



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ATIK LASTİK KATKISININ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN
BETONLARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ**

HAKAN ÖZTÜRK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
DİSİPLİNLERARASI KOMPOZİT MALZEME TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. ALPER BİDECI**

DÜZCE, 2016

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

30 Aralık 2016

Hakan ÖZTÜRK





*Sevgili Eşim,
Oğullarım Batu ve Ali Yaser'e
İthaf olunur...*

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği sabır, ilgi, destek ve yardımından dolayı çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Alper BİDECİ'ye,

Desteğini her konuda esirgemeyen değerli dostum Yrd. Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU'na,

Tavsiye ve görüşlerinden yararlandığım kıymetli hocalarım Prof. Dr. Serkan SUBAŞI, Doç. Dr. Yılmaz KOÇAK, Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emin ARSLAN, Öğr. Gör. Dr. Ümit YURT, Düzce Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri ve çalışanlarına,

Laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen yüksek lisans öğrencisi Mehmetcan YÜKSEK'e, KMYO Yapı Ressamlığı Programı öğrencilerinden, Yusuf İhsan KÂHYA, Fatih YEŞİLYURT, Doğancan ŞAFAK, Yalçın BALIK ve değerli mesai arkadaşlarım Kaynaşlı MYO personeline,

Bladder temininde desteğini esirgemeyen değerli arkadaşım, ANLAS Anadolu Lastik A.Ş. Karışım Proses Müdürü Kerem KAYMAZ'a, kimyasal katkıların temini için Sika Yapı Kimyasalları A.Ş.'ye,

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve hayatımın her anında desteklerini esirgemeyen sevgili Anneme, Babama, kardeşlerime, Aile fertlerime ve mezuniyetimi göremeden aramızdan ayrılan değerli Kayınvalideme,

Büyük sabır ve anlayışıyla her zaman yanımda yer alan, fikirleriyle bana ışık olan ve beni hayata bağlayan Sevgili Eşim Gamze ÖZTÜRK, Oğullarım Batu ve Ali Yaser'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

30 Aralık 2016

Hakan ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ.....	IX
ÇİZELGE LİSTESİ	X
KISALTMALAR.....	XI
SİMGELER.....	XII
ÖZET	XIII
ABSTRACT	XIV
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1 BETON VE ÖZELLİKLERİ	4
2.2 ÖZEL BETONLAR.....	5
2.2.1 Hafif Betonlar.....	6
2.3 KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLAR.....	7
2.3.1 Kendiliğinden Yerleşen Betonların Ayrışmaya Karşı Direnci	10
2.3.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonların Viskozite Katkıları	10
2.3.3 Kendiliğinden Yerleşen Betonların İşlenebilirliği.....	11
2.3.4 Kendiliğinden Yerleşen Betonların Geçiş Yeteneği	11
2.3.5 Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Filler Malzeme.....	11
2.3.6 Kendiliğinden Yerleşen Betonların Bazı Karakteristik Özellikleri	11
2.4 KIRILMA ENERJİSİ.....	12
2.4.1 Fiktif Çatlak Yaklaşımı	14
2.4.2 İki Parametrelili Kırılma Modeli (İPKM).....	14
2.4.2.1 <i>Pik Yük Metodu</i>	15
2.5 ATIK LASTİKLER.....	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
3.1 MATERYAL.....	17
3.1.1 Agrega	17
3.1.2 Çimento	17
3.1.3 Yüksek Fırın Cürufu.....	18

3.1.4 Lastik Agrega	18
3.1.5 Su	19
3.1.6 Akışkanlaştırıcı	20
3.1.7 Hava Sürükleyici.....	20
3.1.8 Çentikli Kiriş Kalıbı.....	20
3.1.9 Çalışmanın Tasarımı.....	22
3.2 METOD.....	24
3.2.1 Agrega Deneyleri.....	24
3.2.1.1 Tane Büyüklüğü Dağılımı.....	24
3.2.1.2 Su Emme	24
3.2.1.3 Özgül Ağırlık.....	25
3.2.2 Beton Karışım Dizaynı ve Hazırlanması	25
3.2.3 Taze Beton Deneyleri	27
3.2.3.1 Birim Ağırlık Deneyi	27
3.2.3.2 Yayılma Deneyi	27
3.2.3.3 J-Ringi Deneyi	28
3.2.3.4 Kolon Segregasyon Deneyi.....	29
3.2.4 Sertleşmiş Beton Deneyleri	30
3.2.4.1 Kuru Birim Hacim Ağırlığı Deneyi.....	30
3.2.4.2 Su Emme	30
3.2.4.3 Basınç Dayanımı Deneyi.....	31
3.2.4.4 Kırılma Enerjisi	32
3.2.4.5 Ultrases Geçiş Hızı	34
3.2.4.6 Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) Analizleri	34
3.2.4.7 Enerji Dağılımı Spektrometresi (EDS) Analizleri.....	35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	36
4.1 AGREGA DENEY SONUÇLARI.....	36
4.1.1 Tane Büyüklüğü Dağılımı.....	36
4.1.2 Su Emme Oranı Tayini.....	36
4.1.3 Özgül Ağırlık Deneyi.....	37
4.2 TAZE BETON NUMUNELERİ DENEY SONUÇLARI	37
4.2.1 Birim Ağırlık Deney Sonuçları.....	37
4.2.2 Yayılma Deneyi	38

4.2.3 J-ringi Deneyi.....	39
4.2.4 Kolon Segregasyon Deneyi.....	39
4.3 SERTLEŞMİŞ BETON NUMUNELERİN FİZİKSEL VE MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİ.....	40
4.3.1 Kuru Birim Ağırlık	40
4.3.2 Basınç Dayanımı	41
4.3.3 Beton Numunelerin Su Emme Oranı	42
4.3.4 Kırılma Enerjisi	43
4.3.5 Ultrases Geçiş Hızı	46
4.3.6 SEM – EDS Analizleri	47
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	48
5.1 SONUÇLAR	48
5.2 ÖNERİLER.....	49
KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ.....	54

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Beton bileşenleri ve yaklaşık hacimce oranlar.	4
Şekil 2.2. Beton dayanımına etki eden faktörler.	5
Şekil 2.3. Hafif betonların tahmini yoğunlukları ve kullanım aralıkları (ACI 213-R87)..	7
Şekil 2.4. Gerilme-şekil değiştirme ilişkilerine ait grafikler.	13
Şekil 2.5. Kırılma bölgesinde meydana gelen farklı çatlak tipleri [43].	14
Şekil 2.6. İki parametrelili kırılma modeli.	15
Şekil 2.7. Atık Bladder (pişirme torbası) yığılıları.	16
Şekil 3.1. Bladder (pişirme torbası).	19
Şekil 3.2. Giyotin ile kesim işlemi.	19
Şekil 3.3. 25 mm Lastik agrega.	19
Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan çentikli kiriş kalıpları.	21
Şekil 3.5. Deney akış şeması.	23
Şekil 3.6. Beton karışımında kullanılan mikser.	26
Şekil 3.7. Beton karışımının kalıplara yerleştirilmesi.	27
Şekil 3.8. Lastik agrega ikameli KYB yayılımı.	28
Şekil 3.9. J-ringi deneyi.	29
Şekil 3.10. Kolon segregasyon deney düzeneği.	30
Şekil 3.11. Beton basınç dayanımında kullanılan pres.	32
Şekil 3.12. Kırılma enerjisi deney düzeneği için numunenin hazırlanması.	33
Şekil 3.13. Kırılma enerjisi deney düzeneği.	33
Şekil 3.14. Çatlak açıklığı ölçüm aparatı (clip gage).	34
Şekil 4.1. Agregaya ait granülometri eğrisi.	36
Şekil 4.2. 5 mm elek üzerinde kalan iri agrega yüzdesi.	40
Şekil 4.3. KYB numunelerinin basınç dayanımları (MPa).	42
Şekil 4.4. Beton numunelerin su emme değerleri.	43
Şekil 4.5. LA0-kontrol ile 25 mm LA ikameli çentikli kirişlerin Yük-CMOD grafiği. ...	44
Şekil 4.6. LA0-kontrol ile 50 mm LA ikameli çentikli kirişlerin Yük-CMOD grafiği. ...	44
Şekil 4.7. LA0-kontrol ile 75 mm LA ikameli çentikli kirişlerin Yük-CMOD grafiği. ...	45
Şekil 4.8. Çentikli kirişlere ait kırılma yüzey enerjileri.	46
Şekil 4.9. Numunelere ait SEM ve EDS analizleri.	47

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Tavsiye edilen KYB sınır değerleri.	9
Çizelge 2.2. EFNARC Komitesi tarafından kabul edilen kendiliğinden yerleşebilirlik sınır değerleri (EFNARC 2002).....	9
Çizelge 3.1. Çimentonun fiziksel, mekanik özellikleri ve kimyasal analizi.....	17
Çizelge 3.2. YFC fiziksel ve kimyasal analizi.	18
Çizelge 3.3. Hiperakışkanlaştırıcı katkı malzemesine ait teknik özellikler.....	20
Çizelge 3.4. Hava sürükleyici katkı malzemesine ait teknik özellikler.....	20
Çizelge 3.5. Beton karışım oranları (1m ³).....	26
Çizelge 3.6. Ultrases – Beton kalitesi ilişkisi.	34
Çizelge 4.1. Agregaların su emme ve özgül ağırlık değerleri.	37
Çizelge 4.2. Taze betonların birim ağırlık deney sonuçları.	37
Çizelge 4.3. Beton numunelerin yayılma sonuçları.	38
Çizelge 4.4. J-Ringi deney sonuçları.....	39
Çizelge 4.5. Elek segregasyon direnci deney sonuçları.	40
Çizelge 4.6. Kuru Birim ağırlıkları.	41
Çizelge 4.7. Beton numunelerin basınç dayanımları.....	41
Çizelge 4.8. Kırılma yüzey enerjileri.	45
Çizelge 4.9. Ultrases hızları.	46

KISALTMALAR

ACI	American Concrete Institute
A.Ş.	Anomin Şirketi
CANMET	The Canadian Centre for Mineral and Energy Technology
CMOD	The Crack Mouth Opening Displacement
CTOD	The Crack Tip Opening Displacement
EDS	Enerji Dağılım Spektrometresi
EFNARC	The European Federation For Specialist Construction Chemicals
İPKM	İki Parametrelili Kırılma Metodu
KYB	Kendiliğinden Yerleşen Beton
LA	Lastik agrega
PZÇ	Puzolanik Çimento
Q	Gevreklik indeksi
RILEM	The International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures
SCC	Self-compacting concrete
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TÇ	Traslı Çimento

SİMGELER

sa/dk	Saat/Dakika
MPa	Mega Pascal
mm	Milimetre
μ	Mikro (10^{-6})
kg/l	Kilogram/Litre
Wf	Nihai ölçme zamanındaki su emme oranı (%)
Mw	Deney sonunda yüzeyi kurutulmuş deney numunesinin kütlesi (g)
g	Gram
δ	Özgül Ağırlık (g/cm^3)
Sk	Sertleşmiş betonun kuru birim ağırlığı (kg/m^3)
W	Numunenin etüv kurusu ağırlığı (kg)
V	Numunenin hacmi
m/sn	Metre/saniye

ÖZET

ATIK LASTİK KATKISININ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

Hakan ÖZTÜRK

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Disiplinlerarası Kompozit Malzeme Teknolojileri

Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Alper BİDECİ

Aralık 2016, 54 sayfa

Dünyada her yıl 10 milyon tondan daha fazla atık lastik oluşmakta ve bu rakam, ülkemiz için 300 bin ton civarına ulaşmaktadır. Atık lastiklerin doğada bozulması oldukça zordur ve bu lastiklerin çevreye verilmesi hem insan sağlığı hem de çevre için ciddi tehlikeler doğurmaktadır. Dolayısıyla, atık lastikler için atık yönetiminin yapılması gereklidir. Atık lastiklerin yeniden kullanımı, beton üretim süreci içerisinde kullanılan geri dönüşüm metotlarından biridir. Bu metot, daha hafif beton malzemeleri, daha yüksek eğilme tokluğu ve atıkların bertaraf edilmesine katkı sağlar. Bu çalışmada, 25, 50 ve 75 mm uzunluğunda mekanik olarak kesilen atık lastikler (LA) kendiliğinden yerleşen beton (KYB) içerisinde iri agrega ile hacimce yer değiştirilerek değerlendirilmiştir. %5, %10 ve %15 oranlarında hacimsel olarak iri agrega ile yer değiştirilerek elde edilen betonlar üzerinde, birim ağırlık, slump yayılma, J-ringi, kolon segregasyon, su emme 28 günlük basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı, kırılma enerjisi deneyleri yapılmıştır. Ayrıca numunelerin SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ve EDS (Enerji Dağılımı Spektroskopisi) analizleri de incelenmiştir. Çalışmada, LA ikamesinin taze betonun birim ağırlığını düşürdüğü, LA boy oranı arttıkça betonun donatı aralığından geçişinin zor hale geldiği, sertleşmiş beton numunelerde kuru birim ağırlığının azaldığı, %10 lif katkısının basınç dayanım değerlerini arttırdığı, ultrases geçiş hızları ölçümü sonrası betonların “iyi” beton sınıfına girdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, kendiliğinden yerleşen betonlara 25mm boyunda %10 atık lastik agrega ikamesinin optimum sonuçlar verebileceği tespit edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Atık Lastik, Kendiliğinden Yerleşen Beton, Kırılma Enerjisi, Mekanik Özellikler, SEM-EDS Analizleri.

ABSTRACT

THE EFFECTS OF ENGINEERING PROPERTIES OF WASTE TIRES INTO SELF COMPACTING CONCRETES

Hakan ÖZTÜRK

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Interdisciplinary
Composite Material Technologies

Master Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Alper BİDECİ

December 2016, 54 pages

There have been more than 10 million waste tires in the world and it reaches about 300 thousand tons for our country. Degradation of waste tires in nature take very long time and leaving this waste into the landfills poses serious health hazards for both human health and the our habitat. Therefore, waste management for waste tires is necessary. Reuse of waste tires in the concrete production process is one of the recycling methods used. This method contributes to have lighter concrete materials and higher toughness and also contributes to elimination of waste. In this study, mechanically cut waste tires having 25, 50 and 75 mm in length were evaluated by replacing the volume of coarse aggregate in Self-Compacting Concrete (SCC). On the concrete specimens, having 5%, 10% and 15% (by volume of coarse aggregate) of waste tires, unit weight, slump, J-ring, column segregation, water absorption, 28 day compressive strength, ultrasound pulse velocity and fracture energy experiments were performed. SEM (Electron Microscope) and EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) analyzes of the samples were also investigated. In this study it was determined that use of rubber aggregate decreased fresh concrete unit weight, increase in rubber aggregate length was decreased the passing ability of the mix between reinforcing bars, dry unit weight of the specimens decreased, adding 10% rubber aggregate increased the compressive strength of the specimens and based on the ultrasonic pulse velocity results good grade concrete quality can be obtained. As a result, it was observed that optimum results were obtained from self-consolidating concretes having 25 mm length and 10% volume fraction.

Keywords: Fracture Energy, Self-Compacting Concrete, SEM-EDS Analyzes, Mechanical Properties, Waste Tire.

1. GİRİŞ

Katı atıkların yönetimi dünyada olduğu gibi ülkemizde de en önemli çevresel sorunlardan biridir. Atık taşıt lastikleri de bu katı atıklar arasında yer almaktadır. Her yıl artarak büyüyen bir şekilde stoklanan atık lastikler insan sağlığı, çevre kirliliği ve estetik gibi problemlere neden olmaktadır. Bu nedenle atık taşıt lastiklerinin yönetimi oldukça önemlidir. Bu konuda yürütülen çalışmalarda; atık lastiklerin plastik ürünlerde yeniden kullanımı, atık taşıt lastiklerini yakmak suretiyle ısı ve elektrik üretimi (çimento fabrikaları vb.) ve beton ya da asfalt betonu içerisinde agrega olarak kullanılması en yaygın çözümler arasında yer almaktadır. Atık taşıt lastiklerinin betonun içinde agrega olarak kullanımına ilişkin çalışmalar henüz asfalt kaplamasında kullanılabilirliğine göre oldukça sınırlıdır. Literatürde atık lastik kauçukların beton agregası olarak kullanımı hakkında çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Fakat yapı uygulamalarında tavsiye edilmeden önce daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda, genel olarak atık lastik kauçuk kullanımının betonun mukavemetini azalttığı ancak betona esneklik ve tokluk kazandırdığı belirtilmektedir.

Atık lastikler çeşitli kesim yöntemleri kullanılarak kırıntı kauçuk, çip ve lif şeklinde kullanılmaktadır. Bunun yanında lastikler yakılıp kül haline getirilerek betonda kullanılmaktadır. Bu kauçuk agregalar beton içerisinde kullanılırken, ince kauçuklar ince agregalarla, iri kauçuklar ise iri agregalarla kısmen yer değiştirilerek kullanılmaktadır. Beton içerisinde kauçuk oranları genel olarak agrega hacmine göre %0-%100 arasında yer değiştirilmiş fakat %20 ile %25'ten sonra betonun basınç ve eksenel çekme mukavemetlerinde sistematik bir azalma gözlenmiştir. Bu konuda beton içerisindeki atık lastik kauçuk içeriğinde bir sınırlandırma yapmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüze kadar yapılmış çalışmalarda genel olarak atık taşıt lastiklerinin taze haldeki betonun özelliklerine ve sertleşmiş betonun basınç, eksenel çekme, elastisite modülü, kırılma tokluğu gibi belirleyici özelliklerine etkisi araştırılmış fakat betonun kırılma mekanizmasına olumlu etkileri üzerine yeterince çalışma yapılmamıştır [1],[7].

Yapılan çeşitli çalışmalarda, lastik kauçuklar çeşitli yüzey işlemlerine (NaOH vb. aşındırıcılarla yıkamak gibi) tabi tutulmuş ve çimento pastası ile lastik kauçuklar arasındaki aderansın artırılması nispeten de olsa sağlanmıştır. Fakat büyük lastik kauçuklarda bu yöntemlerin işe yaramadığı bildirilmektedir. Lastik agregalı betonların başlangıçta, slump, birim ağırlık, hava içeriği, basınç, eğilme, 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 gözlenmiştir. 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 [1].

Lastik agregaların temel karakteristiklerinin belirlendiği ilk çalışmaları, bu betonların, statik ve tekrarlı dinamik 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 birçok yeni çalışma izlemiştir [6],[8].

Günümüze kadar yapılan çalışmaların büyük bir bölümünde lastik agregalar ya ince öğütülmüş toz halinde ya da kırılmış 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 [6].

Lastik agregalı betonlar, daha sünek bir beton elde etme amacıyla ve çevresel kaygılar nedeniyle 1990'lı yıllardan beri üzerinde çalışılan konulardan biridir. Bu agregaların beton içerisinde kullanımı sırasında ortaya çıkan temel sorunun kauçuklar ile çimento pastası arasındaki zayıf aderans olduğu bildirilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, özellikle lastik boyutları düzgün bir şekilde kesilerek beton içerisindeki lastiklerin çimento pastası ile temas yüzeyleri kontrol altına alınmaya çalışılmış ve betonun basınç dayanımı, kırılma yüzey enerjisi gibi temel karakteristiğine etkisi araştırılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Beton, yüzyıla yakın zamandır inşaat alanında kendine geniş bir kullanım alanı bulmuştur ve günümüzde de beton ve ahşaba göre hala çok önemli bir yapı malzemesi olma özelliğini korumaktadır. Hayatımızın birçok alanında beton ile etkileşimde bulunuruz, ulaşım, elektrik, su ve en önemlisi barınma ihtiyaçlarımızı genellikle betonarme yapılardan karşılarız. Betonun yaygın olarak kullanılmasının başlıca sebepleri arasında, yangın performansının ve dayanımının ahşaptan daha iyi olması, çelik gibi korozyona kolayca uğramaması ve bu iki malzemeye göre daha ucuza üretilmesi sayılabilir [2]-[5].

Atık lastikler konusundaki ilk çalışmalar yaklaşık otuz yıl önce başlamıştır, atık lastik kullanılması ile doğal agregaya oranla birim ağırlığı düşük ve esnek bir agrega modeli oluşacak, ayrıca çevreyi olumsuz etkileyen atık lastikler beton içerisinde değerlendirilmiş ve çevreye verdiği olumsuz etki engellenmiş olacaktır. Esnek agrega ile betonun gevrek davranışı sebebiyle yük altında ani kırılmaların önüne geçilmeye çalışılmıştır [6].

Khatib ve Bayomy, atık lastik agregalı beton üreterek, betonun mühendislik özelliklerini test etmişlerdir. Çalışmalarında iri ve ince agregaları atık lastik agregalar ile yer değiştirmişler ve atık lastik agrega içeriğinin, betonun işlenebilirliği ve mukavemetiyle ters orantılı olduğunu ayrıca atık lastik içeriğinin %20'yi aşmaması gerektiğini gözlemlemişlerdir [7].

Lif şeklinde kesilerek elde edilen atık lastikler KYB karışımları ile de denenmiş ve içeriğin %30'una kadar kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Lastik agregaların slump yayılma çaplarında küçülmeye neden olduğu buna bağlı olarak T_{500} süresinde de uzamaya neden olduğu saptanmıştır. Lastik miktarına bağlı olarak betonun birim hacim ağırlığında da ters orantılı olarak değişimler gözlenmiştir. Pik yük metodu ile kırılma modellerinin kauçuk lif katkılı KYB karışımlarında uygulanabileceği saptanmış ve lastik ikamesi betonun gevreklik değerlerini yukarı seviyelere taşımıştır. Gevreklik indeksi (Q) 64-229 mm arasında değişkenlik göstermiş ve bu değişim basınç dayanımıyla uyumlu sonuçlar vermiştir [8].

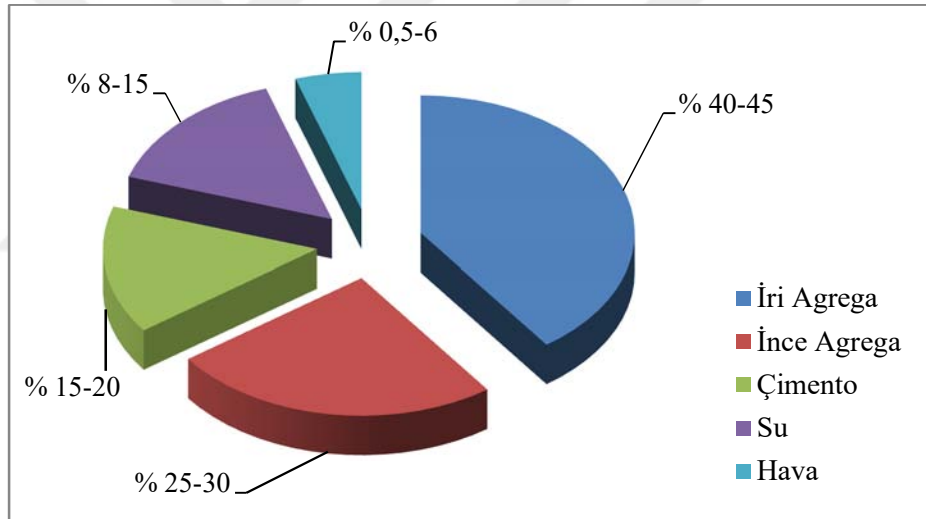
Kendiliğinden yerleşen betonlarda (KYB), çimento ve katkı maddeleri de çalışmalara konu olmuştur. Katkı maddelerinin, betonun slump yayılma çapı ve hızı ile olan ilişkisi

irdelenmiş ve elle tutulur sonuçları olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca betonların 1 günlük basınç dayanımları çimento ve katkı cinsinden etkilendiği ve bazı çimentoların katkı maddeleriyle kullanımları sonucu büyük miktarda hava sürüklediği ve betonun içerisinde boşluk miktarının azalması ile dayanımının etkilendiği görülmüştür [9].

2.1 BETON VE ÖZELLİKLERİ

Beton, çimento, yapay veya doğal agrega, su ve gerektiğinde kullanılan kimyasal ve mineral katkı maddelerini belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması sonucu elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olan ve çimentonun hidratasyonu sonucu zamanla konulduğu kalıbın şeklini alarak mukavemet kazanan kompozit bir yapı malzemesidir [10].

Betonun karışımı belirli oranlara göre yapılır (Şekil 2.1) [11].



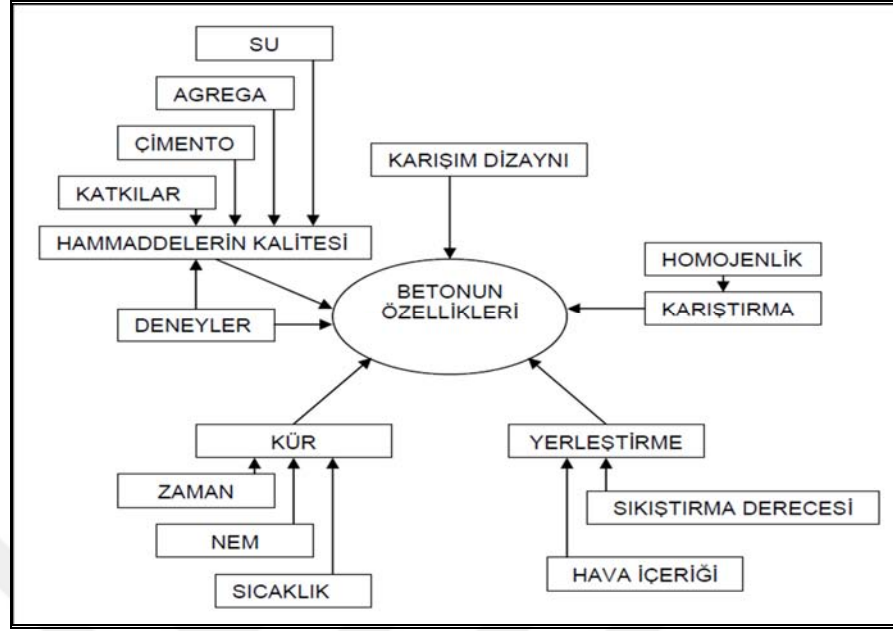
Şekil 2.1. Beton bileşenleri ve yaklaşık hacimce oranlar.

Beton basınç mukavemetine karşı dayanıklı olarak tasarlanmalıdır, çünkü beton pratikte basınç gerilmesine maruz kalmaktadır. Basınç mukavemetini tayin eden en önemli etken agregadır, başka bir deyişle agrega, betonun basınç gerilmesini tayin eden taşıyıcı elemanıdır [12].

Basınç dayanımı haricinde bir betondan şu özelliklerde beklenir, düşük birim ağırlık, iç ve dış etkilere karşı dayanıklılık, ses ve ısı yalıtımı, geçirimsizlik ve tokluktur. Tüm bu özellikler tek başına geleneksel beton ile elde edilememektedir. Araştırmacılar, betondan aranan özellikleri geliştirmek için uzun uğraşlar vermektedirler.

İstenilen özellikteki beton üretiminde, beton karışım malzemelerinin seçimi önem arz

etmektedir. Bu nedenle beton karışımına girecek malzemelerin iyi tanınması gerekir, neyin nasıl ve niçin seçildiğinin iyi analiz edilmesi gerekir (Şekil 2.2) [6].



Şekil 2.2. Beton dayanımına etki eden faktörler.

Betondan beklenen özellikler, karışıma giren malzemelerin kalıba yerleştirilme şekline, kalitesine, dış tesirlere karşı koruma durumu ve karakteristik özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterir [13].

2.2 ÖZEL BETONLAR

Özellikleri ve üretim teknikleri bakımından normal betonlardan farklı olan betonlara özel beton olarak tanımlanır. Özel betonlar; agrega türü değiştirilerek, farklı özellikte katkı maddeleri eklenerek, bileşimi değiştirerek normal agrega ve çimento kullanarak ve yapım tekniğinde değişiklik yaparak üretilirler.

Bu beton çeşitleri şunlardır; Ağır beton, hafif beton, püskürtme beton, lifli beton, ferrocement beton, vakumlu beton, silindirlenmiş beton, kendinden yerleşen beton, reaktif pudra beton, enjeksiyon harcı, pompa betonu, prefabrik beton, rötresi dengelenmiş beton, yüksek mukavemetli beton, yüksek sıcaklığa dayanıklı beton [14].

Geleneksel betonun bazı durumlarda istenilen özellikleri sağlayamaz ve bu durum özel betonların kullanımını zorunlu kılar. Genellikle nükleer santrallerde radyasyon kalkını olarak kullanılan ağır agregalar ile üretilen ağır beton, normal betona göre %50-100 aralığında değişen oranlarda daha yüksek birim ağırlığa sahip olabilmektedir. Polimer

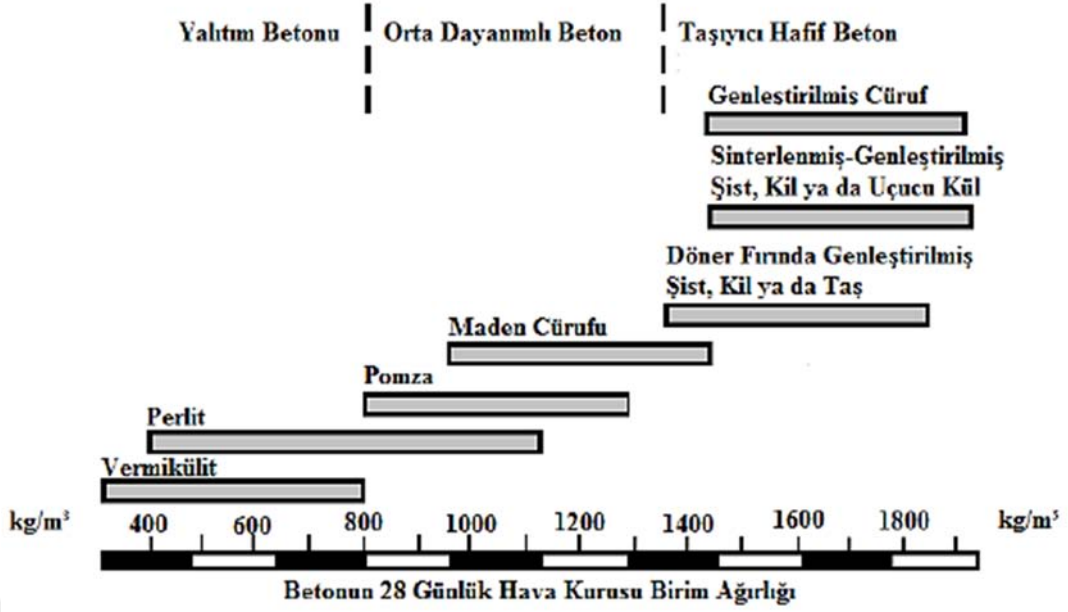
betonu, yoğun kimyasal tesirlere maruz kalınan durumlarda üst düzey geçirimsizliği ile yeterli dayanıklılığa ulaşmakta ve endüstriyel ve köprü döşemelerinin donatı korozyonunu önlemede de polimer beton kaplamalar yardımcı olmaktadır. Kalıp yapmanın zor olduğu ve kolay ulaşılamayan yerlerde, rötresiz olması ve yüksek geçirimsizlik değerlerine ulaşması gibi olumlu özellikleri nedeniyle, iri agreganın önceden yerleştirildiği ve aralarına harç veya hamur enjekte edildiği prepakt beton tercih edilmektedir. Bir başka özel beton olan püskürtme beton uygulaması, katlanmış plak çatılar, tünel kaplaması ve kabuklar için kullanılabilirdiği gibi, şev stabilitesi ve onarım amaçla da kullanılmaktadır. Püskürtme beton kalıp masrafını azaltması nedeniyle de avantajlı olabilmektedir. Köprü ayağı, liman, açık deniz platformu gibi su yapılarının inşaatında su altında beton dökümü kaçınılmaz olmaktadır [15].

Yüksek dayanımlı beton yapımı için kopolimer katkıları da kullanılabilir, yapılan çalışmalarda %5 polimer katkısının betonun iç yapısına nüfuz ederek boşlukları doldurduğu ve basınç dayanımını arttırdığı gözlenmiştir [16].

2.2.1 Hafif Betonlar

Etüv kurusu özgül ağırlığı 0.8-2.0 kg/dm³ aralığında olan ve yapay ve doğal hafif agregalar kullanılarak, kimyasal köpükler, beton içerisinde kimyasal yöntemlerle gaz oluşturularak ve başka bazı teknikler kullanılarak üretilirler [17]. Hafif agregalar yapay veya doğal kaynaklarla elde edilebilirler. Doğal kaynaklı olanların en önemli kaynağı volkanik malzemelerdir ve kaynağından alındıktan sonra kırma ve eleme gibi işlemlerin haricinde başka işleme tabi tutulmazlar. Yapay agregalar ise fabrikalarda bir dizi işlemlerden (ısı) geçtikten sonra üretilirler [18]. Doğal agregalar sınıfına giren perlit, hafif yalıtım betonu üretiminde kullanılabilir [19].

Yaygın olarak kullanılan hafif agregalı betonlar ve birim ağırlık sınıfları Şekil 2.3'de verilmiştir (ACI 213R-87).



Şekil 2.3. Hafif betonların tahmini yoğunlukları ve kullanım aralıkları (ACI 213-R87).

Birim ağırlıklarına göre betonların sınıflandırılması şu şekilde yapılır Birim ağırlığı 400–1800 kg/m³ arasında olanlar hafif betonlar; birim ağırlığı 1800–2000 kg/m³ arasında olan betonlara yarı hafif betonlar denir. Alman standartlarında çoğunlukla “Hafif Normal Beton” diye geçen taşıyıcı yarı hafif betonların birim ağırlığı 2000–2100 kg/m³ arasındadır. Birim ağırlığı 2200–2500 kg/m³ arasında olan betonlara normal betonlar denir [20], [21].

Bazı araştırmalar sonucunda, referans beton ile atık lastik katılarak üretilen taze betonların birim hacim ağırlığı bulunmuş ve bulunan bu sonuçlara agregaya göre daha düşük birim hacim ağırlığına sahip atık lastiğin betonun birim ağırlığını da düşürdüğü gözlemlenmiştir. Bu özelliğe sahip lastik agrega kullanımıyla da hafif betonlar üretilmektedir [22].

2.3 KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLAR

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) akışkanlık özelliği olan ve kendiliğinden yerleşebilme yeteneği olan beton olup kalıba yerleştirme için vibrasyon işlemine gerek duymaz. Akışkan ve segregasyona dirençli, üst seviyede homojenlik, alt seviyede boşluk oranı ve üniform beton dayanımına sahiptir. KYB geleneksel betona göre daha kısa sürede yüksek dayanımlara ulaşır [23].

KYB üretimi sırasında, düşük su/çimento oranı, erken kalıp alma ve dolayısıyla yapının daha kısa sürede servise alınması önemli avantajlarındandır. Akıcı kıvamı, kalıba

yerleşim kolaylığından dolayı işçiliği en aza indirmesi, ekonomiklik, sık donatı aralıklarında segregasyona uğramadan kolaylıkla doldurulabilmesi, yüksek performans sağlaması avantajlı yönleridir. Güçlendirme projelerinde sıklıkla kullanıldığı gözlenmektedir. Çünkü dar kalıp kullanımından dolayı beton kalıbın en uzak noktalarına bile kolaylıkla yayılabilmektedir. KYB üretimi kimyasal katkıların kullanımını gerektirmektedir, beton içerisinde dağıtma gücü yüksek olan kimyasal katkıların uygun oranlarda kullanılmalıdır. Taze ve sertleşmiş beton özelliklerinin etkilenmemesi için, kimyasal katkıların içeriği ve taze beton sıcaklığının optimum olması gereklidir [23].

Akışkanlaştırıcı kimyasallar işlenebilirlik özelliğini arttırmak amacıyla kullanılırlar. Polikarboksilat eter esaslı süperakışkanlaştırıcılar kullanılmaya başlanmasıyla birlikte KYB'nin en önemli özelliği olan düşük su/çimento oranı esas alınarak daha yüksek işlenebilirlik değerlerine ulaşılmış ve KYB'de büyük gelişme sağlanmıştır. Süperakışkanlaştırıcıların yeni bir döneme girmesini sağlayan bu gelişme geleneksel süperakışkanlaştırıcıların aksine elektrostatik etki ile birlikte uzun polimer zinciri yanı sıra sterik etki oluşturarak bağlayıcı taneleri arasındaki bağı kırarak betonda işlenebilirliği arttırmaktadır [24], [25].

KYB karışımlarındaki süperakışkanlaştırıcılar işlenebilirliği sağlarken, viskozite artırıcı katkı kullanarak ve/veya filler miktarının artırımı segregasyon direnci ve beton stabilitesini korurlar [24], [26], [27].

KYB sık donatı aralıklarına sahip kalıplarda dahi, yüksek işlenebilirlik yeteneği sayesinde, vibrasyon işlemi gerekmeksizin yerleşebilmekte ve vibrasyon işlemi olmadığı için gürültü kirliliğinin önüne geçmektedir. Ayrıca kolay taşıma ve kalıba kolayca yerleştirme sayesinde ekonomi sağlaması, beton boşluk oranını en az seviyeye indirmesi ile de yüksek dayanım değerlerine çıkması avantajları olarak sıralanabilir.

Kendiliğinden yerleşen beton ilk olarak Japonya'da azalan kalifiye iş gücünün azalması sebebi ile 1986 yılında Prof. H. Okamura öncülüğünde Tokyo Üniversitesinde araştırılmaya başlanmış ve 1989 yılında ilk araştırmalar yayınlamaya başlanmıştır. Okamura tarafından başlatılan çalışmalar daha sonra Ozawa, Ouchi ve Maekawa tarafından devam ettirilmiş ve yapılan çalışmaların geniş özeti 1992 yılında İstanbul'daki Uluslararası CANMET-ACI konferansında sunulmuştur.

1994 yılının sonlarında Bangkok'da Yüksek performanslı betonlar seminerinden sonra KYB beton üzerine çalışan araştırmacılar büyük heyecan uyandırmıştır. 1996 yılında Ferguson'un ACI konferansındaki sunumundan sonra KYB Kuzey Amerika'daki

araştırmacıların da çalışma sahasına girmiştir. Dünya çapına yayılan KYB Kanada'ya araştırmacılar olan Aictin ve ekibi tarafından yayılmıştır. Bu gelişmeleri 1997 yılında RILEM komitesinin kurulması izlemiş ve 1998 yılının ortalarında Japonya'da KYB konferansının yapılmasına zemin hazırlamıştır. Günümüzde araştırma çalışmaları halen devam etmektedir [28].

EFNARC (The European Federation For Specialist Construction Chemicals) tarafından, deney metodları ve beton tasarımı belirlenmesi amacı ile "Specification and guidelines for SCC" isimli doküman yayınlanmıştır [30].

KYB taze beton özelliklerini belirlemek için değişik araştırmacılar tarafından tavsiye niteliğindeki Çizelge 2.1'de verilmiştir [29].

Çizelge 2.1. Tavsiye edilen KYB sınır değerleri.

Araştırmacı Adı	Deneyler		
	Yayılma Çapı (mm)	V-hunisi Deney Süresi (sn)	
(Ouchi 1999)	600 - 720	8 - 12	-
(Tomosawa vd. 1998)	500 - 750	7 - 20	-
(Skarendal and Rise 1999)	600 - 700	-	-
(Dehn 2000)	> 650	-	-
(Dowson 2002)	650 - 800	-	< 3
(Shoya vd. 1999)	650 - 750	10	-

Çizelge 2.2. EFNARC Komitesi tarafından kabul edilen kendiliğinden yerleşebilirlik sınır değerleri (EFNARC 2002)

Metot		Tipik Sınır Değerler	
		Minimum	Maksimum
1	Çökme - Yayılma (mm)	650	800
2	T ₅₀₀ yayılma süresi (sn)	2	5
3	V-hunisi	6	12
4	V _{T5} (sn)	0	+3*
5	L-kutusu (h ₂ /h ₁)	0,8	1,0
6	U-kutusu (h ₂ /h ₁) (mm)	0	30
7	Doldurma Kutusu (%)	90	100

* V hunisi süresinden 3 sn daha fazla olabilir.

EFNARC [Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu], tarafından yayınlanan dokümanda verilen tasarım yöntemi, geçerliliği olan bir tasarım yöntemidir. Yayılma çapını 65–80 cm sağlayabilmek, işlenebilirliği bir saatin üzerinde

tutabilmek, segregasyon direncini korumak ve terlemesini engellemek tasarımıda en önemli hedeflerdir. KYB’de karışıma giren malzemeler hacimsel olarak, % 50’si harç ve % 50’si kaba agregada olacak şekilde. Harç olan kısım % 30 çimento, % 30 su ve % 40 ince agregadan tasarlanmalıdır. Su/çimento oranını düşürmek ve işlenebilirliği uzun süre devam ettirebilmek için ise, polikarboksilat eter esaslı hiperakışkanlaştırıcı katkıları kullanılmalıdır [30].

Yapılan çalışmalara göre betonda ince öğütülmüş atık lastik kullanımı ile her ne kadar betonun çekme ve basınç dayanımı bakımından istenen sonuçlara ulaşılsa da, sıcaklıktan kaynaklanan büzülme çatlaklarının büyük ölçüde azalması, titreşim ve darbelere karşı dayanım kazanması, daha düşük birim ağırlık ve yüksek tokluk kazanması gibi avantajlara sahip olduğu belirlenmiştir [22].

2.3.1 Kendiliğinden Yerleşen Betonların Ayrışmaya Karşı Direnci

Taze betonda, bileşen malzemelerin homojen olmadan dağılarak beton yapısındaki özellikleri de dağılıma uğratması meydana gelen olumsuz koşula, ayrışma (segregasyon) denir. Olağan kalıp yerleştirmede ayrışma göstermeyen taze beton, sık donatıların bulunması durumunda segregasyona uğrayabilir.

Kendiliğinden yerleşen betonlar aşağıdaki tip ayrışmaları göstermemelidir;

Terleme, çimento hamuru fazı ve agrega ayrışması, blokaja (kilitlenme) neden olan kaba agrega ayrışması, hava boşluğu dağılımında düzensizlik. Uygun ayrışma direnci için aşağıdakiler dikkate alınmalıdır;

Katı maddelerin ayrılmasını azaltmak, sınırlı agrega içeriği, azaltılmış en büyük agrega tane çapı, düşük su/bağlayıcı oranı, viskozite arttırıcı, serbest terlemenin minimize edilmesi, düşük su içeriği, düşük su/bağlayıcı oranı, yüksek yüzey alanına sahip bağlayıcılar, viskozite arttırıcı [31].

2.3.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonların Viskozite Katkıları

Kendiliğinden yerleşen betonların segregasyon direncini geliştirmek için viskoziteyi düzenleyen bir katkı kullanılmaktadır. Ham maddelerdeki değişimlerin etkisini azaltmak için bazen viskoziteyi düzenleyen katkıları da kullanılırlar. Bu katkıları su-altı beton işlerinde kullanılan katkıları benzerlik gösterirler. Kendiliğinden yerleşen betonlar için sınırlı iri agrega, azaltılmış su / bağlayıcı (s/b) oranı gereklidir. Karışımda genellikle hem süper akışkanlık sağlayan hem de viskoziteyi düzenleyen bir katkı yüksek akışkanlık sağlamakta ve ayrışmaya karşı direnç elde edilmektedir [32].

2.3.3 Kendiliğinden Yerleşen Betonların İşlenebilirliği

Kendiliğinden yerleşen betonlar, stabiliteyi sağlamanın yanında yüksek iyi bir işlenebilirlik özelliklerine sahip olmaları gerekmektedir. Kendiliğinden yerleşen betonlar üretiminde işlenebilirliği elde edebilmek için yüksek oranda su kullanımı doğru bir yaklaşım değildir. Çünkü hedeflenen basınç dayanımına ulaşmak için yüksek miktarda da çimento kullanmak gerektir. Süper akışkanlaştırıcı katkıların geliştirilmesi ile günümüzde kendiliğinden yerleşen betonların üretimi sırasındaki zorluklar aşılmış ve çok çeşitli malzemelerinde bu betonların üretiminde kullanılmasını sağlamıştır [33].

2.3.4 Kendiliğinden Yerleşen Betonların Geçiş Yeteneği

Kendiliğinden yerleşen betonlar sıkıştırma yapmadan sık donatı aralıklarını doldurabilmesi gerekmektedir. Bunun için iri agrega hacmini ve maksimum dane çapını azaltmanın yanı sıra s/b oranını düşürüp viskozite arttırıcı katkılar gerekmektedir. L-kutusu, U-kutusu, J-ringi ve doldurma kutusu deneyleri uygulanmak suretiyle Kendiliğinden yerleşen betonların geçiş yeteneği değerlendirilir [34].

2.3.5 Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Filler Malzeme

Puzolanlar ise tek başlarına bağlayıcı malzeme değildirler Ancak bağlayıcı bir madde (kireç, çimento vb.) ile ikame edilerek karşılaştırıldığında su ile reaksiyona girerek bağlayıcı özellik taşırlar [35].

Kireçtaşı tozunun, beton dayanımını arttırma üstünlüğü şu şekilde anlatılabilir;

- 1- CSH (Kalsiyum – Silikat - Hidrat) oluşumuna uygun çekirdek oluşturarak hidratasyon reaksiyonlarını hızlandırır.
- 2- C₃A'sı yüksek seviyedeki çimentolarla reaksiyona girip bir tür bağlayıcı olan özelliği olan karboalüminat oluşturur.
- 3- Hidratasyonu hızlanması inceliğin artmasıyla doğru orantılıdır ve erken dayanımı arttırır, ancak sertleşmiş beton dayanımında bir değişiklik söz konusu değildir [36].

2.3.6 Kendiliğinden Yerleşen Betonların Bazı Karakteristik Özellikleri

Kendiliğinden yerleşen betonların ve vibrasyonla yerleşen geleneksel betonun basınç dayanımları yaklaşık değerdedir. Ancak, aynı su/bağlayıcı oranına sahip bu iki türünden kendiliğinden yerleşen betonlar geleneksel betonlardan biraz daha fazla yüksek mukavemete sahiptir. Diğer taraftan, belirli bir beton sınıfı veya olgunluğu için

Kendiliğinden yerleşen betonların çekme dayanımı geleneksel betonlarla aynı kabul edilebilir. Çünkü çimento hamuru hacminin miktarı (çimento+ince malzeme+su) çekme dayanımı üzerinde önemli bir etkiye sahip değildir [37].

Kendiliğinden yerleşen betonlarda akışkanlaştırıcı katkı ve mineral katkı oranları karışım hesabı titizlikle yapılırsa yüksek performanslı betonlar elde edilebilir. Bu betonlar üstün dayanım ve dayanıklılığa sahip olur. KYB ile yüksek dayanımlı betonlar elde etmenin en önemli avantajı, ekonomik ve enerji ihtiyacının az olmasıdır [38].

KYB herhangi bir tanımlanmış basınç dayanımı sınıfında sağlanabilir. Verilen bir beton dayanım sınıfı ve olgunluk değeri için çekme dayanımının normal betonunki ile aynı olduğu varsayılabilir; çünkü çimento hamuru hacminin miktarı (çimento + ince malzeme + su) çekme dayanımı üzerinde önemli bir etkiye sahip değildir. Betonarme kesitlerin tasarımında, ön germeli elemanların çatlama momentlerinin değerlendirilmesinde, kontrollü erken termal büzülmenin sebep olduğu çatlak genişliğini ve çatlak aralığını kontrol etmek için donatı tasarımında, moment-eğrilik diyagramlarının çiziminde, donatısız beton yolların tasarımında ve fiberli betonarme tasarımında betonun eğilmede çekme dayanımı kullanılır [39].

KYB'nin kuruma rötresi PZÇ ve TÇ ile üretilmiş betonlardan 4-5 kat daha azdır. Ayrıca, KYB'nin 3 yılsonundaki karbonatlaşması geleneksel betona göre daha az olmaktadır. Kılcal, basınçlı su ve hızlı klor geçirimsizliği geleneksel betona göre daha düşük olmaktadır. KYB geçirimsiz ve dayanıklılığı yüksek bir tür özel betondur. Düşük su/bağlayıcı oranı ve bununla birlikte karışımda kullanılan diğer malzemelerin bu sonucun ortaya çıkmasında etkili olduğu söylenebilir [40].

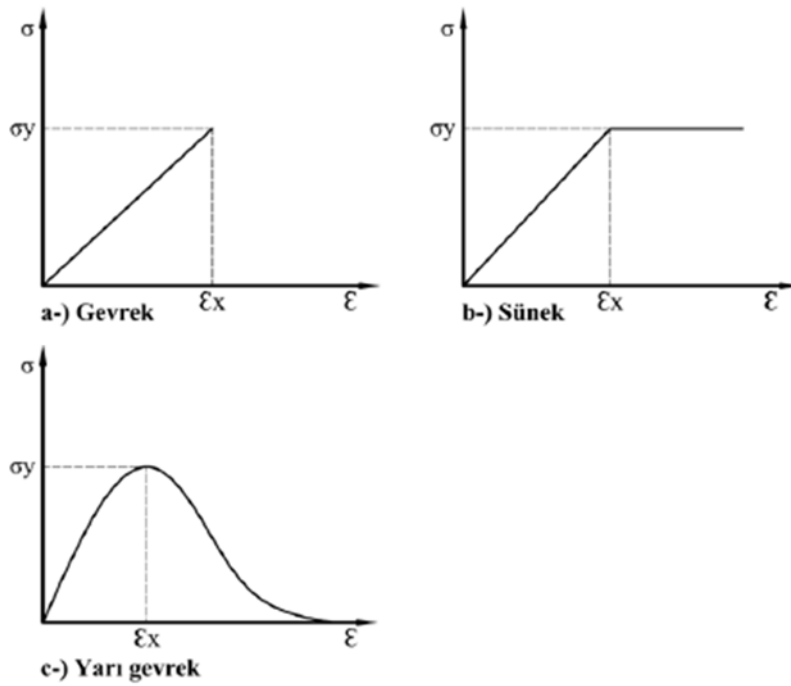
2.4 KIRILMA ENERJİSİ

Günümüzde, betonda çatlak başlaması ve yayılması hakkında yeterli bilgiye sahip olmak ve betonun kırılmasını modellemek önem kazanmaktadır. Betonun özellikle barajlar, nükleer reaktörler, yüksek katlı binalar ve savunma amaçlı yapılarda kullanılması bu malzemenin çatlama davranışının incelenmesine olan ilgiyi arttırmıştır. Son otuz yılda betonun kırılma parametrelerinin saptanmasına yönelik çok sayıda parametrelerinin saptanmasına yönelik çok sayıda çalışma yapılmasına karşın, gerilme şiddet çarpanı veya kırılma enerjisi gibi parametreler betonun projelendirilmesinde kullanılmamıştır. Çünkü beton gibi heterojen bir malzemede bu parametrelerin boyuta

bağlı olduğu belirlenmiştir [41].

Kırılma (fracture) terimi hasar (failure) terimi aynı anlamda kullanılabilir, yalnız bu iki terim aynı etkiyi tarif etmemektedirler. Hasar kelimesi, bir elemanın iş göremeyecek hale gelmesini tanımlar ve kırılma işlemi gerçekleşmeden oluşabilir. Kırılma ise, bir elemanın yavaş yavaş değişen veya durağan bir yük altında iki ya da daha fazla parçaya ayrılmasıdır [42].

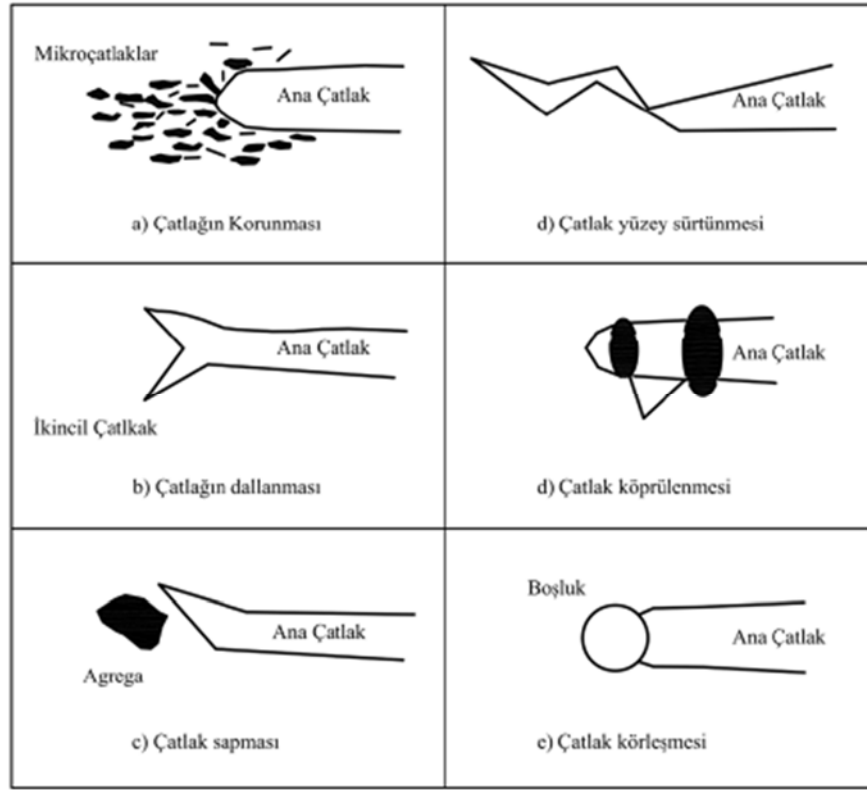
Çok fazlı kompozit bir malzeme olan beton, yaygın olarak gevrek (brittle) bir malzeme olarak nitelendirilir ancak gerçekte seramiklerin büyük çoğunluğuna kıyasla dayanımı yüksek olan yarı gevrek malzeme olarak tanımlanmaktadır. Yarı-gevrek malzemelere verilebilecek en iyi örnekler, kaya, buz, beton ve bazı seramik çeşitleridir. Şekil 2.4'de gevrek, sünek ve yarı-gevrek malzemelerin tipik deformasyon eğrileri verilmiştir [8],[43].



Şekil 2.4. Gerilme-şekil değiştirme ilişkilerine ait grafikler.

Birden çok fazdan meydana gelen ve heterojen bir yapıya sahip olan betonun çatlak ucundaki elastik olmayan bölge, kırılma işlem bölgesi olarak adlandırılır. B u bölge çok karmaşık mekanizmalar tarafından kontrol edilir. Bunlardan bazıları Şekil 2.5'de gösterilmiştir. Bu çatlaklar, beton döküm işlemi sırasında meydana gelen hava boşlukları, kür süresince oluşan büzülmeden ve su ile dolu gözeneklerden kaynaklanmaktadır. Yarı-gevrek malzemelerin kırılma mekaniği, Fiktif Çatlak Modeli

ve Eşdeğer-Elastik Çatlak Yaklaşımı modelleri ile çözülebilmektedir [43].



Şekil 2.5. Kırılma bölgesinde meydana gelen farklı çatlak tipleri [43].

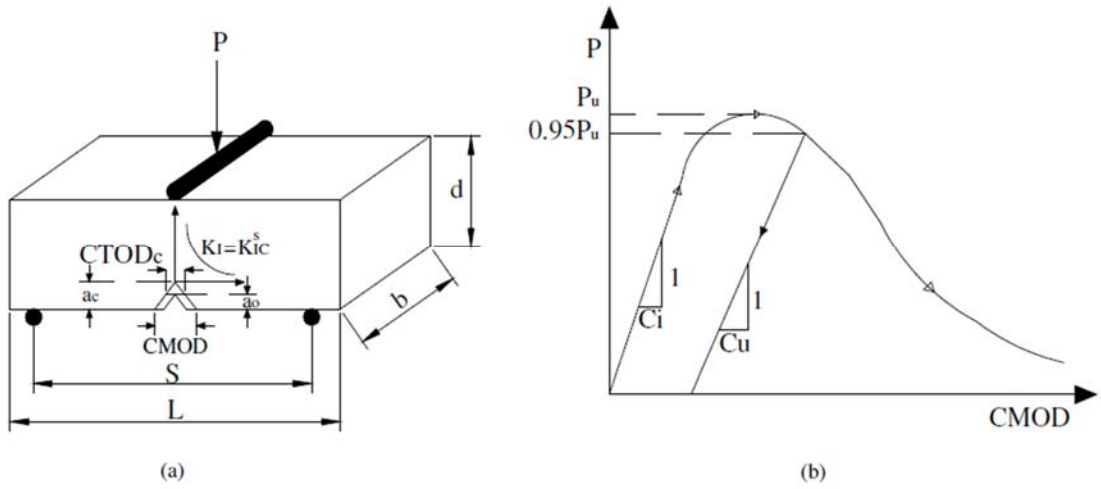
2.4.1 Fiktif Çatlak Yaklaşımı

Bu yaklaşıma göre, yeni yüzeylerin oluşmasına sebep olan enerjilerin bu yüzeyleri ayırmak için gereken enerjiden küçük olduğu varsayımını benimser. Hillerborg 1978 yılında problemin nümerik çözümü (Sonlu elemanlar metodu) ile ilgili yaptığı çalışmalarda, hayali bir çatlağın varlığını benimsemiştir. Hayali çatlağın gerilmeleri, çatlak genişliği ile bağlantılı olarak aktardığını kabul etmiştir. Kuvvet aktarımı sırasında, hayali çatlak uzunluğu ve genişliği de artacaktır, genişlik sınır değere ulaştığı sırada gerilmeler, kabul edilen hayali çatlağın uç kısmında sıfır değerine ulaşacak ve hayali çatlak gerçek bir çatlağa dönüşecektir [44].

2.4.2 İki Parametrelili Kırılma Modeli (İPKM)

Jeng ve Shah tarafından geliştirilen betonun iki parametrelili kırılma modeli eşdeğer elastik bir yapı sistemi üzerine kurulmuştur. Bu yaklaşıma göre a_0 çentik uzunluğuna sahip gerçek bir yapının pik yük öncesi lineer olmayan davranışı, çatlağın a_e ($a_e > a_0$) efektif uzunluğu olan eşdeğer elastik bir yapı aracılığıyla oluşturulur. İPKM'nin yapısı

Şekil 2.6’de görülmektedir [8], [45].



Şekil 2.6. İki parametrelı kırılma modeli.
a) çentikli üç noktalı eğilme numunesi, b) tipik bir P-CMOD diyagramı.

2.4.2.1 Pik Yük Metodu

En az iki numunenin pik yük değeri, aynı boyutta farklı çentik boyuna veya farklı boyutta aynı relatif çentik boyuna sahip olması temeli esas olarak belirlenmesi esasına dayanan bir metottür [8].

Arslan çalışmasında, pik yük metodu ile bazalt lifli betonların kırılma enerjilerini tespit etmiştir. Bazalt lif katkısının betonun süneklik ve enerji tüketme kapasitesinin büyük oranda artış gösterdiğini belirlemiştir [46].

2.5 ATIK LASTİKLER

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. 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 [47].

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 yetişme ortamı sağlamaktadırlar [6].

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 [7], [8].

Bugüne kadarki çalışmalarda hep taşıt lastiği atıkları değerlendirilmiştir. Taşıt lastiği üretimi sırasında, lastiğin kalıp içerisinde şekil almasını sağlayan “Bladder (pişirme torbası)” adı verilen ve 200 lastik ürettikten sonra hurdaya çıkan atık lastik ürünü bu çalışmaya konu olmuştur. Bladder, ülkemizde yaklaşık olarak yıllık 500 ton civarındadır. Şekil 2.7’de Bladder yığınları görülmektedir [48].



Şekil 2.7. Atık Bladder (pişirme torbası) yığınları.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 MATERYAL

Bu çalışmada kullanılan betonun hazırlanmasında, ince ve iri agrega, portland çimentosu, yüksek fırın cürufu, lastik agrega, su, akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici kimyasal katkıları kullanılmıştır.

3.1.1 Agrega

Agrega, beton içerisinde, çimentonun su ile reaksiyonu sonucu oluşan bağlayıcılık özelliği ile bir araya getirilen organik olmayan, kum, çakıl, kırma taş gibi doğal elde edilen veya yüksek fırın cürufu, genişletilmiş perlit, genişletilmiş kil gibi yapay elde edilen bir yapıya sahiptir. Beton kullanımıyla doğru orantılı olarak, beton agregasına olan talepte her geçen gün artmaktadır. Doğal agrega kaynaklarının sınırlı olması ya da uygun olmaması, çevrenin korunması ve yüksek dayanımlı betona olan talep betonda kırma-taş agrega kullanımını vazgeçilmez kılmaktadır. [49].

Çalışmada, Düzce yöresinde çıkarılan kireçtaşı agregalar kullanılmış ve ince (0 – 5 mm) ve iri (5 - 12 mm) agrega olmak üzere iki farklı büyüklük tercih edilmiştir.

3.1.2 Çimento

Çalışmada, beton bağlayıcı malzemesi olarak CEM I 42,5 R tipi Portland Çimentosu kullanılmıştır ve OYAK Bolu Çimento Fabrikası A.Ş.'den temin edilmiştir.

Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik analizi fabrikadan temin edilmiş olup Çizelge 3.1'de çimentonun kimyasal analizi, fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çimentonun fiziksel, mekanik özellikleri ve kimyasal analizi.

Kimyasal kompozisyon		Fiziksel özellikler	
SiO ₂ (%)	18.37	Priz başlangıcı (sa/dk)	02:00
Al ₂ O ₃ (%)	4.26	Priz sonu (sa/dk)	03:55
Fe ₂ O ₃ (%)	3.89	Hacim sabitliği (mm Toplam)	1.30
CaO (%)	64.04	Özgül ağırlık	3.18
MgO (%)	1.52	Özgül yüzey(cm ² /g)	4209
SO ₃ (%)	3.01	Elek üstü (45µ)	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		
2Ca ₃ A+C ₃ AF	11.84		

3.1.3 Yüksek Fırın Cürufu

Yüksek Fırın Cürufu (YFC) OYAK Bolu Çimento Ereğli Öğütme ve Paketleme Tesislerinden temin edilmiş olup fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. YFC fiziksel ve kimyasal analizi.

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 (45µ)	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		

3.1.4 Lastik Agrega

Lastik Agrega (LA) olarak taşıt lastiği üretimi sırasında, kalıp çeperlerine basınç uygulayan ve taşıt lastiği kimyası ile büyük oranda benzer olan ve yaklaşık 200 kullanım sonra atık hale gelen bladder (pişirme torbası) adı verilen malzeme kullanılmıştır (Şekil 3.1). Lastik agrega, 25 mm, 50 mm ve 75 mm olmak üzere üç farklı boyda ve 5x5 mm kesitinde mekanik olarak giyotin ile kesilerek hazırlanmıştır (Şekil 3.2 - Şekil 3.3).



Şekil 3.1. Bladder (pişirme torbası).



Şekil 3.2. Giyotin ile kesim işlemi.



Şekil 3.3. 25 mm Lastik agrega.

3.1.5 Su

Araştırmada, TS EN 1008'e [50] uygun Düzce İli şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.6 Akışkanlaştırıcı

Bu çalışmada kullanılan hiperakışkanlaştırıcı modifiye Polikarboksilat esaslı polimer bir katkıdır. Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Firmanın açıklamış olduğu ürün bilgisi Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Hiperakışkanlaştırıcı katkı malzemesine ait teknik özellikler.

Teknik Özellikler	
Görünüm	Açık kahverengi, sıvı
Yoğunluk	1,05-1,09 kg/l
pH	3,00-7,00
Klorür	≤ %0,1 (TS EN 480-10)
Alkali İçeriği	≤ %1 (TS EN 480-12)

3.1.7 Hava Sürükleyici

Çalışmada kullanılan hava sürükleyici katkı maddesi, Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Firmanın açıklamış olduğu ürün bilgisi Çizelge 3.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Hava sürükleyici katkı malzemesine ait teknik özellikler.

Teknik Özellikler	
Görünüm	Özel yüzey aktif maddelerden oluşan sıvı
Yoğunluk	0,99 – 1,03 kg/l
pH	3,00-7,00
Klorür	≤ %0,1 (TS EN 480-10)
Alkali İçeriği	≤ %1 (TS EN 480-12)

3.1.8 Çentikli Kiriş Kalıbı

Çalışmada, 240x50x50 mm numune ebadında kalıp kullanılmış v 10 mm çentik açıklığı seçilmiştir. Kullanılan çentikler 3 mm kalınlığındaki metal parçalar ile üretilmiştir. Şekil 3.4’de kırılma enerjisi deneyi için kullanılan numuneler kalıp içerisinde görülmektedir.



Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan çentikli kiriş kalıpları.

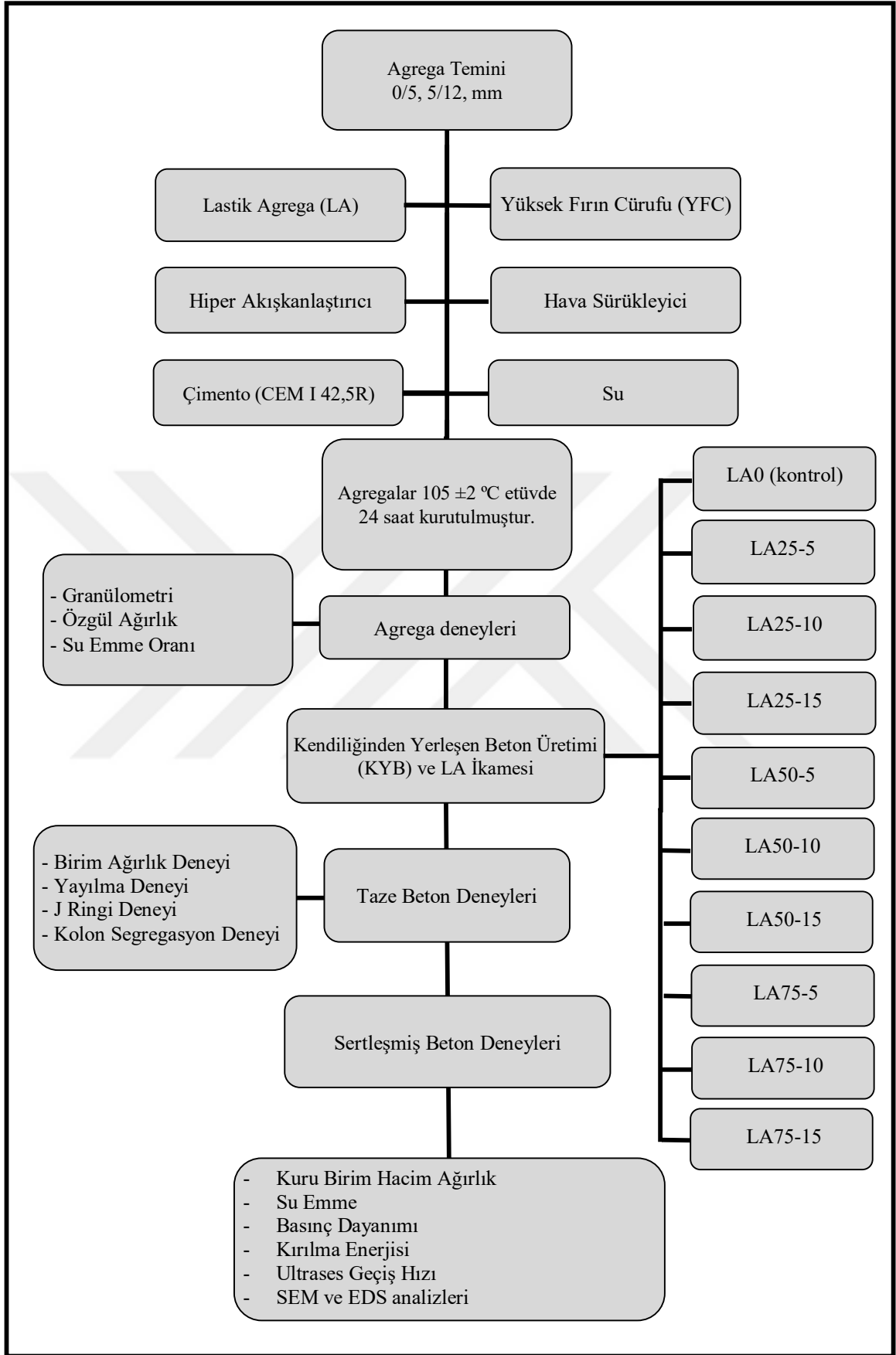
3.1.9 Çalışmanın Tasarımı

Çalışmada, iri agreganın hacimce yer değiştirmesiyle Lastik Agregası (LA) (25 mm, 50 mm ve 75 mm uzunluğunda, 5x5 mm kesitinde) ikamesinin (her boyuta ayrı ayrı %0, %5, %10, %15) Kendiliğinden yerleşen betonlara etkisi literatür ve deneysel olarak araştırılmıştır. LA katkısına göre beton numuneleri aşağıdaki gibi kodlanmıştır.

Lastik Agregası katkısız betonlar	LA0 (kontrol)
25 mm boyunda %5 lastik agregası katkılı betonlar;	LA25-5
25 mm boyunda %10 lastik agregası katkılı betonlar;	LA25-10
25 mm boyunda %15 lastik agregası katkılı betonlar;	LA25-15
50 mm boyunda %5 lastik agregası katkılı betonlar;	LA50-5
50 mm boyunda %10 lastik agregası katkılı betonlar;	LA50-10
50 mm boyunda %15 lastik agregası katkılı betonlar;	LA50-15
75 mm boyunda %5 lastik agregası katkılı betonlar;	LA75-5
75 mm boyunda %10 lastik agregası katkılı betonlar;	LA75-10
75 mm boyunda %15 lastik agregası katkılı betonlar;	LA75-15

Çalışmanın deney akış şeması

Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5. Deney akış şeması.

3.2 METOD

Bu bölümde, atık lastiklerin KYB'lere ikamesi ile elde edilen taze ve sertleşmiş beton numunelerine uygulanan deney yöntemleri açıklanmıştır.

Lastik agregası, hava sürükleyici ve akışkanlaştırıcı katkıları betonların tasarımlarında agregası yerine hacimce %0 (LA0 kontrol), %5 (LA25-5, LA50-5, LA75-5), %10 (LA25-10, LA50-10, LA75-10) ve %15 (LA25-15, LA50-15, LA75-15) oranlarında ve her hacim oranı için 3 farklı boy (25, 50 ve 75 mm) lastik agregası kullanılmıştır. Toplam 10 seri beton dökümü yapılmıştır. Her seri için 3 adet 150x150x150 mm ebadında küp numune, 3 adet 240x50x50 mm ebadında çentikli kiriş numune dökülmüştür. Karışımlarda özgül ağırlığı 3.15 g/cm³ olan CEM I 42.5R çimentosu kullanılarak 550 kg/m³ dozlu betonlar üretilmiştir.

3.2.1 Agregası Deneyleri

3.2.1.1 Tane Büyüklüğü Dağılımı

Çalışmada kullanılan agregası, yığınının farklı noktalarından alınmış ve iyice karıştırılarak homojen hale getirilmiştir. Deney numunesi etüvde 105 °C (± 5 °C) sıcaklıkta sabit ağırlığa kadar kurutulmuştur. Agregası numunesi seri numaralarına göre sıralanarak elenmiş ve agregası granülometrisi oluşturulmuştur.

3.2.1.2 Su Emme

Numune, piknometre, huni ve ızgara tartılmıştır (m¹). Agregası, 105±5 °C sıcaklıktaki etüvde sabit kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. Söz konusu numuneler ortam sıcaklığına gelinceye kadar soğumaya bırakılmış ve piknometreye yerleştirilmiş ve tartılmıştır (m²). Piknometre su ile doldurularak (22±3) °C su banyosunda içerisinde, 24 saat tutulmuştur. Daha sonra sudan çıkartılan agregalar kuru bir bez üzerine alınmış, yüzey suyundan arındırılarak agregalar tartılmıştır (M_w).

TS EN 1097-6'ya uygun olarak yapılan su emme oranlarının tayini hesaplanmıştır [51].

$$Wf = [M_w - (m_2 - m_1)] / [m_2 - m_1] \times 100 \quad (3.1)$$

Burada;

Wf: Nihai ölçme zamanındaki su emme oranı (%)

M_w: Deney sonunda yüzeyi kurutulmuş deney numunesinin kütlesi (g).

m1: Piknometre, huni ve ızgaranın kütlesi (g).

m2: Piknometre, huni, kuru deney numunesi ve ızgaranın kütlesi (g).

3.2.1.3 Özgül Ağırlık

Deney, agrega ve suyun hacimce yer değiştirmesi prensibine göre yapılmıştır. Agreganın hava kuru ağırlığı (Pa) bulunmuştur. Daha sonra 500 ml ölçü kabı alınarak içi su ile doldurulmuş ve üzerine cam levha kapatılarak hava kabarcığı kalmasının önüne geçilmiştir. Su dolu kap tartılarak (A) ağırlığı belirlenmiştir. Su dolu kaptaki su bir miktar boşaltılarak, hava kuru ağırlığına sahip agrega aynı cam kaba konulmuş ve üzerindeki kalan boşluk su ile tamamlanmıştır. Agregaya ve su dolu kap tartılarak (A1) ağırlığı bulunmuştur. Agregaların özgül ağırlığı aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned}\delta &= Pa / V(\text{g/cm}^3) \\ V &= Pa + (A - A_1)(\text{cm}^3)\end{aligned}\quad (3.2)$$

Burada;

δ : Özgül ağırlık (g/cm³)

V: Agregaya hacmi (cm³)

Pa: Agregaya hava kuru ağırlığı (g)

A: Su dolu kap ağırlığı (g)

A1: Agregaya ve su dolu kap ağırlığı (g)

3.2.2 Beton Karışım Dizaynı ve Hazırlanması

Yapılan çalışmada Çizelge 3.3'deki oranlar ile elde edilen KYB numuneleri, 100 dm³ kapasiteli düşey eksenli mikserde üretilmiştir (Şekil 3.6). Mikser içerisine önce ince, iri ve lastik agregalar yerleştirilmiş ve 1 dakika boyunca karıştırılmıştır, sonra çimento ve YFC bu karışıma eklenerek 2 dakika daha karıştırılmıştır. Karışım işlemi devam ederken beton karma suyunun dörtte üçü ilave edilerek 1 dakika daha karıştırılmaya devam edilmiştir, karma suyunun geriye kalan dörtte birlik kısmı hiperakışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici ile birlikte karışıma eklenerek 3 dakika daha karıştırılmıştır. KYB taze beton deneylerine geçilmiştir. Taze beton deneyleri, KYB karışımlarının işlenebilirlik, geçme kabiliyeti ve segregasyona karşı direnci gibi parametreleri belirlemek üzere yapılmıştır. Numuneler bir gün boyunca prizini tamamlaması için bekletilmiş ve

sonrasında 28 günlük kür süresi için su sıcaklığı 20 ± 2 °C olan kür havuzuna yerleştirilmiştir.

Çizelge 3.5. Beton karışım oranları (1m^3)

Bileşen (kg/m^3)	Numune Kodu ve Lastik Agregası Oranları (%)									
	LA0 (kontrol)	5			10			15		
		LA25-5	LA25-10	LA25-15	LA50-5	LA50-10	LA50-15	LA75-5	LA75-10	LA75-15
Çimento (CEM I 42,5R)	375	375			375			375		
Yüksek Fırın Cürufu	175	175			175			175		
Toplam Filler	550	550			550			550		
Su	192,5	192,5			192,5			192,5		
Su/Filler	0,35	0,35			0,35			0,35		
Su/Çimento	0,5	0,5			0,5			0,5		
Hiperakışkanlaştırıcı (%1,46)	8	8			8			8		
Hava Sürükleyici (%0,2)	1	1			1			1		
İnce Agregası (0-5 mm)	1168	1168			1168			1168		
İri Agregası (5-12 mm)	500	475			450			425		
Lastik Agregası (5-15 mm)	-	10,1			20,5			30,4		



Şekil 3.6. Beton karışımında kullanılan mikser.

3.2.3 Taze Beton Deneyleri

3.2.3.1 Birim Ağırlık Deneyi

Hacmi ve tara ağırlığı belli olan bir kap içerisine, şişleme veya sarsma işlemi yapılmadan yerleştirilen numuneler kapla birlikte tartılmıştır. Brüt ağırlıktan kabın tara ağırlığı çıkarılarak betonun net ağırlığı tayin edilmiştir (W_n). TS EN 12350-6'ya göre yapılan birim ağırlık deneyi sonuçları denklem 3.3'e göre hesaplanmıştır.

$$B = W_n / V_n (\text{kg/m}^3)$$

(3.3)



Şekil 3.7. Beton karışımının kalıplara yerleştirilmesi.

3.2.3.2 Yayılma Deneyi

Yayılma deneyi geleneksel slump hunisinden yararlanılarak, taze betonun akıcılığını belirlemek üzere yapılır. Tamamen düz bir yüzeye yerleştirilen yayılma tablasının yüzeyi nemlendirildikten sonra merkezine slump hunisi yerleştirilir. Sıkıştırma yapmaksızın tek seferde beton ile doldurulur ve huni tablaya dik yukarı çekilir. Beton, nihai yayılma sona erdikten sonra, yayılan betonun çapı birbirine dik olarak iki noktadan ölçülür ve her iki çapın aritmetik ortalaması alınır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Lastik agrega ikameli KYB yayılımı.

3.2.3.3 J-Ringi Deneyi

Taze betonun geçiş kabiliyetini belirleyebilmek için yapılmış olan J-ringinin merkezine slump hunisi yerleştirilerek, numune yayılma deneyindeki gibi sıkıştırılmadan slump hunisine doldurulur daha sonra huni dikey bir şekilde yukarıya doğru kaldırılır ve nihai yayılma sona erince, biri halkanın merkezinden, diğerleri de halkanın içinden ve dışından dörder adet olmak üzere toplam dokuz adet ölçüm yapılmıştır. Yapılan ölçümler, yayılma deneyinde olduğu gibi birbirine dik doğrultuda iki yayılma çapı mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.9. J-ringi deneyi.

3.2.3.4 Kolon Segregasyon Deneyi

Beton karışımı içerisinde yer alan malzemelerin homojen bir tarzda dağılmış olmaları istenir. Taze betonun içerisinde yer alan iri agrega ile çimento harcının herhangi bir nedenle ayrışma göstermesi "Segregasyon" olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmada kolon segregasyon deneyi yapılarak, betonun içerisindeki iri agregalar ve lastik agregaların beton içerisindeki dağılımı tespit edilmiştir. Bu amaçla, Şekil 3.10'da görülen dikey olarak 3 kapaklı olan kolon segregasyon deney aleti içerisine beton doldurulmuş ve sıkıştırma amaçlı 15 defa 5 cm yükseklikten sert zemine bırakılmıştır. Daha sonra 30 dakika beklemeye bırakılmıştır. Bu süre sonunda, yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla önce üst kapak açılmış ve 5 mm kare gözlü elekten su yardımıyla elenmiştir ve elek üstündeki iri agrega-lastik agrega karışımı birbirinden ayrılmış, agrega etüvde 24 saat 105 °C (± 5 °C) sıcaklıkta sabit ağırlığa kadar kurutulmuştur. Kuru agrega ve lastik agrega tartılarak üst kısımda kalan iri malzeme yüzdesi bulunmuştur. Bu işlem orta ve alt kapaklar açılarak da tekrarlanmış ve numunenin üç farklı katmanındaki iri agrega yüzdesi tayin edilmiştir.



Şekil 3.10. Kolon segregasyon deney düzeneği.

3.2.4 Sertleşmiş Beton Deneyleri

3.2.4.1 Kuru Birim Hacim Ağırlığı Deneyi

Deneyde 150x150x150 mm boyutlarında, her seri için üç adet olmak üzere toplam 30 adet küp numune üretilmiştir. Üretilen numuneler 48 saat su küründe bekletildikten sonra etüvde 100–110 °C’de 24 saat kurutulmuştur. Daha sonra bu numuneler hassas terazide tartılmış ve kumpasla ölçülerek denklem 3.4’den yararlanılarak kuru birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır [52].

$$S_k = W / V \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (3.4)$$

Burada;

S_k : Sertleşmiş betonun kuru birim ağırlığı (kg/m³)

W : Numunenin etüv kuru ağırlığı (kg)

V : Numune hacmi (m³)

3.2.4.2 Su Emme

Su emme yüzdesi deneyi, 28 günlük kür sonunda uygulanmıştır. Kür havuzundan çıkarılan numuneler tartıldıktan sonra etüvde 100–110 °C’de 24 saat, sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulan numuneler, tartılarak kuru ağırlıkları bulunmuştur (W_0). Kuru ağırlıkları belirlenen numuneler işlemi sonrası 21±2 °C sıcaklıktaki su içerisinde

24 saat bekletilmiştir. 24 saat sonunda sudan çıkarılan numuneler yüzey suları bir bez yardımı ile kurulandıktan sonra tartılmış ve (W_{sh}) ağırlığı bulunmuştur. Bulunan bu değerler denklem 3.5 yardımı ile her deney serisi için ayrı ayrı hesaplanmıştır. [53].

$$A_s = (W_{sh} - W_0) / W_0 \quad (3.5)$$

A_s = Ağırlıkça su emme (%)

W_0 = Numunenin kuru ağırlığı (gr)

W_{sh} = Suya doygun numunenin havadaki ağırlığı (gr)

3.2.4.3 Basınç Dayanımı Deneyi

Betonun basınç dayanımı bilindiği takdirde, diğer türdeki dayanımların büyüklükleri hakkında bilgi edinmek mümkündür. Basınç dayanımının bilinmesi ile betonun diğer özellikleri hakkında kalitatif bilgi verir. [54]. Basınç dayanımı deneyi, TS EN 12390-3 "Sertleşmiş beton numunelerinde basınç dayanımı tayini" standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir deney serisi için 28 günlük kür süreleri sonunda kırılmak üzere 150x150x150 mm boyutlarında toplam 30 adet küp numune hazırlanmıştır. Deneyde 300 ton kapasiteli tek eksenli hidrolik pres kullanılmıştır (Şekil 3.9) ve beton numunelerin basınç mukavemetleri aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır [56].

$$F_c = F / A_c \quad (3.6)$$

Burada;

F_c : Basınç dayanımı (MPa)

F : Kırılma anında ulaşılan en büyük yük (N)

A_c : Numunenin en kesit alanı (mm²)



Şekil 3.11. Beton basınç dayanımında kullanılan pres.

3.2.4.4 Kırılma Enerjisi

Numunelerin pik yük metodu ile kırılma yüzey enerjileri belirlenmiştir, pik yük değeri uygulanabilmesi için gerekli olan pik yük değerine yaklaşık beş dakikada ulaşması beklenmektedir. Bu amaçla yükleme hızı 0,005 mm/dk seçilmiştir. Deney, 10 ton kapasiteli, 0,01 kN/s ile 15 kN/s aralığında yükleme yapabilen, servo kontrollü elektromekanik üniversal test cihazıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.13).

Numuneler, test cihazına yerleştirilmeden önce açıklık ölçüm cihazının (Şekil 3.14) numune üzerinde sabitlenebilmesi için, üzerine metal aparatlar yapıştırılmış ve ölçüme hazır hale getirilmiştir. (Şekil 3.12)

Şekil 3.13'da deney düzeneği görülmektedir. Deney düzeneği ile çatlak ağzı açıklık deformasyon (CMOD) yükleme yapılmıştır. Yük – CMOD eğrisi altında kalan alan hesaplaması yapılırken, %85 pik yük azalması gerçekleşince deney durdurulmuş ve gerekli hesaplamalar bu duruma göre yapılmıştır. Hesaplamalarda Denklem 3.7 kullanılmıştır.

$$(G_F) = (W_0 + m.g.\delta_0) / A_{lig} \quad (N/mm) \quad (3.7)$$

Burada; W_0 , Yük – CMOD eğrisi altında kalan alan, m, kiriş numunenin mesnetler arasında kalan ağırlığı, g, yerçekimi ivmesi, δ_0 , azami çatlak açıklığı, A_{lig} , çentik açıldıktan sonraki etkin alan. ($A_{lig} = (D-a_0).b$)'dir.



Şekil 3.12. Kırılma enerjisi deney düzeneği için numunenin hazırlanması.



Şekil 3.13. Kırılma enerjisi deney düzeneği.



Şekil 3.14. Çatlak açıklığı ölçüm aparatı (clip gage).

3.2.4.5 Ultrases Geçiş Hızı

Sertleşmiş beton numunelerin 28 günlük su küründen sonra, her bir deney serisi için ultrases geçiş hızı ölçümleri yapılmıştır ve denklem 3.7'ye göre hesaplanmıştır.

$$V = L / T \quad (3.8)$$

White Hurst tarafından yoğunluğu yaklaşık 2400 kg/m³ olan betonlar üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonunda, ses üstü dalga hızı bilindiği takdirde beton kalitesinin ne olabileceğine dair bir tahmin yapılabilirliği ile ilgili değerler Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Ultrases – Beton kalitesi ilişkisi.

Dalga hızı km/s	>4.5	3.5-4.5	3.0-3.5	2.0-3.0	<2.0
Beton kalitesi	Mükemmel	İyi	Şüpheli	Zayıf	Çok zayıf

Genel olarak yüksek hızların (> 4500 m/sn) çok kaliteli betonun ve çok düşük hızların da (< 3000 m/sn) kalitesiz betonun göstergesi olduğu bilinmektedir [56].

3.2.4.6 Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) Analizleri

Farklı boy ve ikame yüzdesine sahip lastik agregalı betonlar 28 günlük su kürü sonrası, beton karışımı tek bir seriden (LA25-10) yaklaşık 150 gram parça alınmıştır. Beton numunelerin yüzeyleri, lastik agrega ile aderansı ve mikro yapıları, farklı büyütme oranlarında ikincil elektron görüntüsü yöntemiyle Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM), (Quanta FEG) ile incelenmiştir.

3.2.4.7 Enerji Dağılımı Spektrometresi (EDS) Analizleri

Enerji dağılımı spektrometresi (EDS) yüksek çözünürlüklü resim oluşturmak için vakum ortamında oluşturulan ve aynı ortamda elektro manyetik lenslerle inceltiren elektron demeti ile incelenecek malzemeyi analiz etme imkânı sunar. Numunenin yüzeyine yüksek enerjili elektronlar çarptığında bu çarpışmalardan dolayı, numune yüzeyinden bazı elektronlar kopar. Eğer bu elektronlar içteki (çekirdeğe yakın) orbitallerden koparılmışlarsa atomlar kararlılıklarını kaybederler. Tekrar karalı hale gelebilmek için dış orbitallerdeki elektronlar iç orbitallerdeki boşlukları doldururlar. Dış orbitallerdeki elektronların enerjileri iç orbitallerdeki elektronların enerjilerinden daha yüksek olduğu için, dış orbital elektronları iç orbitalleri doldururken belli bir miktar enerji kaybetmek zorundadırlar. Bu kaybedilen enerji X-ışını şeklinde ortaya çıkar. Ortaya çıkan X-ışınlarının enerjisi ve dalga boyu sadece atomla ilgili olmayıp o atomun alışverişte bulunan orbitalleri ile ilgili karakteristik bir özelliktir [57].

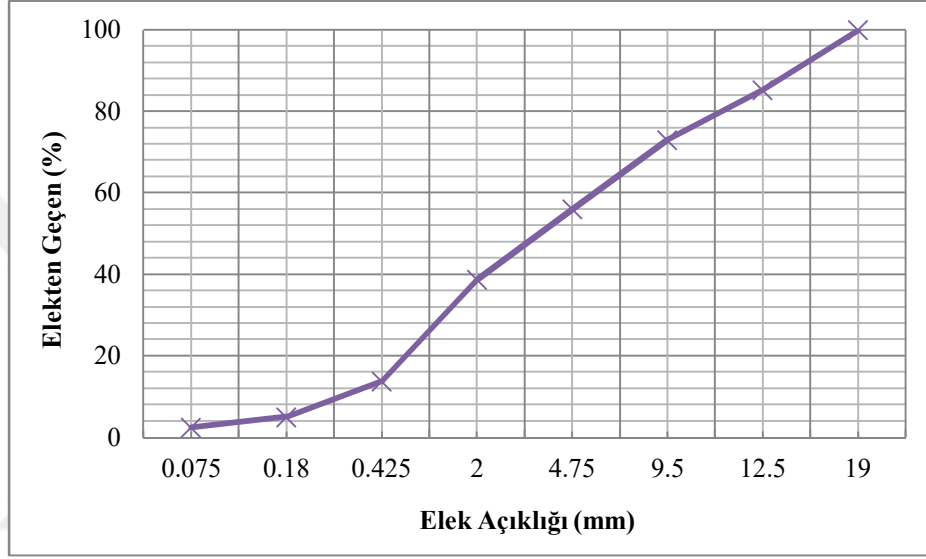
Farklı boy ve ikame yüzdesine sahip lastik agregalı betonlar 28 günlük su kürü sonrası, beton karışımı tek bir seriden yaklaşık 150 gram parça alınmıştır. SDD Apollo 40 cihazında EDS analizleri yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 AGREGA DENEY SONUÇLARI

4.1.1 Tane Büyüklüğü Dağılımı

Her eleğin üstüne kalan malzeme tartılarak bütün deney numunesi ağırlığının yüzdesi, TS 3530'a göre olarak hesaplanmıştır ve Şekil 4.1'de verilmiştir [58].



Şekil 4.1. Agregaya ait granülometri eğrisi.

4.1.2 Su Emme Oranı Tayini

Hava kuru durumuındaki ağırlığına göre agregaların su emme yüzdeleri Çizelge 4.1'de verilmiştir [51]. Agregaların su emme oranları, ince (0-5) ve iri (5-12 mm) agregada sırasıyla %1,56 ve %0,31 şeklinde bulunmuştur.

4.1.3 Özgül Ağırlık Deneyi

Agrega ve suyun hacimce yer değiştirme prensibi esas alınarak, agregaların özgül ağırlıkları bulunmuştur. Özgül ağırlık değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir [51].

Çizelge 4.1. Agregaların su emme ve özgül ağırlık değerleri.

Numune	Etiv Kuru (gr)	Doygun Kuru Yüzey (gr)	Pik.+Su (gr)	DYK+Pik. (gr)	Görünür Tane Yoğ. (Kg/m ³)	Etiv Kuru Tane Yoğ. (Kg/m ³)	Doygun Tane Yoğ. (Kg/m ³)	Su Emme (%)
İnce	200,40	203,52	639,21	766,16	2,728	2,617	2,658	1,56
İri	993,82	996,88	6237,70	6866,80	2,725	2,702	2,711	0,31

4.2 TAZE BETON NUMUNELERİ DENEY SONUÇLARI

4.2.1 Birim Ağırlık Deney Sonuçları

Çalışmada üretilen KYB’lerin taze birim ağırlık deney sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Taze betonların birim ağırlık deney sonuçları.

Taze Beton Numuneleri	Birim Ağırlık (kg/m ³)
LA0 (kontrol)	2247,1
LA25-5	1992,7
LA25-10	2124,6
LA25-15	1991,0
LA50-5	1918,0
LA50-10	2130,8
LA50-15	1982,3
LA75-5	1893,3
LA75-10	2238,2
LA75-15	1926,0

Kontrol numunesi ile LA ikameli KYB’ler karşılaştırıldığında LA ikamesinin Taze betonun birim ağırlığını düşürdüğü gözlemlenmiştir. Bunun yanında, hacimce % ikame oranları kendi arasında karşılaştırıldığında % 10 ikame oranı, % 5 ve % 15 ikame

oranlarına göre betonun birim ağırlığında daha az düşüş göstermiştir.

4.2.2 Yayılma Deneyi

Taze betonun işlenebilirliğinin belirlenmesi amacıyla yapılan slump yayılma deneyi sonuçları Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Beton numunelerin yayılma sonuçları.

Numune	Yayılma (cm)		
	D1	D2	D (D1+D2/2)
LA0 (kontrol)	74,0	70,5	72,3
LA25-5	74,0	74,0	74,0
LA25-10	60,5	63,2	61,9
LA25-15	71,0	67,0	69,0
LA50-5	75,2	76,0	75,6
LA50-10	70,8	68,0	69,4
LA50-15	71,5	76,5	74,0
LA75-5	76,2	78,0	77,2
LA75-10	62,5	66,0	64,3
LA75-15	70,8	73,8	72,3

Karışımların yayılma sonucu incelendiğinde, LA boyları 25 ve 75 mm olan numunelerde yayılma istenilen miktarda olmazken, diğer gruplarda 70 cm ve üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

4.2.3 J-ringi Deneyi

J-ringi deney sonuçları Çizelge 4.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. J-Ringi deney sonuçları.

Numune	Yayılma Çapı				İç (mm)				Dış				h-h ort (mm)	Orta nokta çökme (mm)
	D1 mm	D2 mm	D mm	T ₅₀₀ (sn)	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4		
LA0 kontrol	708	670	689	3,3	94	95	93	94	10 8	10 7	11 0	11 0	10,8	98
LA25-5	662	668	665	3,3	11 3	11 6	11 4	11 2	11 7	12 2	11 7	12 7	12,8	108
LA25-10	550	542	546	6	96	91	90	90	11 6	11 4	11 7	11 5	33,5	82
LA25-15	594	635	615	3,5	10 4	10 1	10 2	10 3	11 6	11 6	11 7	11 5	23	93
LA50-5	695	680	688	3,4	11 2	11 4	11 4	11 5	11 8	11 8	11 8	11 8	11	107
LA50-10	625	672	649	5,9	11 0	11 2	11 0	11 0	11 1	12 0	12 9	11 1	30,2	90
LA50-15	590	670	630	2,1	10 0	98	10 7	10 7	12 8	12 8	11 5	12 0	25,8	97
LA75-5	716	680	698	3,3	11 5	11 2	10 8	10 8	11 7	11 8	10 7	10 8	4,5	108
LA75-10	525	490	508	16,8	98	90	98	98	11 2	11 8	12 2	11 9	30,8	87
LA75-15	593	574	584	6,3	98	90	98	98	11 2	11 8	12 2	11 9	30,8	87

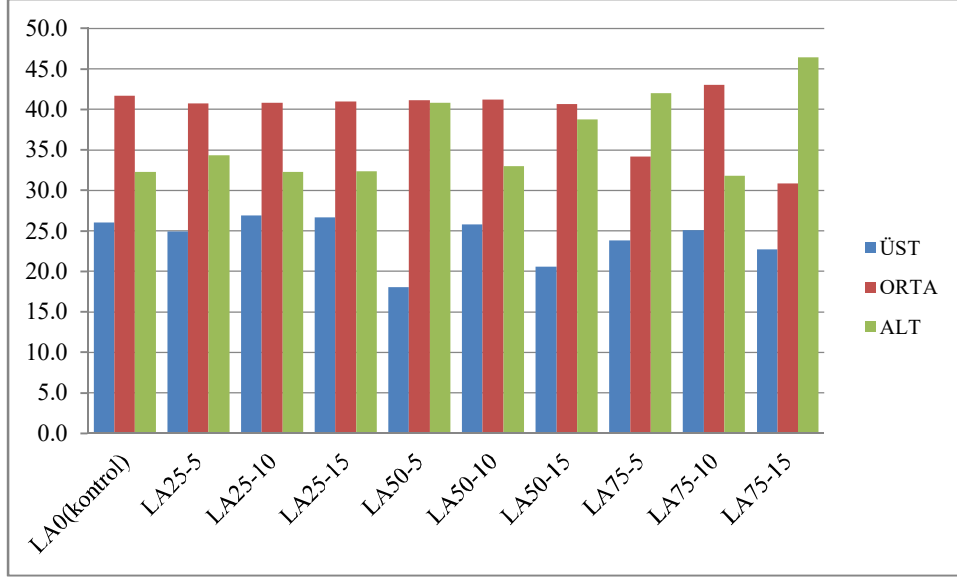
Çizelge 4.4’de özetlenen J-ringi deneyine göre, orta nokta çökme değerleri kontrol numuneleri ile karşılaştırıldığında, 25, 50 ve 75 mm ikameli numunelerde %10 ve %15 ikamelilerin donatı aralığını sağladığı, %5 ikamelilerin ise sağlamadığı tespit edilmiştir.

Ayrıca LA ikamesinin, betonun donatı aralığından geçişinin, boylar arttıkça daha zor bir hale geldiği gözlenmiş ve %5 ikameli numunelerin uygulamada zorluklar çıkarabileceği belirlenmiştir.

4.2.4 Kolon Segregasyon Deneyi

Kolon segregasyon deneyi ile ilgili veriler Çizelge 4.5’de gösterilmiştir.

Kolon segregasyon deneyi ardından üst, orta ve alt bölmelerden 5 mm’lik eleğin üzerinde kalan iri agregaların oranı Şekil 4.2’de verilmiştir. Segregasyon direnci üst bölme ile alt bölme üzerinde kalan iri agregaların birbirine oranı ile tayin edilmiştir. Bu oranın yüksek olması alt bölmede daha az iri agrega yığıldığı anlamına gelmekte olup yüksek segregasyon direncine işaret etmektedir [59]. Buna göre numunelere ait segregasyon direnci değerleri Çizelge 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.2. 5 mm elek üzerinde kalan iri agrega yüzdesi.

Çizelge 4.5. Elek segregasyon direnci deney sonuçları.

Lif Boyu (mm)	Kontrol	25	25	25	50	50	50	75	75	75
Lif İçeriği (%)	Kontrol	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Segregasyon Direnci (%)	80.6	72.6	83.3	82.6	44.2	78.1	53.1	56.6	78.9	48.9

Şekil 4.2 ve Çizelge 4.5 incelendiğinde lif uzunluğundaki artışa bağlı olarak segregasyon direnci azalmıştır (daha fazla iri agrega en alt bölmeye taşınmıştır). Buna rağmen lif yüzdesindeki artışa bağlı olarak numunelerin segregasyon dirençlerinin de artış gösterdiği görülmektedir. En yüksek segregasyon direnci değerleri, %5 lif içeriğine sahip 50 mm boyundaki ve %15 lif içeriğine sahip 75 mm lif boyutundaki liflerin kullanıldığı numunelerden elde edilirken en düşük segregasyon direnci 25 mm uzunluğundaki liflerin kullanıldığı serilerden elde edilmiştir.

4.3 SERTLEŞMİŞ BETON NUMUNELERİN FİZİKSEL VE MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİ

4.3.1 Kuru Birim Ağırlık

Beton numunelerin kuru birim ağırlıkları ile ilgili deney sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Kuru Birim ağırlıkları.

Numune	Birim Ağırlık (kg/m ³)
LA0 (kontrol)	1995,3
LA25-5	2108,9
LA25-10	1832,7
LA25-15	1938,5
LA50-5	1812,4
LA50-10	2015,5
LA50-15	1922,5
LA75-5	1791,2
LA75-10	2206,4
LA75-15	1864,1

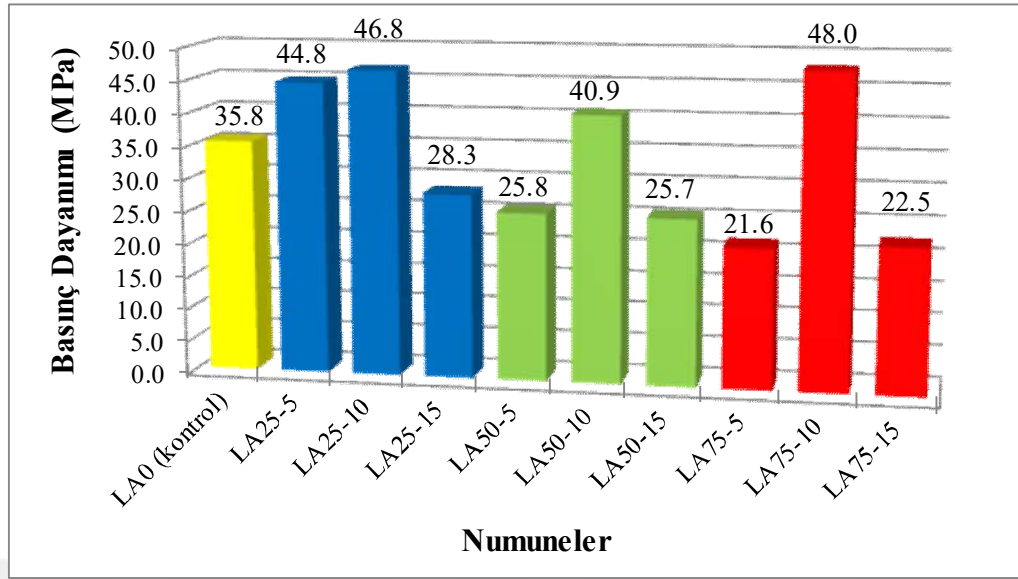
Kontrol numuneleri ile LA ikameli numuneler karşılaştırıldığında, LA25-10, LA25-15, LA50-5, LA50-15, LA75-5 ve LA75-15 serili numunelerin kuru birim ağırlıklarında sırasıyla, %9, %3, %10, %4, %11 ve %7 oranlarında azalma görülürken, LA25-5, LA50-10 ve LA 75-10 serili numunelerde ise sırasıyla, %5, %1 ve %10 oranlarında artış kaydedilmiştir.

4.3.2 Basınç Dayanımı

Her bir deney serisi için üçer adet olmak üzere toplam 30 adet 150x150x150 mm boyutlarında küp beton numuneler üretilmiş ve 28 günlük basınç dayanımları incelenmiştir. Çizelge 4.7’de basınç dayanımları her numune için görülmektedir.

Çizelge 4.7. Beton numunelerin basınç dayanımları.

	Basınç Dayanımı (MPa)			
	1	2	3	Ortalama
LA0 (kontrol)	35,2	36,4	35,7	35,8
LA25-5	44,5	46,0	44,0	44,8
LA25-10	46,8	45,4	48,3	46,8
LA25-15	28,5	25,6	30,8	28,3
LA50-5	25,6	26,1	25,7	25,8
LA50-10	36,5	43,3	43,0	40,9
LA50-15	24,9	24,8	27,3	25,7
LA75-5	21,2	22,0	21,7	21,6
LA75-10	46,1	46,4	51,5	48,0
LA75-15	23,7	21,9	21,9	22,5



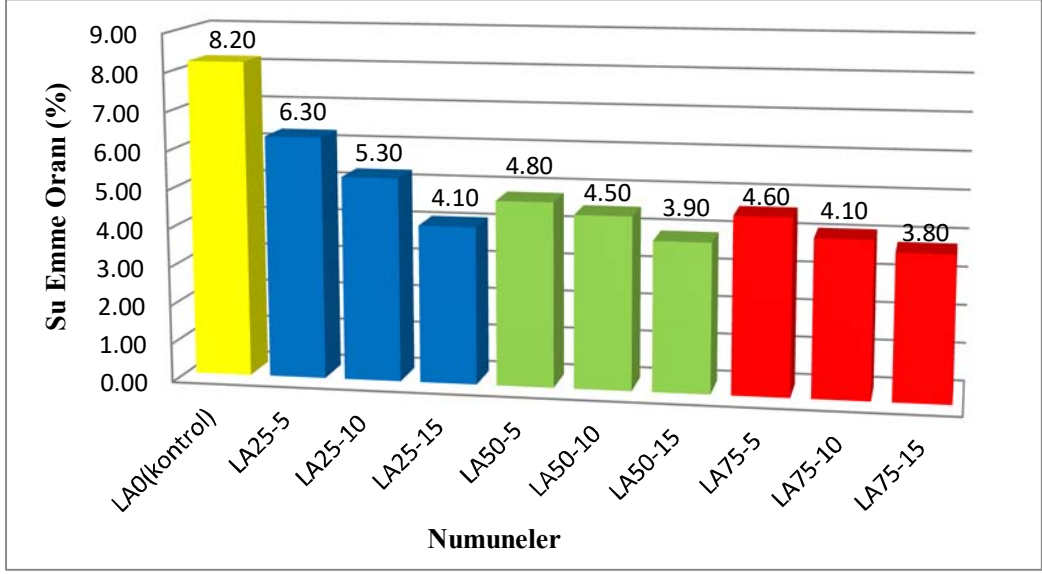
Şekil 4.3. KYB numunelerinin basınç dayanımları (MPa).

Beton numunelerin 28 günlük basınç dayanımları kontrol numunesine göre incelendiğinde, LA25 ikameli numunelerde %5 ve %10 ikameliler sırasıyla %25 ve %30 artarken, %15 ikameli numune ise %21 azalmıştır. LA 50 ikameli numunelerden %5 ve %15 ikameli olanlarda %28 'lik bir basınç dayanımı azalması, %10 ikameli numunede % 14'lük artış gözlemlenmiştir. LA 75 ikameli beton numunelerde, %5 ve %15 ikameli numuneler sırasıyla %40 ve %38 oranında azalırken, %10 ikameli numune %34 artış göstermiştir.

Çalışmada en yüksek basınç dayanımı LA75-10 numunede (48,0 MPa) ve en düşük basınç dayanımı ise LA75-15 numunede (21,6 MPa) kaydedilmiştir. Ayrıca %10 LA ikamesi 25, 50 ve 75 mm boylarında basınç dayanımına olumlu katkı sağlamıştır.

4.3.3 Beton Numunelerin Su Emme Oranı

Su emme deneyi 150x150x150 mm küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Su emme oranları ile ilgili grafik Şekil 4.4'de verilmiştir.

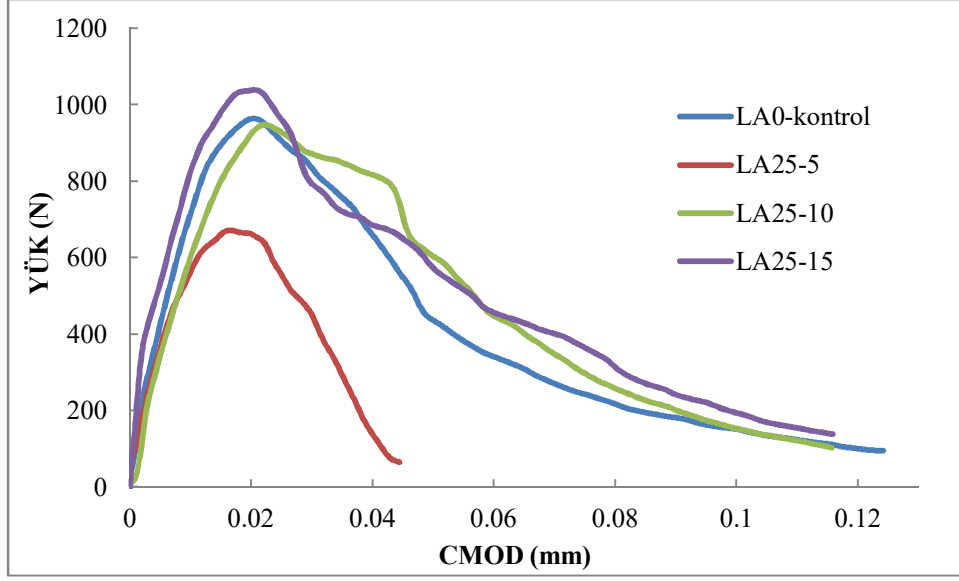


Şekil 4.4. Beton numunelerin su emme değerleri.

Kontrol betonunun su emme oranı, LA ikameli betonlara göre yüksektir. LA ikamesi yüzdesi ve boy oranı arttıkça, su emme oranı azalmıştır. Bu azalma yüzdelik oran baz alınarak değerlendirilirse, %5, % 10 ve %15 ikame yüzdesine göre ortalama olarak sırasıyla, %34, %46 ve %49 oranlarında azalma gerçekleşmiştir. Boy oranı dikkate alındığında ise, 25, 50 ve 75 mm boylarına göre ortalama olarak sırasıyla, %36, %46 ve %52 oranlarında azalmıştır.

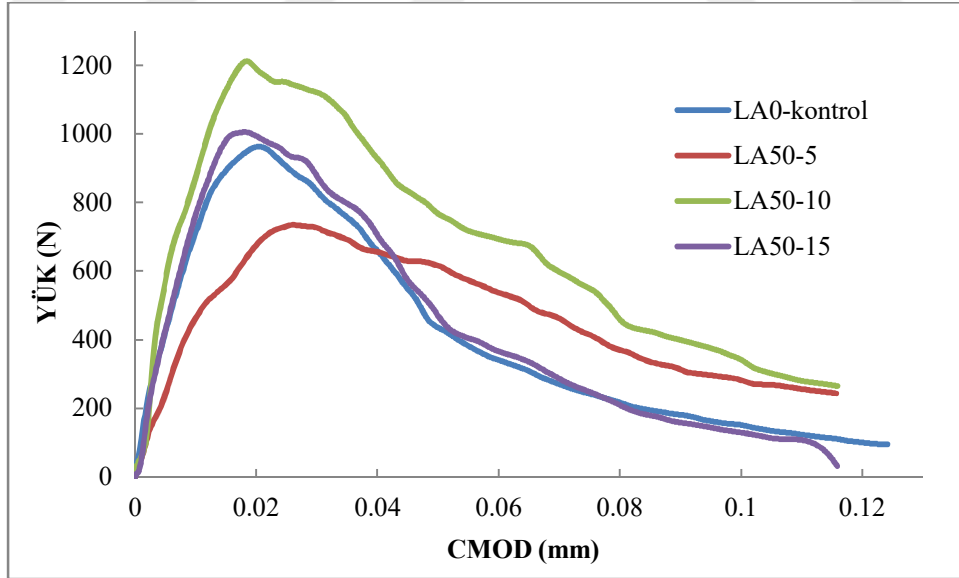
4.3.4 Kırılma Enerjisi

Şekil 4.5’de kontrol numunesi ile 25 mm, %5, %10 ve %15 LA ikameli çentikli kirişlerin Yük-CMOD grafiği görülmektedir.



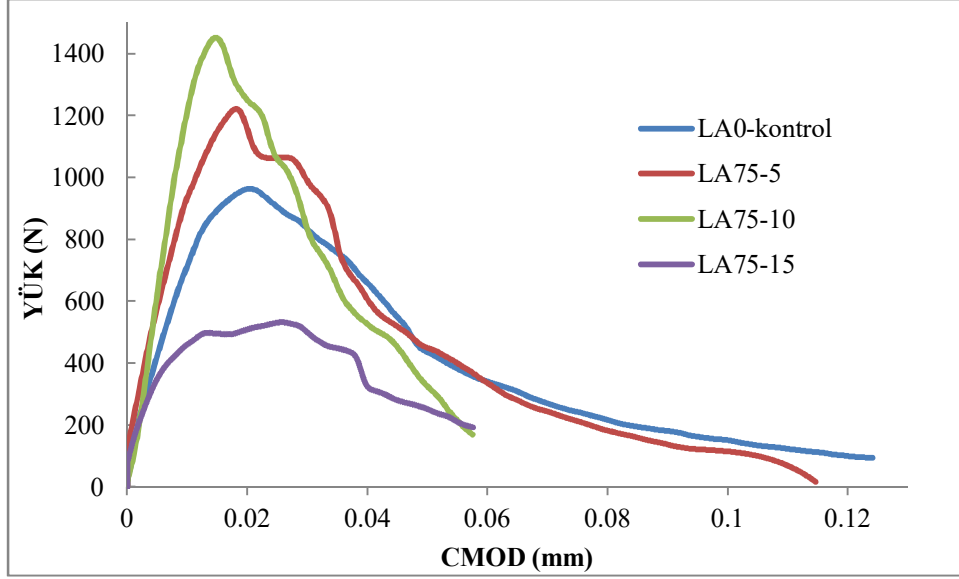
Şekil 4.5. LA0-kontrol ile 25 mm LA ikameli çentikli kirişlerin Yük-CMOD grafiği.

Beton numunelerin 28 günlük kür sonunda kirişlerin maksimum yük değerleri değerlendirilmiştir. Referans (LA0-kontrol) numunesi LA25 ikameli çentikli kirişlerle karşılaştırıldığında, %5 ve %10 ikameliler sırasıyla %30 ve %2 azalırken, %15 ikameli numune ise %8 artmıştır.



Şekil 4.6. LA0-kontrol ile 50 mm LA ikameli çentikli kirişlerin Yük-CMOD grafiği.

LA 50 ikameli çentikli kirişler %10 ve %15 ikameliler sırasıyla, %26 ve %4'lük bir yük maksimum yük değeri artması, %5 ikameli numunede % 24'lük azalma gözlemlenmiştir.



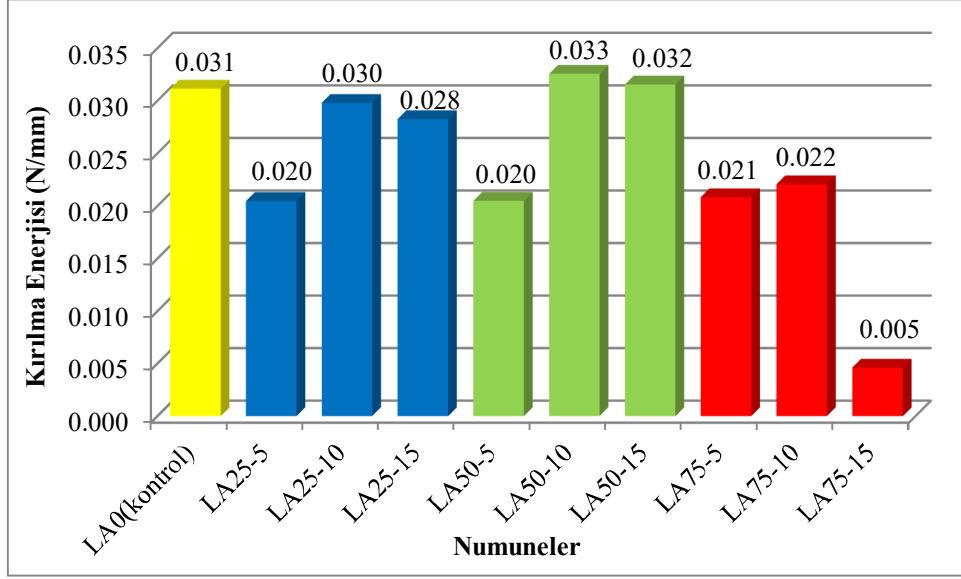
Şekil 4.7. LA0-kontrol ile 75 mm LA ikameli çentikli kirişlerin Yük-CMOD grafiği.

LA 75 ikameli numunelerde, %5 ve %10 ikameli numuneler sırasıyla %27 ve %51 oranında artarken, %15 ikameli numune %45 düşüş görülmüştür.

Çizelge 4.8. Kırılma yüzey enerjileri.

Numune	G_F (N/mm)
LA0(kontrol)	0,031
LA25-5	0,020
LA25-10	0,030
LA25-15	0,028
LA50-5	0,020
LA50-10	0,033
LA50-15	0,032
LA75-5	0,021
LA75-10	0,022
LA75-15	0,005

Çizelge 4.8’de kırılma yüzey enerjileri ile ilgili değerler görülmektedir. Değerler incelendiğinde, en düşük değer 0,005 N/mm değerle LA75-15 kodlu numuneye, en yüksek değer ise 0,033 N/mm’lik değer ile LA50-10 kodlu numuneye ait olduğu görülmüştür.



Şekil 4.8. Çentikli kirişlere ait kırılma yüzey enerjileri.

Çizelge 4.8’de verilen değerlerden faydalanılarak, numunelere ait kırılma enerji değerleri grafiği oluşturulmuştur.

LA0 (kontrol) kodlu kiriş numune referans alınarak yapılan değerlendirmeye göre, LA50-10 ve LA50-15 kiriş numunelerin kırılma yüzey enerjileri sırasıyla %5 ve %1 artış göstermiştir. LA25-5, LA25-10, LA25-15, LA50-5, LA75-5, LA75-10 ve LA75-15 kodlu kirişlerde ise sırasıyla %34, %4, %9, %34, %33, %29 ve %85 oranlarında azalma gözlenmiştir.

4.3.5 Ultrases Geçiş Hızı

Beton numunelerin ultrases deneyleri, TS EN 12504-4 standardına göre yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Ultrases hızları.

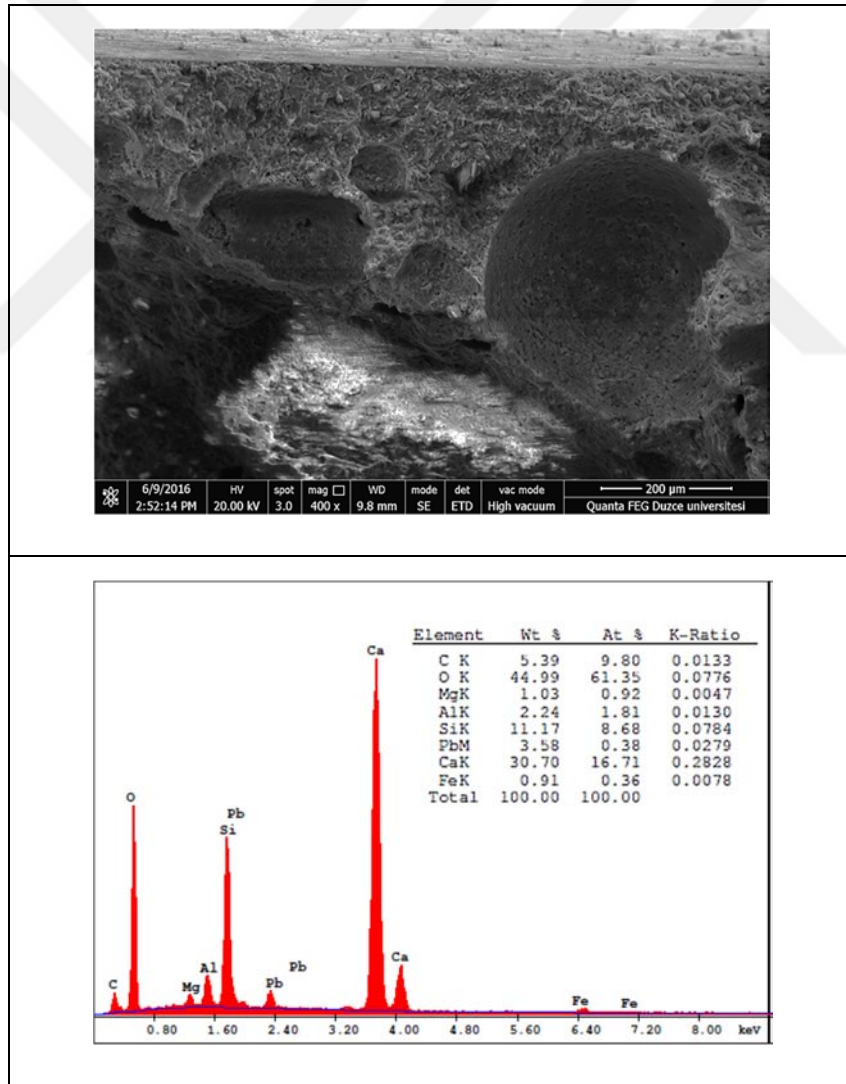
Numune	Ultrases Geçiş Hızı
LA0 (kontrol)	4,2
LA25-5	4,1
LA25-10	4,3
LA25-15	4,2
LA50-5	4,4
LA50-10	4,1
LA50-15	4,4
LA75-5	4,5
LA75-10	3,8
LA75-15	4,4

Numunelerin ultrases geçiş hızları ölçümü sonrası, kontrol numunesi ve LA ikameli betonların ultrases hızları 3,8 – 4,5 m/s aralığında ölçülmüştür. Bu sonuçlar çerçevesinde LA ikameli numunelerden alınan ultrases hızı ölçümlerine göre, betonların iyi beton sınıfına dâhil olduğunu söyleyebiliriz.

4.3.6 SEM – EDS Analizleri

Beton numunelerine ait numunelerin mineralojik yapılarını gösteren EDS analizi ve SEM görüntüsü Şekil 4.9’de gösterilmiştir.

Genel olarak incelendiğinde, numune yapısının içerisinde feldispat, dolomit, kalsit gibi mineraller ve C-S-H, portlandit ve etrengit gibi hidrate fazlar ve hidrate olmamış çimento tanecikleri bulunduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.9. Numunelere ait SEM ve EDS analizleri.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 SONUÇLAR

Çalışmada, iri agreganın hacimce yer değiştirmesiyle Lastik Agregası (LA) (25 mm, 50 mm ve 75 mm uzunluğunda, 5x5 mm kesitinde) ikamesi (her boyuta ayrı ayrı %0, %5, %10, %15) ile hazırlanan kendiliğinden yerleşen betonlara uygulanan deneylerin sonuçlarına göre, lastik agreganın beton içerisinde kullanılabilecek optimum boy ve oran araştırılmıştır.

Agrega deneyleri;

Su emme oranları ince (0-5) ve iri (5-12 mm) agregada sırasıyla %1,56 ve %0,31 şeklinde bulunmuştur.

Özgül ağırlık ince ve iri agregası için $2,72\text{g/cm}^3$ olduğu tespit edilmiştir.

Taze beton deneyleri;

Kontrol numunesi ile LA ikameli KYB'ler karşılaştırıldığında LA ikamesinin Taze betonun birim ağırlığını düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Karışımların yayılma sonucu incelendiğinde, LA boyları 25 ve 75 mm olan numunelerde yayılma istenilen miktarda olmazken, diğer gruplarda 70 cm ve üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

LA ikamesinin, betonun donatı aralığından geçişinin, boylar arttıkça daha zor bir hale geldiği gözlenmiş ve %5 ikameli numunelerin uygulamada zorluklar çıkarabileceği belirlenmiştir.

Sertleşmiş beton deneyleri;

Kontrol numuneleri ile LA ikameli numuneler karşılaştırıldığında, numunelerin kuru birim ağırlıklarında azalma görülmüştür.

Çalışmada en yüksek basınç dayanımı LA75-10 numunede (48,0 MPa) ve en düşük basınç dayanımı ise LA75-15 numunede (21,6 MPa) kaydedilmiştir. Ayrıca %10 LA ikamesi 25, 50 ve 75 mm boylarında basınç dayanımına olumlu katkı sağlamıştır.

Kontrol betonunun su emme oranı, LA ikameli betonlara göre yüksektir. LA ikamesi yüzdesi ve boy oranı arttıkça, su emme oranı azalmıştır.

Beton numunelerin 28 günlük kür sonunda kirişlerin maksimum yük değerleri incelendiğinde, en büyük değere % 51'lik artış ile LA75-10 kodlu numune ulaşmıştır, en küçük değer ise %45'lik azalma ile LA75-15 kodlu numunede ulaşmıştır.

Tüketilen enerjiler incelendiğinde maksimum yük değerleri ve tüketilen enerji miktarları arasında doğrusal bir ilişkiye rastlanmamıştır.

Numunelerin ultrases geçiş hızları ölçümü sonrası, kontrol numunesi ve LA ikameli betonların ultrases hızları 3,8–4,5 m/s aralığında ölçülmüştür, LA ikameli numunelerden alınan ultrases hızı ölçümlerine göre, betonların “iyi” beton sınıfına girdiği değerlendirilmiştir.

Numunelerin SEM ve EDS görüntüleri genel olarak incelendiğinde, numune yapısının içerisinde feldispat, dolomit, kalsit gibi mineraller ve C-S-H, portlandit ve etrengit gibi hidrate fazlar ve hidrate olmamış çimento tanecikleri bulunduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmanın sonucunda, kendiliğinden yerleşen betonlara 25mm boyunda %10 atık lastik agrega ikamesinin optimum sonuçlar verebileceği tespit edilmiştir.

5.2 ÖNERİLER

Bu çalışmaya ek olarak atık lastik agregalarla ilgili, mekanik veya kimyasal yüzey işlemi uygulanarak aderans iyileştirmesi denenebilir, farklı boy ve çentik genişliğine sahip kirişler üretilerek kırılma mekaniği çalışılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Z. Li, F. Li, and J. S. L. Li, "Properties of concrete incorporating rubber tyre particles", *Magazine of Concrete Research*, 50, pp.206-213, 1998.
- [2] İ. B. Topçu, "Yapı Malzemeleri ve Beton", Türkiye, Eskişehir, 2008, 137.
- [3] S. Mindness and J. F. Young, "Concrete, Prentice-Hall Inc", New Jersey, USA. 1981, 671.
- [4] A. M. Neville, "Properties of Concrete, Pearson Prentice Hall Inc.", England. 2002, 844.
- [5] T. Y. Erdoğan, "Beton", METU Press, Türkiye, Ankara, 2003, 741.
- [6] M. Emiroğlu "Lastik agregalı kendiliğinden yerleşen betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi", Doktora tezi, Yapı Eğitimi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2012.
- [7] Z. Khatib and F. Bayomy, "Rubberized Portland 1Cement Concrete", *J. Mater. Civ. Eng.*, 206-213, 1999.
- [8] M. Emiroğlu, S. Yıldız, and M. H. Keleştemur, "Lastik agregalı kendiliğinden yerleşen betonlarda kırılma parametrelerinin belirlenmesi", 10. Uluslararası Kırılma Konferansı, Kayseri, Türkiye, 2014.
- [9] A. R. Sağlam, N. Parlak, Ü. A. Doğan ve M. H. Özkul, "Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Katkı-Çimento Uyumu", Beton Kongre Bildiri, İstanbul, Türkiye, 2004.
- [10] O. Şimşek, *Yapı Malzemeleri*, 3. Baskı, Ankara, Türkiye, Seçkin Yayınevi, 2007.
- [11] B. A. Sağlam, "Büyük açıklıklı yapılarda prefabrik betonarme, çelik ve tutkallı tabakalanmış ahşap dolu gövdeli kirişlerin karşılaştırılması ve bir örnek üzerinden irdelenmesi", Yüksek Lisan tezi, Mimarlık, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [12] C. E. Ekinci, *Yapı ve Tasarımcının İnşaat El Kitabı*, Elazığ, Data Yayınları, 2008, 659.
- [13] V. S. Ramachandran, *Concrete Admixtures Handbook, Properties, Science, and Technology*, Second Edition, New Jersey, USA, Noyes Publications, 1995, pp. 1153
- [14] N. Değirmenci, Özel betonlar, *Ders Notları*, Balıkesir, 2011.
- [15] T. Özturan, "Özel betonlar", *Hazır Beton*, s. Temmuz-Ağustos, ss. 70-83, 2013.
- [16] M. Doğan, A. Bideci, B. Çomak, Ö. Sallı Bideci, E. Besli, "Stiren-Bütadien Kopolimer Katkısının Çimento Harçlarına Etkisi", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4-1, 67-76, 2016
- [17] O. Şimşek, *Beton ve Beton Teknolojisi*, Ankara, Türkiye, Seçkin Yayıncılık, 2007.
- [18] S. Chandra, L. Berntsson, *Lightweight Aggregate Concrete, Science, Technology and Applications*, New Jersey, USA, Noyes Publications, 2002, pp. 430.
- [19] A. Bideci, Ö. Sallı Bideci, Ü. Sever, "Farklı Hammaddelerin Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye, 2009

- [20] Ö. Sallı Bideci, “Bor kaplı hafif agregalı betonların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin araştırılması”, Doktora tezi, Mimarlık, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye, 2013
- [21] A. Bideci, “Polimer kaplı pomza agregalarla elde edilen betonların özelliklerinin araştırılması”, Doktora tezi, Mimarlık, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye, 2011
- [22] Y. Koçak ve L. Alpaslan, “Atık Lastiklerin Çimento ve Beton Sektöründe Kullanım Potansiyelleri”, *International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Türkiye, 2011, ss. 118-122
- [23] Ç. Kılınç, Kendiliğinden Yerleşen Betonlar, *Hazır Beton Dergisi*, Temmuz, 2012.
- [24] J. Walraven, Betonun evrimi, *Hazır Beton Dergisi*, ss. 26-30, Temmuz-Ağustos, 2002.
- [25] R. Gaimster and N. Dixon, Self-Compacting Concrete, *Advanced Concrete Technology, Process, Newman, J. And Choo B. S., Elsevier*, vol. 9, no. 1, pp. 9-23, 2004.
- [26] M. H. Özkul, Beton Teknolojisinde Bir Devrim: Kendiliğinden Yerleşen-Sıkışan Beton, *Hazır Beton Dergisi*, s. 52, ss. 64-71, 2002.
- [27] K. Ramyar, “Süperakışkanlaştırıcılar Katkı Uyumunu Etkileyen Faktörler”, 2. *Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, Ankara, Türkiye, 2007, ss. 197-212.
- [28] Ç. Yalçınkaya, “Mineral Katkılı Kendinden Yerleşen Lifli Betonun Mekanik, Durabilite ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye 2009.
- [29] K. Artık, “Kendiliğinden yerleşen betonda farklı agregaların beton özelliklerine etkisi”, Yüksek Lisans tezi, Yapı Eğitimi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye, 2009.
- [30] *The European Guidelines For Self-Compacting Concrete: Specification, Production And Use, The European Federation Of Specialist Construction Chemicals And Concrete Systems*, EFNARC, 2005.
- [31] H. Gürdal ve Z. Yüceer, “Türkiye ve dünyada kendiliğinden yerleşen beton uygulamaları”, *Beton 2004*, İstanbul, Türkiye, 2004
- [32] T. Ucuzcu, “Kendiliğinden yerleşen beton dökümündeki gecikmelerin beton özelliklerine etkisi”, Yüksek Lisans tezi, Yapı Eğitimi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2010
- [33] İ. Atlı, “Farklı iri agregası içeriğinin kendiliğinden yerleşen betonların yüzey aşınma direncine etkisi”, Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2012
- [34] B. Zengin, “Ağır agregalı kendiliğinden yerleşen betonun özellikleri”, Yüksek Lisans tezi, Yapı Eğitimi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2012
- [35] Ö. Sallı Bideci, A. Bideci, S. Oymael, “Zeolit katkı çimentoların özelliklerinin incelenmesi”, *SDU International Journal of Technological Science*, , Vol. 5,c. 3, pp. 70-76, 2013
- [36] B. Çelik, “Farklı su emme kapasitesine sahip agregaların kendiliğinden yerleşen betonun taze ve sertleşmiş özelliklerine etkisi”, Yüksek Lisans tezi, İnşaat

Mühendisliği, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye, 2013

[37] M .Akarsu, “Kendinden yerleşen betonun taze haldeki temel özellikleri ve sülfat direnci üzerine iri agrega çeşidi ve çimento tipinin etkisi”, Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2009

[38] E. Orhan, “Kendiliğinden yerleşen betonlarda katkı oranları değişiminin betonun özelliklerine etkisi”, Yüksek Lisans tezi, Yapı Eğitimi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2012.

[39] O. Gürses, “Kendiliğinden yerleşen betonların özellikleri ve uygulamaları”, Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2008

[40] İ. B. Topçu, T. Bilir ve H. Baylavlı, “Kendiliğinden yerleşen betonun özellikleri”, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 21, s.1, 2008

[41] Ö. F. Eser ve M. A. Taşdemir, “Kırılma mekaniği modellerinin çentikli disk numunelere uygulanması”, *İTÜ Dergisi*, c. 1, s. 2, ss. 63-74, 2002

[42] P. Domone and J. Illston, *Construction materials: their nature and behaviour*, CRC Press, 2010.

[43] S. P. Shah, S. E. Swartz and C. Ouyang, *Fracture mechanics of concrete: applications of fracture mechanics to concrete, rock and other quasi-brittle materials*, John Willeyons, 1995

[44] R. İnce, “Çimento bazlı malzemelerin kırılmasında boyut tesirinin (Non-Linear kırılma mekaniği) yapay sinir ağları ile incelenmesi”, Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 1994

[45] K. E. Alyamaç, “Kendiliğinden yerleşen betonun lineer olmayan kırılma mekaniği prensipleriyle incelenmesi”, Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2008

[46] M. E. Arslan, “Effects of basalt and glass chopped fibers addition on fracture energy and mechanical properties of ordinary concrete: CMOD measurement”, *Construction and Building Materials*, Vol 114, pp.383-391, 2016

[47] M. Emiroğlu, “Atık taşıt lastiğinin beton içerisinde kullanımı ve betonun karakteristiklerine etkisi”, Yüksek Lisans tezi, Yapı Eğitimi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2006

[48] <http://www.traderscity.com/board/productscatalog/butyl-bladders-tubes-rubber-scrap.html>, (16.12.2016)

[49] M. Doğan, “Stiren bütadien kopolimerler ile modifiye edilmiş yüksek dayanımlı beton üretilebilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans tezi, Kompozit Malzeme Teknolojileri, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2015

[50] *Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları*", Türk Standardları Enstitüsü, TS EN 1008, 2003

[51] *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler*, Türk Standardları Enstitüsü, TS EN 1097-6, 2015.

[52] *Beton – Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk*, Türk Standardları Enstitüsü, TS EN 206-1, 2014

- [53] *Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini*, Türk Standardları Enstitüsü, TS EN 1097-6, 2002
- [54] T. Y. Erdoğan, *Beton*, Ankara, Türkiye, ODTÜ Geliştirme Vakfı, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, 2007.
- [55] *Sertleşmiş Beton Numunelerinde Basınç Dayanımı Tayini*, Türk Standardları Enstitüsü, TS EN 12390-3, 2010.
- [56] *Beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrases Geçiş Hızının Tayini*, Türk Standardları Enstitüsü, TS EN 12504-4, 2004.
- [57] *Method of Test for Resistance of Concrete Specimens to Slow Freezing in Air and Thawing in Water*, Annual Book of ASTM Standards, ASTM-C 310, 1964
- [58] *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini - Eleme metodu*, Türk Standardları Enstitüsü, TS3530 EN 933-1/A1, 2012.
- [59] M. Sonebi, *Cement and Concrete Research*, vol. 34, pp. 1199–1208, 2004

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hakan ÖZTÜRK
Doğum Tarihi ve Yeri : 24.04.1979 - Elazığ
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : hakanozturk@duzce.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Kompozit Malzeme Tekn.	Düzce Üniversitesi	2016
Lisans	Yapı Öğretmenliği	Fırat Üniversitesi	2004
Lise	Elektronik	Gazi Endüstri Meslek Lisesi	1995

Yayımlar

1. S. Subaşı, **H. Öztürk**, M. Emiroğlu, “Effects of waste ceramic powders on the bond strength of self-compacting concrete”, Proceedings of the 4th International Symposium on Bond in Concrete, June 17-20, 2012, University of Brescia, Brescia, Italy