun çekme dayanımına sağladığı katkı nedeniyle kullanılabileceği düşünülmektedir. Ayrıca çevreye görüntü ve sağlık açısından zarar verme potansiyeline sahip atık lastiklerin beton içerisinde değerlendirilmesi ile atıkların yönetimine ve lastik agregaların geri dönüşümüne katkı sağlanacaktır.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda kendiliğinden yerleşen lastik agregalı betonların ileri yaş dayanımları ve farklı lif boyutları denenerek optimum lastik içeriği ve lastik boyutları tayin edilebilir. Bu çalışmada 100x100x500 mm boyutlarındaki kiriş numuneler üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda daha büyük kesitli (150x150x750 mm gibi) kiriş boyutları kullanılarak eğilme dayanımındaki bu artışın büyük kesitlerde gerçekleşip gerçekleşmeyeceği araştırılabilir.

Ayrıca deneysel çalışmalar göstermiştir ki lastik agregalar ile çimento pastası arasındaki aderans yüksek harç içeriği ile gelişmekte ancak yeterli seviyede olamamaktadır. Bu nedenle bundan sonra lastik agregalarla çimento pastası arasındaki aderansı geliştirecek yeni çalışmaların yapılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- ACI 116R-00**, 2000. Cement and Concrete Terminology, American Concrete Institute. (ACI) Committee Reports, p. 79.
- ACI 212.3R-91**, Chemical Admixtures for Concrete, American Concrete Institute. (ACI) Committee Reports, p. 31.
- ACI 213R87**, 1999. Guide for Structural Aggregate Concrete, American Concrete Institute, (ACI) Committee Reports, p. 27.
- Ahmadi, M. A., Alidoust, O., Sadrinejad, I. and Nayeri, M.**, 2007. Development of Mechanical Properties of Self Compacting Concrete Contain Rice Husk Ash, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, **34**, pp. 168-171.
- Alyamaç, K.E.**, 2008. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Lineer Olmayan Kırılma Mekanığı Prensipleriyle İncelenmesi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora Tezi*, p. 129, Elazığ, Türkiye.
- Amari, T., Nicolas, J. T. and Iddo, K. W.**, 1999. Resource Recovery from Rubber Tires, *Resources Policy* 25, pp. 179-188.
- Arioğlu, E., Yılmaz, A.O., Arioğlu, N.**, 2006. Beton Agregaları Çözümlü Problemler-Bilgi Föyleri, Evrim Yayınevi, s. 287, İstanbul, Türkiye.
- Assaad J.J., Khayat, K.H.**, 2006. Effect of Casting Rate and Concrete Temperature on Formwork Pressure of Self-Consolidating Concrete, *Materials and Structures*, 39, pp. 333-341.
- ASTM C 215**, 2002. Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Resonant Frequencies of Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, USA.
- ASTM C 219**, 1998. Standard Terminology Relating to Hydraulic Cement, Annual Book of ASTM Standards, Easton, MD, USA.
- Bartos, P.J.M.**, 2005. Testing-Scc: Towards New European Standards For Fresh Scc, Eds. Yu,Z., Shi, C., Khayat, K.H., Xie, Y., *First International Symposium on Design. Performance and Use of Self-Consolidating Concrete SCC2005*, Changsha, Hunan. China.

- Batır, B.**, 2002. Türkiye İçin Kullanılmış Lastik Yönetimi Araştırması, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Beaupré, D., Lacombe, P., Khayat, K.H.**, 1999. Laboratory Investigation of Rheological Properties and Scaling Resistance of Air Entrained Self-Consolidating Concrete, *Materials and Structures*, **32**, April 1999, pp. 235-240.
- Benli, A., Türk, K., Calayır, Y.**, 2008. Kendiliğinden Yerleşen Betondan Üretilmiş Kirişlerin Aderans Dayanımının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, **20** (4), 599-607.
- Bignozzi, M.C., Sandrolini, F.**, 2006. Tyre Rubber Waste Recycling in Self-compacting Concrete, *Cement and Concrete Research*, **36**, pp.735-739.
- Boel, V., Audenaert, K., Schutter, G.D.**, 2008. Gas Permeability and Capillary Porosity of Self-Compacting Concrete, *Materials and Structures*, **41**, pp. 1283-1290.
- California Integrated Waste Management Board (CIWMB)**, 1992, Tires as a Fuel Supplement: Feasibility Study, Sacramento, CA.
- Chandra S., Berntsson, L.**, 2002. Lightweight Aggregate Concrete, Science, Technology, and Applications, Noyes Publications, 430 p., New York, USA.
- Chandra, S.**, 1997, Waste Materials used in Concrete Manufacturing, Noyes Publications, p. 651, New Jersey, USA.
- Chou, L.H., Lu, C.K., Chang, J.R., Lee, M.T.**, 2007. Use of Waste Rubber as Concrete Additive, *Waste Management & Research*, **25**, pp. 68-76.
- Cunha, V.M.C.F., Barros J. A. O., Sena-Cruz, J.**, 2008. Modelling the influence of age of steel fibre reinforced self-compacting concrete on its compressive behaviour, *Materials and Structures*, **41**, pp. 465-478.
- Dewar, J.D., Anderson, R.**, 2004. Manual of Ready-Mixed Concrete, Taylor & Francis Group, 246 p., London, England.
- Domone, P.L.J.**, 2007. A review of the hardened mechanical properties of self-compacting concrete, *Cement & Concrete Composites*, **29**, pp. 1-12.
- DPT**, 2001. Kauçuk Ürünleri Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Ankara, Türkiye.
- DPT**, 2009. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri Çalışma Grubu Raporu Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri, Cilt 2, Ankara, Türkiye.

- DPT:2421-ÖİK:480**, 1996. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Diğer Endüstri Mineralleri Çalışma Grubu Raporu, Cilt 2.
- Dransfield, J.**, 2009. Admixtures, ICE Manual of Construction Materials, Institution of Civil Engineers, pp. 91-100.
- EFNARC 2005**, The European Guidelines for Self-compacting Concrete: Specification, Production and Use, The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.
- Eldin, N.N., Senouci, A.B.**, 1993. Rubber-Tire Particles as Concrete Aggregates, *Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE*, **5**(4), pp. 478–496.
- Emiroglu, M., Yıldız, S. ve Özgan, E.**, 2009. Lastik Agregalı Betonlarda Elastisite Modülünün Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, **24** (3), pp. 469-476.
- Emiroğlu M., Yıldız, S., Keleştemur, M. H.**, 2008. An Investigation on ITZ Microstructure of the Concrete Containing Waste Vehicle Tire, *Computers and Concrete*, **5** (5), pp. 503-508.
- Emiroğlu M., Yıldız, S., Keleştemur, M. H.**, 2009. Katı Atıklarla Elde Edilmiş Betonlarda Dayanım Azalma Faktörünün Belirlenmesi, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, IATS'09*, pp. 2147-2149.
- Emiroğlu, M. ve Yıldız, S.**, 2010. Atık Lastiklerin İnşaat Sektöründe Değerlendirilmesi, *Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu-ISBS*, pp. 837-839.
- Emiroğlu, M.**, 2006. Atık Taşıt Lastiğin Beton İçerisinde Kullanımı Ve Betonun Karakteristiklerine Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ.
- Emiroğlu, M., Köstek, N., Ballı, E. ve Altok, A.**, 2011. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Harçların Taze Haldeki Özelliklerine Mineral Katkıların Etkisi, *e-Journal of New World Sciences Academy, Engineering Sciences*, 1A0242, **6**, (4), pp. 1344-1350.
- Erdoğan, T. Y.**, 2003, Beton, METU Press, 741 s, Ankara, Türkiye.
- Eriç, M.**, 2002. Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Felekoğlu B., Baradan B.**, 2004. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mekanik Özellikleri, *THBB Beton 2004 Kongresi*, 12-14 Haziran, İstanbul, pp. 234-243.

- Frunz, L., Lootens, D., Flatt, R.J., Wombacher, F., Velten, U.,** 2010. Smart Polycarboxylate Design for SCC in Precast Applications, K.H. Khayat and D. Feys (eds.), Design, Production and Placement of Self-Consolidating Concrete, RILEM Bookseries 1, pp. 53-63.
- Gaimster, R. and Dixon, N.,** 2004. Self-Compacting Concrete, *Advanced Concrete Technology, Process*, Newman, J. And Choo, B.S., Elsevier, **9** (1), pp. 9-23.
- Gesoğlu, M., Özbay, E.,** 2007. Effects of Mineral Admixtures on Fresh and Hardened Properties of Self-Compacting Concretes: Binary, Ternary and Quaternary Systems, *Materials and Structures*, **40**, pp. 923–937.
- Gönen, T.,** 2009. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonun Mekaniksel ve Durabilite Özelliklerinin Araştırılması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora Tezi*, Elazığ.
- Gönen, T., Yazıcıoğlu, S.,** 2010. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonun Mekanik Özelliklerine Kür Şartı ve Agrega Tipinin Etkisi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt **25**, No 3, pp. 459-467.
- Gönüllü, M. T.,** 2004. Atık Lastiklerin Yönetimi, Katı Atık Geri Dönüşüm Teknolojileri Semineri, İSO, İstanbul.
- Guoqiang, L., vd.,** 2004. Development of waste tire modified concrete, *Cement and Concrete Research*, **34**, pp. 2283-2289.
- Gurjar, A.H.,** 2004. Mix Design and Testing of Self-consolidating Concrete using Florida Materials, The Florida Department of Transportation, Report No:BD 503, p. 111.
- Güner, M.S.,** 1999. Malzeme Bilimi-Yapı Malzemesi ve Beton Teknolojisi, Aktif Yayınevi, 446 s., İstanbul, Türkiye.
- Güneyisi, E., Gesoğlu, M. and Özturan, T.,** 2004. Properties of Rubberized Concretes containing Silica Fume, *Cement and Concrete Research*, **34**, 2309-2317, (2004).
- Güneyisi, E., Gesoğlu, M.,** 2008. Properties of self-compacting mortars with binary and ternary cementitious blends of fly ash and metakaolin, *Materials and Structures*, **41**, pp. 1519–1531.
- Herna'ndez-Olivares, F., Barluenga, G., Bollati, M. and Witoszek, B.,** 2002. Static and dynamic behavior of recycled tyre rubber-filled concrete, *Cement and Concrete Research*, **32** (10), pp. 1587–1596.

- Humphrey, D. N.**, 1999. Civil Engineering Application Of Tire Shreds, *The Tire Industry Conference*, pp. 1-16.
- Hwang, S.D., Khayat, K.H.**, 2009. Durability Characteristics of Self-Consolidating Concrete Designated for Repair Applications, *Materials and Structures*, **42**, pp. 1-14.
- Hwang, S.D., Khayat, K.H.**, 2010. Effect of Mix Design on Restrained Shrinkage of Self-Consolidating Concrete, *Materials and Structures*, **43**, pp. 367-380.
- Jenq, Y.S., Shah, S.P.**, 1985. A Two Parameter Fracture Model of Concrete, *Journal of Engineering Mechanics*, **111** (4), pp. 1227-1241.
- John, R., Shah, S.P.**, 1989. Fracture Mechanics Analysis of High-strength Concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, **1** (4), pp. 185-198.
- Kaloush, K.E., Way, G.B., and Zhu, H.**, 2005. Properties of Crumb Rubber Concrete, Transportation Research Record: *Journal of the Transportation research Board*, **Volume 1914/2005**, pp.8-14.
- Kantarıcı, A., Türkmen, İ.**, 2005a, Kendiliğinden Yerleşen Betonların Geçirimlilik Katsayısı ve Mekanik Özellikleri Üzerine Farklı Kür Şartlarının ve Genleştirilmiş Perlit Agregasının Etkileri, *II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, MBGAK 2005*, pp. 361-369, İstanbul.
- Kantarıcı, A., Türkmen, İ.**, 2005b, Kendiliğinden Yerleşen Betonların Kuruma Rötresi Üzerine Farklı Kür Şartlarının ve Genleştirilmiş Perlit Agregasının Etkileri, *II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, MBGAK 2005*, pp. 351-360, İstanbul.
- Karataş, M.**, 2007. Mineral Katkı Dozajının ve Türünün Kendiliğinden Sıkışan Betondaki Donatı Aderansına Etkisi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora Tezi*, Elazığ.
- Karataş, M., Ulucan, Z.Ç.**, 2007. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 6(1), pp. 69-72.
- Karataş, M., Ulucan, Z.Ç.**, 2007. Su/Toz Oranının Kendiliğinden Sıkışan Betonun Reolojik Özelliklerine Etkisi, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, pp. 39-43.
- Keleştemur, O.**, 2010. Utilization of Waste Vehicle Tires in Concrete and its Effect on the Corrosion Behavior of Reinforcing Steels, *Int. J. Miner. Metall. Mater.*, **17** (3), 363-370.

- Khatib Z.K., Bayomy F.M.,** 1999. Rubberized Portland cement concrete, *J. Mater. Civ. Eng.*, **11** (3), pp. 206-213.
- Khayat K., Assaad, J., Mesbah, H., Lessard, M.,** 2005. Effect of Section Width and Casting Rate on Variations of Formwork Pressure of Self-Consolidating Concrete, *Materials and Structures*, **38**, January-February 2005, pp. 73-78.
- Kim, Y.J., Choi, Y.W., Lachemi, M.,** 2010. Characteristics of Self-Consolidating Concrete using Two Types of Lightweight coarse Aggregates, *Construction and Building Materials*, **24**, pp. 11-16.
- Konak, G., Onur, A.H., Karakuş, D.,** 2009. İnşaat Sektörünün İhtiyacı Olan Agreganın İşletilmesi ve Kentsel Faydaları, *TMMOB İzmir Kent Sempozyumu*, pp. 229-236.
- Korkmaz, S. Z., Korkmaz, H. H. Ve Türer, A.,** 2005. Kırsal kesim konutlarının kullanılmış araba lastiği ile ard-germe uygulayarak güçlendirilmesi, *Deprem Sempozyumu Kocaeli 2005*, Kocaeli Üniversitesi, pp. 1002-1003.
- Kumar, P.,** 2006. Self-compacting Concrete: Methods of Testing and Design, *Journal of the Institution of Engineers (INDIA)*, vol **86**, February 2006, pp 145-150.
- Lamond, J.F., Pielert, J.H.,** Significance of Tests and Properties of Concrete-and Concrete-Making Materials, *ASTM International*, 664 p., West Conshohocken, USA.
- Li, Z.; Li, F. and Li, J. S. L.,** 1998. Properties of concrete incorporating rubber tyre particles, *Magazine of Concrete Research*, **50**, pp. 297-304.
- MacGinley, T.J., Choo, B.S.,** 2003. Reinforced Concrete-Design Theory and Examples, Spon Press, Taylor and Francis Group e-Library, p. 520.
- Malhotra, V.M.,** 2006. Significance of Tests and Properties of Concrete & Concrete Making Materials, *ASTM International*, Eds. Lamond, J.F., Pielert, J.H., p.664, USA.
- Malhotra, V.M., Sivasundaram, V.,** 2004. Handbook on Nondestructive Testing of Concrete, Second Edition, Eds. Malhotra, V.M., Carino, N.J., CRC Press, USA.
- Mehta, P.K., Monteiro P.J.M.,** 2006. Concrete Microsutructure, Properties, and Materials, McGraw Hill, 659 p., USA.
- Mindness, S. and Young, J., F.,** 1981, Concrete, Prentice-Hall Inc, 671 p., New Jersey, USA.

- Najim, K.B, Hall, M.R.** 2010. A review of the fresh/hardened properties and applications for plain (PRC) and self-compacting rubberised concrete (SCRC), *Construction and Building Material*, **24** (11), pp. 2043–2051.
- Najim, K.N., Hall, M.R.,** 2012. Mechanical and Dynamic Properties of Self-compacting Crumb Rubber Modified Concrete, *Construction and Building Materials*, **27**, pp. 521–530.
- Nanthagopalan, P., Santhanam, M.,** 2010. A New Empirical Test Method for The Optimisation of Viscosity Modifying Agent Dosage in Self-Compacting Concrete, *Materials and Structures*, **43**, pp. 203-212.
- Nehdi, M. and Khan, A.,** 2001. Cementitious Composites Containing Recycled Tire Rubber: An Overview of Engineering Properties and Potential Applications, *Cement and Concrete Aggregates*, Vol. **23**, No. 1, June, pp. 3–10.
- Nehdi, M.L., Bassuoni, M.T.,** 2008. Durability of Self-Consolidating Concrete to Combined Effects of Sulphate Attack And Frost Action, *Materials and Structures*, **41**, 1657-1679.
- Neville, A. M.,** 2002, Properties of Concrete, Pearson Prentice Hall Inc., p. 844, England.
- Newman, J., Choo, B.S.,** 2003. Advanced Concrete Technology Constituent Materials, Butterworth-Heinemann, Elsevier, p. 263, Britain.
- Okamura, H., Ouchi, M.,** 2003. Self-Compacting Concrete, *Journal of Advanced Technology*, Vol. **1** (1), pp. 5-15.
- Ovarlez G., Roussel, N.,** 2006. A physical Model for the Prediction of Lateral Stress Exerted by Self-Compacting Concrete on Formwork, *Materials and Structures*, **39**, pp. 269-279
- Öz, E.,** 2007. Nevşehir Dolaylarında Yüzeyleyen Asidik Pomzanın Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, Adana.
- Özkul, M. H.,** 2002. Beton Teknolojisinde Bir Devrim: Kendiliğinden Yerleşen-Sıkışan Beton, *Hazır Beton Dergisi*, **52**, pp. 64-71.
- Persson, B.,** 2004a. Chloride migration coefficient of self-compacting concrete, *Materials and Structures*, **37**, March 2004, pp. 82-91.
- Persson, B.,** 2004b. Fire resistance of self-compacting concrete, SCC, *Materials and Structures*, **37**, November 2004, pp. 575-584.

- Persson, N.**, 2006. On the Internal Frost Resistance of Self-Compacting Concrete, with and without Polypropylene Fibres, *Materials and Structures*, **39**, pp. 707-716.
- Petit, J.Y., Wirquin, E.**, 2010. Effect of Limestone Filler Content and Superplasticizer Dosage on Rheological Parameters of Highly Flowable Mortar Under Light Pressure Conditions, *Cement and Concrete Research*, **40** (2), pp. 235-241.
- Piekarczyk, B.L.**, 2012. The Influence of Selected New Generation Admixtures on the Workability, Air-Voids Parameters and Frost-Resistance of Self Compacting Concrete, *Construction and Building Materials*, **31**, pp. 310-319.
- Pons, G., Mouret, M., Alcantara, M., Granju, J.L.**, 2007. Mechanical Behaviour of Self-Compacting Concrete with Hybrid Fibre Reinforcement, *Materials and Structures*, **40**, 201-210.
- Popovics, S.**, 1992. Concrete Materials Properties Specification and Testing, Second Edition, Noyes Publications, p. 661, New Jersey, USA.
- Ramachandran, V.S.**, 1995. Concrete Admixtures Handbook, Properties, Science, and Technology, Second Edition, Noyes Publications, p. 1153, New Jersey, USA.
- Ramyar, K.**, 2007. Portland Çimentosu – Süperakışkanlaştırıcı Katkı Uyumunu Etkileyen Faktörler, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2. *Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, pp. 197-212, Ankara, Türkiye.
- Richardson, A.E.**, Coventry, K.A., Ward, G., 2012. Freeze/Thaw Protection of Concrete with Optimum Rubber Crumb Content, *Journal of Cleaner Production*, **23**, pp. 96-103.
- RMA Report**, 9th Biennial Report, 2009. Scrap tire Markets in the United States, Rubber Manufacturers Association, <https://www.rma.org/getfile.cfm?ID=985&type=publication> (22 Şubat 2010)
- Roussel, N.**, 2006. A Theoretical Frame to Study Stability of Fresh Concrete, *Materials and Structures*, **39**, pp. 81-91.

- Safiuddin, M.,** West, J.S., Soudki, K.A., 2010. Hardened Properties of Self-Consolidating High Performance Concrete Including Rice Husk Ash, *Cement and Concrete Composites*, **32** (9), pp. 708-717.
- Safiuddin, Md.,** 2008. Development of Self-consolidating high Performance Concrete Incorporating Rice Husk Ash, University of Waterloo, *PhD. Thesis*, Waterloo, Ontario, Canada.
- Sağlam, A.R., Özkul, M.H.,** 2006. Kendiliğinden yerleşen betonların reolojik özelliklerine bileşim parametrelerinin etkisi, *itüdergisi/d mühendislik*, **5** (1b), pp. 239-250.
- Sağlık, A.,** 2005. Beton ve Kimyasal Katkı Teknolojisinde Yeni Gelişmeler ve Standartlar, TMMOB, KMO ve İMO, Yapılarda Kimyasal Katkılar Semp, Ankara, pp. 83-117.
- Savaş, B.Z., Ahmad, S., Fredroff, D.,** 1996. Freeze-thaw Durability of Concrete with Ground Waste Tire Rubber, Transportation Research Record No. 1574, Transportation Research Board, Washington DC (1996), pp. 80–88.
- Schutter, G.D.,** 2005. Guidelines For Testing Fresh Self-Compacting Concrete, European Research Project: Measurement Of Properties Of Fresh Self-Compacting Concrete, Testing-SCC, p. 23.
- Segre N., Joekes I.,** 2000. Use of tire rubber particles as addition to cement paste, *Cement and Concrete Research*, **30** (9), pp. 1421–1425.
- Siddique, R. and Naik, T. R.,** 2004. Properties of Concrete Containing Scrap-Tire Rubber- an Overview, *Waste Management*, **24**, pp. 563-569.
- Skarendahl, A., Petersson, Ö.,** 2000. Self-Compacting Concrete, Rilem Report 23, State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC, France.
- Sonebi, M.,** 2004. Medium Strength Self-Compacting Concrete Containing Fly Ash: Modelling using Factorial Experimental Plans, *Cement and Concrete Research*, **34** (7), pp. 1199–1208.
- Sonebi, M., Bartos, P.J.M.,** 2002. Filling Ability and Plastic Settlement of Self-Compacting Concrete, *Materials and Structures*, **35**, September-October 2002, pp. 462-469.
- Subaşı, S., Beycioğlu, A., Emiroğlu, M.,** 2009. Genleştirilmiş Kil Agregalı Hafif Betonlarda Bulanık Mantık Yöntemiyle Yarmada Çekme Dayanımı Tahmin

- Modeli Geliştirilmesi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt:XXII, Sayı:3, pp. 157- 166.
- Subaşı, S., Emiroğlu, M.,** 2008. Lif Kullanılan Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda İşlenebilirlik ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki Analizi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (FFMÜ)*, **20** (3), pp. 527-539.
- Szwabowski, J., Piekarczyk, B.L.,** 2009. Air Entrainment Problem in Self-Compacting Concrete, *Journal of Civil Engineering and Management*, **15**(2), pp. 137-147.
- Szwabowski, J., Piekarczyk, B.L.,** 2008. The Increase of Air Content in SCC Mixes Under the Influence of Carboxylate Superplasticizer, *Cement Wapno Beton*, **4**, pp. 205-215.
- Şahmaran, M., Yaman, İ.Ö., Tokyay, M.,** 2004. Yeni Nesil Yüksek Akışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri İle Yüksek Hacimde Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Yerleşen Beton, *Beton 2004 Kongresi Bildiriler Kitabı*, pp. 225-233, THBB, İstanbul, 2004.
- Şengül, C., Akkaya, Y., Taşdemir, M.A.,** 2006. Fracture Behaviour of High Performance Fiber Reinforced Self Compacting Concrete, Measuring, Monitoring and Modeling Concrete Properties, Eds. Gdoutos M.S.K., *An International Symposium Dedicated to Proffessor Surendra P. Shah*, Springer, pp. 171-177.
- Şimşek, O.,** 2007. Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık, Ankara, Türkiye.
- Taha, R.M.M., El-Dieb, A.S, Abd El-Wahab, M.A., and Abdel-Hameed, M.E.,** 2008. Mechanical, Fracture and Microstructural Investigations of Rubber Concrete, *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, **20** (10), pp. 640-649.
- Tattersall, G.H.,** 1991. Workability and Quality Control of Concrete 1St Ed., E & FN SPON, An Imprint of Chapman & Hall, London.
- Topcu I. B.,** 1997. Assessment of brittleness index of rubberized concretes, *Cem. Concr. Res.*, **27** (2), pp. 177-183.
- Topçu İ.B., Uygunoğlu, T.,** 2010. Effect of Aggregate Type on Properties of Hardened Self-Consolidating Lightweight Concrete (SCLC), *Construction and Building Materials*, **24**, pp. 1286-1295.

- Topçu, İ.B. ve Avcular, N.,** 1997a. Collosion Behaviours of Rubberized Concretes, *Cement and Concrete Research*, **27**, pp. 1893-1898.
- Topçu, İ.B. ve Avcular, N.,** 1997b. Analysis of Rubberized Concrete as a Composite Material, *Cement and Concrete Research*, **27**, pp. 1135-1139.
- Topçu, İ.B.,** 1995. The Properties of Rubberized Concretes, *Cement and Concrete Research*, **34**, pp. 304-310.
- Topçu, İ.B., Bilir, T.,** 2009. Experimental Investigation of Some Fresh and Hardened Properties of Rubberized Self-Compacting Concrete, *Materials and Design*, **30**, pp. 3056-3065.
- Topçu, İ.B., Demir, A.,** 2007. Durability of Rubberized Mortar and Concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19 (2), pp. 173-178.
- TR-6-03,** 2003. Interim Guidelines for the use of Self-Consolidating Concrete in Precast/Prestressed Concrete Institute Member Plants, Precast/Prestressed Concrete Institute, p.165.
- TS EN 12390-5,** 2003. Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197-1,** 2002. Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 934-2,** 2002. Kimyasal Katkılar- Beton, Harç ve Şerbet için Bölüm 2: Beton Katkıları- Tarifler ve Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Turatsinze, A., Garros, M.,** 2008. On the Modulus of Elasticity and Strain Capacity of Self-Compacting Concrete Incorporating Rubber Aggregates, *Resources, Conservation and Recycling*, **52**, 1209-1215.
- Turgut P, Yesilata B,** 2008. Physico-mechanical and thermal performances of newly developed rubber-added bricks, *Energy and Buildings*, **40** (5), pp. 679–688.
- Turgut, P., Yeşilata, B. ve Işıker, Y.,** 2007. Kompozit Yapı Malzemelerinde Isıl Özellik Ölçümü-2: Hurda Lastik Katkılı Betonlar İçin Ölçüm Sonuçları, *Mühendis ve Makina*, **48** (565), pp. 33-39.
- Türkel, S., Felekoğlu, B.,** 2004. Aşırı Dozda Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı Kullanımının Taze ve Sertleşmiş Betonun Bazı Özellikleri Üzerine Etkileri, DEÜ Mühendislik Fakültesi, *Fen ve Mühendislik Dergisi*, **6** (1), pp.77-89.

- Türkiye Hazır Beton Birliği İstatistikleri**, 2011. 2010 Yılı Hazır Beton Sektörü İstatistikleri, (<http://www.thbb.org/Files/File/2010.pdf>).
- Ulucan, Z.Ç., Türk, K., Karataş, M.**, 2008. Effect of Mineral Admixtures on the Correlation between Ultrasonic Velocity and Compressive Strength for Self-Compacting Concrete, *Russian Journal of Nondestructive Testing*, Vol. **44**, No. 5, pp. 367–374.
- Unger, D.J.**, 1995. Analytical Fracture Mechanics, Academic Press Inc., p. 302, London.
- URL-1.** <http://www.cevreonline.com/atik2/otl.htm> (22 Şubat 2012).
- URL-2.** <http://www.bcm.org.tr/pdf/lastiklerin%20geri%20kazanimi.pdf> (22 Şubat 2012).
- URL-3.** <http://www.lasder.org.tr/tr03.asp> (22 Şubat 2012).
- URL-4.** 2002. Tire Pile Fires: Prevention, Response, Remediation, Environmental Engineering and Contracting, Inc., <http://osfm.fire.ca.gov/codedevelopment/pdf/tirefire/TPFReportFinal.pdf> (22 Şubat 2012).
- URL-5.** http://www.iksa.com.tr/dosyalar/129443970855082757_POLYCAR300_TBD.pdf (22 Şubat 2012).
- URL-6.** http://www.iksa.com.tr/dosyalar/129445598888229271_IKSAER_TBD.pdf (22 Şubat 2012).
- Ünal, O., Uygunoğlu, T.**, 2007. Diyatomitin Hafif Beton Üretiminde Kullanılması, *İMO Teknik Dergi*, **18** (1), pp. 4025 -4034.
- Walraven, J.**, 1999. The Evolution of Concrete, Structural Concrete, *Journal of fib*, **1** (1), pp. 3-11.
- Walraven, J.**, 2002. Betonun Evrimi, *Hazır Beton Dergisi*, **Temmuz-Ağustos**, pp. 26-30.
- Wüstholtz, T., Reinhardt, H.W.**, 2007. Deformation Behaviour of Self-Compacting Concrete under Tensile Loading, *Material and Structures*, **40**, pp. 965-977.
- Yahia, A., Tanimura, M., Shimoyama, Y.**, 2005. Rheological properties of highly flowable mortar containing limestone filler-effect of powder content and W/C ratio, *Cement and Concrete Research*, **35** (3), pp. 532–539.
- Yalçın, H., Gürü, M.**, 2006. Çimento ve Beton, Palme Yayıncılık, 406 s., Ankara, Türkiye.
- Yanar, T. M.**, 2007. Effect of mineral admixtures on the properties of self compacting concrete. *MsC Thesis*, Gaziantep University Graduate School of Natural & Applied Sciences, 145p.

- Yardımcı, M.Y.**, 2007. Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik, Mekanik, Kırılma Parametrelerinin Araştırılması ve Optimum Tasarımı, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora Tezi*, İzmir.
- Zheng, L., Huo, X.S., Yuan, Y.**, 2008. Experimental Investigation on Dynamic Properties of Rubberized Concrete, *Construction and Building Materials*, **22** (5), pp. 939-947.

ÖZGEÇMİŞ

3 Mayıs 1979 tarihinde Elazığ'da doğdum. İlk, orta ve lise eğitimimi Elazığ'da tamamladıktan sonra, 2000 yılında üniversite eğitimime Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümünde başladım. Lisans eğitimimi 2004 yılında tamamladım. Eylül 2004'te Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimime başladım ve 2006 yılında mezun oldum. Aynı yıl halen devam etmekte olduğum doktora eğitimime başladım. Evli ve bir çocuk babasıyım.

Mehmet EMİROĞLU

Ek_A

Tablo A.1. Birim hacim ağırlık (1 Günlük) deney sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistikler

R	N	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Ortalamalar İçin %95 Güven Aralığı		Minimum	Maksimum
					Alt Limit	Üst Limit		
0	8	2402.84	36.295	12.832	2372.50	2433.18	2354	2458
0-A	8	2374.56	16.631	5.880	2360.66	2388.46	2347	2400
15	8	2353.93	11.941	4.222	2343.94	2363.91	2340	2377
30	8	2280.29	11.752	4.155	2270.47	2290.12	2258	2297
45	8	2241.04	19.103	6.754	2225.07	2257.01	2216	2273
60	8	2197.00	10.677	3.775	2188.07	2205.93	2183	2214
Total	48	2308.28	77.366	11.167	2285.81	2330.74	2183	2458

Tablo A.2. DYK birim hacim ağırlık değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler

Deney Yaşı	R	N	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Ortalamalar İçin %95 Güven Aralığı		Minimum	Maksimum
						Alt Limit	Üst Limit		
7	0	8	2417.63	1.894	0.670	2416.05	2419.22	2416	2421
	0-A	8	2409.23	1.601	0.566	2407.90	2410.57	2407	2413
	15	8	2369.77	2.695	0.953	2367.51	2372.02	2365	2373
	30	8	2312.47	6.388	2.259	2307.13	2317.81	2303	2323
	45	8	2269.56	7.674	2.713	2263.15	2275.98	2256	2280
	60	8	2221.54	7.682	2.716	2215.12	2227.97	2212	2233
	Total	48	2333.37	73.042	10.543	2312.16	2354.58	2212	2421
28	0	8	2422.75	2.375	0.840	2420.76	2424.74	2418	2426
	0-A	8	2417.88	4.970	1.757	2413.72	2422.03	2412	2425
	15	8	2381.38	4.173	1.475	2377.89	2384.86	2375	2389
	30	8	2319.13	8.149	2.881	2312.31	2325.94	2312	2333
	45	8	2263.38	11.262	3.982	2253.96	2272.79	2242	2282
	60	8	2215.25	19.623	6.938	2198.84	2231.66	2189	2245
	Total	48	2336.63	79.330	11.450	2313.59	2359.66	2189	2426

Tablo A.3. Su emme oranı değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler

Deney Yaşı	R	N	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Ortalamalar İçin %95 Güven Aralığı		Minimum	Maksimum
						Alt Limit	Üst Limit		
7	0	8	3.2983	0.08260	0.02920	3.2293	3.3674	3.18	3.42
	0-A	8	3.4271	0.05364	0.01897	3.3822	3.4719	3.36	3.51
	15	8	3.7196	0.05072	0.01793	3.6772	3.7620	3.64	3.78
	30	8	4.2188	0.06707	0.02371	4.1627	4.2748	4.12	4.31
	45	8	3.9392	0.11346	0.04011	3.8443	4.0340	3.78	4.16
	60	8	3.8438	0.09334	0.03300	3.7657	3.9218	3.75	3.98
	Total	48	3.7411	0.32132	0.04638	3.6478	3.8344	3.18	4.31
28	0	8	2.7987	0.05890	0.02083	2.7495	2.8480	2.72	2.93
	0-A	8	2.9738	0.05706	0.02017	2.9261	3.0214	2.91	3.06
	15	8	2.7263	0.08895	0.03145	2.6519	2.8006	2.63	2.87
	30	8	3.3050	0.14716	0.05203	3.1820	3.4280	3.10	3.53
	45	8	3.4550	0.28355	0.10025	3.2179	3.6921	3.15	3.95
	60	8	3.5763	0.17295	0.06115	3.4317	3.7208	3.29	3.80
	Total	48	3.1392	0.35974	0.05192	3.0347	3.2436	2.63	3.95

Tablo A.4. Porozite değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler

Deney Yaşı	R	N	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Ortalamalar İçin %95 Güven Aralığı		Minimum	Maksimum
						Alt Limit	Üst Limit		
7	0	8	7.9738	0.19762	0.06987	7.8085	8.1390	7.70	8.26
	0-A	8	8.2563	0.12106	0.04280	8.1550	8.3575	8.10	8.44
	15	8	8.8138	0.11476	0.04057	8.7178	8.9097	8.63	8.96
	30	8	9.7596	0.14597	0.05161	9.6376	9.8816	9.56	9.95
	45	8	8.9408	0.23262	0.08224	8.7464	9.1353	8.62	9.39
	60	8	8.5354	0.21143	0.07475	8.3587	8.7122	8.31	8.88
	Total	48	8.7133	0.59896	0.08645	8.5393	8.8872	7.70	9.95
28	0	8	6.7863	0.13511	0.04777	6.6733	6.8992	6.61	7.09
	0-A	8	7.1863	0.13596	0.04807	7.0726	7.2999	7.04	7.39
	15	8	6.4963	0.21659	0.07658	6.3152	6.6773	6.26	6.83
	30	8	7.6625	0.34246	0.12108	7.3762	7.9488	7.22	8.16
	45	8	7.8188	0.60236	0.21297	7.3152	8.3223	7.20	8.86
	60	8	7.9175	0.32119	0.11356	7.6490	8.1860	7.38	8.33
	Total	48	7.3113	0.62399	0.09007	7.1301	7.4924	6.26	8.86

Tablo A.5. Ultrases geçiş hızı değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler (10x10x10 cm)

Deney Yaşı	R	N	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Ortalamalar İçin %95 Güven Aralığı		Minimum	Maksimum
						Alt Limit	Üst Limit		
7	0	8	4.8750	0.02000	0.00707	4.8583	4.8917	4.85	4.91
	0-A	8	4.8562	0.02973	0.01051	4.8314	4.8811	4.82	4.90
	15	8	4.8158	0.02402	0.00849	4.7958	4.8359	4.77	4.84
	30	8	4.7192	0.02736	0.00967	4.6963	4.7420	4.67	4.76
	45	8	4.4533	0.02900	0.01025	4.4291	4.4776	4.41	4.50
	60	8	4.4196	0.03918	0.01385	4.3868	4.4523	4.36	4.50
	Total	48	4.6899	0.18998	0.02742	4.6347	4.7450	4.36	4.91
28	0	8	4.9888	0.04612	0.01630	4.9502	5.0273	4.94	5.06
	0-A	8	5.0138	0.04138	0.01463	4.9792	5.0483	4.95	5.08
	15	8	4.8388	0.06266	0.02216	4.7864	4.8911	4.69	4.87
	30	8	4.7612	0.05463	0.01931	4.7156	4.8069	4.68	4.82
	45	8	4.3313	0.15725	0.05560	4.1998	4.4627	4.08	4.51
	60	8	4.1650	0.14472	0.05116	4.0440	4.2860	3.96	4.41
	Total	48	4.6831	0.33888	0.04891	4.5847	4.7815	3.96	5.08

Tablo A.6. Ultrases geçiş hızı değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler (10x10x50 cm)

Deney Yaşı	R	N	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Ortalamalar İçin %95 Güven Aralığı		Minimum	Maksimum
						Alt Limit	Üst Limit		
28	0	6	5.0652	0.03300	0.01347	5.0306	5.0998	5.03	5.10
	0-A	6	5.0754	0.02091	0.00853	5.0534	5.0973	5.04	5.10
	15	6	4.8934	0.03466	0.01415	4.8570	4.9297	4.85	4.93
	30	6	4.7667	0.03800	0.01551	4.7268	4.8066	4.71	4.81
	45	6	4.4963	0.05536	0.02260	4.4382	4.5544	4.45	4.57
	60	6	4.3501	0.04218	0.01722	4.3058	4.3943	4.27	4.40
	Total	36	4.7745	0.27906	0.04651	4.6801	4.8689	4.27	5.10

Tablo A.7. Dinamik elastisite modülü değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler

Deney Yaşı	R	N	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Ortalamalar İçin %95 Güven Aralığı		Minimum	Maksimum
						Alt Limit	Üst Limit		
28	0	6	34801	3880	1584	30728	38873	31155	39739
	0-A	6	35504	4951	2021	30308	40700	30557	40625
	15	6	32110	5179	2114	26675	37544	26933	37155
	30	6	31078	4359	1780	26503	35653	26730	35546
	45	6	25684	3279	1339	22242	29125	22615	30154
	60	6	24621	3214	1312	21249	27994	20661	28091
	Total	36	30633	5750	958	28687	32578	20661	40625

Tablo A.8. Basınç dayanımı değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler

Deney Yaşı	R	N	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Ortalamalar İçin %95 Güven Aralığı		Minimum	Maksimum
						Alt Limit	Üst Limit		
7	0	4	75.69	3.05	1.53	70.83	80.55	72.99	78.61
	0-A	4	66.17	5.93	2.97	56.72	75.61	59.36	73.84
	15	4	62.29	2.09	1.05	58.95	65.62	60.25	65.22
	30	4	41.42	1.48	0.74	39.06	43.78	39.69	43.28
	45	4	31.45	4.19	2.10	24.78	38.12	26.07	34.81
	60	4	27.06	2.13	1.07	23.67	30.45	24.90	29.80
	Total	24	50.68	18.97	3.87	42.67	58.69	24.90	78.61
28	0	4	79.30	3.90	1.95	73.09	85.50	73.97	83.25
	0-A	4	71.61	4.74	2.37	64.06	79.15	67.52	78.45
	15	4	63.69	3.05	1.52	58.83	68.54	60.45	67.81
	30	4	47.16	8.39	4.19	33.82	60.50	41.81	59.67
	45	4	32.88	4.82	2.41	25.21	40.55	29.68	40.06
	60	4	25.24	2.46	1.23	21.33	29.15	21.83	27.53
	Total	24	53.31	20.73	4.23	44.56	62.07	21.83	83.25

Tablo A.9. Yarmada çekme dayanımı değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler

Deney Yaşı	R	N	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Ortalamalar İçin %95 Güven Aralığı		Minimum	Maksimum
						Alt Limit	Üst Limit		
7	0	4	2.95	0.21	0.10	2.62	3.28	2.68	3.18
	0-A	4	2.99	0.55	0.27	2.11	3.86	2.29	3.63
	15	4	3.02	0.60	0.30	2.06	3.98	2.17	3.47
	30	4	2.57	0.21	0.11	2.23	2.91	2.29	2.81
	45	4	2.33	0.31	0.16	1.83	2.83	2.10	2.77
	60	4	2.53	0.25	0.12	2.14	2.92	2.18	2.71
	Total	24	2.73	0.44	0.09	2.55	2.92	2.10	3.63
28	0	4	3.40	0.66	0.33	2.36	4.45	2.75	4.30
	0-A	4	3.05	0.64	0.32	2.03	4.06	2.18	3.69
	15	4	3.54	0.28	0.14	3.10	3.99	3.17	3.84
	30	4	2.83	0.98	0.49	1.28	4.39	1.59	3.98
	45	4	2.44	0.07	0.03	2.33	2.55	2.37	2.53
	60	4	2.43	0.48	0.24	1.68	3.19	1.91	3.06
	Total	24	2.95	0.68	0.14	2.66	3.24	1.59	4.30

Tablo A.10. Eğilme-çekme dayanımı değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler

Deney Yaşı	R	N	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Ortalamalar İçin %95 Güven Aralığı		Minimum	Maksimum
						Alt Limit	Üst Limit		
28	0	6	4.7803	0.38688	0.15794	4.3743	5.1863	4.28	5.33
	0-A	6	4.1775	0.14235	0.05812	4.0281	4.3269	4.01	4.39
	15	6	4.9667	0.18439	0.07528	4.7732	5.1602	4.71	5.16
	30	6	4.6118	0.40022	0.16339	4.1918	5.0318	4.15	5.23
	45	6	4.4278	0.35382	0.14445	4.0565	4.7991	3.94	4.82
	60	6	4.0872	0.60048	0.24515	3.4570	4.7173	3.58	5.07
	Total	36	4.5086	0.47141	0.07857	4.3491	4.6681	3.58	5.33

Tablo A.11. Aderans dayanımı değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler

Deney Yaşı	R	N	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Ortalamalar İçin %95 Güven Aralığı		Minimum	Maksimum
						Alt Limit	Üst Limit		
7	0	3	16.1933	1.45136	0.83794	12.5880	19.7987	14.52	17.11
	0-A	3	15.1267	3.30325	1.90713	6.9209	23.3324	11.46	17.87
	15	3	13.5100	3.50240	2.02211	4.8096	22.2104	9.69	16.57
	30	3	13.0833	0.68135	0.39338	11.3908	14.7759	12.32	13.63
	45	3	12.4400	2.17000	1.25285	7.0494	17.8306	9.96	13.99
	60	3	6.1767	1.64500	0.94974	2.0903	10.2631	4.53	7.82
	Total	18	12.7550	3.84113	0.90536	10.8448	14.6652	4.53	17.87
28	0	3	18.1300	2.16880	1.25216	12.7424	23.5176	16.17	20.46
	0-A	3	16.4500	4.88464	2.82015	4.3159	28.5841	10.81	19.32
	15	3	17.9800	0.40150	0.23180	16.9826	18.9774	17.70	18.44
	30	3	14.3467	6.11886	3.53272	-8.534	29.5468	7.47	19.19
	45	3	11.1667	5.69096	3.28568	-2.9705	25.3038	7.37	17.71
	60	3	9.4567	4.77735	2.75820	-2.4109	21.3243	4.07	13.18
	Total	18	14.5883	5.08509	1.19857	12.0596	17.1171	4.07	20.46

Ek_B

Tablo B.1. Birim hacim ağırlık (1 Günlük) deney sonuçlarına ait Varyans analizi sonuçları

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Tesi	Anlamlılık Düzeyi ($p \leq 0.05$)
Gruplar Arası	264846.613	5	52969.323	135.039	0.000
Grup İçi	16474.527	42	392.251		
Toplam	281321.141	47			

Tablo B.2. DYK birim hacim ağırlık değerlerine ait Varyans analizi sonuçları

Deney Yaşı	Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Tesi	Anlamlılık Düzeyi ($p \leq 0.05$)
7	Gruplar Arası	249545.680	5	49909.136	1739.843	0.000
	Grup İçi	1204.812	42	28.686		
	Toplam	250750.492	47			
28	Gruplar Arası	291402.750	5	58280.550	558.536	0.000
	Grup İçi	4382.500	42	104.345		
	Toplam	295785.250	47			

Tablo B.3. Su emme oranı değerlerine ait Varyans analizi sonuçları

Deney Yaşı	Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Tesi	Anlamlılık Düzeyi ($p \leq 0.05$)
7	Gruplar Arası	4.584	5	0.917	143.423	0.000
	Grup İçi	0.268	42	0.006		
	Toplam	4.853	47			
28	Gruplar Arası	5.056	5	1.011	41.387	0.000
	Grup İçi	1.026	42	0.024		
	Toplam	6.083	47			

Tablo B.4. Porozite değerlerine ait Varyans analizi sonuçları

Deney Yaşı	Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Tesi	Anlamlılık Düzeyi ($p \leq 0.05$)
7	Gruplar Arası	15.552	5	3.110	99.802	0.000
	Grup İçi	1.309	42	0.031		
	Toplam	16.861	47			
28	Gruplar Arası	13.632	5	2.726	24.527	0.000
	Grup İçi	4.669	42	0.111		
	Toplam	18.300	47			

Tablo B.5. Ultrases geçiş hızı değerlerine ait Varyans analizi sonuçları (10x10x10 cm)

Deney Yaşı	Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Tesi	Anlamlılık Düzeyi ($p \leq 0.05$)
7	Gruplar Arası	1.661	5	0.332	399.930	0.000
	Grup İçi	0.035	42	0.001		
	Toplam	1.696	47			
28	Gruplar Arası	5.002	5	1.000	106.399	0.000
	Grup İçi	0.395	42	0.009		
	Toplam	5.397	47			

Tablo B.6. Ultrases geçiş hızı değerlerine ait Varyans analizi sonuçları (10x10x50 cm)

Deney Yaşı	Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Tesi	Anlamlılık Düzeyi ($p \leq 0.05$)
28	Gruplar Arası	2.680	5	0.536	356.803	0.000
	Grup İçi	.045	30	0.002		
	Toplam	2.726	35			

Tablo B.7. Dinamik elastisite modülü değerlerine ait Varyans analizi sonuçları

Deney Yaşı	Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Tesi	Anlamlılık Düzeyi ($p \leq 0.05$)
28	Gruplar Arası	6.247E8	5	1.249E8	7.040	0.000
	Grup İçi	5.324E8	30	1.775E7		
	Toplam	1.157E9	35			

Tablo B.8. Basınç dayanımı değerlerine ait Varyans analizi sonuçları

Deney Yaşı	Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Tesi	Anlamlılık Düzeyi ($p \leq 0.05$)
7	Gruplar Arası	8053.963	5	1610.793	131.952	0.000
	Grup İçi	219.734	18	12.207		
	Toplam	8273.697	23			
28	Gruplar Arası	9444.026	5	1888.805	77.311	0.000
	Grup İçi	439.765	18	24.431		
	Toplam	9883.791	23			

Tablo B.9. Yarmada ekme dayanımı değerlerine ait Varyans analizi sonuçları

Deney Yaşı	Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Tesi	Anlamlılık Düzeyi ($p \leq 0.05$)
7	Gruplar Arası	1.719	5	0.344	2.266	0.092
	Grup İçi	2.731	18	0.152		
	Toplam	4.451	23			
28	Gruplar Arası	4.430	5	0.886	2.532	0.067
	Grup İçi	6.299	18	0.350		
	Toplam	10.729	23			

Tablo B.10 Eğilme-çekme dayanımı değerlerine ait Varyans analizi sonuçları

Deney Yaşı	Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Tesi	Anlamlılık Düzeyi ($p \leq 0.05$)
28	Gruplar Arası	3.528	5	0.706	4.982	0.002
	Grup İçi	4.249	30	0.142		
	Toplam	7.778	35			

Tablo B.11. Aderans dayanımı değerlerine ait Varyans analizi sonuçları

Deney Yaşı	Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Tesi	Anlamlılık Düzeyi ($p \leq 0.05$)
7	Gruplar Arası	184.495	5	36.899	6.676	0.003
	Grup İçi	66.328	12	5.527		
	Toplam	250.823	17			
28	Gruplar Arası	196.838	5	39.368	1.946	0.160
	Grup İçi	242.750	12	20.229		
	Toplam	439.589	17			

Ek_C

Tablo C.1. Birim hacim ağırlık (1 Günlük) deney sonuçlarına ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Deney Yaşı	İkame Oranı (%)	N	$\alpha=0.05$ için alt gruplar					
			1	2	3	4	5	6
1	60	8	2197					
	45	8		2241				
	30	8			2280			
	15	8				2354		
	0-A	8					2375	
	0	8						2403

Tablo C.2. DYK birim hacim ağırlık değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Deney Yaşı	İkame Oranı (%)	N	$\alpha=0.05$ için alt gruplar					
			1	2	3	4	5	6
7	60	8	2221.54					
	45	8		2269.56				
	30	8			2312.47			
	15	8				2369.77		
	0-A	8					2409.23	
	0	8						2417.63
28	60	8	2215.25					
	45	8		2263.38				
	30	8			2319.13			
	15	8				2381.38		
	0-A	8					2417.88	
	0	8					2422.75	

Tablo C.3. Su emme oranı değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Deney Yaşı	İkame Oranı (%)	N	$\alpha=0.05$ için alt gruplar					
			1	2	3	4	5	6
7	0	8	3.2983					
	0-A	8		3.4271				
	15	8			3.7196			
	60	8				3.8438		
	45	8					3.9392	
	30	8						4.2188
28	15	8	2.7263					
	0	8	2.7987					
	0-A	8		2.9738				
	30	8			3.3050			
	45	8			3.4550	3.4550		
	60	8				3.5763		

Tablo C.4. Porozite değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Deney Yaşı	İkame Oranı (%)	N	$\alpha=0.05$ için alt gruplar					
			1	2	3	4	5	6
7	0	8	7.9738					
	0-A	8		8.2563				
	60	8			8.5354			
	15	8				8.8138		
	45	8				8.9408		
	30	8					9.7596	
28	15	8	6.4963					
	0	8	6.7863					
	0-A	8		7.1863				
	30	8			7.6625			
	45	8			7.8188			
	60	8			7.9175			

Tablo C.5. Ultrases geçiş hızı değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (10x10x10 cm)

Deney Yaşı	İkame Oranı (%)	N	$\alpha=0.05$ için alt gruplar					
			1	2	3	4	5	6
7	60	8	4.4196					
	45	8		4.4533				
	30	8			4.7192			
	15	8				4.8158		
	0-A	8					4.8562	
	0	8					4.8750	
28	60	8	4.1650					
	45	8		4.3313				
	30	8			4.7612			
	15	8			4.8388			
	0	8				4.9888		
	0-A	8				5.0138		

Tablo C.6. Ultrases geçiş hızı değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları (10x10x50 cm)

Deney Yaşı	İkame Oranı (%)	N	$\alpha=0.05$ için alt gruplar					
			1	2	3	4	5	6
28	60	6	4.3501					
	45	6		4.4963				
	30	6			4.7667			
	15	6				4.8934		
	0	6					5.0652	
	0-A	6					5.0754	

Tablo C.7. Dinamik elastisite modülü değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Deney Yaşı	İkame Oranı (%)	N	$\alpha=0.05$ için alt gruplar					
			1	2	3	4	5	6
28	60	6	24621					
	45	6	25684					
	30	6		31078				
	15	6		32110				
	0	6		34801				
	0-A	6		35504				

Tablo C.8. Basınç dayanımı değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Deney Yaşı	İkame Oranı (%)	N	$\alpha= 0.05$ için alt gruplar					
			1	2	3	4	5	6
7	60	4	27.06					
	45	4	31.45					
	30	4		41.42				
	15	4			62.29			
	0-A	4			66.17			
	0	4				75.69		
28	60	4	25.24					
	45	4		32.88				
	30	4			47.16			
	15	4				63.69		
	0-A	4					71.61	
	0	4						79.30

Tablo C.9. Eğilme-çekme dayanımı değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Deney Yaşı	İkame Oranı (%)	N	$\alpha= 0.05$ için alt gruplar					
			1	2	3	4	5	6
28	60	6	4.0872					
	0-A	6	4.1775	4.1775				
	45	6	4.4278	4.4278	4.4278			
	30	6		4.6118	4.6118	4.6118		
	0	6			4.7803	4.7803		
	15	6				4.9667		

Tablo C.10. Aderans dayanımı değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Deney Yaşı	İkame Oranı (%)	N	$\alpha= 0.05$ için alt gruplar					
			1	2	3	4	5	6
7	60	3	6.1767					
	45	3		12.4400				
	30	3		13.0833				
	15	3		13.5100				
	0-A	3		15.1267				
	0	3		16.1933				