



**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**PLASTİK KATKILI ESNEK BETONLARIN STATİK VE DİNAMİK YÜKLER  
ALTINDA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**MUHAMMET ATALAY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ANTAKYA**

**ŞUBAT-2007**



**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**PLASTİK KATKILI ESNEK BETONLARIN STATİK VE DİNAMİK YÜKLER  
ALTINDA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**MUHAMMET ATALAY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ANTAKYA**

**ŞUBAT-2007**

**Mustafa Kemal Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne,**

*Doç. Dr. Ali Osman ATAHAN* danışmanlığında, *Muhammet ATALAY* tarafından hazırlanan bu çalışma **14 / 02 / 2007** tarihinde aşağıdaki jüri tarafından, **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan :**Doç. Dr. Ali Osman ATAHAN** İmza.....

Üye : **Y. Doç. Dr. Umur K. SEVİM** İmza.....

Üye : **Y. Doç. Dr. Ersin ÖZDEMİR** İmza.....

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Kod No:

İmza

...../...../.....

Enstitü Müdürü

**Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	I
ABSTRACT .....	II
ÖNSÖZ.....	III
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	VI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Lastik Parçalarının Betona Katılma Yöntemleri .....	3
1.1.1. Yaş Yöntem.....	3
1.1.2. Kuru Yöntem.....	3
1.1.3. Terminal Karıştırma Yöntemi .....	4
1.2. Lastik Agregalı Betonun Özellikleri.....	4
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	6
2.1. Deney Aleti Ve Numunelerin Hazırlanışı.....	7
2.1.1. Yapılan Deneyler.....	7
2.1.2. Deneylerin Sonuçları.....	9
2.1.2.1. Basınç Dayanımları İle İlgili	
Sonuçların Değerlendirilmesi.....	10
2.1.2.2. Rezilyans Ve Tokluk Değerlerinin İncelenmesi.....	10
2.1.2.3. Çarpma Deneyi İle İlgili Sonuçların Değerlendirilmesi.....	13
2.1.2.4. Eğilme ve Yarma Deneyi İle İlgili	
Sonuçların Değerlendirilmesi.....	13
2.1.2.5. Hasarsız Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	13
2.1.2.6. Genel Değerlendirme.....	14
2.2. Lastik Agrega İle Yapılan Beton Çalışmaları.....	14
2.2.1. Deney No:1 .....	14
2.2.2. Malzemeler.....	14
2.2.3. Metot.....	15
2.2.4. Sonuçlar.....	16
2.2.4.1. Basınç Dayanımı.....	16
2.2.4.2. Yarmada Çekme Dayanımı .....	17

2.2.4.3. Su Emilimi .....	17
2.2.4.4. Elastisite Modülü.....	18
2.2.4.5. Genel Sonuçlar .....	19
2.3. Deney No:2.....	19
2.4. Lastikli Betondan Yapılmış Otoyol Korkulukları.....	21
2.4.1. Çalışmanın Amacı.....	23
2.5. Lastik Agregalı Betonda Sünme.....	23
2.5.1. Yapılan Deneysel Çalışmalar.....	24
2.5.2. Atık Lastik İle Yapılan Çalışmalar .....	25
2.5.2.1. Kullanılan Malzemeler.....	25
2.5.2.2. Beton İçerisine Atık Lastik İlavesi İle Yapılan Deneyler.....	26
2.5.2.3. Fiziksel Özelliklerle İlgili Deneyler.....	26
2.5.2.4. Mekanik Özelliklerle İlgili Deneyler.....	27
2.5.2.5. Dinamik Özelliklerle İlgili Deneyler.....	28
2.5.2.6. Çevresel Tesirlere Dayanıklılık(Durabilite) Deneyleri.....	29
2.5.2.7. Teknolojik Özelliklerle İlgili Deneyler.....	29
2.5.2.8. Harç İçerisine Atık Lastik İlavesi İle Yapılan Deneyler.....	30
2.5.2.9. Fiziksel Özelliklerle İlgili Deneyler.....	31
2.5.2.10. Mekanik Özelliklerle İlgili Deneyler.....	32
2.5.2.11. Çevresel Tesirlere Dayanıklılık Testleri.....	32
2.5.2.12. Teknolojik Özelliklerle İlgili Deneyler.....	33
2.6. Lastik Agregalı Beton Deney Sonuçlarının İrdelenmesi.....	33
2.6.1. Fiziksel Özelliklerle İlgili Deney Sonuçlarının İrdelenmesi.....	33
2.6.2. Mekanik Özelliklerle İlgili Deney Sonuçlarının İrdelenmesi.....	35
2.6.3. Dinamik Özelliklerle İlgili Deney Sonuçlarının İrdelenmesi.....	36
2.6.4. Maliyet Analizi.....	36
2.6.5. Teknolojik Özelliklerle İlgili Deney Sonuçlarının İrdelenmesi....	36
2.7. Lastik Agregalı Harç Deney Sonuçlarının İncelenmesi.....	37
2.7.1. Fiziksel Özelliklerle İlgili Deney Sonuçlarının İrdelenmesi.....	37
2.7.2. Mekanik Özelliklerle İlgili Deney Sonuçlarının İrdelenmesi.....	38
2.7.3. Teknolojik Özelliklerle İlgili Deney Sonuçlarının İrdelenmesi....	39
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	40
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	45
4.1.Statik Bulgular.....	45

4.1.1 Test Çekici Sonuçları.....	51
4.1.2 Ultrases Test Sonuçları.....	53
4.1.3 Slump Deneyi Sonuçları.....	54
4.2. Dinamik Bulgular.....	54
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	62
EKLER.....	63
EK-I.....	64

**ÖZET**

Betondan yapılmış oto korkuluklarında çarpma anında oluşabilecek hasar ve yaralanmaların azaltılabilmesi için betonun esnek hale getirilmesi amacıyla içine lastik katılması düşünülmüştür. Herhangi bir alanda değerlendirilemeyen atık oto lastiklerinin bu amaç için kullanılması hem çevre kirliliğinin azaltılması hem de bu atık malzemenin yeniden kullanılması açısından yararlar sağlayacaktır. İçine lastik katılarak üretilmiş betonların özelliklerini belirleyebilmek için yapılan deneysel çalışmalarda iki farklı boyutta lastik BS 30 kalitesindeki kırmataşlı normal betonlar içine hacimce % 0, 20, 40, 60, 80, ve 100 oranlarında 12-21 mm tane çaplı kırmataş ile yer değiştirilerek beton karışımları hazırlanmıştır. Basınç deneylerinde kullanılmak üzere toplam 12 numune üretilmiş ve basınç deneyine maruz bırakılmıştır. Yapılan statik basınç deneylerinde lastik katkı oranının beton mukavemeti ve elastisite modülündeki azalma etkileri incelenmiştir. Daha sonra aynı karışımlar kullanılarak beton bariyerler hazırlanmış ve 4 tekerlekli bir test aracı ile dinamik çarpma testine maruz bırakılmıştır. Dinamik deneylerde numunelerin enerji yutma kapasiteleri ve araçta oluşturduğu darbe kuvvetleri belirlenmiştir. Sonuç olarak %20 - %40 oranında atık arç lastiği içeren betonların mukavemet ve enerji yutma yönünden avantajı olduğu belirlenmiştir. Enerji yutma kapasitesi yüksek fakat mukavemeti düşük olan karışımların ise otoyollarda çarpma anında enerji yutarak dağılması öngörülen çarpma yastıkları gibi uygulamalarda kullanılması önerilmiştir.

2007, 70 sayfa

**Anahtar Kelimeler:**

Lastikli Beton, oto korkuluğu, dayanım, çarpma, yeniden kullanım

## II

### ABSTRACT

Concrete barriers are considered to be rigid barriers and they impose large deceleration forces and extensive damage to impacting vehicles. This, in turn, increases the likelihood of injury to occupants of a vehicle during a collision with a concrete barrier. To reduce the severity of such impacts, it was decided to soften the concrete by adding shredded waste tires in the mix. In this study, concrete specimens containing shredded waste tire were evaluated using laboratory and field tests. Static compression and dynamic impact tests were used to evaluate the effect of shredded tire addition on the properties of concrete. To reduce the inherent rigidity of concrete, the large aggregates in concrete was replaced with tire pieces by 0, 20, 40, 60, 80 and 100 % in volume. For each mix, six representative samples were prepared for the static compression tests. A total of 36 cylindrical specimens 15 cm x 30 cm in size were produced to determine the compressive strength of concrete at 7 and 28 days. For the dynamic tests, on the other hand, 6 New Jersey shaped concrete barriers were constructed representing 0, 20, 40, 60, 80 and 100 % tire mixes. A special vehicle was used to impact the barriers at 20 kph. Acceleration-time data was collected from the impacts were used to determine the energy absorption characteristics of each mix. Results of the study show that tire addition reduced the compression strength and modulus of elasticity of specimens, which is expected. The reduction in compression strength was in the order of 80% between the 0 and 100 % tire addition. Dynamic impact tests show that tire addition has significant effect on the vehicle peak deceleration magnitudes and thus impact severity. The measured increase at the amount of impacting vehicle's energy between 0 and 100 % tire added specimens was about 187 %, which is significant. Based on the static and dynamic test results, it can be concluded that 20 to 40 % tire addition gives the best deceleration performances without reducing the strength of concrete significantly. However, concrete barriers with larger tire additions can be used at highway applications where energy absorption is permitted by concrete fracture, such as crash cushions.

2007, 70 pages

#### **Anahtar Kelimeler:**

Tire modified concrete, barrier, strength, energy absorption, waste material



### III ÖNSÖZ

‘Plastik Katkılı Esnek Betonların Statik ve Dinamik Yükler Altında Davranışının İncelenmesi’ isimli bu projede atık oto lastiklerinin değerlendirilmesi ve daha esnek bir beton üretilmesi amacıyla elde edilen lastikli betonların uygulama alanına girebilmesi için gerekli tüm özellikleri belirlenmiştir.

Tez konumun belirlenmesinde ve çalışmalarımın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, değerli fikir ve katkılarıyla ışık tutan ve yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ali Osman ATAHAN’a, yardımını gördüğüm değerli bölüm öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Selçuk KAÇIN’a, bana göstermiş olduğu sabır ve verdiği manevi destekten dolayı sevgili babam Sayın Şeyhmus ATALAY’a ve değerli patronum Sayın Şahap AKÇADAĞ’a teşekkürlerimi sunarım.

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

$\sigma_{çekme}$	: Direkt çekme Dayanımı (MPa)
$\sigma_{basınç}$	: Basınç Dayanımı (MPa)
$\sigma_{eğilme}$	: Eğilme Dayanımı
$\Delta$	: Birim Hacim Ağırlığı ( $kg/m^3$ )
$\delta$	: Özgül Ağırlık ( $kg/m^3$ )
$\sigma$	: Gerilme (MPa)
$\epsilon$	: Birim Şekil Değişirme (mm/mm)
E	: Elastisite Modülü (MPa)
$f_c$	: Beton Dayanımı (MPa)
$f_{cc}$	: Çimento Norm Dayanımı (MPa)
P <sub>çarpma</sub>	: Beton Numunesine Çarpmada Uygulanan Kuvvet (N)
P <sub>k</sub>	: Beton Numunesine Uygulanan Kırılma Kuvveti (N)
A <sub>1</sub>	: Plastik Enerji Kapasitesi (MPa)
A <sub>2</sub>	: Elastik enerji Kapasitesi (MPa)
r	: Korelasyon Katsayısı
$\epsilon_{maks}$	: En Büyük Birim Şekil Değişirme
V	: Hız (km/sn)
$\delta_{statik}$	: Çarpma Halindeki Deplasman (cm)
A	: Kuvvetin uygulandığı alan ( $mm^2$ )
R	: Silindir Numune Yarıçapı (cm)
L	: Numunenin Yüksekliği (cm)
G	: Çarpan Cismin ağırlığı (N)

$\eta$	: Çarpmada Enerji Kaybını Belirten Katsayı
$\Phi$	: Çarpmada Dinamik Katsayı
$\delta_{\text{dinamik}}$	: Dinamik Deplasman (cm)
$\sigma_{\text{dinamik}}$	: Dinamik Gerilme (MPa)
$\sigma_{\text{dinamik}}$	: Çarpma Durumundaki Gerilme (MPa)
$\dot{I}$	: İnce
$K$	: Kaba
$C$	: Bir $m^3$ Betondaki Çimento Ağırlığı (kg)
$S$	: Bir $m^3$ Betondaki Su Ağırlığı (kg)
$A$	: Bir $m^3$ Betondaki Agregası Ağırlığı (kg)
$L$	: Bir $m^3$ Betondaki Lastik Ağırlığı (kg)
$c$	: Bir $m^3$ Betondaki Çimento Mutlak Hacmi ( $dm^3$ )
$s$	: Bir $m^3$ Betondaki Su Mutlak Hacmi ( $dm^3$ )
$a$	: Bir $m^3$ Betondaki Agregası Mutlak Hacmi ( $dm^3$ )

**ŞEKİLLER DİZİNİ**

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1	Lastiklerin parçalanmış hali. .... 2
Şekil 2	Kamyon, araba vb. makine lastikleri..... 2
Şekil 3	Çarpma deney aletinin kesit görünüşü ..... 9
Şekil 4	Silindir ve küp numunelerde $\sigma$ - $\epsilon$ diyagramlarındaki değişim ..... 10
Şekil 5	Rezilyans ve tokluk değerlerinin gösterimi. .... 11
Şekil 6	Rezilyansın lastik ilavesiyle değişimi. .... 12
Şekil 7	Tokluğun lastik ilavesiyle değişimi ..... 12
Şekil 8	Sodyum hidroksit ..... 15
Şekil 9	Arındırılma işleminden önce resmi çekilen lastik parçası ..... 15
Şekil 10	Arındırılma işleminden sonra çekilen resim ..... 15
Şekil 11	Basınç dayanımı ..... 16
Şekil 12	Yarmada çekme dayanımı ..... 17
Şekil 13	Su emilimi. .... 18
Şekil 14	Elastisite modülü ..... 18
Şekil 15	Basınç dayanımı testi ..... 20
Şekil 16	Lastik agregalı betonun basınç dayanım ilişkisi ..... 20
Şekil 17	Beton otoyol bariyerleri ..... 21
Şekil 18	Genel sünme şekli ..... 24
Şekil 19	Silindir testi ..... 42
Şekil 20	Plastiğin Betona katılması..... 43
Şekil 21	Betonun Kalıplara dökülmesi ..... 43
Şekil 22	Ray sistemi..... 44
Şekil 23	Basınç Mukavemet Değişimi..... 45
Şekil 24	Basınç Yüğü Değişimi..... 46
Şekil 25	Elastisite modülü..... 46
Şekil 26	Şahit betonun Yük-deplasman grafiğı ..... 47
Şekil 27	%20 hacimli betonun Yük-deplasman grafiğı ..... 47
Şekil 28	%40 hacimli betonun Yük-deplasman grafiğı ..... 48
Şekil 29	%40 hacimli 2. betonun Yük-deplasman grafiğı..... 48

## VII

Şekil 30	%60 hacimli betonun Yük-deplasman grafiği.....	49
Şekil 31	%80 hacimli betonun Yük-deplasman grafiği.....	49
Şekil 32	%100 hacimli betonun Yük-deplasman grafiği.....	50
Şekil 33	Şahit betonun ivme-zaman grafiği .....	55
Şekil 34	%20 lastik katkılı betonun ivme-zaman grafiği .....	55
Şekil 35	%40 lastik katkılı betonun ivme-zaman grafiği .....	56
Şekil 36	%60 lastik katkılı betonun ivme-zaman grafiği .....	56
Şekil 37	%80 lastik katkılı betonun ivme-zaman grafiği .....	57
Şekil 38	%100 lastik katkılı betonun ivme-zaman grafiği .....	57
Şekil 39	Çarpışma Sonucu .....	58
Şekil Ek-I. 1	Şahit Betonun Statik Test Sonuçları .....	64
Şekil Ek-I. 1	%20 Lastik Katkılı Betonun Statik Test Sonuçları.....	65
Şekil Ek-I. 1	%40 Lastik Katkılı Betonun Statik Test Sonuçları.....	66
Şekil Ek-I. 1	%40 Lastik Katkılı 2. Betonun Statik Test Sonuçları.....	67
Şekil Ek-I. 1	%60 Lastik Katkılı Betonun Statik Test Sonuçları.....	68
Şekil Ek-I. 1	%80 Lastik Katkılı Betonun Statik Test Sonuçları.....	69
Şekil Ek-I. 1	%100 Lastik Katkılı Betonun Statik Test Sonuçları.....	70

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 1	1 m <sup>3</sup> betonda kullanılan malzemeler .....41
Çizelge 2	Agrega ve Lastik Katkısı. .... 42
Çizelge 3	Mak. Yük, Ortalama Gerilme, Test Tarihi, Elastisite Modülü..... 45
Çizelge 4	Yük, Deplasman, Elastisite Modülü Karşılaştırması ..... 51
Çizelge 5	Şahit betonun test çekici sonuçları ..... 51
Çizelge 6	%20 lastik katkılı betonun test çekici sonuçları..... 52
Çizelge 7	%40 lastik katkılı betonun test çekici sonuçları..... 52
Çizelge 8	%60 lastik katkılı betonun test çekici sonuçları..... 52
Çizelge 9	%80 lastik katkılı betonun test çekici sonuçları..... 53
Çizelge 10	%100 lastik katkılı betonun test çekici sonuçları..... 53
Çizelge 11	lastik katkılı betonların ultrases sonuçları ..... 53
Çizelge 12	lastik katkılı betonların slump deneyi sonuçları ..... 54
Çizelge 13	Darbe Anında Yuttuğu Enerji ve ivme Karşılaştırması ..... 58

## 1. GİRİŞ

İnşaat endüstrisinde, ekonomik ve çevresel etkenlerden dolayı, geleneksel malzeme kullanımı yerine atık malzemelerin kısmen ya da tamamen kullanımı artış göstermektedir.

Bu çalışmada inşaat mühendisliği alanında en önemli yapı malzemesi olan betonun içinde atık maddelerin kullanılabilirliği üzerinde durulmuştur. Atık lastik gibi malzemelerin çeşitli uygulamalarındaki teknik, çevresel ve ekonomik sonuçlarına yer verilmiştir.

Atık oto lastiklerinin yararlı alanlara geri dönüşümünü sağlamak amacıyla betona uygun boyutlarda eklenmiş ve bu oluşan yeni malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri deneysel çalışmalar yapılarak belirlenmiştir. Burada amaç betonun süneklik, esneklik ve enerji yutma kapasitesini arttırarak, bu betonu otoyol korkuluklarında kullanabilmektir. Lastik ilavesi ile elde edilen betonların rezilyans, tokluk gibi özelliklerinin arttığı ve bunun sonucunda çarpma enerjisini daha fazla yutarak kazalardaki can kaybını ve araç hasarlarını en aza indirdiği saptanmıştır. Ayrıca lastiğin sesi absorbe etme özelliğinden dolayı araç gürültüsünün çok fazla olduğu işlek otoyolların şehir merkezlerindeki kısımlarında, atık lastiğin beton içinde kullanımının yararlı olduğu görülmüştür. Betonun tokluk, rezilyans, süneklik ve ses yalıtımı, tekrarlı sarsma ve çarpma etkilerine karşı dayanımını geliştirmek amacıyla atık oto lastiklerinin beton içerisinde agrega olarak kullanılması düşüncesiyle beton içine ilave edilmiş ve lastik agregalı betonun özellikleri belirlenmiştir.

Otoyollarda seyreden araçların yoldan çıkmalarını ve kazalara sebebiyet vermelerini önlemek amacıyla ya çelik yada betondan yapılmış korkuluklar kullanılmaktadır. Trafik ve karayolu tekniğindeki gelişmelerle kazaları önlemek için konuya ciddi bir şekilde yaklaşan ülkeler 1950 den itibaren ilk önlem olarak çelik korkulukları uygulamaya koymuşlardır. Ancak tüm çabalara rağmen bu önlemin kazaları önlemede etkinliğini %20 nin üzerine çıkarmak mümkün olmamıştır. Ayrıca çelik oto korkuluklarının bakım, onarım, işletim masrafları da çok külfetli olmaktadır. Daha etkin ve daha ekonomik bir oto korkuluk türü araştırılmaya başlanması beton oto korkulukların çelik oto korkuluklara göre kaza sayısını %60 oranında azalttığını ve ayrıca ölümlü, yaralanmalı kaza sayısında da büyük düşme olduğunu göstermiştir (1).

Bununla beraber özellikle Avrupa ülkelerinde otoyol kenarlarına yapılan beton perde duvarlar araç gürültülerini önlemede en çok kullanılan ve en ekonomik çözüm

olmaktadır (2). Fransa'da ses bariyerlerinin %60'ı prefabrike beton elemanlardır. Ses bariyerlerinin gürültüyü en az 25 dB azaltması istenir. Beton ses bariyeri genelde 40-50 dB'lik bir ses geçirimsizliğini sağlamaktadır.

Genelde prefabrike olarak imal edilen bu beton oto korkulukların sağladığı yararlar yanında yüksek rijitlikleri nedeniyle bir takım dezavantajları da vardır. Trafik kazalarında çarpma anında oluşan ve tamamı taşıt tarafından alınan çarpma enerjisinin bir kısmı beton korkuluk tarafından absorbe edilebilirse kaza anındaki ölüm ve yaralanma olayları azalacaktır. Bu betonun daha elastik ve enerji yutucu hale getirilmesiyle sağlanabilecektir. Bu özellik kullanılmış oto lastiği parçalarının betona lastik agrega olarak katılmasıyla hem basit hem de ekonomik bir şekilde sağlanabilecektir. Ayrıca çevre kirliliği yapan bir malzemede ortadan kaldırılacaktır.



**Şekil 1.** Atık Lastikler



**Şekil 2.** Lastiklerin parçalanmış hali



## 1.1. Lastik Parçalarının Betona Katılma Yöntemleri

Üç değişik yöntemle lastik kırıntıları betona eklenip beton malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bunlar şöyle sıralanabilir:

1. Yaş Yöntem (Wet process)
2. Kuru Yöntem (Dry process)
3. Terminal Karıştırma Yöntemi (Terminal blended process).

### 1.1.1. Yaş Yöntem

Bu yöntemde agregaya bağlayıcı malzeme katılmadan önce lastik parçacıklarının asfalt çimentosu ile karıştırılmasıyla oluşan bir metottur. Bu yöntem en çok kullanılan yöntemdir. Bu süreçte özel ekipmanlara ihtiyaç vardır. Ekipmanların görevi, agregalar beton harcına katılmadan önce lastik kırıntılarıyla asfaltı harmanlamaktır. Bu yöntem asfalt-lastik adıyla da söylenmektedir. Ulusal Asfalt Teknoloji Merkezinin (National Center for Asphalt Technology) yaptığı sıcak karışimli bir araştırmada %18—26 lastik parçaları asfalt ile birlikte 375 °F kadar ısıtılmış 1 ya da 2 saat sonra sıcak karışimli asfalt yapılarında kullanılmaya hazır bir bağlayıcı haline getirilmiştir.

### 1.1.2. Kuru yöntem

Bu yöntemde ise yaş süreçten farklı olarak asfaltın katılmasından önce agregalar ve lastik atıkları karıştırılmaktadır. Daha sonra asfalt ilave edilmektedir. Bu yöntemde görünüş olarak daha tatmin edici bir sonuç vermektedir. Kuru yöntemde yaş yönteme göre özel ekipmanlara gerek yoktur. Sadece lastik parçaları, agrega ve asfalt harmanlanmaktadır. Ulusal Asfalt Teknoloji Merkezinin (National Center for Asphalt Technology) yaptığı sıcak karışimli bir araştırmada bu yönteme değiştirilmiş lastik karışımı denilmektedir. Burada karışıma asfalt ilave edilmeden önce agrega ağırlığının % 3—5 arasında lastik ilave edilmektedir.

Yaş karışım ve kuru karışım arasındaki esas lastik farklılıkları şöyle sıralanabilir:

- Lastik büyüklüğü ( Kuru karışimli lastik parçacıkları yaş karışımlıya göre daha büyüktür).

- Lastik miktarı (Kuru karışım yaş karışıma göre 2—4 kez daha fazla kullanılmaktadır.)
- Lastiğin davranışı (Kuru karışımdaki lastik agregaya daha ilgi göstermekte fakat yaş karışımdaki lastik bağlayıcıya ilgi göstermektedir).
- Karışımın yerleştirilmesi (Yaş yöntemde özel karıştırma haznesine, tankına, büyük boy pompaya ihtiyaç var iken kuru karışımda hiçbir özel ekipmana ihtiyaç yoktur.)

### 1.1.3. Terminal Karıştırma Yöntemi

Terminal karıştırma yönteminde ise rafineride parçalanmış lastik artıkları asfalt çimentonun içinde karıştırılırlar. Burada hem kuru karışımda hem de yaş karışımda kullanılan lastik parçalarının yarısı kullanılır. % 20 asfalt bağlayıcısına karşı % 10. Toplam bağlayıcı miktarı da düşer. % 8.5'a karşı % 5,5.

### 1.2.1. Lastik Agregalı Betonun Özellikleri:

Lastik agregalı betonun geleneksel betonlara göre birçok özelliği vardır. Bunlar şöyle sıralamak mümkündür:

- Bunlar eskimiş kamyon lastiğinin parçacıkları olduğu için lastik fiberler çok küçük parçacıklar haline gelmesi için parçalanırlar (0,8—2,1 mm uzunluk).
- Düşük yoğunlukları vardır (0,84 g/cm<sup>3</sup>).
- Parçalanma sürecinde elde edilen pürüzlü yüzeyden dolayı su emilimi katsayısı % 25 daha fazladır.
- Sertliği (sağlamlığı) düşüktür.
- Deformasyonu yüksektir (%590).
- Tutuşma sıcaklığı düşüktür (200 C°).
- Lastik agregalı beton kullanımında maliyet diğer geleneksel betonlara göre düşmektedir. Mesela, Her 1 mil (1,61 km)'de 22.000 \$ kar elde edilmektedir.
- Araçlardan meydana gelen sürtünmelerden doğan renk kayıplarına daha dayanıklıdır.

- Patinajlara karşı daha dirençlidir.
- Her bir milde toplam 2000 araba lastiği artığı kullanılmaktadır. Bu da doğal kaynakları korumada önemli bir rol oynamaktadır.
- Perdahlama yöntemlerinin % 75'inde lastik agregalı betonlar kullanılmaktadır.

Amerika'da Los Angeles kentinde kaldırımların ve otobanların hepsinde bu beton türü kullanılmıştır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Lastik agregalı beton fikri ilk defa Amerika'da Clemson Üniversitesinden Profesör Rad ve Lehigh Üniversitesinden Profesör Fang ve arkadaşları tarafından ortaya atılmıştır. Lastik ilave etmek suretiyle elde edilen betonların yüksek rezilyans, tokluk ve kırılma yüzey enerjisine sahip oldukları Profesör Rad tarafından söylenmiştir (1) .

Dayanımdaki azalmaya karşılık betonun lastik ilavesiyle daha elastik hale geldiği Profesör Rad ile Profesör Fang'ın yapmış olduğu çalışmalardan anlaşılmaktadır (1) . Profesör Fang ve arkadaşlarının (2) yaptıkları bir çalışmada beton karışım içine %10, %30 ve %57 oranlarında kaba agrega ile yer değiştirerek 2.54 cm (1 inç) çapında lastik parçaları katılmıştır. Normal beton karışım içine %10 oranında lastik ilavesiyle 219, %30 ilave ile 55, % 57 ilave ile 35 kg/cm<sup>2</sup> küp basınç dayanımı olan lastikli betonlar elde etmişlerdir. Bu sonuçlar beton karışımı içine %23 civarında lastik ilavesi ile ülkemizde B16 olarak bilinen taşıyıcı özelliği olan betonun üretilebileceği fikrini uyandırmaktadır. Yine eğilme dayanımları ile ilgili olarak yaptıkları çalışmada aynı oranda lastik ilaveleri ile 99, 46 ve 32 kg/cm<sup>2</sup> lik eğilme dayanımları bulmuşlardır.

Anadolu Üniversitesi beton laboratuvarlarında yapılan deneysel çalışmalar sonucunda da lastik agregalı betonların dayanımlarının düşük fakat rezilyans ve tokluk değerlerinin normal betonlardan yüksek olduğu görülmüştür (3,4).

Lastik agregalı betonların dinamik özelliklerini belirlemek amacıyla bir seri içine farklı boyutlarda kesilmiş oto lastikleri katılmış beton numuneler hazırlanmıştır. Daha sonra bu numuneler üzerinde statik basınç yüklemeleri ile belirli bir mesafeden belirli ağırlık tekrar, tekrar düşürülerek çarpma etkisi oluşturarak dinamik yüklemeler uygulanmıştır. Aynı deney normal betonlarla da yapıp lastik agregalı betonların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Yapılan deneylerde beton üretimlerinde Eskişehir Çimento Fabrikasının ürettiği KPÇ 32,5 çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentonun özgül ağırlığı 3.15 kg/dm<sup>3</sup> ve 28 günlük basınç dayanımı 382 kg/cm<sup>2</sup> dir. Beton içerisinde kullanılacak lastikler kullanılmış oto lastiklerinden 1.7 ve 2.2 cm çaplarında elektrikli matkaba takılı bir delgi yardımıyla çıkarılmıştır. Lastiklerin yoğunluğu 1.025 kg/dm<sup>3</sup> tür. Lastikler beton

karışımları içine kaba agrega ile yer değiştirmek üzere ağırlıkça %10 ve %30 oranlarında katılmışlardır.

Agrega olarak kalker kırmataş ve dere kumu kullanılmıştır. Malzemeler beton dökülmeden önce iyice yıkanmıştır. Agregalar yıkandıktan sonra kurutulmuş ve karışıma kuru olarak katılmışlardır. Agregadan alınan numuneler, sırasıyla standart eleklerden elenmiş ve elek altında kalan malzemeye göre ince agreganın ve kaba agreganın granülometrileri belirlenmiştir.

## **2.1. Deney Aleti Ve Numunelerin Hazırlanışı**

Numunelerin hazırlanmasında laboratuvar tipi düşey eksenli 74 lt kapasiteli cebri karıştırıcı malaksör kullanılmıştır. Betoniyere önce kırmataş, kum ve çimento konmuş daha sonra ıslatılmış lastikler ilave edilmiştir. İki dakikalık kuru karışımdan sonra betoniyere karışım suyu ilave edilmiştir. Üretilen karışım üzerinde önce birim hacim ağırlık, sonra da çökme ve yayılma deneyleri yapılmıştır. Daha sonra her karışımdan 15 cm çap ve 30 cm yükseklikteki silindir, bir kenarı 20 cm olan küp ve 10x10x50 cm boyutlarında eğilme numuneleri alınmıştır. Numuneler kalıplara yerleştirilirken tokmaklanarak sıkıştırılmış ve birim hacim ağırlığı ölçümleri yapılmıştır. Kalıplara yerleştirilen betonlar oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiş, 28 gün süreyle kirece doymun  $20 \pm 3$  °C sıcaklıktaki suda küre tabi tutulmuşlardır. Daha sonra numunelere taze ve sertleşmiş beton deneyleri uygulanmıştır.

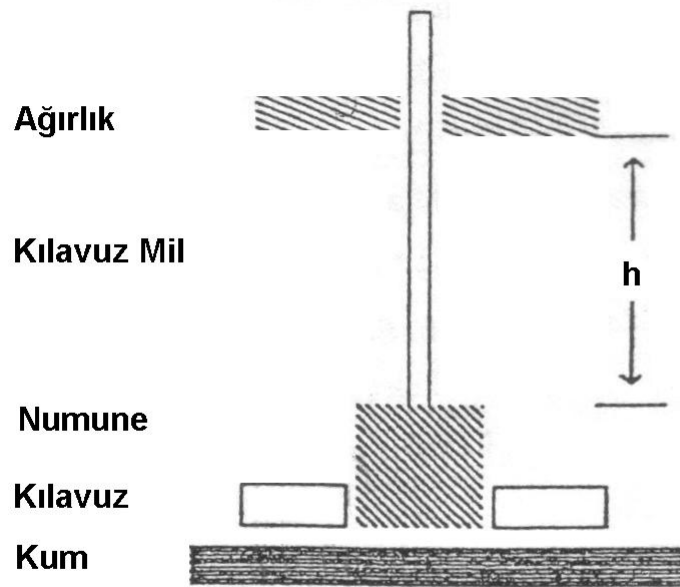
### **2.1.1. Yapılan Deneyler**

Beton numunelerde karışımlar hazırlanırken taze beton deneyleri yapılmıştır. Lastik agregalı betonla doldurulan numuneler vibratör ile sıkıştırıldıktan sonra tartılıp ağırlıkları bulunmuş, bulunan bu değerler V kalıp hacmine bölünerek taze birim ağırlıkları hesaplanmıştır. Yine taze betonda İşlenebilirliği belirlemek amacıyla Abrams hunisiyle çökme miktarları, sarsma tablası ile de yayılma miktarları ölçülmüştür.

Numuneler 28 gün bekletildikleri kür havuzundan çıkarıldıktan sonra, kurutulmuşlar ve sertleşmiş haldeki birim ağırlıklarının bulunması için tekrar tartılmışlardır. Daha sonra hasarsız olarak beton dayanımını tahmin edebilmek için numunelerde ultrases hız ölçümleri yapılmıştır.

Bütün bu işlemlerden sonra beton numunelerin çarpma etkilenme karşı dayanımlarını ölçmek amacıyla çarpma deneyleri yapılmıştır. Bu deneyde belirli bir yükseklikten belirli bir ağırlığın defalarca düşürülmesi ve darbe etkileri ile betonun kırılması söz konusudur. Dinamik özelliklerin belirlenmesi amacıyla hazırlanan çarpma deney aletinin kesitten görünüşü Şekil 3’de verilmiştir.

Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Beton Laboratuvarlarında geliştirilen aletin en altında silindirik numunenin darbe esnasında hareket etmeden sabit durması için betondan yapılmış bir kılavuz bulunmaktadır. Kılavuz içinde 5 cm kalınlıkta kum bulunmaktadır. Aletin ortasındaki mil sistem 40 cm yükseklikten serbest bırakılan 65 kg lık ağırlığın silindir numunenin tam üstüne düşmesini sağlamaktadır. Vuruşlara başlamadan önce aletin mil sisteminde eksantriklik olup olmadığı kontrol edilmiş daha sonra vuruşlara başlanmıştır. Çarpma anında P yükünün düzgün yayılabilmesi için numuneye alçıdan başlık yapılarak yüzeyler düzleştirilmiştir. Daha sonra ağırlığı serbest olarak düşürmek suretiyle numune kırılana dek bu işleme devam edilmiştir. Ağırlığın düşüp numuneye çarpmasından sonra yaptığı geri sıçrama mesafesi gözlenmiş ve düşmeler sonunda ortalama geri tepme mesafesi belirlenmiştir.

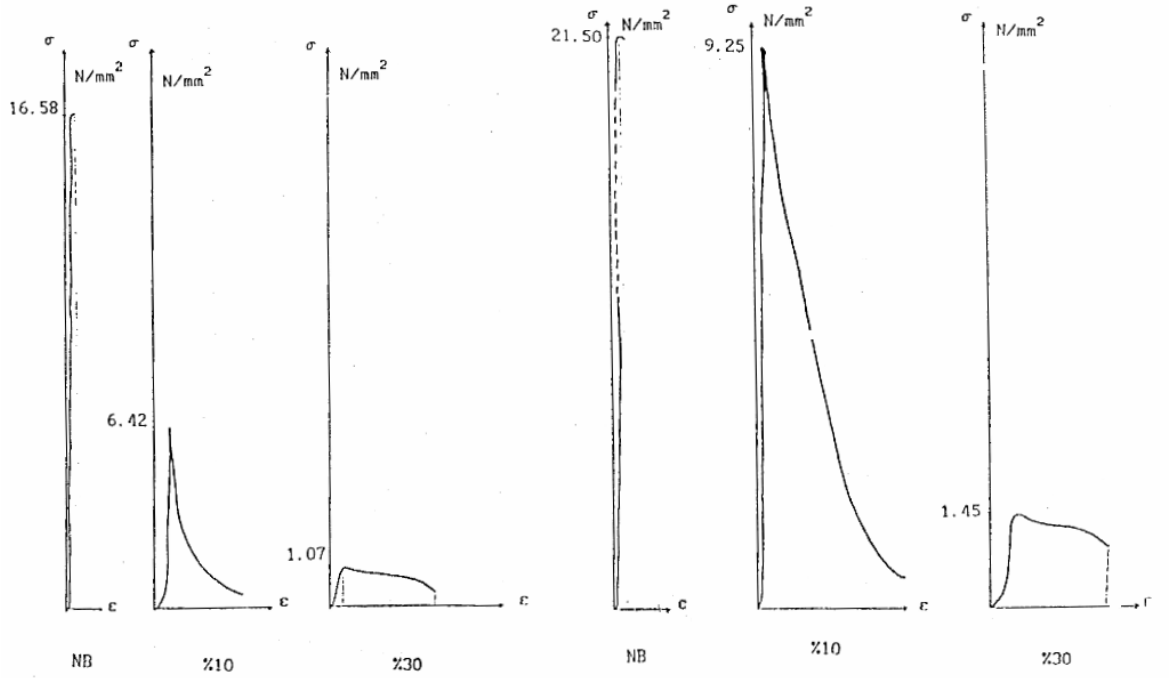


Şekil 3. Çarpma Deney Aletinin Kesit Görünüşü

Ayrıca silindir numunelerin basınç mukavemetlerini ölçmek amacıyla statik basınç deneyleri de yapılmıştır. Daha sonra malzemenin  $\sigma$ - $\epsilon$  diyagramı çizilmek üzere MFL SYSTEME markalı 40 ton kapasiteli Universal test cihazında basınç deneyine tabi tutulmuştur. 4000 kg lık yükte kısa bir bekletme yapılarak numunelere Schmidt çekici ile vurularak yüzey sertlikleri belirlenmiştir. Daha sonra makinanın otomatik olarak çizdiği  $\sigma$ - $\epsilon$  diyagramlarından faydalanılarak rezilyans ve tokluk değerleri hesaplanmıştır. Silindir numunelerde yarma (Brezilya deneyi) ve eğilme numunelerinde ortadan tekil yükleme yapılarak eğilme dayanımları belirlenmeye çalışılmıştır.

### 2.1.2. Deneylerin Sonuçları

Lastik katılmış betonlarda fiziksel, mekanik ve dinamik özellikleri ile ilgili testler yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4'te gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır.



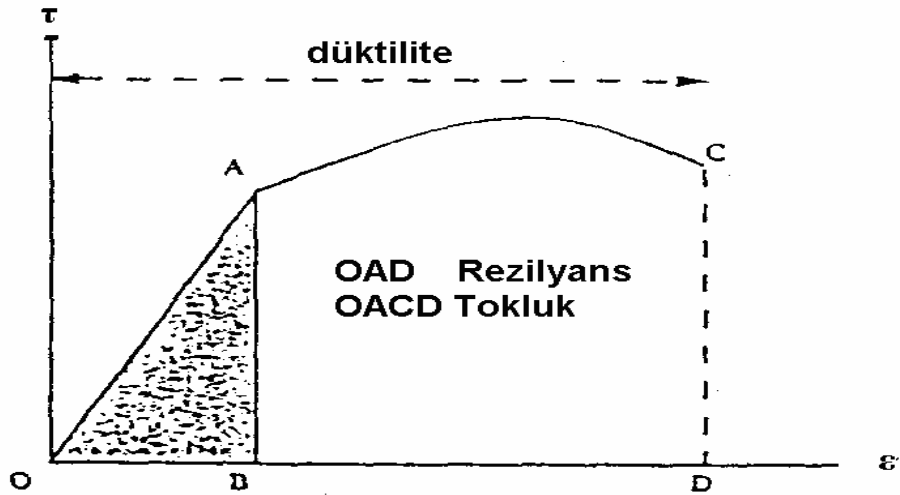
Şekil 4. Silindir ve küp numunelerde  $\sigma$ - $\epsilon$  diyagramlarındaki değişim

### 2.1.2.1. Basınç Dayanımları İle İlgili Sonuçların Değerlendirilmesi

Üretilen numunelerin 28 günlük silindir basınç dayanımları incelenmiş ve sonuçta % 30 lastik ilavesiyle normal beton dayanımının %10'u elde edilebilmiştir. Betona ilave edilen lastik, betonun basınç dayanımını oldukça fazla bir şekilde düşürmüştür. Üretilen numunelerin 28 günlük silindir basınç dayanımları incelenmiş ve %10 ve %30 lastik ilaveleri ile dayanımlarda %65 ve %94 lük azalmalar görülmüştür. Deneylede üretilen normal betonların silindir basınç dayanımı  $18.58 \text{ N/mm}^2$  olup bu karışıma %10 lastik ilavesi halinde  $6.42 \text{ N/mm}^2$  olarak yaklaşık %35 ine yakın bir dayanım elde edilebilmektedir. Aynı karışımdan üretilen kenar uzunluğu 20cm olan küplerde ise dayanım  $21.5 \text{ N/mm}^2$  olarak bulunmuştur. Bu normal betona %10 lastik ilavesi sonunda ise  $9.25 \text{ N/mm}^2$  lik, yani normal betonun %45 'i dayanıma ulaşan beton yapılabilmektedir.

### 2.1.2.2. Rezilyans ve Tokluk Değerlerinin İncelenmesi

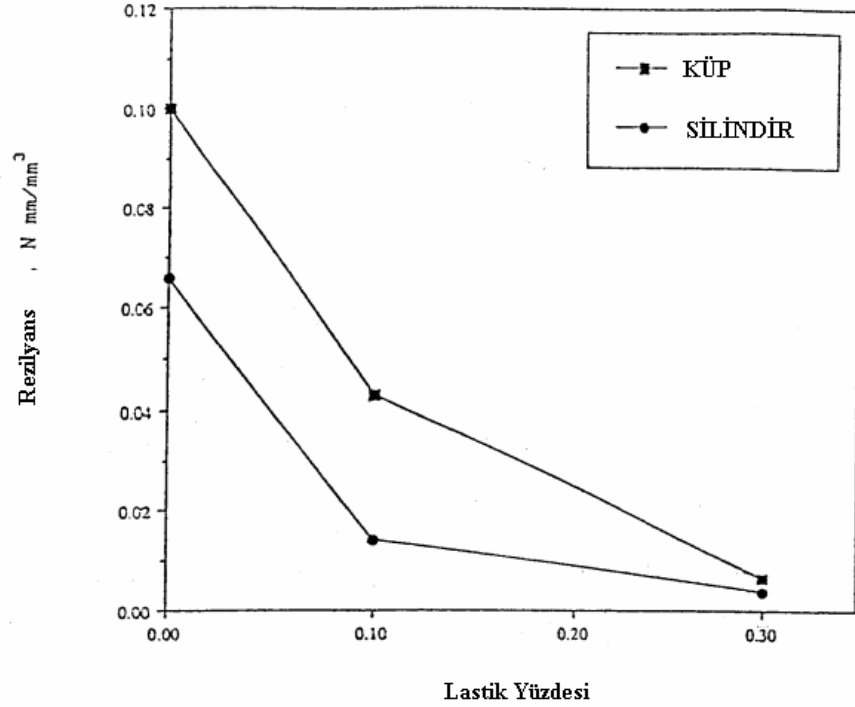
Basınç deneyi esnasında otomatik olarak çizdirilen  $\sigma$ - $\epsilon$  diyagramının altında kalan alanların değerlendirilmesiyle rezilyans ve tokluk değerleri elde edilmiştir. Silindir ve küp numuneler için çizdirilen diyagramlar Şekil 4 ve 5 de verilmiştir. Şekil 6 dan da görüldüğü gibi maksimum yüke kadar olan üçgen alan değeri rezilyans, diyagram altındaki toplam alan ise tokluk değerini vermektedir (5).



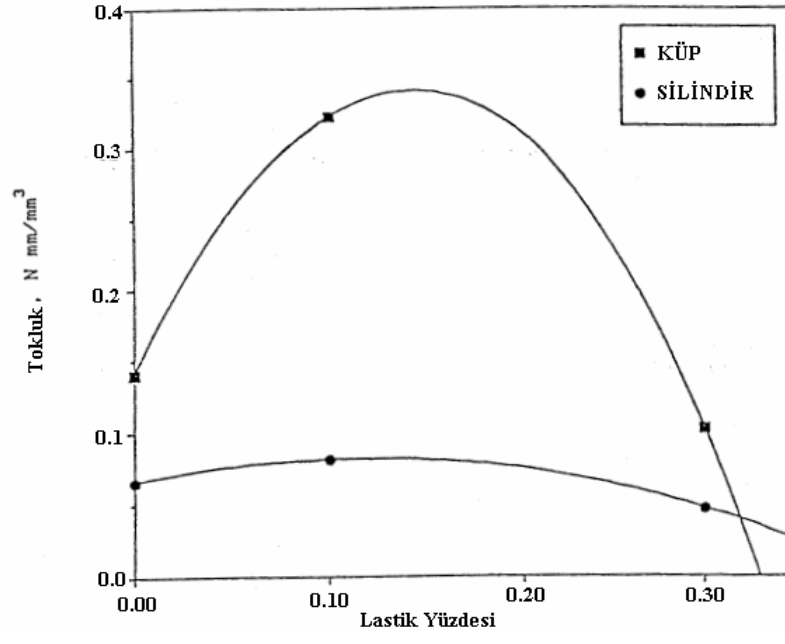
Şekil 5. Rezilyans ve tokluk değerlerinin gösterimi



Normal betonlara ait silindir numunelerde  $0.066 \text{ Nmm/mm}^3$  olarak bulunan rezilyans değeri, %10 ve %30 lastik ilavesi halinde  $0.0141$  ve  $0.0097 \text{ Nmm/mm}^3$  değerlerine düşmektedir. Buna karşılık küp numunelerde bu değerler  $0.043$  ve  $0.00629 \text{ Nmm/mm}^3$  olmaktadır. Silindirlerde tokluk değeri  $0.066$  dan başlayıp %10 lastik ilavesi halinde  $0.081$  e yükselirken %30 lastik ilavesi halinde  $0.047 \text{ Nmm/mm}^3$  değerine düşmektedir. Küplerde ise %10 lastik ilavesi halinde  $0.332 \text{ Nmm/mm}^3$ , %30 lastik ilavesi halinde ise  $0.103 \text{ Nmm/mm}^3$  olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, %10 lastik ilavesi ile rezilyansda azalma olmasına karşın toklukta normal betona göre artma olduğunu göstermektedir. %10 dan daha fazla lastik ilavesi halinde ise rezilyans ve tokluk değerlerinin her ikisinde düşmektedir (6). Şekil 7' de bu değişimler görülmektedir.



Şekil 6. Rezilyansın lastik ilavesiyle değişimi



Şekil 7. Tokluğun lastik ilavesiyle değişimi

### 2.1.2.3. Çarpma Deneyi İle İlgili Sonuçların Değerlendirilmesi

Lastik agregalı betonun dinamik özelliklerini belirlemek amacıyla tasarlanan çarpma deneyinde şahit ve içinde lastik katkılı betonların tekrarlı düşen ağırlıklar altında kaç defada kırıldığı ve düşmeler sonunda ağırlığın ne kadar geri tepme yaptığı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu deneyde şahit betonların düşen ağırlıklarla kırılma sayısı 20 olarak bulunurken bu değer %30 lastikli betonlarda 17 olarak elde edilmiştir. şahit beton üzerine düşen ağırlık geri tepme yapmazken %10 lastikli betonda 4, %30 lastikli betonda ise 12cm lik ortalama geri tepme mesafeleri gözlenmiştir. Geri tepme mesafelerindeki bu artış lastiğin betona kazandırdığı süneklik ile sağlanmaktadır. Ayrıca şahit betona yakın kırılma sayısının bulunması da bu betonun çarpma etkilerine normal şahit kadar dayanabileceğini göstermiştir.

### 2.1.2.4. Eğilme ve Yarma Deneyi İle ilgili Sonuçların Değerlendirilmesi

Prizmatik numuneler üzerinde yapılan eğilme deneyi ile ilgili çalışmalar sonunda normal betonlar yaklaşık  $37.8 \text{ kg/cm}^2$  ilk eğilme dayanımı gösterirken %30 lastikli betonların  $7.88 \text{ kg/cm}^2$  lik eğilme dayanımı değeri verdiği bulunmuştur. Bu lastik agregalı betonların normal betonların eğilme dayanımının %20'si kadar bir eğilme dayanımı verebildiğini göstermektedir.

Yarma deneyinde ise  $2.62 \text{ kg/cm}^2$  lik bir yarma-çekme dayanımı bulunmuştur. Normal betonun çekme dayanımı  $9 \text{ kg/cm}^2$  kabul edildiğinde lastik agregalı betonların normal agregalı betonların %30'u kadar yarma-çekme dayanımı verebileceği belirlenmiştir. Yani çekme dayanımı, basınç dayanımı kadar düşük çıkmamış, lastiğin beton ile yaptığı kuvvetli aderans yarma-çekme dayanımını artırmıştır.

### 2.1.2.5 Hasarsız Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Lastikli ve normal betonların küp numunelerinde ultrases geçiş süresi ve Schmidt çekici ile yüzey sertliği deneyleri yapılmıştır. 28 günlük küp numunelerde %10 lastik ilavesi sonunda ultrases geçiş süresi  $49\mu\text{s}$ 'den  $55\mu\text{s}$ 'ye yükselme, Schmidt çekici değerlerinde ise 23'den 25'e bir artma olmaktadır.

### **2.1.2.6. Genel Değerlendirme**

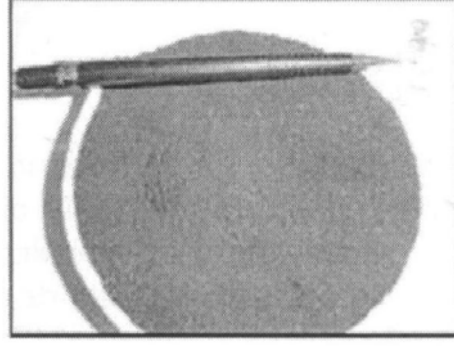
Normal betonlara %10 lastik ilavesi toklukta %23 lük bir artma sağlarken 6 ile 9 N/mm<sup>2</sup> ilk basınç mukavemeti elde edilebilmektedir. Birim ağırlığı da 2.06 t/m<sup>3</sup> civarında olan bu betonun taşıyıcılık özelliği aranmayan, çarpmalara maruz kalan ve ses yalıtımı istenen yerlerde kullanılması oldukça yararlı olacaktır. Çarpma deneyleri ile tekrarlı darbe yükleri altında lastikli betonların normal betonlara yakın değerler vermeleri, ayrıca lastik ilavesi ile elastikliğin artıp yüksek geri tepme yapması bu betonların çarpma durumunda çok yararlı olacaklarını göstermektedir.

## **2.2. Lastik Agregası ile Yapılan Beton Çalışmaları**

### **2.2.1. Deney no: 1**

Brezilya'da Civil Engineering Department, FEIS/UNESP tarafından yapılan "Arındırılmış ve Arındırılmamış Lastik Agregalı Harçlarla İlgili Çalışma (Study of treated and untreated tire rubber mortar) " adlı araştırmada genel olarak aşığıdaki gibi anlatılmaktadır.

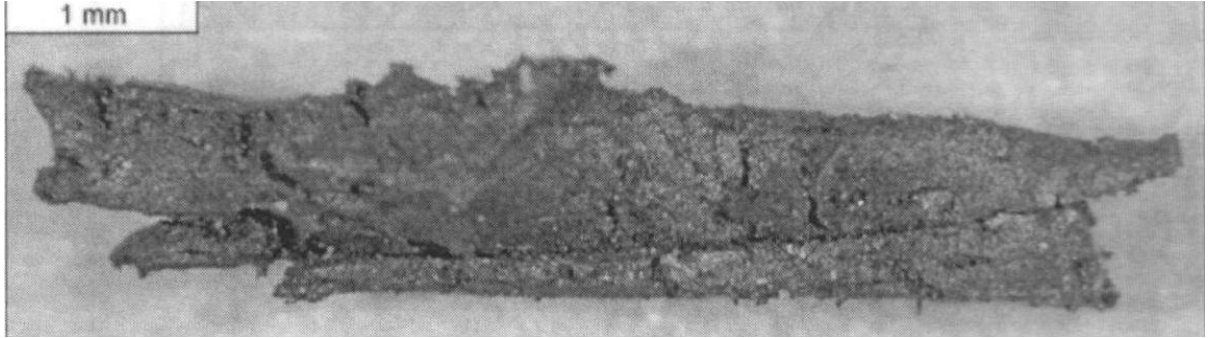
**2.2.2. Malzemeler:** İnce agregası, çimento ve lastik parçaları. İnce agregası olarak birim ağırlığı 2.65 g/cm<sup>3</sup> nehir kumu kullanılmaktadır. Çimento ise birim ağırlığı 3.05g/cm<sup>3</sup> olan Brezilya standartlarına uygun fiziksel ve kimyasal analizleri belli olan çimento seçilmiştir. Lastik parçaları, Borcol otomotiv endüstrisinin ürünlerinden alınmıştır. Büyüklüğü 1000µm, birim ağırlığı 1,09g/cm<sup>3</sup> olan ağırlık olarak kompozisyonu 1:3:0,5 ve hacimce ince agreganın %20'sinin yerine lastik parçaları ile yer değiştirilen bir karışım hazırlanmıştır.



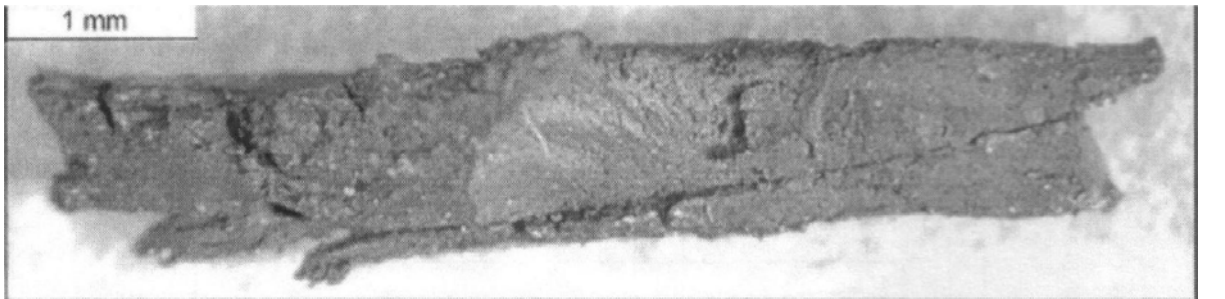
**Şekil 8.** Sodyum hidroksit

### 2.2.3. Metot

Sodyum hidroksit ile doyurulmuş suda araba lastiği artıkları arındırılmaktadır. Bu sodyum hidroksitli suda 30 dakika boyunca bekletilir. Bu emilim işleminden sonra pH 7 oluncaya kadar yıkanır. Bu arındırılma işleminin elektron mikroskobu ile çekilmiş sonuçları aşağıda gösterilmektedir.



**Şekil 9.** Arındırılma işleminden önce resmi çekilen lastik parçası



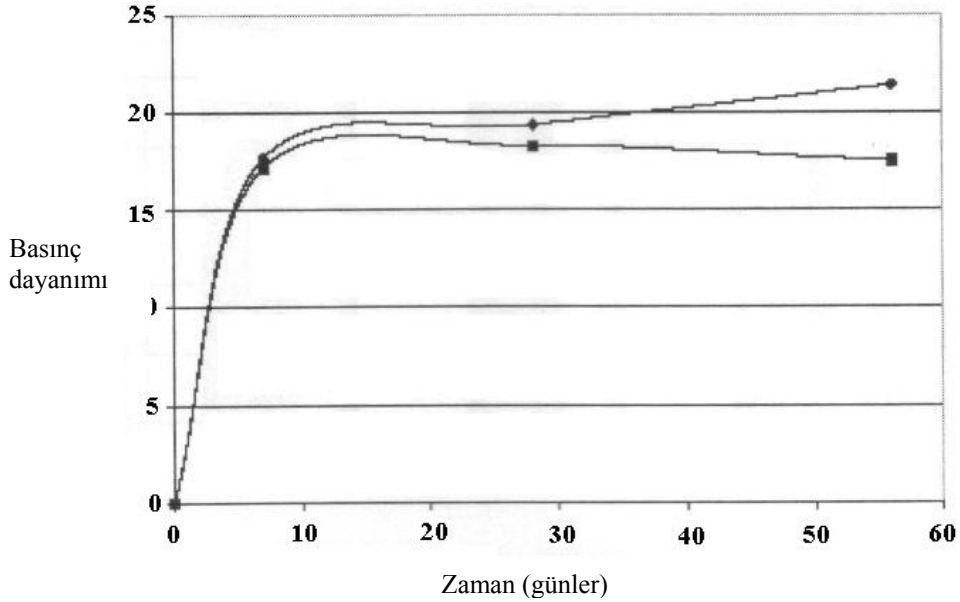
**Şekil 10.** Arındırılma işlemi sonunda çekilen resim

Numuneler yapılmıştır ve 7, 28 ve 56. günlere kadar nemli bir ortamda bekletilmiştir. Burada basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve elastisite modülü deneyi yapılmıştır. Su emilimi deneyi ise 90. gün sonunda yapılmıştır. Basınç, yarmada çekme dayanımı ve elastisite modülü deneyleri 5x10 cm'lik silindirik numuneler üzerinde yapılırken elastisite modülü deneyi (10x20) cm'lik silindirik numuneleri üzerinde yapılmıştır.

## 2.2.4. Sonuçlar

### 2.2.4.1. Basınç Dayanımı

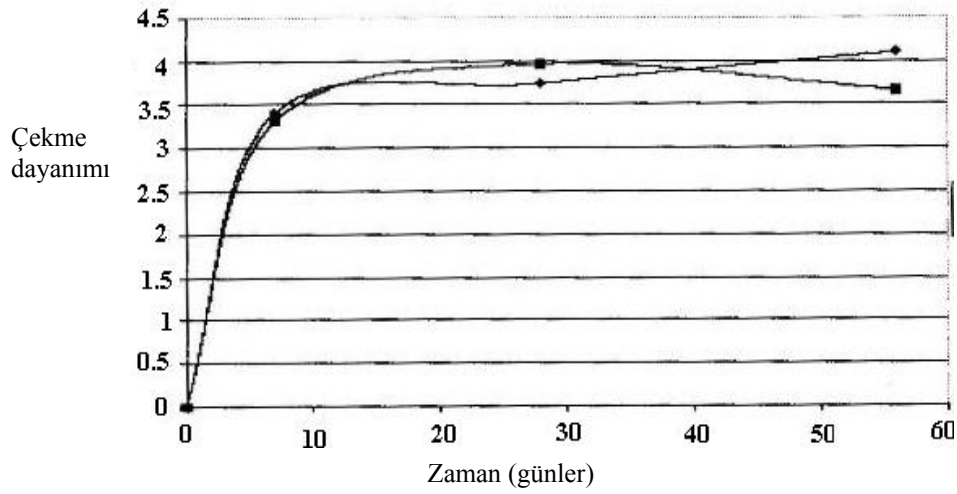
28 günlük kür sonunda arındırılmış ve arındırılmamış lastik agregalı harçların basınç dayanımları 19,34 MPa ve 18,26 MPa gibi birbirlerine yakın rakamlar ortaya çıkmıştır. Fakat ilerleyen yaşlarda bu fark artmaktadır. 56 gün sonunda arındırılmış lastik agregalı betonun basınç dayanımdaki performans arındırılmamışinkine göre çok iyi sonuçlar vermektedir. Buna göre arındırılmış 21.38MPa. arındırılmamış 17,48MPa olarak bulunmuştur.



Şekil 11. Basınç Dayanımı

### 2.2.4.2. Yarmada çekme dayanımı

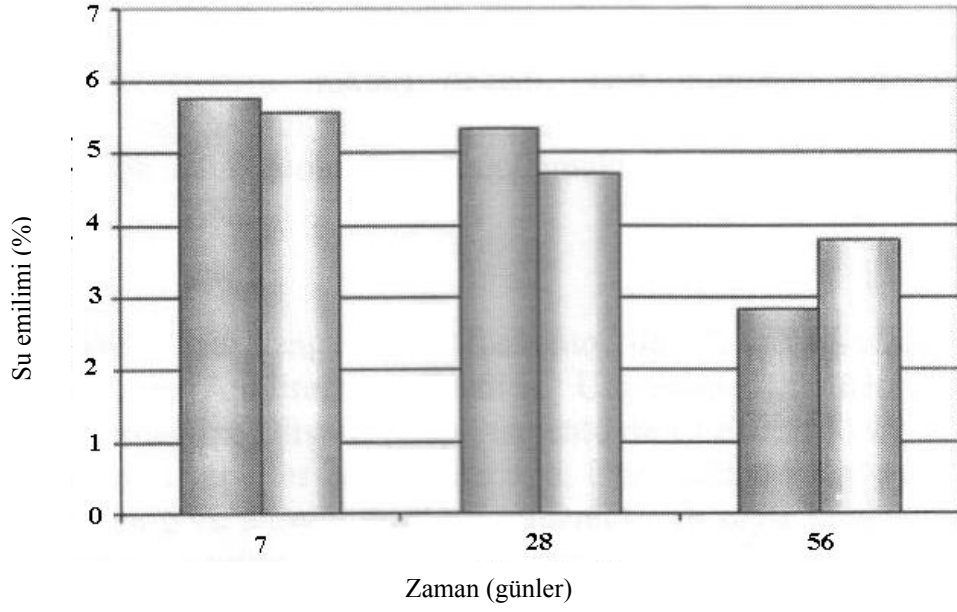
Basınç dayanımında olan davranışı yarmada çekme dayanımında da fark edilmiştir. İlk günlerdeki sonuçlar birbirine yakındır. 28 günlük çekme dayanımı arındırılmış 396MPa. arındırılmamış 3,74MPa olarak belirlenmiştir. İlerleyen günlerde arındırılmış lastik parçaları betonun çekme dayanımında kötü bir performans göstermesine neden olmuştur, 56 günlük çekme dayanımı sonuçları ise arındırılmış 3.66MPa. arındırılmamış 4.1MPa olarak belirlenmiştir.



Şekil 12. Yarmada çekme dayanımı

### 2.2.4.3. Su emilimi

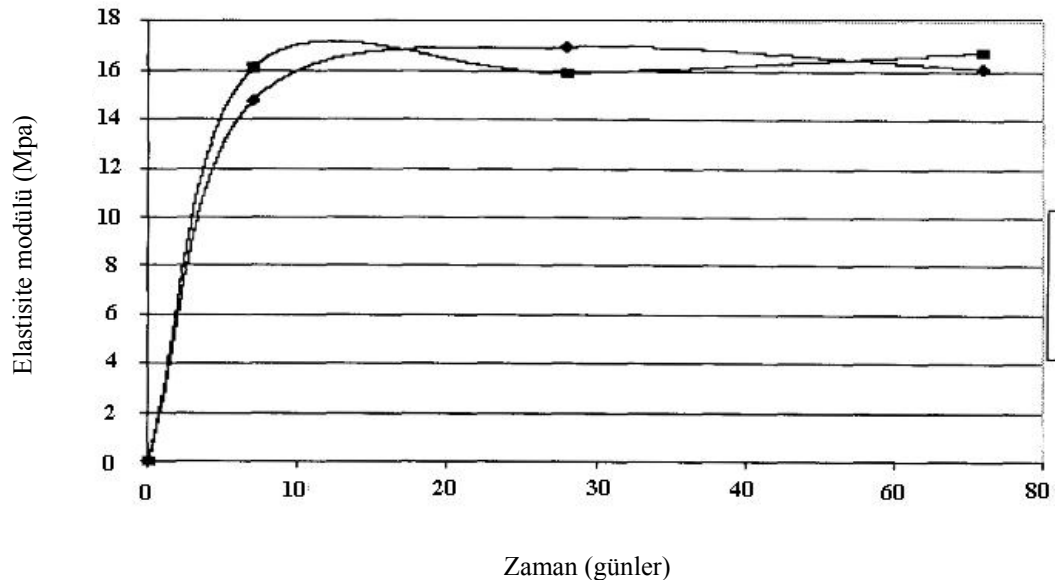
7 ve 28 günlüklerde pozitif bir artış vardır. 56. ve 90. günlerde ise açıkça görüldüğü gibi önce günlere göre harcın performansında bozulma görünür. Numunelerin su emilimi arındırılmamışa göre arındırılmış numunenim su emilim artışı %30 daha fazladır.



Şekil 13. Su emilimi

#### 2.2.4.4. Elastisite modülü

Şekilde de görüldüğü gibi arındırılmış ya da arındırılmamış numunelerin elastisite modülleri zamana bağlı olarak herhangi bir etki göstermemişlerdir.



Şekil 14. Elastisite Modülü



#### 2.2.4.5. Genel Sonuçlar

Sonuç olarak elastisite modülünde tayin edildiği gibi tüm analiz sonuçlarında arındırılmış araba lastik parçalarının etkisi pek yoktur. Genel olarak ileriki yaşlarda (56, 90. günlerde) arındırılmış lastik parçalarının harç üstünde basınç dayanımına, yarmada çekme dayanımına, su emiliminin ölçülmesinde zararlı olduğu gözlemlenmiştir.

Arındırılmış lastik parçalarının kullanıldığı harçlarda basınç dayanımının ve yarmada çekme dayanımının 28. güne kadar fazla bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.

Arındırılmış numunelerdeki su emilimi ilk gelişim sürecinde arttı. Fakat 56. ve 90. günlerdeki su emilim miktarı değişti. Test numunelerinde ileriki yaşlarda karışımın davranışının değişmesini teyit etmektedir. Lastik parçacıklarının pürüzlü olması düzgün olmasından çok daha iyi olduğunu kanıtlamaktadır.

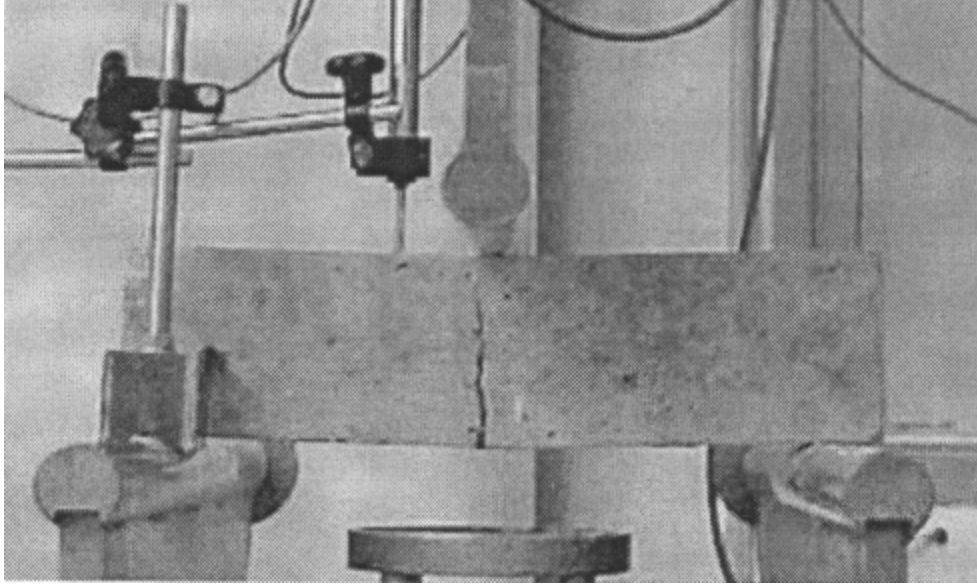
#### 2.3. Deney No:2

Gonzalo Barluenga (Departamento de Tecnologia de la Edificacion. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica, Universidad Politécnica de Madrid. Spain) ve Francisco Hernandez-Olivares (Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid. Spain) yaptığı bir araştırmaya göre normal Portland çimentosu ve suyla kullanıldığında lastik agregalar çok iyi bağdaşma göstermektedir. Lastik agrega hafif agreganın kullanıldığı yerlerde tercih edilmektedir. Bunun nedeni, önemli bir basınç kaybı olmaksızın dinamik yükler yüklendiğinde kırılğan matrislerin yumuşatma kapasitelerini yükseltmektir.

Yol yapım şirketlerine göre yol inşaatlarının ortak betonunun dozajı seçilmektedir. Çeşitli hacimsel lastik parçalarla (volumetric fraction (VF)) çalışılmıştır (3.5, 5 ve 8 %). % 40 dayanım kaybı olduğu için ilk testlerde gerçek değerinin %8 altında VF görülmüştür. Değişik hacimsel parçalar taze ve sertleşmiş (prizini almış) beton üstünde denenmiştir.

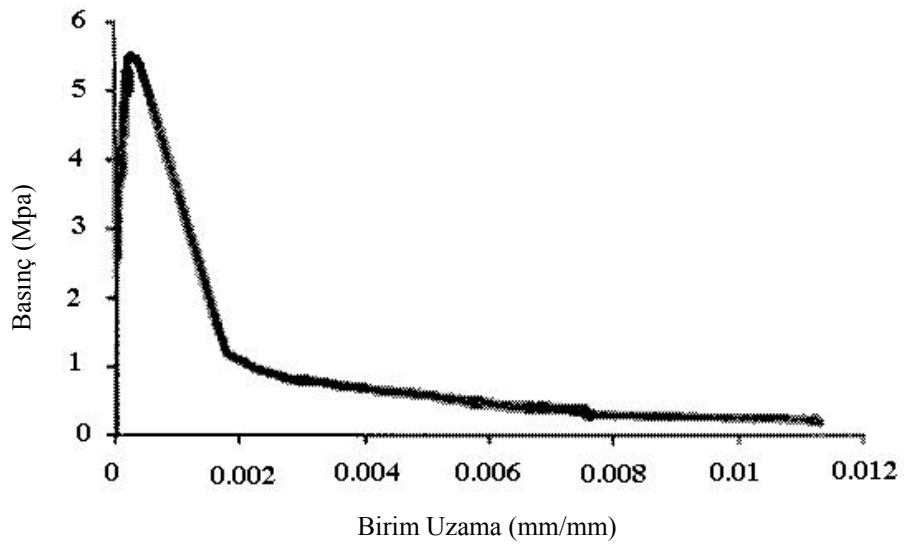
Sertleşmiş lastik agregalı betonda statik ve dinamik testler 3 numune üzerinde yapılmıştır. Bu testler basınç deneyi, direkt olmayan çekme (Brezilya metoduna göre) ve eğilme deneyleridir.

Buradan çıkan sonuçlar ise üretilen lastik agregalı betonda % 20—25 basınç dayanımında, % 10—15 eğilmede düşüşler gözlenmiştir. Öte yandan maksimum basınç uygulandığında davranışında farklılıklar elde edilmiştir. Burada lastik agregasız betonların daha kırılğan olduğu, fakat lastik agrega eklenen betonların basınç dayanımının çok düştüğü gözlemlenmiştir.



**Şekil 15. Basınç dayanım testi**

Lastik agregalı beton (lastik fiberli betonlarda çatlaklar her iki tarafta da olmaktadır.)



**Şekil 16. lastik agregalı betonun basınç-dayanım ilişkisi**

Bu özelliklerle lastik agregalı beton numunenin nemlilik kapasitesinde artış ve dinamik young modülünde azalma olmuştur. Böylelikle toplam enerjisinin %20-30 kadar arttığı ve dinamik basınç yükleri altında yararlılığı yükselmiştir. Bu da trafik yolları, kaldırımlar ve park alanları için çok yararlıdır.

#### **2.4. Lastikli Betondan Yapılmış Otoyol Korkulukları**

Dünya ülkeleri 20. yüzyılın ortalarından itibaren, her iki dünya savaşında verilen ölü ve yaralı sayısı kadar kaybı trafik kazalarında vermiştir. Trafik tekniğinin de gelişmesiyle konuya ciddi bir şekilde yaklaşan ülkeler 1950'den itibaren önlem olarak çelik oto korkulukları uygulamaya koymuşlardır. Ancak tüm çabalara rağmen bu önlemin kazaları önlemede etkinliğini %20'lerin üzerine çıkarmak mümkün olamamıştır. Çelik oto korkuluklar yüksek derecede bakım-onarım ve işletme hizmeti gerektirmektedir. Bu, büyük oranda yüksek bakım-onarım ve işletme giderleri demektir.

Çelik oto korkulukların kazaları önlemedeki etkinliğini arttırmak için yapılacak her ek çaba, bu sistemin maliyetini arttırırken, etkinliğinin yani faydasının da azalmasıyla sonuçlanmaktadır. Sonuçta sistem, gittikçe ekonomik olmaktan uzaklaşmaktadır. Bu tespitler sonucunda, çelik oto korkuluklardan daha etkin ve daha ekonomik bir oto korkuluk araştırılmaya başlanmıştır.



**Şekil 17.** Beton otoyol bariyerleri

A.B.D’de 1960’larda başlayan çalışmalar sonunda “New Jersey” tipi beton oto korkuluğun, yol emniyetinde önemli iki unsur olan ayırıcılık ve koruyuculuk fonksiyonlarının her ikisini de içerdiği ve çarpma anında araçları tekrar şeridine sevk etme özelliğine de sahip olduğu görülmüştür. İlk uygulamalar Fransa ve Belçika ‘da yapılmış, sonuçta kaza sayısının %60 oranında azaldığı ve ölümlü kaza *sayısında* büyük düşme olduğu gözlenmiştir. Bunun üzerine beton oto korkuluklar 1976 da Almanya’da ilk defa uygulanmıştır. Bugün beton oto korkuluklar, trafik kazalarını önlemede etkin önlemler almak isteyen bütün ülkelerce benimsenmiş ve yaygın olarak kullanılmaktadır.

Türkiye’de beton oto korkuluklarının kalıcı ve etkin bir önlem olabileceği ilk defa 1988 yılında T.C. Kara Yolları Genel Müdürlüğü etüdleri sonucunda anlaşılmıştır. Beton oto korkuluklarının prefabrike olarak yaptırılmasına karar verilmiş ve Türk Prefabrik Birliği tarafından hazırlanan Beton Karayolu Oto korkuluğu Teknik Şartnamesi de sadece prefabrike beton oto korkulukları içerecek şekilde düzenlenmiştir.

Betonun, şekil değiştirmesinin, deformasyon özeliğinin düşük tokluk ve rezilyans değerine bağlı olarak oldukça az olması, betona bu özelliklerini artırıcı yeni bir kimlik aranmasını gerektirmiştir. Sonuçta betonarme korku 3 ak ve bariyerlerin çelik oto korkuluklara göre, ses yalıtımının yüksek, bakım, onarım masrafının az ve daha güvenilir olduğu belirlenmiştir. Ancak betonarme oto korkulukların bu özelliklerini geliştirmek, kaza oranını azaltmak, maddi hasar ve can kaybını minimuma indirerek ses absorbe özeliğini artırmak gerekmektedir. Lastik agregalı beton normal betona oranla rezilyans, tokluk ve ses yalıtımının yüksek oluşu sebebiyle oto korkuluklarda kullanılması avantajlar getirecektir. Lastikli betonun tokluğunun normal betonun tokluğundan yüksek olduğu bulunmuştur. Lastik agregalı betonun yuttuğu enerjinin fazla oluşu araçların çarpma anında araç tarafından yutulan enerjinin bir kısmını daha fazla absorbe ederek oluşacak hasarı azaltacak, can kayıplarını daha aşağılara çekecektir, Lastikli beton üzerinde yapılan dinamik deneyler sonucunda, darbe etkisiyle sıçramanın normal betona göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Lastikli betonun bu özeliğinden dolayı oto korkuluklara çarpan aracın çarptıktan sonra şeridine dönmesini kolaylaştıracağı açıktır Bu yeni betonun ses absorbasyonun normal betondan fazla olması araç gürültüsünün rahatsız edici boyutlarda olduğu endüstriyel taşımacılık yapılan yollar, şehir içi taşıt trafiğinin yoğun olduğu koruma bariyerlerinde kullanılabileceği sonucunu çıkarır. Lastikli betonun basınç dayanımının düşük olması,

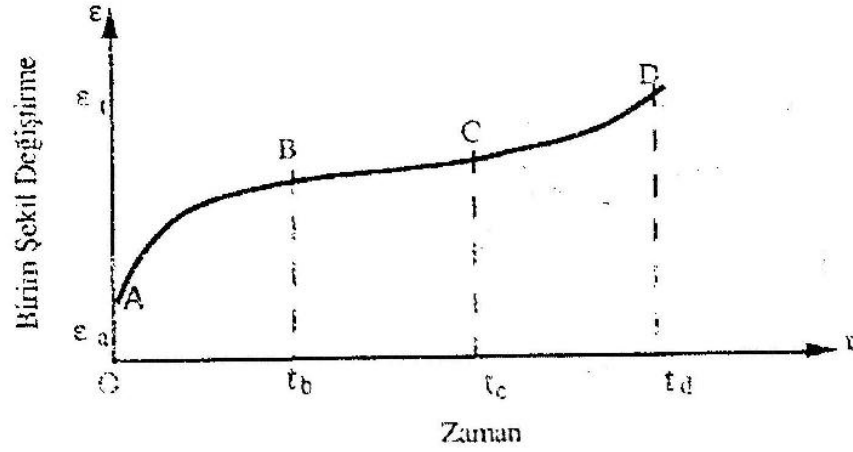
yüksek dayanımın aranmadığı beton oto korkuluklar ve bariyerlerde kullanılması bakımından sorun teşkil etmeyecektir.

#### **2.4.1. Çalışmanın Amacı**

Lastik agregalı betonların çarpmalara maruz kalan yapı elemanlarında, oto yol korkuluklarında, çivilenebilir betonlar gibi cephe kaplamaları şeklinde giydirme mimari uygulamalarında, düşük dayanım isteyen yol yapım işlerinde, düşük birim ağırlık isteyen bölme duvarlarında, gürültü kesici olarak ses bariyerlerinde, demiryollarında betonarme traverslerde kullanılabileceği belirtilmektedir. Bu amaçla betonların oto yol korkuluklarında kullanılabilmesi amacıyla beton içine belirli oranlarda atık oto lastiği katılmıştır. Atık oto *lastiği* katılmış lastik agregalı betonun fiziksel (taze ve sertleşmiş birim ağırlık, çökme, yayılma), mekanik (basınç, eğilme, yarma-çekme dayanımı ve Schmidt sayısı), dinamik (çarpma), çevresel tesirlere dayanıklılık (donma-çözülme, yangına dayanıklılık) ve teknolojik (aşınma, sünme ve ultrases hızı) özelliklerinin belirlenmesine çalışılmıştır.

#### **2.5. Lastik Agregalı Betonda Sünme**

Genel olarak herhangi bir cisme kuvvet uygulanıp, bunun uygulanmasına devam edilmesi halinde, iki tür deformasyon meydana gelmektedir. Bunlardan biri kuvvetin uygulanması anında meydana gelen deformasyondur, buna ani deformasyon adı verilmektedir. İkinci tür deformasyon ise, ani deformasyon meydana geldikten sonra başlayan ve zamanla birlikte artmakta olan geciken deformasyondur. İşte bu ikinci tip deformasyona sünme adı verilir. Bir elemanda görülen genel bir sünme davranışı Şekil 18 de verilmiştir. Bu şekilde A noktasında deformasyon hızı en büyük değeri alır, eğrinin sona erdiği B noktasında da hız minimum değerini alır. Deformasyon hızının zamanla azalması demek gittikçe daha az deformasyonun meydana gelmesi demektir.



Şekil 18. Genel sünme şekli

Betona lastik agregası ilave edilerek elde edilen lastikli betonların sünmesinin belirlenmesine çalışılmıştır. Deneylerde laboratuvar şartlarında 18-24°C arasında değişen sıcaklıklarda ve sabit gerilme altında sünme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sünme deneyleri iki grupta yürütülmüştür. Bunlardan birincisi betonlara lastik ilavesi ile elde edilen lastik agregalı betonlarda, ikinci gruptakiler ise harçlarda yapılan deneylerdir.

### 2.5.1. Yapılan Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalar, atık oto lastiklerinin beton ve harç içinde agregası olarak kullanılabilme olanaklarının araştırılabilmesi için çeşitli beton ve harç karışımlarının hazırlanması, üretilmesi, taze ve sertleşmiş beton ve harçlar üzerinde birtakım özelliklerin belirlenebilmesi için yapılan çalışmalardır. Bu amaçla çalışmalarda lastik agregaların betonların fiziksel, mekanik, dinamik, çevresel tesirlere dayanıklılık ve teknolojik özellikleri ile harçların fiziksel, mekanik, çevresel tesirlere dayanıklılık ve teknolojik özelliklerine olan etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Aşağıda deneylerde kullanılan malzemelerin her biri ayrı ayrı tanıtılacak, üretilen karışımlar, deney numunelerinin şekli, sayısı ve boyutları, bakım koşulları hakkında bilgi verilecektir.

## 2.5.2. Atık Lastik İle Yapılan Deneysel Çalışmalar

Yapılan deneysel çalışmalar, atık oto lastiklerinin beton ve harç içinde agrega olarak kullanılabilme olanaklarının araştırılması için çeşitli beton ve harç karışımlarının hazırlanması, üretilmesi ve birtakım özelliklerinin belirlenmesi için yapılmıştır. Bu amaçla lastik agregaların, betonların dinamik özelliklerine olan etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu deneyler Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Eser Ö.F.(1995) tarafından yapılmıştır (7).

### 2.5.2.1. Kullanılan Malzemeler

50 kg'lık torbalarda bulunan TÇ 32,5 (Traslı Çimento) kullanılmıştır.

Betonlarda Sakarya nehri dere yatağından alınan 0/4 mm'lik, birim hacim ağırlığı 1640 kg/m<sup>3</sup>, özgül ağırlığı 2640 kg/m<sup>3</sup>, 30 dakikalık su emme yüzdesi %1, incelik modülü 2.00 olan yıkanmış dere kumu kullanılmıştır.

1/16 mm ve 16/31.5 mm dane boyutlarında birim hacim ağırlıkları sırasıyla 1425 ve 1400 kg/m<sup>3</sup>, özgül ağırlıkları 2720 ve 2700 kg/m<sup>3</sup> olan kırmataşlar kullanılmıştır.

Harç içine çeşitli oranlarda ince ve iri agrega olarak katılan lastik, laboratuarda 0/1 mm (ince) ve 1/4 mm (iri) olacak şekilde iki ayrı dane boyutuna ayrılmıştır.

Her iki grup için fiziksel özellikleri belirleyici deneyler yapılarak ince ve iri lastikler için sırasıyla birim hacim ağırlıklar 472.5 ve 410 kg/m<sup>3</sup>, özgül ağırlık 650 kg/m<sup>3</sup>, E = 5-15 N/mm<sup>2</sup>, ısı geçirgenliği 21 Kcal / m h °C ve incelik modülleri 1.91 ve 1.58 olarak bulunmuştur.

Harç numunelerinin hazırlanmasında kullanılan Standart Rilem kumu TS 819 şartnamesine uygun olarak üretilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlarda Standart Rilem kumunun birim hacim ağırlığı 1713 kg/m<sup>3</sup>, özgül ağırlığı 2681 kg/m<sup>3</sup>, 30 dakikalık su emme sonunda % 12 ve incelik modülü 2.04 bulunmuştur.

Karışımlarda Eskişehir Bademlik bölgesi şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

### 2.5.2.2. Beton İçerisine Atık Lastik İlavesi İle Yapılan Deneyler

Beton içerisine atık lastik ilavesi ile yapılan deneysel çalışmalarda, iri ve ince kırmataşlı üçer seri 0/1 ve 1/4 mm lastik agregalı ve bir seri de lastiksiz normal beton üretilmiştir. Lastik agregalı betonlar, normal beton serisindeki ince ve iri agregaların hacimce belirli oranlarda azaltılıp, yerine azaltılan hacim kadar 0/1 mm ve 1/4 mm lastik agrega ilave edilmesi suretiyle hazırlanmıştır.

Deneysel çalışmalar sırasında normal beton ve %15, %30, %45 oranlarında 0/1 mm ince lastikli ve 1/4 mm iri lastikli toplam 7 seri üretilmiş ve üretilen seriler sırayla NB, İLB-15, İLB-30, İLB-45, KLB-15, KLB-30 ve KLB-45 şeklinde kodlanmıştır.

Lastik agregalı betonlarda fiziksel, mekanik, dinamik, çevresel tesirlere dayanıklılık ve teknolojik özellikleri ile ilgili yapılan deneyler anlatılmıştır.

### 2.5.2.3. Fiziksel Özelliklerle İlgili Deneyler

Taze betonlar üzerinde, taze birim ağırlık, hava miktarı, çökme ve yayılma deneyleri yapılmıştır. Alınan taze beton numunesi 10 dm<sup>3</sup>'lük ölçü kabına sarsma tablasında sıkıştırılarak tartım yapılmıştır. Terazi göstergesinden okunan değerden ölçü kabının darası çıkarılarak 10 dm<sup>3</sup>'lük taze betonun ağırlığı bulunmuş ve buradan taze birim ağırlık hesaplanmıştır.

Sertleşmiş birim ağırlık deneyleri ise yirmisekiz günlük numuneler üzerinde yapılmıştır. 28 günün sonunda kür havuzundan çıkartılıp oda sıcaklığında 24 saat bekletilen numuneler tartılıp boyutları kompasla ve çelik cetvelle ölçülerek hacimleri bulunmuş buradan da birim ağırlıkları hesaplanmıştır.

Çökme deneyinde ise taze beton, yayılma tablası üzerinde bulunan standart Abrams konisine üç tabaka halinde her defasında yirmibeş defa şişlenerek doldurulmuştur. Koni üst düzeyindeki beton, malayla düzeltildikten sonra koni kaldırılmış ve çökme miktarı cetvelle ölçülmüştür. Ölçülen değer not edildikten sonra yayılma tablası düşey eksende yirmibeş defa serbest olarak düşürülerek numunenin yayılması her iki yönde cetvelle ölçülmüştür.



Hava miktarı deneyinde taze betondaki hava miktarı basınç metodu ile hava ölçen alet kullanılarak ölçülmüştür. Hava miktarı deneyinde taze beton deney kalıbına vibrasyona tabi tutularak üç aşamalı olarak doldurulmuştur. Alete (W) değerine kadar su ilave edilerek hava hücresi valfleri kapatılmış ve hücredeki havanın basıncı ilk basınç işaretini hemen geçecek şekilde arttırılmıştır. Birkaç saniye kadar beklenmiş ve kadrana hafifçe vurulurken boşaltma valfi açılarak gösterge ilk basınç işaretine getirilerek, hava hücresi ile kap arasındaki valf süratle açılmıştır. Gösterge sabitlenince de hava yüzdesi okunmuştur.

Hasarsız deneylerden biri olan ultrases hızı deneyi ile betonlardan ses geçiş hızı belirlenmeye çalışılmıştır. Birim hacim ağırlıkları bulunan numunelerin yan kısımları mala ile düzeltilerek deneye hazır hale getirilmiştir. Ultrases deneylerinde kullanılan cihaz EG-Meter Digi Eg-2 aletidir. Ultrases deneyinde ölçümler numunelerin uzun yönündeki karşılıklı iki yüzün ortalarından yapılmıştır. Alıcı ve verici probların değdirildiği yüzeyler hava boşluğu kalmaması için gres yağıyla yağlanmıştır. Verici probtan çıkan ultrases dalgaları numunenin diğer yüzündeki alıcı prob tarafından yakalanarak osilografa nakledilmiş ve sesin bir uçtan diğer uca geçiş süresi  $10^6$  saniye duyarlılıkta yani mikrosaniye cinsinden okunmuştur.

#### 2.5.2.4. Mekanik Özelliklerle İlgili Deneyler

Basınç deneyinde pres tablaları arasına konan numuneler  $2 \text{ kg/cm}^2$ -sn.'lik sabit hızla yüklenmiş ve birer ton arayla komparatörden boy kısaltmaları okunmuştur. Basınç deneyi sonucunda gerilmeler ve komparatörden yapılan deformasyon okumaları numune ilk boyuna bölünerek birim şekil değiştirmeler hesaplanmıştır. Bulunan değerlerden polinom eğrilerinin geçirilmesiyle  $\sigma$ - $\epsilon$  diyagramları çizilmiştir. Bu diyagramların altında kalan alanlar planimetre yardımıyla hesaplanmış, bulunan değerler planimetre ölçeğiyle çarpılarak her numuneye ait tokluk değerleri belirlenmiştir. Eğilme deneyinde  $10 \times 10 \times 50$  cm boyutlarındaki beton numunesi deneye uygun olarak düzenlenmiş olan 50 cm açıklıklı tablanın iki mesneti üzerine yerleştirilerek tam orta noktadan yükleme yapılmıştır. Kırılmayı meydana getiren kuvvet  $P_K$ , mesnet açıklığı  $l$  ve kare kesitli numunenin bir kenarı  $b$  ile gösterilmiş ve numunenin eğilme dayanımı aşağıdaki ifade ile hesaplanmıştır.

$$\sigma_{\text{eğilme}} = M/W = (3P_k l)/(2b^3)$$

Eğilme deneyi sonucunda iki parçaya bölünen numunelerde yapılan basınç deneyi ise 10x10 cm boyutlu ve 1 cm kalınlıklı çelik plakalar arasına konarak basınç deneyi yapılmıştır. Numuneyi kıran  $P_k$  kuvveti okunmuş ve numunelerin basınç dayanımı aşağıdaki ifadeyle hesaplanmıştır.

$$\sigma_{\text{basınç}} = P_k/(10 \times 10) = P_k/100$$

Yarma-çekme deneyleri BS 16 kalitesinde üretilmiş %15, %30, %45 ince ve iri lastik agrega yüzdeli silindirik beton numunelerinde yapılmıştır. Pres tablaları arasına boyuna şekilde yatırılan numuneler üzerine endirekt yoldan çekme sağlamak amacıyla paralel olarak yerleştirilen çubuklar üzerine presle basınç yükü uygulanmıştır. Artan basınç yükünün numunenin basınç dayanımını aşması sonucunda silindir numunenin ortasından boyuna yarılarak kırıldığı gözlenmiştir. Deneyin takibinde numunelerin kırılma yükleri tespit edilmiş ve endirekt çekme gerilmeleri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\sigma_{\text{yarma-çekme}} = 2P_k^1/\pi DL$$

### 2.5.2.5. Dinamik Özelliklerle İlgili Deneyler

Dinamik özellikleri belirlemek için çarpma deneyleri yapılmıştır. Numuneye belirli bir yükseklikten belirli bir ağırlığın düşürülmesi esas alınmıştır. Aletin ortasındaki mil sistem 65 cm yükseklikten serbest 65 kg'lık ağırlığın sabit noktaya düşmesini sağlayacak şekilde düzenlenmiştir. Deney tablasına numune yerleştirilmeden önce kum konulmuştur. Vuruşlara başlamadan önce aletin mil sisteminde eksantriklik olup olmadığı kontrol edilmiş vuruşlar bu kontrol yapıldıktan sonra yapılmıştır.

Lastik agregalı betonlarla yapılan çarpma deneyi 65 kg'lık ağırlık 65 cm yükseklikten sabit on vuruşla numune üzerine düşürülmek suretiyle gerçekleştirilmiştir. Numuneye çarpma esnasında uygulanan potansiyel enerji  $P \times h = 65 \times 65 = 4225$  kgcm olacaktır. Numuneler deneylerden sonra tartılarak, ağırlık kaybı artışları her bir numune için hesaplanmıştır.

### 2.5.2.6. Çevresel Tesirlere Dayanıklılık (Durabilite) Deneyleri

Lastik agregalı betonların, yüksek ve düşük sıcaklık etkilerini tespit edebilmek amacıyla termal özelliklerinin de belirlenmesine çalışılmıştır. Bu serilerde beton sınıfı BS 16'dır. Altı seri, ince (0/1 mm) ve iri (1/4 mm) lastik agregaların hacimce %15, %30 ve %45 oranlarında azaltılıp, yerine azaltılan hacim kadar 0/1 mm ve 1/4 mm lastik agrega ilave edilmesiyle ve bir seri lastiksiz normal kontrol betonu üretilerek deney numuneleri hazırlanmıştır. Deneylerde ilk seri numunelerin ağırlıkları ve  $P_k$  kırılma yükleri saptanmıştır. Daha sonra ikinci seri silindir ve küp numuneler derin dondurucuya konularak  $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$  'de 24 saat bekletilmiş daha sonra  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  'deki su içine konmuş böylece 24 saatlik çözülme yapılmıştır. Yirmibeş günlük tekrarlı donma-çözülme testleri sonunda numunelerin ağırlıkları tartılmış ve preste  $P_k$  kırılma yükleri saptanarak betonların tekrarlı donma-çözülme sonunda fiziksel ve mekanik özelliklerinin ne şekilde değiştiği belirlenmeye çalışılmıştır. Betonların yangına dayanıklılığı da araştırmak için, incelenen lastik agregalı betonlar  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki fırında 2 saat bekletilmesi sonucu betonların içindeki kalker agreganın bu yüksek ısıyla kirece dönüşmesi ve yanan lastiklerin büzülmesi ile hacimde %30 mertebesinde düşüş saptanmıştır. Bu etkiyle silindir numunelerin tabanına paralel olacak şekilde tüm kesit alanı boyunca oluşan çatlakların geliştiği gözlenmiştir. Bu çatlaklardan kolayca ayrılan silindirik numune parçalarında kireç oluşumu açık şekilde görülmüştür. Bu betonlar üzerine su döküldüğünde kireçlerin genleşmeyle birlikte ısı ve duman çıkartarak sönmeye başladığı, betonların dayanımlarının hiç kalmadığı gözlenmiştir.

### 2.5.2.7. Teknolojik Özelliklerle İlgili Deneyler

Otoyol bariyerlerinde ve genel olarak döşeme kaplamalarında kullanılan betonlarda, betonun yeterli bir aşınma dayanımına sahip olmaması halinde fazla aşınma sonunda beton tabakasının kalınlığı azalarak yapı elemanı işlevini göremez bir hal almaktadır. Aşınma deneyi TS 213'de belirtilen Böhme diski denilen bir alet vasıtasıyla yapılır. Aletin esası düşey bir eksen tarafında dakikada yirmi devir yapan 750 mm çapında belirli sertliğe sahip dökme demirden yapılmış yatay düzlem içinde kalan bir plakadır. Belirli bir düşey doğrultuda basınç kuvveti uygulanarak beton numunesinin yüzü bu plağa değdirilir. Plak üzerine zımpara taşı tozu dökülür ve beton numunesinin bir yüzeyi aşınmaya maruz kalmaktadır. Beton numunelerindeki kalınlığın azalması ya

da ağırlığındaki kayba göre aşınma dayanımı hakkında bilgi edinilmektedir.

Betonarme yapıların değişken yüklerin etkisi altında bulunmasıyla beton yorulma olayı etkisi altında kalmaktadır. Bu yüklerin karakteristik tarafı bunların meydana getirdiği gerilmelerin yüksek değerler almaları ve hatta betonun çözülme sınırını aşmasıdır. Böyle bir durum ise yapının dış kuvvetlere karşı dayanıklılığını tehlikeli bir hale getirmektedir. Lastik agregalı betonlarda yorulma etkisi çarpma etkileri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Burada yapılan deneysel çalışmalarda lastik agregalı betonların yüzey sertliği Schmidt çekiciyle belirlenmeye çalışılmıştır. Silindirik beton numunelerin yüzeyine dik olacak şekilde tutulan Schmidt çekiciyle numunenin farklı yirmi noktasından okumalar alınmış ve bu sonuçlardan betonun kalitesi belirlenmeye çalışılmıştır. Lastik agregalı betonların sabit çekme gerilmesi altında sünme davranışları da incelenmeye çalışılmıştır. 10x10x50 cm boyutlarındaki beton numuneler çekme başlıklarına aynı harç numunelerde bahsedildiği gibi termoset yapıştırıcı olan metalik plastik çelik ile sabitlendirilmiştir. Beton deneylerinde kullanılan bu yapıştırıcıların sünme deney düzeneğini etkilemedikleri görülmüştür. Çekme başlıklarına yapıştırılan numuneler sabit çekme gerilmesine maruz bırakılmadan önce ondört gün bekletilmiş, yapıştırıcının kurduğu tespit edildikten sonra sabit yüklerle asılmışlardır. Deney süresince beton numuneleri çekme dayanımlarının 1/3'ünden fazla olmayacak şekilde sabit yüklerle asılmışlardır. Normal ve lastik agregalı betonlarda meydana gelen deformasyonlar komparatörler vasıtasıyla günlük okumalarla tespit edilmiştir.

#### **2.5.2.8. Harç İçerisine Atık Lastik İlavesi İle Yapılan Deneyler**

Hazırlanan tüm harç numunesi serilerinde su-çimento oranı 0.50 olarak sabit alınmıştır. Karışımlarda agrega olarak yine aynı standartta belirtildiği üzere TS 819 'a uygun olarak hazırlanmış Standart Rilem kumu kullanılmıştır. Kontrol numunelerinin üretiminden sonra su-çimento oranı sabit kalmak şartıyla karışımda kullanılan Standart Rilem kumu hacimce %15, %30 ve %45 oranlarında azaltılıp yerine 0/1 ve 1/4 mm boyutlarındaki lastik agregalar ayrı ayrı katılmış ve kontrol serisi ile birlikte dokuz farklı seri üretilmiştir.

Üretilen seriler lastik agrega boyutları ve karışım oranları dikkate alınarak şöyle

kodlanmıştır.

NH : Lastiksiz kontrol harcı numunesi serisi.(normal harç)

İLH-15 : İçinde % 15 oranında 0/1 mm grubu ince lastik bulunan harç serisi.

İLH-30 : İçinde % 30 oranında 0/1 mm grubu ince lastik bulunan harç serisi.

İLH-45 : İçinde % 45 oranında 0/1 mm grubu ince lastik bulunan harç serisi.

KLH-15 : İçinde % 15 oranında 1/4 mm grubu iri lastik bulunan harç serisi.

KLH-30 : İçinde % 30 oranında 1/4 mm grubu iri lastik bulunan harç serisi.

KLH-45 : İçinde % 45 oranında 1/4 mm grubu iri lastik bulunan harç serisi.

Hazırlanan harç karışımları daha önceden içleri yağlanmış olan 4x4x16 cm boyutlarındaki prizmatik altı adet eğilme deneyi numunesi kalıbına ve kritik kesiti 2.5x2.5 cm olan altı adet çekme deneyinde kullanılacak harç briketi kalıbına vibrasyona tabi tutularak yerleştirilmiştir. Kalıplara yerleştirilen karışım oda sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra kalıplardan alınarak 20 °C'deki kür havuzuna konmuştur. Numunelerinin üçer tanesi yedinci gün sonunda, geri kalan üçer numunede yirmisekizinci gün sonunda havuzdan çıkarılıp oda sıcaklığında yirmidört saat bekletildikten sonra eğilme ve çekme deneylerine tabi tutulmuştur.

Üretilen harç numunelerinde fiziksel, mekanik, çevresel tesirlere dayanıklılık ve teknolojik özelliklerin belirlenmesi için deneyler yapılmıştır.

#### **2.5.2.9. Fiziksel Özelliklerle İlgili Deneyler**

Yapılan taze birim ağırlık deneylerinde, üretilen taze harç serilerinin ağırlıkları tartılmış, boyu da kompasla ölçülmüş ve taze birim ağırlıkları belirlenmiştir. Yirmisekiz gün sonunda da aynı serilerin kuru ağırlıkları tartılmış, boyutları kompasla ölçülmüş ve birim ağırlıkları belirlenmiştir.

Taze birim ağırlıkların belirlenmesini takiben yapılan çökme ve yayılma

deneyinde taze harç 10 cm çapındaki özel hazırlanmış olan harç konisine doldurulmuş daha sonra da kabın tabla üzerine ters çevrilmesi ile taze harç kütleindeki çökme ve yayılma her iki yönde de belirlenmiştir.

#### 2.5.2.10. Mekanik Özelliklerle İlgili Deneyler

Basit eğilme deneyinde 4x4x16 cm boyutlarındaki numune deneye uygun olarak düzenlenmiş aletin 10 cm açıklıklı iki mesnedi üzerine yerleştirilerek tek noktadan yükleme yapılmıştır. Yükleme  $P_k$  kritik yüküne ulaşır numune kırıldığında yüklemeye otomatik olarak durmuştur. Deneylerde kırılmalar momentin maksimum olduğu yani kuvvetin uygulandığı kesitte meydana gelmiştir. Mesnet açıklığı  $l$  ve kare kesitli numunenin bir kenarı  $b$  ile gösterilmiş ve numunenin eğilme dayanımı aşağıdaki ifade ile hesaplanmıştır.

$$\sigma_{\text{eğilme}} = M_{\text{max}}/W = 3P_k l / (2b^3)$$

Çekme deneyinde numuneyi kıran  $P_k^II$  kuvveti, numune kesiti kenar uzunlukları  $a$  ve  $b$  olup çekme dayanımı aşağıdaki ifadeyle hesaplanmıştır.

$$\sigma_{\text{çekme}} = P_k^II / (a \times b) = P_k^II / A$$

Basınç deneyi ise, eğilme deneyinde iki parçaya bölünen numunelerin 4x4 cm boyutlu ve 1 cm kalınlıklı çelik plakalar arasına konarak preste basınca tabi tutularak yapılmıştır.

$$\sigma_{\text{basınç}} = P_k / (4 \times 4) = P_k / 16$$

#### 2.5.2.11. Çevresel Tesirlere Dayanıklılık Testleri

Bu çalışmalarda, lastik agregalı harçların çevresel tesirlere dayanımının belirlenmesine çalışılmıştır. Lastik agregalı harçların termal özelliklerinin araştırılmasında üçer seri 0/1 mm ve 1/4 mm lastik agregalı ve bir seri lastiksiz kontrol numunesi üretilmiştir. Lastik agregalı harçlar üzerinde yapılan termal deneyler iki grupta toplanmıştır, ilk grupta yapılan deneylerde, seri harçlar -27 °C 'de tekrarlı donma etkilerine maruz bırakılmış ve derin dondurucudan çıkarılarak serilerin fiziksel ve mekanik özellikleri (ağırlık, eğilme, basınç dayanımları) incelenmeye çalışılmıştır,

ikinci grup deneyler ise seri harçlar ilk önce etüvde 150 °C'de yakılmış sonrada tekrarlı donma çözülme testlerine tabi tutulmuşlardır. Bu deneylerin sonunda serilerin fiziksel ve mekanik özellikleri (ağırlık, eğilme ve basınç dayanımları) tespit edilmeye çalışılmıştır.

#### **2.5.2.12. Teknolojik Özelliklerle İlgili Deneyler**

Deneyisel çalışmalarda normal ve lastik agregalı harçların sabit direkt çekme gerilmesi altında sünme davranışı incelenmeye çalışılmıştır. Özel olarak hazırlanan çekme başlıkları numunelerin çekme yükü etkisinde sünme davranışlarının incelenmesi için kullanılmıştır. Harç numuneler çekme başlıklarına sünme deneylerini etkilemeyecek termoset seramik yapıştırıcı metalik plastik çelik ile sabitlendirilmiştir. Bu kabullere dayanarak yapılan gözlemlerde aşırı sünme yükü altında kopan numunelere bakıldığında deney düzeneğinin, harç numunelerinin ortaya yakın kısımlarından koptuğu ve yapıştırıcı kısmında en ufak deformasyon bulunmadığı gözlenmiştir. Bu sonuç sünme deneylerinin sağlıklı ve amacına son derece yakın bir atmosferde geçmesine imkân vermiştir.

Sünme sırasında meydana gelecek rötreyi önlemek için harç numuneleri yirmi sekiz günlük kür boyunca kür havuzlarında bekletilmiş ve kür süresi sonunda deneylere geçilmiştir. Sabit çekme gerilmesi altında meydana gelen sünme değerleri günlük olarak okunmuş ve laboratuardaki deney kartlarına kaydedilmişlerdir. Deneyler iki ay boyunca sürdürülmüş ve altmış günlük okumalar sonunda elde edilen sünme deney sonuçlarından sabit çekme gerilmesi altında sünme davranışları belirlenmeye çalışılmıştır.

### **2.6. Lastik Agregalı Beton Deney Sonuçlarının İrdelenmesi**

#### **2.6.1. Fiziksel Özelliklerle İlgili Deney Sonuçlarının İrdelenmesi**

Deneyisel çalışmalardan elde edilen sonuçlardan lastik agregalı betonların taze birim ağırlığının lastik miktarındaki artışla azalma gösterdiği belirlenmiştir. Lastiğin normal agregaya oranla düşük olan birim ağırlığından kaynaklanan azalmalar betona da yansımıştır. Lastik agreganın beton içerisinde hafif ve boşluklu malzeme özeliği göstermesi lastik miktarındaki artışla betonun taze birim ağırlığını azaltıcı yönde etki

etmiştir. Lastik miktarındaki artışla sert birim ağırlığın taze birim ağırlıkla benzer şekilde azaldığı söylenebilir.

Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda betona ince ve iri lastik katılmasıyla işlenebilirliğin azaldığı gözlenmiştir. Lastiğin çimento hamuru içinde mevcut sürtünme kuvvetleri ile aderansının fazla olması çökmeyi azaltıcı yönde etki etmektedir. Lastik agregalı betonun yayılma davranışı ise uygulanan tekrarlı sarsma etkisi ve lastik miktarıyla artış göstermiştir. Tekrarlı sarsma etkileriyle lastik, mevcut tutucu kuvvetini kaybetmekte ve betonlarda yayılmayı artırıcı bir davranış göstermektedir.

Lastiğin basınç altında hacmi azalan, hafif ve boşluklu malzeme özeliği göstermesinden dolayı lastik miktarındaki artışla betonda boşluk, bunun sonucu olarak da hava miktarında artış meydana getirecektir. Yapılan deneysel çalışmalarda lastik yüzdesindeki artışın beton içerisindeki mevcut hava miktarını artırdığı fikri doğrulanmaktadır.

Ultrases hızı ile yapılan deneysel çalışmalarda ise normal betonlarda 4.41 ve 4.76 km/sn olarak elde edilen değerler ultrases hızı 4 km/sn den yüksek olan betonların kalitesinin iyi olduğu fikrini vermiştir. Ayrıca lastik agregalı seri betonlarda bu değerler ortalama % 20 oranında azalış göstermesine rağmen normal kalitedeki bir betonun olması gereken 3 km/sn'lik ultrases hızından da yüksek değerler elde edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalardan betonun ultrases geçiş hızının lastik miktarındaki artışla azaldığı gözlenmiştir. Bu azalışlar iri lastik agregalı betonlarda iri lastiğin hacminin daha fazla olması nedeniyle daha yüksek değerlere varmıştır. Lastik miktarındaki artışla ultrases hızındaki orantılı olarak tespit edilen azalışlara lastiğin beton içerisinde boşluk yaratması ve betonun porozitesini artırarak ses geçiş hızının azalmasına neden olduğu söylenebilir. Nitekim ses, yoğunluğu ve boşluğu fazla olan ortamda daha yavaş ilerlemektedir.



### 2.6.2. Mekanik Özelliklerle İlgili Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

Yapılan deneysel çalışmalarda betona lastik ilavesiyle basınç dayanımının azaldığı gözlenmiştir. Lastiğin esnek, hafif ve dayanımı düşük bir malzeme olması ve betonda boşluk oluşturması basınç dayanımının azalmasına sebep olmuştur. Bu davranış iri lastik agregalı betonlarda daha belirgin olarak gözlenmiştir.

Ayrıca betonlara lastik ilavesiyle  $\sigma$ - $\epsilon$  diyagramlarında normal betonlardan farklı olarak elastik şekil değiştirme kapasitesinin azaldığı, plastik şekil değiştirme kapasitesinin arttığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak lastiğin yumuşak ve esnek yapısından dolayı düşük olan elastisite modülünün betondaki elastik şekil değiştirme kapasitesini azaltması, plastik şekil değiştirme kapasitesini de artırması neden olarak gösterilebilir.

Lastik agregalı beton numune basınç dayanımını aştıktan sonra oldukça fazla şekil değiştirme yapmakta, yumuşak çeliğe benzer bir davranış olarak fiçilaşma göstermektedir. Bu da lastik agregalı betonun sünekliğinin arttığını göstermektedir. Bu fiçilaşma yük kalktıktan sonra eski şeklini dönerek kaybolmaktadır. Lastik agregalı beton basınç dayanımını aştıktan sonra betondan çok bir lastik davranışı göstermektedir. Yüklerle beraber çatlak genişliği artmakta, yük kalkınca azalmakta ve eski haline dönmektedir, yani bir yay gibi çalışmaktadır. Normal betonlarda yüksek olan elastik enerji kapasitesinin lastik ilavesi ile azalması buna karşılık plastik enerji kapasitesinin artması, lastik agregalı betonların normal betonlara göre daha fazla şekil değiştirmeler yapabileceğini göstermektedir. Bu betonun kullanıldığı bir bariyerde darbe esnasında oluşacak çarpma enerjisinin büyük bir kısmı betonun şekil değiştirmesinde harcanarak araca beton tarafından büyük bir tepki gelmemiş olacaktır.

Beton numunelerde yapılan eğilme deneylerinde de, dayanımların, basınç dayanımlarında olduğu gibi lastik miktarındaki artışla düştüğü gözlenmiştir. Basınç dayanımına benzer şekilde lastik, düşük dayanımlı olması sebebiyle beton bünyesinde zayıflığa neden olmuştur. Fakat lastik çekmeye karşı direnç gösterebilen bir malzeme olduğu için çatlak gelişimini engellemiş ve kırılma süresini arttırmıştır. Dayanım azalışları iri lastik agregalı betonlarda, ince lastik agregalı betonlara oranla daha fazla olmuştur. Normal ve lastik agregalı betonlarda yapılan deneysel çalışmalarda lastik

agrega miktarındaki artışla betonların yarma-çekme dayanımlarının azaldığı gözlenmiştir. Buna sebep olarak lastik agreganın esnek ve sünek yapısıyla betondaki mevcut aderans ve dayanımı azaltarak yarma-çekme dayanımını azaltıcı yönde etki etmesi gösterilebilir. Yarma deneylerinde de lastiğin çatlak gelişimini engelleme etkisinden dolayı kırılma süresinin oldukça arttığı ve oluşan şekil değiştirmelerin fazlaştığı gözlenmiştir.

### **2.6.3. Dinamik Özelliklerle İlgili Deney Sonuçlarının İrdelenmesi**

Yapılan deneysel çalışmalarda betona lastik ilavesiyle dinamik çarpma dayanımının arttığı gözlenmiştir. Bu artış özellikle iri lastik agregalı betonlarda daha belirgin olarak tespit edilmiştir. Bu sonuca lastik agreganın betona lif yapısıyla esnek, sünek ve darbeleri yutma kapasitesi kazandırması neden olarak gösterilebilir. Lastiğin betona etki eden tekrarlı çarpma yükünü mevcut aderansıyla bünyesine alarak betonların tekrarlı çarpma yükleri etkisi altında dayanımını artırmıştır. Buradan hareketle lastik agregalı betonların çarpma etkilerine maruz kalacak yerlerde, özellikle de beton oto-yol korkuluklarında kullanılabilecekleri fikri kuvvetlenmiştir.

### **2.6.4. Maliyet Analizi**

Yapılan deney sonuçlarında, uygulanan dinamik çarpma yükünün pratikte karşılaşılabilecek araba çarpma tesirlerinden yaklaşık yirmidört defa daha fazla olduğu saptanmıştır. Bunun yanı sıra da çelik oto-yol bariyerlerinin de benzer dinamik yükler etkisindeki davranışı belirlenmeye çalışılmış ve elde edilen verilerden çelik oto-yol korkuluklarının lastik agregalı beton korkuluklardan yedi kat daha dayanıklı olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak lastik agregalı beton ve çelik oto-yol korkuluklarının maliyet analizleri karşılaştırmalı olarak yapılmış ve sonuç olarak da lastik agregalı beton oto-yol korkuluklarının hem maliyet hem de montaj açısından çelik oto-yol korkuluklarından oniki kat daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir.

### **2.6.5. Teknolojik Özelliklerle İlgili Deney Sonuçlarının İrdelenmesi**

Yapılan deney sonuçlarında, betonun içine konulan lastik miktarındaki artışla, betonun sünme davranışının arttığı açıkça görülmektedir. Lastiğin betonun teknolojik özeliğinden sünme davranışını artırması, lastiğin sünek bir malzeme özeliği

göstermesine bağlanabilir, iri lastik agregalı betonlarda sünme miktarının ince lastik agregalı betonlardaki sünme miktarından fazla olması, iri lastiğin ince lastiğe oranla daha fazla sünme ve esneme yeteneğine sahip olmasına ve mevcut aderansı ile aldığı sünmeyi çimento hamuruna aktararak sünme davranışını arttırıcı yönde etki etmesine bağlanabilir. Bu davranış % 45 oranında lastik ilavelerine kadar belirgin olarak gözlenmiştir, içinde % 45 ten fazla lastik agrega bulunan betonların dayanımını fazla düşürdüğü ve dolayısıyla çekme gerilmesi halinde sünme deneylerinin zorlaştığı sonucuna varılmıştır.

Betondaki lastik miktarındaki artışla schmidt sertliğinin azaldığı gözlenmiştir. Betonların yüzey sertliğindeki bu azalmaya lastiğin yumuşak, esnek ve beton dayanımını azaltıcı madde özeliği göstermesi sebep olarak gösterilebilir. Nitekim bu davranış iri lastik agregalı betonlarda iri lastik agreganın yüzeyinin fazla olmasından dolayı daha belirgin olarak gözlenmiştir.

## **2.7. Lastik Agregalı Harç Deney Sonuçlarının İrdelenmesi**

### **2.7.1. Fiziksel Özelliklerle İlgili Deney Sonuçlarının İrdelenmesi**

Yapılan deney sonuçlarında, lastik agregalı harçların taze birim ağırlığının lastik miktarındaki artışla azalma gösterdiği belirlenmiştir. Lastiğin normal agregaya oranla düşük olan birim ağırlığından kaynaklanan azalmalar harçlara da yansımıştır.

Lastik agreganın harç içerisinde hafif ve boşluklu malzeme özeliği göstermesi lastik miktarındaki artışla harcın taze birim ağırlığını azaltıcı yönde etki etmiştir. Lastik miktarındaki artışla sert birim ağırlığın taze birim ağırlıkla benzer şekilde azaldığı söylenebilir.

Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda harca ince ve iri lastik katılmasıyla işlenebilirliğin azaldığı gözlenmiştir. Buna sebep olarak lastiğin kohezif kuvvetiyle harç içerisinde mevcut kumu ve çimentoyu tutarak işlenebilmeyi azaltması gösterilebilir. Özellikle bu davranış iri lastik agregalı harçlarda daha belirgin olarak gözlenmiştir. Lastiğin çimento hamuru içinde mevcut tutucu kuvvetleri ile aderansının fazla olması çökmeye ve yayılmayı da azaltıcı yönde etki etmektedir.

### 2.7.2. Mekanik Özelliklerle İlgili Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

Deneyler, harca lastik ilavesiyle basınç dayanımının azaldığını göstermiştir. Lastiğin esnek ve dayanımsız olması ve harcın yapısında boşluklar meydana getirmesi basınç dayanımının azalmasına sebep olmuştur. İnce lastik agregalı harçların basınç dayanımının iri lastik agregalı harçlara göre daha yüksek çıkması bu tezin doğruluğunu kanıtlamıştır. 4x4x16 cm boyutlarında üretilmiş harç numunelerde yapılan deneylerde eğilme dayanımlarının da lastik miktarındaki artışla azalma gösterdiği gözlenmiştir. Buna sebep olarak ta yine lastiğin dayanımsız olması, harç içindeki mevcut aderansın bozulması ve harç içindeki boşluk miktarının artması gösterilebilir. Bu azalışlar iri lastik agregalı harçlarda iri lastiğin daha düşük aderans özeliğinden dolayı ince lastik agregalı harçlara oranla daha fazla olmuştur.

Normal ve lastik agregalı harçlarda yapılan deneysel çalışmalarda lastik agrega miktarındaki artışla harçların direkt çekme dayanımlarının azaldığı gözlenmiştir. Buna sebep olarak lastik agreganın esnek ve sünek yapısıyla harçtaki mevcut aderans ve dayanımı azaltarak direkt çekme dayanımını azaltıcı yönde etki etmesi gösterilebilir.

Tekrarlı donma-çözülme testlerinden sonra harcın mevcut ağırlığında lastik miktarındaki artışla normal harçların tersi şekilde artış gözlenmiştir. Buna neden olarak lastiğin çimento hamuru içerisinde poroziteyi artırıcı ve hafif malzeme olarak bulunması söylenebilir. Dolayısıyla lastiğin tekrarlı donma-çözülme etkilerinde ortamın nemi ve suyunu almış, bunun sonucu olarak da ağırlık artışı kaçınılmaz olmuştur. Lastik, harçların donma-çözülme ve yanma etkileri sonunda mekanik özelliklerinden eğilme, direkt çekme ve kırılma dayanımlarını da etkilemiştir. Eğilme, direkt çekme ve kırılma dayanımının azalmasına, mevcut çimento hamuru yapısında bulunan jel hacminin donma etkileri ile kristalleşmesi ve çözülme anında bu yapının bozulması neden olarak gösterilebilir.

Tekrarlı yanma etkileri sonucunda da, yüksek sıcaklığın hacim değişikliğine uğrayan çimentonun jel yapısını bozarak harcın mekanik özelliklerinde azalışlar meydana getirdiği söylenebilir. Ayrıca çimento hamuru içinde mevcut viskoz suyun da tekrarlı donma-çözülme etkileriyle hacminin değişmesiyle mevcut jel yapısında bozulma meydana getirebileceği de kabul edilmiştir.

### **2.7.3. Teknolojik Özelliklerle İlgili Denev Sonuçlarının İrdelenmesi**

Yapılan denev sonuçlarında, harcın içine konulan lastik miktarındaki artışla, harçların sünme davranışının arttığı gürölmektedir. Lastik ilavesinin, harcın teknolojik özeliğinden sünme davranışını artırması, lastiğin esnek ve sünek bir malzeme özeliği gürstermesine bağlanabilir, iri lastik agregalı betonlarda sünme miktarının ince lastik agregalı betonlardaki sünme miktarından fazla olması, iri lastiğin ince lastiğe oranla daha fazla sünme ve esneme yeteneğine sahip olmasına ve mevcut aderansı ile aldığı sünmeyi imento hamuruna aktararak sünme davranışını artırıcı yönde etki etmesine bağlanabilir.

### 3. MATERYAL VE METOD

Projenin başlangıç safhasında Türkiye’de atık oto lastiklerini işleyen ve parçalara ayırarak pazarlayan üretici firmalar belirlenmiştir. Üreticilerden istenen boyut ve özelliklerde temin edilen oto lastik parçaları önceden belirlenen %0, %20, %40, %60, %80, ve %100, oranlarında iri agrega ile hacimce yer değiştirilerek lastik katkılı betonlar elde edilmiştir. Numuneler 30 cm boyutunda silindir olarak üretilmiştir. Deneylede meydana gelebilecek olumsuzluk ve olası sapmalara karşı her numuneden 2 adet olmak üzere 12 adet numune oluşturulmuştur. Numunelerin mekanik özelliklerini ve gerilme-şekil değiştirme eğrilerini elde edebilmek için Mustafa Kemal Üniversitesi Merkez Laboratuvarında ve Çukurova Üniversitesi’nde bulunan pres cihazıyla numuneler 28 gün sonra statik olarak kırılmıştır.

Seçilen her karışım için bir dinamik test yapılmıştır. Sonuçların gerçeği yansıtabilmesi için dinamik testler karayollarında kullanılmakta olan gerçek boyuttaki numuneler üzerinde yapılmıştır. Deneyle 500 kg ağırlığa sahip bir kütlenin 20 km/sa hızla duvara çarptırılması ile gerçekleştirilmiştir. Bu tip bir deney düzeneği Türkiye’de ilk kez malzemelerin dinamik çarpma davranışını belirlemede kullanılacağı için çalışma önem taşımaktadır. Dinamik testler aşağıda belirtilen şartlar altında gerçekleştirilmiştir.

1. İki aks üzerinde 4 tekerlekli basit bir araç oluşturulmuş ve bu aracın üzerine toplam ağırlığı 500 kg yapacak şekilde rijit bir kütle yerleştirilmiştir. Çelik aksamdan yapılacak olan aracın numuneye çarpmayı sağlayan ön ucu belli bir eğrilikte araç tamponuna benzer şekilde yapılmıştır. 500 kg ağırlığındaki bu araç oto korkuluğa çarpan otomobilleri temsilen kullanılacağı için tamponun yerden yüksekliği ortalama araç tampon yüksekliği olan 550 cm civarında seçilmiştir.
2. Aracın numunelere çarparken hızının 20 km/sa olabilmesi için rampa üzerine çıkartılmış ve serbest harekete bırakılmıştır. Numune ile araç arasına belirli bir mesafe konulmuş ve aracın duvara ulaştığındaki andaki hızının 20 km/sa olması sağlanmıştır.
3. Aracın hareketi esnasında doğrultusunu değiştirmemesi için araç tekerleklerini içine alacak şekilde bir ray döşenmiştir. Böylece araç belli bir yörüngeyi izleyerek numuneye kadar düz gelebilecektir.

4. 500 kg ağırlığındaki araç üzerine çarpışma olayı sırasında meydana gelecek ivmelenme değerlerini ölçmek amacıyla bir ivme ölçer cihazı yerleştirilmiştir. Ölçülen ivme değerleri data toplayıcı cihazlar kullanılarak bilgisayar ortamına getirilip, ivme ve zaman olarak iki kolon halinde kaydedilmiştir.

5. Çarpışma esnasında meydana gelen dinamik etkileşimleri, araç ve numune hareketlerini kayıt edebilmek için iki adet kamera kullanılmıştır. Bu kameralar belirli yerlere konulacak ve çarpışma olayını sürekli kayıt yapmıştır. Elde edilen görüntüler hem sunumlarda hem de bilimsel yayınlarda kullanılabilir kalitede olmuştur.

6. Yapılacak çarpışma deneyleri sonuçları bilgisayarda toplanıp, değişik katkı oranları içeren beton numunelerin dinamik çarpışma davranışları belirlenmiştir. Bu deneyler optimum lastik katkı yüzdelerinin belirlenmesinde yön gösterici olmuştur.

Dinamik deneyler tamamlandıktan sonra lastik katkılı beton numunelerin hem statik hem dinamik özellikleri hakkında detaylı bilgilere sahip olunmuştur. Buna ek olarak, optimum lastik katkılı betonun mekanik özellikleri de belirlenmiştir.

Karışımlarda kullanılan 11-22 tane çaplı agrega, Lastik katkısıyla hacimsel olarak yer değiştirmiştir. Normal şartlar altında 1m<sup>3</sup> karışım için 418 kg. 11-22 tane çaplı agrega, çimento 300kg, su 220kg. kum 150 kg. kırmataş 802 kg. 5-11 tane çaplı agrega 514 kg. olarak kullanılır.

C30 Karışımda Kullanılan Malzemeler	Malzeme Miktarları(kg)
Çimento	300
Su	220
Kırmataş	802
Kum	150
11-22	418
5-12	514
Katkı	13

Çizelge 1. 1 m<sup>3</sup> betonda kullanılan malzemeler

Hacimsel olarak kullanılan agrega ve lastik katkısı çizelge 2’de gösterilmiştir.

<b>Hacimce Lastik Katkısı (%)</b>	<b>11-22 Agrega ağırlığı (kg)</b>	<b>Katılan Lastik Ağırlığı (kg)</b>
% 0	418	0
% 20	334	11
% 40	251	22
% 60	168	33
% 80	84	44
% 100	0	55

Çizelge 2. Agrega ve Lastik Katkısı



Şekil 19. Silindir testi





Şekil 20. Plastik'in betona katılması



Şekil 21. Betonun kalıplara dökülmesi



Şekil 22. Ray Sistemi

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

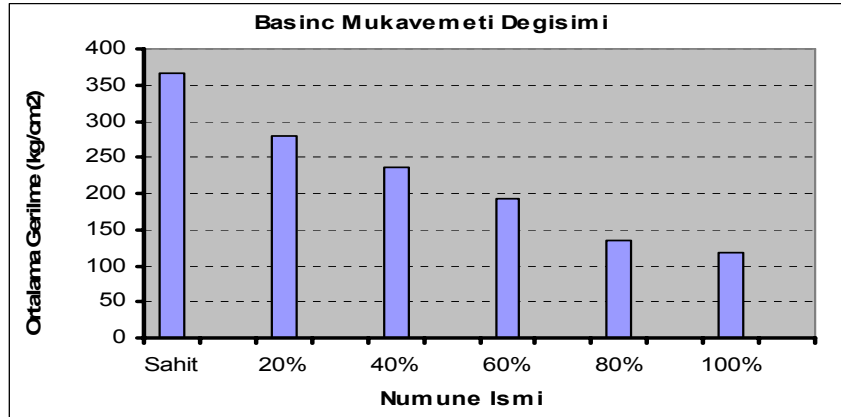
### 4.1 Statik Bulgular

%0, %20, %40, %60, %80 ve %100 karışımla hazırlanan silindir numunelerin kırılması sonucu elde edilen değerler Çizelge 3’de gösterilmiştir.

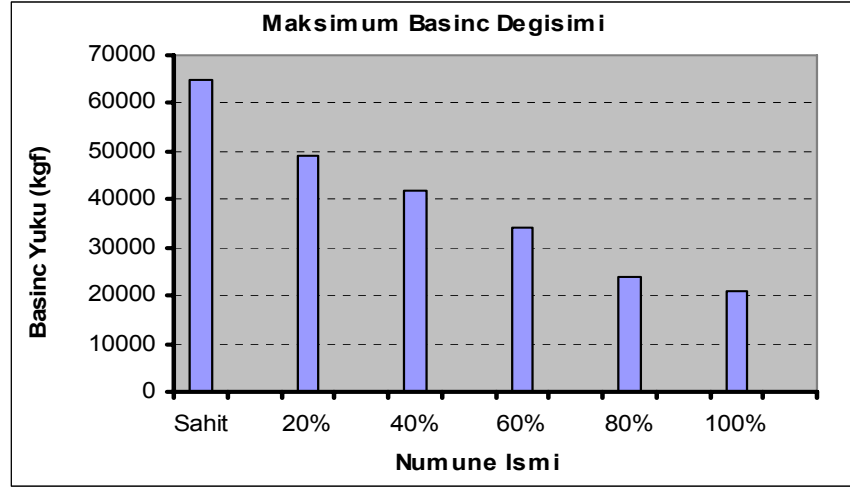
Numune adı	Maks. yük (kg)	Ortalama Maks. yük (kg)	Gerilme (kg/cm <sup>2</sup> )	Ortalama Gerilme (kg/cm <sup>2</sup> )	Numune ağırlığı (kg)	Test Tarihi	Elastisite Modülü (kg/cm <sup>2</sup> )
Şahit	63090	64815	357	366,8	12,85	09.11.2006	400000
	66540		376,6		12,82	08.11.2006	
20%	50530	49190	285,9	278,35	12,42	08.11.2006	333000
	47850		270,8		12,48	08.11.2006	
40%	42810	41775	242,3	236,4	12,07	09.11.2006	267000
	40740		230,5		12,12	09.11.2006	
60%	33960	34155	192,2	193,3	11,82	09.11.2006	222000
	34350		194,4		11,72	09.11.2006	
80%	21100	23985	119,4	135,75	11,450	15.11.2006	200000
	26870		152,1		11,33	15.11.2006	
100%	21940	20895	124,1	118,2	10,95	15.11.2006	148000
	19850		112,3		10,97	15.11.2006	

Çizelge 3. Maks. Yük, Ortalama Gerilme, Test Tarihi, Elastisite Modülü

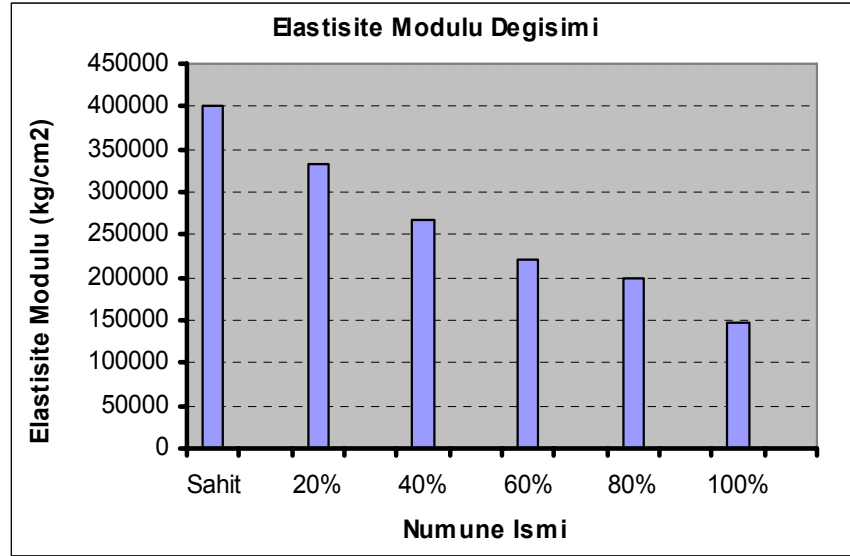
Silindir numunelerin kırılması sonucu elde edilen Basınç Mukavemet değişimi şekil 23’deki grafikte gösterilmiştir. Bununla beraber, aynı deneylerden elde edilen maksimum basınç yükü ve elastisite modülündeki değişimler sırasıyla Şekil 24 ve 25’te gösterilmektedir.



Şekil 23. Basınç Mukavemet Değişimi

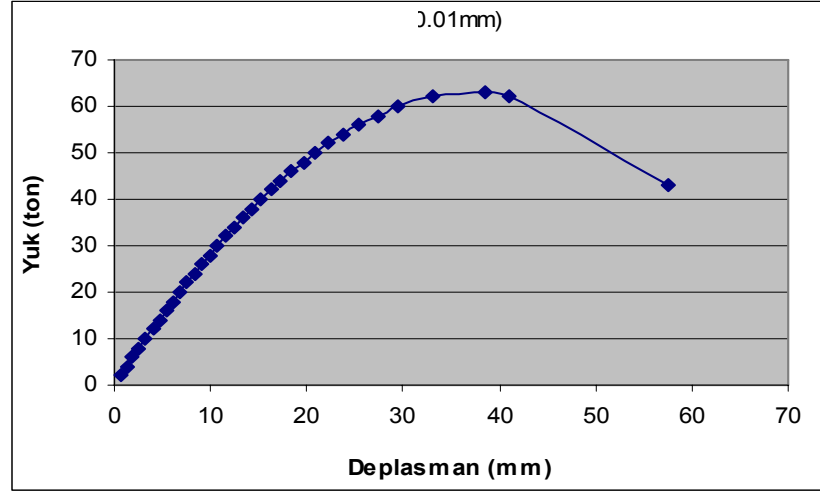


Şekil 24. Basınc Yüğü Değişimi



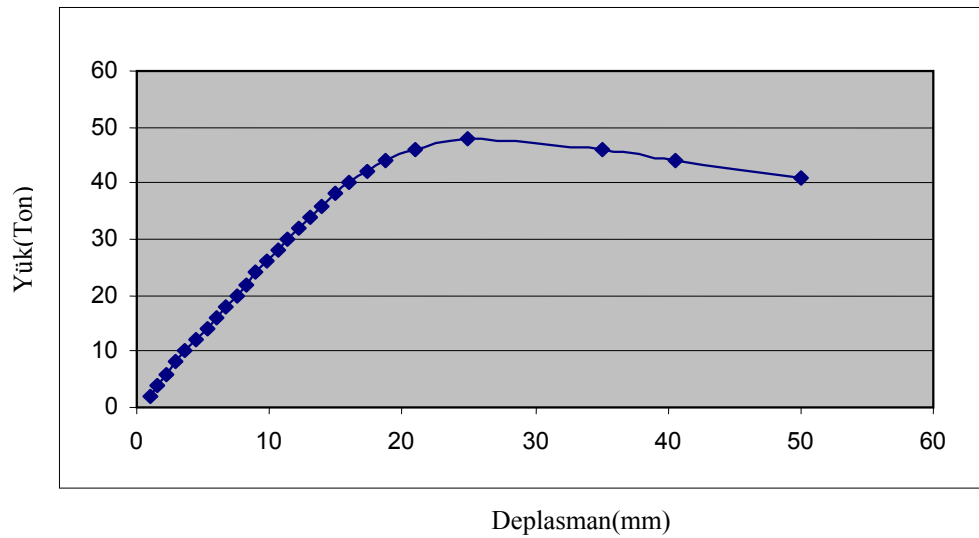
Şekil 25. Elastisite Modülü Değişimi

Şahit betonun kırılması sonucu Ek-1 . 1’de gösterilen tablodan alınan verilerden yararlanılarak Yük-Deplasman grafiği aşağıdaki gibi çizilmiştir. Elastisite Modülü 400,000 kg/cm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.



Şekil 26. Şahit betonun Yük-deplasman grafiği

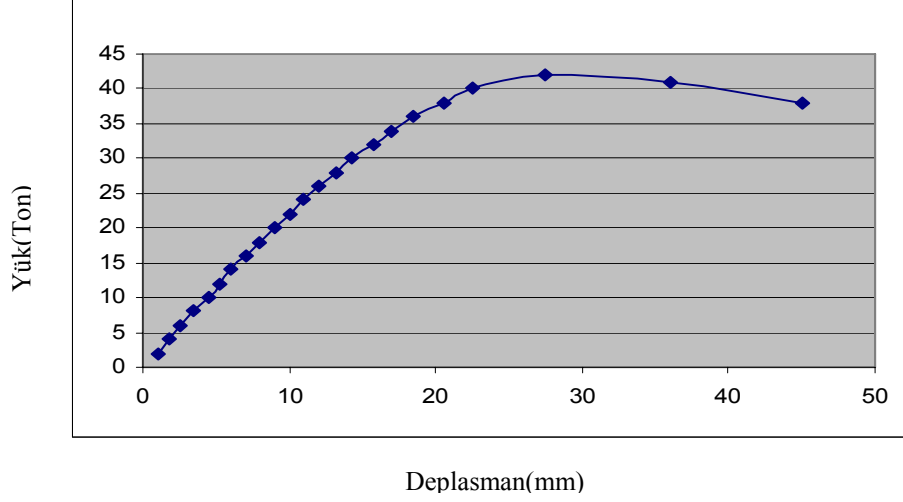
%20 hacimli betonun kırılması sonucu Ek-1. 2’de gösterilen tablodan alınan verilerden yararlanılarak Yük-Deplasman grafiği aşağıdaki gibi çizilmiştir. Elastisite Modülü 333,000 kg./cm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.



Şekil 27. %20 hacimli betonun yük-deplasman grafiği

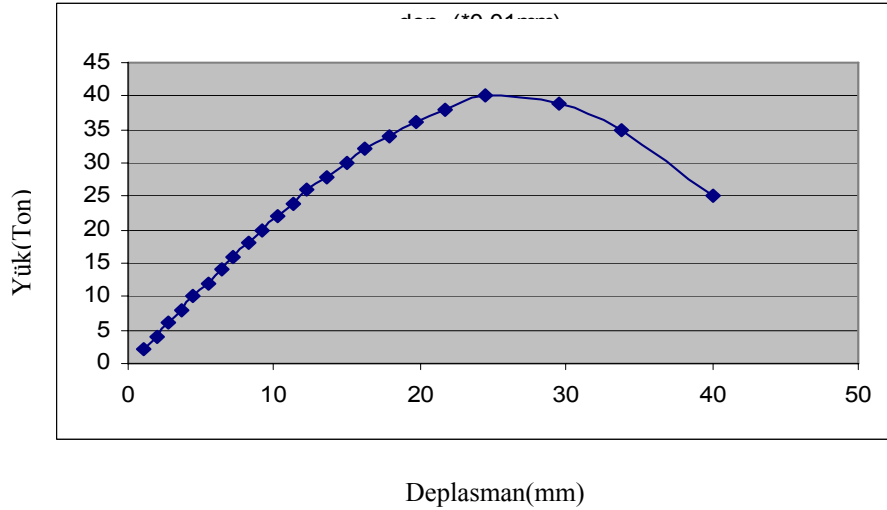
%40 hacimli betonun kırılması sonucu Ek-1. 3’te gösterilen tablodan alınan

verilerden yararlanılarak Yük-Deplasman grafiği aşağıdaki gibi çizilmiştir. Elastisite Modülü  $267,000 \text{ kg/cm}^2$  olarak bulunmuştur.



Şekil 28. %40 hacimli betonun Yük-deplasman grafiği

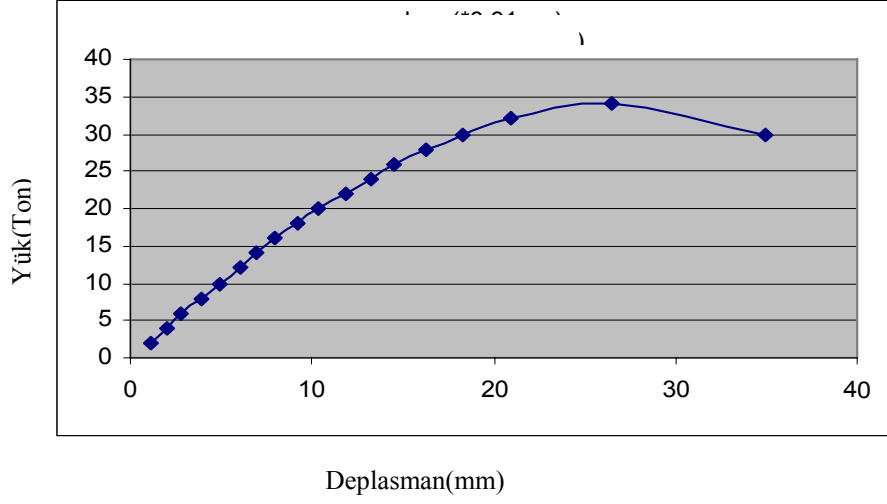
%40 hacimli 2. betonun kırılması sonucu Ek-1. 4'te gösterilen tablodan alınan verilerden yararlanılarak Yük-Deplasman grafiği aşağıdaki gibi çizilmiştir. Elastisite Modülü  $267,000 \text{ kg/cm}^2$  olarak bulunmuştur.



Şekil 29. %40 hacimli 2. betonun Yük-deplasman grafiği

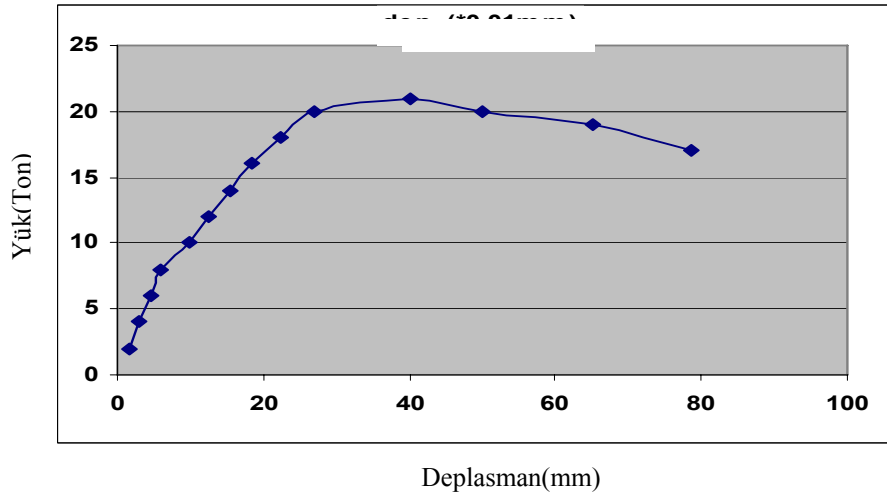
%60 hacimli betonun kırılması sonucu Ek-1,5'te gösterilen tablodan alınan

verilerden yararlanılarak Yük-Deplasman grafiği aşağıdaki gibi çizilmiştir. Elastisite Modülü 222,000 kg/cm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.



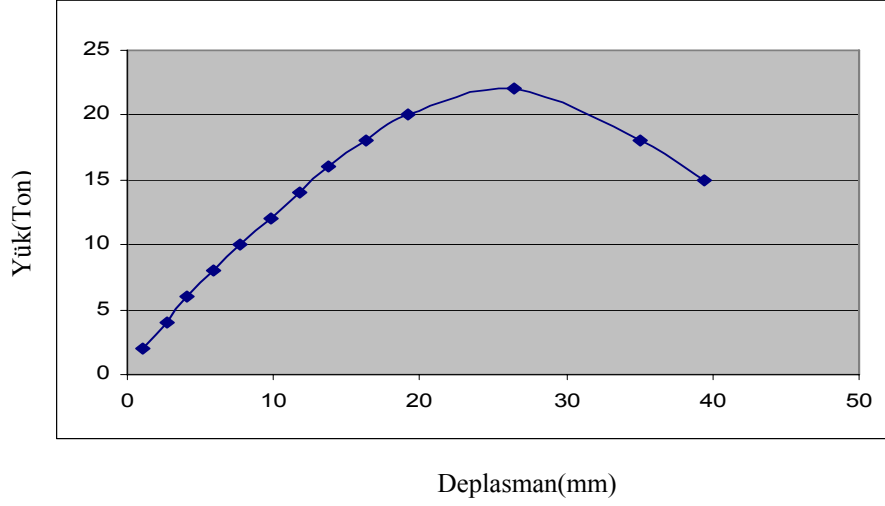
Şekil 30. %60 hacimli betonun Yük-deplasman grafiği

%80 hacimli betonun kırılması sonucu Ek-1,6'da gösterilen tablodan alınan verilerden yararlanılarak Yük-Deplasman grafiği aşağıdaki gibi çizilmiştir. Elastisite Modülü 200,000 kg/cm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.



Şekil 31. %80 hacimli betonun Yük-deplasman grafiği

%100 hacimli betonun kırılması sonucu Ek-1.7’de gösterilen tablodan alınan verilerden yararlanılarak Yük-Deplasman grafiği aşağıdaki gibi çizilmiştir. Elastisite modülü 148,000 kg/cm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.



Şekil 32. %100 hacimli betonun Yük-deplasman grafiği

	Maksimum Basınç Dayanımı (kg)	Basınç Dayanımı Değişimi (%)	Maksimum Deplasman (mm)	Maksimum Deplasman Değişimi (%)	Maksimum Elastisite Modülü (kg/cm <sup>2</sup> )	Elastisite Modülü Değişimi (%)
Şahit Beton	63000	0	38.5	0	400,000	0
%20 L. Katkılı	48000	23.8	25	35.06	333,000	16.75
%40 L. Katkılı	42000	33.3	27.5	28.57	267,000	32.5
%60 L. Katkılı	34000	46.03	26.5	31.16	222,000	44.5
%80 L. Katkılı	26000	58.73	21.5	44.15	200,000	50
%100 L. Katkılı	22000	65.07	26.5	31.16	148,000	63

Çizelge 4. Yük, Deplasman, Elastisite Modülü Karşılaştırması



#### 4.1.1. Test Çekici Sonuçları

şahit	1	2	3	4	5	6	7	8	T	V m/sn
K1	16	15	12	14	16	17	13	13	37,1	400
K2	16	18	16	14	10	13	13	17	37,8	400
K3	17	17	16	15	16	16	16	16	37,3	400

Çizelge 5. Şahit betonun test çekici sonuçları

%20 lastik katkı	1	2	3	4	5	6	7	8	T	V m/sn
K1	17	16	15	22	18	14	18	18	38,4	390
K2	23	20	16	19	22	16	16	17	37,1	400
K3	22	20	19	17	17	13	18	17	39,0	390

Çizelge 6. %20 lastik katkı betonun test çekici sonuçları

%40 lastik katkı	1	2	3	4	5	6	7	8	T	V m/sn
K1	18	18	19	17	18	20	17	18	36,9	410
K2	16	20	16	20	18	22	20	16	37,5	400
K3	21	23	24	18	22	25	19	17	37,1	400

Çizelge 7. %40 lastik katkı betonun test çekici sonuçları

%60 lastik katkılı	1	2	3	4	5	6	7	8	T	V m/sn
K1	18	16	14	20	20	20	16	20	39,6	380
K2	16	18	18	20	19	20	19	16	39,0	390
K3	18	19	20	18	20	20	20	19	40,2	370

Çizelge 8. %60 lastik katkılı betonun test çekici sonuçları

%80 lastik katkılı	1	2	3	4	5	6	7	8	T	V m/sn
K1	16	16	16	22	17	18	19	22	41,4	360
K2	12	18	16	18	19	20	20	23	41,3	360
K3	19	20	23	18	20	21	20	17	40,6	370

Çizelge 9. %80 lastik katkılı betonun test çekici sonuçları

%100 lastik katkılı	1	2	3	4	5	6	7	8	T	V m/sn
K1	17	21	20	18	16	13	18	20	41,7	360
K2	16	14	19	18	16	19	18	21	42,1	360
K3	14	18	16	18	17	18	16	19	42,3	360

Çizelge 10. %100 lastik katkılı betonun test çekici sonuçları

#### 4.1.2 Ultrases Test Sonuçları

	Şahit	%20 L.K	%40 L.K	%60 L.K	%80 L.K	%100 L.K
T1 $\mu$ S	63,3	64,4	63,0	67,2	70,3	71,2
T2 $\mu$ S	63,0	64,0	62,9	68,0	72,0	77,6
T3 $\mu$ S	64,0	62,5	63,7	67,2	71,3	81,4

Çizelge 11. lastik katkılı betonların ultrases sonuçları

#### 4.1.3 Slump Deneyi Sonuçları

BETON	SLAMP (cm)
Şahit %0 L.K	11
%20 L.K	9
%40 L.K	11
%60 L.K	9
%80 L.K	11
%100 L.K	12

Çizelge 12. lastik katkılı betonların slump deneyi sonuçları

#### 4.2 Dinamik Bulgular

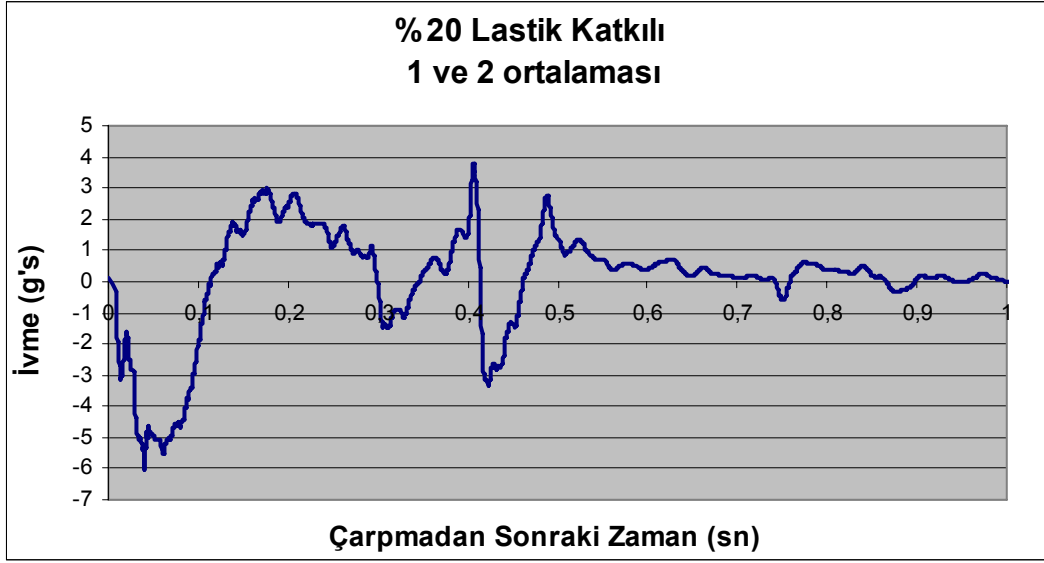
%0, %20, %40, %60, %80 ve %100 karışımla hazırlanan, karayollarında kullanan gerçek boyuttaki beton bariyerler üzerinde yapılan dinamik testler sonucu elde edilen ivme grafik değerleri aşağıdaki gösterilmiştir.

Şahit betonunun ilk darbe anında yuttuğu enerji: 254,78 KN-mm ve çarpışma esnasında oluşan maksimum ivme 7,45 g olarak bulunmuştur.



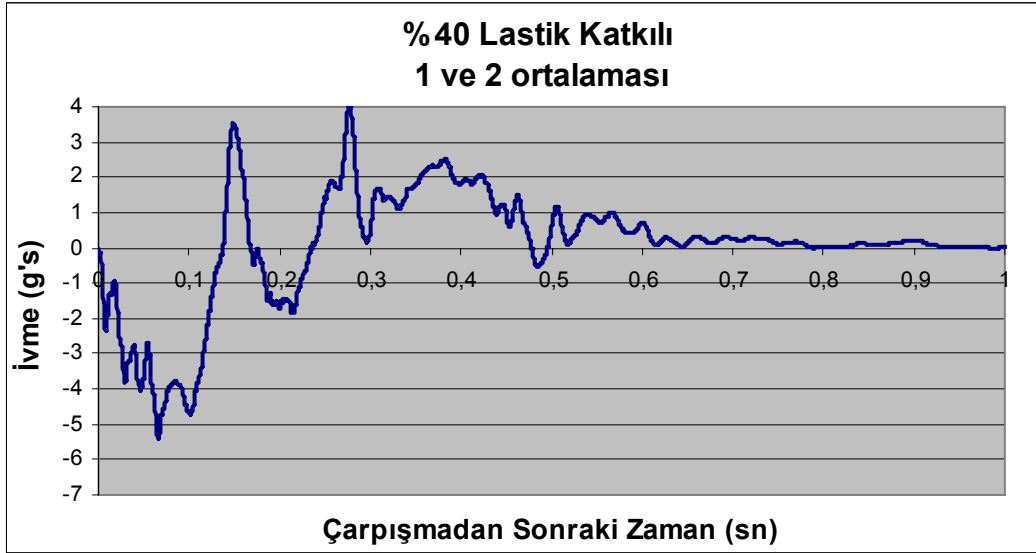
Şekil 33. Şahit betonun ivme-zaman grafiği

%20 katkılı betonunun İlk darbe anında yuttuğu enerji: 372.35 KN-mm ve ivmesi 6.04 g olarak bulunmuştur.



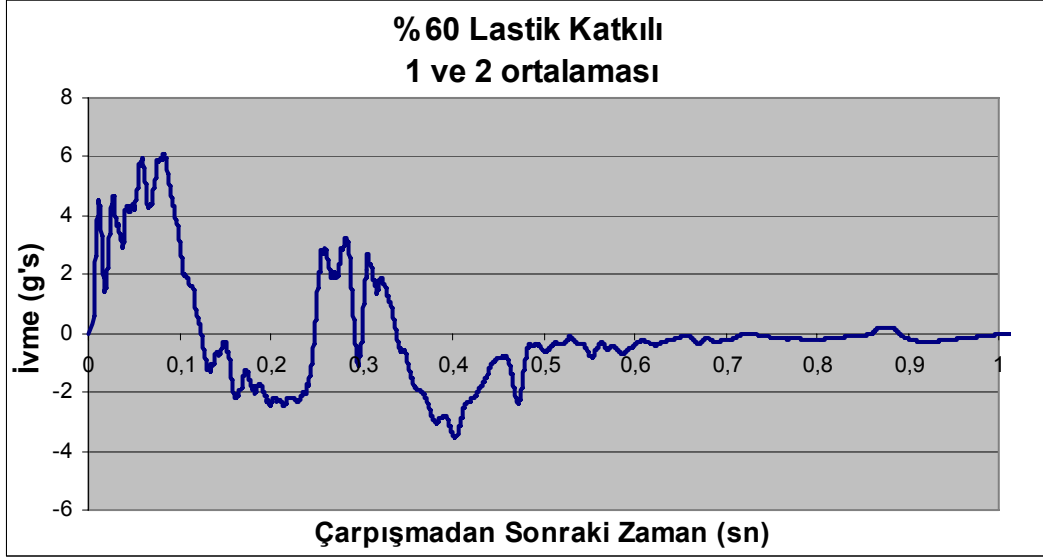
Şekil 34. %20 lastik katkılı betonun ivme-zaman grafiği

%40 katkılı betonunun İlk darbe anında yuttuğu enerji: 434.30 KN-mm ve ivmesi 5.43 g olarak bulunmuştur.



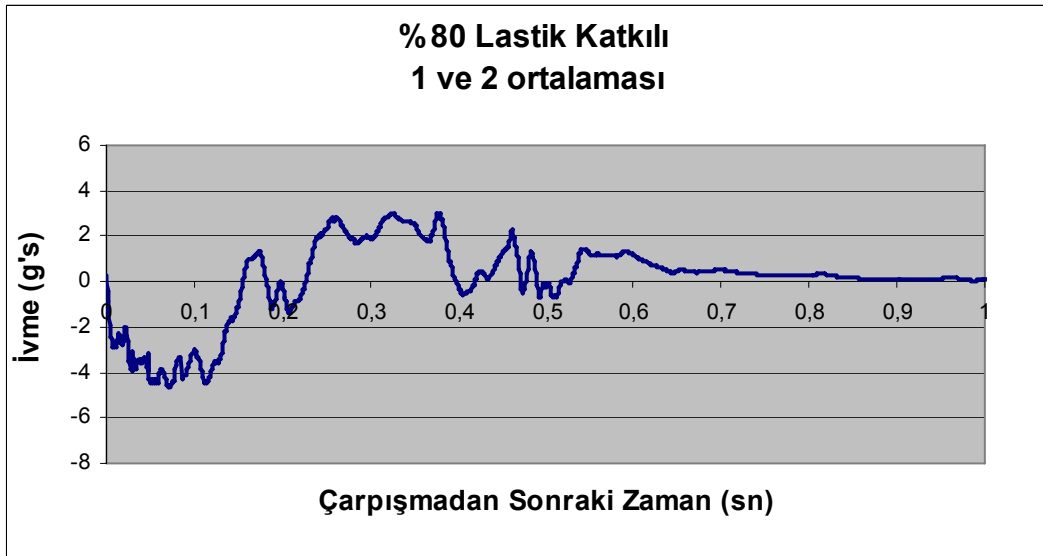
Şekil 35. %40 lastik katkılı betonun ivme-zaman grafiği

%60 katkılı betonunun İlk darbe anında yuttuğu enerji: 487.49 KN-mm ve ivmesi 5.08 g olarak bulunmuştur.



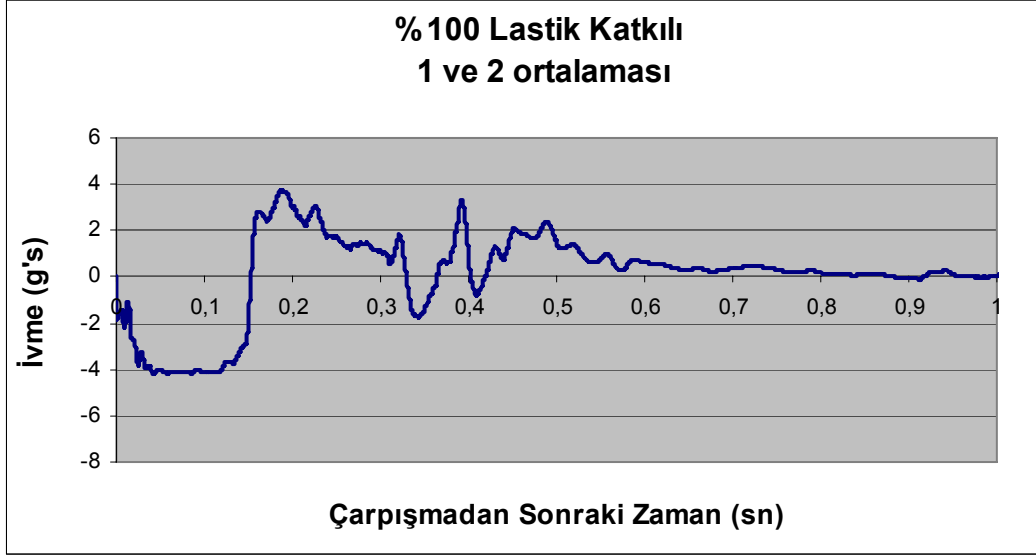
Şekil 36. %60 lastik katkılı betonun ivme-zaman grafiği

%80 katkılı betonunun İlk darbe anında yuttuğu enerji: 655.38 KN-mm ve ivmesi 4.05 g olarak bulunmuştur.



Şekil 37. %80 lastik katkılı betonun ivme-zaman grafiği

%100 katkılı betonunun İlk darbe anında yuttuğu enerji: 730,78 KN-mm ve ivmesi 4.01 g olarak bulunmuştur.



Şekil 38. %100 lastik katkılı betonun ivme-zaman grafiği

Dinamik deneylerden elde edilen bulguların karşılaştırması çizelge 13'te gösterilmiştir.

Numune	Darbe Anında Yuttuğu Enerji (kN-mm)	Enerji Değişimi (%)	İvme (g)	İvme Değişimi (%)
Şahit Beton	254,78	0	7,45	0
%20 L. Katkılı	372,35	46.14	6,04	18.93
%40 L. Katkılı	434,30	70.46	5,43	27.11
%60 L. Katkılı	487,49	91.33	5,08	31.81
%80 L. Katkılı	655,38	157.23	4,05	45.63
%100 L. Katkılı	730,78	186.82	4,01	46.17

Çizelge 13. Darbe Anında Yuttuğu Enerji ve ivme Karşılaştırması



Şekil 39. Çarpışma Sonucu



#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan statik deneyler sonucunda şahit betonun maksimum basınç dayanımı 63.000 kg., elastisite modülü 400.000 kg/cm<sup>2</sup> olarak beton sınıfı ise C 37 olarak bulunmuştur. Buna göre;

- %20 lastik katkıli betonun maksimum basınç dayanımı 48.000kg olarak bulunmuştur buda % 23.8'lik bir azalmaya neden olmuştur. Ayrıca elastisite modülü 333.000 kg/cm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir.Buda %16.75'lik bir azalmaya neden olmuştur. Beton sınıfı ise C28 olarak bulunmuştur.
- %40 lastik katkıli betonun maksimum basınç dayanımı 42.000kg olarak bulunmuştur buda % 33.3'lik bir azalmaya neden olmuştur. Ayrıca elastisite modülü 267.000 kg/cm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir.Buda %32.5'lik bir azalmaya neden olmuştur. Beton sınıfı ise C24 olarak bulunmuştur.
- %60 lastik katkıli betonun maksimum basınç dayanımı 34.000kg olarak bulunmuştur buda % 46.3'lik bir azalmaya neden olmuştur. Ayrıca elastisite modülü 222.000 kg/cm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir.Buda %44.5'lik bir azalmaya neden olmuştur. Beton sınıfı ise C19 olarak bulunmuştur.
- %80 lastik katkıli betonun maksimum basınç dayanımı 26.000kg olarak bulunmuştur buda % 58.73'lik bir azalmaya neden olmuştur. Ayrıca elastisite modülü 200.000 kg/cm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir.Buda %50'lik bir azalmaya neden olmuştur. Beton sınıfı ise C14 olarak bulunmuştur.
- %100 lastik katkıli betonun maksimum basınç dayanımı 22.000kg olarak bulunmuştur buda % 65.07'lik bir azalmaya neden olmuştur. Ayrıca elastisite modülü 148.000 kg/cm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir.Buda %63'lik bir azalmaya neden olmuştur. Beton sınıfı ise C12 olarak bulunmuştur.

Deney sonuçlarından anlaşıldığı gibi lastik katkısı arttıkça mukavemet düşmektedir. Mukavemetin düşmesi darbe esnasında malzemenin parçalanma riskini artırır. Betonun darbe esnasında parçalanması öngörülen yerlerde örneğin yol ayrımları ve beton bariyer bitim noktalarında kullanılabilir.

Yapılan dinamik deneyler sonucunda şahit betonun darbe esnasında yuttuğu enerji 254.78 KN-mm olarak tespit edilmiştir. Ayrıca çarpışma esnasında meydana gelen ivmelenme 7.45 g olarak bulunmuştur. Buna göre;

- %20 lastik katkılı betonun darbe esnasında yuttuğu enerji 372.35 KN-mm olarak ölçülmüştür. Buda %46.14 oranında enerji yutma artışı göstermektedir. Buna bağlı olarak ivme 7.45 g olarak tespit edilmiştir. Buradan da %18.93'lük bir ivme azalması görülmektedir.
- %40 lastik katkılı betonun darbe esnasında yuttuğu enerji 434.30 KN-mm olarak ölçülmüştür. Buda %70.46 oranında enerji yutma artışı göstermektedir. Buna bağlı olarak ivme 5.43 g olarak tespit edilmiştir. Buradan da %27.11'lik bir ivme azalması görülmektedir.
- %60 lastik katkılı betonun darbe esnasında yuttuğu enerji 487.49 KN-mm olarak ölçülmüştür. Buda %91.33 oranında enerji yutma artışı göstermektedir. Buna bağlı olarak ivme 5.08 g olarak tespit edilmiştir. Buradan da %31.81'lük bir ivme azalması görülmektedir.
- %80 lastik katkılı betonun darbe esnasında yuttuğu enerji 655.38 KN-mm olarak ölçülmüştür. Buda %157.33 oranında enerji yutma artışı göstermektedir. Buna bağlı olarak ivme 4.05 g olarak tespit edilmiştir. Buradan da %45.63'lük bir ivme azalması görülmektedir.
- %100 lastik katkılı betonun darbe esnasında yuttuğu enerji 70.78 KN-mm olarak ölçülmüştür. Buda %186.82 oranında enerji yutma artışı göstermektedir. Buna bağlı olarak ivme 4.01 g olarak tespit edilmiştir. Buradan da %46.17'lük bir ivme azalması görülmektedir.

Deney sonuçlarından görüldüğü gibi lastik katkısının artmasıyla enerji yutma kabiliyeti artmaktadır. Çarpma enerjisinin daha fazla yutulması araçta bulunan yolculara gelen darbe kuvvetlerini ve araç hasarlarını azaltacaktır. Deneylerde kullanılan plastik katkıların, beton içerisinde daha iri bir şekilde olması test sonuçlarını olumlu yönde etkileyeceği düşünülmüştür. Ayrıca beton içerisinde kullanılan lastik katkısının agregayla yer değiştirmesinden dolayı beton ağırlığında düşme görülmüştür. İlerleyen zamanlarda lastik katkılı betonların otoyol kenarlarında kullanılması halinde işçilik ve enerji tasarrufu yapacağı kaçınılmaz bir sonuçtur.

**KAYNAKLAR**

- [1] **Rad, P.F.**, “Rubberized Concrete”, New Horizons in Construction materials, Vol. 1, Envo Publishing Company, pp. 287-292.
- [2] **Fang, H.Y.**, Topçu. I.B., Hitchens, D., and Hontz, D., ‘Use-of Scrp Rubber Tires for Construction Materlais”, 24th Mid-Atlantic Industrial. Waste Conference, July 15-17, 1992, West Virginia University, Morgantown, WV.
- [3] **Eser, Ö.F.**, “Lastik Agregalı Betonun Özelliklerinin İncelenmesi”, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi, Haziran 1992, Eskişehir.
- [4] **Bıçak. C.**, “Lastik Agregalı Betonun Özelliklerinin İncelenmesi”, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi, Haziran 1992, Eskişehir
- [5] **Kırıštoğlu, L.**, 1995, Lastik Agregalı Betonların Zamana Bağlı Özellikleri, Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. İnşaat Müh. Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir
- [6] **Taklacı, A.**, 1995, Lastik Agregalı Betonların Kompozit Malzeme Kuralı İle İncelenmesi, Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. İnşaat Müh. Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir
- [7] **Eser, Ö.F.**, 1995, Lastik Agregalı Betonların Mekanik Özellikleri, Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. İnşaat Müh. Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir

## **ÖZGEÇMİŞ**

1980 yılında Karabük'te doğdum. İlk ve orta öğrenimimi Diyarbakır'da, lise öğrenimimi Diyarbakır Anadolu Lisesi'nde tamamladım. 2004 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesinin, İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldum. Halen Akçadağ İnşaat Tic. Ve Taah. Ltd. Şti'de görev yapmaktayım.

**EKLER**

EK-I Silindir Numunelerin Kırılmasıyla Elde Edilen Statik Deney Sonuçları

## EK-1

## Şahit Betonun Statik Test Sonuçları

ton	kompr okunan	orta nokta
YÜK	dep. (*0.01mm)	dep/2 (*0.01mm)
2	1,2	0,6
4	2,5	1,25
6	3,5	1,75
8	5	2,5
10	6,5	3,25
12	8	4
14	9,3	4,65
16	10,8	5,4
18	12,3	6,15
20	13,5	6,75
22	15,1	7,55
24	16,8	8,4
26	18,1	9,05
28	19,8	9,9
30	21,5	10,75
32	23,3	11,65
34	25	12,5
36	26,8	13,4
38	28,7	14,35
40	30,5	15,25
42	32,5	16,25
44	34,5	17,25
46	36,8	18,4
48	39,2	19,6
50	41,7	20,85
52	44,5	22,25
54	47,5	23,75
56	50,7	25,35
58	55	27,5
60	59	29,5
62	66	33
63	77	38,5
62	82	41
43	115	57,5

Şekil Ek-I. 1 Şahit Betonun Statik Test Sonuçları

## EK-I Devam

## %20 Lastik Katkılı Betonun Statik Test Sonuçları

Ton	kompr okunan	orta nokta
YÜK	dep. (*0.01mm)	dep/2 (*0.01mm)
2	2	1
4	3,2	1,6
6	4,5	2,25
8	6	3
10	7,3	3,65
12	9	4,5
14	10,5	5,25
16	12	6
18	13,5	6,75
20	15	7,5
22	16,5	8,25
24	18	9
26	19,5	9,75
28	21,2	10,6
30	22,7	11,35
32	24,3	12,15
34	26	13
36	28	14
38	29,8	14,9
40	32	16
42	34,6	17,3
44	37,5	18,75
46	42	21
48	50	25
46	70	35
44	81	40,5
41	100	50

Şekil Ek-I. 2 %20 Lastik Katkılı Betonun Statik Test Sonuçları

## EK-I Devam

## %40 Lastik Katkılı Betonun Statik Test Sonuçları

ton	kompr okunan	orta nokta
YÜK	dep. (*0.01mm)	dep/2 (*0.01mm)
2	2	1
4	3,5	1,75
6	5	2,5
8	7	3,5
10	9	4,5
12	10,5	5,25
14	12	6
16	14	7
18	16	8
20	18	9
22	20	10
24	22	11
26	24	12
28	26,5	13,25
30	28,5	14,25
32	31,5	15,75
34	34	17
36	37	18,5
38	41	20,5
40	45	22,5
42	55	27,5
41	72	36
38	90	45

Şekil Ek-I. 3 %40 Lastik Katkılı Betonun Statik Test Sonuçları



## EK-I Devam

## %40 Lastik Katkılı 2. Betonun Statik Test Sonuçları

ton	kompr okunan	orta nokta
YÜK	dep. (*0.01mm)	dep/2 (*0.01mm)
2	2	1
4	4	2
6	5,5	2,75
8	7,2	3,6
10	8,8	4,4
12	11	5,5
14	12,8	6,4
16	14,5	7,25
18	16,5	8,25
20	18,5	9,25
22	20,5	10,25
24	22,6	11,3
26	24,5	12,25
28	27,3	13,65
30	30	15
32	32,5	16,25
34	35,7	17,85
36	39,5	19,75
38	43,5	21,75
40	49	24,5
39	59	29,5
35	67,5	33,75
25	80	40

Şekil Ek-I. 4 %40 Lastik Katkılı 2. Betonun Statik Test Sonuçları

## EK-I Devam

## %60 Lastik Katkılı Betonun Statik Test Sonuçları

ton	kompr okunan	orta nokta
YÜK	dep. (*0.01mm)	dep/2 (*0.01mm)
2	2,2	1,1
4	4	2
6	5,5	2,75
8	7,8	3,9
10	9,8	4,9
12	12	6
14	14	7
16	16	8
18	18,3	9,15
20	20,8	10,4
22	23,8	11,9
24	26,5	13,25
26	29	14,5
28	32,5	16,25
30	36,5	18,25
32	42	21
34	53	26,5
30	70	35

Şekil Ek-I. 5 %60 Lastik Katkılı Betonun Statik Test Sonuçları

## EK-I Devam

## %80 Lastik Katkılı Betonun Statik Test Sonuçları

ton	kompr okunan	orta nokta
YÜK	dep. (*0.01mm)	dep/2 (*0.01mm)
2	3	1,5
4	5	2,5
6	7	3,5
8	9,5	4,75
10	12,5	6,25
12	15	7,5
14	17,5	8,75
16	20,5	10,25
18	23,5	11,75
20	27	13,5
22	31	15,5
24	36	18
26	43	21,5
25	73	36,5

Şekil Ek-I. 6 %80 Lastik Katkılı Betonun Statik Test Sonuçları

## EK-I Devam

## %100 Lastik Katkılı Betonun Statik Test Sonuçları

ton	kompr okunan	orta nokta
YÜK	dep. (*0.01mm)	dep/2 (*0.01mm)
2	2	1
4	5,5	2,75
6	8,2	4,1
8	11,8	5,9
10	15,3	7,65
12	19,7	9,85
14	23,5	11,75
16	27,5	13,75
18	32,5	16,25
20	38,5	19,25
22	53	26,5
18	70	35
15	79	39,5

Şekil Ek-I. 7 %100 Lastik Katkılı Betonun Statik Test Sonuçları