

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETON İÇİNDE ATIK KAUÇUK KULLANIMININ BETONUN
MEKANİK PERFORMANSI YÖNÜNDEN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS

İnşaat Müh. Nur Pelin DUYGUN

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Salih Taner YILDIRIM

KOCAELİ, 2010

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETON İÇİNDE ATIK KAUÇUK KULLANIMININ BETONUN
MEKANİK PERFORMANSI YÖNÜNDEN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Müh. Nur Pelin DUYGUN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 18 HAZİRAN 2010

Tezin Savunulduğu Tarih: 26 TEMMUZ 2010

Tez Danışmanı

Yrd.Doç.Dr. Salih Taner YILDIRIM

(.....)

Üye

Doç.Dr. Şevket ÖZDEN

(.....)

Üye

Prof.Dr. Kemalettin YILMAZ

(.....)

KOCAELİ, 2010

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesinde yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Salih Taner YILDIRIM'a, beni bugünlere getiren ve hayatımı anlamlı kılan sevgili annem Afet İNANLI ve babam Nurettin İNANLI'ya, Bütün tezim boyunca sabırla desteğini esirgemeyen eşim Serkan DUYGUN'a, başlangıçtan sonuna kadar her zaman yanımda olan arkadaşım Reyhan KARAGÜZEL'e, deneysel çalışmalarda yardımcı olan yüksek lisans öğrencisi arkadaşım Ersin KİRAZ'a teşekkür ederim.

Özellikle laboratuvarımıza projelerimiz kapsamında oldukça büyük destek veren Rektör Yardımcısı Sayın Prof. Dr. Arif DEMİR'e ve Sayın Rektörümüz Prof.Dr. Sezer Şener KOMSUOĞLU'na, malzemelerimizi temin etmemizde bize önemli yardımları olan Nuh Çimento A.Ş. Kalite Kontrol Müdürü Sayın Beyhan ÜÇYİĞİT'e, Nuh Beton A.Ş. Kalite Kontrol Müdürü Sayın Mehmet MUTLU'ya, Kavanlar Hazır Beton A.Ş. Teknik Müdürü Sayın İlhan YILMAZ'a ve Özyapı Beton A.Ş. laboratuvar sorumluluğunu bir dönem yapmış olan Abdullah PİŞKİN'e, ABM Yapı Denetim Firması Kısım Şefi Okan ÖZTÜRK'e ve testlerimizde yardımcı olan diğer ABM Yapı Denetim Firması çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLOLAR DİZİNİ.....	iv
SİMGELER.....	v
ÖZET.....	vi
İNGİLİZCE ÖZET.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAUCUK MALZEMELERİN ARAŞTIRILMASI.....	3
2.1. Kauçuğun Tarihi.....	3
2.2. Kauçuk Türleri.....	5
2.2.1. Doğal Kauçuk.....	5
2.2.2. Sentetik Kauçuk.....	5
2.3. Vulkanizasyon.....	7
2.4. Kauçuğun Geri Kazanımı.....	8
3. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....	9
4. MALZEME VE YÖNTEM.....	15
4.1. Agrega.....	15
4.2. Çimento.....	17
4.3. Uçucu Kül.....	19
4.4. Kimyasal Katkı.....	20
4.5. Su.....	20
4.6. Beton.....	20
5. DENEYSEL ÇALIŞMA VE DEĞERLENDİRMELER.....	22
5.1. Taze Beton Deneyleri.....	23
5.1.1. Çökme Deneyi.....	23
5.2. Sertleşmiş beton deneyleri.....	25
5.2.1. Birim Ağırlık ve Su Emme Deneyleri.....	25
5.2.2. Ultrasonik ses deneyi.....	27
5.2.3. Sertleşmiş beton basınç deneyi.....	29
5.2.4. Eğilme Deneyi.....	30
5.2.5. Sertleşmiş Betonda Elastisite Modülü Tayini.....	33
5.2.6. Sertleşmiş Betonda Aşınma Deneyi.....	36
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	39
KAYNAKLAR.....	41
ÖZGEÇMİŞ.....	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Sentetik kauçuğun imalat şeması.....	6
Şekil 2.2: Kauçuk imal eden bir makine.....	7
Şekil 3.1: Deneyde kullanılan kauçuklar.....	9
Şekil 4.1: Granül haldeki kablo atığından elde edilmiş kauçuk.....	15
Şekil 4.2: İnce agregaların granülometri eğileri.....	16
Şekil 4.3: Agregaların karışımının granülometri eğisi	17
Şekil 4.4: Uçucu külün granülometri eğisi.....	19
Şekil 5.1: Deneyde kullanılan kalıplar.....	22
Şekil 5.2: Çökme deneyinin yapılışı.....	23
Şekil 5.3: Çökme deneyi sonuç grafiği.....	24
Şekil 5.4: Sertleşmiş betonda birim ağırlık değerleri grafiği.....	26
Şekil 5.5: Beton içinde kauçuk içeriğine bağlı su emme miktarının değişimi.....	26
Şekil 5.6: Ultrasonik ses deneyi yapılırken.....	27
Şekil 5.7: Kauçuk oranına bağlı ultrases hızı değişimi grafiği.....	28
Şekil 5.8: Kauçuk oranına bağlı basınç değişimi grafiği.....	29
Şekil 5.9: Deney numunesini yükleme düzeneği (iki noktadan yükleme).....	31
Şekil 5.10: Laboratuvar ortamındaki eğilme deneyinin yapılışı.....	32
Şekil 5.11: Kauçuk oranına bağlı eğilme dayanımı değişimi grafiği.....	33
Şekil 5.12: Elastisite modülü tayini deneyi.....	34
Şekil 5.13: Numunelerin basınç dayanımı esnasında grafiksel eğilimleri.....	35
Şekil 5.14: Betonda kauçuk oranına bağlı elastisite modülü değişimi tablosu.....	36
Şekil 5.15: Böhme aşındırma deneyi.....	37
Şekil 5.16: Betonda kauçuk oranına bağlı aşınma değişimi grafiği	38

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 3.1: Kauçuk parçaların özellikleri.....	11
Tablo 4.1: İnce Agregaların özelliklerini gösteren tablo.....	16
Tablo 4.2: İri Agregaların özelliklerini gösteren tablo.....	16
Tablo 4.3: Çimento kimyasal analizi.....	17
Tablo 4.4: Çimento ana bileşenleri.....	18
Tablo 4.5: Çimentonun fiziksel özellikleri.....	18
Tablo 4.6: Çimentonun dayanım özellikleri.....	18
Tablo 4.7: Çayırhan uçucu külünün kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri.....	19
Tablo 4.8: Süperakışkanlaştırıcı katkının teknik özellikleri.....	20
Tablo 4.9: Karışım oranları.....	21
Tablo 5.1: Taze betonda çökme miktarı değerleri.....	24
Tablo 5.2: Sertleşmiş betonda birim hacim ağırlık değerleri.....	25
Tablo 5.3: Numune tipine bağlı ultrases hızı değişimi.....	28
Tablo 5.4: Numune tipine bağlı basınç dayanımı değişimi tablosu.....	29
Tablo 5.5: Kauçuk oranına bağlı eğilme dayanımı değişimi tablosu.....	32
Tablo 5.6: 28 günlük silindir numunelerde kauçuk oranına bağlı elastisite modülü	35
Tablo 5.7: Betonda kauçuk oranına bağlı aşınma değişimi tablosu.....	38

SİMGELER LİSTESİ

- d_1 : Kırılma kesitinin ortalama genişliği (mm)
 d : Kırılma kesitinin ortalama yükseklik (mm)
 F : Maksimum kırılma yükü (N)
 K : Kauçuk agrega içermeyen kontrol numunesi.
 L : Numune boyu (m)
 $P5$: İçerisinde hacimce %5 oranında kauçuk agrega bulunan numune.
 $P10$: İçerisinde hacimce %10 oranında kauçuk agrega bulunan numune.
 $P15$: İçerisinde hacimce %15 oranında kauçuk agrega bulunan numune.
 t : Ses geçiş süresi (s)
 V : Hacim (cm^3)
 V_s : Ses hızı (km/s)
 W_{dyk} : Suyu Doygun Numune Ağırlık Değeri (gr)
 W_k : Etüv Kurusu Numune Ağırlığı Değeri (gr)
 Δ_{dyk} : Suyu Doygun Birim hacim Ağırlık Değeri (gr/cm^3)
 Δ_k : Etüv Kurusu Birim Hacim Ağırlık Değeri (gr/cm^3)
 Δ_m : 16 çevrimden sonra kütle kaybı (kg)
 Δ_v : 16 çevrimden sonra hacim kaybı (cm^3)
 $\sigma_{\text{eç}}$: Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)
 p_r : Numunenin yoğunluğu, çok katlı numunede aşınmaya maruz tabaka yoğunluğu (kg/cm^3)

BETON İÇİNDE ATIK KAUCUK KULLANIMININ BETONUN MEKANİK PERFORMANSI YÖNÜNDEN ARAŞTIRILMASI

Nur Pelin DUYGUN

Anahtar Kelimeler: Beton, Atık Kauçuk, Agregası, Mekanik Özellikler.

Özet: Katı atıklar, son yıllarda dünyada en önemli çevresel sorunlardan biri olarak gösterilmektedir. İnsanların günlük hayatlarında kullandıkları malzemelere bakıldığında, bunların birçoğunun plastik olduğu görülmektedir. Plastik; ucuz ve kolay elde edilebilen, çok geniş kullanım alanı olan bir malzeme olması nedeniyle, insanoğlu tarafından çok tüketilen bir malzemedir. Günlük yaşantımızda kullandığımız birçok malzeme (su şişeleri, poşetler, ambalaj malzemeleri, ev aletleri, taşıt lastikleri vb.) plastikten üretilmektedir. Bu plastik malzemeler işlevlerini tamamladıktan sonra atılmaktadırlar. Kauçuk her ne kadar bir takım geri dönüşüm işlemlerine tabi tutulsa da kolay kolay doğa tarafından yok edilebilen bir malzeme değildir. Bunu önlemek için tavsiye edilen bir yol çimento tabanlı malzemelerde katkı olarak kullanılmasıdır.

Beton her ne kadar yaygın bir yapı malzemesi olsa da, düşük çekme mukavemeti, süneklik, enerji yutma, rötre ve küre bağlı bazı eksikliklere sahiptir. Son yıllarda yapılan bazı çalışmalar betonun bu eksikliklerinin atık kauçuk kullanımıyla giderilebileceğini göstermiştir.

Bu çalışmada, elektrik kablo atığını geri dönüştürebilmek için çare arayan bir firmadan alınan atık malzeme beton içerisine agreganın %5, 10 ve 15 hacimsel oranlarında agrega ile yer değiştirilerek katılmış ve üretilen betonlar üzerinde birim ağırlık, su emme, işlenebilirlik, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultrases hızı, elastisite modülü ve aşınma deneyleri yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde, beton içerisindeki kauçuk agrega miktarı arttıkça beton kıvamı, su emme ve aşınma artarken, birim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, elastisite modülü ve ultrases hızı ölçüm değerlerinde bir azalma gözlenmiştir.

INVESTIGATION ON MECHANICAL PERFORMANCE OF CONCRETE INCLUDING WASTE RUBBER

Nur Pelin DUYGUN

Keywords: Concrete, Waste Rubber, Aggregate, Mechanical Properties.

Abstract: Solid waste is one of the most important environmental problem of the world. Consumption of the plastic solid waste covers big portion within the total solid waste. Due to the plastic material is used broadly of the many departments of the industry, plastic material is consumed fastly. The reason behind its fast and excessive consumption is its cost and easy producing. Most of the material that people used everyday life such as plastic bottle, plastic bags, package, household utensils, vehicle tires, is generated from plastics. Those plastic material is being solid waste after completion of their functions. Although a numerous rubber material is subjected to the recycling process, it is not that easy to be destroyed by nature. The recommended way to prevent this problem is to use an admixture in cement-based material.

Although concrete is the most popular construction material, it has some limited properties: low tensile strength, low ductility, low energy absorption, and shrinkage and cracking associated with hardening and curing. Several studies performed recently showed application of the recycled rubber might improve these weak characteristics of concrete.

In this study, normal aggregate was replaced with electric cable waste which were 5%, 10 and 15 of the total aggregate volume in the concrete and tested of mixtures' density, workability, compressive strength, flexural strength, split tensile strength of concrete.

Experimental studies as a result of the concrete in the rubber aggregate amount of the increase in concrete workability, water absorption and abrasion increases, unit weight, compressive strength, flexural strength, elasticity modulus, and pulse velocity measurements in a decrease was observed.

1.GİRİŞ

Betonun tarihi kauçuğa nazaran çok daha eskilere dayanmaktadır. Kireçtaşının katmanlaşarak yanmasıyla M.Ö. 12.000.000 yılında ilk doğal çimento rezervleri oluşmuştur. Yine M.Ö. 3000 yılında, eski Mısır'da, insanlar çamur içerisine saman parçaları katarak kerpiç tuğlalar yapmışlardır. İlerleyen zamanlarda kireç ve jipsi kullanarak harç yapmışlar ve bu harcı piramitlerin yapımında kullanmışlardır. Yine aynı yıllarda farklı bir coğrafyada Çin'de insanlar bambuları çimento tarzı malzemelerle birlikte kullanarak su taşıtları yapıyorlardı. Dünyaca ünlü Çin Seddi de aynı teknikle imal edilmiştir. M.Ö. 300'lerde Romalılar Napoli yakınlarında Pozzuoli diye bir yerdeki yataklardan çıkardıkları ve puzzuolana adını verdikleri bir volkan külünü kireç ve suyla karıştırarak bugünkü betona çok yakın bir harç yapıp kullanıyorlardı. İç yağı, süt, kan ve yumurta bağlayıcı ve sertleştirici katkı olarak kullanılan maddeleriydi. Ayrıca büyük Collesium inşasında at kılı da kullanıldığı bilinmektedir.

M.S. 400'de Romalıların çöküşü ile 1756'da İngiliz mühendis John Smeaton çimentoyu bulana kadar beton unutulmuştur. Günümüzde kullanılan çimento 1824 tarihinde patentini alan duvar ustası Joseph Aspdin tarafından Portland çimentosu olarak Dünya'ya tanıtılmıştır. 1889 yılında ilk betonarme bina inşa edilmiş ve bu tarihten sonra da beton yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesi haline gelmiştir (Ersoy, 1996; Yıldırım, 2010; Betocim, 2010).

Betonun içine farklı farklı malzemeler katılarak kompozit yapısı zenginleştirilmekte, özellikleri iyileştirilmekte ve bazen de bu malzemeler beton içinde değerlendirilmektedir. Bu malzemelerden biri de kauçuktur. Karayolu yapımında ve bariyerlerinde tercih edilen bu malzemenin geri dönüşümü çevre açısından önemli olmaktadır (Anonymous, 1993; Goldstein, 1995; Siddique, 2008). Çünkü Dünya'da çok miktarda atık kauçuk geri dönüştürülmeyi beklemekte ve bu malzeme doğada kolay kolay kaybolmadığından sorun yaratmaktadır.

Özellikle son 10 yılda betonda plastik malzemelerin tanecikli ya da lif yapıları halinde faydalanılmak üzere kullanımı üzerine giderek artan çalışmalar yapılmaktadır. Literatürde konuyla ilgili pek çok çalışma plastiğin ağırlıkça ya da hacimce uygun yüzdeleri ya da granülometrileri araştırılarak beton içerisinde değerlendirilebileceğini vurgulamaktadır. Yapılan tez çalışmasında da bu çalışmalar ışığında hacimsel lif içeriğinin değiştirilmesiyle betonun mekanik özelliklerinin nasıl değiştiğini ve bu değişikliğin normal betonu nasıl etkilediği araştırılmıştır.

2. KAUÇUK MALZEMELERİN ARAŞTIRILMASI

2.1. Kauçuğun Tarihi

Avrupalı kâşifler Amerika'ya ulaşmadan önce buradaki yerliler kauçuğu bilmekteydiler. 1525'de Padre D'Anghieria, Meksikalı yerli kabilelerin elastik topraklarla oynadığını bildirmiştir. Kauçukla ilgili ilk bilimsel çalışma Charles de la Condamine tarafından 1735'te Peru'ya gittiği sırada yapılmıştır. Guyana'da ki bir Fransız mühendis Fresnau kauçukla ilgili yaptığı çalışma neticesinde bunun yoğun reçine tarzı yağdan başka bir şey olmadığı sonucuna varmıştır.

Kauçuk ilk silgi olarak kullanılmıştır. Bu kullanımı tavsiye eden ise meşhur Portekizli kâşif Magellan'dır. Portekizce'de kauçuk kelimesine karşılık gelen – borracha- bu ürünün ilk kullanım alanından bu adı almıştır. Portekizlilerin şarabı taşımak için kullandıkları kavanozun -deri borrachas -yerini alan kauçuktur. Macquer kauçuğun esnek tüp imalatında kullanılabileceğini tavsiye etmiştir. Bundan sonra sayısız zanaat dalı kauçukla ilgilenmeye başlamıştır. 1820'de İngiliz sanayicisi Nadier kauçuktan lifler üretilip bunlardan giyim eşyaları üretme girişiminde bulunmuştur. Bu tarihlerde Amerika'da kauçuk çok popüler hale gelmiş ve özellikle ayakkabı yapımında çok kullanılmıştır.

Kauçuk, ham madde olarak, modern medeniyetlerde lider rol oynarken, kimyacılar sonunda kauçuğu sentetik yollardan elde etmek için daha da cüretkâr davranmaya başlamışlardır. 19. yüzyılda işler bu noktaya odaklanmıştır.

1840'da Goodyear kaza ile vulkanizasyonu icat edene kadar doğal kauçuk; soğuk havada gevrek ve güneşte kaldığında eriyen bir maddeye dönüşmekteydi. 1842'de Hancock, Goodyear tarafından bulunan vulkanize kauçuğun üretim aşamasına gelmiş ve vulkanizasyon ona çok büyük bir fırsat sunmuştur.

1845'te R.W. Thomson pnömatik (içi boşluklu) tekerleği icat etmiştir. 1850 de katı ve boşluklu golf ve tenis topları yapılırken, kauçuk oyuncaklar da yapılmıştır. 1869'da Michaux tarafından yapılan velocipede' in (pedalları ön tekerde olan bisiklet) icadıyla, Thomson' un icadı bile unutulmuştur. 1895'te Michelin lastiğin otomobile adaptasyonu fikrini ortaya atar. Bundan sonra kauçuk küresel pazarda inanılmaz bir yer elde eder.

Birinci Dünya Savaşı'na denk gelen Brezilya'daki doğal kauçuk üretimindeki azalma modern medeniyetleri daha düşük maliyetle sürekli olarak sentetik yoldan bu ürünü imal etmenin yollarını aramaya teşvik etmiştir.

Ruslar ve Almanlar kauçuk sentezlemek için çok uğraşmış, ancak elde ettikleri ürünleri doğal kauçuğa benzetememişlerdir. Yalnızca Birinci Dünya Savaşı sırasında Almanlar sentetik üretimin sanayileşmesini gerçekleştirmişlerdir. Bu bütün dünyada elastomer (elastiklik özelliğine sahip polimer yani kauçuk) üretiminin sıçrama tahtasını oluşturmuştur.

İkinci Dünya Savaşında Japonlar, Pearl Harbour baskını sonrasında Malezya ve civarını işgal ettiğinde, kauçuk ekim alanlarının %95'i ellerine geçmiştir ve bu da Amerika için son derece olumsuz bir durum oluşturmuştur. Her bir tank yaklaşık 20 ton çelik ve yarım ton kauçuktan meydana geliyordu, her bir savaş gemisi 20000 kauçuk parça barındırıyor ve bunlara ihtiyaç duyuyordu. Her bir santimetre kablo kauçukla kaplanıyordu ve bu kablolar her yerde kullanılıyordu. O zamanlar sentetik alternatif olmadığı için eldeki tüm stoklar ordu için sevk edilmiştir. Hatta Amerika'da maksimum hız 35 mil saat olarak belirlenmiş ve mevcut tüm kauçuk ürünler tekrar dönüşüme tabi tutulmuştur (wikipedia, 2010; Loadman, 1995)

2.2. Kauçuk Türleri

2.2.1. Doğal kauçuk

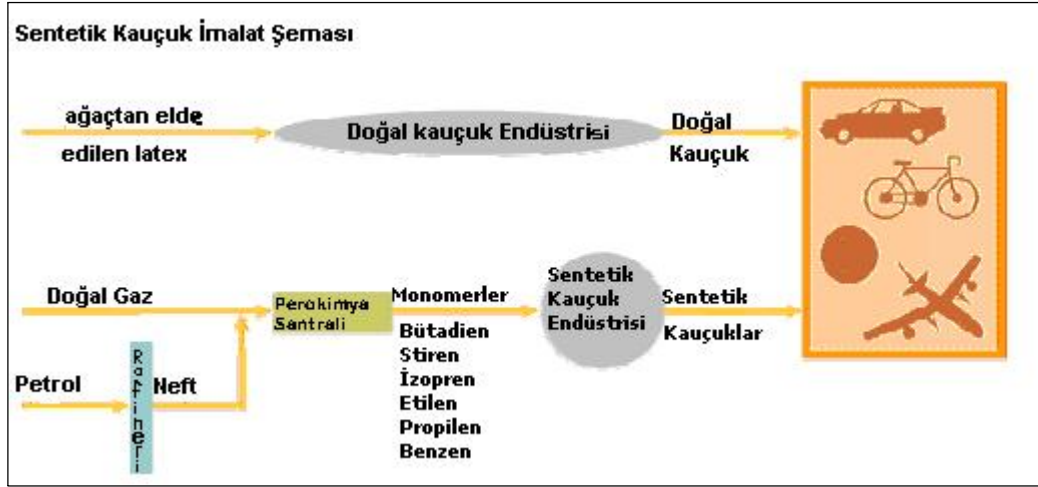
Doğal kauçuk belirli bitkilerden özellikle Brezilya kauçuk ağacından (Hevea Brasiliensis) elde edilen lateksin pıhtılaştırılması ile elde edilen katı bir üründür. Ancak günümüzde doğal kauçuğun elde edildiği alanların azalması ve sentetik üretimin artması nedeni ile pazar payının sadece % 40'ını teşkil etmektedir. Bu da özellikle Endonezya'nın 2001 yılından itibaren bu ürünü üretmeye başlaması ile paralel bir şekilde bugünkü değere ulaşmıştır.

Ham kauçuğa lateks denir. Pamuk veya viskonla karıştırılarak, kemer korse, lastik çorap yapımında kullanılır. Kauçuk, giysi, hortum ve lastik yapmak için esnek bir maddeye dönüştürülebilir. Kauçuğun emici özellikleri, otomobil süspansiyonun da onu kullanışlı madde yapar. Kauçuk aynı zamanda endüstriyel maddelerin titreşimlerini de azaltır (Wikipedia, 2010).

2.2.2. Sentetik kauçuk

1900'lü yıllardan itibaren hızla artan teknolojik gelişmeler, yeni teknolojik ürünleri de beraberinde getirmiştir. Bu durum yeni teknolojik ürünlerdeki kauçuk malzeme kullanımının da hızlı bir şekilde artmasına sebep olmuştur. Artan kauçuk ihtiyacı, doğal kauçuktaki üretimin belirli ülkelerde olması ve savaş yıllarının doğurduğu ihtiyaç, araştırmacıları sentetik kauçuk üretimine yöneltmiştir. Çok geniş bir yelpazede üretilen kauçuk ürünlerden istenilen fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerin, her bir üründe farklı olması ve istenilen özelliklerin tek bir kauçuk türü tarafından karşılanamaması, farklı özelliklere sahip birçok sentetik kauçuk türlerinin araştırılmasına ve sonuçta yeni sentetik kauçuk malzemelerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

Sentetik kauçuk aşağıdakinden farklı usullerle üretilebilse de, aşağıda görülen (Şekil 2.1) en yaygın üretim şeklidir.



Şekil 2.1: Sentetik kauçuğun imalat şeması

Üretimde birkaç farklı türde sentetik kauçuk olup, bunlar polimerizasyonla elde edilmektedir. Sentetik kauçuk özel amaçlar için farklı özelliklerde imal edilebilmektedir. Genellikle lastik üretimi için stiren-bütadien ve bütadien kullanılmaktadır. Bütil kauçuk gaz geçirmediğinden dolayı genellikle iç lastikte kullanılır. Lastiğı oluşturan hammaddeler doğal ve sentetik kauçuk, karbon, naylon, polyester kablo, kükürt, petrol ve reçinedir. Lastik imalatı işlemi süresince bu malzemeler, kolay kolay bozulmayan tek bir malzeme olacak şekilde vulkanize edilirler (Özberk, 2005).Kauçuğun günümüzde imal edilmesi çİğneme, karıştırma, şekil verme, kalıplama ve vulkanizasyon gibi bazı karmaşık işlemlerle sağlanmaktadır. Çeşitli katkıları, elde edilecek nihai kauçuğa istenen özellikleri sağlamak amacıyla katılmaktadırlar. Bunlar;

- Polimerler
- Tetikleyiciler
- Dolgular (siyah karbon)
- Plastikleştiriciler
- Vulkanizasyon ajanları
- Vulkanizasyon hızlandırıcılar
- Renklendiriciler

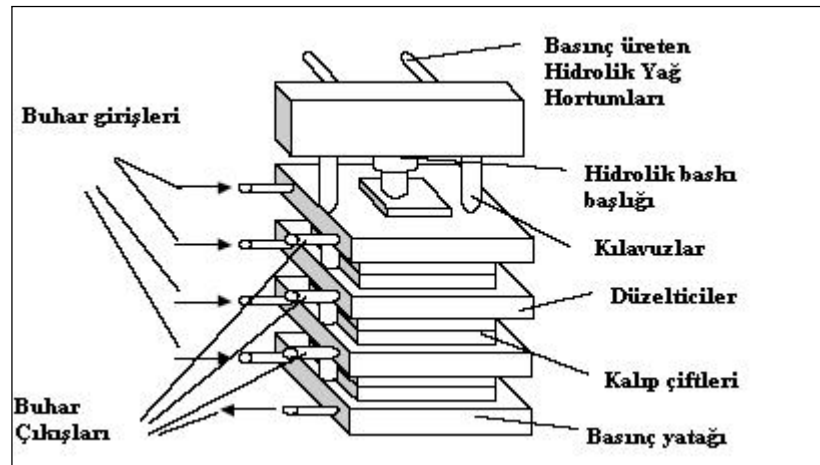
Dolgu olarak kullanılan siyah karbon aşınmayı önleyici bir maddedir ve genellikle lastik imalatında çok tercih edilmektedir. Pigmentler çinko oksit ve bazı organik boyar maddelerden meydana gelmektedir. Daha sonra kalıba konulan numune vulkanize edilmektedir (Ahmed ve diğ., 1996; Vogler, 1984).

2.3. Vulkanizasyon

Vulkanizasyonu anlamak için kauçuğun moleküler yapısını anlamak şarttır. Lateks çok sayıda uzun, esnek moleküler zincirlerden meydana gelmektedir. Şayet bu zincirler moleküllerin hareketine engel olacak şekilde birbirlerine bağlanırsa, kauçuk kendine has elastik kalitesini kazanmış olur. Bu bağlama işlemi lateksin kükürtle (diğer vulkanizasyon ajanları selenyum ve telluryumdur, ancak kükürt en fazla kullanılandır) ısıtılmasıyla gerçekleştirilmektedir. En genel hali ile iki tip vulkanizasyon mevcuttur.

Basınç vulkanizasyonu. Bu işlem kauçuğun kükürtle basınç altında 150 °C'de ısıtılması ile gerçekleştirilir. Çoğu, basınçlı preslerde sıkıştırılan kalıplarla yapılır (Şekil 2.2).

Serbest vulkanizasyon. Basınçlı vulkanizasyonun kullanılmadığı, ürünün süreklilik arz ettiği ya da haddelendiği durumlarda kullanılır (Ahmed ve diğ., 1996).



Şekil 2.2: Kauçuk imal eden bir makine

2.4. Kauçuğun Geri Kazanımı

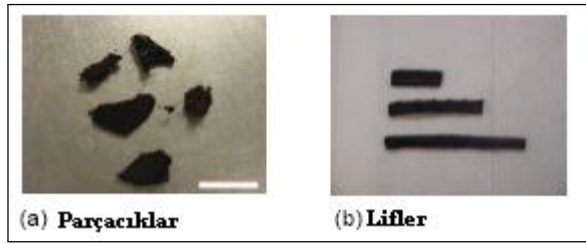
Geri dönüşüm ile doğal kaynakların korunmasına katkı sağlanır. Doğal kaynaklarımız dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi nedeni ile her geçen gün azalmaktadır. Bu nedenle malzeme tüketimi azaltılmalı ve değerlendirilebilir nitelikli atıkları geri dönüştürmek sureti ile doğal kaynaklar verimli kullanılmalıdır. Geri dönüşüm doğal kaynakların korunması ve verimli kullanılması için son derece önemli bir işlemdir. Örneğin; kağıdın geri dönüşümü ile ormanlardaki ağaçların daha az kesilmesi sağlanabilir Benzer şekilde plastik atıklarının geri dönüşümü ile petrolden tasarruf sağlanabilir. Ülkemizde 150-200 bin ton civarında atık plastik geri kazanılmaktadır. 2002 yılında ülkemizdeki bazı yerel yönetimler tarafından geri kazanım projeleri kapsamında düzenli olarak toplanan malzeme miktarı 15795 tona ulaşmıştır (Gurer ve diğ.,2004). ABD’de her yıl ortalama 279 milyon araç lastiği atılmaktadır (Anonymous, 1989). Hurda lastiklerin %78’i muhtelif yöntemlerle ticari olarak değerlendirilmektedir. Değerlendirilen bu atık lastiklerin %42’si ise termik santral, çimento fabrikası ve endüstriyel kazanlarda yakılarak, atıkların enerjisinden yararlanılmaktadır. Isıl maksatla kullanılan lastiklerin, halihazırda, %46’sı çimento fabrikalarında, %17’si kağıt fabrikalarında, %16’sı termik santrallerde vb. şekilde değerlendirildiği görülmektedir (Gönüllü, 2004).

Kauçuğun dönüştürülerek tekrar kullanılmasının faydalarını şöyle sıralayabiliriz (Porteous, 1977).

- Doğal ya da sentetik kauçuk imalatının yarı fiyatına yapılabilir.
- Dönüştürülmüş kauçuk bazı yönleriyle bakir kauçuktan çok daha iyidir.
- Sıfırdan imal edilen kauçuğa nazaran işlemler sırasında daha az iş gücü harcanır.
- İstenmeyen kauçuk mamullerin yok edilmesinin en ekonomik ve çevreci şeklidir.
- Sentetik kauçuk üretiminde kullanılan yenilenemeyen petrol ürünlerinden tasarruf sağlar.
- Ayrıca kauçuk enerji elde edilmesinde kullanılabilir (Gönüllü, 2004).

3. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Li ve diğ. (2004) Louisina Üniversitesi'nde yaptıkları bir araştırmada beton içerisine katılacak olan kauçukları iki şekilde hazırlanmış ve test etmişlerdir (Şekil 3.1). Kauçukların bir kısmı lif şeklinde, bir kısmı da küçük parçacıklar halinde hazırlanmıştır. Kauçuk parçaların boyutları ise 25,4x5x5 mm., 50,8x5x5 mm., 76,2x5x5 mm.dir. Kullanılan betonda portland çimentosu kullanılmış ve beton sınıfı 40 MPa olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.1: Deneyde kullanılan kauçuklar

Kauçuk katkılı betonlarda agrega hacminin %15'i kauçukla değiştirilmiştir. Numuneler kontrollü bir şekilde 28 gün küre tabi tutulmuştur. Betonun basınç, yarmada çekme, elastisite modülü özellikleri incelenmiş ve plastiksiz kontrol betonunun kauçuk katılan betonlara göre mekanik özelliklerinin daha üstün olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, atık kauçuğun lif halinde katılması basınç dayanımı ve rijitliği parça halinde katılan kauçuklara göre artırmıştır. Kauçuk katılan betonun kontrol betonuna göre işlenebilirliği, son çatlak tokluğu daha yüksek çıkmıştır.

Xi ve diğ., (2004) Colorado Üniversitesi'nde yaptıkları çalışmada araba lastiklerini kırarak (ortalama 1.85 ve 4.12 mm'lik iki farklı boyutta) elde ettikleri kauçuğu içinde uçucu kül de kullandıkları beton içerisinde (agrega hacminin %10-50 arasında) agrega olarak kullanmışlardır. Çalışmaya göre tokluk kauçuk takviye sayesinde artırılabilir. Ayrıca sülfür ile beraber kullanıldığında vulkanizasyon durumu söz konusu olmakta ve kauçuk katkılı betonun dayanımı artmaktadır.

Düşük su-çimento oranı kauçuk katkılı harcın dayanımını belirgin bir şekilde arttırmıştır. %8'lik silis dumanının kauçuk parçacıklarının yüzeyine uygulanması harcın özelliklerini iyileştirmektedir. Diğer yandan aynı miktarda silis dumanının ağırlıkça çimento ile de yer değiştirmesi de aynı sonucu vermektedir. Kauçuk parçacıkları ile beton arasındaki aderans elektrostatik etkileşimlerin ve/veya kimyasal uygulamaların artırılması ile güçlendirilebilir. Bu çalışmada, kauçuk parçacıkları bağlama ajanları ile ön işleme tabi tutulmuş ve bu metodun mekanik özellikler üzerinde son derece etkili olduğu görülmüştür. Üç tip bağlama ajanı kullanılmıştır. PAAM, PVA ve silan ile testler yapılmıştır. PAAM beton matris ile kauçuk parçaları arasındaki dayanımı arttırmasına rağmen, kauçuk oranı hacimce %10'un üzerine çıktığında betonun çalışmasına ters yönde etki yapmıştır. PVA ve silane ise her ne kadar kauçuk oranı arttıkça dayanım azalsa da KKB'un basınç mukavemetini olumlu etkilemiştir. PVA ve silane betonun işlerliğine PAAM gibi herhangi bir negatif etki yapmamıştır. PVA, KKB'un basınç dayanımına silandan daha fazla etki yapmıştır. Tüm sonuçlar göstermektedir ki bu tarzdaki ajanların kullanılması her türlü mühendislik uygulamasında kauçuk parçacıklarının kullanılmasına büyük katkılar sağlamaktadırlar.

Bu çalışmada irdelenen diğer bir tip kauçuk katkılı beton ise Sülfür Kauçuk Betondur (SKB). SKB yeni bir fikirdir. SKB' de bağlayıcı olarak portland çimentosu yerine erimiş sülfür kullanılmıştır. İçinde Portland Çimentosu olmadığı için sülfür kauçuk beton adını almıştır. Sülfürlü betonun üretimi asfalt betonu üretiminin sıcak safhası ile çok benzeşmektedir. Kauçuk doğal agreganın bir kısmıyla yer değiştirilip kullanıldığında sıcak karışım işlemi sülfür betonda kauçuğu vulkanizasyona uğratmaktadır. Her ne kadar reaksiyon tam olarak bir vulkanizasyona neden olmasa da kauçuk parçacıklarının sülfür matrisle oluşturduğu aderanslar memnun edici sonuçlar vermiştir. Hatta kauçuk ve portland çimentosu ile elde edilen matristen daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Huynh ve diğ., (1996) Harward Üniversitesi'nde yaptığı araştırmada kullanılan kauçuk malzemeler Tablo 3.1'de gösterilmektedir.

Tablo 3.1: Kauçuk parçaların özellikleri

Kauçuk parçaları	Ortalama çap (mm.)	Ortalama boy (mm.)	Boy / En oranı
FR 2,36	1,20 ± 0,60	5,50 ± 2,20	4,60
FR 4,75	1,80 ± 0,80	10,8 ± 4,50	6,00

Betonda kauçuk oranı arttıkça işlenebilirlik artarken, basınç dayanımının azaldığı tespit edilmiştir. Çimento kütlelerinin %1, 2.5, 5 oranındaki lif kauçukların kullanıldığı numunelerde granül kauçukların kullanıldığı numunelere göre biraz daha az bir mukavemet düşüşü görülmüştür. %1 lif kauçuk katkısı, herhangi belirgin bir etki yapmazken, aynı oranda granül kauçuk katkısı, basınç dayanımı azaltmaktadır. Bazı kauçuk katkılarında, kauçuk tipinin basınç dayanımını etkilediği tespit edilmiştir.

Betonda kauçuk miktarının artırılması kiriş numunelerin eğilme momentlerini azaltmaktadır. Her ne kadar etki negatif olsa da yük altında numuneler fiziksel olarak birbirinden kopmamış kauçuk lifler çatlaklar arasında birer köprü vazifesi yaparak parçaların birbirinden tamamen bağımsız hale gelmesine mani olmuşlardır.

Batayneh ve diğ. (2008) tarafından yapılan çalışmada Ürdün bölgesel endüstrisinden elde edilen atık tekerleklerden kırıntı kauçuk malzemesi kullanılmıştır. Hurda tekerlek malzemeleri çeşitli araçların tekerlek hurdalığından (arabalar, kamyonlar) temin edilmiştir. Araştırmada Ürdün'de giderek artan hurda katı atıkların yeniden değerlendirilmesi amacıyla dört çeşit hurda tekerlek malzemesi partikül numaralarına göre sınıflandırılmıştır. Bu tekerlekler yarılmış, rendelenmiş (partikül büyüklüğü 300-400mm uzunluğunda 100-230 mm genişliğinde), öğütülmüş kauçuk (19-0,15mm) ve kırıntı kauçuk (4,75-0,075mm) tekerleklerden oluşmuştur. Kırıntı kauçuk beton karışımında hacimce %20, %40, %60, %80 ve %100 gibi değişen oranlarda kullanılmıştır.

Beton karışımında kırıntı kauçuk ilavesi karışımın birim ağırlığı ve slumpının azalmasına sebep olmuştur. Ölçülen slump da azalmaya rağmen karıştırma ve dökmedeki gözlemlere göre karışımındaki kauçuk miktarının artmasına rağmen kontrol karışıma oranla hala işlenebilirlik özelliğini kaybetmemiştir.

Kırıntı kauçuk ilavesi test edilen tüm mukavemet değerlerini düşürmüştür. Karışımındaki yüksek oranda kırıntı kauçuk ihtivasi, düşük basınç ve eğilme dayanımını göstermektedir. %40 oranına kadar olan kauçuk muhtevası, basınç gerilmesini %50' lere kadar düşürmüştür. Kauçuk muhtevası %40-%100 arasındayken dayanımı %90 oranına kadar azaltmaktadır. Bu yüzden mukavemetin esas rol oynadığı durumlarda söz konusu karışımların kullanımı mümkün olmayacaktır.

Kauçuk ilavesiyle basınç mukavemeti azalırken aynı oranda yarmada çekme dayanımının da azaldığı tespit edilmiştir. Daha sert yoğun agrega yerine, az yoğunlukta kauçuk kullanımı betonda gerilmeye neden olarak betonda küçük çatlaklara ve dolayısıyla mukavemet azalmasına neden olmuştur. Beton mukavemetinin özellikle çimento hamur kalitesi, agrega aderansı, agrega sertliği ve yoğunluğuna bağlı olduğu anlaşılmıştır.

Yapılan test sonuçlarına göre atık kauçukların %20,%40,%60 ve hatta %100 oranlarında kullanılması hem çevreci bir yaklaşımla normal şartlar altında geriye dönüşümü zor olan atık malzemelerin yeniden kullanılmasını hem de yapı ihtiyacının göçler ve giderek artan nüfusla arttığı günümüzde yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğini sağlamıştır.

Ganjian ve Arkadaşları (2009) tarafından yapılan araştırmada, Beton karışımında agrega yerine %5, 7.5 ve 10 oranında atık halindeki kırıntı kauçuk esaslı tekerlekler kullanmış ve kauçuk esaslı betonun içeriğini incelemek için 2 set beton numunesi hazırlamıştır. İlk sette farklı yüzdelerdeki ufalanmış kauçuk maddeleri, kaba agrega ile yer değiştirilirken ikinci sette toz haline getirilmiş kauçuk maddeler çimento ile yer değiştirilmiştir. Belirlenen standart durabilite ve mekanik testler yapılarak sonuçları analiz edilmiştir.

Mekanik testler basınç, gerilme, eğilme ve elastisite testlerinden oluşmaktadır. Durabilite testi su emme ve permeabilite testlerinden oluşmaktadır. %5 karışım oranına kadar herhangi belirgin bir değişiklik olmazken daha yüksek yüzdelerde belirgin değişimler olmuştur. Beton karışımına agrega yerine ufalanmış kauçuk eklenen numunelerde mukavemet değerleri azalmıştır. Aynı şekilde çimento yerine toz halindeki kauçuk ilave edilen numunelerde de mukavemet azalması görülmüştür. Bunun nedeni de kauçuk parçacıklarının normal agregaya oranla daha yumuşak olması neticesinde basınç altında daha kırılğan bir çevre oluşturmasından kaynaklıdır denilmektedir. Yine beton karışımında agreganın elastisite modülünün yüksek olması betonun elastisite modülünü doğru orantılı olarak etkilemektedir. Betona agrega olarak kauçuk katılması sonucunda elastisite modülünde düşüş gözlemlenmiştir.

Çekme gerilmesi değeri de incelendiğinde her iki karışım da şahit numuneye oranla azalma tespit edilmiştir. Bunun sebeplerinden biri agrega veya çimento yerine kullanılan kauçuk malzemesi ile çimento arasında oluşan geçiş bölgelerinden kaynaklanan davranış değişikliğinden söz konusu geçiş bölgelerinde mikro çatlaklar oluşmaktadır. Bu durumda mevcut beton kesitini zayıflatmıştır diye açıklanmaktadır.

Basınç gerilmesiyle aynı olarak eğilme gerilmesinde mukavemet değerlerinin azalması aynı nedene dayandırılmıştır. Agregaya yerine kullanılan kauçuk numunesi ile çimento arasında kauçuk yüzeyinden kaynaklanan bağlayıcılığın tam oluşmaması nedeniyle eğilme gerilmesinde azalma görülmüştür. Betonda kaba kauçuk ve toz halindeki kauçuğun davranışı incelendiğinde toz halindeki numunenin karışıma entegrasyonu daha iyi olduğundan eğilme mukavemeti daha yüksektir ifadesi kullanılmıştır.

Kauçuk ilavesiyle su permeabilitesi artmaktadır. Özellikle kauçuk arttıkça su permeabilite derinliğinin daha fazla olduğu açıklanmıştır. Permeabilite artışı aynı zamanda beton karışımında çimento miktarının azalmasından da kaynaklanmaktadır. Kauçuk katkının agrega yerine kullanıldığı durumlarda su emme kauçuk arttıkça artmış, çimento yerine kullanıldığı durumlarda azalmıştır. Yazarlar bu durumu kauçuğun yerleşerek su emmeyi azalması şeklinde yorumlamışlardır.

Bashar ve Najwa (2009), yapmış olduğu araştırmada kauçuk katkılı betonun mekanik özelliklerini incelemiştir. Beton karışımında hacimce %10, %15, %20, %30 oranlarında kauçuk, ince agregayla yer değiştirilmiştir. Üç farklı su / çimento oranıyla (0.41,0.57 ve 0.68) toplamda 30 farklı numune 28 günlük basınç deneyi, eğilme deneyi, elastisite modülü tayini deneylerine tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre yüksek oranda kauçuk katkısı içeren betonda katkısız betona göre daha fazla mukavemet kaybı olduğu tespit edilmiştir.

Topçu ve Bilir (2009), yapmış oldukları araştırmada kendiliğinden yerleşen beton karışımında agregayla m³'te ağırlıkça 60kg,120 kg ve 180 kg olmak üzere kauçuk yer değiştirilerek toplamda dört grup döküm yapılmıştır. Normal betonda kauçuk katılması çökmeyi artırırken kendiliğinden yerleşen betonda katkıyla beraber kauçuk katılması yayılmayı arttırmaktadır. Kendiliğinden yerleşen betonun mekanik ve durabilite özellikleri (Basınç mukavemeti, yüksek sıcaklık ve donmaya karşı direnç) kauçuk miktarının artışıyla düşüş göstermektedir.

Khaloo ve diğ. (2008), yapmış oldukları araştırmada hacimce toplam agreganın %12.5, %25, %37.5 ve %50'si oranında kauçuk kullanılmıştır. Tek eksenli basınç deneyi sonucuna göre betonun kırılma davranışında artma meydana gelerek buna bağlı olarak mukavemet değerlerinde düşüş tespit edilmiştir. Kauçuklu beton donatısız betona göre daha hafif olup işlenebilirliği daha zordur, fakat kaba kauçuk yerine ince kauçuk kullanıldığında işlenebilirliği kabul edilebilir sınırlardadır ve hatta agreganın %13'ü oranında kauçuk kullanımına kadar çökme değerleri artmaktadır. Basınç dayanımındaki düşüş %25 oranından sonra aşırı yükselmektedir. Bu durumda %25 oranından fazla kauçuk katılması doğru olmadığı savunulmuştur. Yine kauçuk katkılı betonun donatısız betona oranla basınç altında daha sünek davranış gösterdiği ve donatısız betonun aksine kauçuklu betonda ani bir göçmenin gerçektelemediği tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan araştırmada kauçuk katkılı betonun sesi absorbe etme özelliğine sahip olduğu belirtilmektedir.

4. MALZEME VE YÖNTEM

4.1. Agregas

Çalışmada 0-3 mm aralığında doğal kum, 0-5 mm aralığında kırma kum, 5-12 mm aralığında kırmataş (mıcır 1) ve 12-20 mm aralığında kırmataş (mıcır 2) malzemesi kullanılmıştır. Ayrıca çalışmanın ana ögesi olan kauçuk agrega, granül hale getirilmiş kauçuk kablo atıklarından elde edilmiştir ve ince agrega boyutundadır (Şekil 4.1). İnce ve iri agregaların özellikleri aşağıdaki tablolarda verilmektedir (Tablo 4.1, Tablo 4.2). Ayrıca ince agrega granülometreleri Şekil 4.2’de, beton içine giren agrega karışımının granülometresi Şekil 4.3’de görülmektedir. Çalışmada kullanılan kumun sorunlu bir malzeme olduğu ve içinden fazla miktarda deniz kabuğu çıktığı bilinmektedir. Bu nedenle yapılan beton karışımında kırma kum ile kauçuğun granülometreleri daha yakın olmasına rağmen (Şekil 4.2), kauçuğun doğal kum ile yer değiştirilmesi uygun görülmüştür.



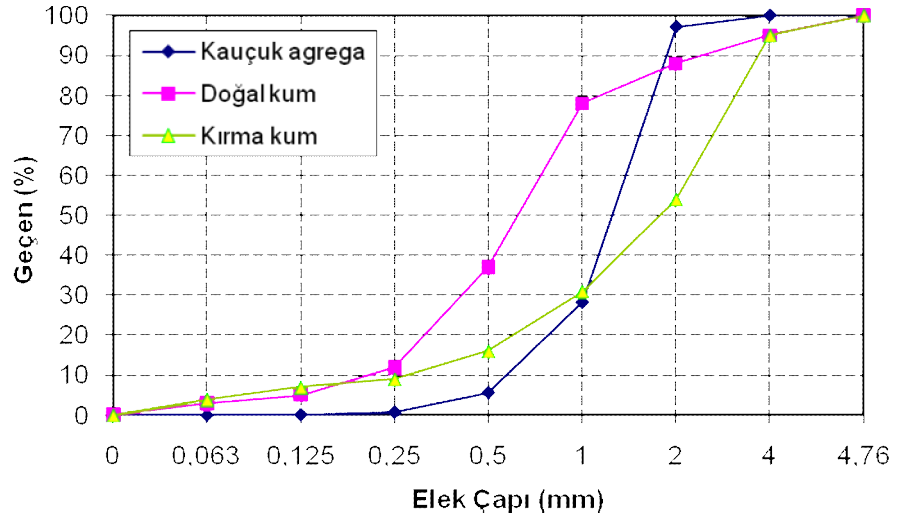
Şekil 4.1: Granül haldeki kablo atığından elde edilmiş kauçuk

Tablo 4.1: İnce Agregaların özelliklerini gösteren tablo

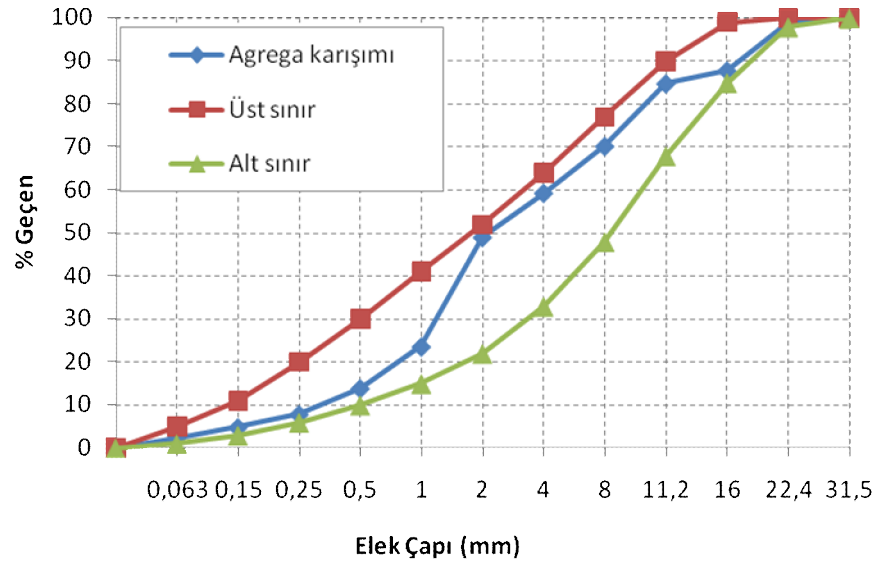
İnce Agregalar	İncelik Modülü	Birim Ağırlık (gr/cm ³)	Su emme
Kırma kum	3,91	2,65	1,80
Doğal kum	2,87	2,58	1,60
Kauçuk	3,68	1,56	12,7

Tablo 4.2: İri Agregaların özelliklerini gösteren tablo

İnce Agregalar	Elek Aralığı	Birim Ağırlık (gr/cm ³)	Su emme
Mıdır 1	5-12	2,70	0,60
Mıdır 2	12-20	2,72	0,40



Şekil 4.2: İnce agregaların granülometri egrileri



Şekil 4.3: Agregasyon karışımının granülometri eğrisi

4.2. Çimento

Bu çalışma kapsamında bütün deneylerde Kocaeli Nuh Çimento Fabrikası AŞ.'nin ürettiği PÇ 42.5 Portland Çimentosu (CEM I 42.5 R) kullanılmıştır. Bu çimentoya ait kimyasal, fiziksel ve mekanik yönden analizleri firma tarafından yapılmış olup analiz sonuçları Tablo 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6'da verilmektedir.

Tablo 4.3: Çimento kimyasal analizi

Kimyasal Bileşim (*)	%
SiO ₂	20,5
Al ₂ O ₃	4,65
Fe ₂ O ₃	3,40
CaO	64,7
MgO	1,02
SO ₃	2,71
Çözünmeyen Kalıntı	0,60
Kızdırma Kaybı	2,15
Serbest Kireç	1,03
Toplam Alkali Na ₂ O+0,658 K ₂ O	0,59
Klorür	0,008

Tablo 4.4: Çimento ana bileşenleri

Minerolojik Bileşim	%
C3S	59,7
C2S	13,7
C3A	6,57
C3AF	10,3

Tablo 4.5: Çimentonun fiziksel özellikleri

Özellik	Değer	
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,13	
Kıvam (Su/Çimento,%)	28	
Priz Başl. Ve Bitiş	Başl.	Son
	153	188
Hacim Sabitliği (Le Chatelier,mm)	2	

Tablo 4.6: Çimentonun dayanım özellikleri

Basınç Dayanımı	MPa
2 gün	30,2
7 gün	51,1
28 gün	62,2

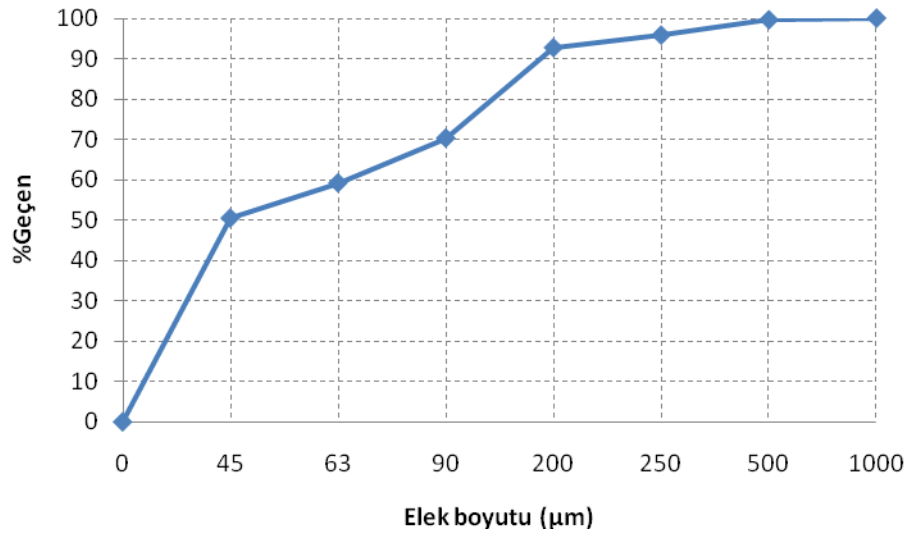
4.3. Uçucu Kül

Bu çalışma kapsamında tüm deneylerde Çayırhan Termik Santrali uçucu külü kullanılmıştır. Uçucu külün özellikleri Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7: Çayırhan uçucu külünün kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Bileşim (%)	ÇAYIRHAN
SiO ₂	50,2
Al ₂ O ₃	12,7
Fe ₂ O ₃	9,00
CaO	12,5
MgO	4,33
Na ₂ O	2,75
K ₂ O	2,50
SO ₃	0,39
K.K.	0,54
Ç.K.	68,7

Fiziksel Özellikler	
Özgül ağırlık (g/cm ³)	2,04
İncelik (blaine) (cm ² /g)	2120



Şekil 4.4: Uçucu külün granulometri eğrisi

4.4. Kimyasal Katkı

Bu çalışma kapsamında bütün deneylerde ayrışma riski olmadan veya karışım suyunu artırmadan uygun işlenebilirliği sağlayabilmek amacıyla sikament FFN süperakışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Firmanın katkısı için tespit ettiği teknik özellikler Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8: Süperakışkanlaştırıcı katkıının teknik özellikleri

Kimyasal Yapı	Melamin sülfonat polimeri esaslı sıvı
Yoğunluk	1.15 - 1.19 kg/l, 20 ' de
pH değeri	7 - 11
Donma Noktası	-10 °C
Toplam Klorür İyon İçeriği	En fazla % 0,1 klorür içermez (TS-EN 934-2)
Alkali Miktarı (%Na ₂ O Eşdeğeri olarak)	En fazla %7 (TS-EN 934-2)
Aşınma Dozlama Etkisi	Yanlışlıkla belirtilen yüksek dozda kullanılırsa priz süreleri uzayabilir. Bu durumda erken kurumayı önlemek için beton sertleşene kadar nemli tutulmalıdır.

4.5. Su

Bu çalışma kapsamında hazırlanan bütün beton numunelerde karma suyu olarak Kocaeli Üniversitesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarındaki şebeke suyu kullanılmıştır.

4.6. Beton

Çalışmada kauçuk miktarları toplam agrega hacmi oranında doğal kum ile değiştirilerek, 4 seri beton üretilmiştir. Üretilen beton seriler kauçuk agrega karışım oranlarına göre şöyle kodlanmıştır.

K = Kauçuk agrega içermeyen kontrol numunesi.

P5 = İçerisinde hacimce %5 oranında kauçuk agrega bulunan numune.

P10 = İçerisinde hacimce %10 oranında kauçuk agrega bulunan numune.

P15 = İçerisinde hacimce %15 oranında kauçuk agrega bulunan numune.

Hazırlanacak numunelerin karışım oranları TS 802'ye uygun olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada karışım oranları hazırlanırken maksimum agrega çapı 20 mm alınmıştır. Beton içerisine toplam agreganın hacmine göre %5, 10, ve 15 oranlarında sırasıyla doğal kum ile yer değiştirilecek şekilde kauçuk katılarak hazırlanan malzemelerin ağırlıkça ve hacimce karışım miktarları Tablo 4.9'da verilmektedir.

Tablo 4.9: Karışım oranları

Malzeme	Hacim (dm ³)				Ağırlık (kg)			
	K	P5	P10	P15	K	P5	P10	P15
Çimento	96,15	96,15	96,15	96,15	300,00	300,00	300,00	300,00
Su	155,10	155,10	155,10	155,10	155,10	155,10	155,1	155,1
Min.Katkı	28,57	28,57	28,57	28,57	60,00	60,00	60,00	60,00
Kim.Katkı	3,25	3,25	3,25	3,25	3,90	3,90	3,90	3,90
Doğal kum	139,38	122,66	105,93	89,21	359,61	316,46	273,31	230,15
Kırma kum	195,14	195,14	195,14	195,14	517,12	517,12	517,12	517,12
Mıdır 1	174,23	174,23	174,23	174,23	470,42	470,42	470,42	470,42
Mıdır 2	188,17	188,17	188,17	188,17	511,82	511,82	511,82	511,82
Kauçuk	-	16,73	33,45	50,18	-	26,09	52,19	78,28
hava	20,00	20,00	20,00	20,00	-	-	-	-
Toplam	1000,00	1000,00	1000,00	1000	2377,98	2360,91	2343,85	2326,79

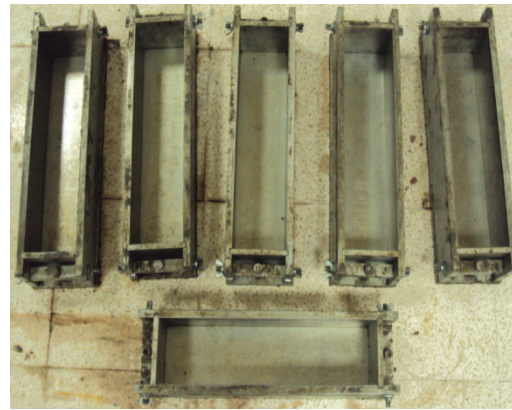
5. DENEYSEL ÇALIŞMA ve DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, beton numuneler hacimce toplam agrega hacminin %5, 10, 15'i oranlarında kablo atığı kauçuk ile doğal kum yer değiştirilerek hazırlanmıştır. Bir firmadan geri dönüştürülmek üzere parçalanmış olarak hazırlanan elektrik kabloları temin edilerek betona katılmıştır. Hazırlanan beton numuneler 150x150x150 mm küp ve 150x300 mm silindir ve 400x100x100 mm eğilme kalıplarına tekniğine uygun bir şekilde yerleştirilmiştir. Beton içerisine hacimce %5, 10, ve 15 oranlarında atık kauçuk doğal kum ile yer değiştirilerek elde edilen numuneler üzerinde birim ağırlık, su emme, çökme, basınç mukavemeti, eğilme mukavemeti, ultrases geçiş hızı ve aşınma deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmada önce taze betonun fiziksel özellikleri belirlenmiş ve daha sonra 3 gün, 7 gün ve 28. günün sonunda sertleşmiş haldeki betonun fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Hazırlanan beton numuneler basınç dayanımları için 150x150x150 mm küp ve elastisite modülü tayini için 150x300 mm silindir, eğilme deneyleri için 100x100x400 mm'lik kalıplara tekniğine uygun bir şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 5.1 a ve b' de deneyde kullanılan kalıplar görülmektedir.



a)



b)

Şekil 5.1: Deneyde kullanılan kalıpla

5.1. Taze Beton Deneyleri

5.1.1. Çökme deneyi

Betonların kıvamının tayininde slump deneyi kullanılmış olup, deney TS EN 12350-2'ye göre yapılmıştır. Koni biçimindeki çökme hunisi iç yüzeyi deneyden önce nemlendirilerek, huniye taze beton üç katman halinde her katmanın 25 kere şişlenmesiyle yerleştirilmiştir. Orta ve üst katmanların yerleştirilmesi sırasında şişin alttaki katmana 2.5 cm civarında girmesi sağlanmış, huni son şişlemeden sonra tamamen doldurularak numune yüzeyi düzeltilmiştir. Daha sonra huni yukarı doğru çekilerek Şekil 5.2'de görüldüğü gibi yan tarafa konmuş ve beton üst yüzeyi ile arasındaki fark çökme değeri olarak kaydedilmiştir (Topçu, 2006).

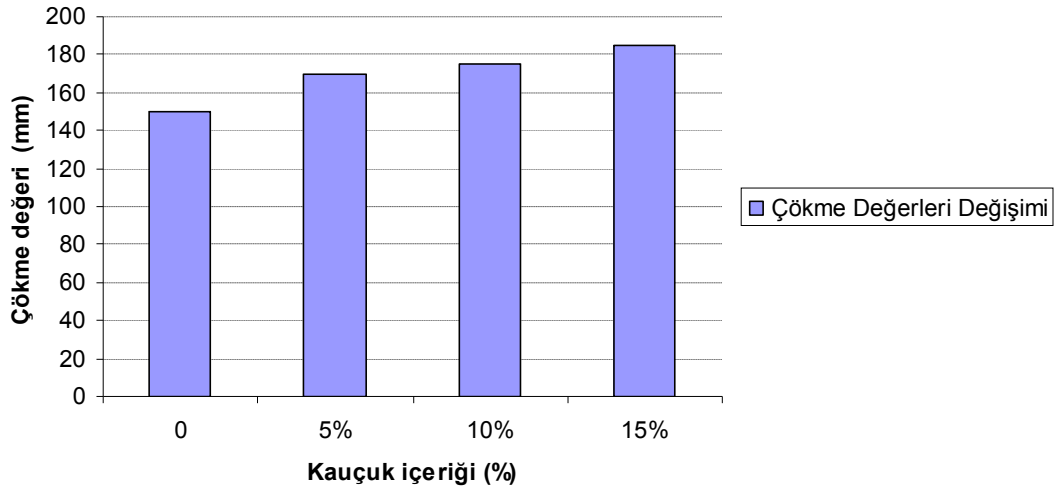


Şekil 5.2: Çökme deneyinin yapılışı

Bu çalışmada beton içerisine toplam agreganın hacmine göre sırasıyla %5, %10, ve %15 oranlarında kauçukla doğal kum yer değiştirecek şekilde tasarım yapıldığından kontrol numunesi de dahil olmak üzere her tasarım için sabit su miktarı kullanılması sonucunda Tablo 5.1' deki slump değerleri tespit edilmiştir.

Tablo 5.1: Taze betonda çökme miktarı değerleri

Numune Adı	K	P5	P10	P15
Kauçuk İçeriği	0	5%	10%	15%
Çökme Miktarı (mm)	150	170	175	185



Şekil 5.3: Çökme deneyi sonuç grafiği

Tablo 5.1 ve Şekil 5.3 incelendiğinde, beton içerisindeki kauçuk agrega miktarı arttıkça çökme değerlerinde düzenli artışların meydana geldiği görülmektedir. Çökme miktarındaki kauçuk miktarı arttıkça oluşan artışın, kauçukların doğal kuma göre incelik modülünün yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca plastik yapısının esnek olmasının da çökme artışını etkilediği düşünülmektedir. Daha önce yapılan literatür araştırmalarında da ince kauçuğun düşük oranlarda kullanımının (ince agrega hacimsel yüzdesinin %15'ine kadar) beton çökmesini artırdığı görülmüştür (Khaloo ve diğ., 2008).

5.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

5.2.1. Birim ağırlık ve su emme deneyleri

TS EN 12390-7'e uygun sertleşmiş beton birim ağırlığı numunenin doygun kuru yüzey ve etüv kurusu durumuna göre hesaplanmıştır. Suyu doygun numune kütlesi kilogram olarak kaydedilmiş (W_{dyk}), aşağıdaki formülde gösterildiği gibi numune hacmine bölünerek ($\Delta_{dyk}=W_{dyk}/V$) hesaplanmıştır:

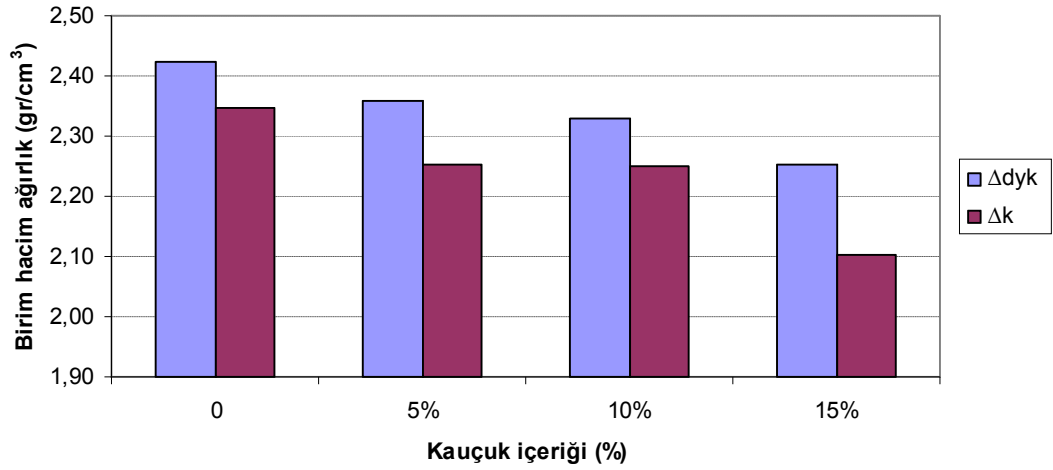
Etüv kurusu durumdaki numunenin birim ağırlığını bulmak için, numune (105 ± 5) °C sıcaklıktaki hava dolaşımli etüvde, 24 saat aralıkla yapılan tartımdaki kütle değişimi % 0,2 den daha az hale gelinceye kadar tutulmuş, soğutulduktan sonra tartılmıştır (W_k). Etüv kurusu numunenin okunan kütlesi kilogram olarak kaydedilmiş ve numune hacmine bölünerek ($\Delta_k=W_k/V$) hesaplanmıştır.

Tablo 5.2: Sertleşmiş betonda birim hacim ağırlık değerleri

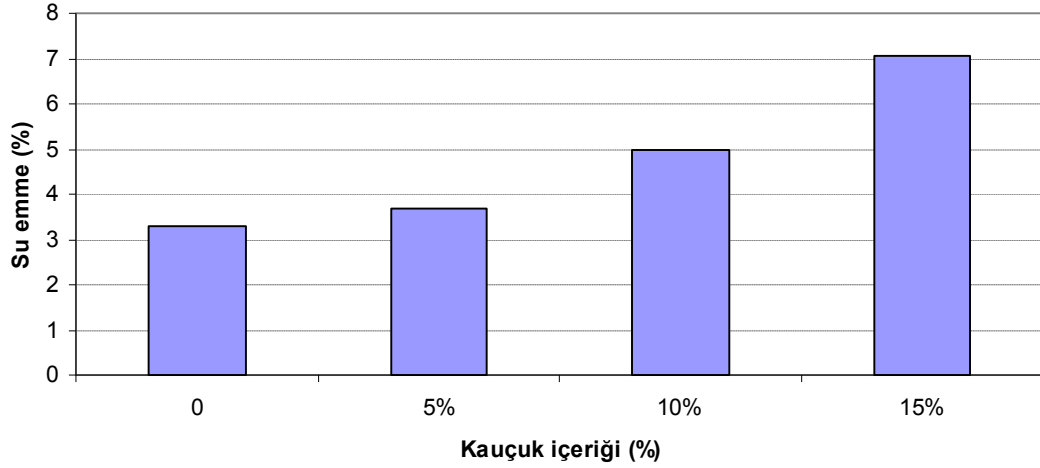
Numune Adı	Lastik İçeriği (%)	Δ_{dyk} Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Δ_k Birim hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Δ_k Birim hacim Ağırlık Azalma Oranı %	Δ_k Birim hacim Ağırlık Azalma Oranı %
K	0	2,42	2,35	0,00	0,00
P5	5%	2,36	2,25	2,63	4,04
P10	10%	2,33	2,25	3,87	4,17
P15	15%	2,25	2,10	7,09	10,4

Beton numunelerin kuru ve doygun kuru yüzey ağırlıkları arasındaki fark ağırlıkça su emme değerini verdiğiinden, su emme değerleri de yüzde cinsinden Tablo 5.2'ye işlenmiştir. Bu değerlere bağlı olarak da Şekil 5.4 oluşturulmuştur.

Tablo 5.2 ve Şekil 5.4 incelendiğinde, beton içerisindeki kauçuk agrega miktarı arttıkça birim hacim ağırlık değerlerinde de düzenli bir azalma tespit edilmiştir. Bunun nedeni de kauçuğun birim hacim ağırlığının agreganınkine oranla daha düşük olmasıdır.



Şekil 5.4: Sertleşmiş betonda birim ağırlık değerleri grafiği



Şekil 5.5: Beton içinde kauçuk içeriğine bağlı su emme miktarının değişimi

Şekil 5.5’de görüldüğü gibi su emme miktarı kauçuk miktarının artışına bağlı olarak artmıştır. Bu durum kauçuk içeriğinin beton içinde daha çok boşluk oluşturduğunun bir göstergesidir. Aslında kauçuk geçirimsiz gibi görünmesine karşın 4. bölümde de belirtildiği üzere daha çok su emen bir malzemedir. Bunun yanında başlangıçta doğal kuma göre ayarlanan düzgün beton granülometrisi, kauçuk katıldığında kauçuğun doğal kumdan daha farklı bir granülometriye sahip olmasından ve incelik modülünün daha yüksek olmasından dolayı olumsuz etkilenmektedir. Betonda ince madde miktarı düşüşü de su emmeyi arttırmaktadır.

5.2.2. Ultrasonik ses deneyi

Bu deney malzeme içerisinde ses hızının geçiş süresinin ölçümü esasına dayanmaktadır. TS EN 12504-4'e göre uygulanan metotla beton kalitesinin belirlenmesi için, ölçümlerin yüksek bir hassasiyetle yapılması gerekmektedir. Ultrasonik ses cihazı ses dalgasının, betonun karşılıklı iki yüzeyi arasındaki bir mesafeyi ne kadar sürede geçtiğini ölçmektedir. Mesafe cihazdan elde edilen ses frekansına bölünerek km/sn cinsinden değer elde edilmektedir. Hesaplanan dalga hızı değeri ile basınç dayanımı ve diğer özellikler arasındaki ilişki yaklaşık olarak bulunmaktadır.



a)



b)

Şekil 5.6: Ultrasonik ses deneyi yapılırken

Bu çalışmada betonun ultrases geçiş süresini elde edebilmek için 100x100x400 mm prizma beton numuneleri kullanılmıştır. Numunelerin 3,7, ve 28 günün sonunda eğilme deneyine tabi tutulmadan önce 5 numune ortalaması alınarak ultrases geçiş değerleri bulunmuştur (Şekil 5.6 a,b). Cihazın alıcı ve gönderici uçlarına gres yağı sürülerek karşılıklı ve paralel olacak şekilde yerleştirilmiştir. Uçlar beton ölçüm noktalarına sıkıca bastırılarak, cihazdan geçiş süresi mikro saniye (μ s) cinsinden okunmuş ve saniyeye çevrilmiştir. Okunan ses geçiş süresi ses hızına aşağıdaki bağıntı ile çevrilmiştir ve Tablo 5.3'e işlenmiştir. Aynı tablo üzerinde kontrol numunesine göre azalma oranları da görülmektedir.

$$V=L/t$$

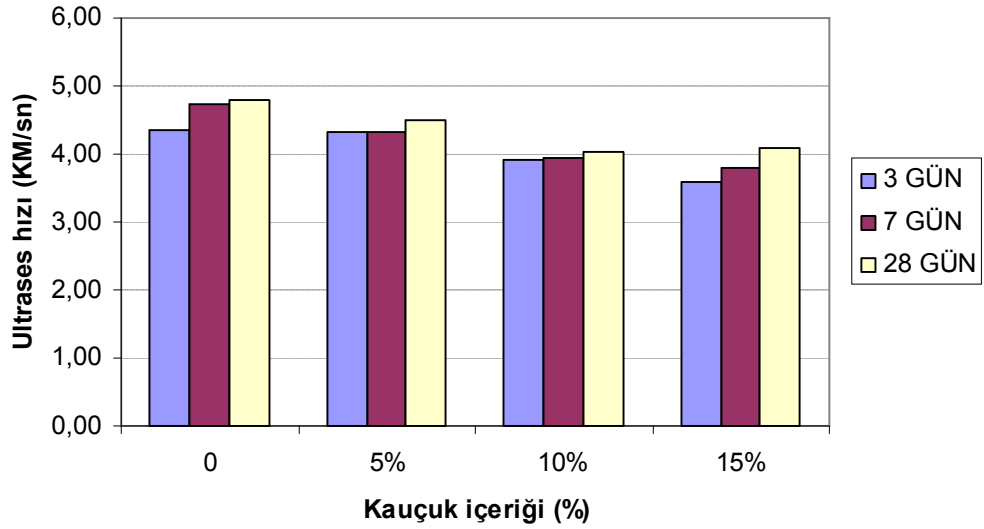
V: ses hızı, (km/s)

t: ses geçiş süresi, (s)

L: ölçü boyu, (km)

Tablo 5.3: Numune tipine bağlı ultrases hızı değişimi

Numune Adı	Ultrases hızı (km/sn)			28 Günlük Azalma Oranı (%)
	3 gün	7 gün	28 gün	
K	4,34	4,74	4,79	0,00
P5	4,32	4,32	4,49	6,21
P10	3,90	3,95	4,04	15,7
P15	3,60	3,78	4,10	14,4



şekil 5.7: Kauçuk oranına bağlı ultrases hızı değişimi grafiği

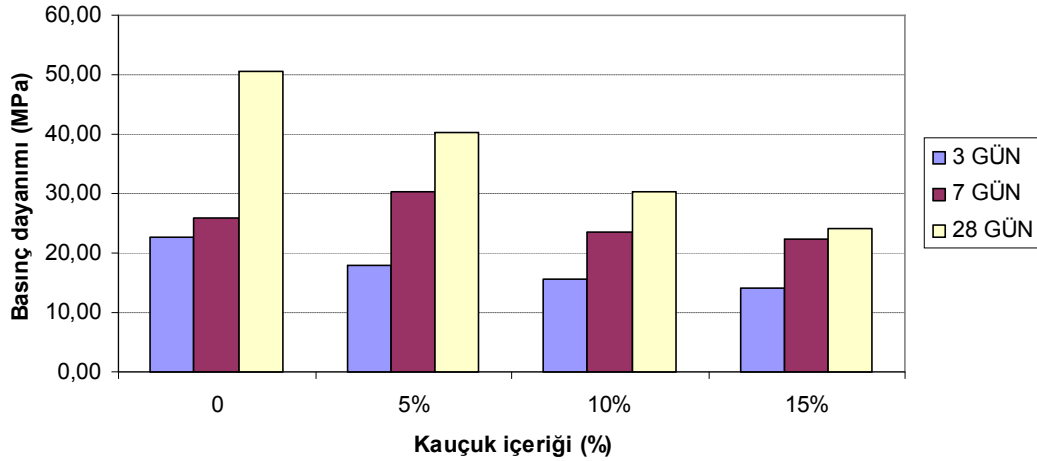
Tablo 5.3 ve şekil 5.7 incelendiğinde, beton içerisindeki kauçuk agrega miktarı arttıkça ultrases hızı da azalmaktadır. Bu durum beton içinde boşluk miktarının arttığına işaret etmektedir.

5.2.3. Basınç deneyi

TS EN 12390-3'e göre yapılan basınç dayanımı deneylerinde 150x150x150 mm ölçülerindeki küp numuneler kullanılmıştır. 3, 7 ve 28 günlük olarak 5'er numuneye basınç presi yardımıyla basınç gerilmesi uygulanmıştır. Yükleme hızı standartta belirtildiği gibi darbe etkisi yapmayacak şekilde 0.2 ± 1 MPa (N/mm) saniyelik uniform gerilme artışı sağlayacak şekilde uygulanmıştır. Deney sonuçları Tablo 5.4 ve Şekil 5.8'de verilmektedir.

Tablo 5.4: Numune tipine bağlı basınç dayanımı değişimi tablosu

Numune Adı	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)			28 günlük Azalma Oranı (%)
	3 gün	7 gün	28 gün	
K	22,79	28,4	50,7	0
P5	18,00	30,1	40,4	20,2
P10	15,48	23,5	30,2	40,4
P15	14,06	22,3	24	52,6



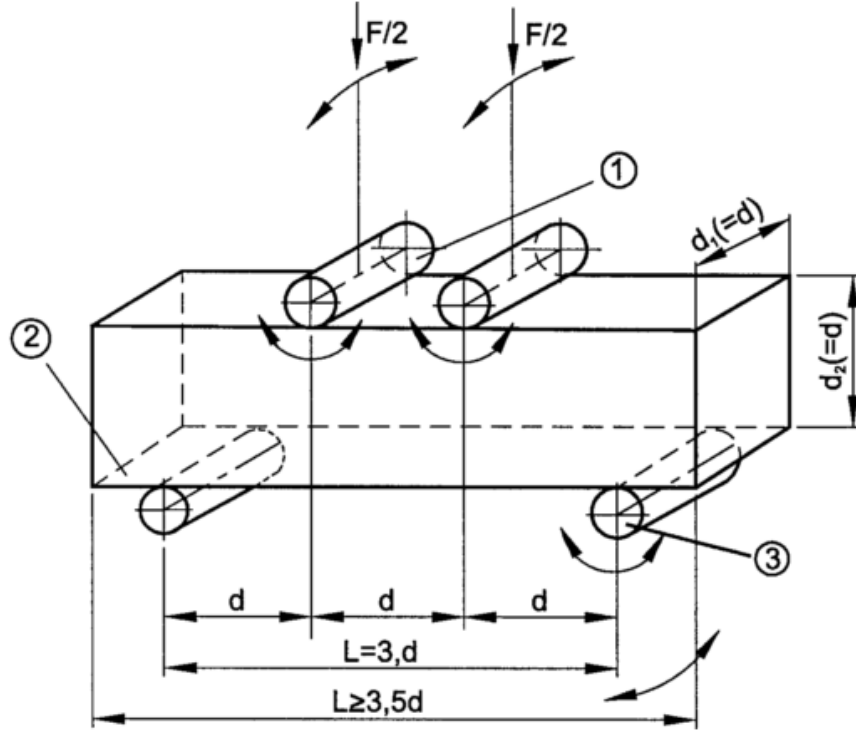
Şekil 5.8: Kauçuk oranına bağlı basınç değişimi grafiği

Tablo 5.4 ve Şekil 5.8’de görüldüğü gibi beton içerisindeki kauçuk agrega miktarı arttıkça basınç dayanımında da düzenli bir azalma meydana gelmektedir. Özellikle %5 oranından daha fazla kauçuk katılmasıyla mukavemetlerin şahit numunelere göre ciddi şekilde azaldığı tespit edilmiştir. Bu azalma 3, 7 ve 28 günler için paralellik göstermektedir. %5 kauçuk içeriği 3 ve 7 günlerde şahit numuneye yakın değerler vermiştir. Yalnız kauçuk miktarının artışına bağlı olarak 7 günden sonra dayanım kazanma durumu daha da azalmıştır. Özellikle %15 kauçuk içeriğinde neredeyse 7 ve 28 günler arasında fark olmadığı açıkça görülmektedir. Kontrol numunesinde ise 7 ve 28 günler arasındaki ciddi seviye farkı uçucu külün ilk günlerde dayanım kazanma durumunu geciktirmesine bağlanmıştır.

Ganjian ve diğ. (2009) belirttiği gibi beton içerisinde kullanılan kauçuklar yumuşak bölgeler oluşturarak betonun rijitliğini azaltmakta ve bu bölgeler etrafındaki çatlak oluşumlarına neden olarak beton mukavemetinde düşüslere yol açmaktadır.

5.2.4. Eğilme deneyi

Eğilme deneylerinde tek nokta ya da iki nokta yüklemesi tercih edilebilmektedir. Bu çalışmada, TS EN 12390-5’e uygun eğilme dayanımını bulabilmek için numuneler Şekil 5.9’de gösterildiği gibi iki noktadan eşit aralıklarla yüklenecek şekilde yerleştirilerek test edilmiştir. Yükleme hızı, 0,04-0,06 MPa/s arasında sabit gerilme artış hızı sağlayacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 5.9: Deney numunesini yükleme düzeneği (iki noktadan yükleme)

Çalışmada 100x100x400 mm prizma beton numuneleri 3, 7 ve 28 günlük kürlenme sonunda Şekil 5.10'da gösterildiği gibi orta noktasından kırılıncaya kadar yüklenmiş ve eğilme mukavemetleri $\sigma_{eç} = Fl/d_1d^2$ formülü ile hesaplanmıştır.

Burada:

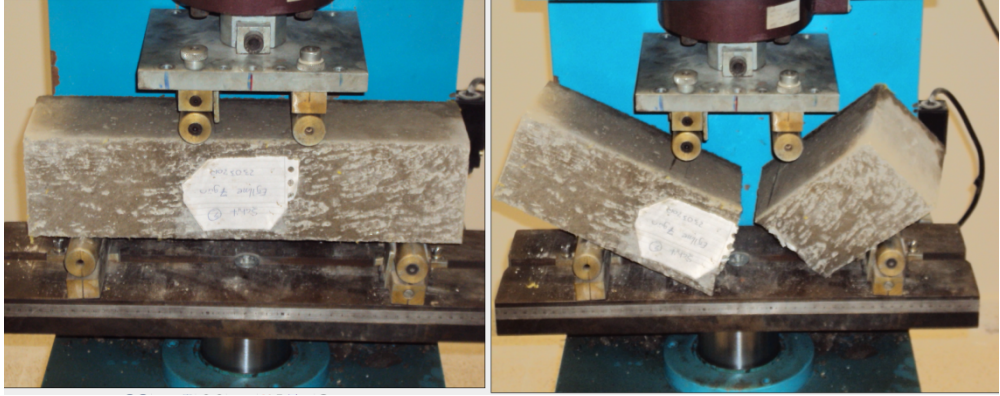
$\sigma_{eç}$ = Eğilmeye çekme dayanımı (N/mm²),

F = Maksimum kırılma yükü (N),

L = Serbest açıklık (mm),

d_1 = Kırılma kesitinin ortalama genişliği (mm) ve

d = Kırılma kesitinin ortalama yükseklik (mm).

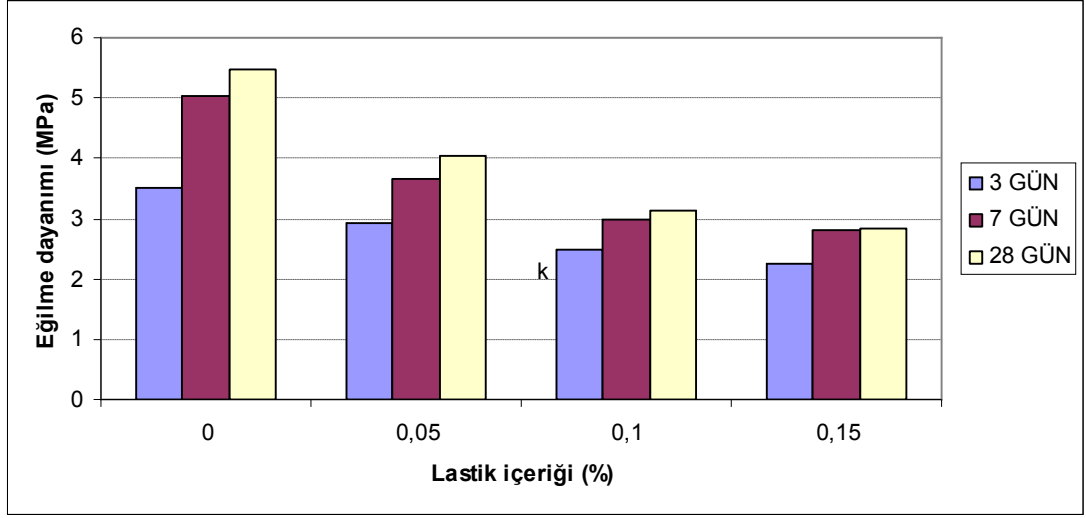


Şekil 5.10: Laboratuvar ortamındaki eğilme deneyinin yapılışı

3 gün, 7 gün ve 28.günün sonunda 100x100x400 mm prizma numuneler üzerinde yapılan eğilme dayanımı sonuçları Tablo 5.5 ve Şekil 5.11’de verilmektedir. Tabloda kontrol numunesine göre azalma oranları da görülmektedir.

Tablo 5.5: Kauçuk oranına bağlı eğilme dayanımı değişimi tablosu

Numune Adı	Kauçuk İçeriği (%)	Ortalama Eğilme Dayanımı (N/mm ²)			28 günlük Azalma Oranı (%)
		3 gün	7 gün	28 gün	
K	0	3,52	5,03	5,47	0,00
P5	5%	2,93	3,66	4,03	26,3
P10	10%	2,50	3,00	3,10	42,9
P15	15%	2,25	2,82	2,85	47,9



Şekil 5.11: Kauçuk oranına bağlı eğilme dayanımı değişimi grafiği

Tablo 5.5 ve Şekil 5.11’de incelendiğinde, betonun eğilme dayanımı grafiğinin de basınç grafiği ile paralellik gösterdiği görülmektedir. Betonda kauçuk miktarı arttıkça eğilme dayanımının da azaldığı görülmektedir ve yine %5 kauçuktan fazla katılmasının 7 ve 28 gün arasındaki farkı azalttığı görülmüştür. Eğilme dayanımı azalışı %10 kauçuk ilavesinden sonra yavaşlamıştır ve %15 kauçuk ilavesine yakın değer vermiştir.

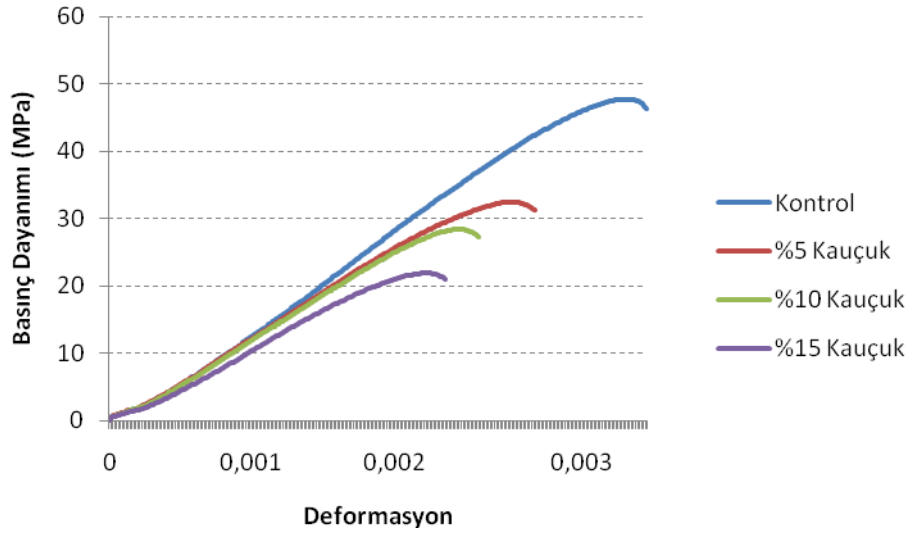
5.2.5. Elastisite modülü tayini

Beton, gevrek ve farklı fazlardan oluşan bir kompozit olduğundan elastik bir malzeme değildir. Ancak küçük gerilmeler altında elastik özellik gösterebilir. Teorik olarak bu basınç dayanımının % 30 ile 40’ı arasındaki bir değere karşılık gelir. Betonun elastik davranışını açıklamakta kullanılan σ - ϵ ilişkisi deneysel yöntemlerle belirlenebilir.



Şekil 5.12: Elastisite modülü tayini deneyi

Şekil 5.12’de TS 3502’e göre 150x300 mm’lik standart silindir numuneler üzerinde elastisite modülü bulmak için yapılan basınç testi görülmektedir. Betonun düşey deformasyonunu bulabilmek ve basınç dayanımı ile ilişki kurabilmek amacı ile bir adet skalalı geyç (dial gauge) kullanılmıştır. Şekilde görülen geyçlerden biri yatay deformasyon içindir ve bu deneyde devre dışı bırakılmıştır. 28 günlük numuneler üzerinde deneysel olarak elde edilen dayanım ve deformasyon verileri yardımı ile elastisite modülleri hesaplanmıştır. Bunun haricinde numuneler arasında eğilimsel farkları göstermek amacı ile deney cihazından toplanan veriler yardımı ile Şekil 5.13’teki grafik oluşturulmuştur.

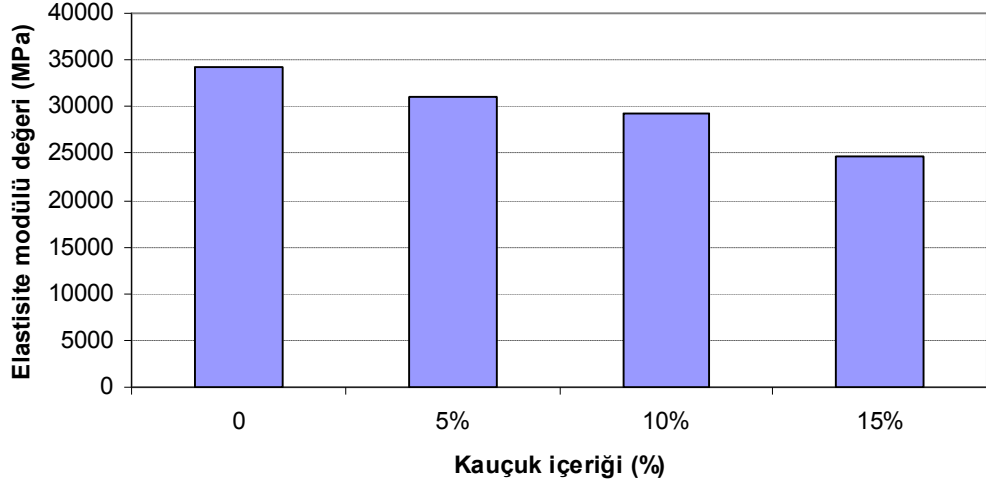


Şekil 5.13: Numunelerin basınç deneyi esnasında grafiksel eğilimleri

Şekil 5.13'teki eğilim grafikleri betondaki kauçuk oranının artması ile dayanım azalması yanında rijitlik azalmasının da olduğunu bize açıkça göstermektedir. Kauçuk oranı arttıkça eğri yatıklaşmakta ve deformasyonlar dayanıma göre daha hızlı artmaktadır. Bu da elastisite modülünün azalmasına yol açmaktadır. Bu azalmalar Tablo 5.6 ve Şekil 5.14'te de gözlenebilir ve bu veriler de ayrıca Şekil 5.13 ile ilişkilendirilebilir. Ayrıca Tablo 5.6'da azalma % değerlerinin kauçuk artışı ile düzenli uyum sağladığı görülmektedir.

Tablo 5.6: 28 günlük silindir numunelerde kauçuk oranına bağlı elastisite modülü değişimi tablosu

Numune Adı	K	P5	P10	P15
Kauçuk İçeriği (%)	0	5%	10%	15%
Elastisite Modülü Değeri	34146	31111	29167	24687
Azalma (%)	0	9	15	28



Şekil 5.14: Betonda kauçuk oranına bağlı elastisite modülü değişimi tablosu

5.2.6. Sertleşmiş betonda aşınma deneyi

TS 2824 EN 1338'e göre 7,1x7,1x7,1 boyutundaki küpler Böhme aşındırma diskinin üzerine, standart aşındırıcı serpilmiş ize denk gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Disk, numuneye (294 ± 3) N 'luk aşındırma kuvveti uygulamıştır ve standartta belirtildiği üzere (30 ± 1) devir/dakika dönme hızına sahiptir. Numuneye, her biri 22 dönüşten meydana gelen 16 çevrim uygulanmıştır. Herbir çevrimden önce 20 gr standart aşındırıcı (erimiş alüminyum tozu) serpilerek disk döndürülmüştür. Her çevrimden sonra disk ve temas yüzü temizlenmiş, numune sıra ile 90° döndürülerek ve ize, yeni aşındırıcı konulmuştur. Deneyde kullanılan test cihazı ve deneyin yapılışı Şekil 5.15'de görülmektedir.



Şekil 5.15: Böhme aşındırma deneyi

Deney sonunda numunelerin hacimlerindeki azalmalar tayin edilmiştir. 16 çevrim sonunda aşınma numunenin hacmindeki azalma ΔV olarak standarda göre aşağıda verilen eşitlikten hesaplanmıştır:

$$\Delta V = \Delta m / \rho r \quad (5.1)$$

Burada :

ΔV :16 çevrimden sonra hacim kaybı, cm^3

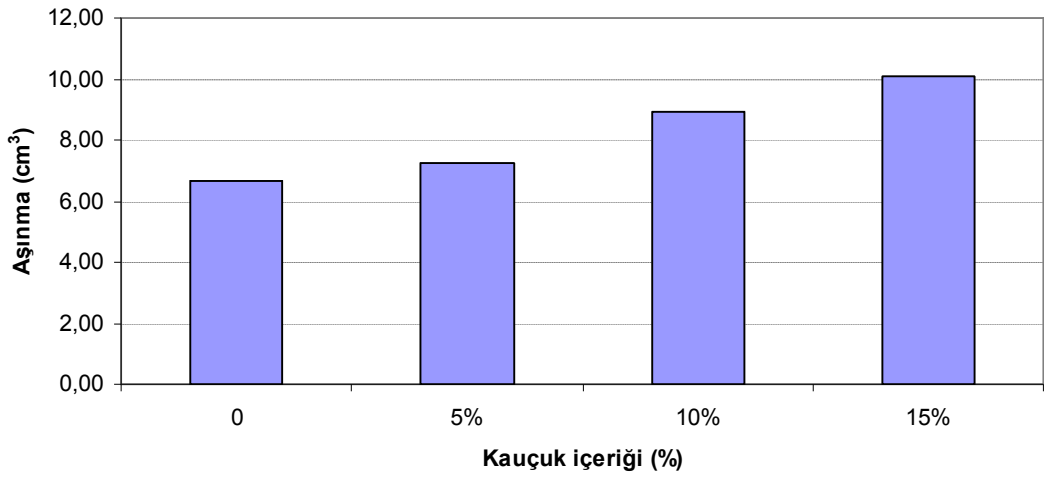
Δm :16 çevrimden sonra kütle kaybı, kg

ρr :Numunenin yoğunluğu, çok katlı numunede aşınmaya maruz tabaka yoğunluğu, kg/cm^3

Bu çalışmada 28.günün sonunda 7.1 x7.1 x 7.1mm küp numuneler üzerinde yapılan aşınma deneyi sonucundaki değerler Tablo 5.7 ve Şekil 5.16'da verilmektedir.

Tablo 5.7: Betonda kauçuk oranına bağlı aşınma değişimi tablosu

Numune Adı	Lastik İçeriği (%)	Aşınma (cm ³)	Artış Oranı (%)
K	0	6,67	0,00
P5	5%	7,20	33,5
P10	10%	8,90	8,54
P15	15%	10,1	51,5



Şekil 5.16: Betonda kauçuk oranına bağlı aşınma değişimi grafiği

Tablo 5.7 ve 5.16 incelendiğinde, Kauçuk katılmayan numunenin en iyi sonucu verdiği, %5, %10 ve %15 oranında kauçuk ilavesiyle birlikte aşınmanın da arttığı gözlemlenmiştir. Kauçuklu numunelerin deney esnasında direnç göstermesinin yanı sıra çevrimler arttıkça betondan koparak ayrıldığı tespit edilmiştir.

6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bütün deneysel çalışmaların sonuçları aşağıda gibi derlenmiştir.

- Beton içerisindeki kauçuk agrega miktarı arttıkça betonun birim hacim ağırlığı azalmıştır.
- Beton içerisindeki kauçuk agrega miktarının, taze betonda çökmeyi arttırıcı yönde etki yaptığı gözlenmektedir.
- Beton içerisindeki atık kauçuk agrega miktarı arttıkça basınç dayanımında bir azalma gözlenmektedir.
- Kauçuk agrega ilaveli betonlarda, içerisindeki kauçuk agrega miktarının artışına paralel olarak eğilme mukavemetlerinde azalma görülmektedir.
- Yapılan karışım ve çimento miktarına göre sadece %5 kauçuk içerikli numunelerden makul seviyede dayanım elde edilebilmektedir.
- Sertleşmiş betonun birim ağırlık değerleri, beton içerisindeki kauçuk agrega miktarı arttıkça azalma göstermektedir.
- Beton içerisindeki kauçuk agrega miktarı arttıkça, ultrases geçiş hızı değerlerinde bir azalma meydana gelmiştir.
- Atık kauçuklar istinat duvarı dolgularında ve boru hattı yataklarında hafifliğinden dolayı tercih edilebilir.
- Kauçuk agregalı betonlarda kıvam daha fazla olduğundan suyu azaltarak aynı kıvamla daha yüksek mukavemetler elde etmek mümkündür.
- Kauçuk agreganın betonda rijitliği azaltıcı etkisi vardır.
- Kauçuk agrega miktarı artışı betonun aşınmasını kolaylaştırmaktadır.

Yapılan çalışma istenildiği oranda başarıya ulaşmasa da, beton içinde araç lastiği haricinde bir endüstriyel kauçuk kullanımın örnek teşkil etmektedir. Ayrıca atık elektrik kablosunu geri dönüştürmek isteyen bir firmanın ürününü de değerlendirebilme çabası ile yapılan çalışmalar ışığında, kauçuğun düşük oranda çok önem arz etmeyen yerlerdeki betonlarda kullanılmasının sakınca yaratmayacağını göstermiştir.

Bu çalışmada kullanılan kauçuktan daha kaliteli ve lif şeklinde kullanılacak kauçukların daha büyük fayda sağlayabileceği kanısı da deneylerden sonra oluşmuştur.

Ülkemizde önem verilmeyen geri dönüşüm konusunu daha fazla ciddiye alarak, beton gibi içinde bir çok malzemeyi kabul edebilecek kompozitlerin üretiminde kullanmayı denemek ve bu konular üzerine yapılmış araştırmaları inceleyerek örneklemek atık yönetiminin gelişimine katkıda bulunacaktır.

KAYNAKLAR

Ahmed, R., Klundert, A. v.d., and Lardinois, I., Rubber Waste - Options for small-scale resource recovery, *Urban Waste Series 3*, TOOL/WASTE 1996.

Anonymous, "NewDirections", *AdvancedMaterials and Processes*, 135(1), 21(1989)

Anonymous, "Recycled Tires Down the Road", *Biocycle*, 34, 9(1993).

Bashar, S., M., and Najwa, J. A., "Engineering properties of concrete containing large volume of recycled tire rubber", The Twenty-Fourth International Conference on Solid *Waste Technology and Management, Philadelphia, PA, USA*, March 15 - 18, 2009.

Batayneh, M., K., Marie, I and Asi, I., Promoting the use of rubber concrete in developing countries, *Constr Build Mater 28 (2007)*, pp. 2171–2176

Ersoy, U., Betonarme, Cilt-I, Evrim Yayınevi, *İstanbul*, 1996,.

Ganjian, E., Khorami, M., and Maghsoudi, A., Scrap-tyre-rubber replacement for aggregate and filler in concrete, *Construction and Building Materials 23 (2009)* 1828–1836

Goldstein, H., "Not Your Father's Concrete", *Civil Engineering*, 65(5), 60(1995).

Gönüllü, M.,T., "Atık Lastiklerin Yönetimi", *Katı Atık Geri Dönüşüm Teknolojileri Semineri*,. İSO, İstanbul 2004

Guoqiang L., Gregory G., Eggers, J., and Abadie, C., Michael A. "Waste tire fiber modified concrete", *Composites: Part B 35 (2004)* 305–312

Gurer, C., Akbulut, H., and Kurklu, G., İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi, *5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 13-14 Mayıs 2004, izmir, Türkiye.

http://en.wikipedia.org/wiki/Natural_rubber 2010

<http://tr.wikipedia.org/wiki/Kauçuk> 2010

Huynh, H., Raghavan, D., and Ferraris, C.,F., “Rubber Particles From Recycled Tires In Cementitious Composite Materials”, *May 1996, Building and Fire Research Laboratory National Institute of Standards and Technology*, Gaithersburg

Khaloo, A.R., Dehestani, M. and Rahmatabadi, P. Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire–rubber particles, *Waste Management 28* (2008) 2472–2482.

Loadman, M. J. R., The Exploitation of Natural Rubber, Malaysian Rubber Producer’s Research Association, *Tun Abdul Razak Laboratory*, 16-22, Brickendonbury, Hertford, UK, 1995.

Özberk, Ö., F., “Kauçuğun Beton İçerisinde Kullanımı”, Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, Kocaeli, 1-38, (2005).

Porteous, Andrew, Recycling Resources Refuse, Longman 1977.

Siddiquea,R., Khatibb, J., and Kaura, I., Use of recycled plastic in concrete: a review, *Waste Management 28* (10) (2008), pp. 1835–1852.

TS EN 12350-2 Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi,19.01.2010

TS EN 12504-4 Beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrases geçiş hızının tayini 02.12.2004

TS EN 12390-3 Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini 29.04.2010

TS EN 12390-5 Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini29.04.2010

TS EN 12390-7 Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş beton yoğunluğunun tayini 29.04.2010

TS 2824 EN 1338 Zemin döşemesi için beton kaplama blokları - Gerekli şartlar ve deney metotları 29.04.2005

Topçu, İ. B., and Bilir, T., “Experimental investigation of some fresh and hardened properties of rubberized self-compacting concrete”, *Mater Des 30* (8) (2009), pp. 3056–3065.

Topcu I.B. , “Yapı Malzemeleri ve Beton”, *Eskişehir*, 2006, s. 10-100

Topcu I.B. , Uğurlu A.“*Yapı İMO Teknik Dergi*”, 2007 4055 -4067, Yazı 268

Vogler, J., Small-scale Recycling of Plastics , Intermediate Technology. Publications, *London*, 1984. Page 98.

www.betocim.com/betonun-tarihcesi.pdf 2010.

Yıldırım, S.T., Yapı Malzemeleri Ders Notları-I, *Kocaeli Üniversitesi*, Kocaeli, 2010.

Yunping X., Yue L., Zhaohui X., and Lee, J. S., “Utilization Of Solid Wastes (Waste Glass And Rubber Particles) As Aggregates In Concrete”, *Proc. Of International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology*, May 20-21, Beijing China, 45-54

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Samsun'da doğdum. İlköğretim eğitimimi Gümüşhacıköy Mehmet paşa ilköğretim okulunda 1993 yılında tamamladım. 2000 yılında Merzifon Anadolu Lisesi'nden mezun oldum. 2001 yılında Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandım. 2005 yılında mezun oldum. Yine aynı yıl aynı üniversitede yüksek lisansa başladım. 2005 ten beri bir kamu kurumunda inşaat mühendisi olarak görev yapmaktayım.