



**T.C.**  
**NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**ATIK LASTİKLERDEN ÇIKAN KAUÇUK VE  
TELLERİN BETON ÜRETİMİNDE KULLANILMASI**

**Muhammed Ali KÖKSAL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Nisan-2024**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Muhammed Ali KÖKSAL tarafından hazırlanan “Atık Lastiklerden Çıkan Kauçuk ve Tellerin Beton Üretiminde Kullanılması” adlı tez çalışması 25/04/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN

.....

#### Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ

.....

#### Üye

Doç. Dr. Emrah MADENCİ

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun ....../.../20.. gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU  
FBE Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Muhammed Ali KÖKSAL

Tarih:25.04.2024

# ÖZET

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

### ATIK LASTİKLERDEN ÇIKAN KAUCUK VE TELLERİN BETON ÜRETİMİNDE KULLANILMASI

Muhammed Ali KÖKSAL

NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ

2024, 156 Sayfa

#### Jüri

Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN  
Doç. Dr. Emrah MADENCİ  
Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ

Betonarme yapılar, tarihi çok eskilere dayanan ve uzun zamandır aynı yöntemler kullanılarak üretildiği için günümüz şartlarına uygun revize edilmesi ve teknolojik imkanlar ile geliştirilmesi gerekliliği sürekli karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde çevre kirliliği, ekonomik faydalar ve yapılan projelerde daha verimli sonuçlar almak için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Araştırmalar arasında atık lastiklerden elde edilen kauçuk ve telin beton üretiminde kullanımı, geleneksel beton karışımlarına sürdürülebilir ve uygun maliyetli bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu araştırmada ise betonda temini ve taşınması maliyetli olan agregalar yerine çevreyi kirleten ve geri dönüşüm için çeşitli maliyetler isteyen atık lastik ve atık telleri çeşitli oranlarda ve boyutlar kullanarak birbirinin ikamesini sağlamak ve daha iyi sonuçlar elde etmek için kullanıldı. Bunun için hazırlanan referans numunesi %5, %10 ve %20 oranında agrega yerine kullanılan ve çeşitli farklı boyutlarda olan atık lastik kullanılan ve numune ağırlığına %0.5, %1 ve %2 oranında eklenmiş atık tel numune kombinasyonları kullanılarak 15x15x15 cm boyutlarında küp numune, 10x20 cm botunda silindir numune, 10x10x40 cm boyutunda kiriş numune ve içerisinde 10 cm ve 16 cm aralıklı etriyeler kullanılan donatılar konulmuş 10x15x100 cm boyutunda kiriş numuneler elde edilmiştir. Bu numuneler basınç dayanım deneyleri, eğilme ve kesme deneyleri, yarma deneylerine maruz bırakılarak elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucunda kuşbaşı türü atık lastik bulunan numunelerin diğer atık lastik bulunan numunelere göre ve %1 oranında eklenen atık telin diğer tel yüzdelere göre daha iyi sonuçlar verdiği tablolar ve grafikler ışığında görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Atık lastik, atık tel, dayanım, geri dönüşüm, verimlilik

## ABSTRACT

### MS THESIS

## USING RUBBER AND WIRES FROM WASTE TIRES IN CONCRETE PRODUCTION

Muhammed Ali KÖKSAL

NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN CIVIL ENGINEERING

Advisor: Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ

2024, 156 Pages

#### Jury

Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN  
Doç. Dr. Emrah MADENCİ  
Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ

Since reinforced concrete structures have a long history and have been produced using the same methods for a long time, the need to revise them in accordance with today's conditions and to develop them with technological possibilities is constantly emerging. Nowadays, various researches are carried out to get more efficient results in environmental pollution, economic benefits and projects. Among the researches, the use of rubber and wire obtained from waste tires in concrete production emerges as a solution as a sustainable and cost-effective alternative to traditional concrete mixtures. In this research, instead of aggregates, which are costly to supply and transport in concrete, waste tires and waste wires, which pollute the environment and require various costs for recycling, were used in various proportions and sizes to substitute each other and to achieve better results. The reference specimens prepared for this purpose were cube specimens with dimensions of 15x15x15 cm, cylinder specimens with dimensions of 10x20 cm, beam specimens with dimensions of 10x10x40 cm and beam specimens with dimensions of 10x15x100 cm in which reinforcements with 10 cm and 16 cm spaced stirrups were placed by using combinations of waste tires with various grain sizes and waste wire specimens added at the rate of 0.5%, 10% and 20% by weight of the specimen. These specimens were subjected to compressive strength tests, bending and shear tests and splitting tests and the results obtained were compared with each other. As a result of the experiments, it was seen in the light of tables and graphs that the specimens with cubed waste tires gave better results than the specimens with other waste tires and the waste wire added at the rate of 1% gave better results than the other wire percentages.

**Keywords:** Efficiency, recycling, strength, waste tire, waste wire

## ÖNSÖZ

Hiçbir zaman desteğini benden esirgemeyen ve bugünlere gelmemde mükemmel emeklerinden ötürü aileme...

Muhammed Ali KÖKSAL  
KONYA-2024



# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ii</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER.....</b>	<b>iv</b>
<b>KISALTMALAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>4</b>
<b>3.MATERYAL ve METOT .....</b>	<b>34</b>
3.1 Materyal.....	34
3.1.1 Beton.....	34
3.1.1.1 Türkiye’de beton.....	35
3.1.1.2 Betonun bileşenleri .....	35
3.1.1.2.1. Çimento.....	36
3.1.1.2.2 Agregası.....	36
3.1.1.2.3 Su .....	37
3.1.2. Atık lastik agrega .....	38
3.1.2.1 Beton için lastik agregası.....	41
3.1.2.1.1 Betonun işlenebilirliğine etkisi .....	43
3.1.2.1.2 Betonun birim ağırlığına etkisi .....	45
3.1.2.1.3 Betonun dayanım ve elastisite modülüne etkisi.....	45
3.1.3. Betonda takviye olarak kullanılan çelik teller ve sınıfları .....	49
3.1.3.1 Ticari çelik teller .....	49
3.1.3.2 Atık çelik teller .....	52
3.1.3.2 Çelik liflerin beton içerisindeki performansını etkileyen faktörler .....	54
3.1.4. Çalışmada kullanılacak atık lastik ve çelik tel oranları .....	56
3.1.4.1. Çalışmada kullanılan atık lastik ve atık tel malzemenin hesaplamaları .....	59
3.2. Metot.....	63
3.2.1 Betonun basınç dayanımı deneyi .....	63
3.2.2. Eğilme ve kesme deneyleri .....	64
3.2.3. Silindir yarma deneyi.....	68
3.2.4 Eğilmede çekme deneyi .....	69
<b>4.DENEYLER .....</b>	<b>71</b>
4.1 Deney Numunelerinin Hazırlanması .....	71
4.2. Deneyler Sonuçları .....	76
4.2.1. Küp numune sonuçları .....	76
4.2.2 Silindir numune sonuçları .....	84

4.2.3 Küçük kırış numune sonuçları .....	90
4.2.3 Büyük kırış numune sonuçları .....	99
4.2.3.1 Atık tel kullanılmamış numune sonuçları .....	102
4.2.3.2 %1 atık tel içeren numune sonuçları .....	113
4.2.3.3 %2 atık tel içeren numune sonuçları .....	123
4.2.3.4 %0.5 atık tel içeren numune sonuçları .....	134
4.2.3.5 Büyük kırış numunelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi .....	144
4.2.3.5.1 Sünekliliğin incelenmesi .....	144
4.2.3.5.2 Enerji tüketme kapasitesinin değerlendirilmesi .....	145
4.2.3.6 Büyük Kırış Numunelerin Kuvvet Yönünden Değerlendirilmesi .....	149
<b>5. SONUÇ .....</b>	<b>150</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>153</b>
<b>ÖZGEÇMİş .....</b>	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>



## KISALTMALAR

- A 0** %1 oranında atık tel içeren ve atık lastik içermeyen numune
- A 5M** %1 oranında atık tel içeren ve %5 oranında mercimek türü atık lastik bulunan numune
- A 10M** %1 oranında atık tel içeren ve %10 oranında mercimek türü atık lastik bulunan numune
- A 20M** %1 oranında atık tel içeren ve %20 oranında mercimek türü atık lastik bulunan numune
- A 5T** %1 oranında atık tel içeren ve %5 oranında toz türü atık lastik bulunan numune
- A 10T** %1 oranında atık tel içeren ve %10 oranında toz türü atık lastik bulunan numune
- A 20T** %1 oranında atık tel içeren ve %20 oranında toz türü atık lastik bulunan numune
- A 5K** %1 oranında atık tel içeren ve %5 oranında kuşbaşı türü atık lastik bulunan numune
- A 10K** %1 oranında atık tel içeren ve %10 oranında kuşbaşı türü atık lastik bulunan numune
- A 20K** %1 oranında atık tel içeren ve %20 oranında kuşbaşı türü atık lastik bulunan numune
- B 0** %2 oranında atık tel içeren ve atık lastik içermeyen numune
- B 5M** %2 oranında atık tel içeren ve %5 oranında mercimek türü atık lastik bulunan numune
- B 10M** %2 oranında atık tel içeren ve %10 oranında mercimek türü atık lastik bulunan numune
- B 20M** %2 oranında atık tel içeren ve %20 oranında mercimek türü atık lastik bulunan numune
- B 5T** %2 oranında atık tel içeren ve %5 oranında toz türü atık lastik bulunan numune
- B 10T** %2 oranında atık tel içeren ve %10 oranında toz türü atık lastik bulunan numune
- B 20T** %2 oranında atık tel içeren ve %20 oranında toz türü atık lastik bulunan numune
- B 5K** %2 oranında atık tel içeren ve %5 oranında kuşbaşı türü atık lastik bulunan numune
- B 10K** %2 oranında atık tel içeren ve %10 oranında kuşbaşı türü atık lastik bulunan numune
- B 20K** %2 oranında atık tel içeren ve %20 oranında kuşbaşı türü atık lastik bulunan numune
- C 0** %0.5 oranında atık tel içeren ve atık lastik içermeyen numune
- C 5M** %0.5 oranında atık tel içeren ve %5 oranında mercimek türü atık lastik bulunan numune
- C 10M** %0.5 oranında atık tel içeren ve %10 oranında mercimek türü atık lastik bulunan numune
- C 20M** %0.5 oranında atık tel içeren ve %20 oranında mercimek türü atık lastik bulunan numune
- C 5T** %0.5 oranında atık tel içeren ve %5 oranında toz türü atık lastik bulunan numune

- C 10T** %0.5 oranında atık tel içeren ve %10 oranında toz türü atık lastik bulunan numune
- C 20T** %0.5 oranında atık tel içeren ve %20 oranında toz türü atık lastik bulunan numune
- C 5K** %0.5 oranında atık tel içeren ve %5 oranında kuşbaşı türü atık lastik bulunan numune
- C 10K** %0.5 oranında atık tel içeren ve %10 oranında kuşbaşı türü atık lastik bulunan numune
- C 20K** %0.5 oranında atık tel içeren ve %20 oranında kuşbaşı türü atık lastik bulunan numune
- Ref 0** Hiçbir katkı maddesi kullanılmamış referans numunesi
- Ref 5M** Atık tel kullanılmamış fakat içerisinde %5 oranında mercimek türü atık lastik bulunan numune
- Ref 10M** Atık tel kullanılmamış fakat içerisinde %10 oranında mercimek türü atık lastik bulunan numune
- Ref 20M** Atık tel kullanılmamış fakat içerisinde %20 oranında mercimek türü atık lastik bulunan numune
- Ref 5T** Atık tel kullanılmamış fakat içerisinde %5 oranında toz türü atık lastik bulunan numune
- Ref 10T** Atık tel kullanılmamış fakat içerisinde %10 oranında toz türü atık lastik bulunan numune
- Ref 20T** Atık tel kullanılmamış fakat içerisinde %20 oranında toz türü atık lastik bulunan numune
- Ref 5K** Atık tel kullanılmamış fakat içerisinde %5 oranında kuşbaşı türü atık lastik bulunan numune
- Ref 10K** Atık tel kullanılmamış fakat içerisinde %10 oranında kuşbaşı türü atık lastik bulunan numune
- Ref 20K** Atık tel kullanılmamış fakat içerisinde %20 oranında kuşbaşı türü atık lastik bulunan numune

## 1. GİRİŞ

Dünya tarihinde insanoğlu yaşamını devam ettirmek için bazı önemli gereksinimlerini yerine getirmek zorunda kalmıştır. Bu önemli gereksinimlerden biri de barınma ihtiyacıdır. Barınma ihtiyacı, insanoğlunun olumsuz hava şartları altında yaşamını etkilemeden devam etmesini sağlamak ve çevreden gelen tehlikelere karşı hayatta kalmak için yaptığı yapılara duyduğu ihtiyaç olarak tanımlanabilir.

Barınma ihtiyacını karşılamak için çevresindeki materyalleri kullanmaya başlayan insanoğlu değişen şartlar altında çevresiyle sürekli etkileşimde bulunmuştur. Bu etkileşim sonucunda yeni malzemeler kullanarak barınma ihtiyacını değişen koşullar altında sürekli gidermiştir. Fakat bu ihtiyacı sağlamak her zaman kolay olmamıştır. Bu yüzden insanoğlu çevresindeki malzemeleri en etkili biçimde kullanmayı zaman ilerlerken öğrenmeye başlamıştır ve günümüzde de bu öğrenme süreci devam etmektedir.

Yaşamını değişen şartlar altında devam ettirmek isteyen insanlar ilk başlarda mağaraları ve büyük ağaçları kullanmış daha sonraları bitkilerden ve ağaçlardan yaptığı çadırlarda kalmıştır. Yerleşik hayata geçtikten sonra topraktan ve taştan barınaklar yapmaya başlamışlardır. Fakat bu gibi yapılar da yeterli olmayınca yaptığı araştırmalar sonucu ve rastgele meydana gelen olaylarla, çimento, agrega ve su karışımıyla betonu elde ederek yapılarında kullanmaya başlamıştır. Uzun süre bu şekilde yaşamına devam eden insanlar zamanla bu kullanımın ihtiyaçlarını karşılamadığı gerçeğini fark ederek, artık yaptığı yapıların içeriği değiştirerek kendisi ve çevresine en uygun formülü bulma araştırmalarına başlamışlardır.

Yakın tarih ve günümüzde kullandığımız beton formülü, değişen ve geleceğe hızla ilerleyen bizlere artık verimli bir şekilde hizmet etmemektedir. Bunun için yeni çözüm yolları keşfetmeye çalışan bizler klasik olarak kullandığımız betona ekstra katkı sağlayan ve kullanım amacını zedelemeyen yeni malzemeler arayışına gireriz. Atık lastiklerden elde edilen kauçuk ve telin beton üretiminde kullanımı, geleneksel beton karışımlarına sürdürülebilir ve uygun maliyetli bir alternatif çözüm yolu olarak karşımıza çıkmaktadır ve gün geçtikçe bu yaklaşım popülerlik kazanmaktadır. Bu yaklaşım, yalnızca atıkları azaltmakla kalmayan, aynı zamanda betonun performansını da artıran, geri dönüştürülmüş lastiklerden parçalanmış kauçuk veya çelik telin beton karışımına dahil edilmesini içermektedir.

Atık lastiklerden elde edilen kauçuk, genellikle beton karışımlarında ince agrega yerine kısmi ikamesi olarak kullanılmasıdır. Bu, karışımda gerekli olan kum ve çakıl kullanım miktarını azaltmaya yardımcı olabilir ve bu da beton üretim sürecinin çevresel etkisini azaltır. Ek olarak, kauçuk ilaveli beton, geleneksel betondan daha esnektir ve bu da onu çatlamaya ve diğer hasar biçimlerine karşı daha dirençli hale getirir.

Atık lastiklerden elde edilen tel ise genellikle beton karışımlarında takviye malzemesi olarak kullanılır. Bu, betonun mukavemetini ve dayanıklılığını artırmaya yardımcı olarak darbeye, bükülmeye ve diğer stres türlerine karşı daha dayanıklı hale getirir. Tel takviyeli beton, köprü tabliyeleri, havaalanı pistleri ve diğer yüksek gerilimli ortamlar gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılır.

Genel olarak, beton üretiminde atık lastiklerden elde edilen kauçuğun ve telin kullanılması, azaltılmış atık, geliştirilmiş performans ve daha düşük maliyetler dahil olmak üzere bir dizi fayda sağlar. Bu nedenle, bu yaklaşımın geleneksel beton karışımlarına sürdürülebilir ve etkili bir alternatif olarak inşaat sektöründe popülerlik kazanmaya devam etmesi muhtemeldir.

Çevresel ve performans faydalarının yanı sıra kauçuk ve atık lastiklerden elde edilen telin beton üretiminde kullanılması ekonomik avantajlar da sunmaktadır. Örneğin, geri dönüştürülmüş kauçuk ve tel kullanmak, malzeme ve nakliye maliyetlerini düşürerek beton üretim maliyetini azaltabilir. Ayrıca, geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanılması, inşaat şirketlerinin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarına ve pazarda rekabet avantajı elde etmelerine yardımcı olabilir.

Bununla birlikte, kauçuk ve atık lastiklerden elde edilen telin beton üretiminde kullanılmasıyla ilgili bazı zorluklar da vardır. Ana zorluklardan biri, geri dönüştürülmüş malzemelerin kalitesini ve tutarlılığını sağlamaktır. Geri dönüştürülmüş kauçuk ve telin kalitesi kaynağa ve işleme yöntemlerine bağlı olarak değişebileceğinden, malzemeleri beton karışımlarına dahil etmeden önce dikkatlice değerlendirmek önemlidir.

Diğer bir zorluk da geri dönüştürülmüş kauçuk ve telin işlenmesiyle ilgili potansiyel sağlık ve güvenlik risklerini yönetmektir. Bu malzemeler, uygun şekilde kullanılmadığı ve imha edilmediği takdirde sağlık riskleri oluşturabilecek tehlikeli kimyasallar veya diğer kirlenici maddeler içerebilir. Bu nedenle, geri dönüştürülmüş malzemelerle çalışırken uygun güvenlik önlemlerini almak ve ilgili düzenlemelere uymak önemlidir.

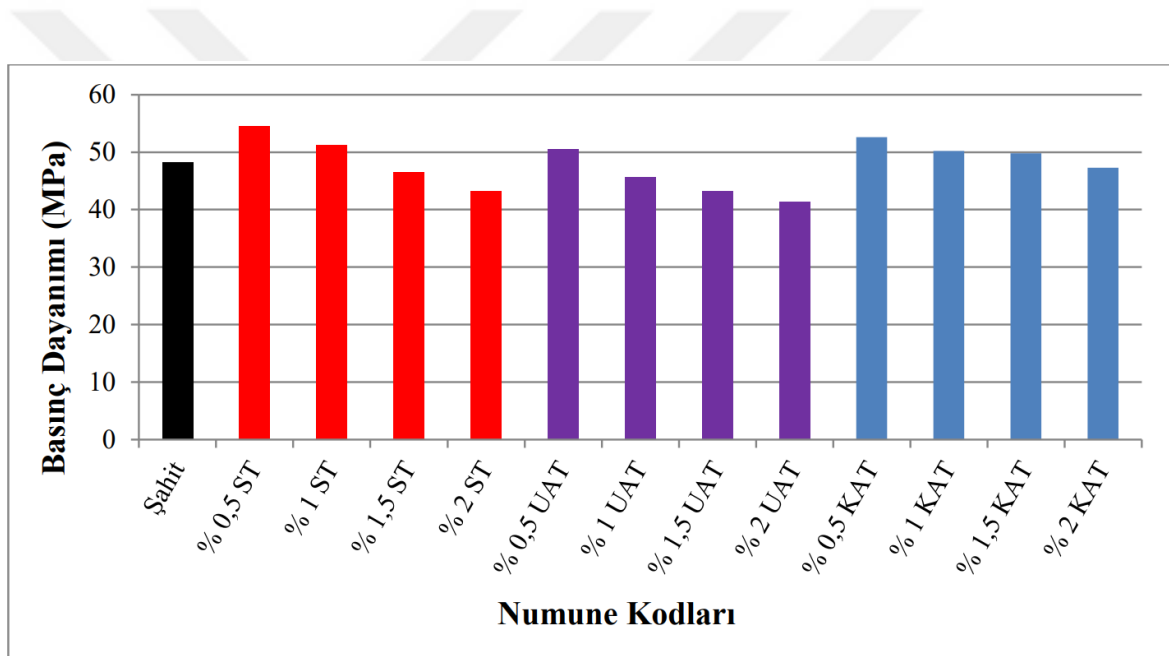
Bu zorluklara rağmen, beton üretiminde atık lastiklerden kauçuğun ve telin kullanılması, inşaat sektöründe atıkları azaltmaya, performansı artırmaya ve maliyetleri düşürmeye yardımcı olabilecek umut verici bir yaklaşımdır. Dikkatli bir planlama ile kalite ve güvenlik hususlarına gösterilen dikkat ile bu yaklaşım, yüksek kaliteli beton üretmek için giderek daha popüler ve sürdürülebilir bir seçenek olma potansiyeline sahiptir.



## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

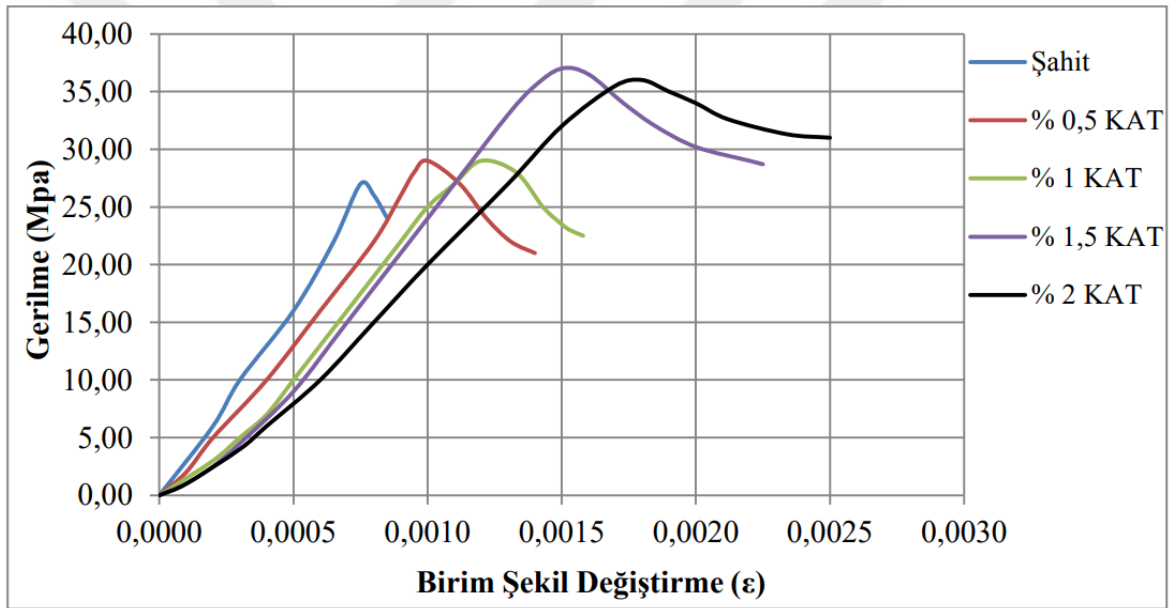
Yapılan araştırmalara göz atıldığında atık lastik ve tel kullanımının bazı araştırmalarda incelendiğini görmekteyiz. Böylece farklı niteliklerin gözetilerek yapıldığı araştırmaların incelenmesi konu hakkında fikir sahibi olmanın önünü açacağı için yapılan çalışmalar aşağıda belirtilmiştir.

Alibekiroğlu (2019), araştırmasında atık biçimde elde ettiği çelik liflerinin betona etkisini incelemiştir. Yaptığı çalışmada atık çelik tellerinin, fabrikalarda üretilen standart şekilde üretilmiş çelik tel, kullanılmayan atık lastiklerden temin edilen uzun çelik tel ve kısa çelik tel olmak üzere üç farklı tip çelik tel sınıflandırması yapmıştır. Beton hacminin % 0.5, % 1, % 1.5, ve % 2 oranlarında çelik telleri kullanmıştır. Yaptığı deneylerde ürettiği betonun basınç dayanımlarını normal betonun basınç dayanımları ile karşılaştırmıştır.



Şekil 2.1. Basınç deneyi sonuçları (Alibekiroğlu, 2019)

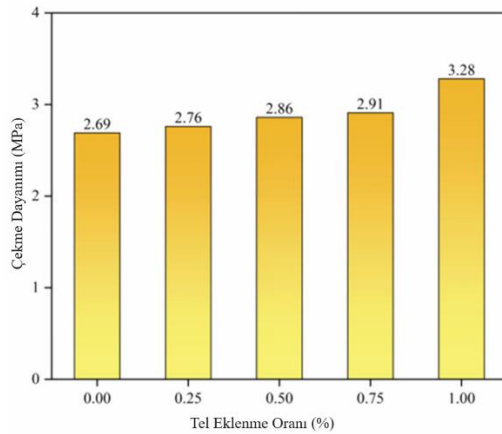
Alibekiroğlu'nun yaptığı deneyler sonucunda çelik tellerin betona katkısını incelediğinde betonun işlenebilirliğini azalttığı görülmüş, basınç dayanımında önemli değişikliklerin olmadığını fark edilmiş, eğilme dayanımı değerlerinde ise fabrika tellerinin, atık tellerden daha yüksek değerler çıkardığını ve bunun sebebinin fabrikada üretilen tellerin şekil ve boyutlarının bir etkisi olduğunu sonucuna varılmıştır. Çalışmasının ilerleyen aşamalarında tel miktarının artması ile şekil değiştirmenin arttığını gözlemlemiştir. (Alibekiroğlu, 2019)



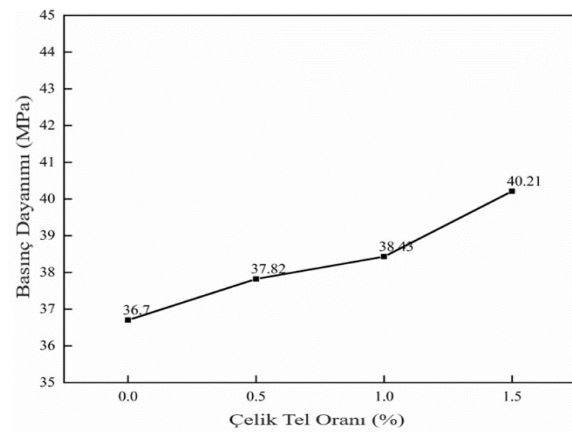
Şekil 2.2. Alibekiroğlu'nun ulaştığı gerilme-şekil değiştirme grafiği

Alibekiroğlu genel olarak deney sonuçlarını karşılaştırdığında önemli farklar görmemiş fakat çelik tellerin kullanımının yapılar açısından değerlerde az da olsa olumlu etkileri daha fazla olduğu için kullanılabileceğini ifade etmiştir. (Alibekiroğlu, 2019)

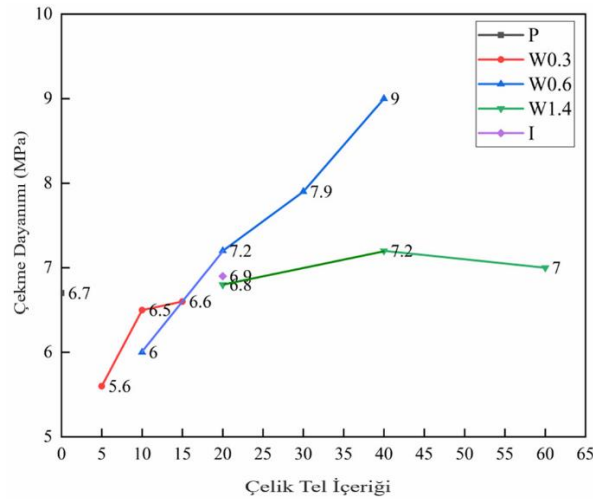
Zhang ve arkadaşları (2022) yaptıkları çalışmada atık lastiklerden elde ettikleri tellerin özelliklerinin betonda etkisini ve betonda meydana gelen mekanik özellikleri anlatarak tel kullanımının beton üzerindeki etkisini incelemiştir.



Şekil 2.3. Tel oranına göre çekme dayanım sonuçları



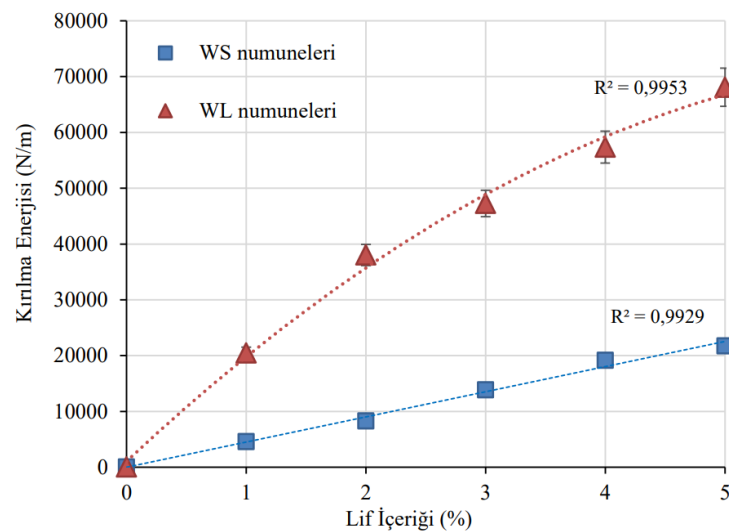
Şekil 2.4. Çelik tel oranına göre basınç dayanım sonuçları



**Şekil 2.5.** Tel içeriğine göre çekme dayanım sonuçları (P çelik telsiz beton, W (0.3, 0.6 ve 1.4 ortalama tel çapı) telli beton, I endüstriyel çelik tel)

Zhanga ve arkadaşları çelik tel kullanarak betonun özelliklerini incelemişler ve yaptıkları araştırmada çelik telin çapına ve uzunluğuna da dikkat etmişlerdir. Çelik tellerin betona en fazla katkı sağladığı uzunluğu 10-15 mm olarak belirtmişler, çap olarak da en iyi sonucu 0.2-0.25 mm çapındaki tellerde gözlemlediklerini belirtmişlerdir. Betona çelik tel eklenmesinin hem çevre hem de betonun mekanik özelliklerine olumlu etkilerinin olduğu fakat uygun miktarın iyi seçilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca önemli olarak çelik tellerin temizliğinin çok iyi yapılmasını belirtmişlerdir çünkü betonla çelik tel arasında kalan kauçukların çelik telin performansını önemli ölçüde etkilediğini vurgulamışlardır. (Zhanga ve ark., 2019)

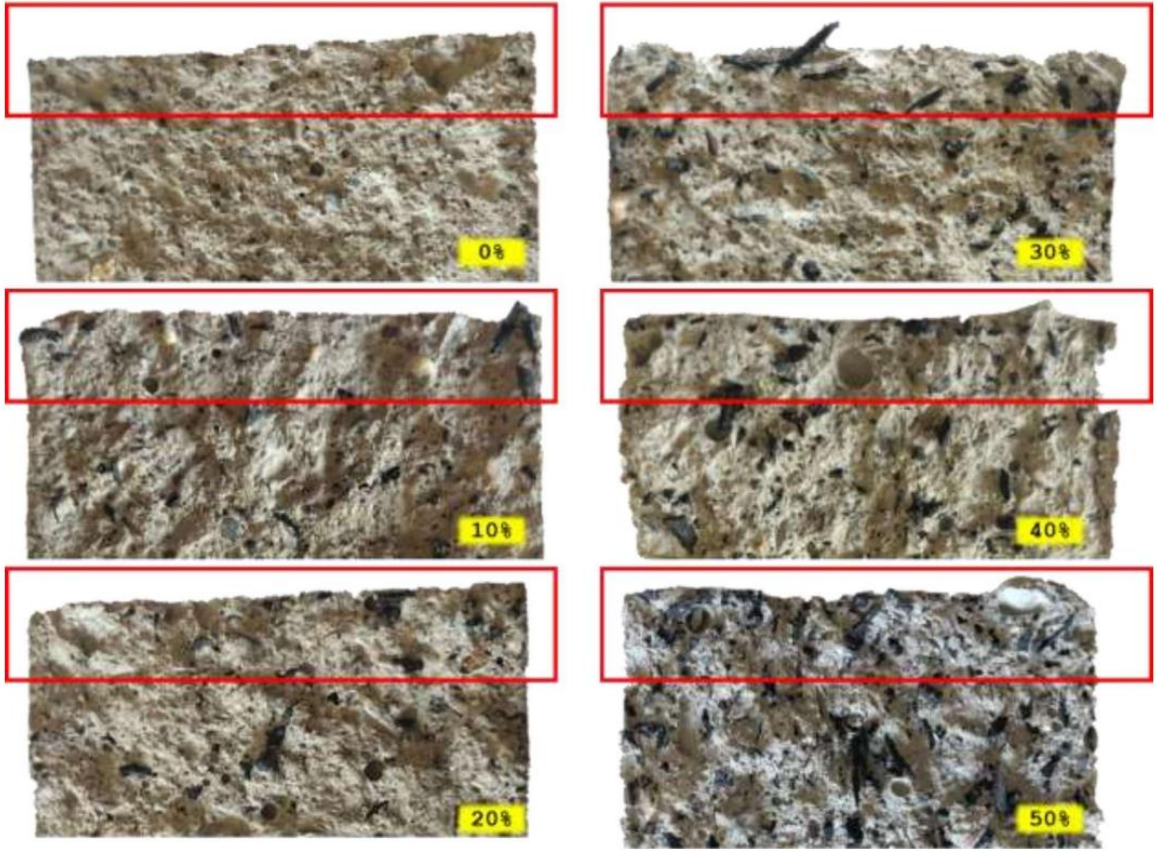
Çelikcan (2021) ise gevrek kırılmanın önüne geçmenin yöntemlerini araştırırken çelik teller kullanarak bu soruna çözüm getirmek istemiştir. Bunun için yaptığı çalışmada geleneksel betona çelik teller eklemiştir.



**Şekil 2.6.** Çelikcan'ın elde ettiği tokluk değerleri

Çelikcan yaptığı deneylerde çelik tellerin en çok fayda sağladığı alanların kırılma enerjisi ve tokluk değerleri olduğunu belirtmiştir. Deneylerinde gevrek kırılmalar yönünde olumlu gelişmelerin olduğunu vurgulamıştır. Böylelikle atık çelik tellerin kullanılarak üretim maliyetlerinin azalmasını sağlanabildiğini, daha sürdürülebilir ve çevreci bir yaklaşım ile yapılan üretimlerde arzu edilen mekanik özelliklere erişilebileceğini yaptığı deneylerle göstermiştir. (Çelikcan, 2021)

İpek ve Mermertaş (2022) yaptıkları çalışmada atık olarak elde ettikleri kauçuğu polimer harç üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında harçlarının üretiminde kullandıkları doğal kum, agrega malzemelerinin içeriğinin hacimce %10, %20, %30, %40 ve %50 oranında kauçuk kullanmışlardır.



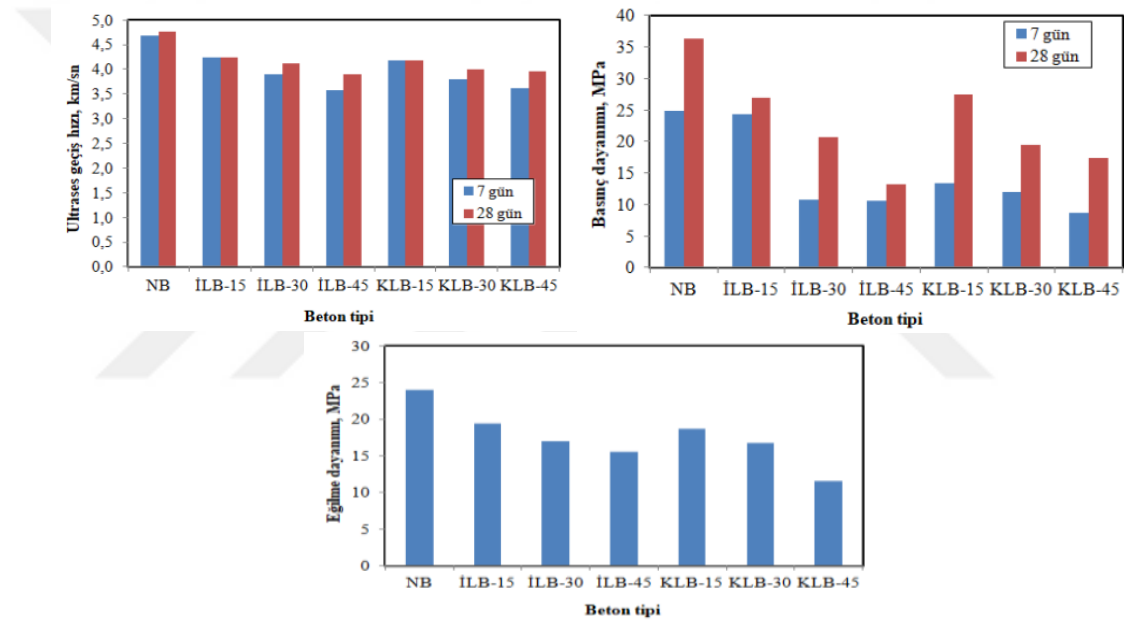
Şekil 2.7. İpek ve Mermertaş'ın harç numune karışımlarının kesitleri

Kauçuğun harçların akma yeteneği yönünden önemli bir fark yaratmadığını, bununla birlikte, kauçuğun eklenmesi ve ikame seviyesinin artırılmasının, daha az viskoz taze harçların üretilmesine neden olduğu sonucuna ulaşmışlardır. (İpek ve Mermertaş, 2022)

Shaaban ve ark. (2020) atık lastikleri sodyum hidroksit kaplayarak ince agrega yerine kullanarak ve çelik telleri ise hacimce ekleyerek betonun mekanik ve geçirgenlik üzerindeki değişimlerini çalışmalarında incelemişlerdir.

Shaaban ve arkadaşlarının yaptığı çalışma sonucunda ince agrega yerine kullanılan %10 oranında atık lastik ve %1 oranında kullanılan atık teller ile çekme ve eğilme mukavemetinde %21 ve %26 oranında artış gözlemlenmiştir. Basınç dayanımında da iyileşmeler görmüşler ve yüksek sıcaklığa maruz kalan numunelerde çekme ve eğilme dayanımlarında azalmalar görmüşlerdir. Atık tel ve lastik kullanılarak numunelerde hava geçirgenliğinin arttığını ve bu yüzden iç ve dış mekanlarda numunelerin kullanımının gerçekleştirilebileceği sonucuna ulaşmışlardır. (Shaaban ve ark., 2020)

Topçu ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada ise atık lastik kullanarak betondaki birim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve ultrases geçiş hızı deney sonuçlarını süspansiyon teorisi kullanarak hesaplamışlardır.



Şekil 2.8. Topçu ve arkadaşlarının deney sonuçları

Hesapladıkları “k” değerleri matris ve dağılı fazın E-modül değerlerine, tane boyutlarına, tane yüzey ve şekline bağlı olarak elde edilen bir boyutsuz değer olduğunu belirtmişlerdir.

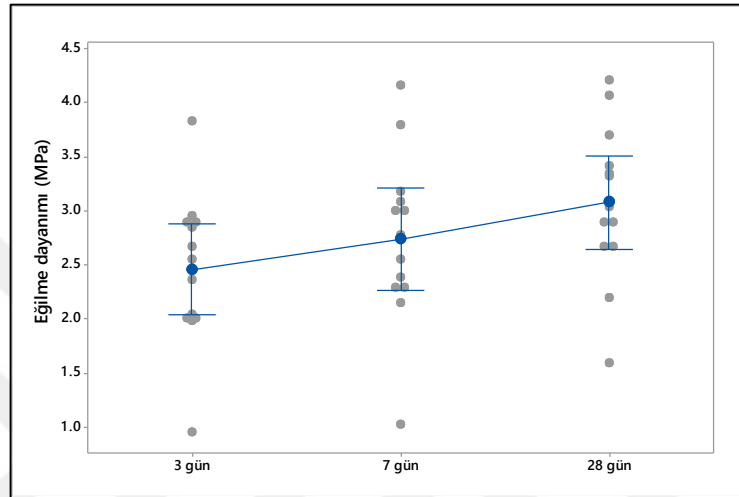
$$M_c = M_m(1 + kV_p)$$

Denklem bulunan değerler,  $M_c$ : betonun birim ağırlığı;  $M_m$ : matris fazın birim ağırlığı;  $V_p$ : Dağılı fazın hacmi ve  $k$ : sabit olarak ifade edilmektedir.

Topçu ve arkadaşları (2022) yaptıkları deneylerde araştırdıkları basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve ultrases geçiş hızı değerlerinin süspansiyon teorisinde kullandıkları  $k$  değerinde hep azalma meydana getirdiğini vurgulamışlar ve birim ağırlık ve basınç dayanımı

için hesaplanan k sabitlerinin 28 günlük betonlarda daha az değer aldığını belirtmişlerdir. Bu da kullanılan atık lastiğin betonun birim ağırlığında azaltma meydana getirdiğini göstermektedir. (Topçu ve ark. 2022)

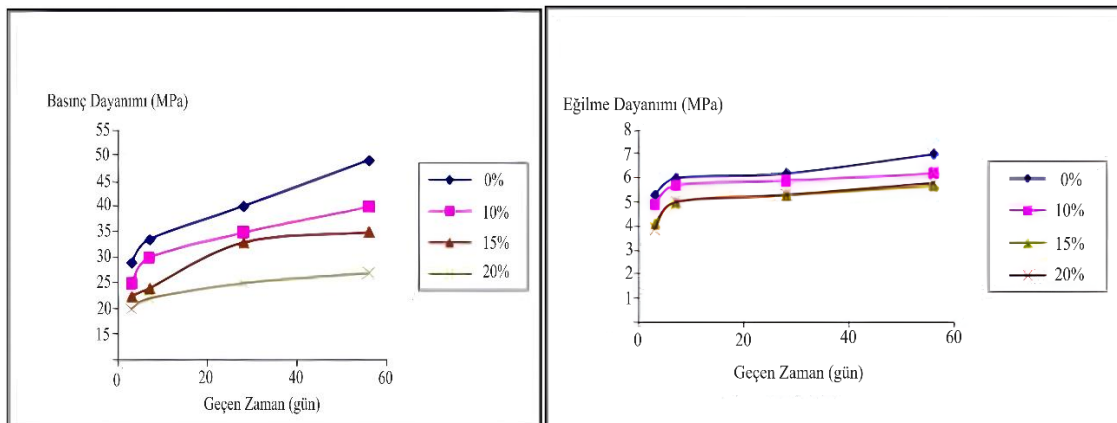
Sarkaz (2020) yaptığı çalışmada geopolimer betonda atık lastik kullanılmasının yayılma çapı, yoğunluk, su emme oranı, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultrases geçiş hızı (UPV) ve yüksek sıcaklık etkisi araştırmıştır.



Şekil 2.9. Sarkaz'ın araştırmasında Geopolimer betonlarda zamana göre basınç dayanımı değişimi

Sarkaz yaptığı çalışmada geopolimer betonda atık lastik kullanımıyla taşıyıcı olarak kullanılan beton için gerekli dayanıma (40-50 MPa) ve yüksek kompoziteye sahip geopolimer betonların üretilebileceğini tespit etmiştir. (Sarkaz, 2020)

Abas ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada atık şekilde bekleyen ve geri dönüşümü zor olan atık lastikleri ince agrega yerine kullanarak elde edilen betonun özelliklerini incelemişlerdir. Beton karışımına ağırlıkça %0, %10, %15 ve %20 oranında atık lastik eklemiştir.



Şekil 2.10. Abas ve arkadaşlarının çalışmasında Eğilme ve Basınç Dayanımlarındaki Değişim

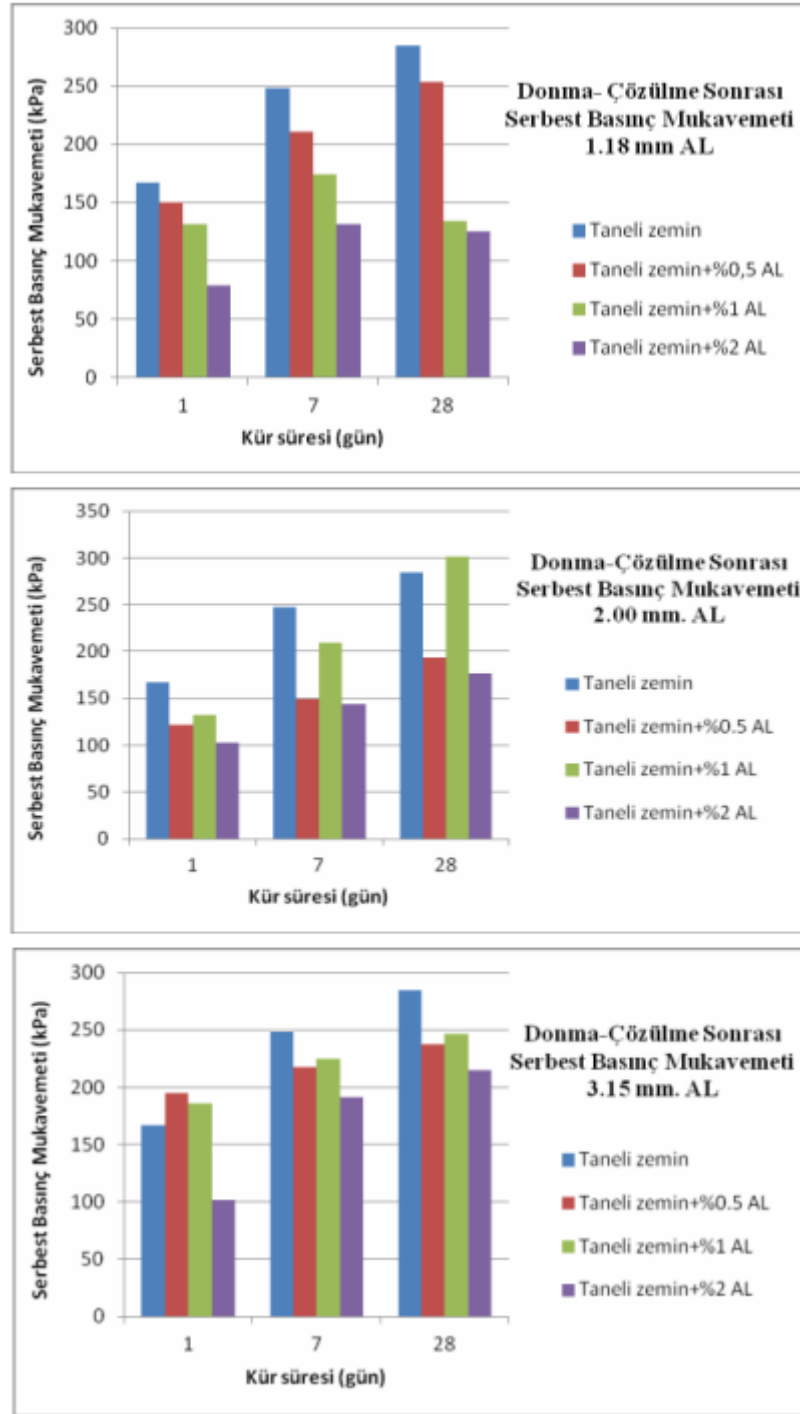
Abas ve arkadaşları yaptıkları çalışmada basınç ve eğilme dayanım değerlerinin atık lastik oranları artınca düştüğü belirtmişlerdir. Neden olarak da atık lastik ile çimento birleşim yüzeyindeki mukavemetin azalmasını ve atık lastiklerin hibrofobik olmasını nedeniyle çimento ve suyun buluşmasının zorlanması olarak belirtmişlerdir. Diğer taraftan tokluk değerlerinde olumlu gelişmelerin olduğu ve maliyet yönünden azalmanın meydana geldiğini belirtmişlerdir. (Abas ve ark., 2015)

Turgut ve Yeşilata (2009) atık otomobil lastiklerinin uygun geometri ve koşullarda harç içerisine ilavesinin termo-mekanik özellikler üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Atık lastiğinin, çelik telli alın yüzeyi ile çelik tel bulunmayan yanal yüzeyleri farklı amaçlarla kullanmışlardır. Çelik telli lastikler, şerit biçiminde kesilerek harç içerisine yerleştirmişler ve çelik tel bulunmayan lastikler ise granül boyutuna getirilerek briket içerisinde agrega olarak kullanmışlardır.

Atık lastik maddelerinin eklenme miktarına bağlı olarak yalıtımda elde edilen minimum iyileşme aralıklarını; harç numuneler için % 6.5–13.3 ve briket numuneler için ise % 4.5 – 10.8 olarak tespit etmişlerdir. Ayrıca atık lastik kullanımı ile briket numunelerde elde edilen mekanik özelliklerinde önemli seviyede azalmalar, fiziksel özelliklerde ise bazı iyileşmeler olduğunu belirtmişlerdir. En göze çarpan iyileşme olarak; briket ağırlığının % 30' a yakın oranlarda azalmasına dikkat çekmişlerdir. (Turgut ve Yeşilata, 2009)

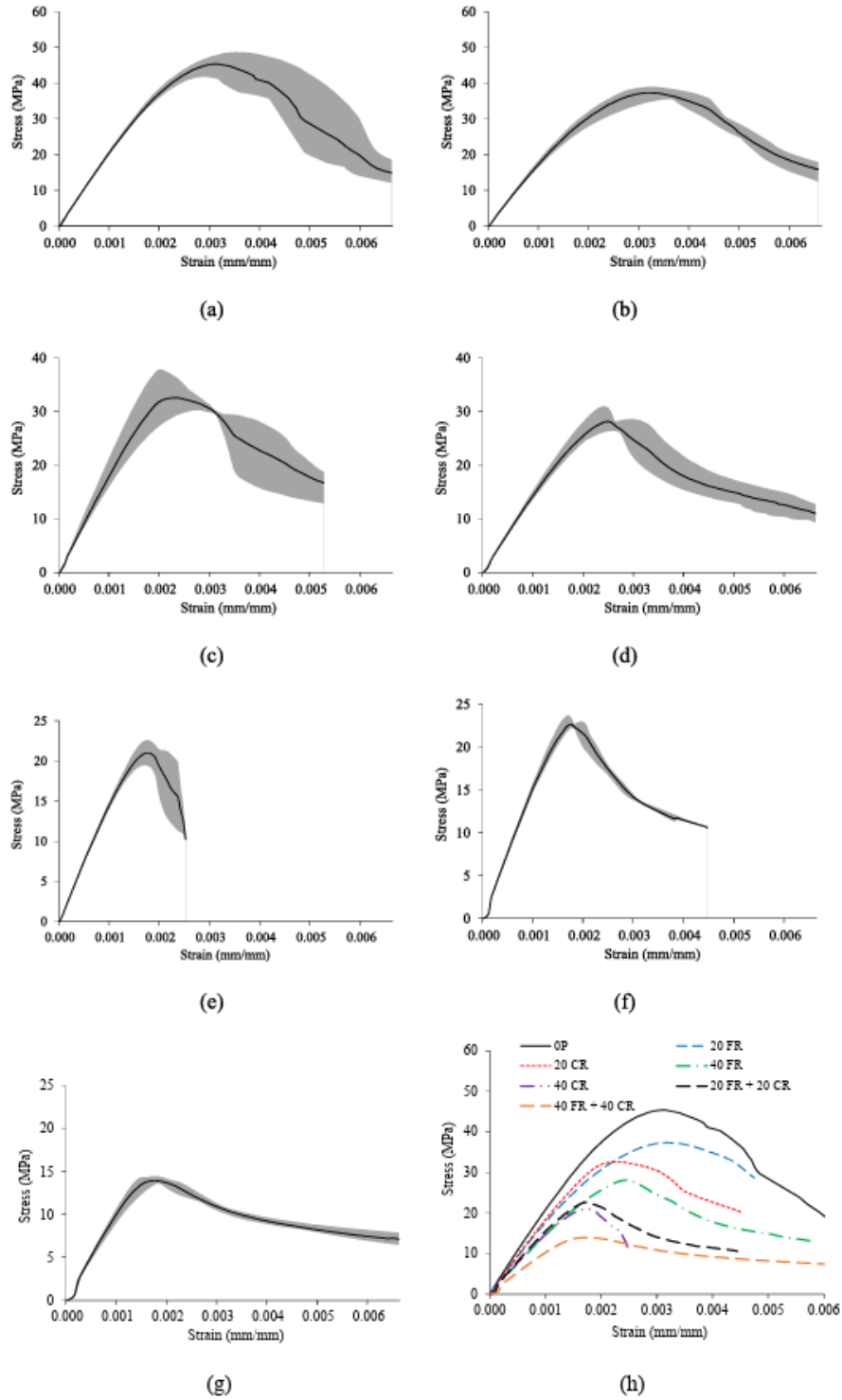
Alacalı ve Yarbaşı (2018) yaptıkları çalışmada iklimsel farklılıkların ve sıcaklık değişimlerinin fazlaca yaşandığı bölgelerde oluşturulan yapıların farklı yükler altında olumsuz etkilendiğini belirtmişlerdir. Bu etkinin irdelenmesi için atık lastik parçalarıyla güçlendirilmiş iri taneli zeminin donma-çözülme sonucu mukavemetlerindeki değişimleri incelemişlerdir.

Alacalı ve Yarbaşı çalışmalarında atık lastik gibi çeşitli fiberler (doğal veya yapay olarak üretilmiş) ile güçlendirilen iri taneli zeminlerde dayanım artışlarına neden olduğu ve özellikle mühendislik yapılarının temellerinde (karayolu, boru hatları, hava alanları gibi) zeminlere bir kırılganlık (gevreklik) kazandırdığı, gevrek durumdan plastik duruma doğru bir geçişin olduğu sonucuna ulaştıklarını belirtmişlerdir. (Alacalı ve Yarbaşı, 2018)



Şekil 2.11. Alacalı ve Yarbaşı'nın Donma-Çözülme sonrası mukavemetlerdeki değişim sonuçları

Albidah ve arkadaşları (2021) yaptıkları çalışmada geri dönüşümden elde ettikleri lastik parçalarını betonda kullanarak betonun işlenebilirlik, basınç davranışı (gerilme gerinim bileşenleri ve kırılma modu), eğilme dayanımı, birim ağırlık, hava içeriği ve su emme yüzdesi üzerindeki etkisi araştırmışlardır. Atık lastiği agrega yerine %20 ve %40 oranında kullanmışlardır.

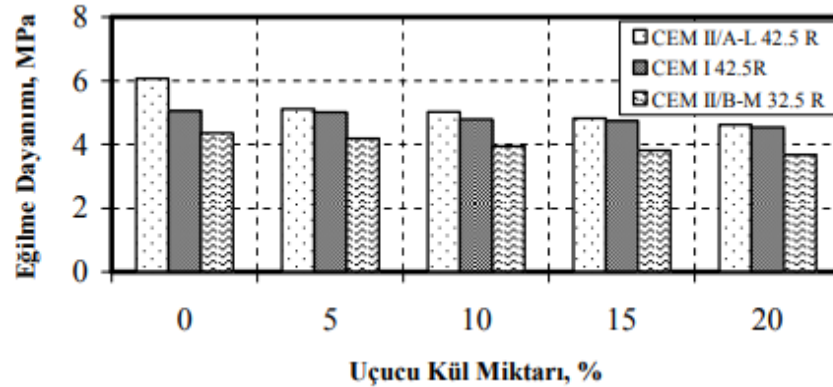


**Şekil 2.12.** Çeşitli karışımlar için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi: (a) 0 Referans Numune; (b) %20 FR; (c) %20 CR; (d) %40 FR; (e) %40 CR; (f) %20 FR + 20 CR; (g) 40 FR + 40 CR; (h) tüm karışımlar (ortalama) (FR=0-5 mm arası uzunluktaki atık lastik CR=5-10 mm arası uzunluktaki atık lastik)

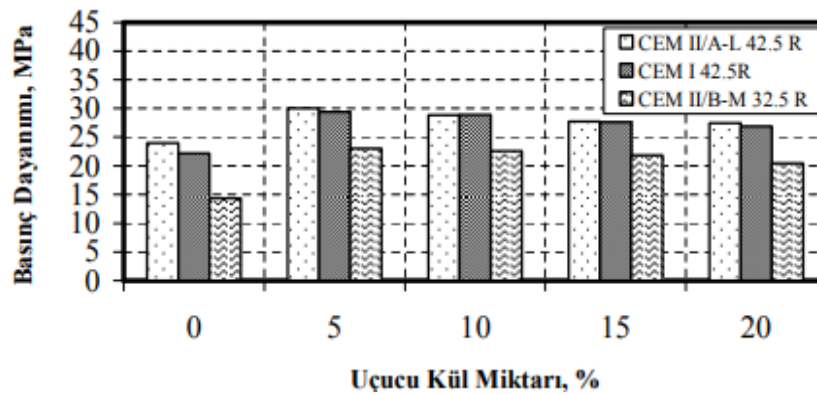
Albidah ve arkadaşları çalışmalarının sonucu olarak atık lastik kullanımının numunelerde işlenebilirliği azalttığı, ağırlıkça hafif beton elde ettiklerini, çatlama davranışında olumlu gelişmeler olduğunu, basınç ve eğilme dayanımında atık lastik oranı

artıkça azalmaların meydana geldiğini ve düşük ve orta dayanımlı beton elde edilmek istendiğinde uygun sonuçlar elde ettiklerini vurgulamışlardır. (Albidah ve ark., 2021)

Topçu ve Demir (2007) yaptıkları çalışmada otomobillerden çıkan atık lastiğin ve uçucu külün birlikte kullanılmasıyla oluşturulmuş harçların özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada çimento miktarlarını %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında azaltarak çimentonun yerine uçucu kül ekleyerek numuneler hazırlamışlardır.



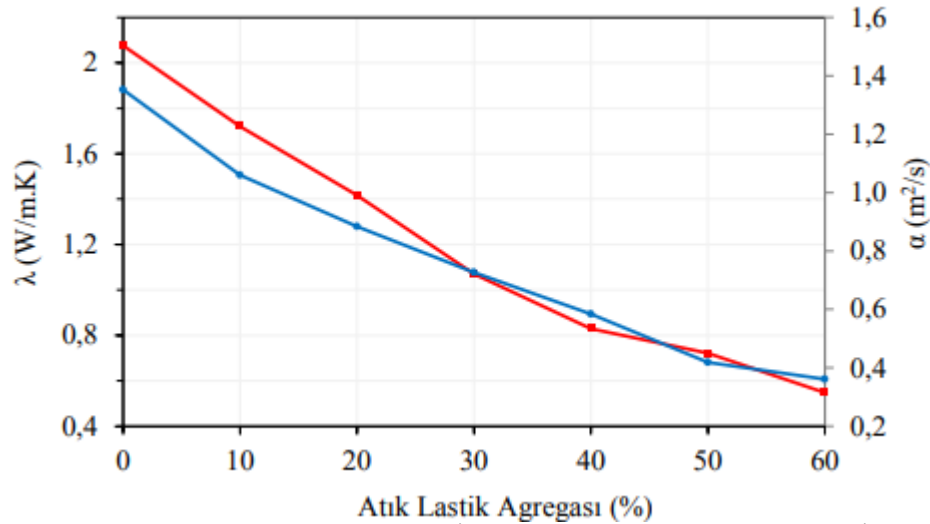
Şekil 2.13. Topçu ve Demir'in deneylerindeki UK miktarı ile eğilme dayanımı değişimi.



Şekil 2.14. Topçu ve Demir'in deneylerindeki UK miktarı ile basınç dayanımı değişimi.

Topçu ve Demir, harçta atık lastik agregası ve uçucu kül kullanılmasının daha olumlu netice verdiği sonucuna ulaşmışlardır. Çalışmalarında beklenen dayanım iyileşmelerinin %30 atık lastik eklenmiş harçlarda görülmesi, sonuçların az miktarda atık lastik kullanılmasının daha etkili olacağını ortaya koymaktadır. (Topçu ve Demir, 2007)

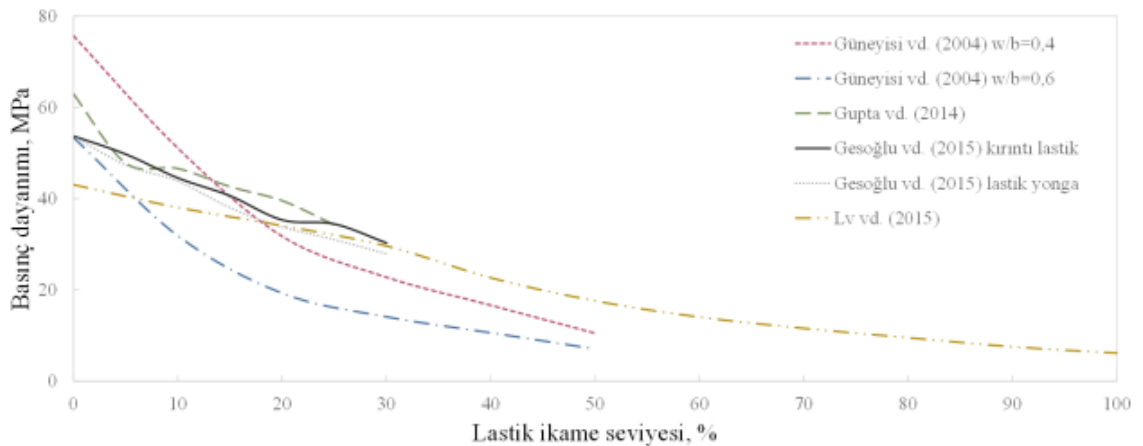
Kızar (2017) çalışmasında atık lastik malzeme ekleyerek bir taraftan çevre sorunlarına yararlı bir yöntem bulmayı, diğer taraftan malzeme tedarikinin kolay ve ucuz olması sebebiyle yalıtım maliyetlerini düşürmeyi amaçlamıştır. Bu nedenle, sabit su-çimento oranı gözeterek, normal agrega yerine hacimce %10, %20, %30, %40, %50 ve %60 oranlarında atık lastik kullanarak çeşitli özelliklerde beton numunesi hazırlamıştır.



Şekil 2.15. Kızır'ın çalışmasındaki Isıl İletkenlik ve Isı Yayınlmı Arasındaki İlişki

Kızır'ın çalışmasının sonucu olarak atık lastik kullanımının elde edilen betonun dayanımını ve yoğunluğunu olumsuz etkilediği, diğer taraftan ısı ve ses yalıtım özelliğini yüksek oranda arttırdığı görmüştür. Ek olarak, elde edilen numunelerde ısı iletkenlik ve ısı yayılım değerlerinin sırasıyla azaldığı tespit etmiştir. (Kızır, 2017)

İpek ve ark. (2022) yaptığı çalışmanın amacı olarak atık şekilde bulunan lastiklerden elde ettikleri agrega yerine kullandıkları lastikleri, betonun sıvı kıvamda gösterdiği işlenebilirliği, katı formunu elde ettikten sonra basınç ve çekme dayanımı, elastik modül değerindeki değişimler, kırıldığı zaman meydana gelen davranış biçimlerini araştırmışlardır.

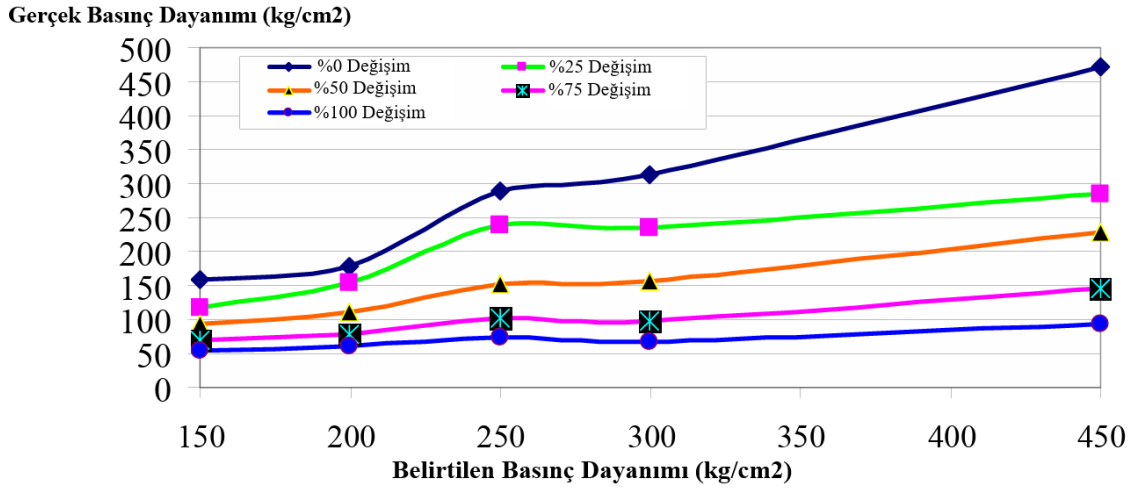


Şekil 2.16. İpek ve arkadaşları diğer çalışmalardaki basınç dayanım seviye derlemesi

İpek ve ark. (2022) yaptıkları deney sonuçları ve ulaştıkları genellemeler ile yüksek miktarda atık lastik kullanımının hem sıvı hem de katı formda bulunan betonda gözlemlenen betonun tüm özelliklerini olumsuz etkilediği sonucuna varmışlardır. Sonuç olarak lastik agrega kullanılan beton numunelerin yüksek mekanik özelliklerine gerek olmadığı

durumlarda kullanılmasının atık lastiğin tekrar kullanılmasında en etkili ve doğa dostu yöntem olduğunu vurgulamışlardır. (İpek ve ark., 2022)

Shtayeh (2007) yaptığı çalışmada atık lastiklerin betonda kullanımı ile çevresel olarak kirliliği önlemeyi betonun üretilmesinde çeşitliliği getirmek için ince agrega yerine %0, %25 %50 ve %100 oranında atık lastik kullanarak çeşitli deneyler gerçekleştirmiştir.

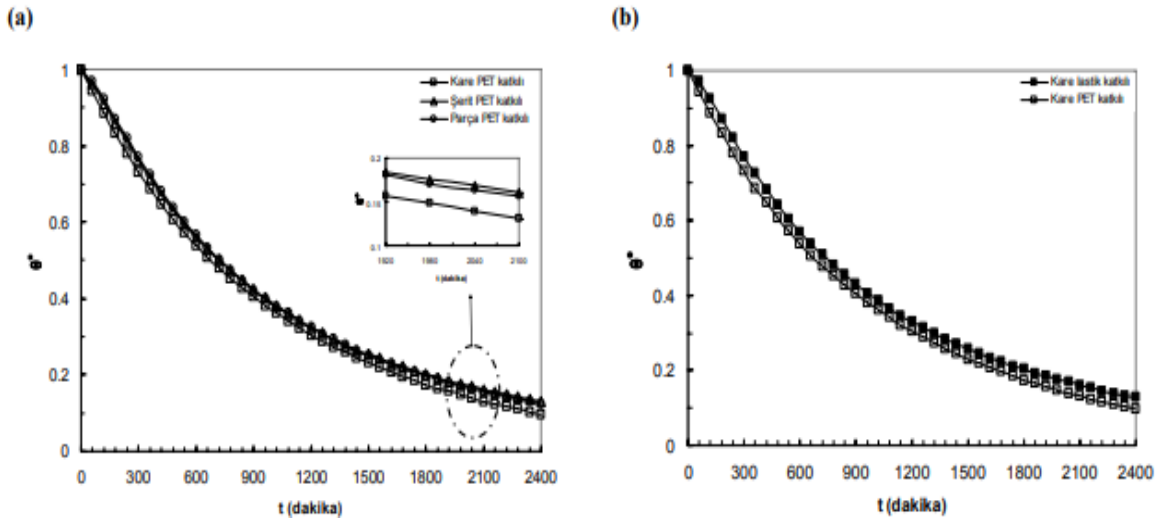


**Şekil 2.17.** Shtayeh'in çeşitli yüzdelerde atık lastik ikamesi için basınç dayanım sonuçları

Shtayeh yaptığı çalışma neticesinde basınç dayanımı, yoğunluk ve elastisite modülü, atık lastik kırıntılarını ile ikame yüzdesi arttıkça azaldığını; su emme başlangıçta azaldığını ve ikame yüzdesi arttıktan sonra artmaya başladığını, çökme önemli bir değişiklik olmadığını ve aşınma direnci, gürültü ve ısı yalıtımı ikame yüzdesi arttıkça arttığını belirtmiştir. (Shtayeh, 2007)

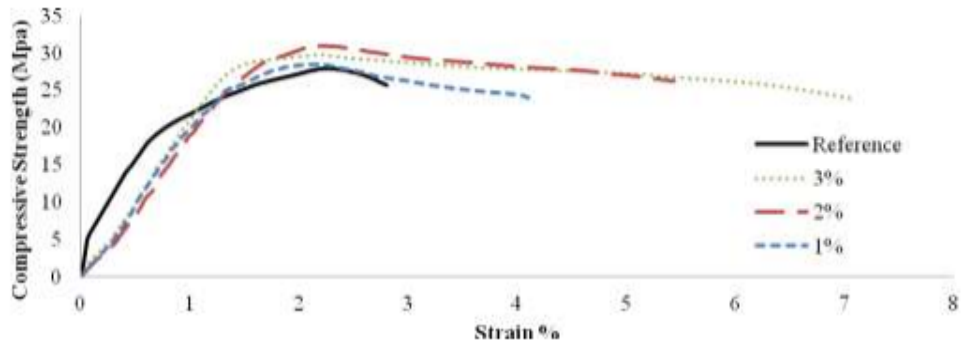
Yeşilata ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada kullanılmış ya da atık haldeki polimerik esaslı malzemelerin beton harçlarına ilavesi ile yalıtım özelliklerindeki bağıl değişimi deneysel yöntemlerle araştırmaya çalışmışlardır.

Yeşilata ve arkadaşları yaptıkları araştırma sonucu olarak atık polimerik malzeme takviyesi ile bina yapı elemanlarının yalıtım özelliklerinde iyileşme ve dolayısıyla çevreye kaybedilen ısı miktarlarında bir azalma sağlanabileceğini göstermişlerdir. Atık polietilen malzeme katkısıyla %17.1, atık otomobil iç lastiği ile %18.5 oranında yalıtım iyileşmesi sağladığını belirtmişlerdir. Kullanılan malzemelerin atık malzemeler olmasından ötürü maliyetteki ciddi azalmayı da önemle vurgulamışlardır. (Yeşilata ve ark., 2006)

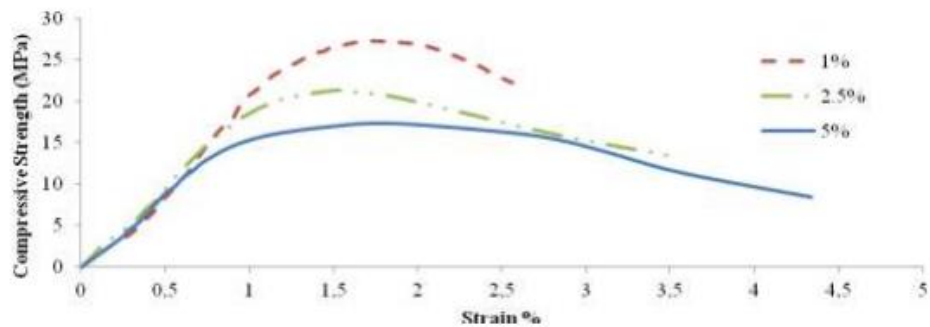


Şekil 2.18. Yeşilata ve arkadaşlarının çalışmalarında boyutsuz sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi

Köroğlu (2016) yaptığı çalışmada atık lastik parçalarının ve atık lastik tel atıklarının beton içinde kullanımını araştırmıştır. Farklı oranlardaki atıkların betonun mekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır.



Şekil 2.19. Köroğlu'nun çalışmasındaki atık lastik telleri için basınç dayanımı-gerilim grafiği



Şekil 2.20. Köroğlu'nun çalışmasındaki atık lastik parçaları için basınç dayanımı-gerilim grafiği

Köroğlu araştırmasının sonucu olarak yüksek miktarda atık lastik ve tellerin kullanımının betonun sıkıştırılmasında oluşan boşlukların kapatılması konusunda avantaj sağlayabileceğini belirtmiştir. Kullanılan atık malzeme oranına işlenebilirlik açısından dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Kullanılan atık malzemelerin ağırlıkça %2 olarak kullanılması durumunda en iyi sonuçları verdiğini belirtmiştir. Çatlak oluşum yönünden atık

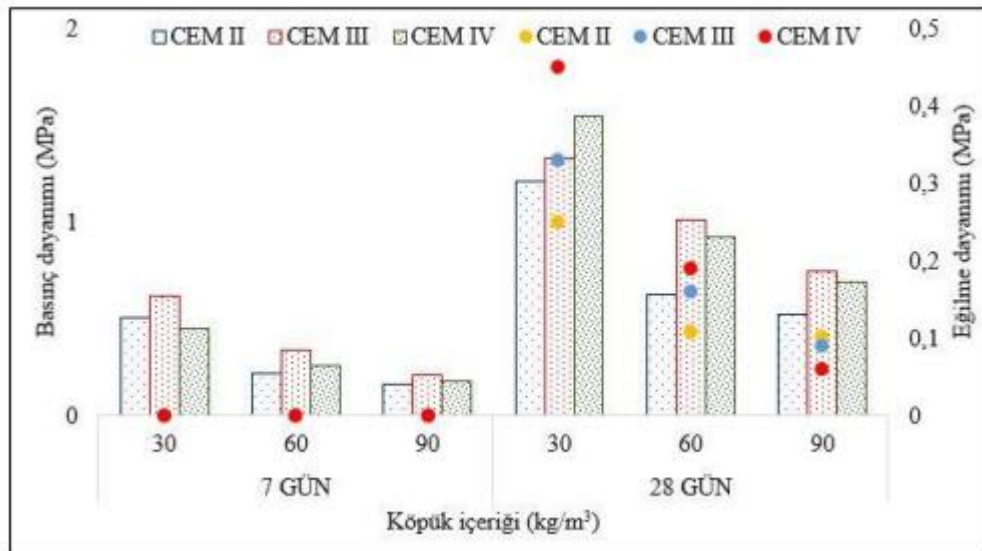
malzeme kullanımının olumlu sonuçlar verdiğini ve tokluk yönünden atık malzeme kullanımının avantajlı durum oluşturduğunu vurgulamıştır. (Koroğlu, 2016)

Çetin (1997) yaptığı çalışmada otomobillerden çıkan atık lastikler gibi sanayi atıklarının asfalt beton kaplama karışımları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Deneylerinde atık lastik ve endüstriyel atıkların agregalar ile %5 %10 ve %20 oranında yer değiştirerek kullanmıştır.

Çalışmanın sonucu olarak, lastik ve plastik eklenen asfalt beton kaplama karışımların tokluk ve elastiklik özelliklerinin olumlu yönde etkilendiği ve bu şekilde, lastik ve plastik eklenen asfalt beton kaplamaları çatlamalardan korunduğunu öne çıkarmıştır. (Çetin, 1997)

Beycioğlu ve ark. (2008) yaptıkları araştırmada, atık lastiklerin düşük birim ağırlıkları (zeminlerin 1/3'ü kadar), iyi ısı yalıtımı (zeminden 8 kat daha iyi), iyi drenaj kabiliyeti (10 kez daha iyi) ve sıkıştırılabilirlik gibi özelliklerinden dolayı mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanıldığını belirtmişlerdir. Atık lastikler düşük birim ağırlıkları sebebiyle mühendislik uygulamalarında hafif agrega gibi değerlendirilmekte ve dolgu malzemesi olarak toprak setlerde, istinat duvarlarında ve zemin dolgularında kullanılması gerektiğini savunmuşlardır. (Beycioğlu ve ark., 2008)

Bayraktar ve Kaplan (2021) çalışmalarında, farklı çimentolar ile farklı birim ağırlığa sahip köpük betonların üretilmesinde 0-1 mm ebatlarındaki atık lastikleri agrega olarak kullanmışlardır.

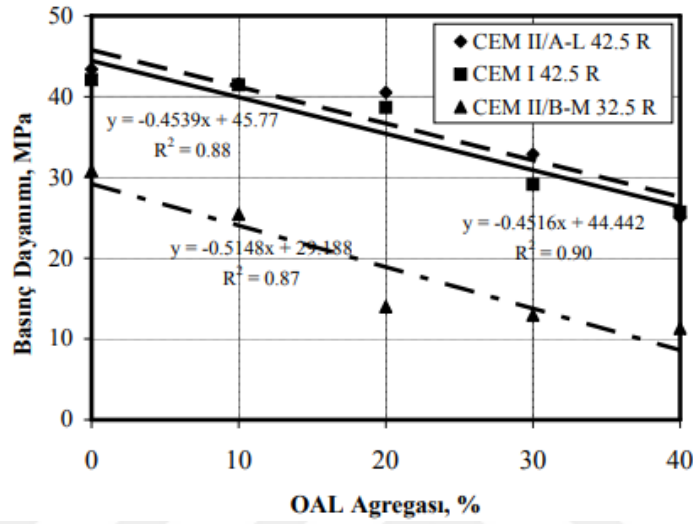


Şekil 2.21. Bayraktar ve Kaplan'ın deneylerindeki ürettikleri köpük betonların mekanik özellikleri

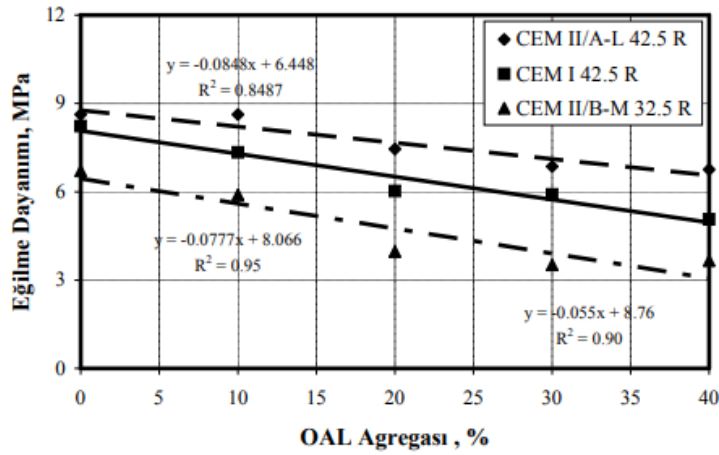
Bayraktar ve Kaplan, agrega yerine atık lastik kullanılmasıyla üretilen köpük betonlara ait deney sonuçlarının, literatürdeki diğer köpük betonlardan elde edilen değerlere yakın olduğu gözlemlenmiştir. Köpük beton üretiminde atık lastik agregası kullanılmasıyla gaz betona yakın bir blok elemanı elde etme imkanının olduğu

belirtmişlerdir. Atık lastik agregası kullanılarak elde edilen köpük betonların tuğladan daha iyi bir termal özellik göstereceğini öngörmektedirler. (Bayraktar ve Kaplan, 2021)

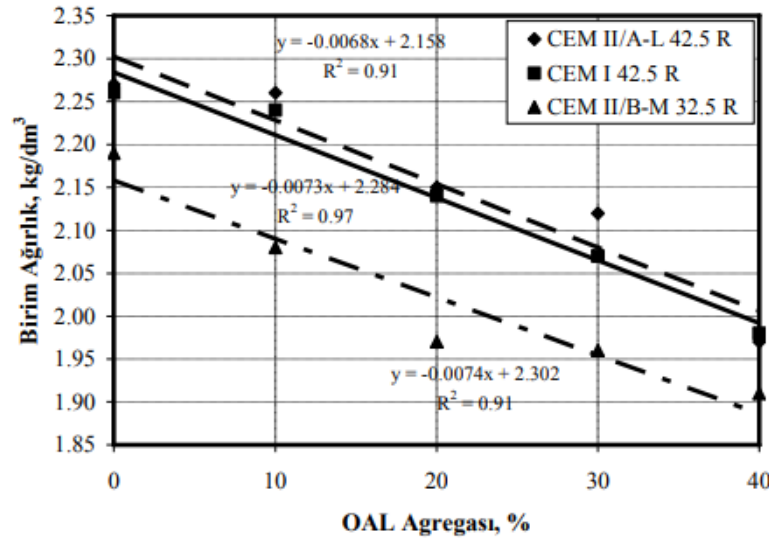
Topçu ve Demir (2009) yaptıkları çalışmada otomobil atık lastiği agregası kullanılarak hazırlanan harçların özellikleri araştırmışlardır. Hazırladıkları harçlara kum hacminin %10, %20, %30 ve %40'ı oranlarında otomobil atık lastik agregası katmışlardır.



Şekil 2.22. Topçu ve Demir'in harç numunelerinde basınç dayanımının otomobil atık lastiği agregası oranına göre değişimi



Şekil 2.23. Topçu ve Demir'in harç numunelerinde eğilme dayanımının otomobil atık lastiği agregası oranına göre değişimi.



Şekil 2.24. Topçu ve Demir'in harç numunelerinde birim ağırlığın otomobil atık lastiği agregası oranına göre değişimi.

Topçu ve Demir araştırmalarının sonucu olarak farklı çimentolar ile otomobil atık lastiği agregasının kullanımıyla birim ağırlıklardaki azalışın bir doğrusallık izlediğini, otomobil atık lastiği agregası ilave edilmiş harçların en büyük özelliği olarak yüksek eğilme dayanımı göstermelerini ve kendi hazırladıkları spesifik numunelerde eğilme dayanımlarını 8 MPa üzerinde olarak hesapladıklarını belirtmişler ayrıca basınç dayanımlarında ise düşüşlerin olduğu gözlemlenmiştir. (Topçu ve Demir, 2009)

Emiroğlu ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada atık taşıt lastiği gibi katı atıkların kullanımı ile elde edilen betonların basınç dayanımlarının azaldığını gözlemlenmişler ve dayanımdaki bu azalmayı simüle etmek amacıyla katı atıkların kullanımı ile beton dayanımında meydana gelen azalma istatistiksel olarak belirlemeye çalışmışlardır. (Emiroğlu ve ark., 2009)

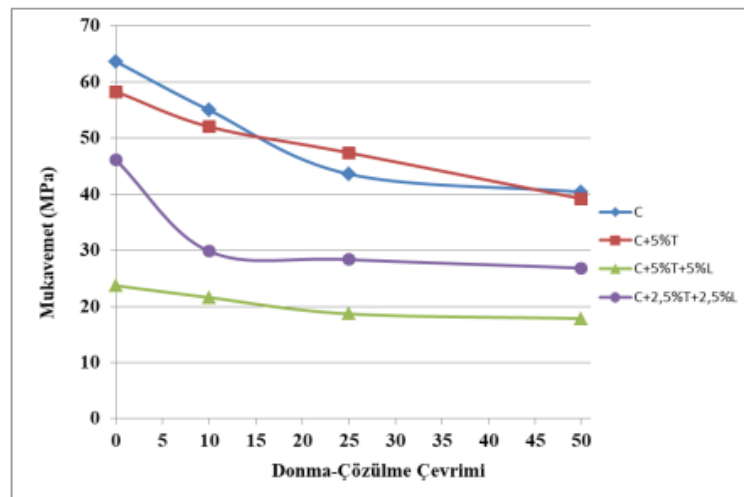
Katı Atık Türü	Oran (%)	Basınç Dayanımı (MPa)
Atık Taşıt Lastiği	0	45.69
	5	42.49
	10	37.30
	15	26.96
	20	23.91

Çizelge 2.1. Emiroğlu ve arkadaşlarının atık taşıt lastiğinin basınç dayanım deneyinin sonuçları

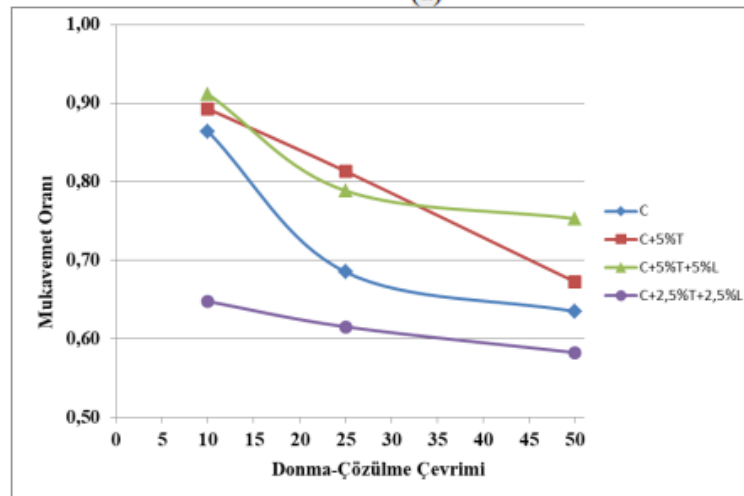
Özbay (2018) yaptığı çalışmada korozyon direnci yüksek ve mekanik özellikleri iyi olan bronzun atık şekilde elde edilerek kullanılmasıyla betonun özelliklerinin geliştirilmesi, polimer esaslı olan ince atık lastik eklenmesi ile de hem atık tel hem de bronz

katkılı betonun özelliklerinin daha da geliştirilip iyileştirilmesi, sektördeki çelik takviyeli ve takviyesiz beton ürünlere yakın ya da daha da iyileştirilmiş beton malzemesi elde edilmesi hedeflemektedir.

Özbay yaptığı çalışma sonucunda beton numunesine atık lastik girmesiyle yoğunluk değerlerinin olumsuz etkilenmekte olduğunu, açık gözenek miktarının arttığını ve dolayısı ile SBM (soğuk basma mukavemeti) değerinde de azalma meydana geldiğini tespit etmiş, ayrıca lastik atığı katılmasıyla yapıdaki beton matrisi, bronz ve atık lastik arasında güçlü bağların oluşmadığı, daha fazla gözenek ve çatlak oluştuğunu gözlemlemiş, bu durumda gözenek miktarının artmasıyla dayanımın azaldığı sonucuna ulaşmıştır. Tel ile lastik eklenmesi sonucu beton malzemesinde tane içi kırılma yoğun bir şekilde gözlemlemiş, mekanik özelliklerdeki azalmanın nedeni olarak taneler arası kırılma tipinden tane içi kırılma tipine olan bu geçişin de etkili olduğu düşünmüştür. (Özbay, 2018)



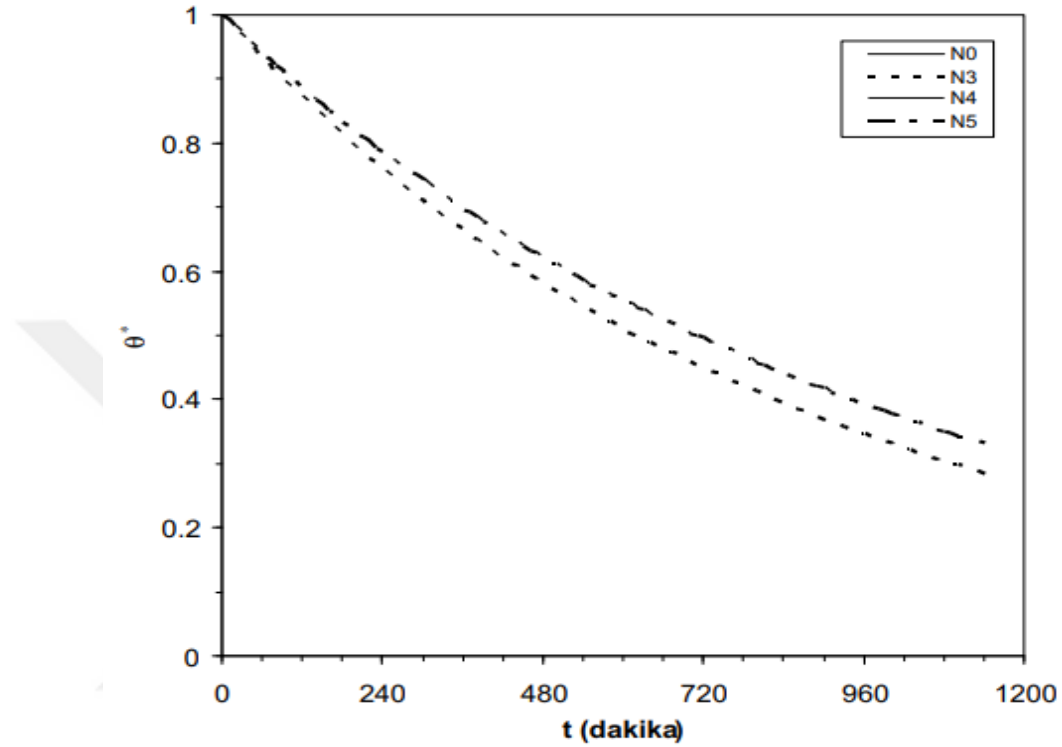
(a)



(b)

Şekil 2.25. Özbay'ın deneylerinde donma çözülme testi sonrası katkısız ve tel ile lastik katkılı beton malzemelerine ait a) mukavemet, b) mukavemet oranı değerleri

Turgut ve Yeşilata (2007) yaptıkları çalışmada hurda lastik katkısının betonun yalıtım özelliği üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Farklı miktar ve dizilişlerdeki hurda otomobil lastiği içeren beton numunelerle, lastik katkısı bulunmayan normal beton numunenin yalıtım davranışlarını kıyaslamışlardır.



Şekil 2.26. Turgut ve Yeşilata'nın deneylerine ait boyutsuz sıcaklık değişimleri

Turgut ve Yeşilata'nın beton numunelerle yaptığı deneylerin sonuçları olarak, hurda lastik katkısının yalıtım özelliğini ortalama % 6.5 -13.3 oranında iyileştirdiğini göstermiştir. Çalışmada kullanılan hurda lastik şeritlerin içerisinde bulunan çelik tellerin ayrıştırılması halinde daha iyi bir yalıtım sağlanacağı belirtilmekle beraber ek maliyet oluşacağı için uygun bulunmadığı ifade edilmiştir. (Turgut ve Yeşilata, 2007)

Emiroğlu ve ark. (2009) yaptığı araştırmada, atık lastikler belirli oranlarda beton içerisinde kullanılarak elastisite modülleri hesaplamış ve bu değerleri ampirik formüllerle ulaştığı sonuçlara göre kıyaslamışlardır.

Deneyler	Numuneler								
	Kontrol	%5		%10		%15		%20	
		İnce	İri	İnce	İri	İnce	İri	İnce	İri
Birim Ağırlık, (kg/m <sup>3</sup> )	2260	2190		2120		2050		1980	
Basınç Dayanımı, (N/mm <sup>2</sup> )	45,69	41,71	42,49	33,69	37,30	24,75	26,96	22,14	23,91
Eğilmede Çekme Dayanımı, (N/mm <sup>2</sup> )	4,75	4,67	5,34	4,16	4,74	4,10	4,89	3,66	4,29
Yarmada Çekme Dayanımı, (N/mm <sup>2</sup> )	4,191	3,087	3,741	2,928	3,141	2,622	2,676	2,346	2,238
Kırılma Anındaki Şehim, (mm)	0,043	0,045	0,061	0,065	0,063	0,074	0,087	0,068	0,077

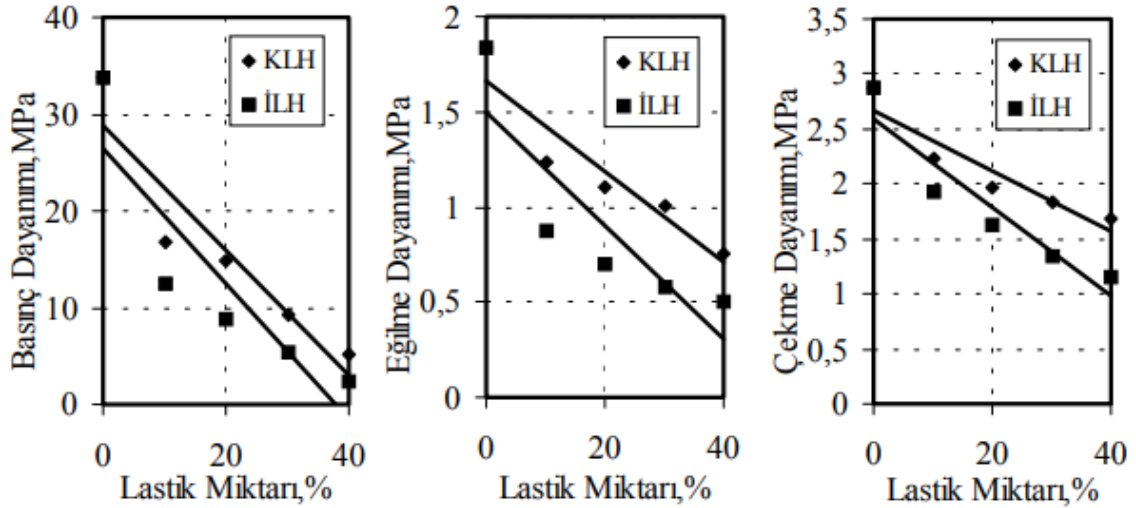
Çizelge 2.2. Lastik agrega katkılı betonlara ait fiziksel ve mekanik özellikler (Emiroğlu ve ark., 2009)

Yöntem	Numune Adı	Elastisite Modülü (MPa)				
		Kontrol	%5	%10	%15	%20
TSE	İnce	35968	34990	32864	30169	29292
	İri		35185	33849	30875	29892
ACI	İnce	31186	28461	24363	19856	17826
	İri		28726	25635	20723	18525
BSI	İnce	32532	31559	29391	26520	25553
	İri		31754	30405	27287	26216
CEB	İnce	35839	34931	32941	30394	29565
	İri		35112	33865	31063	30132
Deneysel	İnce	33630	34837	23002	16866	16494
	İri		27274	19972	17213	17079

Çizelge 2.3. Üretilen lastik agrega katkılı betonların farklı metotlarla hesaplanan elastisite modülü değerleri (Emiroğlu ve ark., 2009)

Emiroğlu ve arkadaşları beton içerisine katılan lastik agrega miktarı arttıkça basınç, yarmada çekme ve elastisite modülü değerlerinin olumsuz etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Atık lastik agrega katılarak üretilmiş numunelerin sertleşmiş beton özellikleri incelendiğinde, numunelerdeki basınç, çekme ve elastisite modülü değerlerinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, lastik agrega katkılı betonların elastisite modüllerinin önceden tahmin edilen değerlerin sadece basınç dayanımına bağlı olarak yapılan hesaplamaların gerçek elastisite modülü değerinden farklı sonuçlar verdiği fakat hem birim ağırlık hem de basınç dayanımına bağlı olarak elastisite modülü tahmini yapan ACI tarafından önerilen yöntemin daha doğru sonuçlar verdiği sonucuna ulaşmışlardır. (Emiroğlu ve ark., 2009)

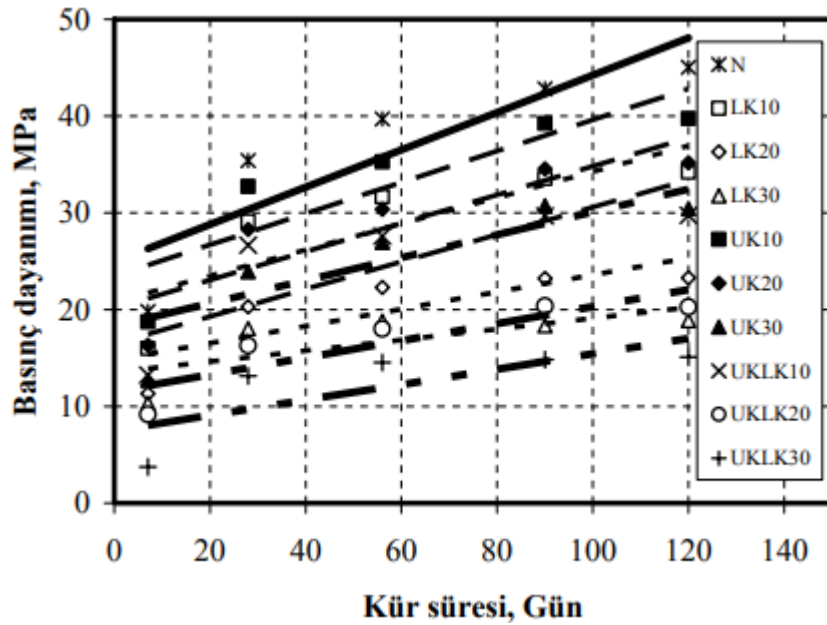
Topçu ve Demir (2004) yaptıkları çalışmada, lastik agrega ilave edilmiş harçların normal harçlara kıyasla basınç, eğilme ve çekme dayanımları ile bu harçlar üzerindeki deniz suyu etkisini incelemişlerdir.



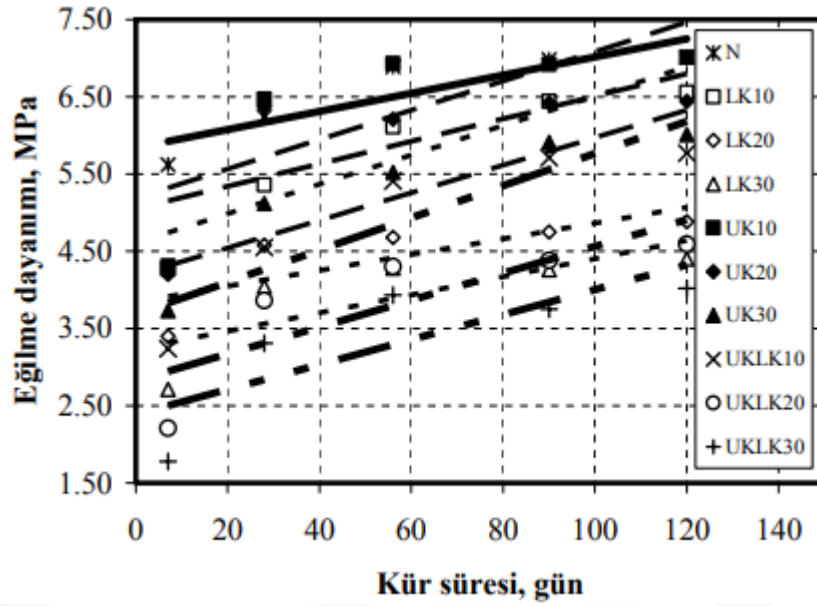
Şekil 2.27. Topçu ve Demir'in deniz suyu etkisi ile ulaştığı sonuçlar

Topçu ve Demir çalışmalarında % 10, 20, 30 ve 40 lastik ilaveli harç numunelerde çekme, basınç ve eğilme dayanımlarının normal harç numunelere göre azaldığı, tuzlu su etkisiyle bu azalmanın daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. (Topçu ve Demir, 2004)

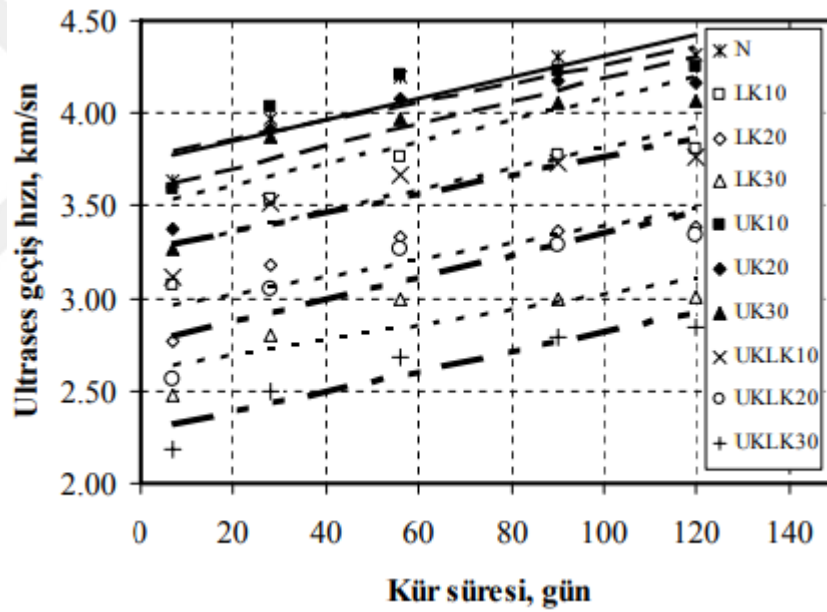
Topçu ve Toprak (2009) yaptıkları araştırmalarında harç özelliklerinde meydana gelen değişim için atık lastik külü ve uçucu külün uzun zaman periyodundaki etkisini araştırmışlardır.



Şekil 2.28. 7, 28, 56, 90 ve 120 gün sondaki harçların basınç dayanımları (Topçu ve Toprak, 2009)



Şekil 2.29. 7, 28, 56, 90 ve 120 gün sonundaki harçların eğilme dayanımları (Topçu ve Toprak, 2009)

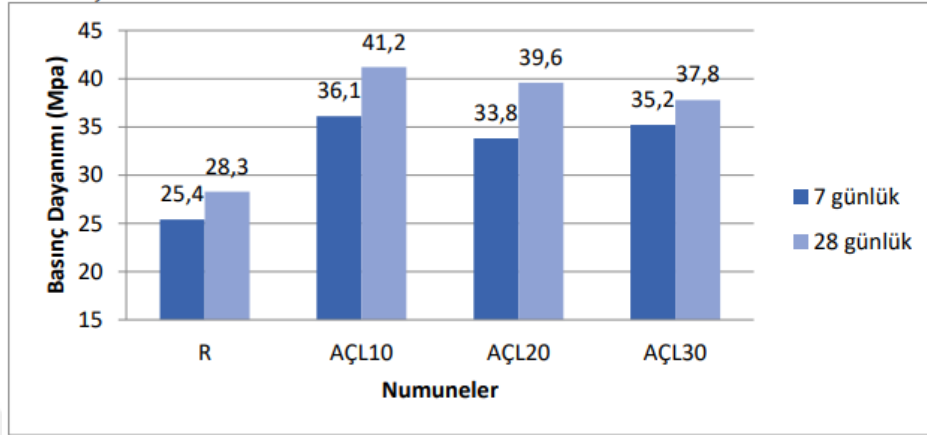


Şekil 2.30. 7, 28, 56, 90 ve 120 gün sonundaki harçların ultra ses geçiş hızı değerleri (Topçu ve Toprak, 2009)

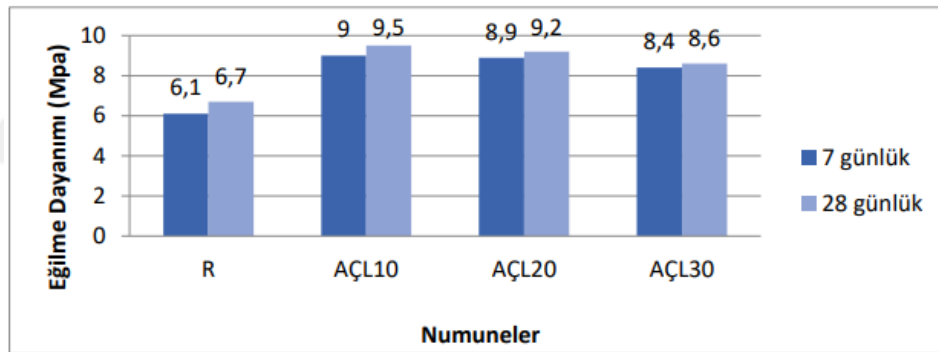
Topçu ve Toprak (2009) çalışmalarının sonucu olarak harçlarında gerçekleştirdikleri atık lastik küllerinin agrega yerine kullanımı ile ultra ses geçiş hızı, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerlerini olumsuz sonuçlar gördüklerini belirtmişler.

Atık lastik katılmış beton numunelerin yoğunluklarının düşük olduğu belirtmiş, ulaştıkları sonuçlarda tokluk, süneklik ve çarpma dirençlerinde, ses ve ısı yalıtım değerlerinde olumlu sonuçlar elde ettiklerini belirtmişlerdir. (Topçu ve Toprak, 2009)

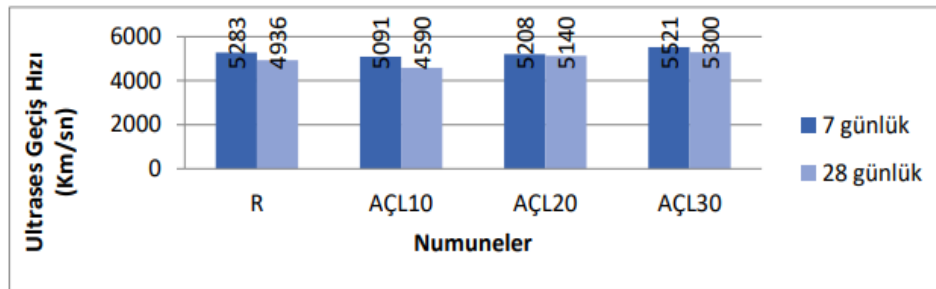
Eken ve Avşaroğlu (2018) yaptıkları araştırmada, atık halde bulunan çelik tellerin kullanılması ile güçlendirilmiş betonun mekanik özelliklerinin deneysel araştırmalarının sonuçlarını göstermektedirler. Çalışmada, uçucu kül ve çelik tel %0, %10, %20, %30 oranlarında katılarak üretilen betonun, basınç, yarmada çekme, eğilme ve ultrasonik ses değerlerini araştırmışlardır.



Şekil 2.31. Eken ve Avşaroğlu'nun 7 ve 28 günlük numunelerinin basınç dayanım değerleri



Şekil 2.32. Eken ve Avşaroğlu'nun farklı günlere sahip numunelerinin eğilme dayanım değerleri



Şekil 2.33. Eken ve Avşaroğlu'nun farklı günlere sahip numunelerinin ultrases geçiş hızı değerleri

Eken ve Avşaroğlu yaptıkları çalışmanın sonucu olarak uçucu kül kullanımı işlenebilirliği bir miktar azalttığı fakat kimyasal katkı kullanılarak işlenebilirlik yeterli düzeye getirilebildiğini belirtmiş ve atık çelik tellerin de mekanik özellikler açısından

referans betona orana ciddi bir üstünlük sağladığı vurgulamışlardır. (Eken ve Avşaroğlu, 2018)

Argunhan (2017) nispeten yüksek mukavemet, düşük yoğunluklu, yüksek ısı ve ses yalıtımı olan yeni beton tipleri elde etmek için deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu amaçla, sabit su-çimento oranında, normal agregaya yerine hacimce %10, %20, %30, %40, %50 ve %60 oranlarında atık lastik agregası kullanılarak çeşitli beton numuneleri hazırlamış ve değerlendirmiştir.

	$\lambda$ (W/m.K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\sigma$ (Mpa)	Ultra ses geçiş hızı (km/s)
Normal Beton	2,075	2434,30	61,52	4,673
Lastik % 10	1,720	2224,09	35,03	4,098
Lastik % 20	1,720	2122,88	19,90	3,571
Lastik % 30	1,070	1920,16	10,52	2,415
Lastik % 40	0,829	1805,82	6,24	2,045
Lastik % 50	0,722	1782,13	4,47	1,838
Lastik % 60	0,548	1658,99	2,94	1,626

**Çizelge 2.4** Sertleşmiş betonun mekanik özellikleri (Argunhan, 2017)

Argunhan'ın çalışmasında elde ettiği sonuçlardan biri, agregaya oranı ile ısı iletkenlik katsayısı arasında ters orantı olduğudur. Agregaya oranı arttıkça ısı yalıtım özelliğini yüksek oranda arttırdığı görülmüştür. Üretilen numunelerin ısı iletkenliğinin %73,5'e kadar azaldığı tespit etmiştir. Atık lastik agregaya kullanımına bağlı olarak yoğunluk değerlerinde azalma eğilimi olduğu, maksimum ve minimum yoğunluk değerlerinin sırasıyla 2434,30 – 1658,99 kg/m<sup>3</sup> arasında değerler aldığı görülmüştür. Bu da düşük birim hacim ağırlığı istenen yerlerde lastikli betonun kullanılabilirliğini göstermiştir. Basınç dayanımları ile ilgili yapılan deneylerde normal beton ile %60 oranında atık lastik ile üretilen numunelerde yapılan hesaplamalar sonucunda, numunenin basınç dayanımında % 95 oranında azalma olduğu belirtilmiştir. Üretilen normal betondaki ses geçiş hızı 4,673 km/sn iken atık lastik ile üretilen numunenin ses geçiş hızının 1,626 km/sn değerine düştüğünü bu yüzden ses yalıtımını %65,2 oranında iyileştirilerek gürültünün zararlı etkilerinden korunması gereken alanlarda atık lastikli betonların kullanılabilirliğini belirtmiştir. (Argunhan, 2017)

Argunhan (2017) elde edilen sonuçları açıkladığında atık lastikli betonların yapılar da izolator olarak çarpma etkilerine maruz kalan bölgelerde, ses yalıtımı istenen hafif ve boşluklu bölme duvarlarında, köprü ayak ve pabuçlarında, bazı dekorasyon işlerinde ve ısı yalıtımı istenen yerlerde kullanılabilirliğini önermektedir.

Aksoylu ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada atık lastiklerden elde edilen geri dönüştürülmüş çelik teller (RSWT) ile geleneksel betonarme kirişin özelliklerini

araştırmışlardır. RSWT, betonarme kirişe ağırlıkça %1 ile %3 arasında ve %1'lik artışlarla ekleyerek toplamda 9 küp, 12 silindir ve 12 betonarme kiriş dökmüşler ve sırasıyla basınç, yarmada çekme ve eğilme dayanımlarını incelemişlerdir.

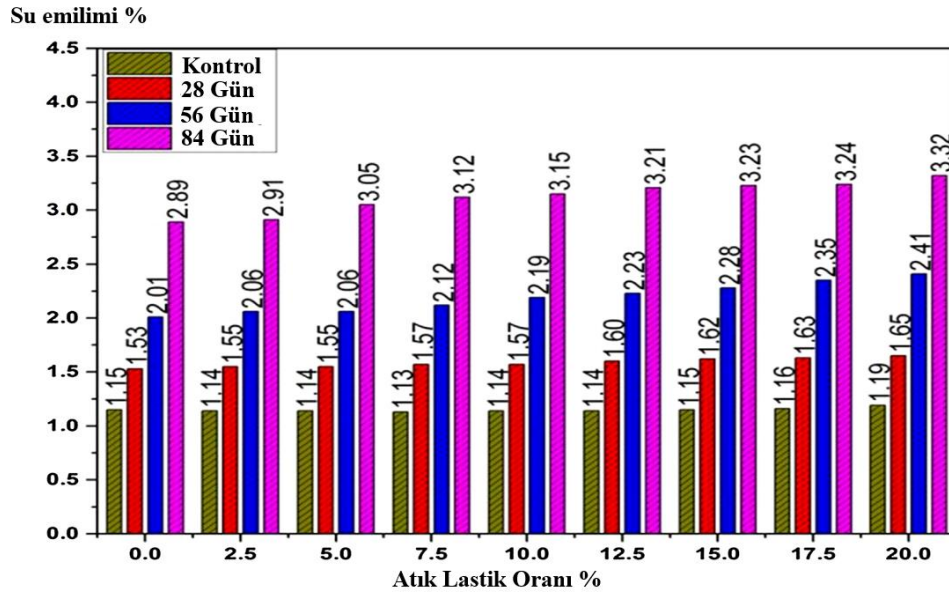
Test Numuneleri	DeneySEL $P_{max}$ (kN)	Hesaplanan $P_{max}$ (kN)	Oran
SREF-1	39.90	40.34	1.01
SREF-2	45.16	45.47	1.00
SREF-3	51.40	50.42	0.98
STIRE-1	46.27	44.15	0.95
STIRE-2	51.04	49.26	0.96
STIRE-3	54.46	54.23	0.99
STIRE-4	51.21	46.87	0.91
STIRE-5	54.10	52.00	0.96
STIRE-6	57.07	56.95	0.99
STIRE-7	55.12	49.82	0.90
STIRE-8	56.68	54.95	0.97
STIRE-9	58.19	59.90	1.03

**Çizelge 2.5.** Numunelerin deneysel ve analitik olarak elde edilen maksimum yük taşıma kapasiteleri (Aksoylu ve ark., 2022)

Aksoylu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada betona %1, %2 ve %3 oranında eklenen RSWT, referans betona kıyasla basınç dayanımını sırasıyla %17,2, %30,8 ve %46,4 oranında arttığını görmüşlerdir. Yarmada çekme dayanımında ise sırasıyla %14,4, %25,1 ve %36,7 artış gözlemlenmiştir. Bu da lif içeriğinin artmasıyla betonun basınç ve çekme dayanımında etkili bir artış olduğunu belirtmektedirler. Yüksek etriye aralığına sahip numunelerde (27 cm) lif içeriğinin etkisi kiriş davranışını iyileştirmede önemli fayda sağlarken, etriye aralığı azaldıkça (20 cm ve 16 cm) liflerin etkisi daha sınırlı olduğunu belirtmişlerdir. Analitik hesaplamalar ile deneysel sonuçlar arasında %91'in üzerinde bir yakınsama elde ettiklerini belirtmektedirler. (Aksoylu ve ark., 2022)

Shu ve Huang (2014) yaptıkları çalışmada atık lastik parçalarının Portland çimentolu betonda kullanımının ne gibi etkilere yol açtığını irdelenmiştir. Portland çimento betonunda atık lastik parçacıklarının geri dönüşümü iki faktör nedeniyle o kadar başarılı olmadığı vurgulamaktadırlar: (1) kauçuk ve çimento hamuru arasındaki kimyasal özellik uyumsuzluğu ve (2) gerilme konsantrasyonlarına neden olan sertlikteki önemli farklılık olduğunu belirtmektedirler. Atık lastik parçacıklarının betonun özelliklerini ve performansını önemli ölçüde iyileştirmek ve yapı mühendisliğinde kullanımını artırmak için daha fazla araştırma yapılması gerektiğini vurgulamaktadırlar. (Shu ve Huang, 2014)

Siddika ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada atık lastik parçacıklarının ve lastik izolasyonlu çimentolu kompozitlerin kaynağını, malzeme özelliklerini, kullanımlarını, dayanıklılıklarını ve servis edilebilirlik performanslarını incelemişlerdir.



Şekil 2.34. Atık lastik oranına göre su emme kapasiteleri (Siddika ve ark., 2019)

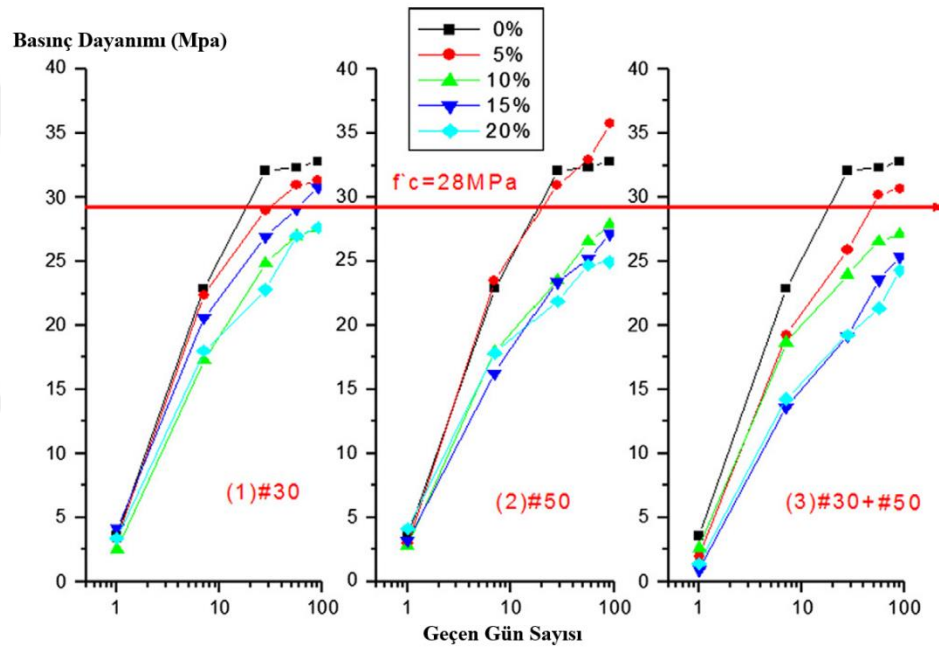
Siddika ve arkadaşları atık lastik parçacıklarının ilavesinin betonu hafiflettiğini, işlenebilirliğini azalttığını, yorulma ömrünü ve tokluğunu arttırdığını, dinamik özelliklerini geliştirdiğini ve sünekliğini iyileştirdiğini ancak atık lastik birlikte betonda gözenek yapısını artmasından ötürü su ve kimyasal emilimine ve don olaylarına dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamaktadırlar. Atık lastikler genel olarak düşük mekanik dayanıma sahip olduğunu ve çekme ve eğilme dayanımındaki azalmanın basınç dayanımından daha az olduğunu vurgulamışlardır, fakat ön işlem süreci ve silis dumanının bu probleme çözüm olabileceğini belirtmişlerdir. (Siddika ve ark., 2019)

Roychand ve ark. (2019) yaptıkları incelemede agrega yerine kullanılan atık lastik parçalarının çimento ile bağ performansı iyileştirerek betonun mekanik özelliklerinde önemli gelişmeler olduğunu belirtmişlerdir. Fakat kauçuk parçacıklarının sıcaklığa maruz kalması halinde meydana gelen yüksek yanıcılık ve zehirli gaz salınımının önüne geçilmesi gerektiğini vurgulamaktadırlar.

Roychand ve arkadaşları betonun işlenebilirliğini atık lastik parçacıklarının boyutu ve hacmi arttıkça azaldığı ve bu problemi süper akışkanlaştırıcı ile çözülebileceğini belirtmişlerdir. Atık lastik parçacıklarının yoğunluğunun agregadan az olduğu için betonun özgül ağırlığında azalmaların olduğu ve betonun basınç dayanımında atık lastik parçacıklarının boyutu ve yüzdesiyle de azalmaların arttığı belirtmişlerdir. Ancak Atık lastik parçacıklarını suda bekleterek, su ile yıkayarak, NaOH, metanol, etanol ve aseton gibi çözeltiler kullanılarak atık lastik kullanarak elde edilen betonun dayanımlarında artışların

gözlemlendiğini vurgulamaktadırlar. NaOH ve su ile yıkama işleminin betonun rijitliği ve aşınma direncini de önemli ölçüde iyileştirdiğini belirtmektedirler. (Roychand ve ark., 2019)

Yung ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada geri dönüştürülmüş malzeme olarak atık lastik parçacıkları kullanmış ve kendiliğinden yerleşen kauçuk beton üretmek için ince agreganın bir kısmı #30 ve #50 eleklerden süzülen atık lastik parçacıklarının tozu ile değiştirmişlerdir. İnce agreganın bir kısmı, silindir numuneler üretmek ve optimum değiştirme değerini elde etmek için sırasıyla %5, %10, %15 ve %20 hacim oranlarında eleklerden geçirilmiş atık lastik kauçuk tozu ile değiştirmişlerdir. Normal kumun bir kısmının farklı oranlarda farklı incelik derecelerine sahip atık lastik kauçuk tozu ile değiştirilmesi irdelemişlerdir.

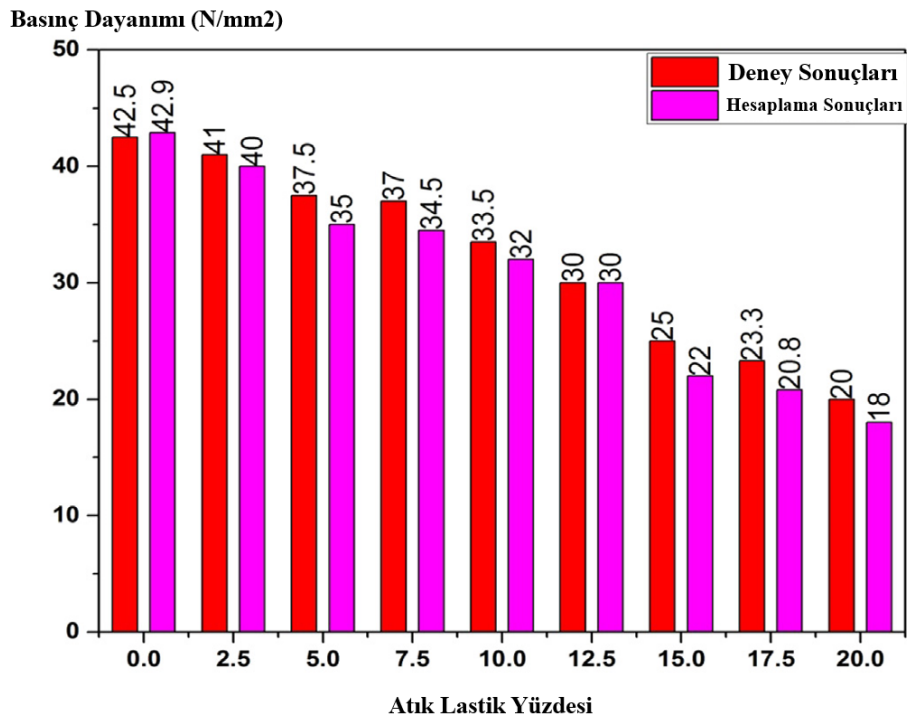


Şekil 2.35. Kendiliğinden yerleşen betonda basınç dayanımı

Yung ve arkadaşları çalışma sonucunda, #50 elekten geçirilmiş %5 atık lastik tozu eklendiğinde, 91 günlük basınç dayanımının kontrol grubundan %10 daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, atık kauçuk miktarı arttıkça büzülme daha yüksek olmuş ve %20'de maksimuma ulaştığını vurgulamışlardır. Atık lastik kauçuk tozu ilavesi anti-sülfat korozyonunda önemli bir artış sağladığını belirtmişlerdir. Atık lastik kauçuk tozu kullanımı, kendiliğinden yerleşen kauçuk betonun dayanıklılığını artırabileceği sonucuna ulaşmışlardır. (Yung ve ark., 2012)

Thomas ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada atık lastik parçaları eklenmiş betonun klorür penetrasyon derinliğini, asit saldırısına karşı direncini ve makro hücre korozyonunu karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Kırıntı kauçuk formundaki atık lastik kauçuğu,

%2,5'in katları halinde %0 ila %20 arasında doğal ince agrega ile çalışmalarında değiştirmişlerdir.



Şekil 2.36. Deneysel ve hesaplama yoluyla basınç dayanımı sonuçları (Thomas ve ark.)

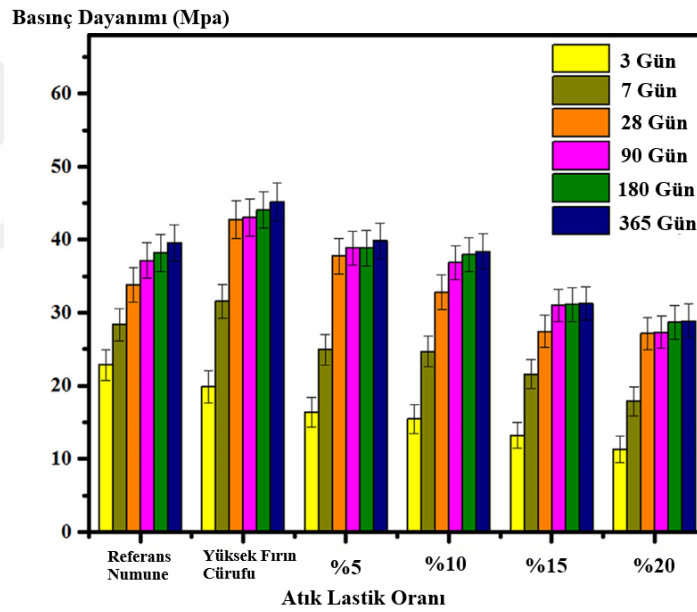
Thomas ve arkadaşları yaptıkları çalışma sonucunda atık lastik içeren karışımların %7,5'e kadar olan klorür penetrasyon derinliği, su/çimento oranı 0,4 olduğu durumda kontrol karışımından daha düşük olduğu ve asit saldırısına uğramış numunelerin su emme testinde, atık lastik yüzdesi arttıkça su emme yüzdesinde kademeli bir artış gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Asit saldırısından sonra, ağırlık ve basınç dayanımındaki kayıplar, kontrol karışımı betonda atık lastik eklenmiş betona göre daha fazla gözlemlemişlerdir. Ayrıca Abaqus programından elde edilen analitik sonuçlar, laboratuvar deneysel çalışmalarında elde edilen basınç dayanımı ve eğilme çekme dayanımı için aynı eğilimi gösterdiğini ve bu nedenle, atık lastik eklenmiş betonun agresif ortamlara karşı oldukça dayanıklı olduğu ve uygulanabileceği sonucuna ulaşmışlardır. (Thomas ve ark., 2015)

Sofi yaptığı çalışmasında atık lastik eklenmiş beton numunelerinin basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı, su emme ve su penetrasyonunu belirlemek için gerekli deneyleri gerçekleştirmiştir. Çalışmasında agrega ve çimento yerine %5, %7.5 ve %10 oranında numunelerinde atık lastik ikamesi gerçekleştirmiştir.

Sofi (2018) çalışmasında atık lastik eklediği betonun basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı ve su penetrasyon derinliğinin kontrol karışımına göre daha düşük olduğu, aşınma direnci ve su emiliminin (%10 ikameye kadar) kontrol karışımı betonuna göre daha

iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Betondaki atık lastik miktarı arttıkça basınç ve eğilme değerleri kademeli olarak azaldığını belirtmiştir. Atık lastik eklenmiş beton, kontrol karışımına kıyasla aşınmaya karşı daha iyi direnç gösterdiğini böylelikle atık lastik eklenmiş betonların kaldırımlarda, zeminlerde ve beton otoyollarda, tüneller ve baraj gibi hidrolik yapılarda veya hizmet sırasında hareketli nesnelere tarafından aşındırıcı kuvvetlerin uygulandığı diğer yüzeylerde kullanılabilceğini belirtmektedir. (Sofi, 2018)

Mhaya ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada çeşitli içeriklerde (hacmin %5, 10, 20 ve 30'u) atık lastik parçacıklarının ve ince ve kaba agrega ikamesi olarak tasarlanan betonların özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmektedirler. Atık lastik parçacıkları içeren endüstriyel atıkların sıradan Portland çimentosu ile karıştırılmasıyla numunelerini hazırlanmışlardır. Bu hazırlanan betonların mekanik ve dayanıklılık performansı çökme, basınç, çekme, eğilme dayanımı ve asit saldırısına karşı direnç testleri kullanılarak analiz etmişlerdir.

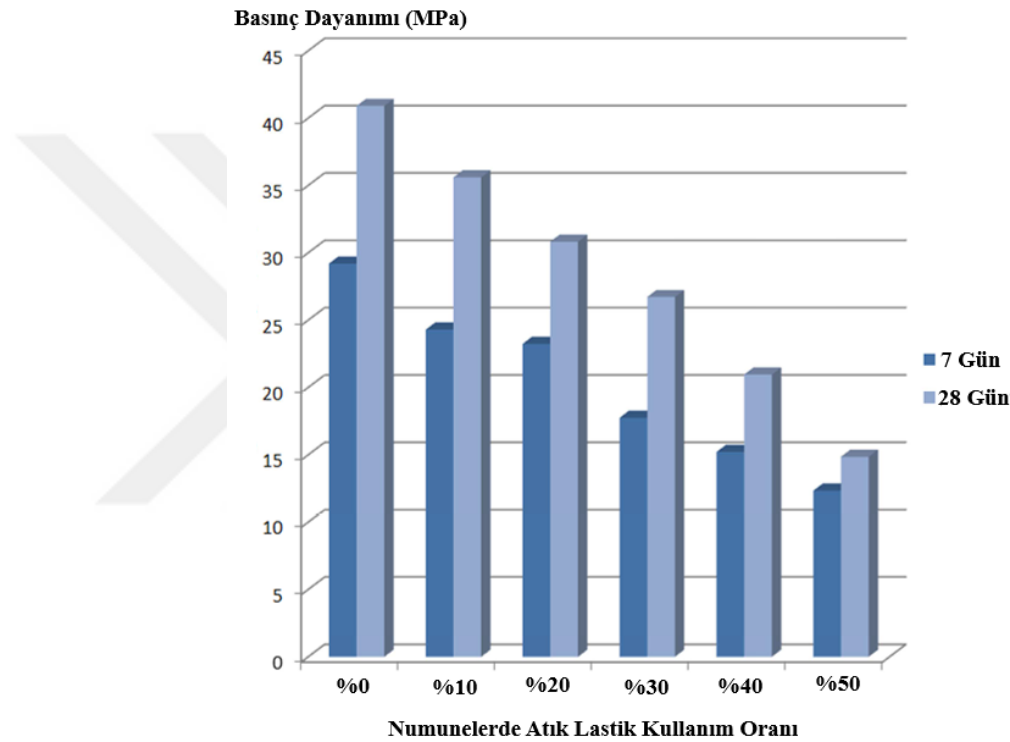


Şekil 2.37. Agrega yerine atık lastik eklenmiş numunelerin basınç dayanım sonuçları (Mhaya ve ark., 2020)

Mhaya ve arkadaşlarının çalışmasında ince ve/veya iri agrega ikamesi olarak atık lastik parçacıklarının %5'i ile tasarlanan karışımın, katkısız olarak hazırlanan numunelere kıyasla yaklaşık %14,8 daha yüksek dayanım sonuçları elde etmişlerdir. Sonuçlar, atık lastik parçacıklarının nehir kumu ve çakılının %10'una kadar betona ikame edilmesinin herhangi bir dayanım kaybı olmaksızın etkili olabileceğini belirtmektedirler. Doğal agrega ikamesi olarak atık lastik parçacık içeriğinin artmasıyla elde edilen betonların basınç, çekme ve esneklik dayanımı azaldığını belirtmektedirler. Atık lastik kullanılarak elde edilen betonda görülen yüksek gözeneklilik ile geniş ve zayıf bağlanma, esas olarak kauçuk ile çimento

macunlarının düşük yapışma özelliğinden kaynaklandığını vurgulamaktadırlar. (Mhaya ve ark., 2020)

Etefa ve Mosisa (2020) yaptıkları çalışmada yerel olarak temin ettikleri atık lastikler kullanılarak beton karo üretiminde iri agregaların kısmi ikamesi olarak kullanılmış atık lastiklerin kullanımını incelemişlerdir. Numunelerini, iri agreganın yüzde 10, 20, 30, 40 ve 50 oranında kauçuk agrega ile değiştirilmesiyle ve süper akışkanlaştırıcı (katkı) olmadan üretmişlerdir. Yaptıkları testlerde malzeme özelliği, çökme, birim ağırlık, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve eğilme dayanımını incelemişlerdir.

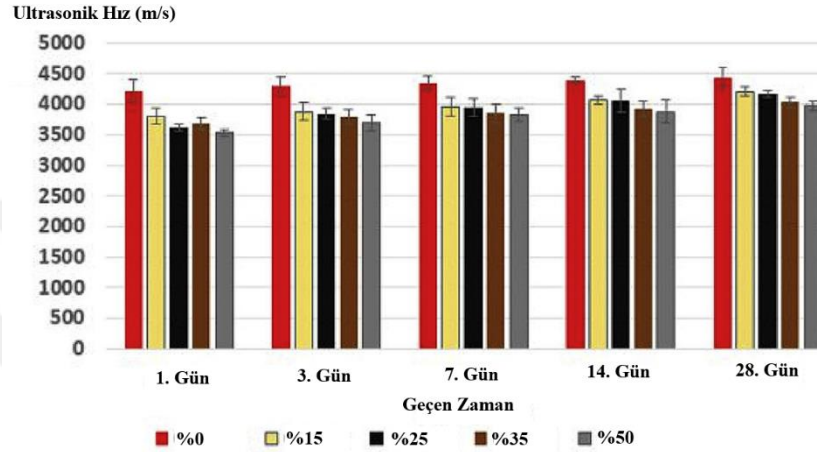


Şekil 2.38. Atık lastik kullanım oranlarına göre basınç dayanım sonuçları (Etefa ve Moissa, 2020)

Etefa ve Moissa çalışmalarının sonucu olarak atık lastik agregaların dahil edilmesi nedeniyle betonun basınç dayanımında bir azalma olduğunu, bu durumun katkı kullanılarak bir dereceye kadar iyileştirilebileceğini ancak daha düşük yoğunluk ve gelişmiş süneklik özelliklerinin aynı olduğunu ve katkı olmadan eğilme dayanımında hafif bir artış olduğunu belirtmektedirler. Geri dönüştürülmüş kauçuk lastiklerin beton karo üretiminde kaba agregalar için kısmi ikame olarak kullanılmasının mümkün olduğunu ve ikame yüzdesi %10 ile sınırlandırılması gerektiğini vurgulamaktadırlar. (Etefa ve Mosisa, 2020)

Guo ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada atık lastik parçacıklarının düşük sertlikleri ve çimento ile yüzey bağları nedeniyle beton dayanımını azalttığı için atık lastik parçacıkları eklenen betonun özelliklerini iyileştirmeyi amaçlamışlardır. Bu doğrultuda yüzey işleme

(NaOH çözeltisi ekleme) ve çimento kaplama (harmanlanmış çimento ile kaplama) yöntemini kullanmışlardır. Numunelerinde ince agrega hacmine bağlı olarak %15 veya daha yüksek ikame oranına sahip bu işlem görmüş atık lastik parçacıkları kullanılarak hazırlamışlardır. Daha sonra kauçuk betonun özellik performansını incelemek ve bu yüzey modifikasyon yöntemlerinin etkisini değerlendirmek için basınç dayanımı, taşıma özellikleri, ultrasonik geçiş hızı, akustik zayıflama, dinamik modül ve termal iletkenlik test etmişlerdir.



Şekil 2.39. Ultrasonik iletim hızı günlere bağlı sonuçlarının (Guo ve ark., 2017)

Guo ve arkadaşları yaptıkları çalışma sonucunda NaOH çözeltisi işleminin atık lastik parçacıkları ve çimento hamuru arasındaki bağlanma bağlantısını geliştirebileceğini belirtmişlerdir. NaOH çözeltisi ile muamele edilmiş atık lastik parçacıkları eklenmiş beton numunelerin basınç dayanımı, normal atık lastik parçacıklı beton numunelerine sonuçlarına kıyasla %23,4 oranında arttığını belirtmektedirler. Ayrıca yaptıkları deneylerde atık lastik eklenmiş numunelerin elektrik direncinde atık lastik parçacık oranı ile birlikte artış meydana geldiğini belirtmektedirler. Atık lastik eklenmesi ile ultrasonik ses ilerleme hızı da numunelerde azalış göstermekte olduğu vurgulamaktadırlar. Ekstra olarak atık lastikle birlikte numunelerin termal iletkenliğinde azalmaların meydana geldiğini ve böylece atık lastik kullanılarak oluşturulmuş yapılarda ısıtma maliyetlerinde azalmaların olacağına vurgu yapmaktadırlar. (Guo ve ark., 2017)

### 3.MATERYAL ve METOT

#### 3.1 Materyal

##### 3.1.1 Beton

Beton; çimento, su, agrega ve gerekli görülürse de katkı maddelerinin belirlenen oranlarda birlikte homojen bir şekilde karıştırılmasından oluşan, ilk evrelerinde plastik ya da akıcı kıvamda olup, şekil verilmeye müsait ve zaman geçtikçe katılaşp sertleşerek mukavemet kazanan bir yapı malzemesidir.

Betonun hacmine baktığımız zaman %75 oranında agregadan (çakıl, mıcır, kum), %10 oranında çimentodan, %15 oranında sudan oluşmaktadır. Gereken şartlarda, çimentonun ağırlığının %3 oranında katkı maddesi ilavesi de yapılabilir.

Betonu, günümüzde en yaygın olarak kullanılan yapı malzemesi olmasında etken olan sebepleri sıralanırsa:

- Yüksek basınç dayanım değerlerine erişebilme,
- Kolay şekil verebilme özelliği,
- Çelik donatı kullanılarak (betonarme) çekme mukavemetinin olumsuz özelliğinin giderilebilmesi,
- Ucuz olarak temin edebilme,
- Hafif agrega kullanılarak ağırlığını azaltabilme,
- Dış etkilere (fiziksel ve kimyasal olarak) karşı dayanıklılığı,
- Uzun ömre sahip olması,
- Bakımının kolay olması,
- Kolay renklendirebilme,
- Gelişen teknolojiler ile (bilgisayar kontrollü santraller, transmikserler pompalar vb.) üretim, taşıma ve yerleştirme aşamalarında kolaylıkların meydana gelmesi.

### 3.1.1.1 Türkiye’de beton

Yüzölçümümüzün çoğunluğu deprem bölgelerinde bulunması nedeniyle sık sık karşılaştığımız doğal afetlerde büyük can ve mal kayıpları olabilmektedir. Bu nedenle inşa ettiğimiz yapıların güvenliği açısından beton kalitesinin önemi çok büyüktür.

Ülkemizde kullanılan beton kalitesinin durumu, hazır beton teknolojisinin gelişmesi ve kullanımının artmasıyla beraber önemli derecede gelişmeler göstermeye başlamıştır.

Günümüzde inşa edilen yüksek katlı binaların yapımından barajlara, prefabrikasyon yapılarından metro inşaatlarına kadar geniş bir alan yelpazesinde kullanılan hazır beton, inşaat sektöründe karşımıza vazgeçilmez bir unsur olarak çıkmaktadır. Bilinen bir gerçek ki elle dökülen betonun ekonomik olmadığı ve yeterli mukavemeti elde etmek için zor koşullarla birlikte büyük riskler barındırdığı da bilinmektedir.

1999 Marmara Depreminden sonra revize edilen, günümüzde gerekli düzenlemeler yapılarak oluşturulmuş yeni deprem yönetmeliğinde, yapı kalitesinin yükseltilmesi ve depreme dayanıklı binalar üretilmesi için deprem bölgelerinde kullanılacak en düşük beton dayanım sınıfının C25/30 (2018 Deprem Yönetmeliği) olması gerektiği belirtilmiş ve deprem sırasında meydana gelebilecek can ve mal kayıplarının minimum düzeye indirilmesi amaçlanmaktadır.

### 3.1.1.2 Betonun bileşenleri

Betonu meydana getiren hammaddeler; çimento, su, agrega (kum, çakıl, kırma taş), kimyasal katkı maddeleri (priz geciktirici, akışkanlaştırıcı, geçirimsizlik sağlayıcı, antifriz vb.) mineral katkıları (uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu, taş unu, tras vb.) betonun performansının dilediğimiz ölçüde ve yönde iyileştiren günümüz teknoloji unsurlarıdır. (Dedeoğlu, 2010)

Çimento ve suyun birlikte karıştırılmasıyla oluşturulan çimento hamuru zamanla katılaşarak sertleşerek agrega tanelerini (kum, çakıl, kırmataş) bağlar, böylece betonun dayanım kazanmasına imkân verir. Dolayısıyla betonun mukavemeti;

- Çimento hamurunun mukavemetine,
- Agregatanelerinin mukavemetine,
- Agregataneleri ile çimento hamuru arasındaki yapışmanın gücüne (aderansına) bağlıdır.

### 3.1.1.2.1. Çimento

Ana maddesi kalker ile kil olan ve mineral parçalarını (kum, çakıl, tuğla, briket vs.) birbirine yapıştırmada kullanılan bir malzemedir. Çimento, bu yapışkan olma özelliğini suyla reaksiyona girerek kazanır ve sertleşip bağlayıcı görevini oluşturur. Kırılmış kalker, kil ve gerekiyorsa demir cevheri ve/veya kum katılarak öğütülüp toz haline getirilir. Bu malzeme 1400- 1500 °C de döner fırınlarda pişirilir. Meydana gelen ürüne “klinker” denir. Daha sonra klinkere bir miktar alçı taşı eklenip (%4-5 oranında), çok ince toz halinde öğütülerek portland çimentosu elde edilir. Katkılı çimento üretiminde de; klinker ve alçı taşı dışında, çimento tipine göre tek veya bir kaç bir arada olmak üzere tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı vb. katılır. (Dedeoğlu, 2010)

Çimento çoğu beton karışımında kullanılan hacimce en az alanı kaplayan bileşendir, ancak beton bileşenleri içinde en önemli görevi üstlenmiştir.

En yaygın olarak kullanılan çimento türleri olarak Portland, kompoze çimento ve sulfata dayanıklı çimentoyu sayabiliriz. Bunların haricinde özel amaçlar için kullanılan beyaz portland çimentosu ve diğer bazı tip çimentolar da bulunmaktadır.

Normal beton bileşimi içerisinde agrega taneleri en sağlam unsuru oluşturduğu için diğer iki unsurun (çimento hamuru ve aderans) mukavemetini belirlemektedir. Çimento hamurunun mukavemeti önemli ölçüde su/çimento oranına bağlıdır.

### 3.1.1.2.2. Agregat

Beton üretiminde kullanılan agrega, kum, çakıl, kırmataş gibi mineral kökenli taneli malzemelerin genel adı agregadır. Beton içerisinde bulunan diğer numuneler içerisinde hacimsel olarak %60-75 oranında bulunan agrega tane boyutlarına göre ince (kum, kırma kum gibi) ve iri (çakıl, kırmataş gibi) agregalar olmak üzere ikiye ayrılır.

Agregalarda aradığımız en önemli özellikler;

- Dayanıklı, sert ve boşluksuz yapıda olmaları,
- Zayıf yapılu maddeler içermemeleri (kömür, odun, deniz kabuğu gibi),
- Basınca ve aşınmaya karşı dayanıklı olmaları,
- Betona zararı olabilecek malzemeler içermemeleri,
- Aderans için şekillerinin uygun olması (yassı, uzun olmamaları),
- Çimentoyla zararlı reaksiyona girmemeleri olarak sıralanabilir. (Uyan, 1996)

Agreganın yabancı maddeler (silt, kil, mil, toz vs.) içermesi çimento ile yapacağı aderansı olumsuz etkilemekte ve bu yabancı malzemeler gereken su ihtiyacını da arttırmaktadır.

Agregalar doğadan birçok şekilde elde edilebilir. (Uyan, 1996)

a) Doğal kum (çakıl ocaklarından elde edilen agregalardır). Akarsu yataklarında alüvyon deltalarının birikinti konilerinde rüzgâr birikintisi ile vadi malzemelerinden elde edilirler.

b) Taş ocaklarından elde edilen agregalardır. Doğal ocaklardan agrega elde etme imkânı olmadığı durumlarda taş ocakları işlenerek çıkan kayanın kırılması, elenmesi gibi bir işlemler sonucu elde edilen agregalardır.

c) Yapma veya özel agrega. Bunlar yüksek fırın cürufu, hafif beton yapımı için kullanılan agregalar ve ağır beton yapımında kullanılan agregalardır. Kullanım yerleri sınırlıdır.

### **3.1.1.2.3 Su**

Betonun bir diğer elemanı da sudur. Su betonda üç değişik amaca hizmet etmek için bulunmaktadır:

1) Çimento ve agregayla birlikte beton karılmasında karışım suyu olarak yardımcı olmak,

2) Yerine yerleştirilen taze betonun yüzeyine uygulanan “bakım ya da kür suyu” olarak bulunmak,

3) Betonda kullanılacak agregaların yabancı maddelerden arınmış bir şekilde temiz olmalarını sağlamak veya betona karma, üretim işlemi bittikten sonra üretim araçları üzerine bulunan maddeleri giderip temizlemek için yıkama suyu olarak bulunmak.

Bunlardan en önemlisi ilki olup, karışım suyunun iki çok önemli görevi yerine getirmesi gerekmektedir. Birincisi çimento ve agrega tanelerinin yüzeyini ıslatarak yani yağlayıcı etki oluşturarak, beton malzemelerinin kolayca karıştırılabilmesini ve yerleştirilebilmesini kısaca işlenebilmeyi sağlamaktır. İkincisi ise çimento taneleriyle birleşerek oluşan çimento hamurunda hidrasyon denilen kimyasal reaksiyonu sağlamaktır. (Uyan, 1996)

Beton üretiminde kullanılacak suyun TS 3440 (2014)'a uygun olması gerekmektedir.

### 3.1.2. Atık lastik agregası

Gelişmiş teknolojiler ile günümüzde betonun bazı spesifik alanlarda kullanılması gerekliliği kaçınılmaz duruma gelmiştir. Bu sebeple beton teknolojilerinde önemli gelişmeler gerçekleşmiştir. Betonun basınç dayanımının yanı sıra çekme ve eğilme dayanımlarının da yüksek değerler sergilemesi ve aynı zamanda ekonomik olarak gerekli seviyelere indirgenmesi günümüz teknolojisinde önem kazanmaktadır. Bu durumu gerçekleştirmek amacıyla araştırmacılar yoğun bir şekilde çalışmalarını sürdürmektedir.

Geleneksel olarak üretilen beton, yorulma, aşınma, çatlama sonrası yük taşıma, tokluk, çarpma ve kaviteasyon yönünden zayıf performans sergilemektedir. Betonun bu negatif yönde gerçekleşen özelliklerini önlemek ve olumsuz etkileri ortadan kaldırmak amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar arasında lifli beton, ferro beton, vakumlu beton örneklerini verebiliriz. Bu örneklerin dışında atık lastik katkıli beton, yaklaşık olarak 1990 yıllarından beri araştırılmaktadır.

Atık olarak elde edilen araç lastiklerinin betonunun içerisinde agrega olarak katkı sağlaması için kullanımı henüz asfalt kaplamasındaki kullanımı kadar irdelenmemiştir. Literatürde atık lastiklerin beton içerisinde agrega niyetiyle kullanımı açısından çeşitli çalışmalar yapılmış, fakat yapı uygulamalarında önerilmeden önce daha fazla araştırma yapılması gerektiği görülmüştür. Daha önceki araştırmalarda, genellikle atık lastik kullanımının betonun mukavemetini olumsuz yönde etkilediğine dikkat çekmiş ama diğer taraftan betona esneklik ve tokluk kazandırdığı gözlemlenmiştir.

Lastik, ham şekilde bulunan kauçuğun işlenmesiyle elde edilen esnek bir maddedir. Tabii veya suni kauçuk, kükürtle vulkanize edilme yöntemiyle lastiğe dönüştürülür. Lastiğin elde edilmesi sadece vulkanizasyon yöntemiyle gerçekleşmez. Bu ana yöntemle beraber kauçuğa katılan katkı maddeleri de büyük önem taşımaktadır. Çünkü lastik geniş kullanım alanına sahip olup, bu kullanım alanlarının istediği özellikler de çeşitlidir. Örnek vermek gerekirse bir araba lastiği ile su hortumu farklı özelliklere sahiptir. (Dedeoğlu, 2010)

Lastiğin, ayakkabıcılık ve konfeksiyon alanında ürünler üretilmesiyle başlayan lastik sanayii, motorlu taşıtların her alanda yaşama katkı sağlamasından sonra büyük önem kazanmıştır. Birçok alanda kullanılan lastiğin özelliklerini geliştirmek ve iyileştirmek için, içine başka maddeler konmaya başlanmıştır. Örnek olarak çinko oksit ve kurşun oksit eklenmesiyle vulkanizasyon yönteminin hız kazandığı görülmüştür. Çeşitli boyar maddeler eklenmesiyle renkli lastikler üretilmiştir. Hava şartlarının olumsuz etkisine karşı uzun ömür sağlamak amacıyla, antioksidan adı verilen fenoller, aminler ve bazı tuzlar lastik içerisine katılabilirliği farkedilmiştir. Özellikle araba lastikleri için sağlamlığı arttırmak amacıyla amorf karbon kullanılmaya başlanmıştır. Yumuşaklık vermek için stearik asit gibi maddeler ilave edilmiştir. (Dedeoğlu, 2010)

Makina kayışları ve basınca dayanıklı hortumlar yapmak için, sağlam kumaşlara lastik maddesi emdirilmiştir. Yanmayı önlemek amacıyla lastiğe amyant katılmaktadır. Otomobiller için üretilen lastiklere, yine sağlamlığı arttırmak amacıyla naylon iplikleri de katılmaktadır.

Lastiklerin özellikleri, kükürt oranı ve diğer katkı maddeleri çeşitlerine göre farklıdır. Örnek olarak %3-5 oranında kükürt içeren lastikler çok esnek ve yumuşak olup, kükürt oranı arttıkça sertlik miktarında artış gözlemlenmektedir. Eğer % 30-50 oranında kükürt eklenirse

sert lastik elde edilir. Buna ebonit adı verilir ve akümülatör kutuları, tarak, düğme vs. eşya yapımında kullanılmaktadır. (Dedeoğlu, 2010)

Doğal lastik, sıcak ortamda kalıplanabilme özeliğine sahiptir. Pişirilme işlemine uğramış yumuşak lastikte ise kalıplanabilme özeliği azalmakta olup, buna karşılık daha fazla sünek malzeme elde edilmektedir. Mühendislik alanındaki önemiyle birlikte lastiğin davranış özellikleri, lastiğin diğer malzemelerden ayrı şekilde incelenmesini gerektirmektedir. Lastiğin karakteristik özellikleri olarak dayanımı, aşınmaya karşı direnci ve elastikiyeti olarak sıralayabiliriz. Bu özelliklerinden dolayı lastik, araba ve aksesuarlarında kullanılmaktadır.

Yumuşak lastiğin elastisite modüllü 1–10 MPa (N/mm<sup>2</sup>) değerleri arasında bulunmaktadır. Sert lastiğin elastisite modülünü ise 1000 MPa olarak söyleyebiliriz. Lastik, sıkıştırma yayı gibi benzer özellik gösterecek yeterli hacimsel sıkışmaya sahip değildir. Yay olarak sadece yanıl genişlemelerin olduğu elemanlarda kullanılabilir. Lastiğin enerji yutma özeliği elastik bir malzeme olması sayesinde. Diğer yapı malzemeleri ile kullanıldığında, lastik en yüksek enerji yutma kapasitesine sahip bir malzeme olabilmektedir. Lastik düşük geçirgenlik özeliğinden dolayı düşük su geçirgenliği istenen ve su yalıtımı yapılan alanlarda kendine kullanım alanı bulacaktır. Ek olarak elektrik yalıtımı içinde kullanılabilen lastik, bu özeliği sebebiyle iyi bir izolasyon malzemesi de olmaktadır. Lastiğin paslanmaya, güneş ısınına, petrol ürünlerine, organik kimyasal maddelere, asit ve alkalilere dayanımı da yüksektir. (Dedeoğlu, 2010)

<b>Lastik özellikleri</b>	
Yoğunluk	0,64 -0,83
Boyut	80 $\mu$ m – 4 mm
Uzama (%)	420
Çelik lif oranı	0%
Lastik	54%
Karbon siyahı	29%
Tekstil	2%

**Çizelge 3.1** Atık Lastik Özellikleri

### 3.1.2.1 Beton için lastik agregası

Üretim amacını tamamlamış, kullanılamayacak durumda olan lastikler, çeşitli kesme inceltme işlemleri uygulanarak betonda bulunan ince veya iri agrega yerine katılmak için boyut olarak yeterli düzeye getirilmelidir. Farklı sebepler nedeniyle kullanılamayacak durumda olan lastikler, hurda lastik olarak adlandırılırken bu lastikler kesme işlemine tabi tutulduğunda yırtık lastik olarak isimlendirilir. Lastiklerin öğütülme işleminden sonra elde edilen lastik parçaları ise boyut olarak kırıntı lastik veya lastik yongası olarak isimlendirilerek ayrıştırılır. Lastik yongalarının genel olarak uzunluğu dört milimetreden büyük olurken, kırıntı lastiği ise dört milimetreden küçük parçalardan oluşmaktadır. Bu sebeple, genellikle beton üretimi sırasında kırıntı lastik ince agrega yerine kullanılırken lastik yongası ise iri agrega yerine kullanılmaktadır.

Uygulama alanı	Ayrıntılar
Beton teknolojisi	Özel beton üretiminde Kendiliğinden yerleşen beton Geçirimli beton Hafif beton beton Geri dönüşümlü agrega betonu üretiminde Hafif beton Harç üretiminde Yapısal olmayan (bölücü) blokların üretiminde
Geoteknik uygulamaları	Zemin özelliklerinin iyileştirilmesinde Zemin dolgu malzemesi olarak
Ulaştırma teknolojisi	Asfalt yolların kaplama performansının iyileştirilmesinde

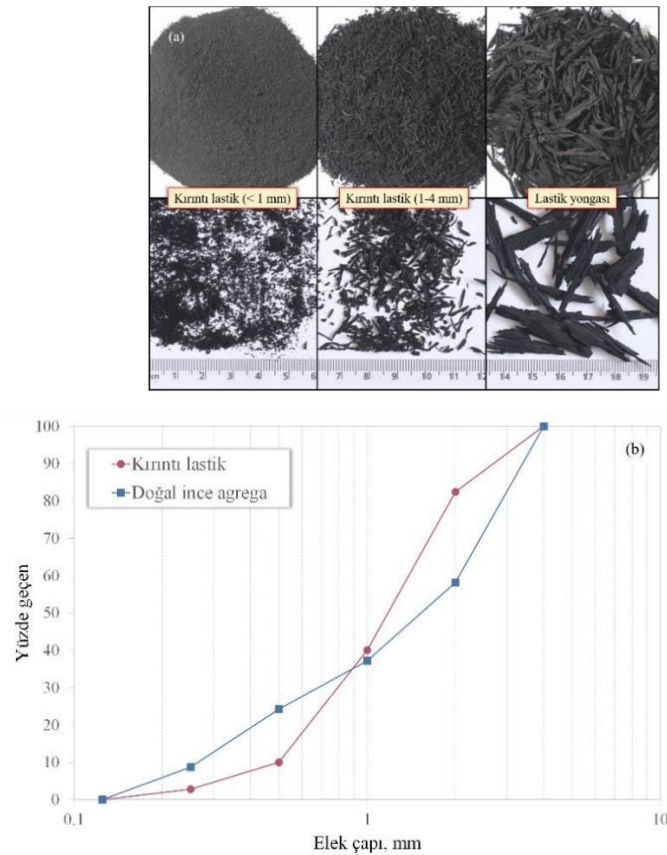
**Çizelge 3.2.** Elde edilen atık lastiklerin geri dönüşüm malzemesi olarak kullanımı

Şekil 3.1 a'da araştırmalarda kullanımı gerçekleştirilen lastik yongası ve çeşitli ebatlarda kırıntı lastiğine ait görseller mevcuttur. Araştırmalarda kullanımı gerçekleştirilen atık lastiğin, betonda bulunan agreganın uygulandığı elek analizi yöntemine sokmak agrega gradasyonunda kararlılığı sağlamak yönünden önemlidir. Fakat Şekil 3.1 a'da sunulduğu üzere lastik yongasının tanecikli yapısı yatay şekilde olmasından ötürü bu şekil lastik agrega çeşidinde, iri agreganın yapı boyutuna benzer şekilde boyut elde edilememektedir. Diğer taraftan oval boyutlardan meydana gelen kırıntı lastikte ise ince agreganın boyutlarına yakın değerler elde etmek daha mümkün olmaktadır.

Yapılan araştırmalarda, genel olarak özgül ağırlığı 0.5 ile 1.4 değerlerine sahip atık lastik agregaları çalışmalarda kullanılmaktadır. Araştırmalarda değerlendirilen bu lastik agregalarının su emme kapasite değerleri ise sıfır değerine çok yakın sonuçlar verdiği için

sıfır olarak değerlendirilmektedir. Atık lastikler, hacim olarak stabiliteyi koruyabilmek adına agrega ile hacimce ikamesi gerçekleştirilerek kullanılmaktadır.

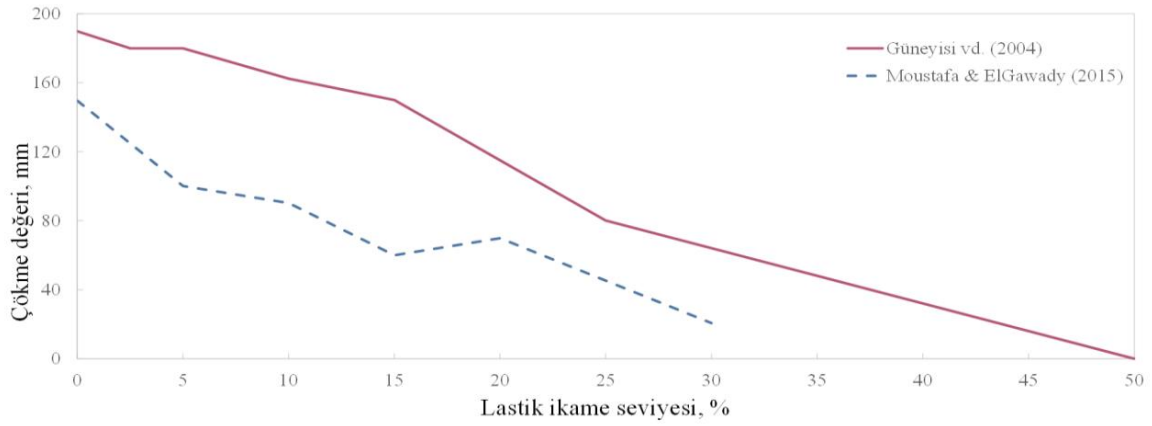
Beton üretimi için lastik agregası kullanıldığı zaman betonun hem mekanik hem de fiziksel özelliklerine lastik agregası etki etmektedir. Atık lastik agregasının hem yüzey özelliklerinin, şeklinin ve boyutunun hem de değişim oranının sıvı ve katı halde bulunan betonun özelliklerini etkilemektedir. Atık lastik agregası kullanıldığı zaman betonun işlenebilirliğinin olumsuz etkilendiği görülmektedir. Ayrıca lastik agregası üzerine yapılan çalışmalarda genel olarak yarmada çekme dayanımı ve basınç dayanımı ile ilgili azalma meydana geldiği belirtilirken, eğilmeye meydana gelen çekme dayanımıyla ilgili kesin bir sonuçtan söz edilememektedir. Ayrıca betonun birim ağırlığının ve elastisite modülünün lastik agregası eklenmesiyle azaldığı gözlemlenmektedir.



**Şekil 3.1.** (a) farklı boyutlardaki kırıntı lastik ve lastik yongasına ait fotoğraf görüntüleri ve (b) kırıntı lastik ve doğal ince agregaya ait gradasyon eğrileri (Güneyisi ve ark., 2016)

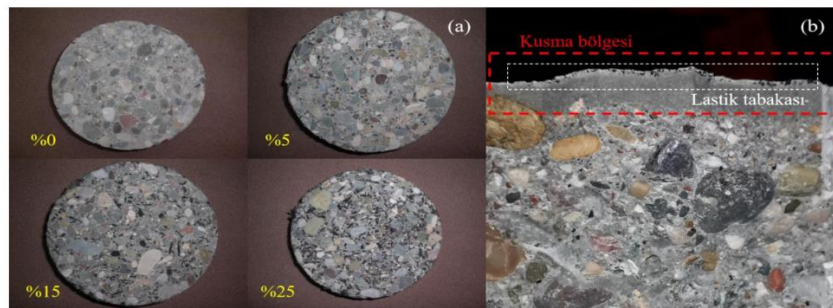
### 3.1.2.1.1 Betonun işlenebilirliğine etkisi

Betonu oluşturan maddelerin karışımının sağladığı ıslaklıktan betonun yerleştirilebilirliği, taşınabilirliği, ayrışabilirliği, pompalanabilirliği, sıkıştırılabilirliği gibi tüm özellikler betonun işlenebilme yeteneği olarak tanımlamakta kullanılmaktadır. Bu sebeple ki işlenebilirliği belirlemek için sadece bir yöntem mümkün değildir. Ancak literatürde yapılan araştırmalar, belirtilen bu özelliklerin birbirleriyle ilişkili olduğunu işaret etmektedir. Bu sebeple, betonun işlenebilme özelliklerini belirlemede uygulanan bazı yöntemlerle başkaca işlenebilme özellikleri ile alakalı bilgi edinilebilmektedir. Çökme (slump) deneyi, bu metotlar arasında pratik, kolay ve sık uygulanan metottur. Ek olarak aynı çökme sonuçlarını sunan betonların benzer şekilde işlenebilirlik sergilediği ve aynı amaç doğrultusunda kullanılabilecekleri varsayıldığı için bu deney çeşidi literatürde de elde edilen yeni tür betonların işlenebilirliği yönünden bilgi edinmek için çok uygun bir yöntemdir. Bu doğrultuda, atık lastik agregası katılarak elde edilmiş betonların işlenebilirliği hakkında bilgi edinmek doğrultusunda yapılan çökme deneyinde, lastik agregası kullanılmasıyla betonun kıvamında olumsuz durumlar meydana gelmektedir. Şekil 3.2’de lastik agregası eklenme oranına karşılık çökme değerlerindeki değişim belirtilmektedir. Şekildeki veriler değerlendirildiğinde lastik agregası kullanım oranındaki artışın çökme değerinde dolaylı olarak betonun işlenebilirliğinde doğrusal azalmalara sebep olduğu görülebilir. Jekar vd. (2019), beton üretiminde %5, %10 ve %15 oranlarında kırıntı lastiği eklemişler ve bu oranlarda bile çökme değerinde azalmaların meydana geldiğini belirtmişlerdir. Alwesabi vd. (2020) ise %20 oranında atık lastik agregası eklenmesiyle çökme değerlerinde %25 oranında azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir. Bu sonucun ana nedeni olarak lastik agregası numunelerinin beton akışına engel teşkil edecek bir yapıya sahip olabileceğini vurgulamışlardır.



**Şekil 3.2.** Lastik agregası oranına karşılık çökme değerinde gerçekleşen değişim

Üstelik betonda gerçekleşen akma durumu kohezyon ve homojenlik ile bağlantılı olup, atık lastik agregasındaki taneciklerin yüzey özellik değerleri çimento hamuruyla arasında kohesif bir yapının oluşumuna mâni olduğu için betonun kıvamında azalma meydana gelmektedir. Ulaşılan veriler sonucunda kritik lastik agregası seviyesinden sonra meydana gelen kıvamdaki ciddi derecedeki azalma ve buna bağlı olarak yüksek vibrasyon süresi gerekliliği söylenebilmektedir. Barındırdığı düşük özgül ağırlık değerleri nedeniyle de uzun süreler boyunca vibrasyon uygulaması atık lastik agregası taneciklerinin yüzey yönünde hareket etmesine neden olarak betonun homojen yapısına zarar vermektedir. Bu soruna çözüm bulmak için bazı araştırmacılar bir çökme değeri belirleyerek, o değere ulaşmak için akışkanlaştırıcı miktarını güncellemişlerdir. İpek ve ark. (2022) Şekil 3.3’de %5, %15 ve %25 agregası oranında bulunan beton numuneye ait kesit görüntüleri verilmiştir. Şekil 3.3’ün ikinci kısmında ise tasarımı uygun oluşturulmamış ve bu sebeple uzun süre vibrasyon sürelerine maruz kalan bir betonun üst bölgesinde meydana gelen atık lastik agregası birikmesi ve kusmaya ait görsel bulunmaktadır.



**Şekil 3.3.** (a) %0, %5, %15 ve %25 agregası oranına sahip numuneye ait görüntüler ve (b) tasarımı iyi oluşturulmamış ve bu nedenle uzun süre vibrasyona maruz kalan bir betonun kesit görüntüsü (İpek ve ark.)

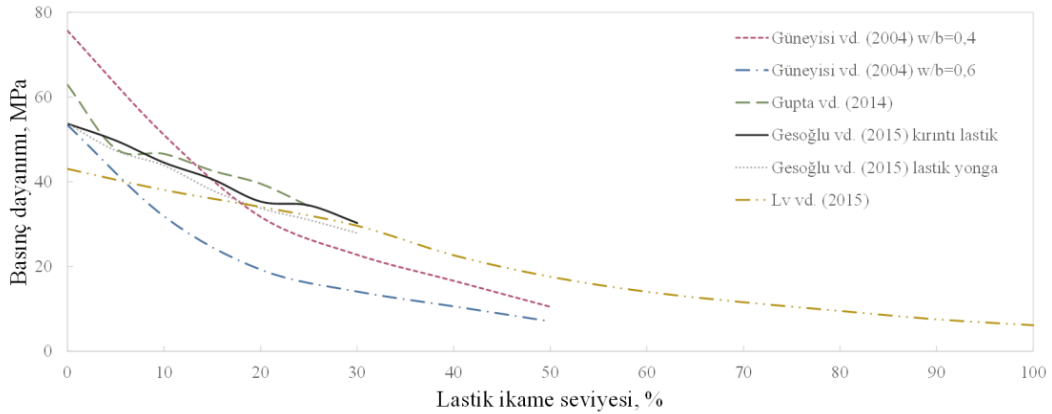
### 3.1.2.1.2 Betonun birim ağırlığına etkisi

Betonun üretilirken ikamesi doğal agrega yerine gerçekleştirilen atık lastik agregaları, beton üretiminde kullanılan kaynakların azalmasına engel olmaktadır üstelik içerdiği düşük özgül ağırlık nedeniyle de birim ağırlığını düşürmektedir. Thakur ve arkadaşları (2020) kırıntı atık lastiğini %5, %10, %15 ve %20 seviyesinde ince agrega yerine kullanımını gerçekleştirmiştir. Yapılan araştırmadan elde ettiği sonuçlarına göre kullanılan lastik agregası oranındaki artışla beraber beton numunelerinin birim ağırlığında doğrusal bir azalış meydana gelmiş ve %20 oranında atık lastik agregası kullandığı çalışmalarında birim ağırlıkta takriben %12 oranında azalma meydana geldiğini belirtmiştir. Alwesabi vd. (2020) çalışmalarında lastik agregası kullanımının numunelerin birim ağırlığında azalmalara yol açtığı sonucunu gözlemlemiş, araştırmalarında %20 lastik agrega oranının yaklaşık olarak %5'lik bir birim ağırlık azalmasına neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Thomas ve Gupta (2015) çalışmalarında yaklaşık aynı oranda lastik kullanımının, azalmanın %10 derecelerde gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Mustafa ve ElGawady (2015) ise %30 atık lastik agregası kullanımının %30 oranında birim ağırlık düşüşüne neden olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca, Uygunoğlu ve Topçu (2010) geri dönüşümden atık olarak elde edilen lastik agregalarının, çeşitli su/çimento oranlarında üretilen kendiliğinden yerleşen harçların birim ağırlık özelliği üzerine olan etkisini irdelemiş, %50 oranında kırıntı atık kauçuk eklenmesi ile 1800-1900 kg/m<sup>3</sup> seviyelerinde olan kendiliğinden yerleşen harçların birim ağırlığının, 1300-1600 kg/m<sup>3</sup> seviyelerine kadar azaldığını belirtmişlerdir. (İpek ve ark., 2022)

### 3.1.2.1.3 Betonun dayanım ve elastisite modülüne etkisi

Üretimi gerçekleştirilecek atık lastik eklenmiş betonların, kolon, kiriş gibi önemli taşıyıcı özellik gösteren birimlerin imal edilmesinde kullanımının gerçekleştirilebilmesi için dayanımı, elastisite modülü gibi mekanik özelliklerinin uygun olarak tespitinin yapılması gerekmektedir. Geleneksel metotlarla üretilmiş beton numunelerinde gördüğümüz gibi basınç dayanımı, betonda görülen birçok mekanik ve dayanıklılık özelliğiyle alakalı bilgilendirme sağlayacağı için basınç dayanımının uygun olarak tespitinin yapılıp değerlendirilmiş olması gerekmektedir. Bu amaçlara araştırmalarda, doğal agrega yerine atık lastik agregasının betonda kullanılmasının, betonun basınç dayanımına olumsuz etkilerinin olduğu genellikle vurgulanan bir sonuçtur. Elde edilen bu olumsuz durumun doğal agrega yerine atık lastik kullanım oranına göre basınç dayanımındaki değişim Şekil 3.4'te gösterilmektedir. Gesoğlu vd. (2015) yaptıkları araştırmada, ince ve iri lastik agrega

kullanımının basınç dayanımına ne gibi etkilerinin olduğunu irdelemiş olup %30 oranında değişim yapılan numuneleri değerlendirmişler ve iri lastik agregasının ince lastik agregasına göre basınç dayanımı üzerinde daha olumsuz sonuçlara neden olduğunu ve beraber kullanımının ise ayrı şekilde kullanıldığından daha fazla olumsuz etkilere neden olduğunu bildirmişlerdir.



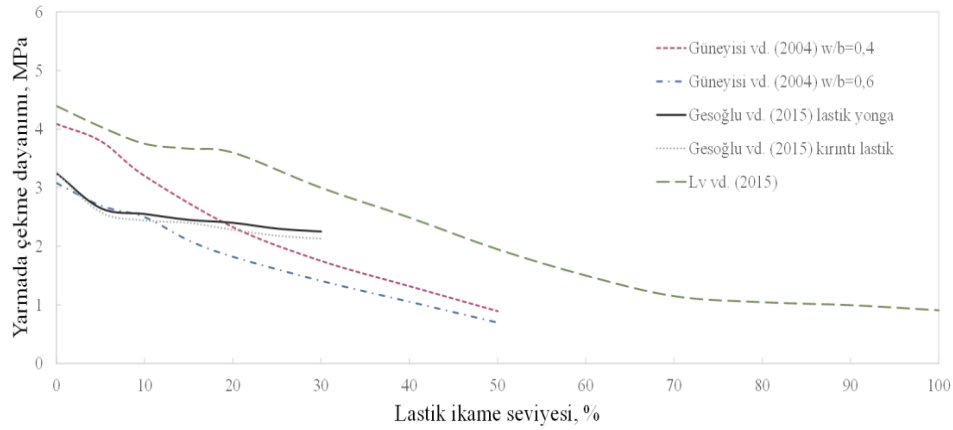
**Şekil 3.4.** Lastik agregası değişim oranına karşılık basınç dayanımındaki değişim (Güneyisi ve ark., 2004; Gupta ve ark., 2014; Gesoğlu ve ark., 2015; Lv ve ark., 2015)

Atık lastik agregası değişim oranının basınç dayanımına olan etkisini irdeleyen Güneyisi vd. (2004) ise atık lastik agregası kullanım oranının arttırmanın, basınç dayanımında doğrusal olarak azalmalara neden olduğu ve %50 oranında değişim gerçekleştirildiğinde basınç dayanımında %80 oranından azalma meydana geldiğini vurgulamışlardır. Gupta vd. (2014) ve Lv vd. (2015) çalışmalarında, atık lastik kullanım miktarının arttırılmasının basınç dayanımında sistematik azalmaya sebep olduğunu göstermişlerdir. Böyle bir durumun ortaya çıkmasının ana nedenlerinden biri olarak çimento ile lastik agregası arasındaki bölgenin yüzey alanının, doğal agregayla arasında oluşan yüzey alanından daha fazla olmasıdır. Atık lastik parçacıkları ile çimento arasında kurulan ilişki, kauçuklaştırılmış betonun mekanik özelliklerine etki eden en önemli etkidir (Karakurt, 2015). Üstelik atık lastik agregasının yumuşak yapısı yük etkisine maruz kaldığında doğal agrega ve betona kıyasla daha fazla gerinme performansı gösterecektir. Bu durum da atık lastik agregasının konumlandığı yerlerde üzerine gelen yükün etkisinin büyük bir bölümünün çimento veya doğal agregalar tarafından karşılanacağı, atık lastik agregasının yük taşıma performansına yüksek gerinme seviyelerinde katılacağı ancak bu gerinme düzeylerinde ise betonda çatlamlar gözlemleneceği ve betonun bütünlüğünü kaybettiği göstermektedir. Bu nedenle atık lastik agregasının kullanılması betonun basınç dayanımı üzerinde negatif özelliğe sahip olmaktadır. Bu sebeple belirli oranlardan sonra lastik

agregası yapısal amaçlı beton üretimine imkân sağlamamaktadır. Betonun basınç dayanımının, atık lastik agregası miktarı, boyutu ve şekli gibi birçok nedenden etkilendiği söyleyebiliriz.

Basınç dayanımında gözlemediğimiz şekilde genellikle betonun çekme dayanımında da atık lastik agregası eklenmesiyle azalmalar meydana gelmektedir. Şekil 3.5’de araştırmalardan edinilen atık lastik agregası eklenme oranlarına karşılık yarmada meydana gelen çekme dayanımındaki sonuç gösterilmektedir. Gesoğlu vd. (2015), küçük şekilde kullanılan atık lastiğinin yarmada meydana gelen çekme dayanımını atık lastik yongasına oranla daha fazla etkileyerek olumsuz duruma yol açtığı sonucuna ulaşmışlardır. Fakat ince ve iri atık lastik agregasında da değişim oranı yükseldikçe yarmada gerçekleşen çekme dayanımında düşüş meydana geldiği belirtilmiştir. Güneyisi vd. (2004) yaptığı araştırmada su-bağlayıcı oranı gözetilmeksizin atık lastik agregasının değişim seviyesinin artmasıyla yarmada meydana gelen çekme dayanımında düşüş görüldüğünü belirtmişlerdir. %50 oranında atık lastik agregası kullanılması, yarmada meydana gelen çekme dayanımında %75 seviyesinden daha fazla azalma meydana geldiğini vurgulamışlardır. Aynı durum için Lv vd. (2015) ise benzer bir azalmayı %100 oranındaki değişimde gözlemlemişler. Hesami vd. (2016) ise %5, %10 ve %15 atık lastik agregası kullanım oranlarında yarmada meydana gelen çekme dayanımında sırası ile %2, %6 ve %14 seviyelerinde azalma olduğunu belirtmişlerdir. Alwesabi vd. (2020) ise %20 oranında atık lastik agregası kullanılmasıyla yarmada meydana gelen çekme dayanımında aşağı yukarı %25 oranında bir düşüşü işaret etmektedirler. Betonun yarmada meydana gelen çekme dayanımındaki belirtilen bu azalmanın sebebi atık lastik agregasının basınç dayanımında meydana gelen olumsuz duruma neden olan sebepler ile aynıdır. Yükleme sırasında çimento hamuru ve lastik agregası arasındaki etkileşime geçen yüzey alanı yükün artmasıyla artar ve atık lastik agregası yumuşak yapı nedeniyle bir boşlukmuş gibi davranış gösterir. Bu sebeple o bölgede meydana gelen gerilme artışları meydana gelir ve kırılmalara sebebiyet vermektedir. Basınç ve yarmada meydana gelen çekme dayanımındaki düşüş durumu, eğilmede çekme dayanımında da benzer şekilde gözlemlenmiştir. Lakin atık lastik agregasının eğilmede meydana gelen çekme dayanımı üzerindeki etkisiyle alakalı edinilen sonuçlar, basınç ve yarmada meydana gelen çekme dayanımları gibi genelleştirilebilecek sonuçlar değildir. Örneğin, Zaleska vd. (2019), %10, %20 ve %30 oranlarında agregası yerine atık lastik agregasını kullandıklarında eğilmede meydana gelen çekme dayanımında doğrusal bir düşüş olduğunu, %30 oranında kullanılan lastik agregası numunesinde dayanımdaki düşüşün %75

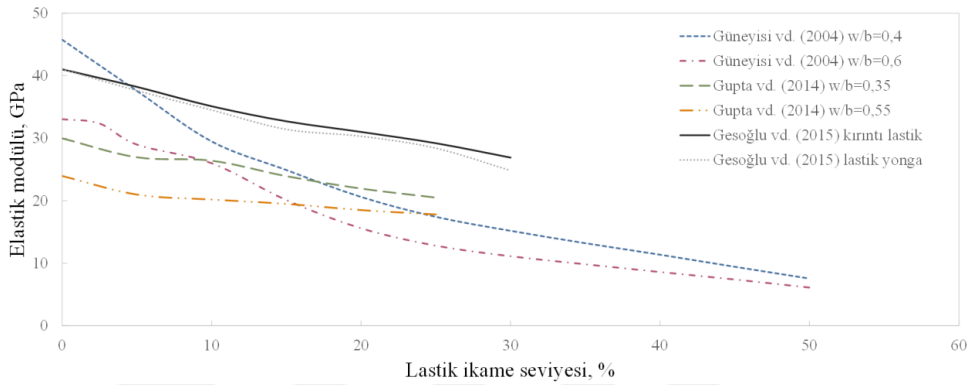
olduğunu belirtmişlerdir. Bu duruma benzer olarak, Su vd. (2015) yaptığı çalışmada eğilmede meydana gelen çekme dayanımında %12 oranında meydana gelen azalmayı %20 lastik agrega kullanım oranında belirtmişlerdir. Lakin, Jokar vd. (2019), %5 lastik agregasını normal agrega yerine kullandıklarında eğilmede çekme dayanımında %25 oranında artış olduğu belirtirken bu seviyeden sonra referans numunesine göre diğer numunelerde azalmaların olduğunu vurgulamaktadırlar. Bu duruma benzer bir sonucu Emiroğlu vd. (2011) de belirtmektedirler. Diğer taraftan, Mohamad ve Adamu (2018) çalışmalarında %10, %20 ve %30 seviyelerindeki değişim oranlarında atık lastik agregası kullanılmasıyla eğilmede meydana gelen çekme dayanımını %39, %9 ve %3 seviyelerinde arttırdığını vurgulamaktadırlar.



**Şekil 3.5.** Atık lastik agregası değişim oranlarına karşılık yarmada meydana gelen çekme dayanımındaki meydana gelen değişim (Güneyisi ve ark., 2004; Gesoğlu ve ark., 2015; Lv ve ark., 2015)

Literatürde yapılan araştırmalarda, beton üretiminde kullanılan lastik agregasının, betonun elastik modülünü olumsuz etkilediği belirtilmektedir. Bu sonucun ana nedenlerinden biri olarak lastik tanecik yapısının düşük elastik modülü ve sünek malzeme olması yüzünden fazla miktarlarda enerjiyi absorbelemesidir, üstelik atık lastik agregası kullanım oranının artmasıyla birlikte betonda bulunan hava oranının artması da gözlemlenen bu etkinin nedeni olabileceği düşünülmektedir (Assaggaf vd., 2021). Araştırmalarında elde edilen bilgiler doğrultusunda atık lastik agregası kullanım oranına bağlı elastik modüldeki değişim durumu Şekil 3.6'da gösterilmektedir. Sunulduğu gibi lastik kullanım oranındaki artış betonun elastik modülünde de doğrusal bir azalmaya neden olarak olumsuz bir durum yaratmaktadır. Fakat olumsuz bir durum gibi gözüküyorsa da makul seviyelerde olursa betona esneklik ve süneklik gibi özelliklerinde kazandırılabilceğini göstermektedir (Topçu & Avcular, 1997). Gesoğlu vd. (2015), araştırmalarında iri agrega yerine ikamesi gerçekleştirilen atık lastiğin ince agrega yerine kullanılan atık lastikten daha fazla elastik

modülü olumsuz olarak etki ettiğini belirtmişlerdir. Diğer taraftan, Güneyisi vd. (2004) ve Gupta vd. (2014) atık lastik agregası değişim oranının artırılmasının, betonun elastik modülünü etkileyerek düşürdüğü sonucuna ulaşmışlardır. Yang vd. (2019) yaptığı çalışmada kendiliğinden yerleşen betonun elastik modülünde meydana gelen, %10, %20 ve %30 oranlarında atık lastik agregası değişim seviyelerinde, %14, %26 ve %40 oranında azalmaların meydana geldiğini belirtmişlerdir. Jokar vd. (2019) bu seviyelerde azalmaların betonda %5, %10 ve %15 oranında atık lastik agregası değişimlerinde olduğunu vurgulamışlardır.



**Şekil 3.6.** Güneyisi ve ark., Gupta ve ark. Gesoğlu ve ark. buldukları lastik agregası değişim oranına karşılık elastik modülündeki değişim

### 3.1.3. Betonda takviye olarak kullanılan çelik teller ve sınıfları

#### 3.1.3.1 Ticari çelik teller

Demir (Fe) ve karbon (C) alaşımı olan çelik, karbon haricinde de alaşım elementleri ve empürite (kirliliğe sebep olan, saf olmayan) elementler içeren bir malzemedir. Çeliğin bünyesinde, hammaddeden kaynaklanan fosfor (P), manganez (Mn), silisyum (Si) ve kükürt (S) de belli oranlarda bulunur. Krom (Cr) ve nikel (Ni) gibi diğer elementler ise ferro-alyajlar (Ferro-alyajlar; manganez, karbon veya silikon gibi 13 önemli miktarda bir veya daha fazla başka element içeren çeşitli demir alaşımlarıdır.) halinde amaca uygun olarak istenilen miktarlarda çeliğin bünyesine ilave edilir. İçeriğindeki elementlerin kimyasal bileşimleri ve içyapısı, çeliğe farklı özellikler kazandırmaktadır. İslah, normalizasyon gibi çeşitli işlemler ile içyapı kontrolü gerçekleştirilerek değişik özelliklerde amaca uygun çelik üretimi mümkündür.

Çelik, maden eritme ocağı-bazik oksijen fırını (the blast furnace-basic oxygen furnace [BF-BOF]) ve elektrik ark ocağında (electric arc furnace [EAF]) olacak şekilde iki temel yol ile üretilir. Üretim yollarının kombinasyonları ve varyasyonları ile de üretim mümkündür. Bahsedilen teknikler arasındaki temel fark, tüketilen hammaddenin türüdür. BF-BOF ile üretimde ağırlıklı olarak tüketilen hammaddeler; demir cevheri, geri dönüştürülmüş çelik ve kömür iken, EAF ile üretimde ise ağırlıklı olarak geri kazanılmış çelik kullanılmaktadır. EAF ile üretimlerde, üretim tesisinin konfigürasyonlarına ve geri dönüştürülmüş çeliğin varlığına bağlı olarak, doğrudan indirgenmiş demir (direct-reduced iron [DRI]) veya sıcak metaller gibi diğer metalik demir kaynakları da hammadde olarak kullanılabilir.

Çelik üretiminin yaklaşık %70'i, BF-BOF ile üretilmektedir. Bu üretim yolunda ilk olarak, demir cevheri pik demiri (sıcak metal) olarak adlandırılan demire indirgenmesinin ardından, BOF'de çeliğe dönüştürülür. Elde edilen çelik döküm ve haddeleme işlemi sonrası kullanım amacına uygun olacak şekilde, profil, levha vb. şekillerde teslim edilir (Url-1, 2023). Çelik üretiminin yaklaşık %30'unun gerçekleştiği EAF ile üretimde ise elektrik yardımı ile geri dönüştürülmüş çelik eritilir. Bu yöntemde çeliğe, arzu edilen kimyasal bileşimi yakalamak için, alaşımlar gibi katkı maddeleri eklenir ve elektrik enerjisi EAF'ye enjekte edilen oksijen ile desteklenebilir. Döküm, yeniden ısıtma ve haddeleme gibi işlemler, BF-BOF ile üretimlerdekine benzerdir.

Küresel çelik üretimin yaklaşık %0,4'ünü oluşturan açık ocak fırını (the open hearth furnace [OHF]) teknolojisinin, yüksek oranda enerji kullanması, çevresel ve ekonomik dezavantajları nedeniyle, üretim yöntemi olarak tercih edilme oranı azalmaktadır.

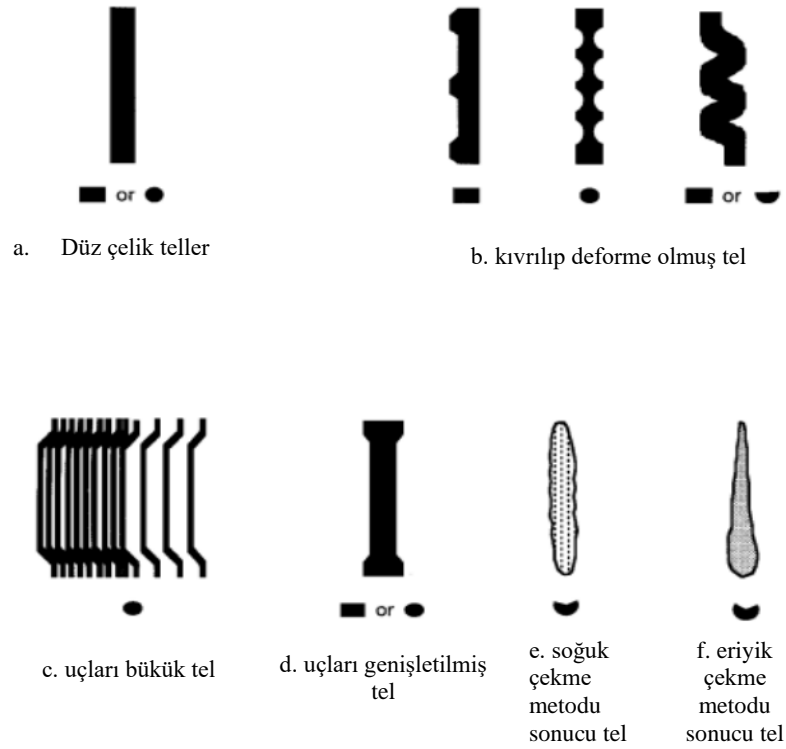
ASTM standardına göre, lif takviyeli betonlarda kullanılacak çelik lifler 4 ana grup altında toplanmıştır (ASTM A 820-96, 2006)

Bu gruplar ;

- Tip 1: Soğuk çekilmiş çelik teller,
- Tip 2: Plakalardan kesilerek elde edilen çelik teller,
- Tip 3: Eritilmiş ve çekilmiş çelik teller,

- Tip 4: Diğer çelik teller.

Farklı üretim metotlarıyla elde edilen çelik teller ve bu tellere ait geometriler Şekil 3.7'de sunulmaktadır. 0.25 mm ve 1.00 mm arasında çapa sahip olan dairesel kesitli düz teller, kırpık tellerin kesilmesiyle elde edilmiştir. Şekil 3.7 a'da gösterilen dikdörtgen veya dairesel kesitli yassı düz çelik teller kesme sacı veya yassılama teli ile üretilir. Kalınlıkları ise 0,15 mm ile 0,64 mm arasında değişmektedir. Kıvrımlı ve deforme olmuş lifler tüm boylarının kıvrılması ile (Şekil 3.7 b) veya yalnızca uçlarının bükülmesi ve genişletmesi ile (Şekil 3.7 c,d) üretilmektedir. Soğuk çekme metodu ve eriyik çekme metodu ile üretilen çelik tellerin formları düzensizdir ve genellikle kesit alanları yarım ay şeklindedir (Şekil 3.7 e,f).



Şekil 3.7. Çelik tel çeşitleri ve geometrileri (ASTM A820-96, 2006).

BS EN 14889-1 (British Standards Institution [BSI], 2006) standardına göre ise bu gruplar şu şekildedir;

- Grup 1: Soğuk çekilmiş çelik lifler,
- Grup 2: Plakalardan kesilerek elde edilen çelik lifler,
- Grup 3: Eritilmiş ve çekilmiş çelik lifler,

- Grup 4: Taşlanmış soğuk çekilmiş çelik lifler,
- Grup 5: Bloklardan haddelenmiş çelikler.

Takviye olarak kullanılabilir çelik teller, Japanese Society of Civil Engineer (JSCE) tarafından ise kesit alan şekillerine göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflar şu şekilde sıralanabilir (JSCE Standard III-1, 1983);

- Tip 1: Kare kesitli çelik teller
- Tip 2: Dairesel kesitli çelik teller
- Tip 3: Yarım ay kesitli çelik teller

### 3.1.3.2 Atık çelik teller

Çelik geri dönüşümü ve farklı alanlarda tekrar kullanılması konusu demir ve çeliğe artan talepten ötürü çok önemli bir mesele haline gelmiştir. 1950-2020 yılları arasında, yaklaşık %895'lik bir artışla, yıllık ham çelik üretimi 189 milyon tondan 1878 milyon tona yükselmiştir (Worldsteel Association, 2021).

International Energy Agency [IEA]'nin yayınladığı rapora göre küresel CO2 emisyonununun %5'i demir çelik endüstrisinden kaynaklanmaktadır ve her bir ton çelik üretiminde atmosfere yaklaşık 1.9 ton CO2 salınmaktadır.

Çelik sonsuza kadar kalite kaybı olmadan %100 geri dönüştürülen bir malzemedir ve düşük değerli çelik hurdalardan, uygun işleme ve metalürji yöntemleri ile yüksek değerli çelikler elde edilebilmektedir. Worldsteel Association'a göre yeni çelik ürünler ortalama olarak %37 oranında geri dönüştürülmüş çelik içermektedir.

Ticari çelik yerine hurda çelik kullanımı, doğal kaynaklardan tasarruf edilmesini ve ham kaynaklardan çelik üretimine kıyasla ton başına enerji tüketiminin %72 oranında azalmasını sağlamaktadır. Tek bir arabadan geri dönüştürülen çeliğin yaklaşık 1150 litrelik benzin tüketiminde gerçekleşecek sera gazı emisyonunu azalttığı belirtilmiştir. (Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen E.V. [BDSV], 2019)

Atık lastik çeliği, diğer bir deyişle lastikten elde edilmiş çelik (Tire Derived Steel [TDS]), yüksek oranda karbon içeriğine sahip yüksek nitelikli bir malzeme olup ısıya, darbeye ve tehlikeli koşullara dayanabilecek bir yapıya sahiptir. Geri kazanılmış bu çelik standartlara uygundur.

Ortam sıcaklığında gerçekleştirilen ön öğütme işlemini izleyen granülasyon basamağında, tesis yapısına bağlı olarak, ortalama 15-20 mm arası boyutlara sahip elek, parçalanmış lastikleri filtreleyerek ayırır. Bahsedilen bu granülasyon işlemi ardından, çelik teller manyetik separatörler yardımı ile kauçuktan ayıklanır. Ayıklanma işleminde tellerin yanı sıra, kauçuk ve tekstil bileşenlerine de rastlanmaktadır. Arzu edilmeyen bu bileşenler ayıklanan toplam ağırlığın yaklaşık %10 ila %35'ine tekabül etmektedir. Bu sebeple elde edilen nihai geri kazanım ürünü, malzemenin kauçuk/lif oranı olarak tanımlanan kirlilik derecesine bağlıdır. Elde edilmiş ürünün kalitesi, atık lastik geri kazanma tesisinin teknolojisi, depolama sistemi ve atmosferik etkilerden korunma derecesi gibi değişkenlere bağlıdır. İnce tellerden oluşan malzeme kolayca oksitlenebileceğinden, kalitedeki kilit faktör malzemeyi çevresel faktörlerden korumaktır.

Element	Değerler (%)
Demir (Fe)	97,82
Karbon (C)	0,73
Silisyum (Si)	0,22
Manganez (Mn)	0,67
Krom (Cr)	0,024
Fosfor (P)	0,26
Nikel (Ni)	0,23
Sülfür (S)	0,018
Bakır (Cu)	0,022
Mobilden (Mo)	0,002

**Çizelge 1.3.** Atık çelik teller için kimyasal analiz değerleri (Url-1, 2023).

Demir ve karbon alaşımı olan yüksek oranda karbon içeren, bronz/bakır kaplı harmonik bir çelik olan malzemenin kimyasal analizinden elde edilen bileşenlerin ortalama kimyasal analiz değerleri çizelge 3.3'te sunulmaktadır. Kimyasal bileşim geri dönüşüm tesislerince makul oranlarda değiştirilebildiğinden çizelgedeki değerlerin ortalama değerler olduğu dikkate alınmalıdır.

Özellik	Açıklama
Fiziksel Hal	Katı
Renk	Gri
Koku	Kokusuz
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	3000
Erime Noktası (C)	1369-1704 C
Suda Çözünürlük	Çözülemez

**Çizelge 3.4.** Atık çelik teller için fiziksel özellikler (Url-1, 2023).

Farklı derecelerde elyaf ve kauçuk parçaları içeren ince ve parçalanmış tellerden oluşan atık çelik tellerin fiziksel bazı özellikleri Çizelge 3.4’te verilmiştir. Kimyasal analiz verileri gibi bu değerler de ortalama değerlerdir ve geri kazanım tesislerine göre farklılıklar gözlenebilir.

### 3.1.3.2 Çelik liflerin beton içerisindeki performansını etkileyen faktörler

Betonda takviye olarak kullanılan ve betonun mekanik özelliklerini iyileştiren çelik tellerin performansını etkileyen en önemli faktörler aşağıdaki gibidir (Bentur ve Mindess,1990);

- Çelik lifin;
  1. Tipi
  2. Geometrisi
  3. Narinlik oranı (lif boyu/lif çapı)
  4. Hacimsel yüzdesi
  5. Beton içerisindeki dağılımı
  6. Beton içerisindeki yönelimi
  7. Dayanımı

- Numunenin;

1. Boyutu,

2. Geometrisi,

3. Üretim metodu

4. Yükleme özellikleri

- Beton matrisi ve çelik tellerin ara yüzey bölgesinin özellikleri ve dayanımı.

Atık tellerin kullanıldığı betonun performansını etkileyen en önemli parametrelerden biri tel-çimento matrisinin aderans derecesidir. Yükleme altında hamur tel arasında gerilme transferinin olabilmesi ve bu iki yapının yükü birlikte çalışarak karşılayabilmesi için tel-matris aderansının kuvvetli olması gerekmektedir.

Tel ve çimento matrisi arasındaki aderansı etkileyen en önemli parametreler ise; tel tipi, hacimsel tel içeriği, telin geometrisi ve yüzey özellikleri, matris özellikleri ve durumu (hasarlı veya hasarsız) ve yükleme hızı olarak gruplandırılabilir.

Matris-tel aderansının yanı sıra, matris ile yükleri taşıyacak olan tellerin hacimsel oranı ve dayanımları da büyük önem arz etmektedir. Matris bünyesinde çatlaklar oluşmaya başladıktan sonra, tellerin çatlak uçlarında köprü vazifesi görerek matristen transfer edilen yükleri taşıyabilmesi için yeterli dayanıma sahip olması gerekmektedir. Tel dayanımının ve malzeme bünyesindeki telin hacimsel oranının yetersiz olması durumunda kompozit malzemenin yük taşıma kapasitesinin arzu edilen oralarda artmayacağı hatta azalabileceği söylenebilir.

Tel boyutları, tellerin etkili olacağı çatlak cinsini etkilemektedir. Mikro teller, boyutları sebebiyle malzeme içerisinde sık bir dağılım gösterdiğinden başlangıç düzeyindeki mikro çatlaklar üzerinde köprü görevi görebilirken makro çatlaklar üzerinde etkili olmazlar. Bu teller elastik bölgedeki davranışı iyileştirirler. Makro teller ise malzeme içerisinde sık bir düzenle konumlanamayacağından mikro çatlaklar üzerinde etkili olamazlar. Bu sebeplerden ötürü farklı tel boyutları, farklı boyutlardaki çatlakların köprülenmesinde başarılı olacaktır.

Tel eklenmiş betonun performansını etkileyen en önemli parametrelerden bir diğeri ise tellerin narinlik oranlarıdır. Çelik tel uzunluğunun çelik çapına oranı ( $L/d$ ) narinliği temsil etmektedir. İstatiksel Tepki Yüzey Modellemesi ile gerçekleştirilen çalışmada narinliği 50 ile 80, tel içeriğinin ise 20 ile 50 kg/m<sup>3</sup> arasında değişen çelik tellerin beton içerisindeki performansı test edilmiştir. Çalışma sonucunda, narinlik ve çelik tel içeriği artışının malzemenin enerji yutma kapasitesini arttırdığı ve malzemeye sünek bir yapı kazandırdığı gözlemlenmiştir. Tel içeriğinin 50 kg/m<sup>3</sup> , narinliğinin 80 olduğu değerlerde optimum değerlerin elde edildiği gözlemlenmiştir. (Çelikcan 2021)

### 3.1.4. Çalışmada kullanılacak atık lastik ve çelik tel oranları

Çalışmada kullanılan atık lastikleri çeşitleri 0-4 mm tane boyutlu olanlar toz, 4-7mm tane boyutlu olanlar mercimek ve 11-22 mm arasında tane boyutları olanlar kuşbaşı kauçuk olarak adlandırılmıştır. Listelenen numuneler küp, silindir ve 10x10x40 ebatlarındaki küçük kiriş olarak adlandırılan numuneler içindir.

Numune No	Çelik Tel Oranı	Lastik Oranı	Lastik Çeşidi
1	0%	0%	(yok)
2	0%	0%	(yok)
3	0%	0%	(yok)
4	0%	5%	Mercimek lastik
5	0%	5%	Mercimek lastik
6	0%	5%	Mercimek lastik
7	0%	5%	Toz Lastik
8	0%	5%	Toz Lastik
9	0%	5%	Toz Lastik
10	0%	5%	Kuşbaşı Lastik
11	0%	5%	Kuşbaşı Lastik
12	0%	5%	Kuşbaşı Lastik
13	0%	10%	Mercimek lastik
14	0%	10%	Mercimek lastik
15	0%	10%	Mercimek lastik
16	0%	10%	Toz Lastik
17	0%	10%	Toz Lastik
18	0%	10%	Toz Lastik
19	0%	10%	Kuşbaşı Lastik
20	0%	10%	Kuşbaşı Lastik
21	0%	10%	Kuşbaşı Lastik

22	0%	20%	Mercimek lastik
23	0%	20%	Mercimek lastik
24	0%	20%	Mercimek lastik
25	0%	20%	Toz Lastik
26	0%	20%	Toz Lastik
27	0%	20%	Toz Lastik
28	0%	20%	Kuşbaşı Lastik
29	0%	20%	Kuşbaşı Lastik
30	0%	20%	Kuşbaşı Lastik
31	1%	0%	(yok)
32	1%	0%	(yok)
33	1%	0%	(yok)
34	1%	5%	Mercimek lastik
35	1%	5%	Mercimek lastik
36	1%	5%	Mercimek lastik
37	1%	5%	Toz Lastik
38	1%	5%	Toz Lastik
39	1%	5%	Toz Lastik
40	1%	5%	Kuşbaşı Lastik
41	1%	5%	Kuşbaşı Lastik
42	1%	5%	Kuşbaşı Lastik
43	1%	10%	Mercimek lastik
44	1%	10%	Mercimek lastik
45	1%	10%	Mercimek lastik
46	1%	10%	Toz Lastik
47	1%	10%	Toz Lastik
48	1%	10%	Toz Lastik
49	1%	10%	Kuşbaşı Lastik
50	1%	10%	Kuşbaşı Lastik
51	1%	10%	Kuşbaşı Lastik
52	1%	20%	Mercimek lastik
53	1%	20%	Mercimek lastik
54	1%	20%	Mercimek lastik
55	1%	20%	Toz Lastik
56	1%	20%	Toz Lastik
57	1%	20%	Toz Lastik
58	1%	20%	Kuşbaşı Lastik
59	1%	20%	Kuşbaşı Lastik
60	1%	20%	Kuşbaşı Lastik
61	2%	0%	(yok)
62	2%	0%	(yok)

63	2%	0%	(yok)
64	2%	5%	Mercimek lastik
65	2%	5%	Mercimek lastik
66	2%	5%	Mercimek lastik
67	2%	5%	Toz Lastik
68	2%	5%	Toz Lastik
69	2%	5%	Toz Lastik
70	2%	5%	Kuşbaşı Lastik
71	2%	5%	Kuşbaşı Lastik
72	2%	5%	Kuşbaşı Lastik
73	2%	10%	Mercimek lastik
74	2%	10%	Mercimek lastik
75	2%	10%	Mercimek lastik
76	2%	10%	Toz Lastik
77	2%	10%	Toz Lastik
78	2%	10%	Toz Lastik
79	2%	10%	Kuşbaşı Lastik
80	2%	10%	Kuşbaşı Lastik
81	2%	10%	Kuşbaşı Lastik
82	2%	20%	Mercimek lastik
83	2%	20%	Mercimek lastik
84	2%	20%	Mercimek lastik
85	2%	20%	Toz Lastik
86	2%	20%	Toz Lastik
87	2%	20%	Toz Lastik
88	2%	20%	Kuşbaşı Lastik
89	2%	20%	Kuşbaşı Lastik
90	2%	20%	Kuşbaşı Lastik
91	0.5%	0%	(yok)
92	0.5%	0%	(yok)
93	0.5%	0%	(yok)
94	0.5%	5%	Mercimek lastik
95	0.5%	5%	Mercimek lastik
96	0.5%	5%	Mercimek lastik
97	0.5%	5%	Toz Lastik
98	0.5%	5%	Toz Lastik
99	0.5%	5%	Toz Lastik
100	0.5%	5%	Kuşbaşı Lastik
101	0.5%	5%	Kuşbaşı Lastik
102	0.5%	5%	Kuşbaşı Lastik
103	0.5%	10%	Mercimek lastik

104	0.5%	10%	Mercimek lastik
105	0.5%	10%	Mercimek lastik
106	0.5%	10%	Toz Lastik
107	0.5%	10%	Toz Lastik
108	0.5%	10%	Toz Lastik
109	0.5%	10%	Kuşbaşı Lastik
110	0.5%	10%	Kuşbaşı Lastik
111	0.5%	10%	Kuşbaşı Lastik
112	0.5%	20%	Mercimek lastik
113	0.5%	20%	Mercimek lastik
114	0.5%	20%	Mercimek lastik
115	0.5%	20%	Toz Lastik
116	0.5%	20%	Toz Lastik
117	0.5%	20%	Toz Lastik
118	0.5%	20%	Kuşbaşı Lastik
119	0.5%	20%	Kuşbaşı Lastik
120	0.5%	20%	Kuşbaşı Lastik

Çizelge 3.5. Çalışmada kullanılan numune içerikleri

### 3.1.4.1. Çalışmada kullanılan atık lastik ve atık tel malzemenin hesaplamaları

Numunelerde kullanılacak agreganın hacimce atık lastik ikamesi için gerekli hesaplamalar yapılmadan önce agregaların dane boyutuna göre özgül ağırlık değerleri elde edilmiştir ve elde edilen değerler çizelge 3.6’da gösterilmektedir.

Agreganın özgül ağırlık değerleri

$$\delta a = \frac{w_1}{w_1 + w_2 - w_3}$$

Şeklinde hesaplanır. Burada  $\delta a$  özgür ağırlığı,  $w_1$  numune ağırlığını,  $w_2$  su ile dolu ölçü kabı ağırlığı ve  $w_3$  ise içine numune konmuş su dolu kabın ağırlığını simgelemektedir.

0/4 mm agreganın görünen özgül ağırlığı	2,67
4/11.2 mm agreganın görünen özgül ağırlığı	2,69
11.2/22.4 mm agreganın görünen özgül ağırlığı	2,69

Çizelge 3.6. Çalışmada kullanılan agrega özgül ağırlıkları

Agreganın dane boyutuna göre özgül ağırlığı hesaplandıktan sonra aynı dane boyutuna göre atık lastik türlerinin numunelerde kullanılacak kütleleri hesaplanmıştır. Mercimek ve toz türü atık lastik aynı dane boyutu sınıfında oldukları için hesaplamaları aynı çıkmaktadır. Lastik agregaların ise özgül ağırlığı yaklaşık olarak 1 (bir) çıktığı için hesaplamalarda da 1 (bir) alınarak aynı kütle ve hacim değerleri kullanılmıştır.

Kütle - Hacim Hesabı			
cins	yüzde	kütle (kg)	hacim (m3)
ince agrega	0%	1095,000	409,876
11.2-22.4 agrega	0%	328,500	122,046
4-11.2 agrega	0%	401,500	149,167
mercimek türü lastik	5%	20,494	20,494
toz türü lastik	5%	20,494	20,494
kuşbaşı türü lastik	5%	6,102	6,102
mercimek türü lastik	10%	40,988	40,988
toz türü lastik	10%	40,988	40,988
kuşbaşı türü lastik	10%	12,205	12,205
mercimek türü lastik	20%	81,975	81,975
toz türü lastik	20%	81,975	81,975
kuşbaşı türü lastik	20%	24,409	24,409

Çizelge 3.7. Çalışmada kullanılan agrega yerine geçecek atık lastik çeşitlerinin kütle ve hacim hesapları

Numune İsmi	Su (kg)	Çimento (kg)	S/Ç	Sprakışlanlaştırıcı (kg)	İri Agrega (11.2-22.4mm) (kg)	İri Agrega (4-11.2mm) (kg)	İnce Normal Agrega (kg)	Lastik Çeşidi	Lastik Oranı	Lastik Ağırlığı (kg)	Tel Oranı	Tel Ağırlığı (kg)	Taze Beton Ağırlığı (kg)
Ref-0	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	1095	Yok	0%	0	0%	0	2369,65
Ref-5M	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	1040,25	Mercimek	5%	20,494	0%	0	2335,394
Ref-5T	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	1040,25	Toz	5%	20,494	0%	0	2335,394
Ref-5K	195	345,45	0,55	4,2	312,075	401,5	1095	Kauçuk	5%	6,102	0%	0	2359,327
Ref-10M	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	985,5	Mercimek	10%	40,988	0%	0	2301,138
Ref-10T	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	985,5	Toz	10%	40,988	0%	0	2301,138
Ref-10K	195	345,45	0,55	4,2	295,65	401,5	1095	Kauçuk	10%	12,205	0%	0	2349,005
Ref-20M	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	876	Mercimek	20%	81,975	0%	0	2232,625
Ref-20T	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	876	Toz	20%	81,975	0%	0	2232,625

Ref-20K	195	345,45	0,55	4,2	262,8	401,5	1095	Kauçuk	20%	24,409	0%	0	2328,359
A-0	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	1095	Yok	0%	0	1%	23,6965	2369,65
A-5M	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	1040,25	Mercimek	5%	20,494	1%	23,697	2359,091
A-5T	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	1040,25	Toz	5%	20,494	1%	23,697	2359,091
A-5K	195	345,45	0,55	4,2	312,075	401,5	1095	Kauçuk	5%	6,102	1%	23,697	2383,024
A-10M	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	985,5	Mercimek	10%	40,988	1%	23,697	2324,834
A-10T	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	985,5	Toz	10%	40,988	1%	23,697	2324,834
A-10K	195	345,45	0,55	4,2	295,65	401,5	1095	Kauçuk	10%	12,205	1%	23,697	2372,701
A-20M	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	876	Mercimek	20%	81,975	1%	23,697	2256,322
A-20T	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	876	Toz	20%	81,975	1%	23,697	2256,322
A-20K	195	345,45	0,55	4,2	262,8	401,5	1095	Kauçuk	20%	24,409	1%	23,697	2352,056
B-0	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	1095	Yok	0%	0	2%	47,393	2369,65
B-5M	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	1040,25	Mercimek	5%	20,494	2%	47,393	2382,787
B-5T	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	1040,25	Toz	5%	20,494	2%	47,393	2382,787
B-5K	195	345,45	0,55	4,2	312,075	401,5	1095	Kauçuk	5%	6,102	2%	47,393	2406,72
B-10M	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	985,5	Mercimek	10%	40,988	2%	47,393	2348,531
B-10T	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	985,5	Toz	10%	40,988	2%	47,393	2348,531
B-10K	195	345,45	0,55	4,2	295,65	401,5	1095	Kauçuk	10%	12,205	2%	47,393	2396,398
B-20M	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	876	Mercimek	20%	81,975	2%	47,393	2280,018
B-20T	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	876	Toz	20%	81,975	2%	47,393	2280,018
B-20K	195	345,45	0,55	4,2	262,8	401,5	1095	Kauçuk	20%	24,409	2%	47,393	2375,752
C-0	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	1095	Yok	0%	0	0,50%	11,84825	2369,65
C-5M	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	1040,25	Mercimek	5%	20,494	0,50%	11,848	2347,242
C-5T	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	1040,25	Toz	5%	20,494	0,50%	11,848	2347,242
C-5K	195	345,45	0,55	4,2	312,075	401,5	1095	Kauçuk	5%	6,102	0,50%	11,848	2371,175
C-10M	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	985,5	Mercimek	10%	40,988	0,50%	11,848	2312,986
C-10T	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	985,5	Toz	10%	40,988	0,50%	11,848	2312,986
C-10K	195	345,45	0,55	4,2	295,65	401,5	1095	Kauçuk	10%	12,205	0,50%	11,848	2360,853

C-20M	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	876	Mercimek	20%	81,975	0,50%	11,848	2244,474
C-20T	195	345,45	0,55	4,2	328,5	401,5	876	Toz	20%	81,975	0,50%	11,848	2244,474
C-20K	195	345,45	0,55	4,2	262,8	401,5	1095	Kauçuk	20%	24,409	0,50%	11,848	2340,207

**Çizelge 3.8.** Deneyde kullanılan numunelerin ağırlıkları ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

### 3.2. Metot

Yapılan bu araştırmada atık lastik ve telin beton performansına etkilerinin gözlemlenmesi için, 15x15x15 boyutlarındaki 120 adet küp numune, 10x20 boyutundaki 120 adet silindir numune, 10x10x40 boyutundaki 80 adet donatısız kiriş numune ve etriye aralığı farklı olan 10x15x100 boyutlarındaki 80 adet donatılı kiriş numune elde edilmiştir. Bu numunelerin içerisine toplam karışım kütleleri %0.5, %1 ve %2 oranında elik teller ve agrega hacminin %5, %10 ve %20 oranında agrega yerine kullanılan farklı çaplarda atık lastikler eklenmiştir. Numuneler beton basınç dayanım deneyi, kesme ve eğilme deneyi, silindir yarma deneylerine tabi tutularak çıkan sonuçlar hiçbir katkı kullanılmadan oluşturulmuş numuneler ile karşılaştırılacaktır.

#### 3.2.1 Betonun basınç dayanımı deneyi

Betonun basınç dayanımının elde edilebilmesi için uygulanan "standart deney yöntemi" ile ilgili Türk standardı TS EN 12390-3 (Beton Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini)'dir. Her test için (15x15x15) cm boyutlarında 120 adet %0.5, %1 ve %2 oranlarında atık tel ve %5, %10 ve %20 oranlarında atık lastik içeren numuneler hazırlanacaktır. Beton küpler, test için gerekli yaşa (7, 28) gün gelene kadar Kür havuzuna bırakılarak bekletilir. Gerekli yaşa gelindiğinde küpler sudan çıkararak basınç cihazına yerleştirip kırılıncaya kadar yüklenir. Sonuçları kayıt altına alıp ve sonuçların ortalamasını alarak test işlemine tamamlanır. Basınç dayanımı için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$f_c = F/A_c$$

$f_c$  = Basınç dayanımı, MPa (N/mm<sup>2</sup>),

F = kırılma anında ulaşılan maksimum yük, N,

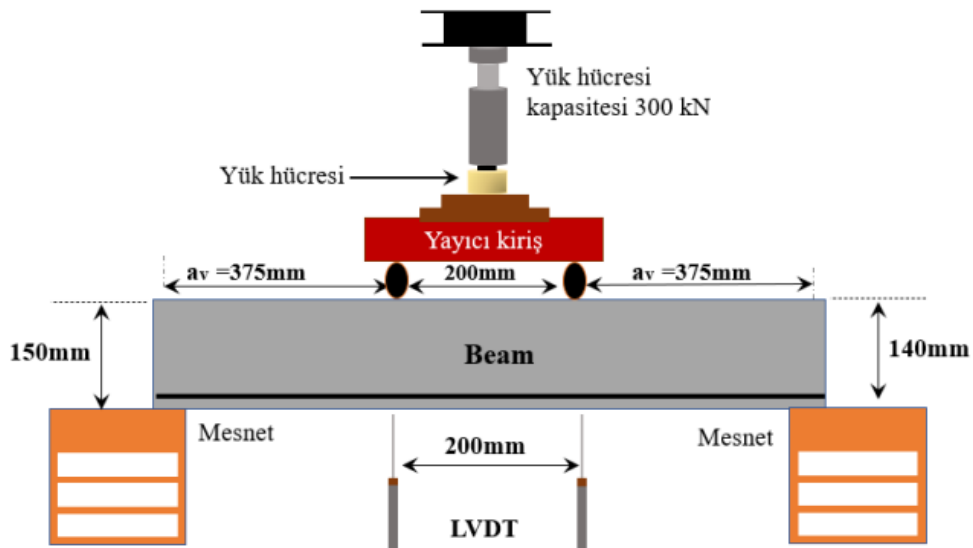
$A_c$  = Numunenin, uygulanan yükün en kesit alanı, mm<sup>2</sup>



Şekil 3.8. Çalışmada uygulanan basınç deneyi

### 3.2.2. Eğilme ve kesme deneyleri

Üretilcek eğilme ve kesme kiriş boyutları 100 x 150 x 1000 mm olacaktır. Basit mesnetli kirişlerin mesnetleri arasındaki mesafe 900 mm olarak ayarlanacaktır. Üç farklı çekme donatısı oranı kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilecektir. Her bir numunede paspayı 15 mm olarak dikkate alınacaktır. Kirişlere ait geometri bilgisi ve donatı detayları şekil 3.10'da verilmiştir. Hazırlanan 80 adet %0.5, %1 ve %2 oranlarında atık tel ve %5, %10 ve %20 oranlarında atık lastik içeren kiriş testi sonucu süneklik ve enerji tüketme kapasitesi hesap edilerek karşılaştırılacaktır.



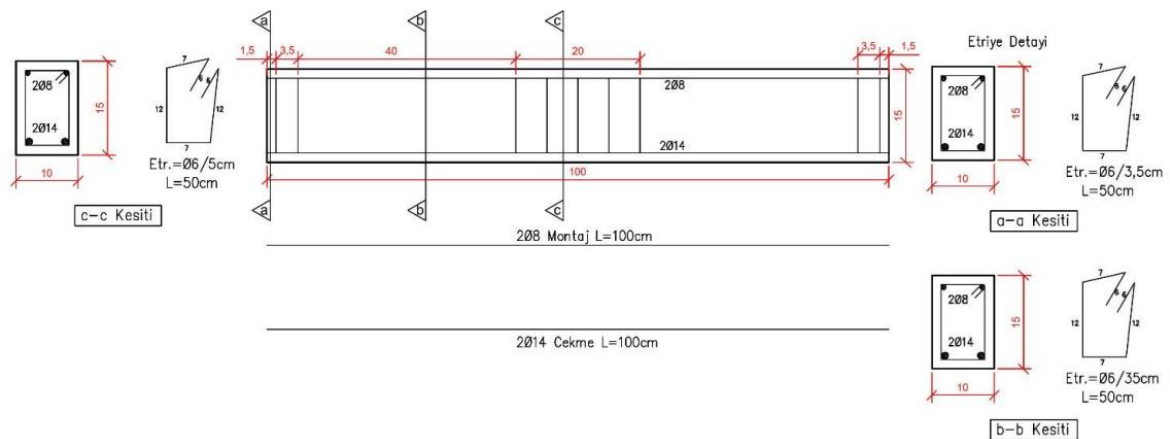
Şekil 3.9. Dört noktali kiriş yükleme deneyi



kiriş numuneleridir ve -10 yazısı numune içerisinde kullanılan etriyelerin 10 cm aralıklarla sıralandığı ve -16 yazısı ise numune içerisinde kullanılan etriyelerin 16 cm aralıklarla sıralandığını belirtmektedir.

Numune İsmi	Kiriş Boyutu (mm)	Basınç Donatısı	Çekme Donatısı	Donatı Oranı	Etriye Sıklığı
1	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm
2	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm
3	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm
4	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm
5	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm
6	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm
7	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm
8	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm
9	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm
10	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm
11	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm
12	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm
13	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm
14	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm
15	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm
16	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm
17	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm
18	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm
19	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm
20	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm
21	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm
22	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm
23	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm
24	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/10 cm

Çizelge 3.2. Eğilme Kiriş Tasarımları



Şekil 3.12. Kesme Kiriş Detayı

Numune İsmi	Kiriş Boyutu (mm)	Basınç Donatısı	Çekme Donatısı	Donatı Oranı	Etriye Sıklığı
1	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm
2	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm
3	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm
4	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm
5	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm
6	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm
7	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm
8	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm
9	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm
10	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm
11	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm
12	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm
13	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm
14	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm
15	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm
16	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm
17	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm
18	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm
19	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm
20	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm
21	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm
22	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm
23	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm
24	100x150x1000	2Ø6	2Ø12	0.0125	2Ø6/16 cm

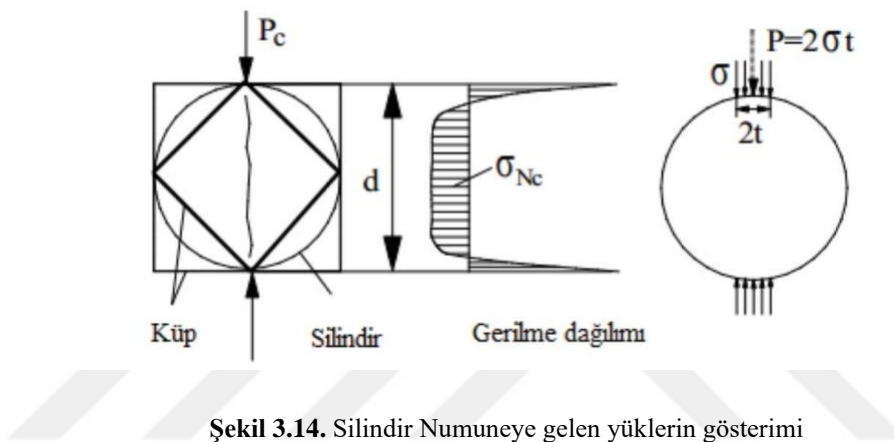
Çizelge 3.3. Kesme Kiriş Tasarımları



Şekil 3.13. Çalışmada uygulanan eğilme deneyi

### 3.2.3. Silindir yarma deneyi

Silindir yarma deneyi, betonun çekme dayanımını belirlemek için kullanılmaktadır. Hazırlanan 120 adet %0.5, %1 ve %2 oranlarında atık tel ve %5, %10 ve %20 oranlarında atık lastik içeren deney numunelerinin alt ve üst kısımlarına levhalar yerleştirilir. Bu şekilde yükleme noktalarında ezilme gerçekleşmez ve çatlamların önüne geçilmiş olunur. Numuneye uygulanan yük boyunca basınç gerilmelerine karşı dik yönde çekme gerilmeleri oluşur. Numune yükün uygulandığı bölgede kısalmaya, orta bölgesinde uzamaya maruz kalmaktadır. Numune yükleme doğrultusuna paralel olacak şekilde kırılınca kadar yükleme devam eder ve kırılınca yük ( $P_c$ ) ölçülür.



$$\sigma_{Nc} = \frac{2P_c}{\pi b d}$$

$P_c$ : kırılma yükü,  $b$ : numune genişliği,  $d$ : numune boyutu ve  $\beta$ : ( $t/d$ ) Yük taşıyan şeritlerin relatif genişliğidir. Yük taşıyan şeritlerin relatif genişliği ( $t/d$ ) standartlara bağlı olarak %0 ile %25 aralığında olabilir

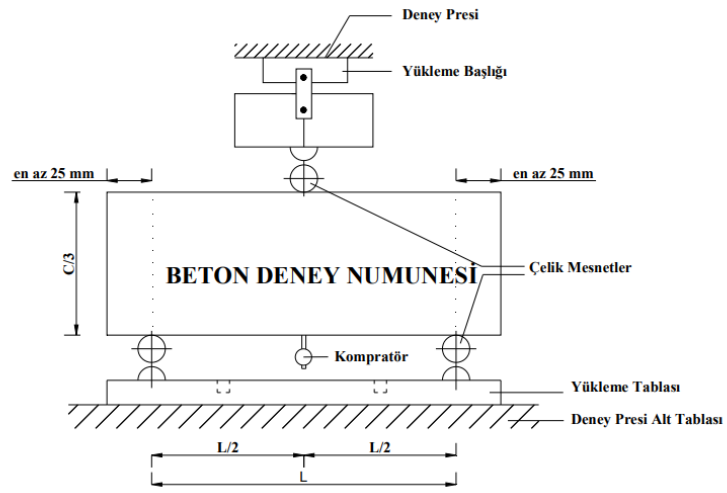
$$\sigma_{max} = \frac{2P}{\pi b d} (1 - \beta^2)^{(3/2)}$$



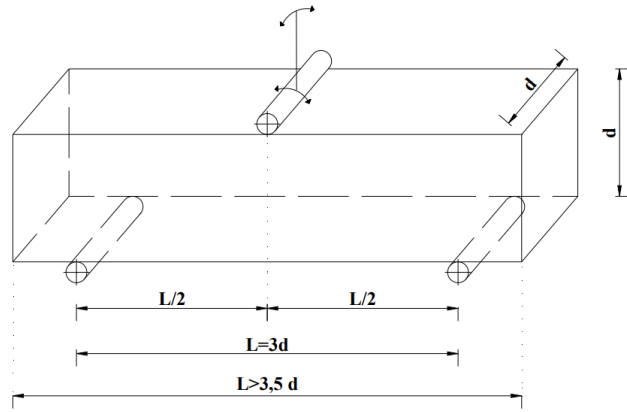
Şekil 3.15. Çalışmada uygulanan silindir deneyi

### 3.2.4 Eğilmede çekme deneyi

Beton çekme deneyi için hazırlanan 80 adet %0.5, %1 ve %2 oranlarında atık tel ve %5, %10 ve %20 oranlarında atık lastik içeren kiriş numunelerinin üzerinde tek noktadan yüklemeli eğilmede çekme deneyi uygulanmıştır. Yükleme başlığı ve tablası; üzerinde bilyalarla yataklandırılmış çelik yatak silindirleri bulunan başlık ve tabladır. Alt ve üst yükleme başlıklarına yerleştirilen iki mesnet silindiri makine tarafından yükün eşit şekilde yayılmasını sağlayan mesnete sahiptir. Silindirler çelik ve çapları 10 mm'dir. Silindir boyu numune genişliğinden 10 mm daha fazladır. Üstteki yükleme silindirinin ikisi ve alttaki mesnet silindirinin birisi hareketli olup, kendi etrafında dönebilmekte ve kirişin yüzeyine dik olarak hareket etmektedir. Silindirler arası mesafe kiriş numune genişliğinin üç katıdır. Kiriş numunesi tablaya yükleme başlığı ve yatak silindirlerinin numuneye ana doğrultuları boyunca temas edecek ve dik açılı olacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.16. Çekme deneyi uygulaması



Şekil 3.17. Çekme deneyi düzeneği



Şekil 3.18. Çalışmada uygulanan çekme deneyi

## 4.DENEYLER

### 4.1 Deney Numunelerinin Hazırlanması

Yapılan çalışmada kullanılmak üzere iri agrega, ince agrega, çimento ve akışkanlaştırıcı tedarik edilerek laboratuvara getirildi. Atık lastik parçaları ve tel numuneler ise geri dönüşüm firmaları ve lastikçiler vasıtası ile temin edilerek laboratuvarda hazır edildi.



Şekil 4.1. Deney malzemeleri



Şekil 4.2. Deney malzemelerinden atık lastik çeşitleri ve atık tel



Şekil 25.3. Atık lastiklerden mercimek olarak isimlendirilen kauçuk türü



Şekil 4.4. Atık lastiklerden toz olarak isimlendirilen kauçuk türü



Şekil 4.5. Atık lastiklerden kuşbaşı olarak isimlendirilen kauçuk türü

İlk olarak küp, silindir, küçük kiriş (10x10x40) ve büyük kiriş (10x15x100) için kalıplar hazırlanarak 2 set halinde yüzdelik karışım oranları aynı olan malzemeler betoniyer harç karma makinesinde (mikser) hazırlandıktan sonra kalıplara döküldü. 1 set malzeme 2 adet büyük kiriş kalıbı, 2 adet küçük kiriş kalıbı, 3 adet küp numune kalıbı ve 3 adet silindir kalıbını içermektedir. Dolu bir şekilde hazırlanan betoniyer harç karma makinesi 2 set kalıpları tam dolu olacak şekilde doldurmaktadır. Bu şekilde tüm döküm işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.6. 1 set farklı numuneler için hazırlanmış kalıplar



Şekil 4.7. Büyük kiriş numuneler için hazırlanan donatılar

Mikserden elde edilen karışım kalıplara dökülmeden önce slump deneylerine tabi tutularak gerekli kontrolleri yapıldıktan sonra kalıplara döküm işlemine geçilmiştir. Döküm yapıldıktan sonra numunelerden en düzgün verimin elde edilmesi ve karışımın kalıplara tam oturması için vibratör kullanılarak yerleşim sağlanmıştır.



Şekil 4.8. Döküm öncesi slump deneyleri



Şekil 4.9. Vibratörle harcın kalıplara yerleştirme işlemi

Hazırlanan numuneler kalıplara yerleşim işlemi tamamlandıktan sonra gerekli dayanımı uygun koşullarda kazanması için kür havuzlarına konuldu.



Şekil 4.10. Kalıplara dökülmüş numune örnekleri



Şekil 4.11. Kür havuzunda bekleyen numuneler

Numuneler 28 gün beklendikten sonra kırılmak üzere deney cihazına taşındı ve kırım işlemleri gerçekleştirildi.

## 4.2. Deneyler Sonuçları

### 4.2.1. Küp numune sonuçları

Belirtilen karışım oranlarında hazırlanan 15x15x15 cm boyutlarındaki küp numuneler basınç dayanımlarının belirlenmesi ve lastik ve/veya tel kullanılmadan üretilen numuneler ile olan farkın karşılaştırılması için basınç testine tabi tutuldu. Kırım işleminden sonra test sonuçları ve numunelerdeki çatlak oluşumu gözlemlenerek notlar alındı.

Deney sonucunda küp numuneler görsel olarak incelendiklerinde atık lastik ve tel kullanımının çeşitli farklılıklara yol açtığı gözlemlenmiştir. Kullanılan numunelerde içinde hiçbir katkı maddesi olmayan referans numunesinde kırık ve çatlaklar incelendiğinde katkı maddeli olan diğer numunelere göre daha fazladır. Lastik ve tel eklenmiş numunelerde ise kırık ve çatlak miktarlarında azalma görülmesi nedeniyle atık lastik ve telin, malzemenin bir arada kalarak dağılması önlemiş olduğunu ve betonda bulunan diğer malzemeler ile aderans bakımından daha iyi bir etkileşimde bulunduğunu göstermektedir. Sadece lastik ve telin kullanıldığı durumda değil, ayrı olarak lastik ve tel eklenen numunelerde de aynı sonuç görülmektedir. İstisnai olarak bazı numunelerde köşe bölgelerinde atık lastik malzeme bulunması yüzünden erken ve büyük parça kopmaları gözlemlenmiş olsa da genel olarak atık lastik ve tel malzeme numunelerin parçalanma durumunu olumlu yönde etkileyerek numunenin bir arada kalmasına olumlu katkı sağlamıştır.



Şekil 4.12. Referans numunenin deney sonucu son hali



Şekil 4.13. %2 atık tel içeren numunenin son hali

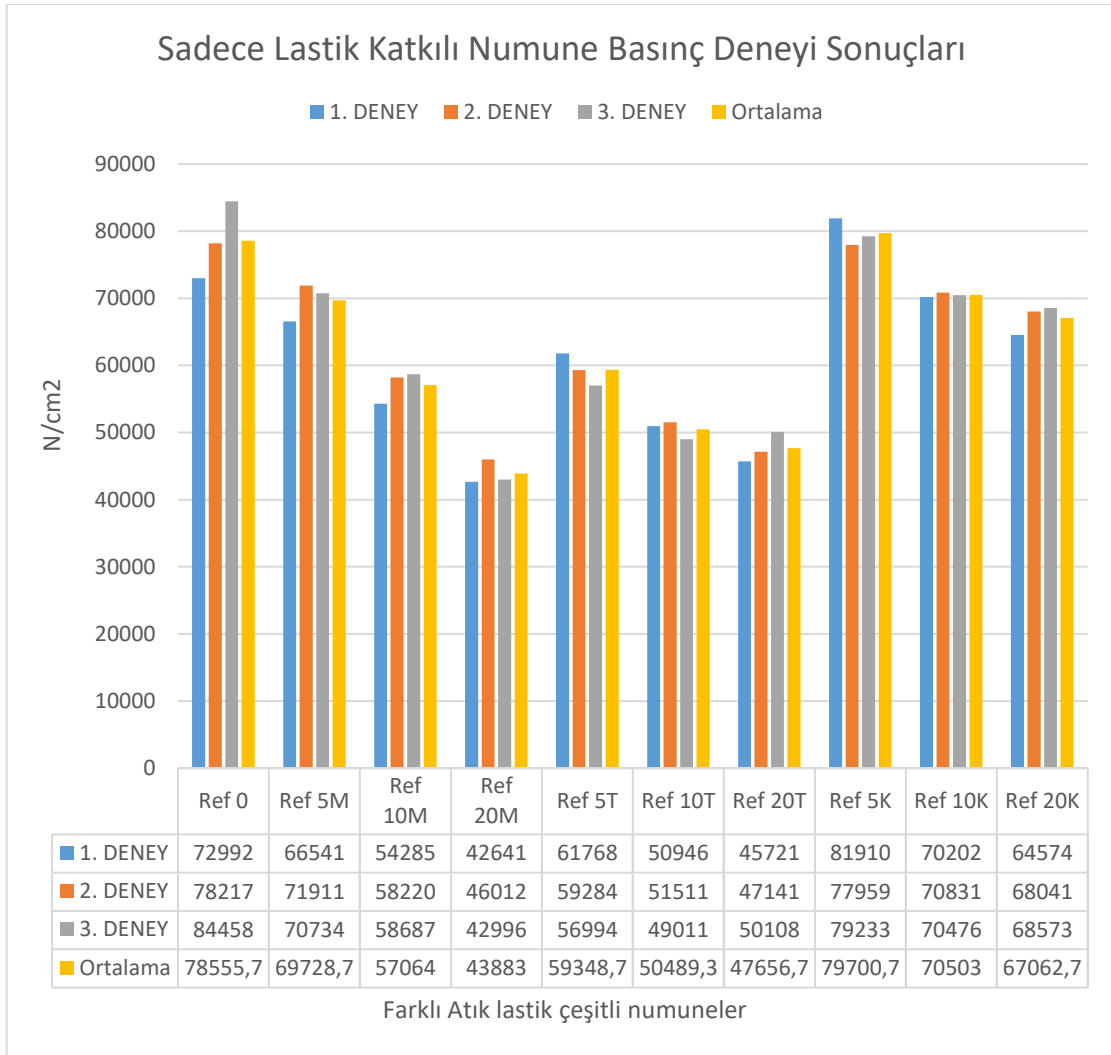


Şekil 4.14. %20 kuşbaşı içeren numune



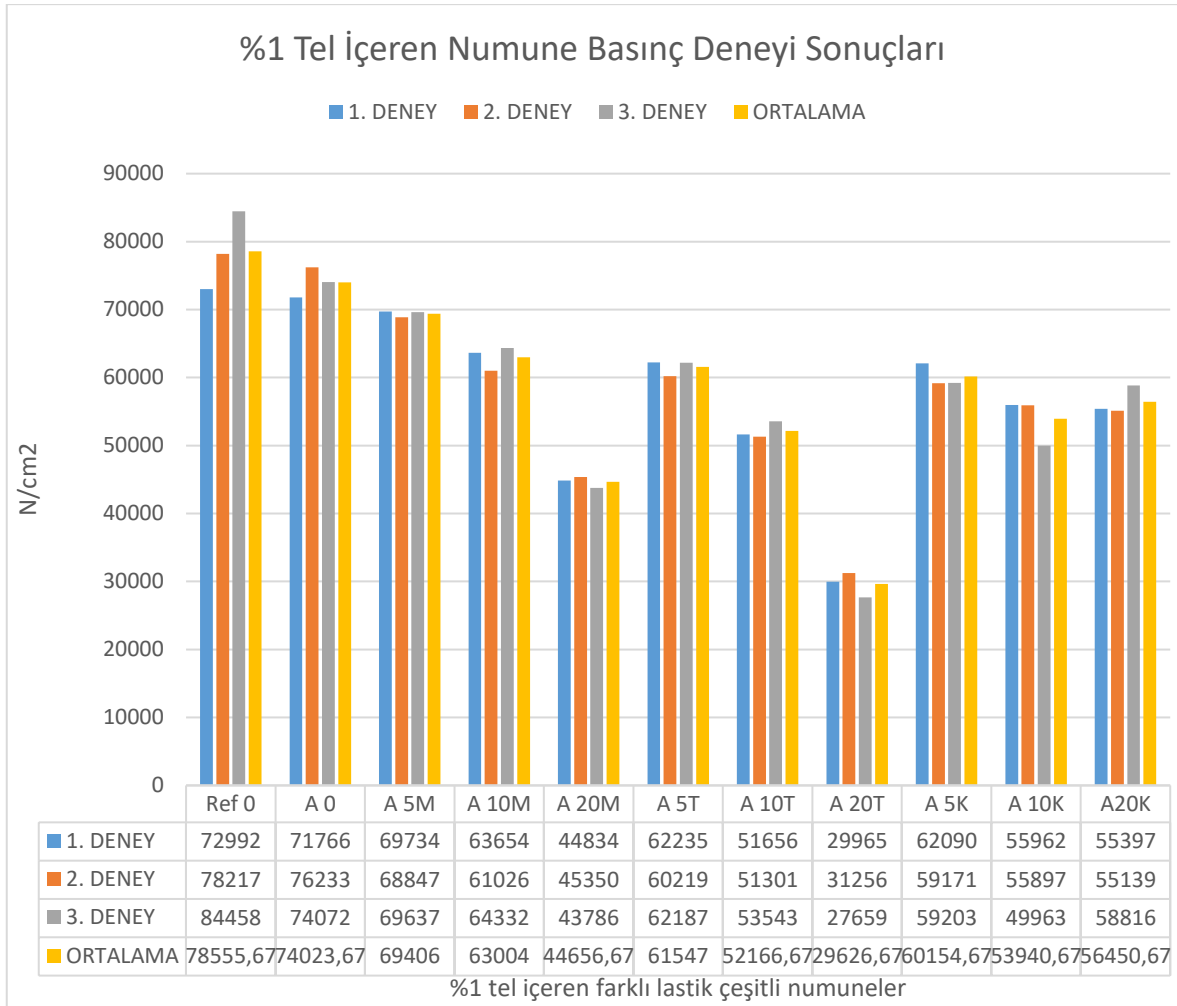
Şekil 4.15. %2 atık tel ve %20 kuşbaşı içeren numune

Numunelerin basınç deneylerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldıklarında atık lastik ve tel eklenmesinin numunelerin dayanım yönünden olumsuz etkilenmesine neden olduğu görülmüştür. Bazı istisnai durumlar dışında hiçbir katkı maddesi bulunmayan referans numunesinin sağlamış olduğu değerleri, diğer katkılı küp numuneler sağlamamıştır.



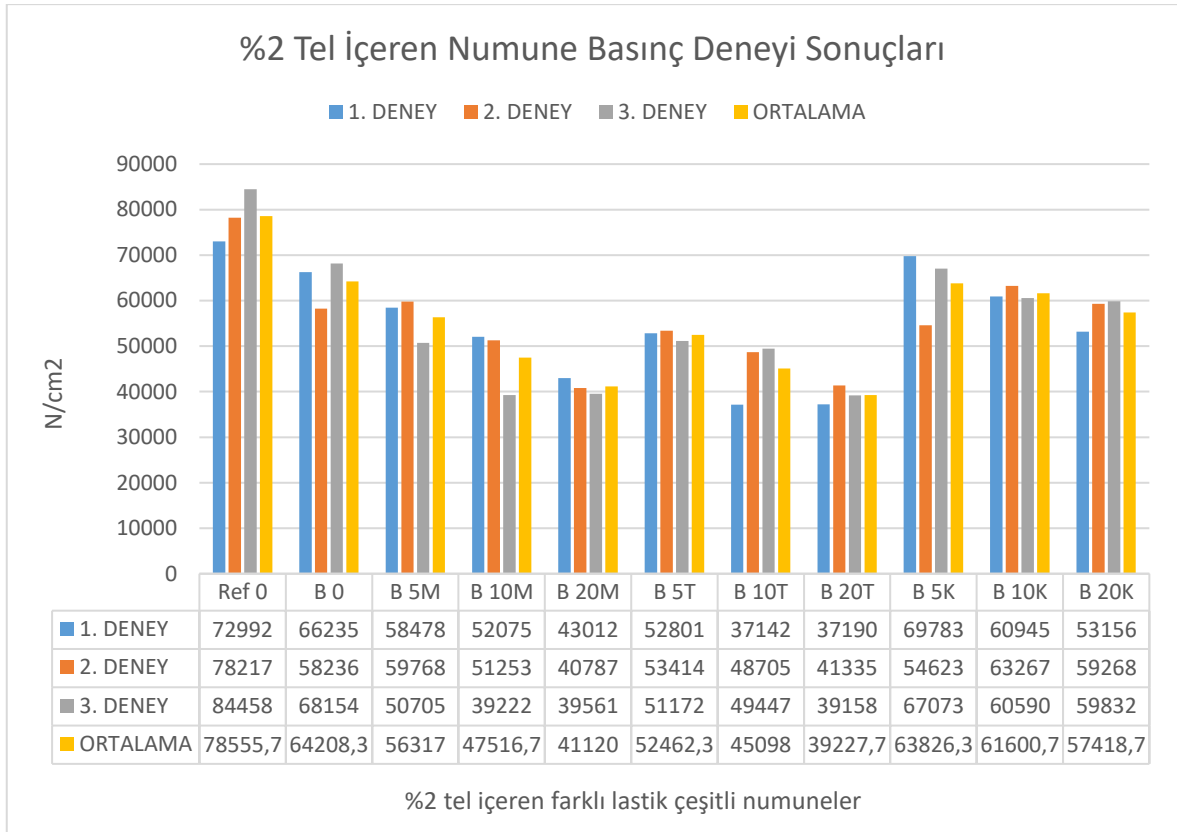
**Şekil 4.16.** Atık tel bulunmayan atık lastik katkılı numunelerin deney sonuçları

Şekil 4.16 incelendiğinde tel kullanılmadan çeşitli lastik katkılı numunelerin deney sonucu verdikleri değerlerin, katkısız referans numunesi değerinden daha az çıktığı gözlemlenmektedir. Tel kullanılmadan elde edilen veriler ışığında elde edilen veriler lastik katkılı numunelerden elde edilememiştir. Toz olarak adlandırılan en küçük tane yarıçaplı lastik katkılı numunelerde diğer numunelere göre en düşük dayanım değerleri elde edilmiştir. Ek olarak grafiği incelediğimizde karışıma eklenen katkı maddesinin türü ne olursa olsun eklenen katkı maddesinin eklenme yüzdesi arttıkça dayanımda daha fazla azalma meydana geldiği çıkmaktadır. Kullanılan atık lastiğin dane boyutu arttıkça elde edilen değerlerde de artış gözlemlenmiştir ama elde edilen bu sonuçlar referans numunesi değerlerine ulaşamamıştır. İstisna olarak %5 oranında kuşbaşı türündeki atık lastik eklenen numunenin referans değerlerinden daha yüksek dayanımlar elde edildiği görülmüştür.



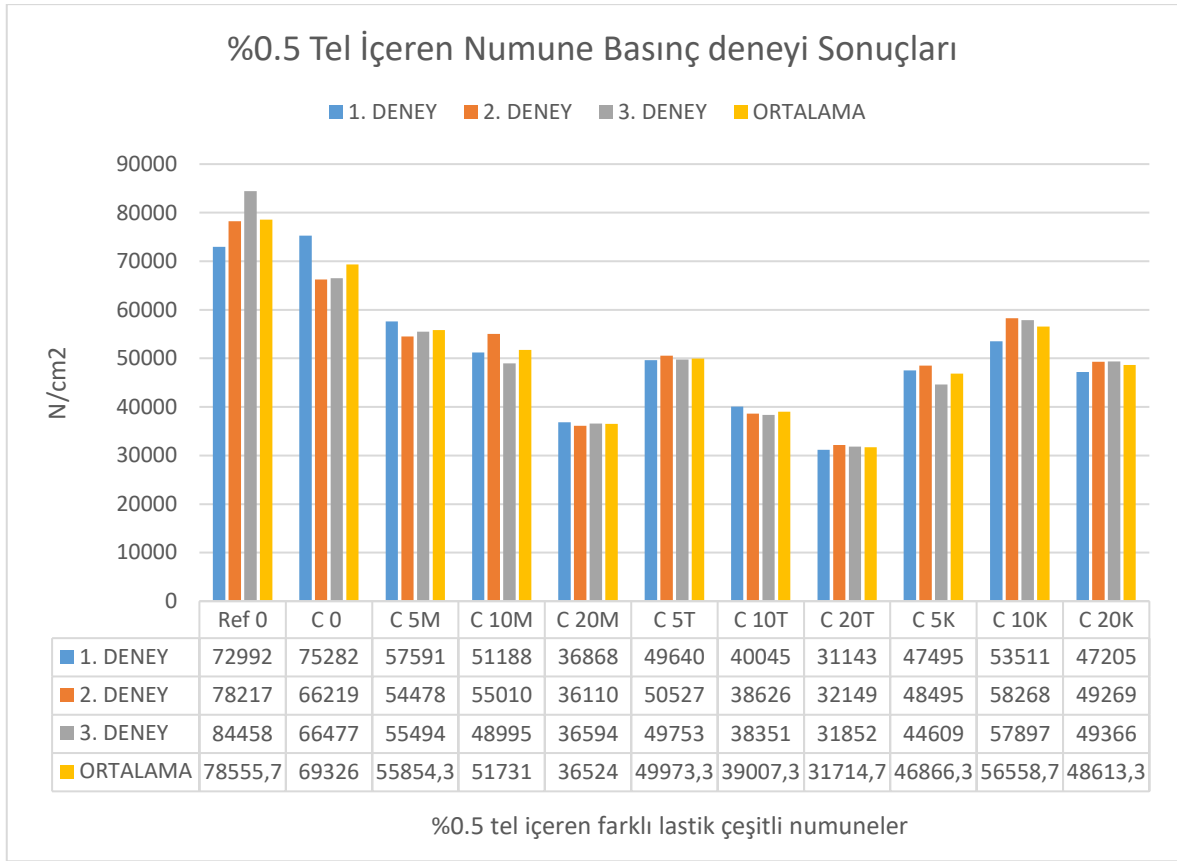
**Şekil 4.17.** %1 atık tel içeren farklı lastik çeşitli deney numune sonuçları

Şekil 4.17 incelendiğinde %1 tel katılarak oluşturulan numunelerin de tel kullanılmadan oluşturulmuş numuneler gibi deney sonuçlarında referans numunesinden daha az dayanıma sahip numunelerin olduğu tespit edilmiştir. Tel kullanılmadan elde edilen referans numunesi ile sadece atık lastik kullanılmadan %1 tel kullanılan numune karşılaştırıldığında aralarında fazla bir farkın olmadığı ama yine de elde edilen değerlerin referans değerlerinden daha az olduğu görülmüştür. Atık telin kullanılması ile atık lastikte kullanıldığında, atık lastik kullanılmayan durumlara göre olumsuz gelişmeler olduğu tespit edilmiştir ama %5 oranında mercimek türü atık lastik kullanıldığı zaman referans numunesine en yakın sonuç elde edilmiştir. En olumsuz sonuç %20 oranında toz türü atık lastik kullanıldığında elde edilmiştir.



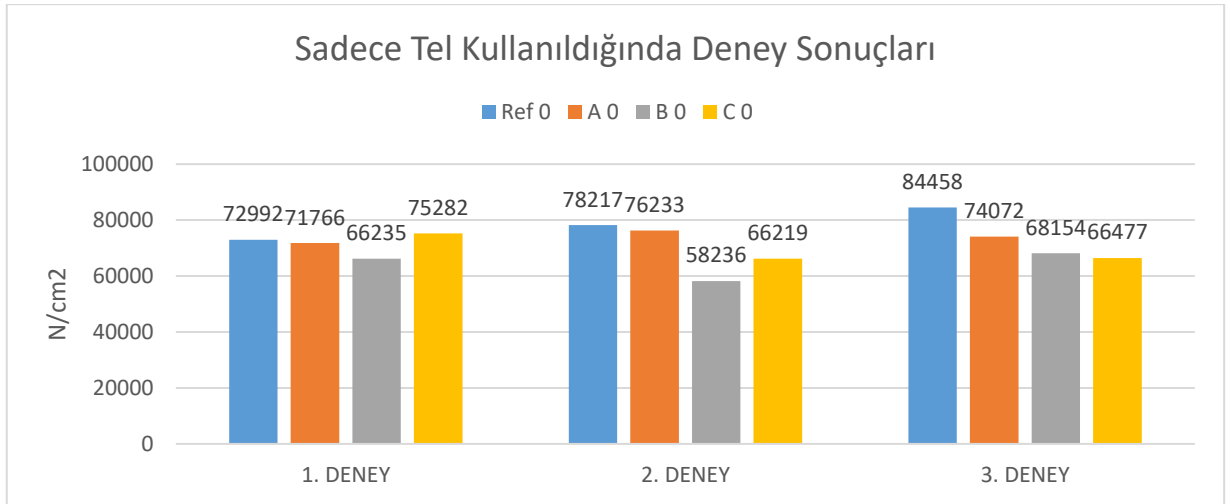
**Şekil 4.18.** %2 atık tel içeren farklı lastik çeşitli deney numune sonuçları

Şekil 4.18 incelendiğinde %2 tel katılarak oluşturulan numunelerin de tel kullanılmadan oluşturulmuş numuneler ve %1 tel kullanılan numuneler gibi deney sonuçlarında referans numunesinden daha az dayanıma sahip numunelerin olduğu tespit edilmiştir. Katkı maddesi eklenmemiş referans numunesi ile sadece atık lastik kullanılmadan %2 tel kullanılan numune karşılaştırıldığında, %1 tel kullanılan numuneden daha kötü sonuçlar elde edilmiştir. %2 atık tel kullanıldığı zaman genel olarak elde edilen numunelerin hepsinde %1 atık tel kullanılan numunelere göre daha kötü sonuçlar elde edilmesine rağmen %2 atık tel ile beraber %5 oranında kuşbaşı türü atık lastik kullanıldığı zaman %1 atık teldeki %5 kuşbaşı türünden daha iyi sonuç elde edilmiş hatta %5 oranında kuşbaşı türü atık lastikten elde edilen değer, sadece tel eklenmiş numune ile aynı sonuçları verdiği gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.19.** %0.5 atık tel içeren farklı lastik çeşitli deney numune sonuçları

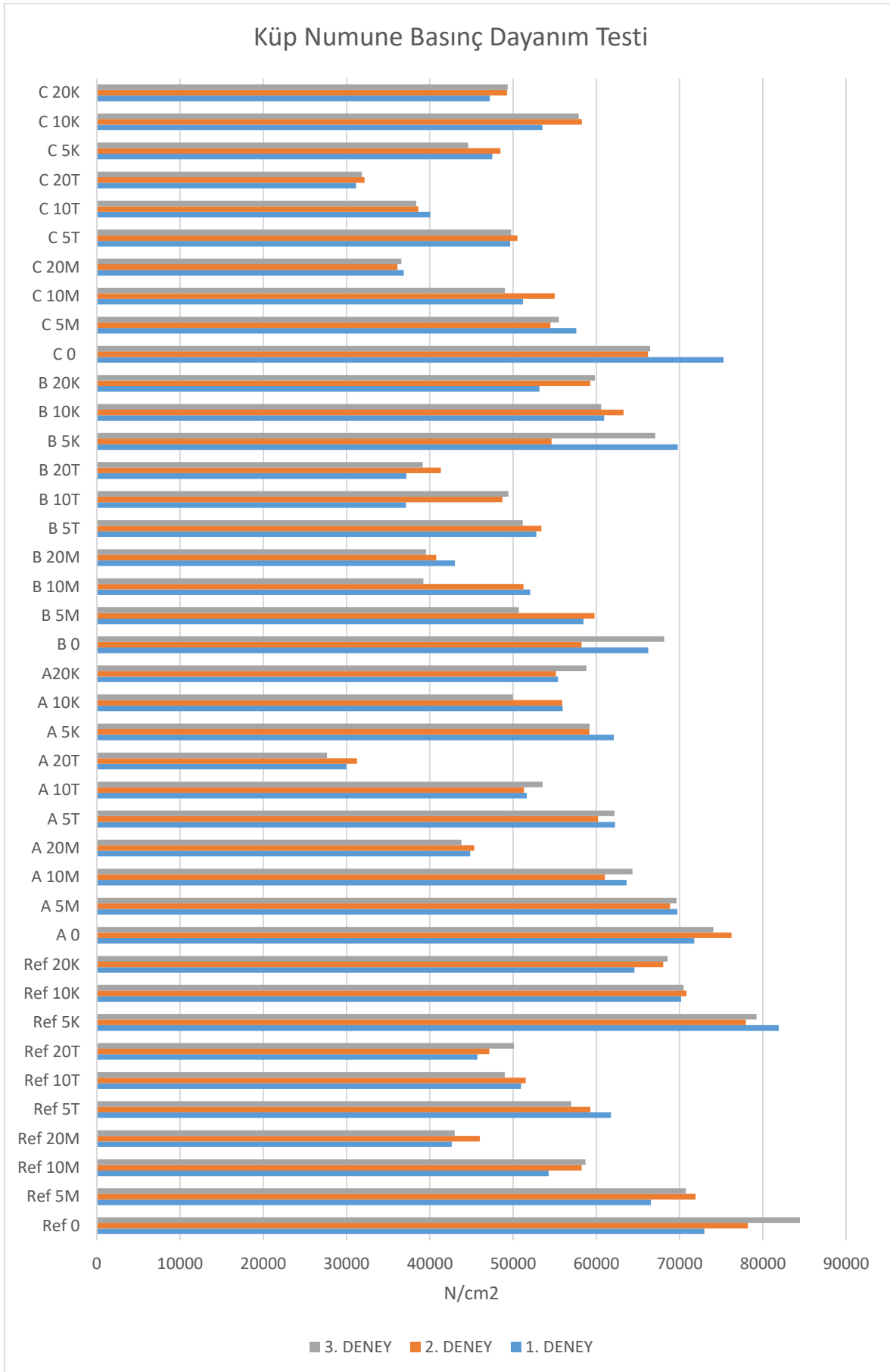
Şekil 4.19 incelendiğinde %0.5 tel katılarak oluşturulan numunelerin de tel kullanılmadan oluşturulmuş numuneler ve diğer tel kullanılarak oluşturulan numuneler gibi deney sonuçlarında referans numunesinden daha az dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir. %0.5 oranında tel kullanımı %2 oranında tel kullanımına benzer özellikler sergilemektedir. Atık telin kullanılması ile atık lastikte kullanıldığında, atık lastik kullanılmayan durumlara göre olumsuz gelişmelerin olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan lastik atığının dane boyutu arttıkça elde edilen deney sonuçlarında da artış gözlemlenmiştir ama elde edilen bu sonuçlar referans numunesi değerlerine ulaşamamıştır.



**Şekil 4.20.** Atık lastik kullanılmadan sadece % olarak tel kullanımı durumunda deney sonuçları

Şekil 4.20 incelendiğinde deney numunelerinde sadece tel kullanıldığında referans numune ile karşılaştırılma durumu daha iyi görülebilir. Numunelere katılan tel oranını ne kadar arttırsak o kadar dayanımdan kaybedebileceğimizi düşünsek %0.5 oranında numunelere atık tel eklediğimizde %2 oranında eklenenden daha iyi sonuçlar alınmıştır. Hiç atık tel katılmamış referans numunesi diğer sonuçlardaki gibi yine en iyi sonucu vermektedir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde referans numunesi en iyi sonucu vermekte ardından %1 tel oranlı numune, %0.5 tel oranında numune ve en son olarak %2 tel oranlı numune gelmektedir.

Şekil 4.21 incelendiğinde bütün küp numune sonuçlarını değerlendirdiğimizde istisnai durumlar gözlemlense bile genel olarak atık lastik ve tel oranları arttıkça istenilen dayanım değerlerinde uzaklaşıldığı görülmektedir. Tel kullanımında %1 oranı referans numunenin değerlerine yakın değerler görülse bile, %2 ve %0.5 oranlarında çok ani kayıplar yaşanmaktadır.



**Şekil 4.21.** Bütün küp numunelerin deney sonuçları

#### 4.2.2 Silindir numune sonuçları

Belirtilen karışım oranlarında hazırlanan 10x20 cm boyutlarındaki silindir numuneler çekme dayanımlarının belirlenmesi ve lastik ve/veya tel kullanmadan üretilen numuneler ile olan farkın karşılaştırılması için yarma testine tabi tutuldu. Kırım işleminden sonra test sonuçları ve numunelerdeki çatlak oluşumu gözlemlenerek gerekli notlar edinildi.



Şekil 4.22. Referans (katkısız) numune



Şekil 4.23. Mercimek türü atık lastik katkıli numune

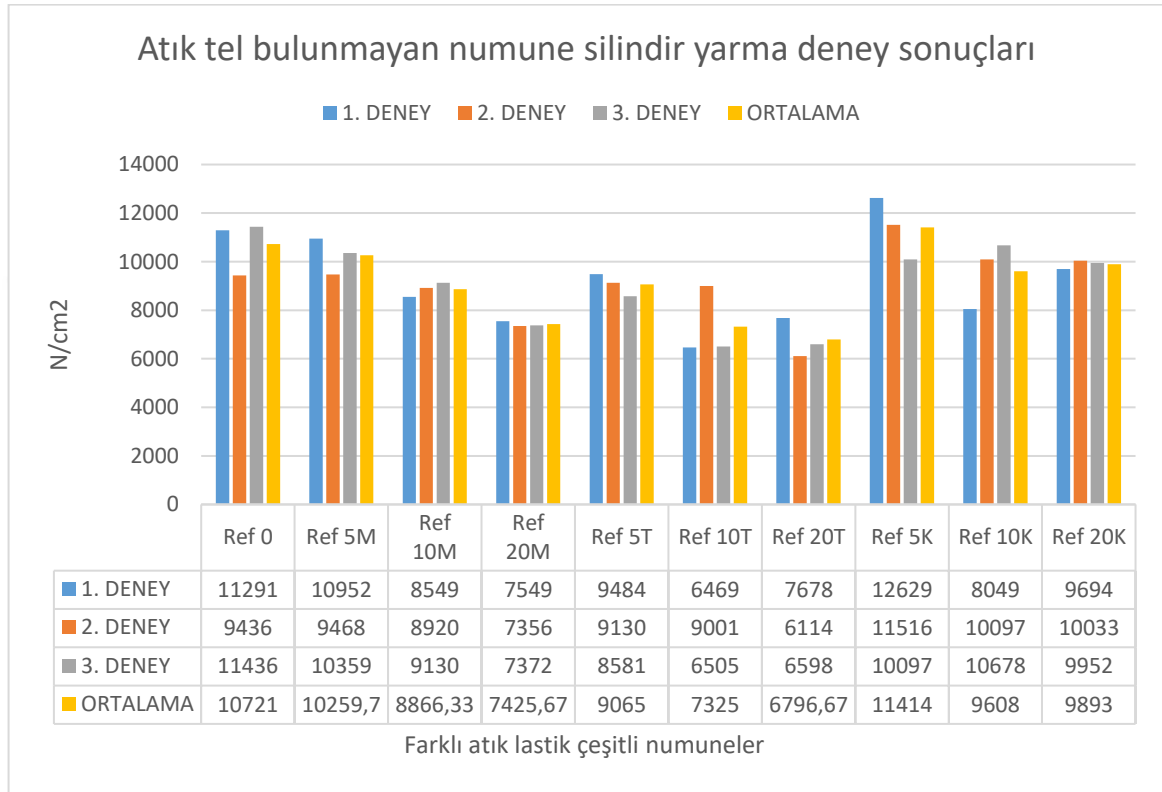


Şekil 4.24. Toz türü atık lastik katkıli numune



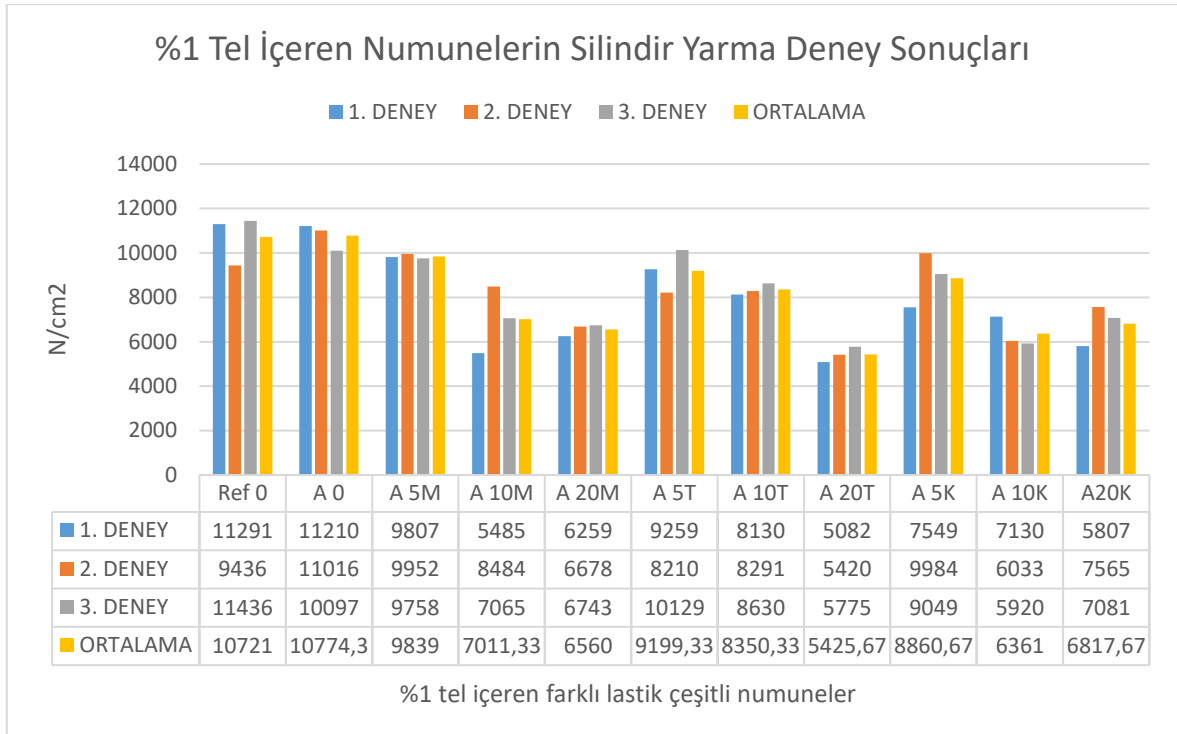
Şekil 4.25. Kuşbaşı türü katkıli numune

Silindir numuneler kırıldıktan sonra incelendiğinde katkısız ve atık lastik türlerinin dağılımı Şekil 4.22, 4.23, 4.24 ve 4.25’de gösterilmiştir. Kuşbaşı türü atık lastiğin dane boyutunun büyük olması nedeniyle diğer numune türlerine göre en olumsuz yönde homojen olmayan dağılım gerçekleştirdiği görülmektedir.



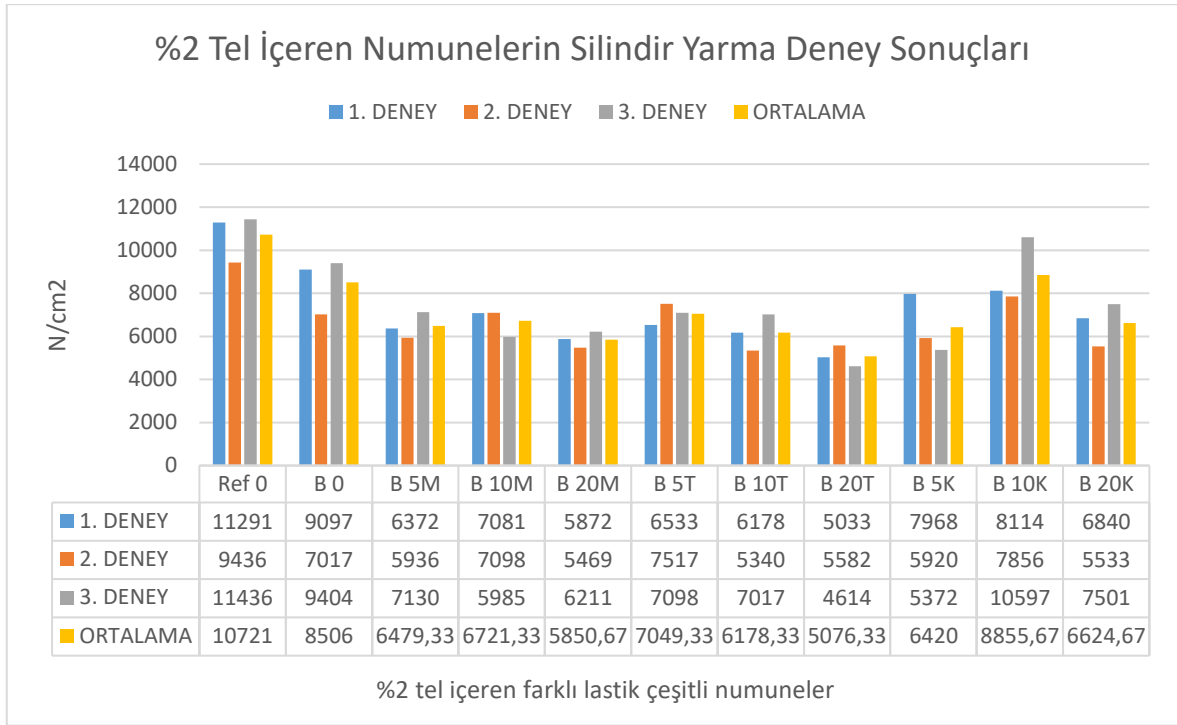
**Şekil 4.26.** Atık tel bulunmayan atık lastik katkılı numunelerin silindir yarma deney sonuçları

İçerisinde atık tel bulunmadan sadece atık lastik katılarak oluşturulmuş numunelerin çekme dayanımları Şekil 4.26’de incelendiğinde daha düşük oranda değişimler görülmüş genel olarak referans numunesine yakın değerler elde edilmiştir. %10 ve %20 oranında toz türü atık lastik kullanıldığında en düşük sonuçlar gözlenmiş, %5 oranında kuşbaşı türü atık lastik kullanıldığında referans numunesinden daha iyi sonuçların elde edildiği görülmüştür.



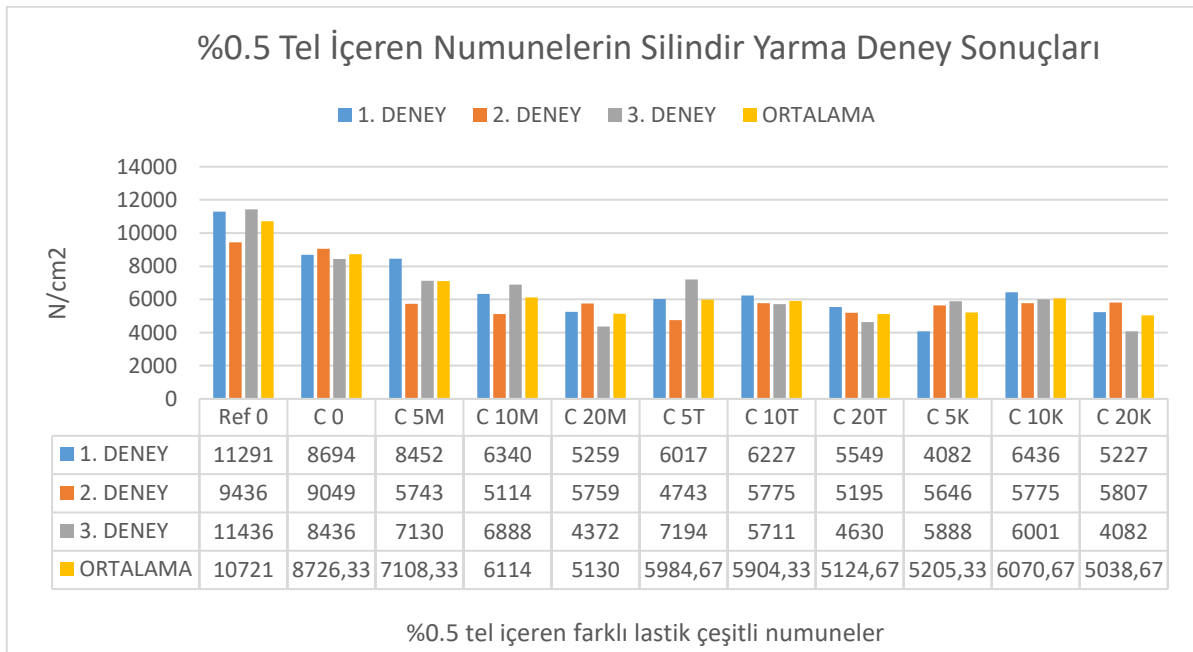
**Şekil 4.27.** %1 atık tel içeren farklı lastik çeşitli deney numune sonuçları

Şekil 4.27 incelendiğinde numunelerin içerisine atık tel katıldığında deney sonuçlarında farklılıklar görülmüştür. Atık telin eklenmesi ve atık lastik kullanılmayan numunelerde ortalama olarak referans numunesine yakın değerler elde edilmiş, numunelere atık lastik eklenmesi ile çekme dayanımlarında azalmaların meydana geldiği görülmüştür. %1 atık tel ve %20 toz türü atık lastik kullanıldığında %50 meydana dayanımda azalmalar olduğu görülmüştür. Numunelerde atık lastik kullanım oranının artmasıyla dayanımda azalmalar olmuştur. Atık tel ve %5 oranında mercimek türü atık lastik kullanıldığında referans numunesine yakın dayanım değerleri elde edilmiş, kullanılan diğer oranlarda dayanımda düşümler meydana gelmiştir.



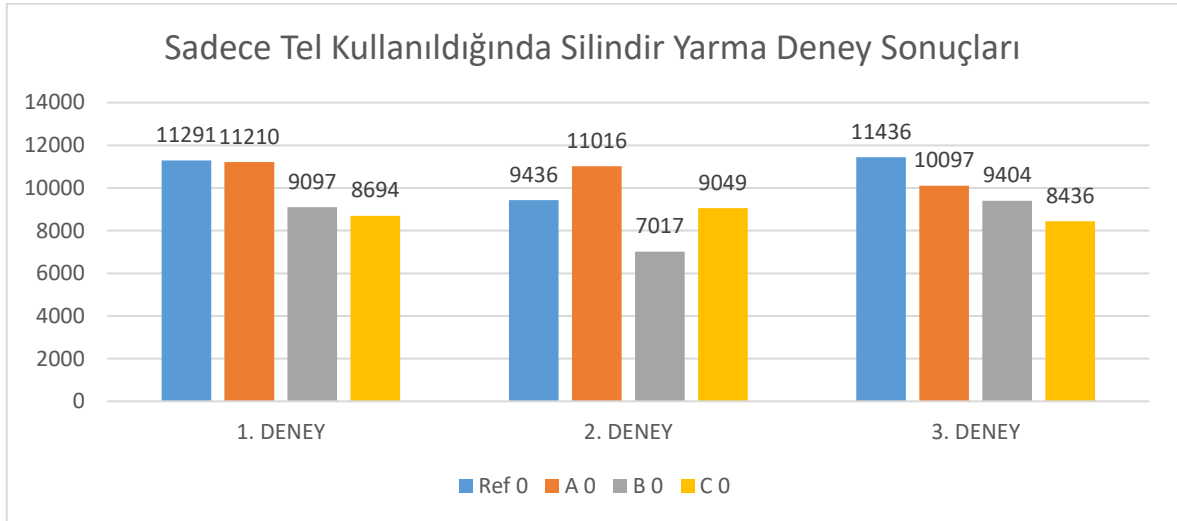
**Şekil 4.28.** %2 atık tel içeren farklı lastik çeşitli deney numune sonuçları

Şekil 4.28 incelendiğinde %1 oranında tel eklenen numunelerin benzer şekilde elde edilen numunelerin hepsinde dayanımdaki düşüşler göze çarpmaktadır. Sadece %2 tel kullanılan numune ile beraber %10 oranında kuşbaşı türü atık lastik kullanılan numunede yaklaşık %20 oranında kayıp gözlemlenmiş, diğ er numunelerde kayıpların daha fazla olduğu görülmüştür. %1 oranında tel eklenen numune deneylerindeki gibi en fazla dayanım kaybının %2 atık tel ile beraber %20 toz türü atık lastik kullanıldığında elde edilmiştir.



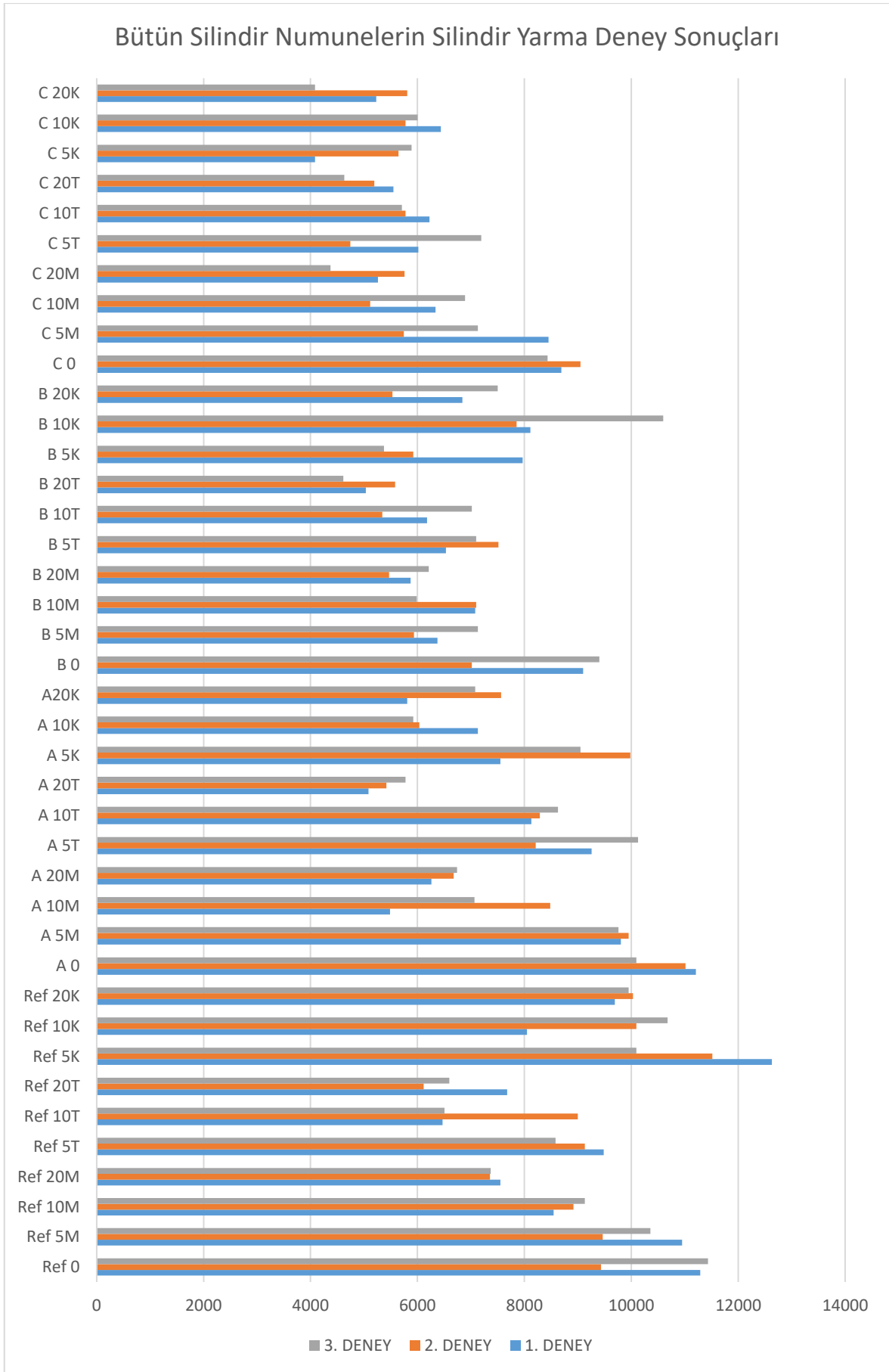
**Şekil 4.29.** %0.5 atık tel içeren farklı lastik çeşitli deney numune sonuçları

Şekil 4.29 incelendiğinde karşımıza Şekil 4.28'a benzer sonuçlar çıkmaktadır. %1 ve %2 oranında tel eklenen numunelere benzer şekilde elde edilen numunelerin hepsinde dayanımda düşüşler olmuştur. Şekil 4.28'den farklı olarak sadece %0.5 tel kullanılan numunede yaklaşık %20 oranında kayıp gözlemlenmiş, diğer numunelerde kayıpların daha fazla olduğu görülmüştür. En fazla dayanım kaybının %0.5 atık tel ile beraber %20 toz, mercimek ve kuşbaşı atık lastik kullanılan numunelerde elde edilmiştir.



**Şekil 4.30.** Atık lastik kullanılmadan sadece % olarak tel kullanımı durumunda silindir yarma deney sonuçları

Şekil 4.30'da atık lastik eklenen numunelerde gözlemlenen sonuçların aksine dayanımdaki düşüşler sadece yaklaşık olarak %10 civarında kalmıştır. Atık lastik kullanımı ile düşüşler %50 oranını bulabilmektedir. Referans numunesine en yakın dayanımı %1 tel kullanımında görülmüştür. En kötü performans ise %0.5 oranında tel kullanıldığında elde edilmiştir.



**Şekil 4.31.** Bütün silindir numunelerin deney sonuçları

Şekil 4.31’de belirtilen bütün deneyin sonuçları incelendiğinde sadece atık tel kullanılmadan %5 kuşbaşı türü atık lastik kullanılan numuneler ve sadece %1 atık tel kullanılan numuneler, referans numunesinden (hiçbir katkı numunesi kullanılmamış numune) daha iyi sonuçlar vermektedir. Atık tel kullanılmadan %5 oranında mercimek türü atık lastik kullanılan numunelerde, atık tel kullanılmadan %20 oranında kuşbaşı türü atık lastik kullanılan numunelerde ve %1 atık tel ve %5 mercimek türü atık lastik kullanılan numunelerde referans numunesine yakın değerler gözlemlenmiştir. Diğer numunelerden elde edilen değerlerin hepsi referans numunesinden daha düşük sonuçlardır. Özellikle %1 atık tel ve %20 toz türü atık lastik numunesinde, %2 atık tel ve %20 toz türü atık lastik numunesinde ve %0.5 atık tel ile beraber %20 toz, mercimek ve kuşbaşı atık lastik kullanılan numunelerin hepsinde yaklaşık olarak dayanım kaybının %50 oranında olduğu gözlemlenmiştir.

#### **4.2.3 Küçük kiriş numune sonuçları**

10x10x40 ebatlarında hazırlanan küçük kiriş olarak adlandırılan numuneler eğilmede çekme dayanım değerlerinin öğrenilmesi için deney düzeneğine hazırlanarak deneylere başlanılmıştır. Gerekli gözlemler yapılarak notlar alındı ve sonuçların değerlendirilmesine geçildi.

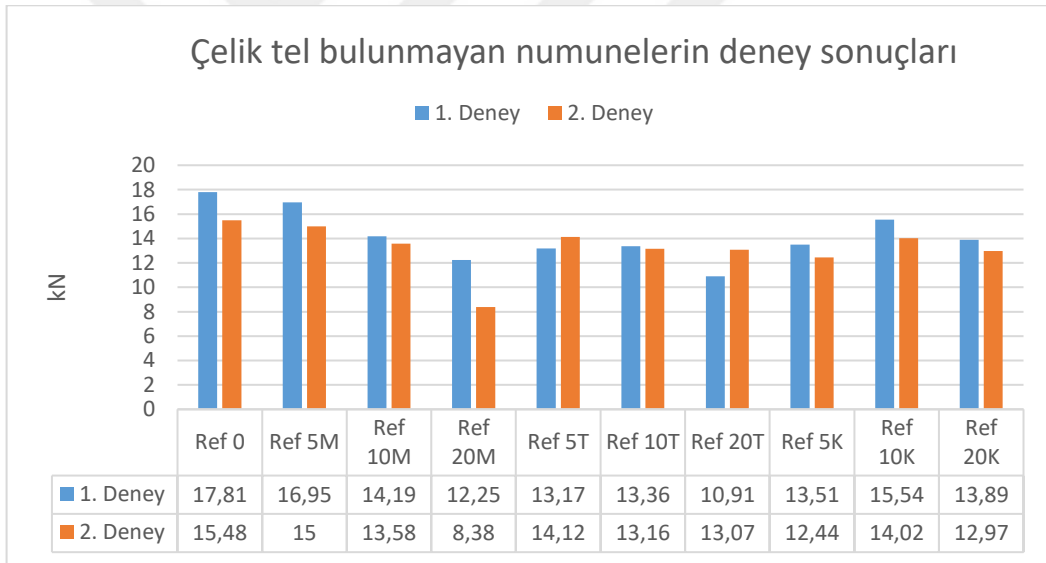
Küçük kiriş numunelerinde küp numunelere benzer fiziksel özellikler gözlemlenmiştir. Hiçbir katkı maddesi kullanılmayan numuneler kırıldıktan sonra birden fazla parçaya ayrılırken, katkılı numuneler kırıldıktan sonra bir arada kalmayı başarabilmiştir. Bu sonuçtan da küp numune sonuçlarına benzer şekilde atık lastik ve atık tel kullanımının numunelerin bir arada kalmasını sağlayarak kırımdan sonra bile numunelerin fazla dağılmadığı ve etrafa saçılmaların olmadığı gözlemlenerek tekrardan dayanım gerekmeyen durumlarda olumsuz koşullar altında katkılı numunelerin kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.



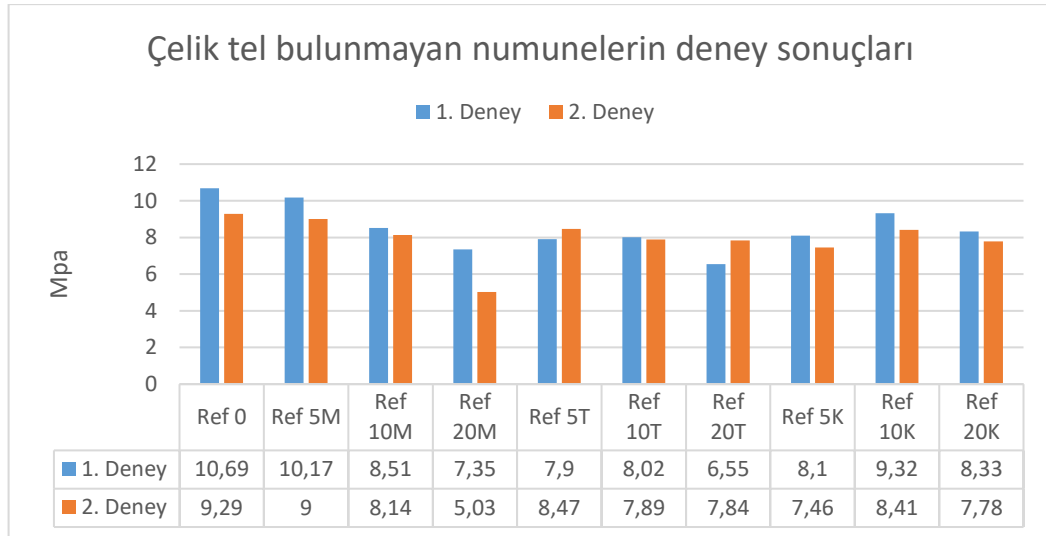
Şekil 4.32. Katkısız küçük kiriş numune



Şekil 4.33. Atık lastik ve tel eklenmiş küçük kiriş numune

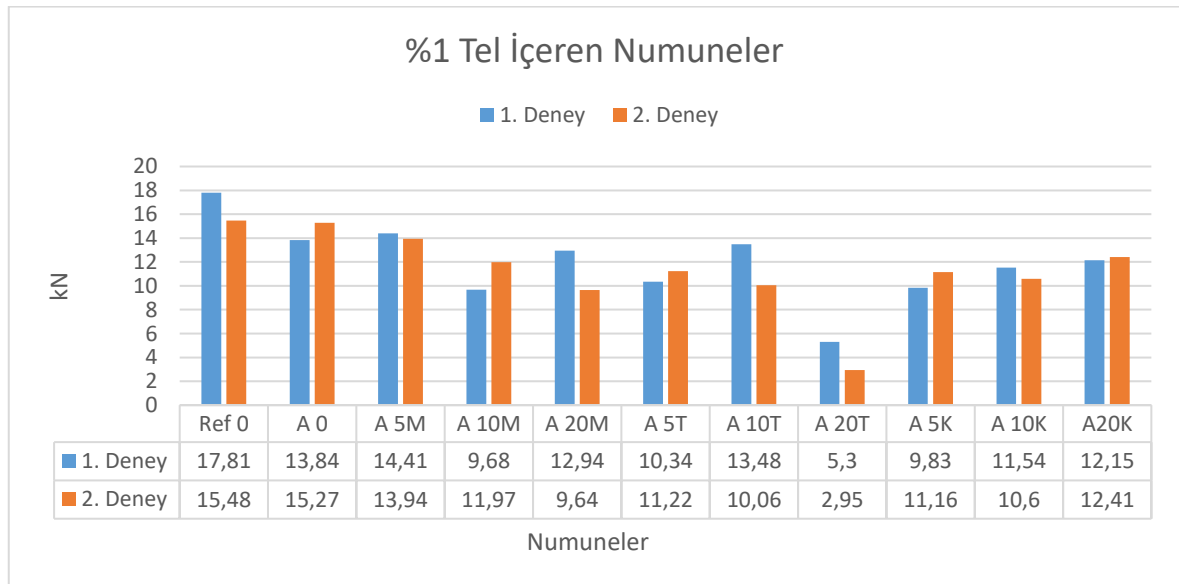


Şekil 4.34. Sadece atık lastik kullanılan numunelerin maksimum yük sonuçları

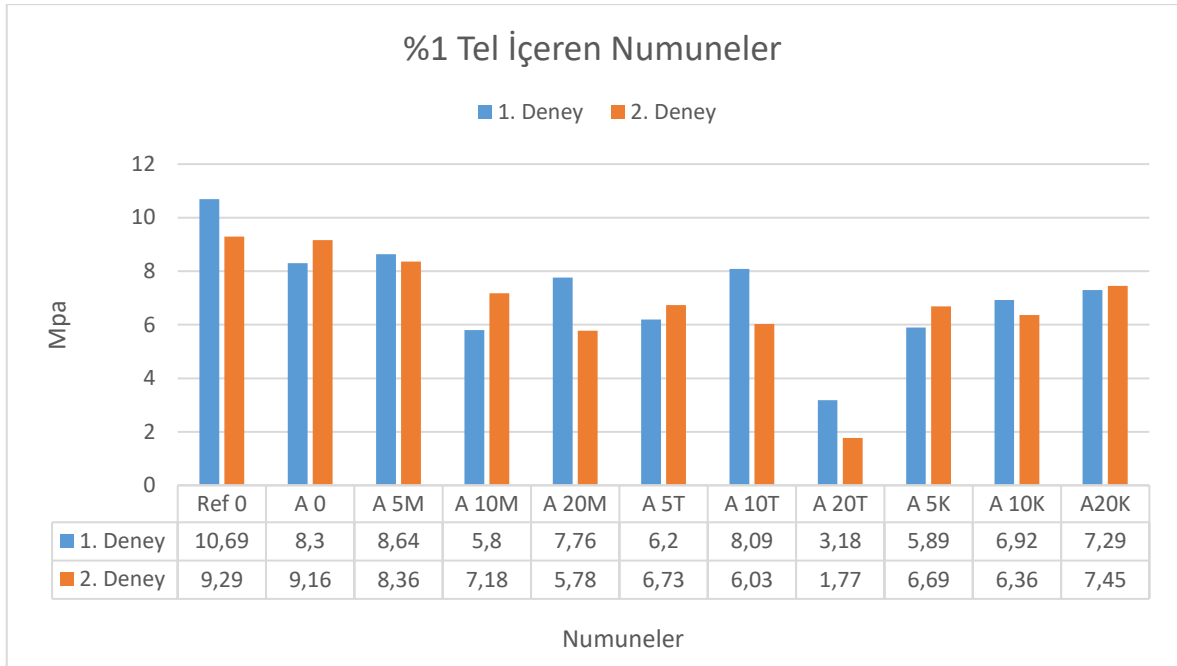


**Şekil 4.35.** Sadece atık lastik kullanılan numunelerin maksimum mukavemet sonuçları

Şekil 4.34 ve 4.35 incelendiğinde atık tel kullanılmadan sadece atık lastik katılmış numuneleri referans numunesi ile karşılaştırdığımızda eğilme dayanımları olarak kayıplar görmekte olsak bile genel olarak ulaştığımız sonuçların referans numunesinden aralarında fazla fark olmadığını görüyoruz. Diğer sonuçlara benzer şekilde kullanılan atık lastik oranının artması dayanımda azalma miktarı artışı ile orantılı olduğunu görmekteyiz. Bu durumun istisnası olarak %10 kuşbaşı türü atık lastik katkılı numuneyi gösterebiliriz. En iyi sonucu %5 mercimek türü atık lastik katkılı numuneden sonra %10 kuşbaşı türü atık lastik katkılı numuneyi söyleyebiliriz. Bu deneyin sonuçlarında hiçbir numune referans numunenin eğilme dayanım sonuçlarını geçememiştir. En iyi sonuç %5 kayıpla %5 oranında mercimek türü atık lastik katkılı numuneden elde edilmiştir.

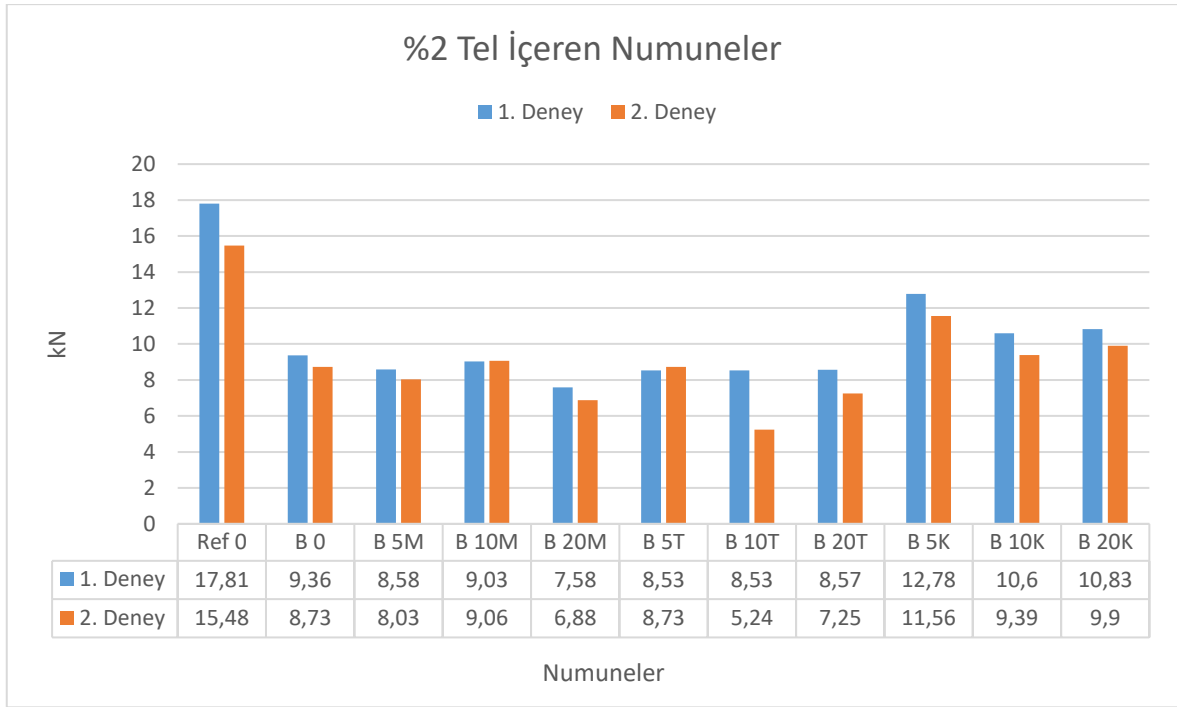


**Şekil 4.36.** %1 tel kullanılan numunelerin maksimum yük sonuçları

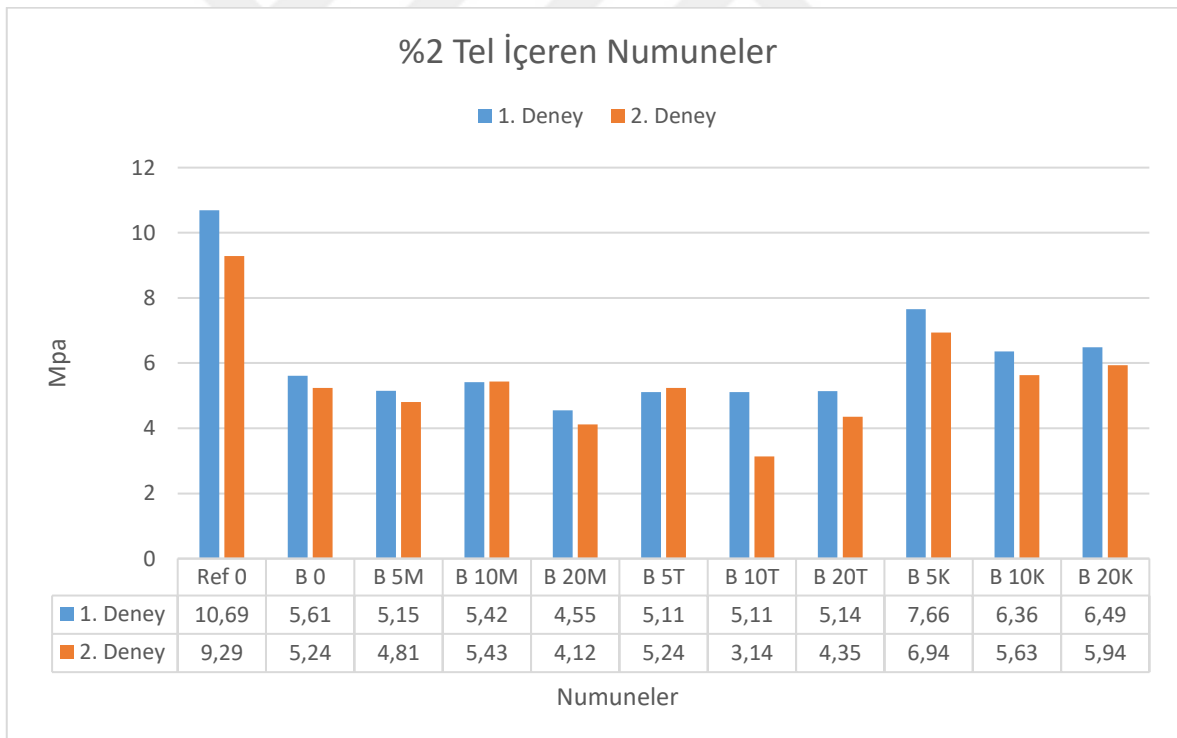


**Şekil 4.37.** %1 tel kullanılan numunelerin maksimum mukavemet sonuçları

Şekil 4.36 ve 4.37 incelendiğinde numunelere atık tel eklendiği zaman dayanım kayıplarının eklenmediği zamana göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Atık tel kullanılmayan numunelerde olduğu gibi hiçbir numune yine dayanımda referans numunesini geçememiştir. %1 atık tel kullanımı ile birlikte %20 toz türü atık lastik kullanıldığı zaman %70 oranında dayanım kayıpları gözlemlenmiştir. Atık lastik kullanımı oranı arttığı zaman dayanımda daha önce yapılan deneylerde görüldüğü gibi dayanım kayıplarında lineer bir azalma olmamıştır. Genel olarak sadece %1 tel kullanılan numunede ve %1 tel ile %5 mercimek türü atık lastik kullanılan numune haricinde diğer numunelerde dayanım kayıpları katkı maddesi kullanılmamış referans numunesine göre fazla olmuştur.



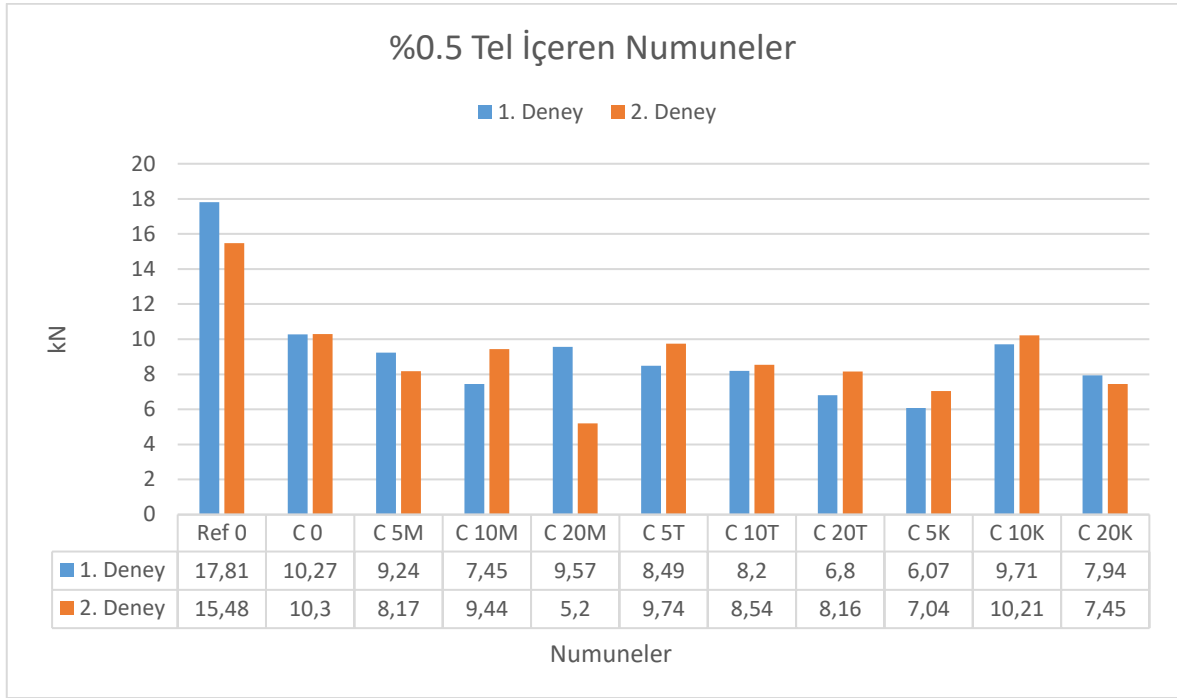
**Şekil 4.38.** %2 tel kullanılan numunelerin maksimum yük sonuçları



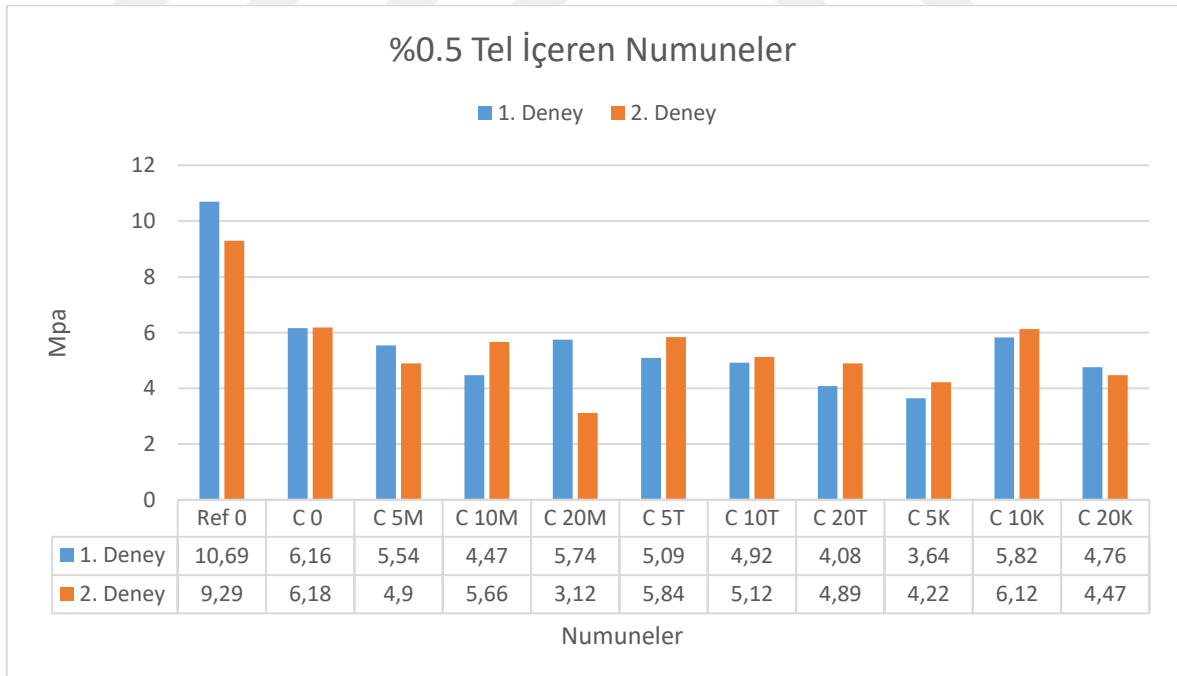
**Şekil 4.39.** %2 tel kullanılan numunelerin maksimum mukavemet sonuçları

Şekil 4.38 ve 4.39 incelendiğinde %2 oranında atık tel kullanıldığı zaman numunelerin neredeyse hepsinde %50'ye yakın dayanım kayıpları gözlemlenmiştir. İstisna olarak %2 atık tel ile beraber %5 oranında kuşbaşı türü dane boyutu büyük atık lastik kullanıldığı zaman eğilme dayanımında kayıp %30 civarlarındadır. Kuşbaşı türü atık lastik

kullanılan numuneler diğer numunelerden, atık lastik kullanılmadan sadece atık tel ile oluşturulan numuneler de dahil olmak üzere, daha iyi sonuçlar vermektedirler.

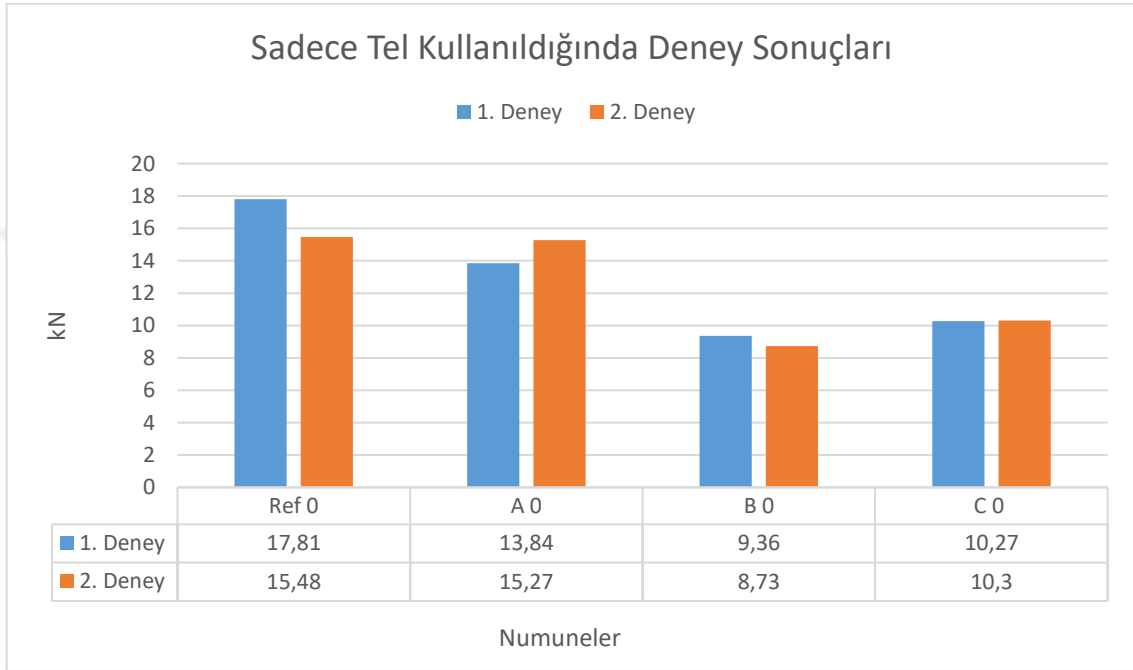


**Şekil 4.40.** %0.5 tel kullanılan numunelerin maksimum yük sonuçları

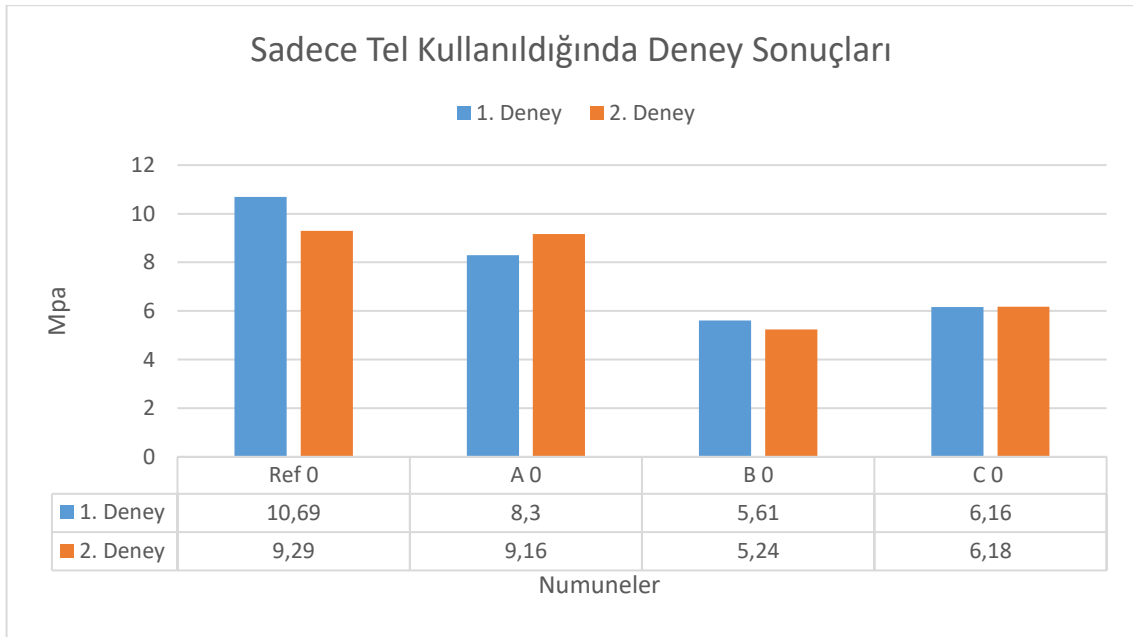


**Şekil 4.41.** %0.5 tel kullanılan numunelerin maksimum mukavemet sonuçları

Şekil 4.40 ve 4.41 incelendiğinde %0.5 oranında atık tel kullanıldığı zaman numunelerin neredeyse hepsinde %2 oranında atık tel kullanılan numunelere benzer şekilde %50'ye yakın dayanım kayıpları gözlemlenmiştir. %2 atık tel ile %5 kuşbaşı türü atık kullanıldığında referans numunesine en yakın sonuç elde edildiğinin aksine %0.5 atık tel ile %5 oranında kuşbaşı türü atık lastik kullanıldığı zaman dayanım kayıplarındaki en kötü sonuç elde edilmektedir.

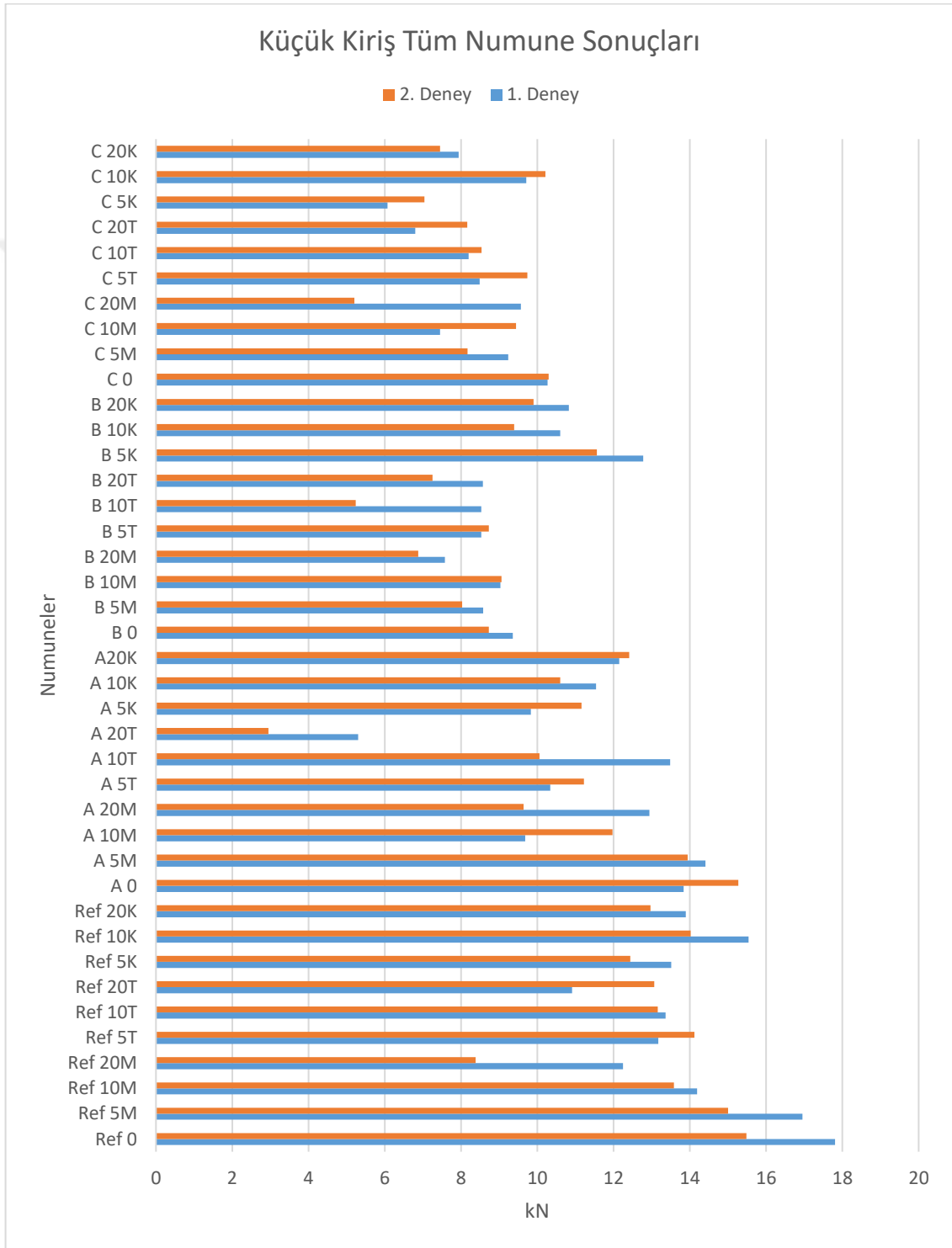


**Şekil 4.42.** Sadece tel kullanılan numunelerin maksimum yük sonuçları

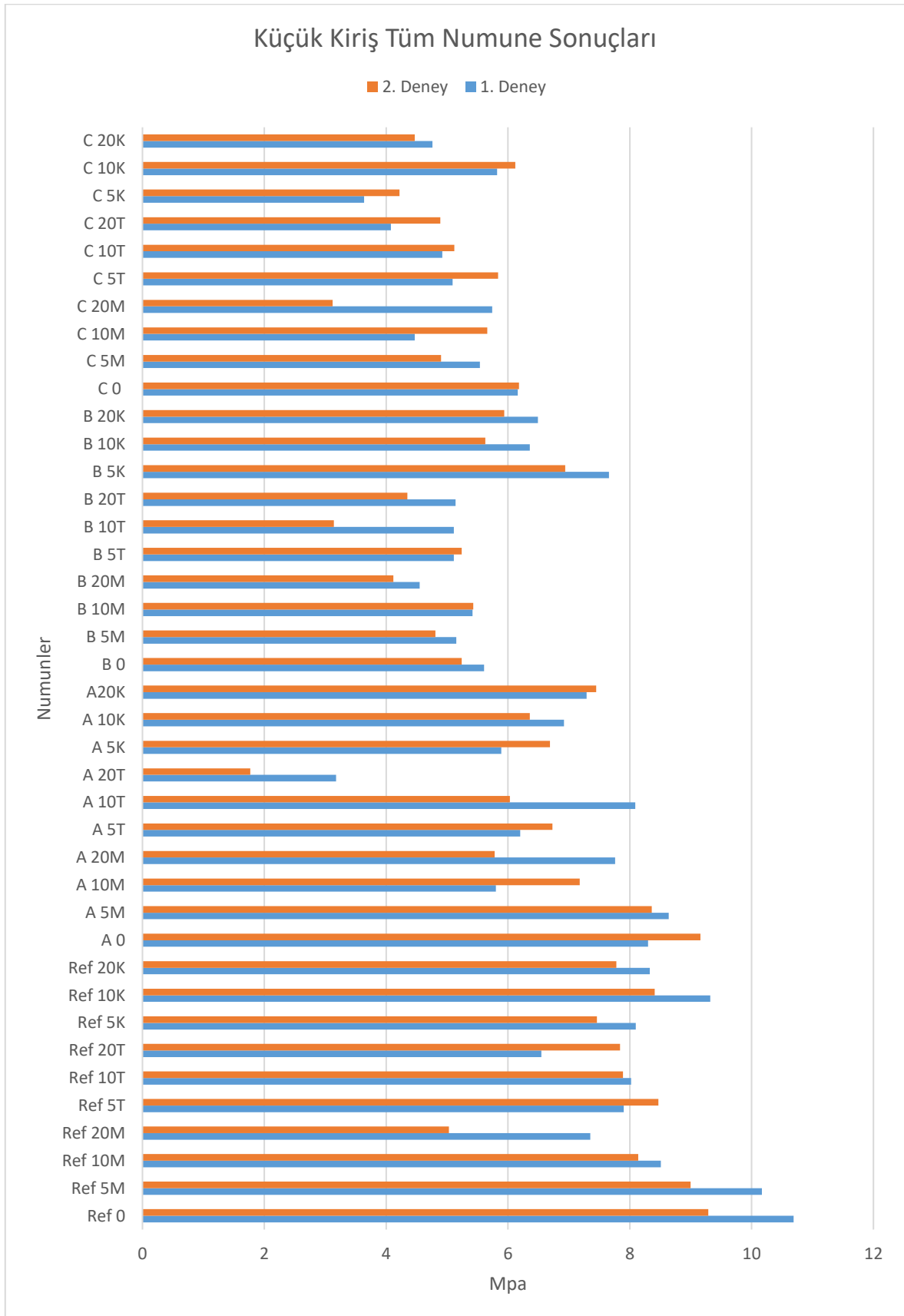


**Şekil 4.43.** Sadece tel kullanılan numunelerin maksimum mukavemet sonuçları

Numuneleri sadece atık tel ile kıyasladığımız Şekil 4.42 ve 4.43 incelendiğinde atık tellerin numunelere katılmasıyla eğilme dayanımında azalmalar meydana gelmiştir. Tel oranının artmasıyla azalmalarda lineer bir azalma göstermemekte, %2 tel oranlı numuneler en düşük dayanım değerlerini vermektedirler. %2 tel oranlı numunelerdeki kayıp yaklaşık olarak %50 civarında olmaktadır.



**Şekil 4.44.** Tüm numunelerin maksimum yük sonuçları



Şekil 4.45. Tüm numunelerin maksimum mukavemet sonuçları

Küçük kiriş olarak adlandırılan 10x10x40 ebatlarındaki atık tel ve lastik katılarak oluşturulmuş numunelerin tüm kombinasyonlarının görüldüğü Şekil 4.44 ve 4.45 incelendiğinde elde edilen sonuçların hiçbiri referans numunesinden daha iyi sonuçlar vermemiştir. Özellikle %1 oranın tel kullanılan ve %20 toz türü dane boyutu en küçük atık lastik katılan numunede %70 oranında dayanım kaybı gözlenerek en olumsuz sonuç elde edilmiştir. Tel kullanılmadan sadece atık lastik kullanılan numuneler genel olarak tel kullanılan diğer numunelere göre daha iyi sonuçlar vermişlerdir. Tel kullanılan numuneler arasında ise %2 tel kullanımında en olumsuz sonuçlar elde edilmiştir. %2 tel kullanılan numunelerde kuşbaşı türü atık lastik kullanıldığı zaman diğer atık lastik türlerine göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir atık lastik türü katılmamış numune dahil olarak bile.

#### 4.2.3 Büyük kiriş numune sonuçları

10x15x100 boyutlarında hazırlanan büyük kiriş olarak adlandırılan kiriş numuneler belirlenen oranlardan gerekli kalıplama, numune içeriklerinin hazırlanması, karışımın oluşturulması, oluşturulan karışımın kalıplara dökülmesi, kalıplardaki numunenin gerekli sulama işleminin yapılarak 28 gün bekletilmesi, 28 günün sonunda hazır olan numunenin kırımının gerçekleştirilmesi için deney aletinin hazırlanması ve kırım işlemin gerçekleştirilmiştir.

Numune No	Çelik Tel Oranı	Lastik Oranı	Etriye Aralığı	Lastik Çeşidi
Ref 0-10	0%	0%	10	(yok)
Ref 0-16	0%	0%	16	(yok)
Ref 5M-10	0%	5%	10	Mercimek lastik
Ref 5M-16	0%	5%	16	Mercimek lastik
Ref 5T-10	0%	5%	10	Toz Lastik
Ref 5T-16	0%	5%	16	Toz Lastik
Ref 5K-10	0%	5%	10	Kuşbaşı Lastik
Ref 5K-16	0%	5%	16	Kuşbaşı Lastik
Ref 10M-10	0%	10%	10	Mercimek lastik
Ref 10M-16	0%	10%	16	Mercimek lastik
Ref 10T-10	0%	10%	10	Toz Lastik
Ref 10T-16	0%	10%	16	Toz Lastik
Ref 10K-10	0%	10%	10	Kuşbaşı Lastik
Ref 10K-16	0%	10%	16	Kuşbaşı Lastik
Ref 20M-10	0%	20%	10	Mercimek lastik
Ref 20M-16	0%	20%	16	Mercimek lastik
Ref 20T-10	0%	20%	10	Toz Lastik

Ref 20T-16	0%	20%	16	Toz Lastik
Ref 20K-10	0%	20%	10	Kuşbaşı Lastik
Ref 20K-16	0%	20%	16	Kuşbaşı Lastik
A 0-10	1%	0%	10	(yok)
A 0-16	1%	0%	16	(yok)
A 5M-10	1%	5%	10	Mercimek lastik
A 5M-16	1%	5%	16	Mercimek lastik
A 5T-10	1%	5%	10	Toz Lastik
A 5T-16	1%	5%	16	Toz Lastik
A 5K-10	1%	5%	10	Kuşbaşı Lastik
A 5K-16	1%	5%	16	Kuşbaşı Lastik
A 10M-10	1%	10%	10	Mercimek lastik
A 10M-16	1%	10%	16	Mercimek lastik
A 10T-10	1%	10%	10	Toz Lastik
A 10T-16	1%	10%	16	Toz Lastik
A 10K-10	1%	10%	10	Kuşbaşı Lastik
A 10K-16	1%	10%	16	Kuşbaşı Lastik
A 20M-10	1%	20%	10	Mercimek lastik
A 20M-16	1%	20%	16	Mercimek lastik
A 20T-10	1%	20%	10	Toz Lastik
A 20T-16	1%	20%	16	Toz Lastik
A 20K-10	1%	20%	10	Kuşbaşı Lastik
A 20K-16	1%	20%	16	Kuşbaşı Lastik
B 0-10	2%	0%	10	(yok)
B 0-16	2%	0%	16	(yok)
B 5M-10	2%	5%	10	Mercimek lastik
B 5M-16	2%	5%	16	Mercimek lastik
B 5T-10	2%	5%	10	Toz Lastik
B 5T-16	2%	5%	16	Toz Lastik
B 5K-10	2%	5%	10	Kuşbaşı Lastik
B 5K-16	2%	5%	16	Kuşbaşı Lastik
B 10M-10	2%	10%	10	Mercimek lastik
B 10M-16	2%	10%	16	Mercimek lastik
B 10T-10	2%	10%	10	Toz Lastik
B 10T-16	2%	10%	16	Toz Lastik
B 10K-10	2%	10%	10	Kuşbaşı Lastik
B 10K-16	2%	10%	16	Kuşbaşı Lastik
B 20M-10	2%	20%	10	Mercimek lastik
B 20M-16	2%	20%	16	Mercimek lastik
B 20T-10	2%	20%	10	Toz Lastik
B 20T-16	2%	20%	16	Toz Lastik

B 20K-10	2%	20%	10	Kuşbaşı Lastik
B 20K-16	2%	20%	16	Kuşbaşı Lastik
C 0-10	%0.5	0%	10	(yok)
C 0-16	%0.5	0%	16	(yok)
C 5M-10	%0.5	5%	10	Mercimek lastik
C 5M-16	%0.5	5%	16	Mercimek lastik
C 5T-10	%0.5	5%	10	Toz Lastik
C 5T-16	%0.5	5%	16	Toz Lastik
C 5K-10	%0.5	5%	10	Kuşbaşı Lastik
C 5K-16	%0.5	5%	16	Kuşbaşı Lastik
C 10M-10	%0.5	10%	10	Mercimek lastik
C 10M-16	%0.5	10%	16	Mercimek lastik
C 10T-10	%0.5	10%	10	Toz Lastik
C 10T-16	%0.5	10%	16	Toz Lastik
C 10K-10	%0.5	10%	10	Kuşbaşı Lastik
C 10K-16	%0.5	10%	16	Kuşbaşı Lastik
C 20M-10	%0.5	20%	10	Mercimek lastik
C 20M-16	%0.5	20%	16	Mercimek lastik
C 20T-10	%0.5	20%	10	Toz Lastik
C 20T-16	%0.5	20%	16	Toz Lastik
C 20K-10	%0.5	20%	10	Kuşbaşı Lastik
C 20K-16	%0.5	20%	16	Kuşbaşı Lastik

Çizelge 4.1. 10x15x100 ebadındaki kiriş numunelerin içerik bilgisi

Numuneler genel olarak değerlendirildiğinde kullanılan donatılarda etriye aralığı olarak 16 cm seçildiği zaman kirişlerde kesme çatlaklarının oluştuğu, etriye aralığı olarak 10 cm seçildiği zaman eğilme çatlaklarının oluştuğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.46. C 10K-16 isimli numune gözlemlenen kesme çatlakları



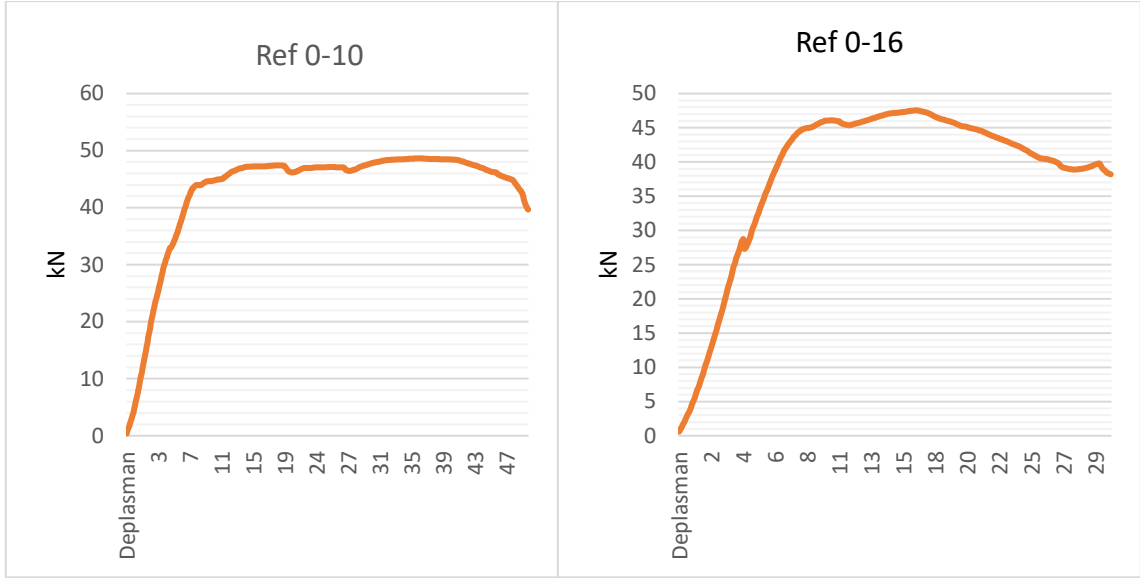
Şekil 4.47. Ref 10K-10 isimli numunede gözlemlenen eğilme çatlakları



Şekil 4.48. B 5K-10 isimli numunede gözlemlenen hem kesme hem eğilme çatlakları

#### 4.2.3.1 Atık tel kullanılmamış numune sonuçları

Elde edilen büyük kiriş numune kuvvet-deplasman incelenmesi yapıldığında numunelerin içerik oranlarındaki değişim numune değerlerinde lineer sonuçların önüne geçerek farklı oranlarda farklı sonuçların elde edildiği görülmüştür.

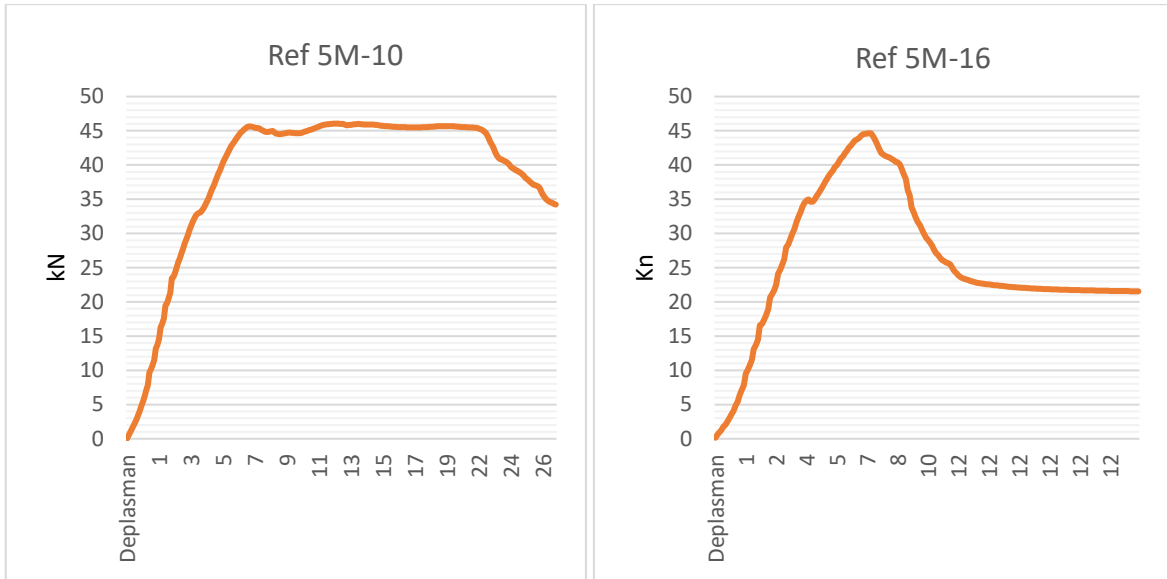


Şekil 4.49. Ref 0-10 ve Ref 0-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.50. Ref 0-10 ve Ref 0-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.49 incelendiğinde hiçbir katkı maddesi konulmadan elde edilen referans numunesinin sonuçları görülmektedir. Ref 0-10 ve Ref 0-16 isimli numunelerin taşıdığı yük birbirine çok yakın ve yaklaşık olarak 48 kN olduğu görülmektedir. Etriye aralıklarından dolayı Ref 0-10 numunede daha iyi bir akma durumu gözlemlenmek olup Ref 0-16 numunede meydana gelen kesme eğilmesi daha iyi gözlemlenmektedir.

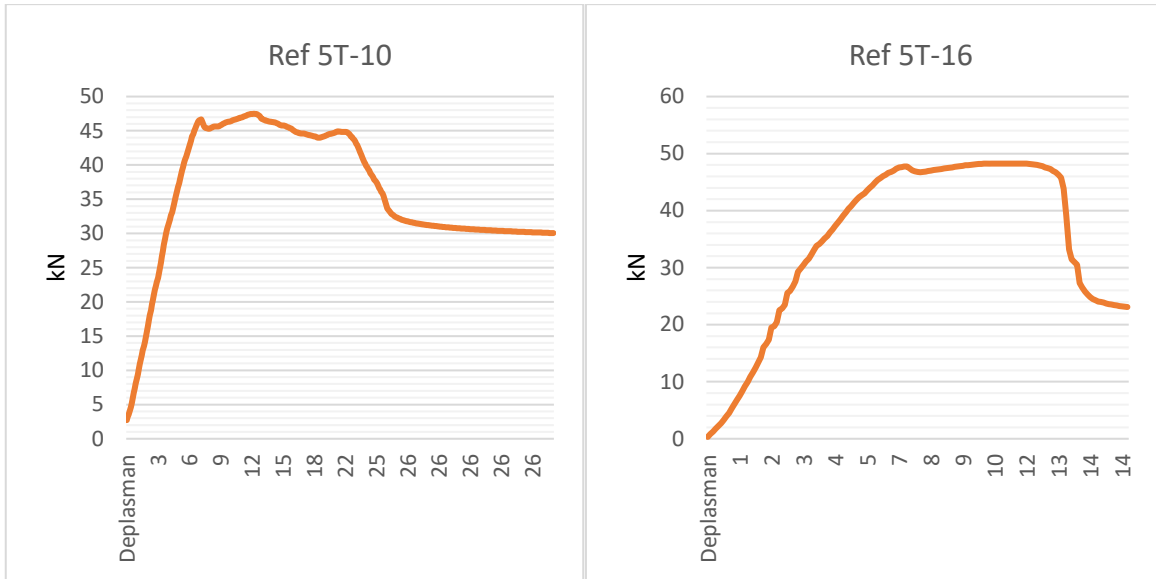


Şekil 4.51. Ref 5M-10 ve Ref 5M-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.52. Ref 5M-10 ve Ref 5M-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.51 incelendiğinde atık tel kullanılmadan içeriğinde %5 oranında mercimek türü atık lastik bulunan numunelerin grafiklerini görülmektedir. Ref 5M-10 isimli numunenin taşıdığı maksimum kuvvet 46 kN olup Ref 5M-16 numunenin taşıdığı yük 44,6 kN'dur. Ref 5M-16 numunede kesme davranışı görülmektedir. Ref 5M-10 isimli numunede eğilme davranışı görülmektedir.

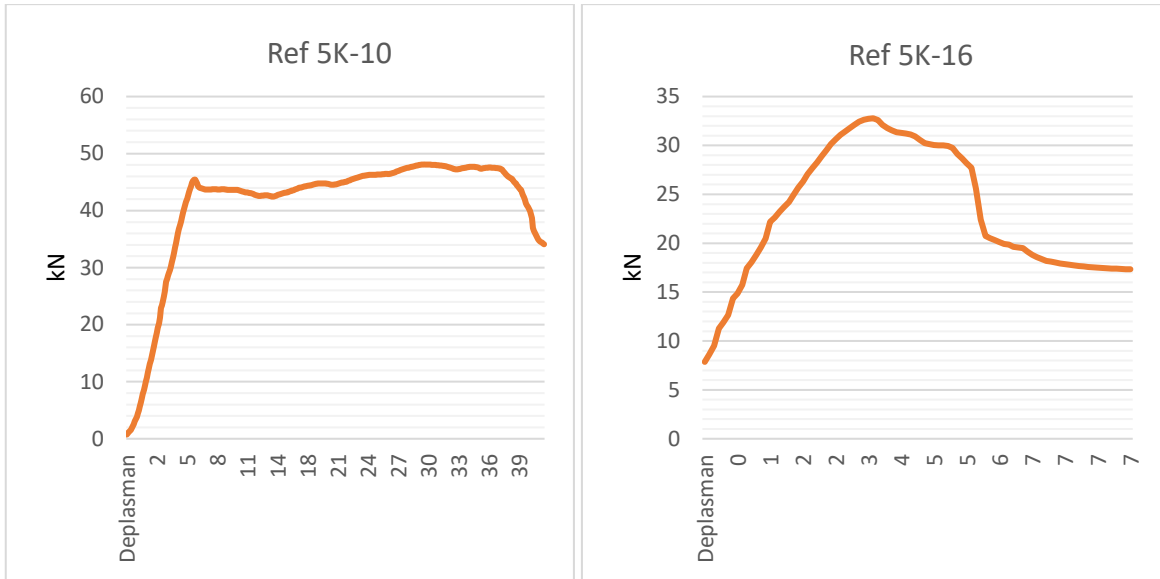


Şekil 4.53. Ref 5T-10 ve Ref 5T-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.54. Ref 5T-10 ve Ref 5T-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.53 incelendiğinde atık tel kullanılmadan içeriğinde %5 oranında toz türü atık lastik bulunan numunelerin grafiklerini görülmektedir. Ref 5T-10 isimli numuneye uygulanan maksimum kuvvet 47,4 kN olup Ref 5T-16 isimli numuneye uygulanan maksimum kuvvet 48,2 kN'dur. Ref 5T-10 ve Ref 5T-16 isimli numunelerde hem eğilme hem de kesme davranışının birlikte olduğu görülmektedir.

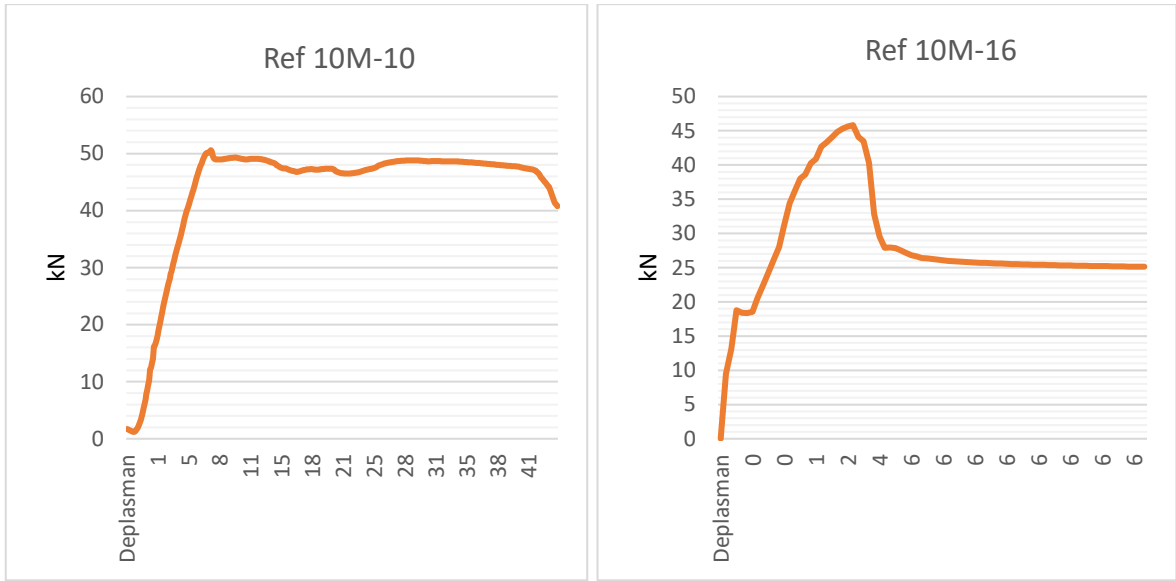


Şekil 4.55. Ref 5K-10 ve Ref 5K-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.56. Ref 5K-10 ve Ref 5K-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.55'te atık tel kullanılmadan içeriğinde %5 oranında kauçuk türü atık lastik bulunan numunelerin grafiklerini görülmektedir. Ref 5K-10 isimli numunenin taşıdığı maksimum yük 48 kN iken Ref 5K-10 isimli numunenin taşıdığı maksimum yük 32,7 kN'dur. Ref 5K-10 isimli numunede eğilme davranışı, Ref 5K-10 isimli numunede kesme davranışını görmekteyiz. Ref 5K-10 isimli numunede dayanımın %25 civarında düştüğünü görülmektedir. Kullanılan dane boyutu büyük lastiğin ve fazla etriye aralığının bu sonuca neden olduğu düşünülmektedir.

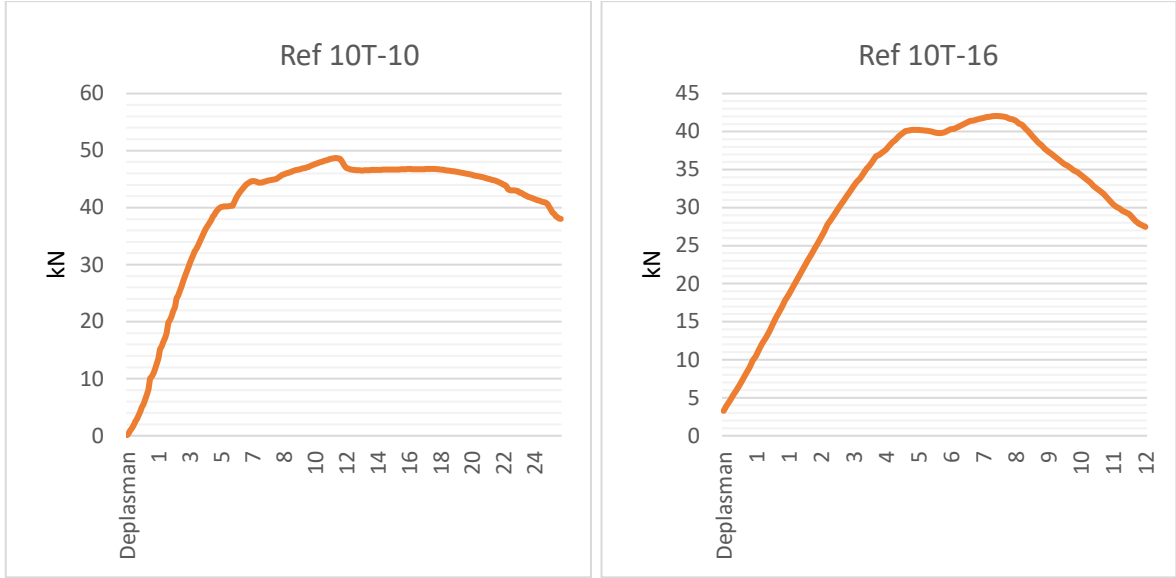


Şekil 4.57. Ref 10M-10 ve Ref 10M-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.58. Ref 10M-10 ve Ref 10M-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.57 incelendiğinde atık tel kullanılmadan içeriğinde %10 oranında mercimek tütü atık lastik bulunan numunelerin grafiklerini görülmektedir. Ref 10M-10 isimli numunenin taşıdığı maksimum yük 50,6 kN olup, Ref 10M-10 isimli numunenin taşıdığı maksimum yük ise 45,8 kN'dur. Ref 10M-10 isimli numunede eğilme dayanımının görüldüğü çok rahat bir şekilde farkedilmekte olup, Ref 10M-10 isimli numunede kesme davranışı görülmektedir.

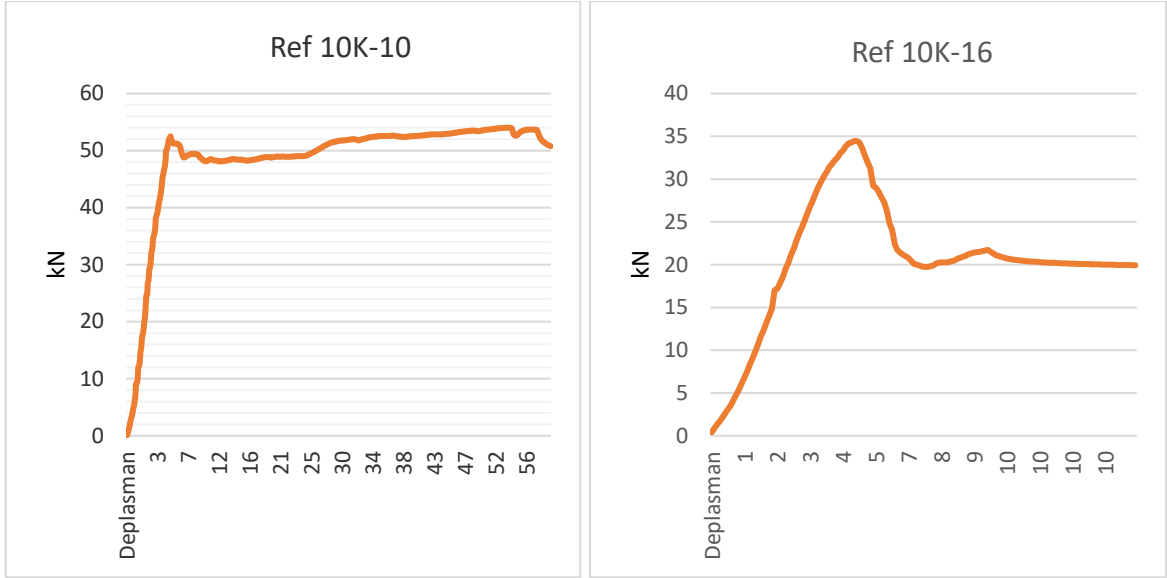


Şekil 4.59. Ref 10T-10 ve Ref 10T-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.60. Ref 10T-10 ve Ref 10T-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.59 incelendiğinde atık tel kullanılmadan içeriğinde %10 oranında toz türü atık lastik bulunan numunelerin grafiklerini görülmektedir. Ref 10T-10 isimli numunenin taşıdığı maksimum kuvvet 48,6 kN olup, Ref 10T-16 isimli numunenin taşıdığı maksimum kuvvet 42 kN'dur. Ref 10T-10 isimli numunede eğilme davranışı, Ref 10T-16 numunede kesme davranışı gözlemlenmektedir.

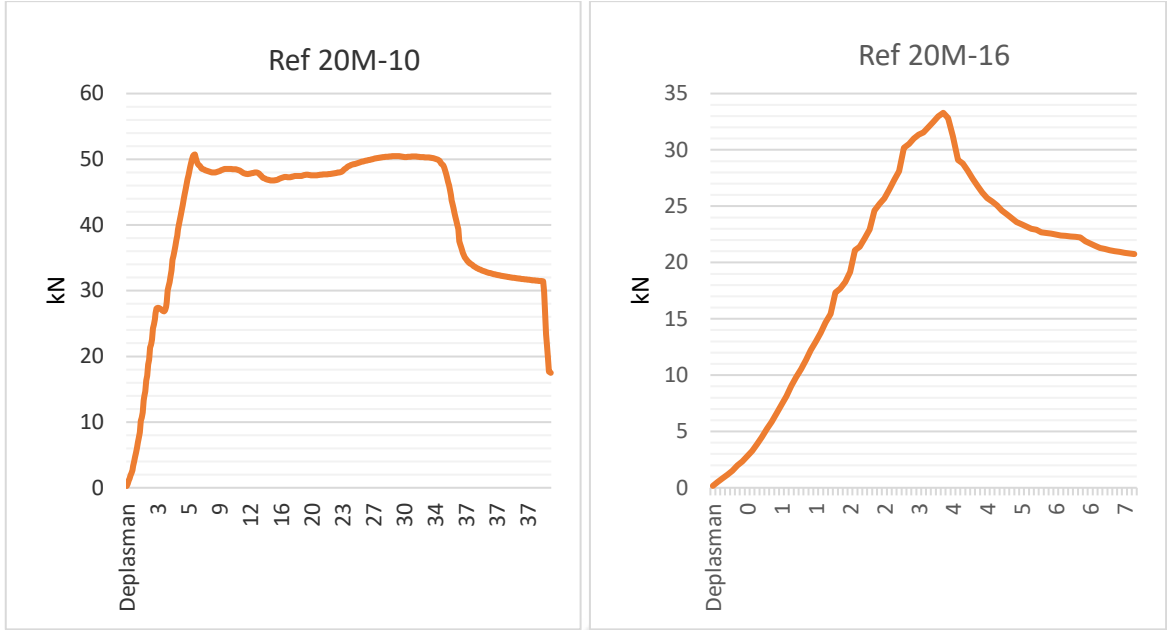


Şekil 4.61. Ref 10K-10 ve Ref 10K-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.62. Ref 10K-10 ve Ref 10K-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.61 incelendiğinde atık tel kullanılmadan içeriğinde %10 oranında kuşbaşı türü atık lastik bulunan numunelerin grafiklerini görülmektedir. Ref 10K-10 isimli numunede eğilme davranışı çok net görülmekte olup, Ref 10K-16 isimli numune kesme davranışı sergilemektedir. Ref 10K-10 isimli numune maksimum 54 kN kuvvet taşımış olup, Ref 10K-16 numune maksimum 34,4 kN kuvvet taşımaktadır. Ref 5K-16 isimli numunede kauçuk türü atık lastik içermekte olup düşük dayanım sergilemiş olduğundan Ref 10K-16 numune ile benzer özellikler sergilemektedir.

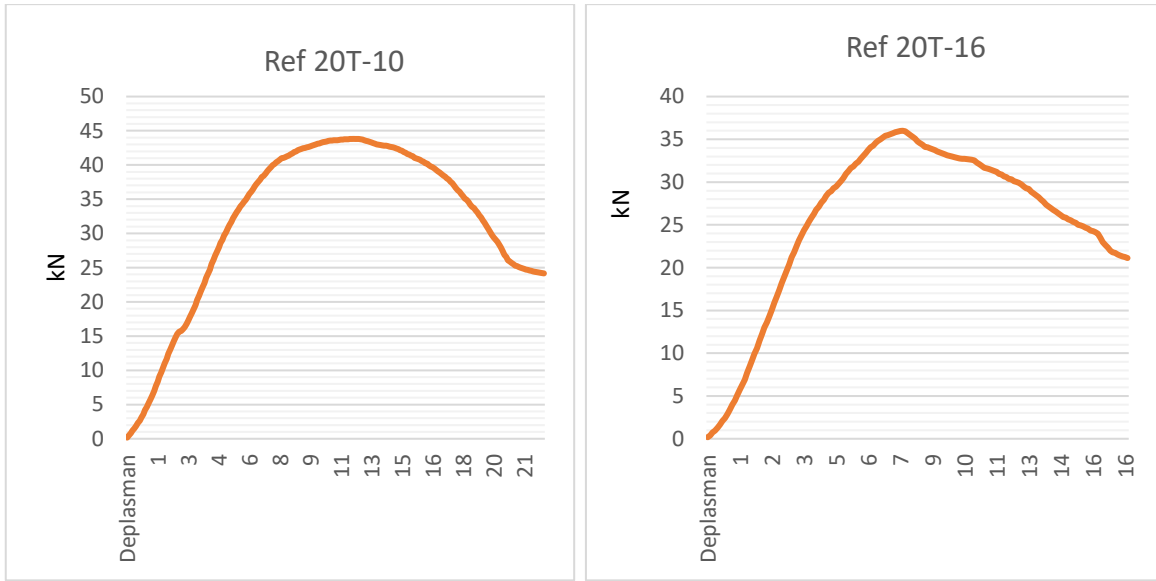


Şekil 4.63. Ref 20M-10 ve Ref 20M-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.64. Ref 20M-10 ve Ref 20M-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.63 incelendiğinde atık tel kullanılmadan içeriğinde %20 oranında mercimek türü atık lastik bulunan numunelerin grafiklerini görülmektedir. Ref 20M-10 isimli numunenin taşıyabileceği maksimum kuvvetin 50,7 kN olduğu ve Ref 20M-16 isimli numunenin taşıdığı maksimum kuvvetinde 33,3 kN olduğu görülmektedir. Ref 20M-10 isimli numunede eğilme davranışı, Ref 20M-16 isimli numunede kesme davranışı gözlemlenmektedir.

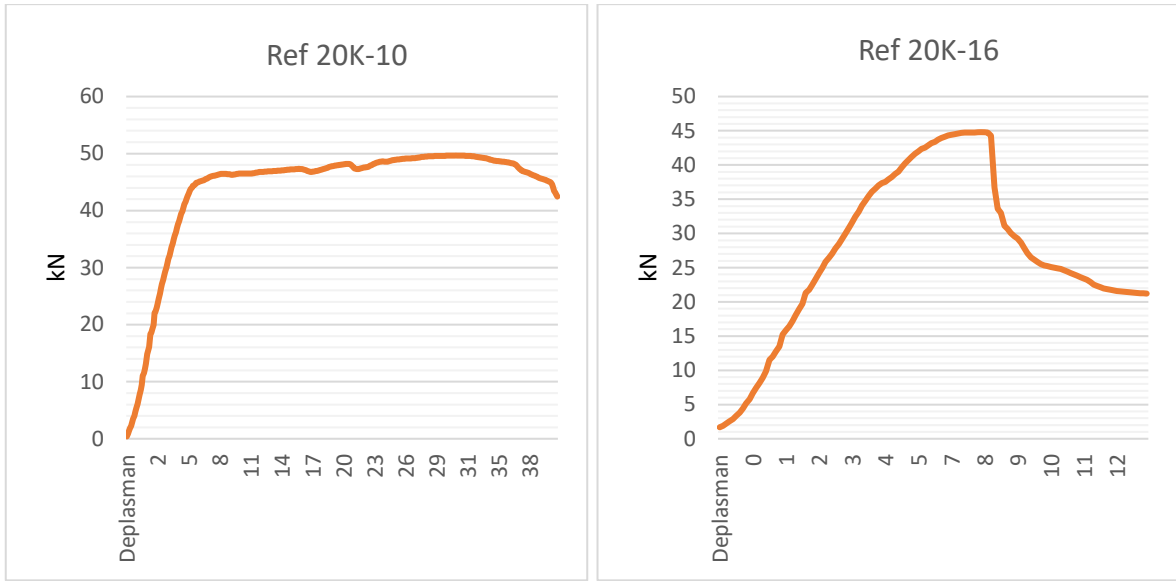


Şekil 4.65. Ref 20T-10 ve Ref 20T-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.66. Ref 20T-10 ve Ref 20T-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.65 incelendiğinde atık tel kullanılmadan içeriğinde %20 oranında toz türü atık lastik bulunan numunelerin grafiklerini görülmektedir. Ref 20T-10 isimli numunenin 43 kN ve Ref 20T-16 isimli numunenin 36 kN maksimum kuvvet taşıdıkları görülmektedir. Diğer 10 cm aralıklı etriye dizilimine sahip numunelerden farklı olarak Ref 20T-10 isimli numunenin kesme davranışı sergilediği dikkat çekmektedir. Ref 20T-16 isimli numune de kesme davranışı sergilemektedir.



Şekil 4.67. Ref 20K-10 ve Ref 20K-16 numunelerin deney sonuçları



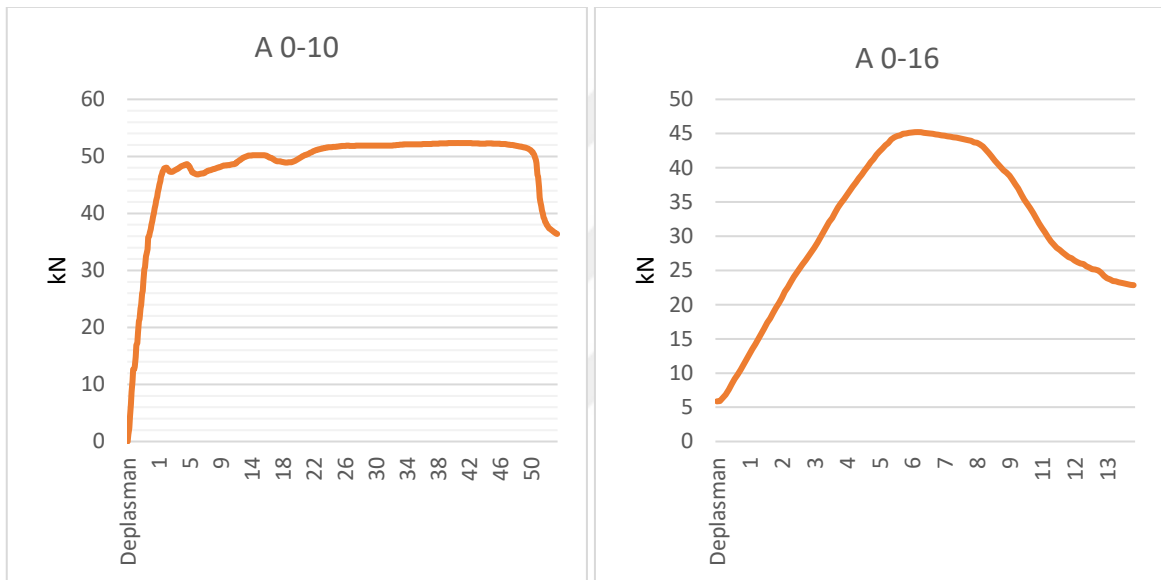
Şekil 4.68. Ref 20K-10 ve Ref 20K-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.67'e göz atıldığında atık tel kullanılmadan içeriğinde %20 oranında kuşbaşı türü atık lastik bulunan numunelerin grafiklerini görülmektedir. Ref 20K-10 isimli numunenin 49,6 kN ve Ref 20K-16 isimli numunenin 44,7 kN yük taşıdığı görülmektedir. Ref 20K-16 isimli numune diğer yüzde oranlarına sahip kuşbaşı numunelerinden içeriği yüzde olarak artmasına rağmen daha iyi sonuçlar göstermektedir. Ref 20K-10 isimli numunede eğilme davranışı, Ref 20K-16 isimli numunede kesme davranışı gözlemlenmektedir.

Atık tel katılmamış ve içeriğinde çeşitli oranlarda farklı türlerde atık lastik bulunan numuneleri genel olarak değerlendirmek gerekirse Ref 20K-16 isimli numune haricinde 16 cm etriye aralıklı kauçuk kullanılan numunelerde (Ref 5K-16 ve Ref 10K-16 isimli numuneler) %25 civarında dayanımda kayıplar gözlemlenmektedir. 16 cm etriye

aralığındaki Ref 20K-16 isimli %20 oranında kauçuk türü atık lastik içeren numunede referans numunesine yakın değerler elde edilmiştir. %20 atık tel kullanılan 16 cm etriye aralığına sahip numuneler incelendiğinde de yine Ref 20K-16 isimli numune haricindeki Ref 20M-16 ve Ref 20T-16 isimli numunelerde %25 oranında dayanım kaybı gözlemlenmektedir. Ayrıca 10 cm etriye aralığı kullanılan numuneler eğilme davranışı sergilerken Ref 20T-10 %20 toz türü atık lastik kullanılmış numunede kesme davranışını görmekteyiz.

#### 4.2.3.2 %1 atık tel içeren numune sonuçları



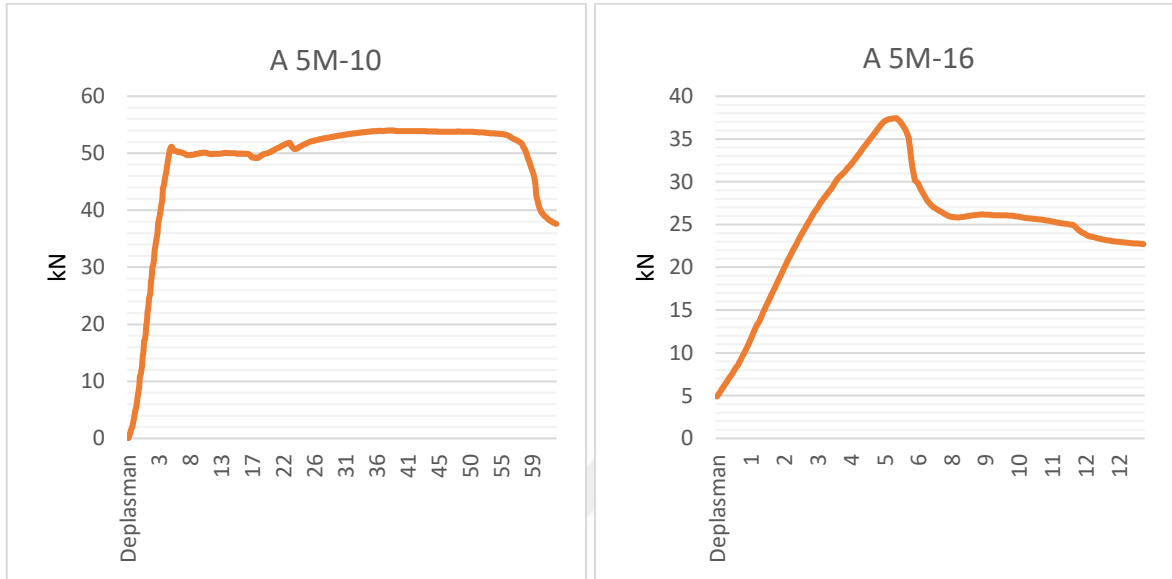
Şekil 4.69. A 0-10 ve A 0-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.70. A 0-10 ve A 0-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.69 incelendiğinde %1 oranında atık tel katılmış ve atık lastik kullanılmayan numunelerin grafikleri görülmektedir. A 0-10 isimli numunenin 52,34 kN ve A 0-16 isimli numunenin 45,2 kN maksimum kuvvet taşıdığı görülmektedir. A 0-10 isimli numunede

eğilme davranışı görülürken A 0-16 isimli numunede ise kesme davranışının olduğu gözlemlenmiştir.

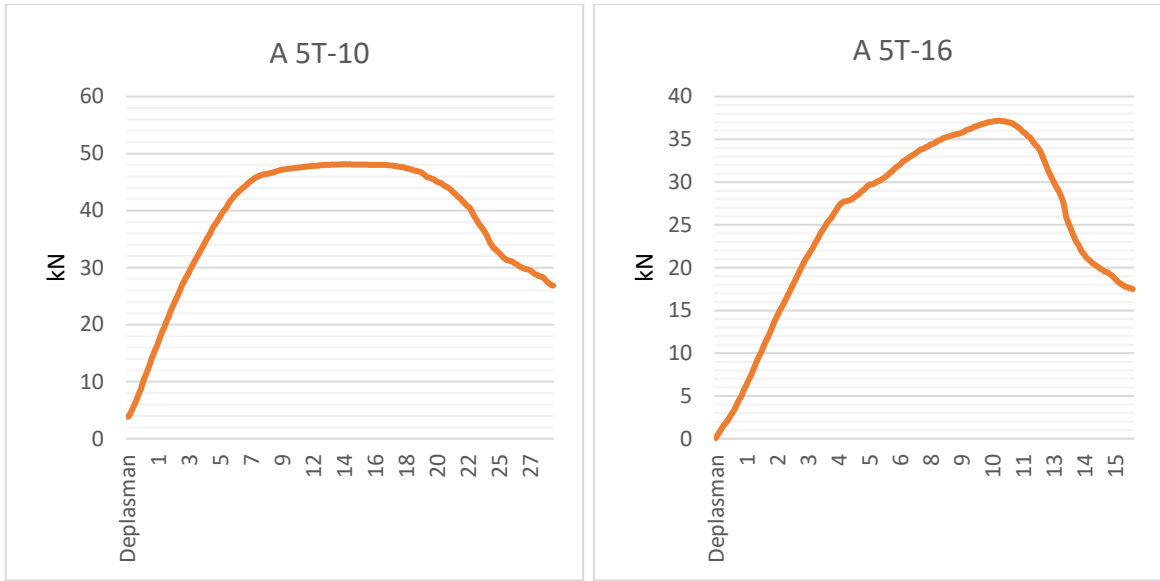


Şekil 4.71. A 5M-10 ve A 5M-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.72. A 5M-10 ve A 5M-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.71 incelendiğinde %1 oranında atık tel ve %5 oranında mercimek türü atık lastik kullanılmış numunelerin grafikleri görülmektedir. A 5M-10 isimli numunede eğilme davranışı rahatlıkla gözlemlenmekte olup A 5M-16 isimli numunede kesme davranışı gözlemlenmektedir. A 5M-10 isimli numunenin taşıdığı maksimum kuvvet 54 kN iken A 5M-16 isimli numunenin taşıdığı maksimum kuvvet 37,4 kN'dur.

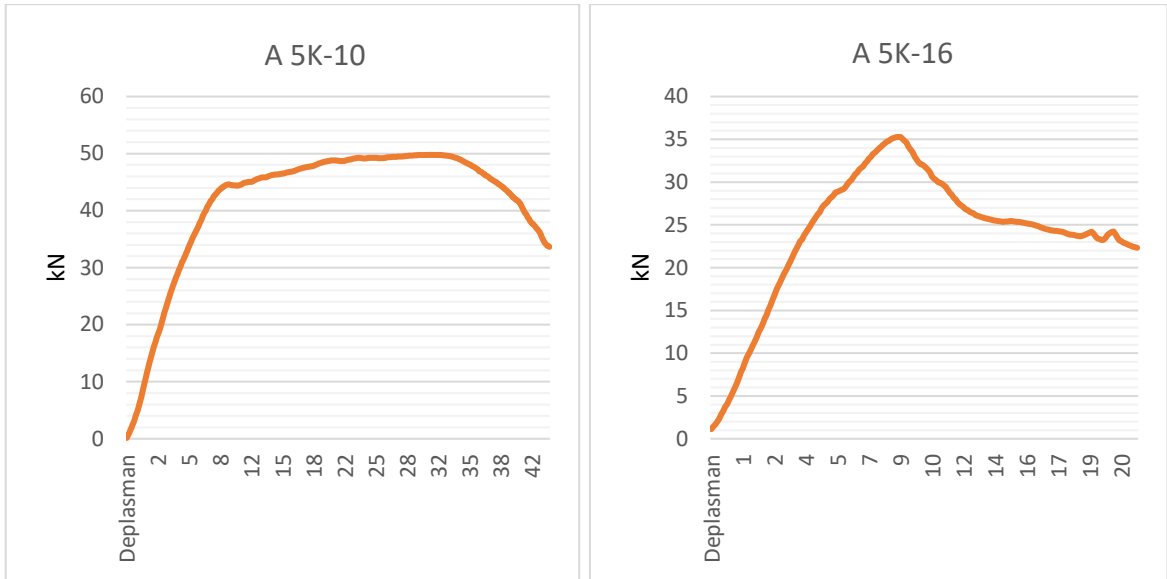


Şekil 4.73. A 5T-10 ve A 5T-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.74. A 5T-10 ve A 5T-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.73 incelendiğinde %1 atık tel ile beraber %5 toz türü atık lastik kullanılmış numunelerin grafikleri görülmektedir. A 5T-10 isimli numunede eğilme davranışı gözlemlenmektedir. A 5T-16 isimli numunede ise kesme davranışı sergilenmektedir. A 5T-10 isimli numunenin taşıdığı maksimum kuvvet 48,1 kN iken A 5T-16 isimli numunenin taşıdığı maksimum kuvvet 37,16 kN'dur.

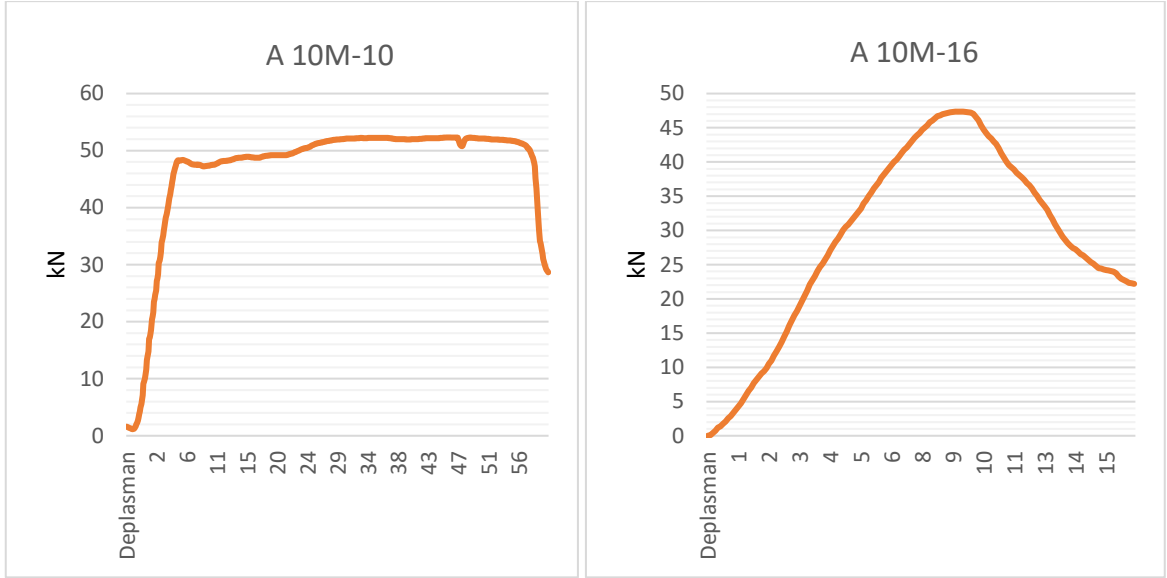


Şekil 4.75. A 5K-10 ve A 5K-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.76. A 5K-10 ve A 5K-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.75 incelendiğinde %1 atık tel ile beraber %5 kuşbaşı türü atık lastik kullanılmış numunelerin grafikleri görülmektedir. A 5K-10 isimli numunede görüldüğü eğilme davranışı gözlemlenmektedir. A 5K-16 isimli numunede de kesme davranışı gözlemlenmektedir. A 5K-10 isimli numunenin taşıyabildiği maksimum kuvvet 49,7 kN iken A 5K-16 isimli numunenin taşıyabildiği maksimum kuvvet 35,2 kN'dur.

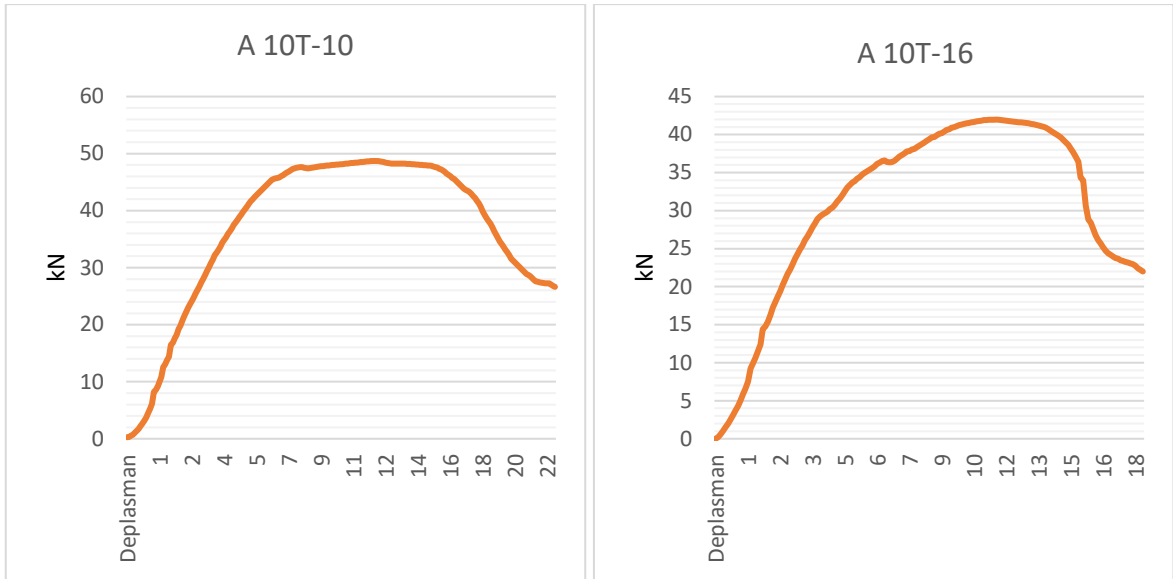


Şekil 4.77. A 10M-10 ve A 10M-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.78. A 10M-10 ve A 10M-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.77 irdelendiğinde %1 oranında atık tel ile beraber %10 oranında mercimek türü atık lastik kullanarak oluşturulmuş numunelerin grafikleri görülmektedir. A 10M-10 isimli numunede eğilme davranışı gözlemlenmekte iken A 10M-10 isimli numunede kesme davranışı görülmektedir. A 10M-10 isimli numunenin taşıyabileceği maksimum kuvvet 52,3 kN iken A 10M-10 isimli numunenin taşıyabileceği maksimum yük 47,3 kN'dur.

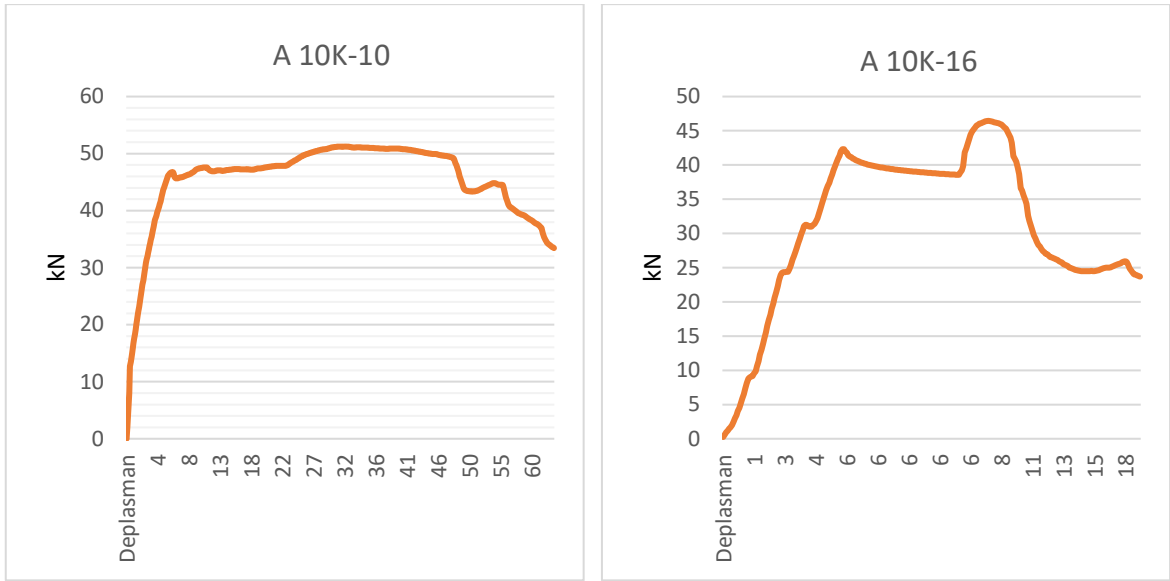


Şekil 4.79. A 10T-10 ve A 10T-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.80. A 10T-10 ve A 10T-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.79 incelendiğinde %1 atık tel ve %10 toz türü atık lastikli numunelerin grafiklerini görülmektedir. A 10T-10 isimli numunede eğilme davranışı, A 10T-16 isimli numunede kesme davranışı gözlemlenmektedir. A 10T-10 isimli numune maksimum 48,7 kN kuvvet taşıyabiliyorken A 10T-16 isimli numune 41,9 kN maksimum kuvvet taşımaktadır.

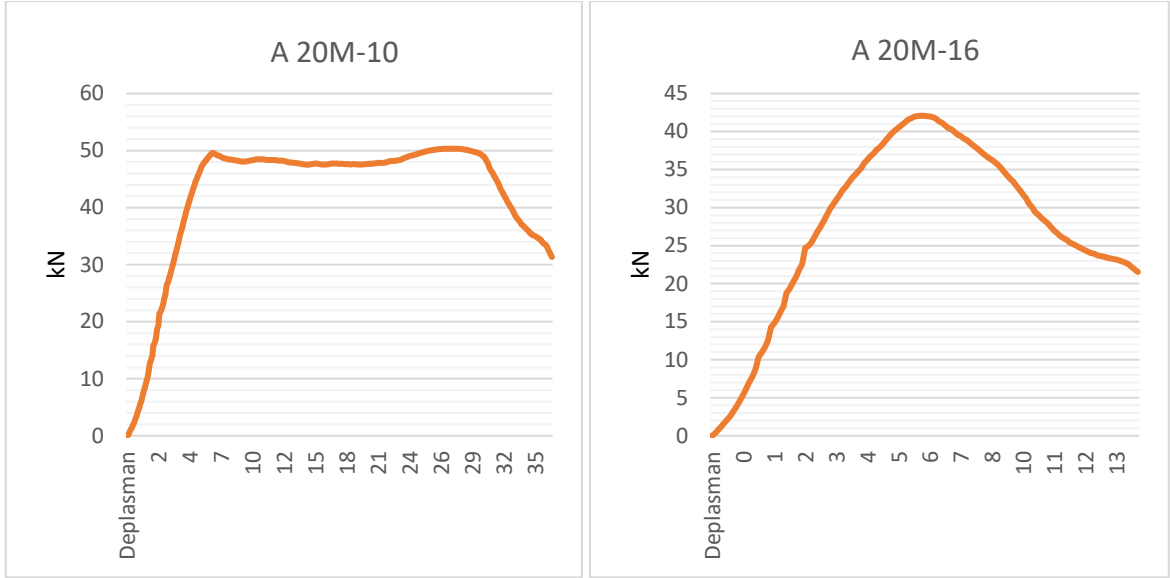


Şekil 4.81. A 10K-10 ve A 10K-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.82. A 10K-10 ve A 10K-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.81 incelendiğinde %1 oranında atık tel ile beraber %10 oranında kuşbaşı türü atık lastik kullanarak oluşturulmuş numunelerin grafikleri görülmektedir. A 10K-10 isimli numunede eğilme davranışı görülmekte olup, A 10K-16 isimli numunede her ne kadar eğilme gibi gözlemlense de kesme davranışı görülmektedir. A 10K-10 isimli numunede maksimum kuvvet 51,22 iken A 10K-16 isimli numunede 46,45 kN olduğu görülmüştür.

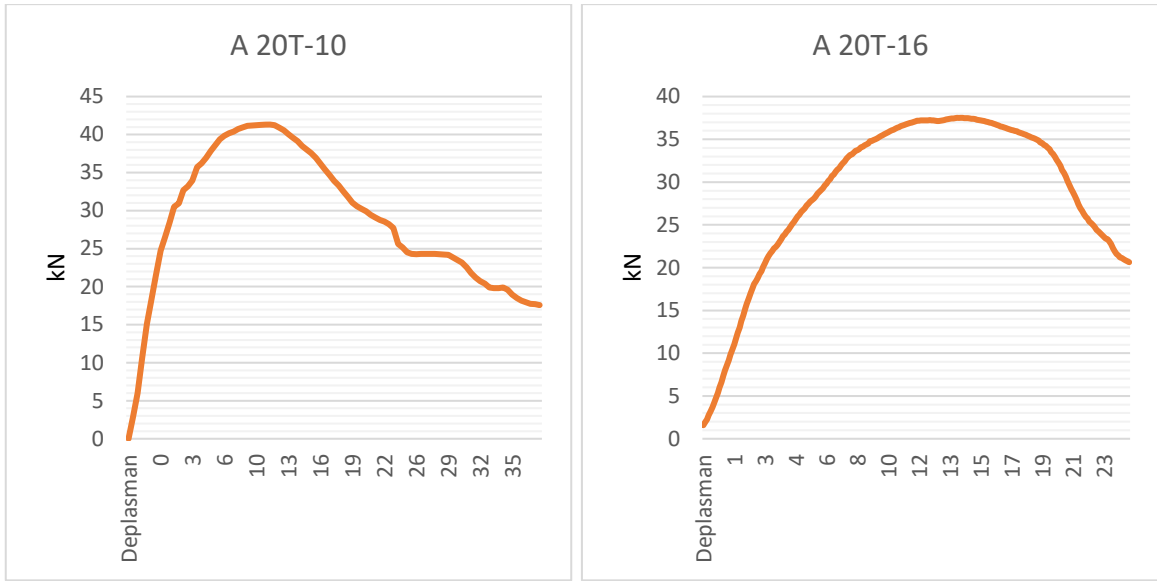


Şekil 4. A 20M-10 ve A 20M-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.84. A 20M-10 ve A 20M-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.83 incelendiğinde %1 oranında atık tel ile beraber %20 oranında mercimek türü atık lastik kullanarak oluşturulmuş numunelerin grafikleri görülmektedir. A 20M-10 isimli numunenin eğilme davranışı, A 20M-16 isimli numunenin kesme davranışı sergilediği görülmektedir. A 20M-10 isimli numune maksimum 50,3 kN kuvvet taşırken, A 20M-16 isimli numune maksimum 42 kN kuvvet taşımaktadır.

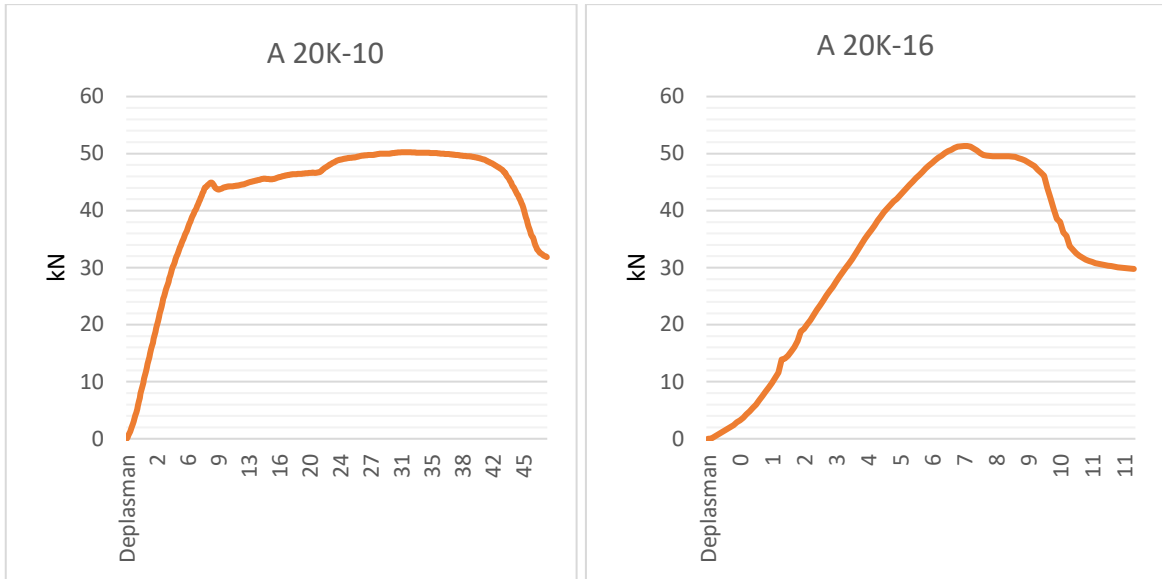


Şekil 4.85. A 20T-10 ve A 20T-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.86. A 20T-10 ve A 20T-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.85 incelendiğinde %1 oranında atık tel ile beraber %20 oranında toz türü atık lastik kullanarak oluşturulmuş numunelerin grafikleri görülmektedir. A 20T-10 isimli numunede 10 cm aralıklı etriye kullanılan diğer numunelerin aksine kesme davranışı gözlemlenmektedir. A 20T-16 isimli numunede de diğer numunede olduğu gibi kesme davranışı gözlemlenmektedir. A 20T-10 isimli numunenin taşıdığı maksimum kuvvet 41,3 kN iken A 20T-16 isimli numunenin taşıdığı maksimum kuvvet 37,5 kN'dur.



Şekil 4.87. A 20K-10 ve A 20K-16 numunelerin deney sonuçları



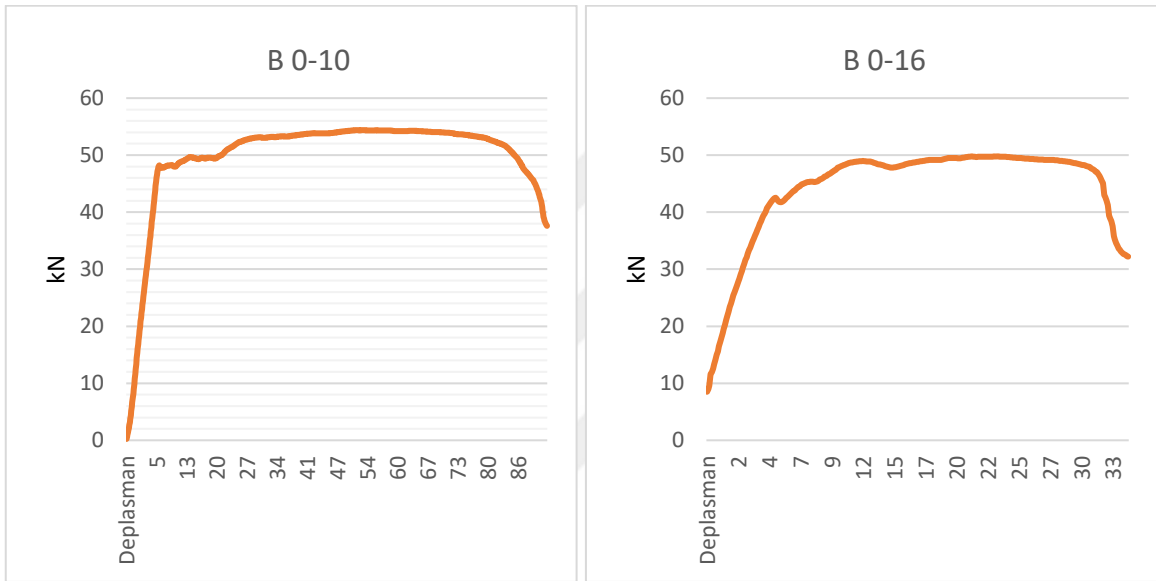
Şekil 4.88. A 20K-10 ve A 20K-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.87 incelendiğinde %1 oranında atık tel ile beraber %20 oranında kauçuk türü atık lastik kullanarak oluşturulmuş numunelerin grafikleri görülmektedir. A 20K-10 isimli numunede eğilme davranışı, A 20K-16 isimli numunede kesme davranışı gözlemlenmektedir. A 20K-10 isimli numunenin taşıyabileceği maksimum kuvvet 50,2 kN olup A 20K-16 isimli numunenin taşıyabileceği maksimum kuvvet 51,3 kN'dur.

Genel olarak %1 atık tel içeren deney numunelerini değerlendirmek gerekirse, %1 atık tel ile 16 cm etriye aralığındaki donatılar içeren %5 mercimek, %5 toz ve %5 kauçuk türü atık lastik katılan numunelerin hepsinde hem atık lastik kullanılmayan %1 tel numuneye hem de hiç katkı kullanılmayan referans numuneye göre düşük sonuçlar elde edilmiştir. %5 atık lastik kullanımı beklenenden olumsuz sonuçlar vermiştir. Dayanım kayıpları referans numunesine göre yüzde 30 civarı, A0 numunesine göre yüzde 20 civarındadır. A 20T-10 isimli numune olan %1 tel ile %20 toz atık lastik kullanılan 10 cm etriye aralıklı numunede

normalde beklenen eğilme dayanımı yerine kesme dayanımı oluşması da fark edilmesi gereken bir durumdur. 16 cm etriye aralığı kullanılan numunelerde %5 atık lastik durumu haricinde %20 toz türü kullanıldığı zamanda yüzde 20 civarında dayanım kaybı elde edilmiştir. Fakat dayanım kayıplarının aksine 16 cm etriye aralıklı donatıda %1 tel ile %20 kuşbaşı türü atık lastik kullanıldığı zaman referans numunesinde bile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

#### 4.2.3.3 %2 atık tel içeren numune sonuçları



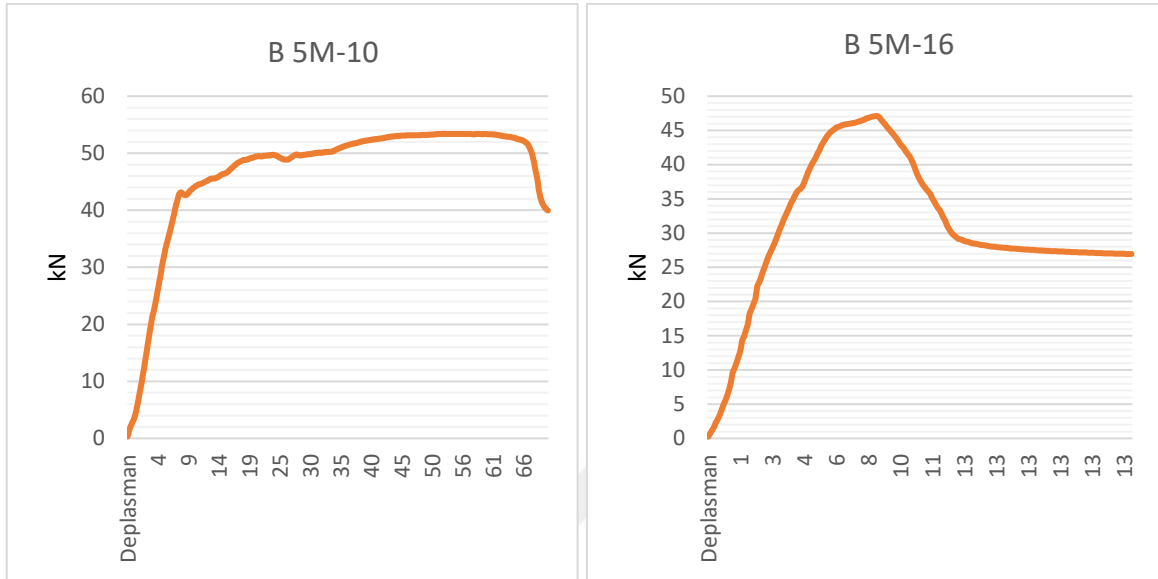
Şekil 4.89. B 0-10 ve B 0-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.90. B 0-10 ve B 0-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.89 incelendiğinde %2 oranında atık tel katılmış ve atık lastik kullanılmayan numunelerin grafikleri görülmektedir. B 0-10 isimli numunenin 54,38 kN ve B 0-16 isimli numunenin 49,77 kN maksimum kuvvet taşıyabileceği görülmüştür. B 0-10 isimli numune

eğilme davranışı sergilemiş, B 0-16 isimli numunede 16 cm aralıklı etriyeli donatılar kullanıldığı halde diğer 16 cm etriyeli numunelerin aksine eğilme davranışı görülmüştür.

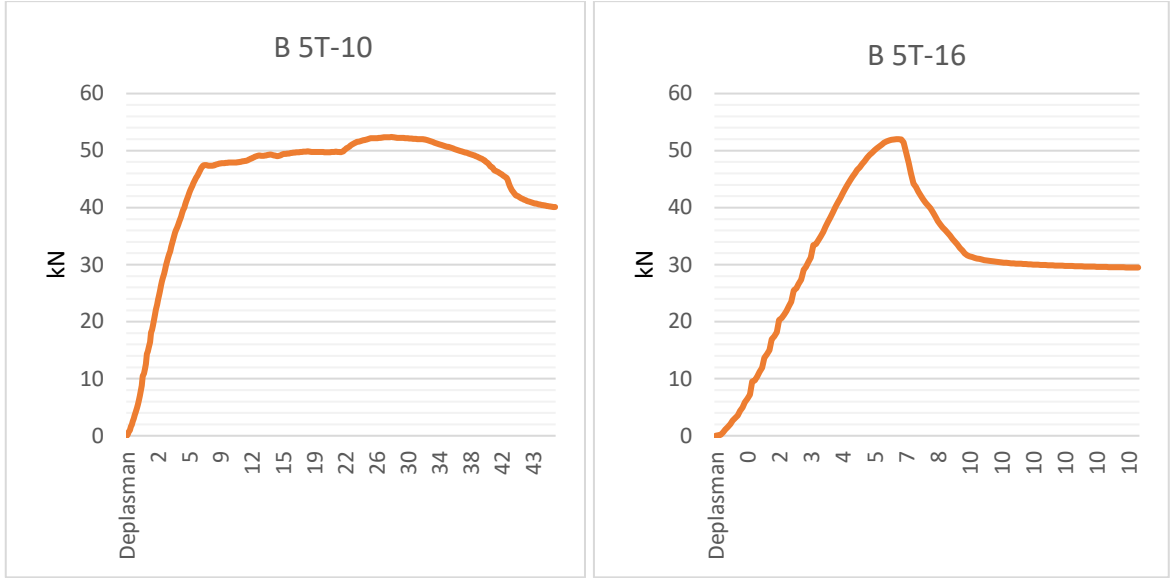


Şekil 4.91. B 5M-10 ve B 5M-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.92. B 5M-10 ve B 5M-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.91 incelendiğinde %2 oranında atık tel ile beraber %5 oranında mercimek türü atık lastik kullanarak oluşturulmuş numunelerin grafikleri görülmektedir. B 5M-10 isimli numunenin taşıyabileceği maksimum kuvvet 53,51 kN iken B 5M-10 isimli numunenin taşıyabileceği maksimum kuvvet 47,1 kN'dur. B 5M-10 isimli numune eğilme davranışı sergilerken B 5M-10 isimli numunenin kesme davranışı sergilediği görülmüştür.

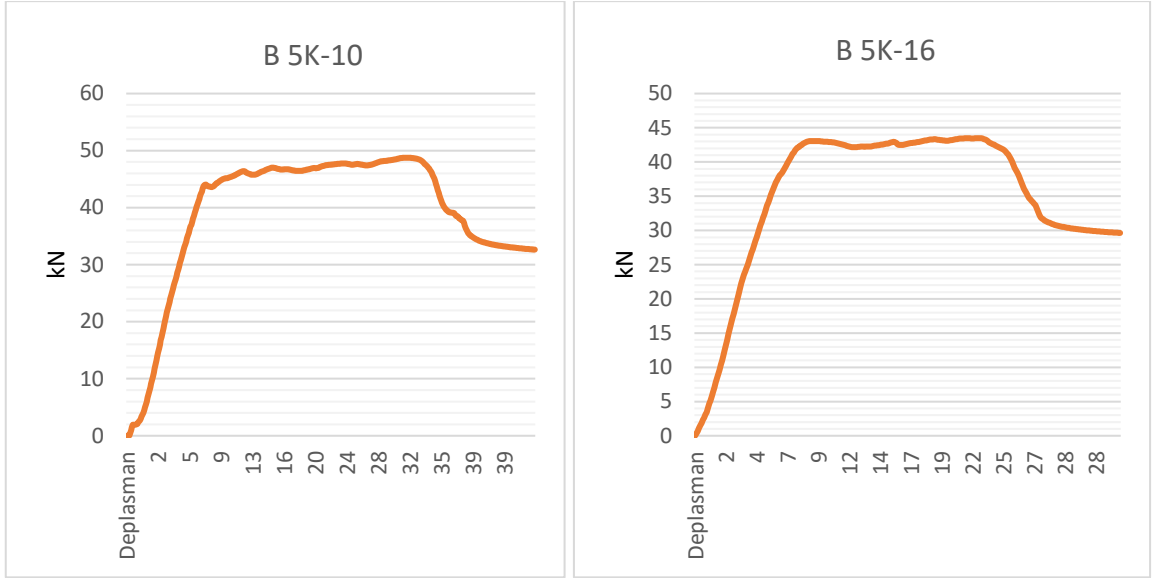


Şekil 4.93. B 5T-10 ve B 5T-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.94. B 5T-10 ve B 5T-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.93 incelendiğinde %2 oranında atık tel ile beraber %5 oranında toz türü atık lastik kullanarak oluşturulmuş numunelerin grafikleri görülmektedir. B 5T-10 isimli numunenin 52,3 Kn ve B 5T-16 isimli numunenin 52 kN maksimum kuvvet taşıyabileceği görülmüştür. B 5T-10 isimli numunenin eğilme, B 5T-16 isimli numunenin kesme davranışı sergilediği gözlemlenmiştir.

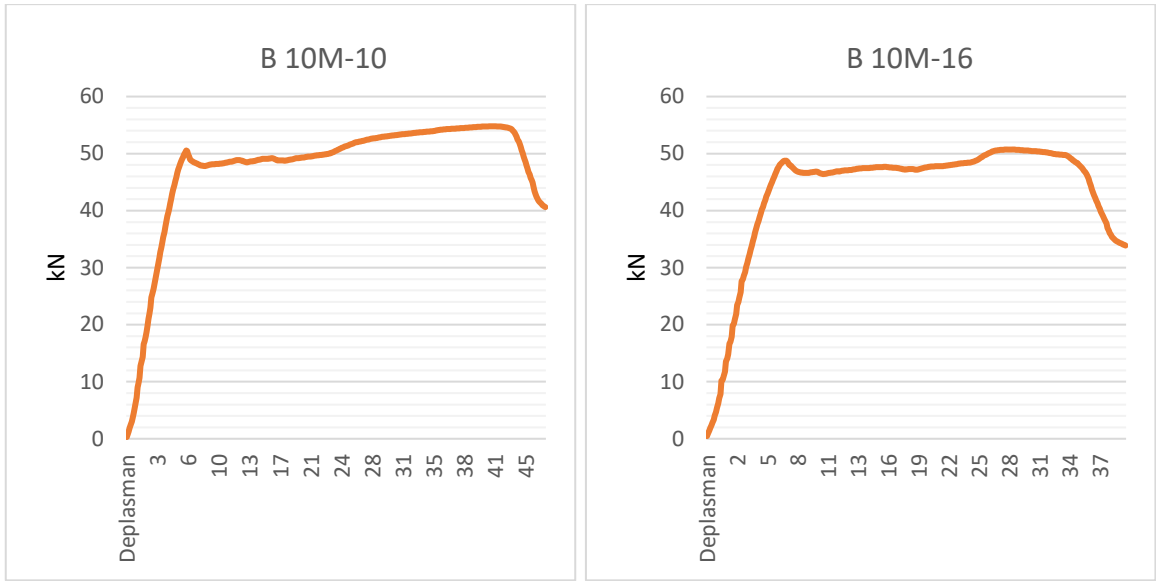


Şekil 4.95. B 5K-10 ve B 5K-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.96. B 5K-10 ve B 5K-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.95 incelendiğinde %2 oranında atık tel ile beraber %5 oranında kauçuk türü atık lastik kullanarak oluşturulmuş numunelerin grafikleri görülmektedir. B 5K-10 isimli numunenin taşıyabileceği maksimum kuvvet 48,7 kN olup, B 5K-10 isimli numunenin taşıyabileceği maksimum kuvvet 43,4 kN'dur. B 5K-10 isimli numunede eğilme davranışı görülmekte olup, B 5K-16 isimli numunede hem eğilme hem kesme davranışı görülmektedir.

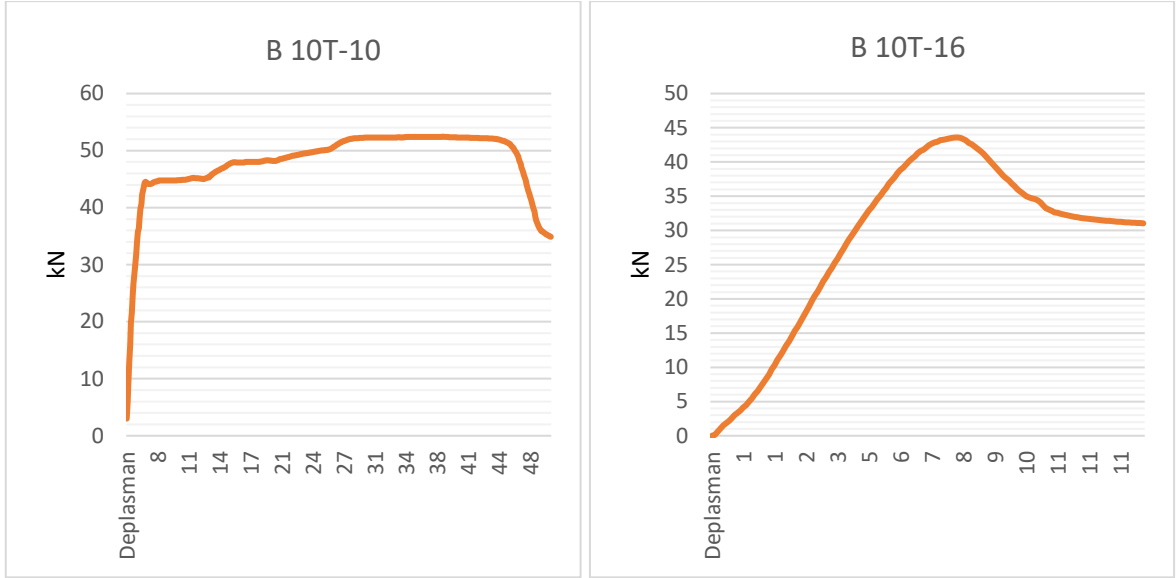


Şekil 4.97. B 10M-10 ve B 10M-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.98. B 10M-10 ve B 10M-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.97 incelendiğinde %2 oranında atık tel ile beraber %10 oranında mercimek türü atık lastik kullanarak oluşturulmuş numunelerin grafikleri görülmektedir. B 10M-10 isimli numunenin 54,78 kN, B 10M-16 isimli numunenin 50,7 kN maksimum kuvvet taşıyabileceği görülmüştür. Hem B 10M-10 hem B 10M-16 isimli numunelerde eğilme davranışı görülmektedir.

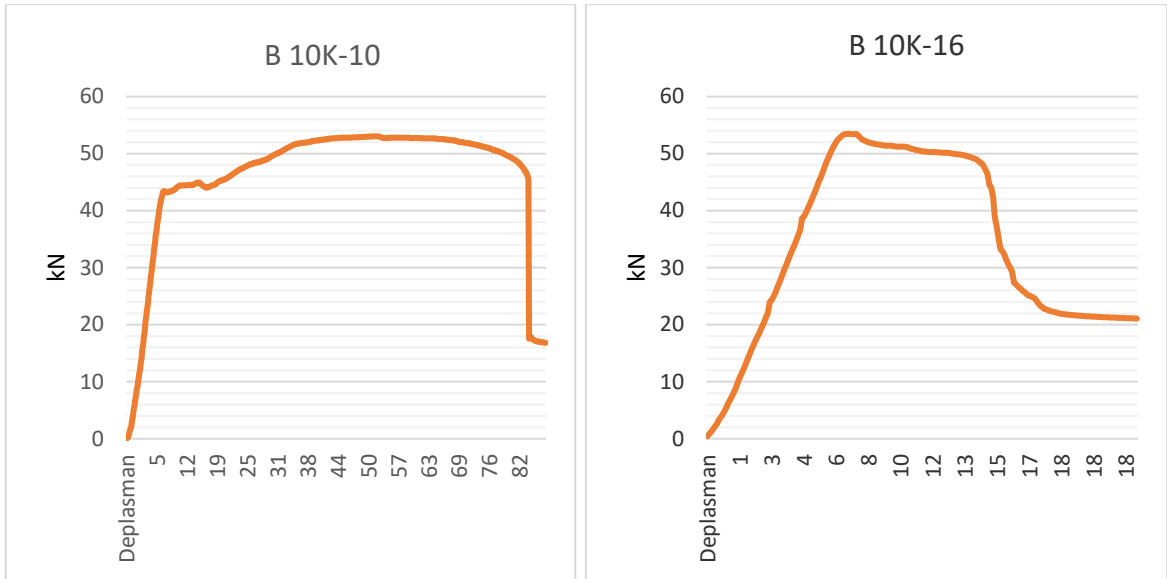


Şekil 4.99. B 10T-10 ve B 10T-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.100. B 10T-10 ve B 10T-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.99 incelendiğinde %2 oranında atık tel ile beraber %10 oranında toz türü atık lastik kullanarak oluşturulmuş numunelerin grafikleri görülmektedir. B 10T-10 isimli numunede eğilme davranışı, B 10T-16 isimli numunede kesme davranışı gözlemlenmektedir. B 10T-10 isimli numune maksimum 52,4 kN yük taşıırken, B 10T-16 isimli numune maksimum 43,5 yük taşımaktadır.

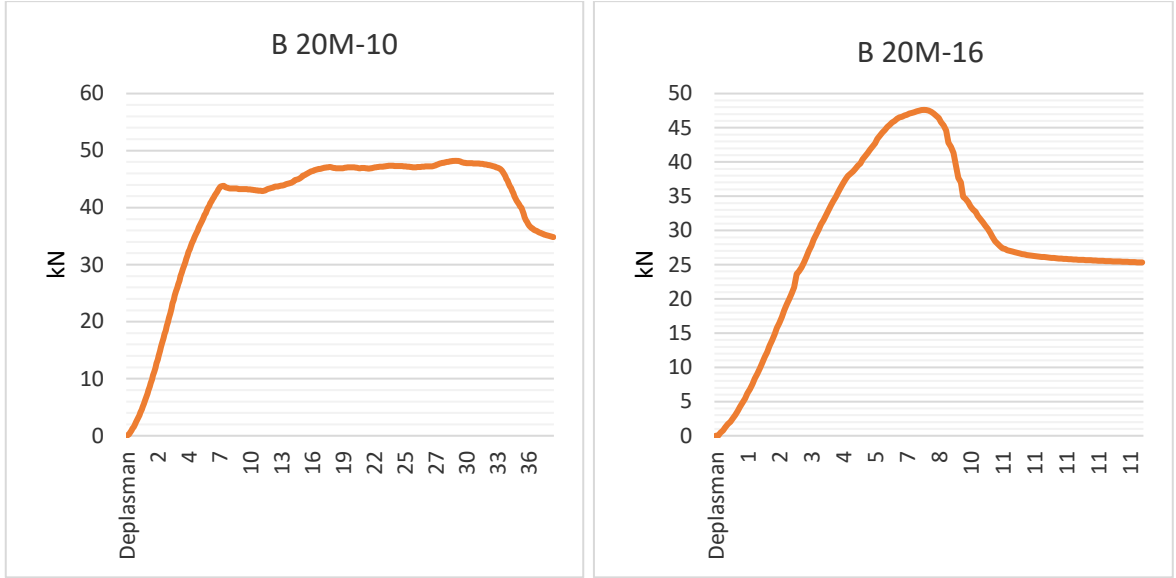


Şekil 4.101. B 10K-10 ve B 10K-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.102. B 10K-10 ve B 10K-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.101 incelendiğinde %2 oranında atık tel ile beraber %10 oranında kauçuk türü atık lastik kullanarak oluşturulmuş numunelerin grafikleri görülmektedir. B 10K-10 isimli numunenin 53 kN maksimum kuvvet taşıdığı, B 10K-16 isimli numunenin 53,45 kN maksimum kuvvet taşıdığı görülmüştür. B 10K-10 isimli numunede eğilme davranışı, B 10K-16 isimli numunede hem eğilme hem kesme davranışı görülmüştür.

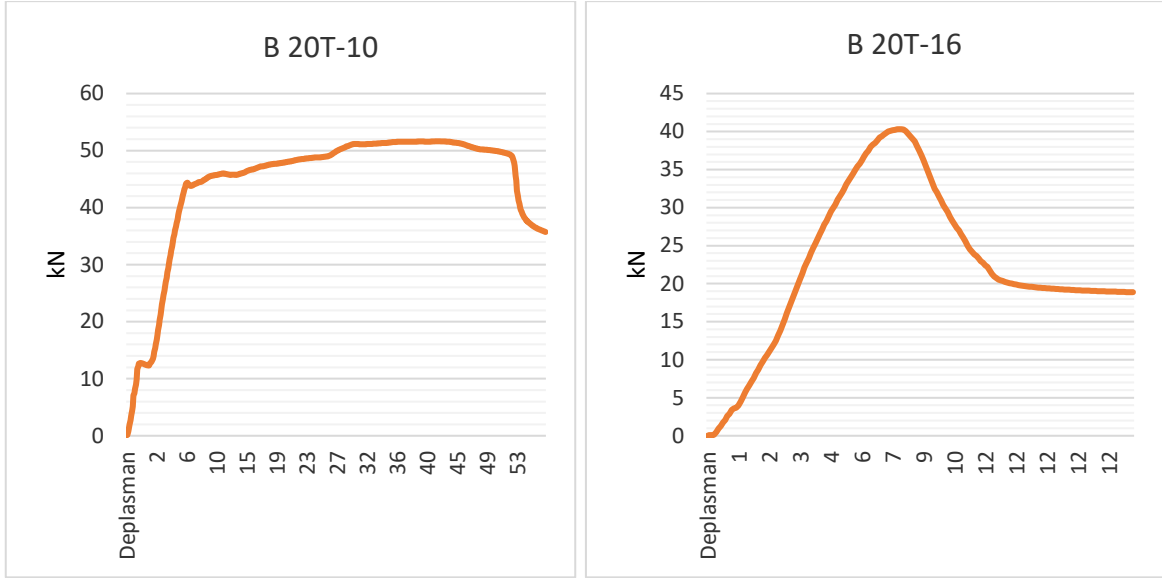


Şekil 4.103. B 20M-10 ve B 20M-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.104. B 20M-10 ve B 20M-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.103 incelendiğinde %2 oranında atık tel ile beraber %20 oranında mercimek türü atık lastik kullanarak oluşturulmuş numunelerin grafikleri görülmektedir. B 20M-10 isimli numunede eğilme, B 20M-16 isimli numunede kesme davranışı gözlemlenmektedir. B 20M-10 isimli numune 48,2 kN maksimum kuvvet taşıırken, B 20M-16 isimli numune 47 kN maksimum kuvvet taşımaktadır.

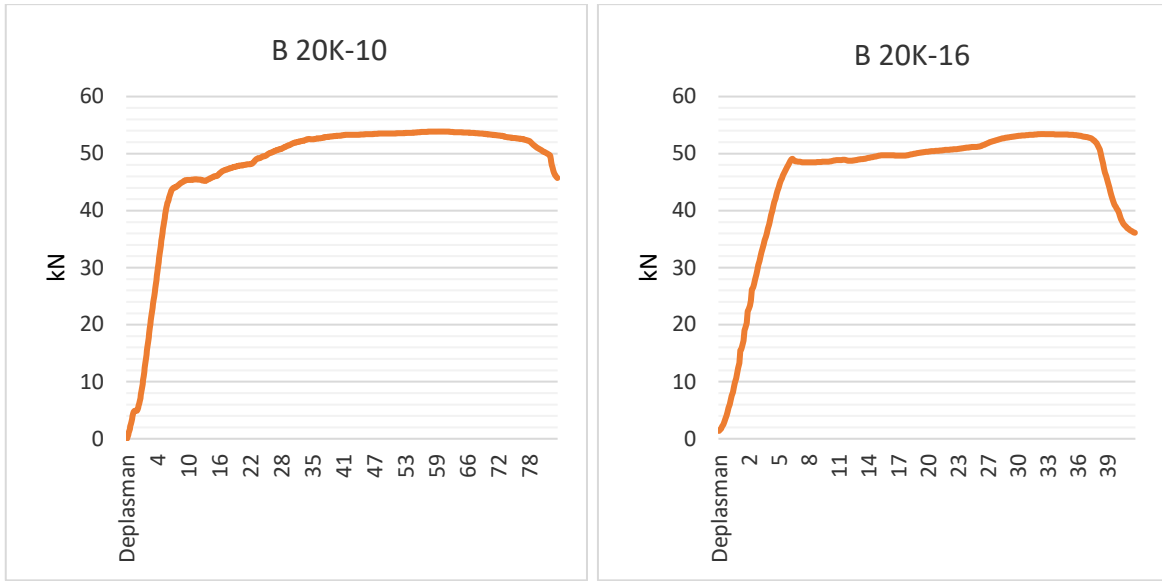


Şekil 4.105. B 20T-10 ve B 20T-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.106. B 20T-10 ve B 20T-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.105 incelendiğinde %2 oranında atık tel ile beraber %20 oranında toz türü atık lastik kullanarak oluşturulmuş numunelerin grafikleri görülmektedir. B 20T-10 isimli numunenin taşıyabileceği maksimum kuvvet 51,6 kN iken B 20T-16 isimli numunenin taşıyabileceği maksimum yük 40,3 kN'dur. B 20T-10 isimli numunede eğilme, B 20T-16 isimli numunede kesme davranışı görülmektedir.



Şekil 4.107. B 20K-10 ve B 20K-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.108. B 20K-10 ve B 20K-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.107 incelendiğinde %2 oranında atık tel ile beraber %20 oranında kauçuk türü atık lastik kullanarak oluşturulmuş numunelerin grafikleri görülmektedir. Hem B 20K-10 isimli numunede hem de B 20K-16 isimli numunede eğilme davranışı gözlemlenmektedir. B 20K-10 isimli numune 53,8 kN maksimum kuvvet taşıırken, B 20K-16 isimli numune 53,4 Kn maksimum kuvvet taşıdığı görülmektedir.

%2 atık tel kullanılarak oluşturulmuş numuneleri kendi aralarında değerlendirmek gerekirse 16 cm aralıklı etriye kullanılan donatılı numunelerden B 0-16 isimli atık lastiksiz numunede, B 5K-16 isimli %5 kauçuk atık lastiği katılmış numunede, B 10M-16 isimli %10 mercimek türlü atık lastikli numunede ve B 10K-16 isimli %10 kauçuk türü atık lastikli numunede kesme davranışı beklerken eğilme davranışı gösterdikleri görülmüştür. B 20T-16 isimli %20 toz türü atık lastik kullanılan 16 cm aralıklı numunede maksimum kuvvetin 40,3 kN olmasıyla en düşük taşıma yükü görülmektedir. Bu değerde hem referans numunesine

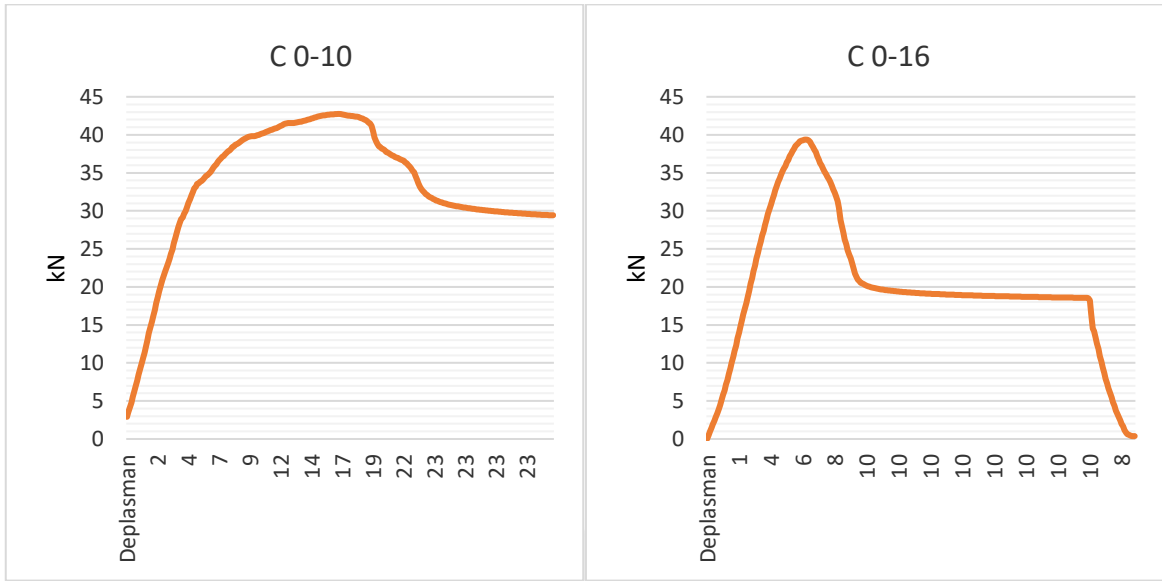
hem de %2 atık lastik katılmayan numuneye göre yaklaşık %20 dayanım kaybına işaret etmektedir. 16 cm aralıklı etriyeli B 10K-16 isimli %10 kauçuk atık lastikli numunede 53,45 kN ve B 20K-16 isimli %20 Kauçuk atık lastikli numunede 53,4 kN ile çok yüksek maksimum taşıyabileceği kuvvet değerleri elde edilmiştir. Bu değerler hem referans numunesinden hem de atık lastiksiz %2 tel içeren numuneden yüksek sonuçlar vermektedir.



Şekil 4.109. B 5K-16 numunesi

Tel oranının en yüksek olduğu %2 teli numunede beklenenden yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Hatta bazı değerler referans numunelerinden daha iyi sonuçlar vermiştir fakat dikkat edilmesi gereken durum, tel oranının beton içerisinde yükselmesiyle beraber tel maddesinin betonun yerleşimine olumsuz olarak etki ettiği'dir. Böylelikle beton tam yerleşemediğinden beklenen dayanım elde edilemeden betonun sınırına ulaştığı gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışma ile betonun %2 telle birlikte uygun yerleşim yapması durumu gerçekleşmiş olsaydı elde edilen değerlerin daha yüksek çıkması kaçınılmaz olacağı düşüncesi oluşmaktadır.

#### 4.2.3.4 %0.5 atık tel içeren numune sonuçları

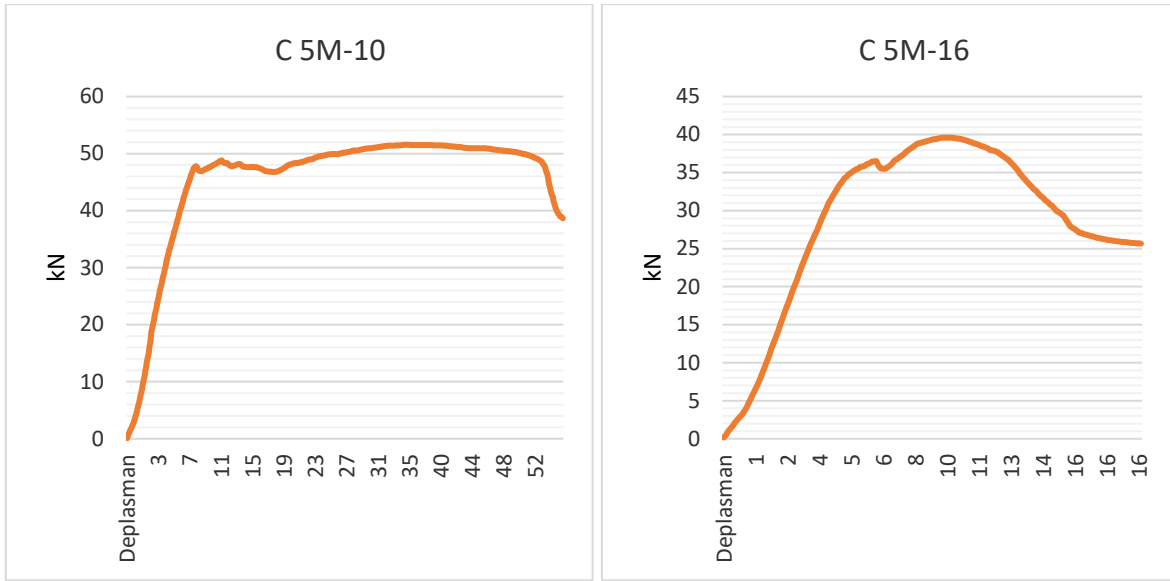


Şekil 4.110. C 0-10 ve C 0-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.111. C 0-10 ve C 0-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.110 incelendiğinde %0.5 oranında atık tel katılmış ve atık lastik kullanılmayan numunelerin grafikleri görülmektedir. C 0-10 ve C 0-16 isimli numunelerin her ikisinde de kesme davranışı görülmektedir. C 0-10 isimli numune 42,7 kN maksimum yük taşıırken C 0-16 isimli numune 39,3 kN maksimum yük taşımaktadır.

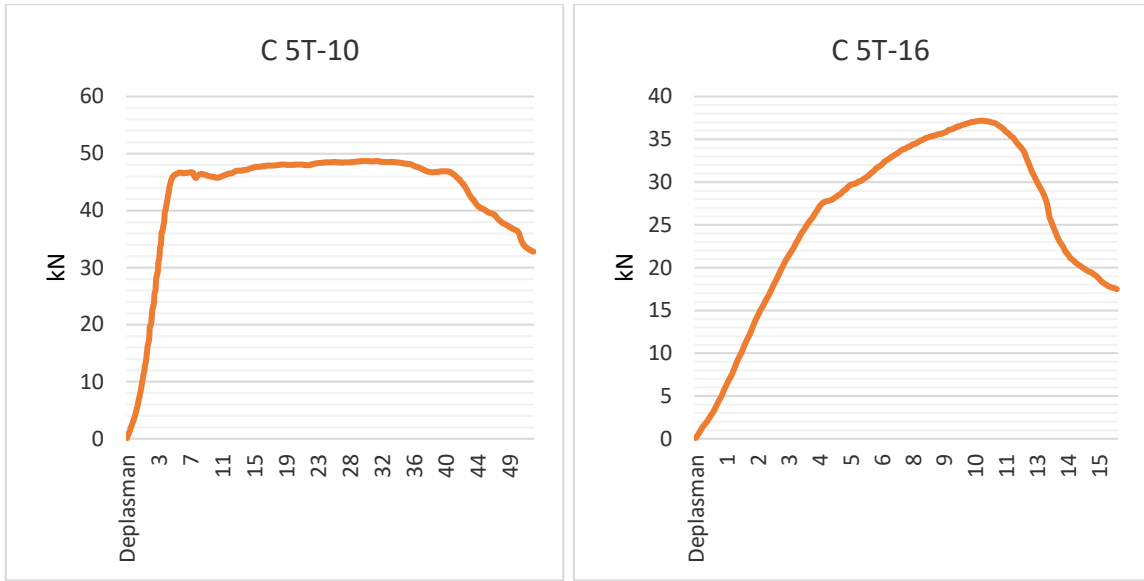


Şekil 4.112. C 5M-10 ve C 5M-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.113. C 5M-10 ve C 5M-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.112 incelendiğinde %0.5 oranında atık tel ile beraber %5 oranında mercimek türü atık lastik kullanarak oluşturulmuş numunelerin grafikleri görülmektedir. C 5M-10 isimli numune eğilme davranışı, C 5M-16 isimli numune kesme davranışı sergilemektedir. C 5M-10 isimli numune 51,55 kN maksimum yük taşıırken C 5M-16 isimli numune 36,5 kN maksimum yük taşımaktadır.

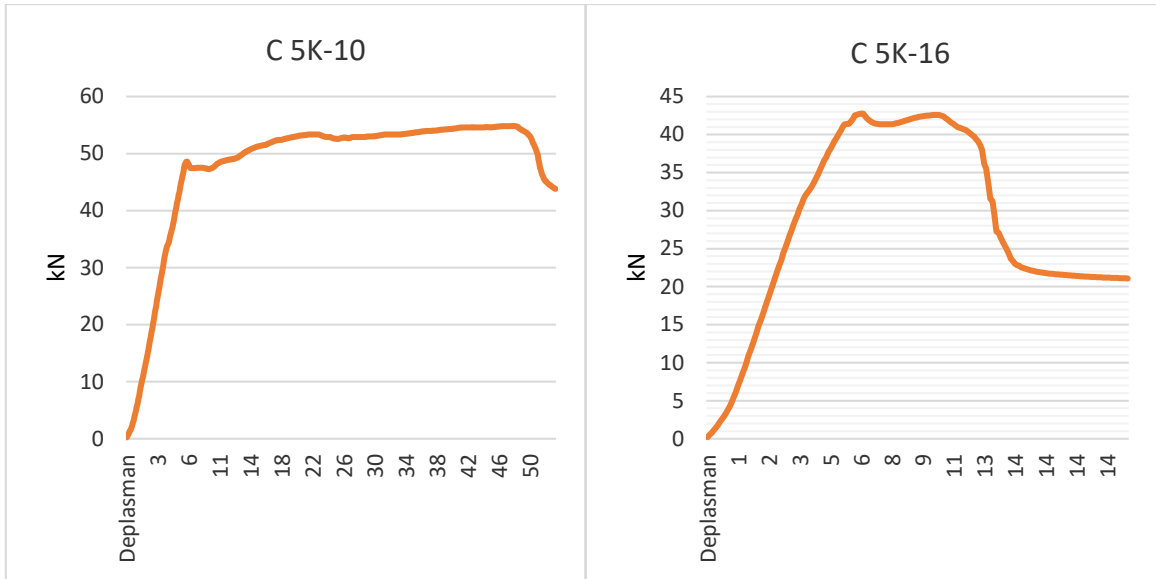


Şekil 4.114. C 5T-10 ve C 5T-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.115. C 5T-10 ve C 5T-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.114 incelendiğinde %0.5 oranında atık tel ile beraber %5 oranında toz türü atık lastik kullanarak oluşturulmuş numunelerin grafikleri görülmektedir. C5T-10 isimli numune eğilme davranışı sergilerken C 5T-16 isimli numune kesme davranışı sergilemektedir. C5T-10 isimli numune maksimum 48,7 kN yük taşıırken C 5T-16 isimli numune maksimum 37,1 kN yük taşımaktadır.

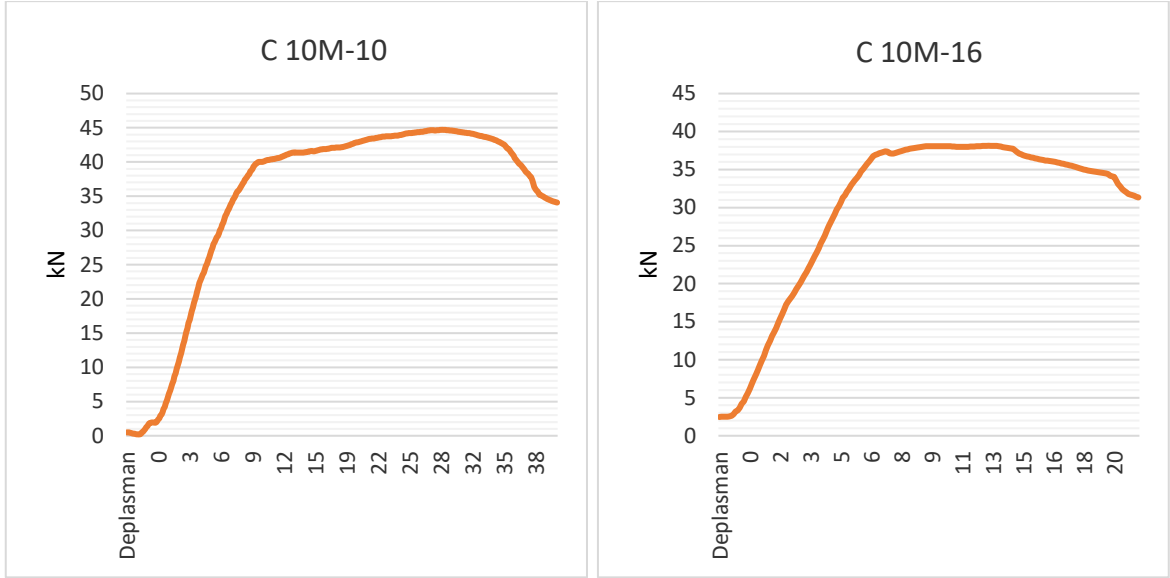


Şekil 4.116. C 5K-10 ve C 5K-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 26. C 5K-10 ve C 5K-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.116 incelendiğinde %0.5 oranında atık tel ile beraber %5 oranında kauçuk türü atık lastik kullanarak oluşturulmuş numunelerin grafikleri görülmektedir. C 5K-10 isimli numunede eğilme davranışı, C 5K-16 isimli numunede kesme davranışı görülmektedir. C 5K-10 isimli numune 54,8 maksimum yük taşıırken C 5K-16 isimli numunenin ise 42,7 kN maksimum yük taşıdığı görülmüştür.

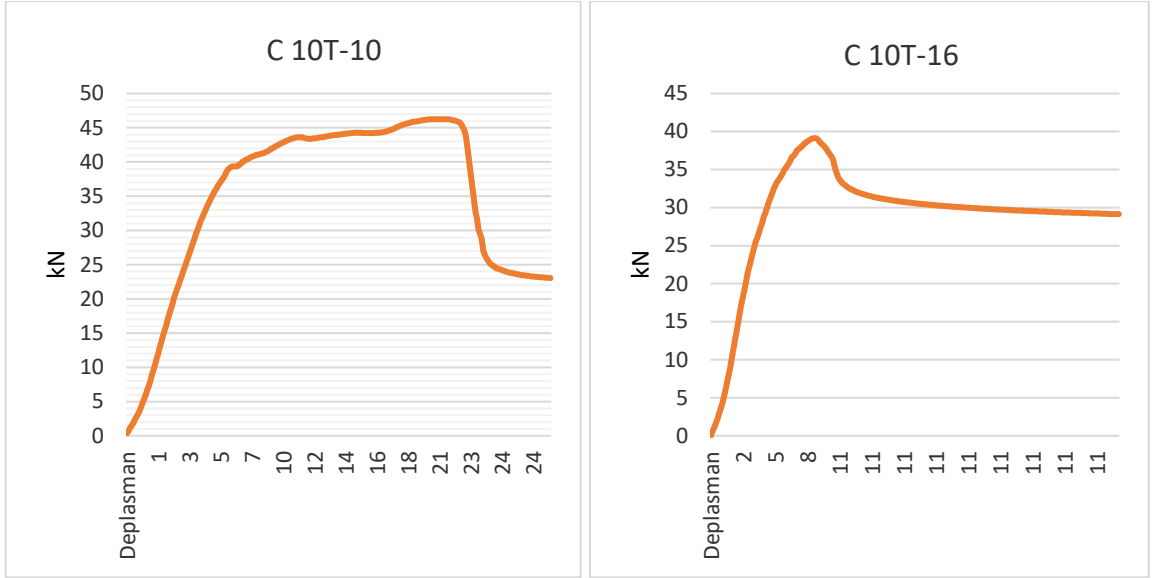


Şekil 4.118. C 10M-10 ve C 10M-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.119. C 10M-10 ve C 10M-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.118 incelendiğinde %0.5 oranında atık tel ile beraber %10 oranında mercimek türü atık lastik kullanarak oluşturulmuş numunelerin grafikleri görülmektedir. C 10M-10 isimli numunede eğilme davranışı, C 10M-16 isimli numunede kesme davranışı görülmektedir. C 10M-10 isimli numune maksimum 44,7 kN yük taşırken C 10M-16 isimli numune 38,1 kN yük taşımaktadır.

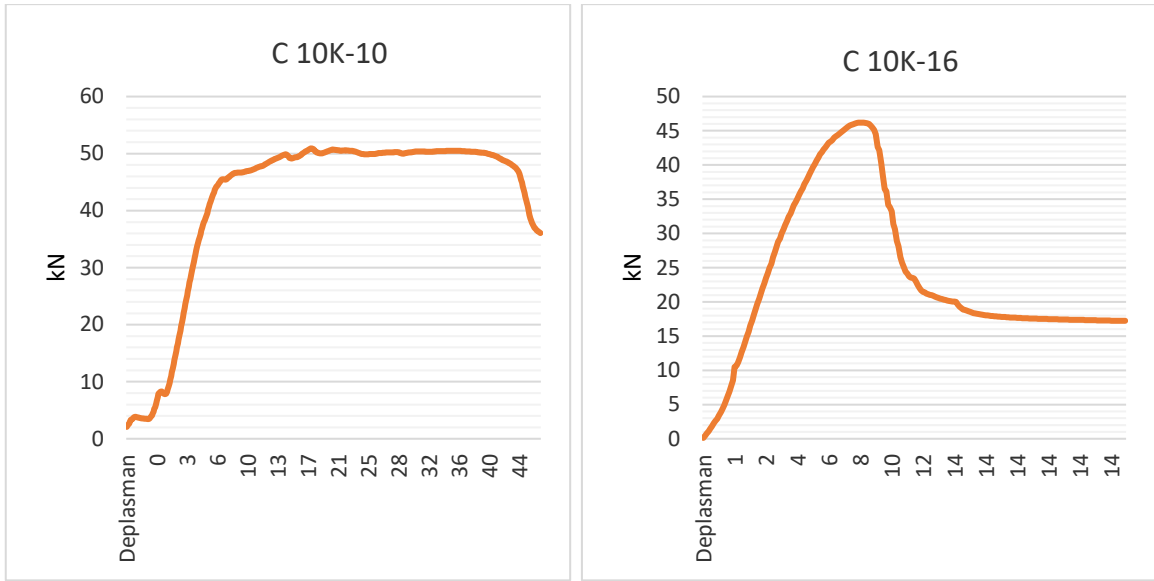


Şekil 4.120. C 10T-10 ve C 10T-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.121. C 10T-10 ve C 10T-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.120 incelendiğinde %0.5 oranında atık tel ile beraber %10 oranında toz türü atık lastik kullanarak oluşturulmuş numunelerin grafikleri görülmektedir. C 10T-10 isimli numunede eğilme davranışı, C 10T-16 isimli numunede kesme davranışı görülmektedir. C 10T-10 isimli numune maksimum 46,2 kN yük taşırken C 10T-16 isimli numune maksimum 39,1 kN yük taşıdığı görülmektedir.

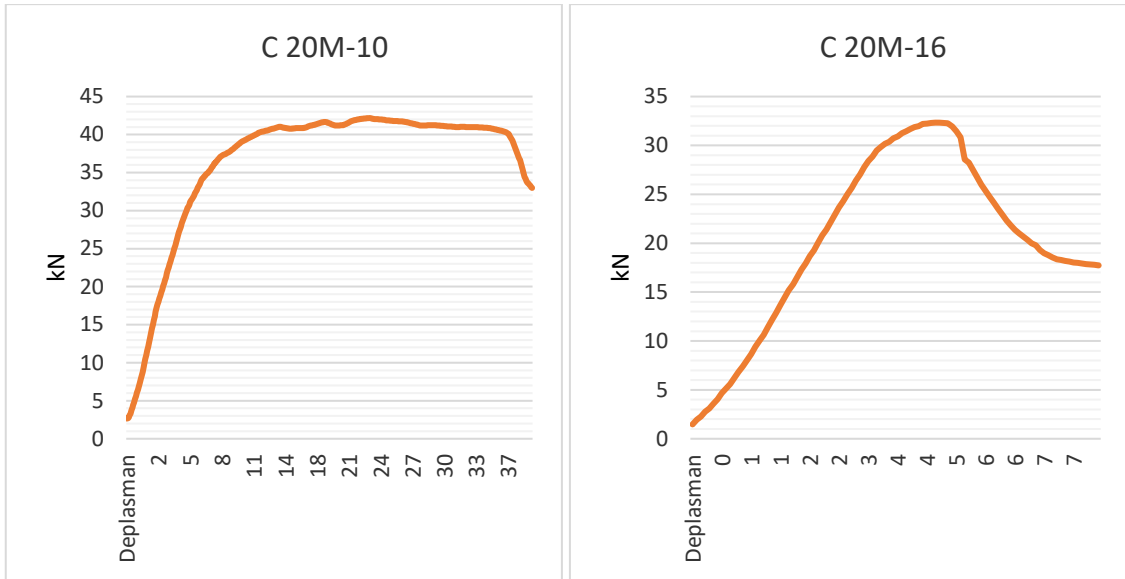


Şekil 4.122. C 10K-10 ve C 10K-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.123. C 10K-10 ve C 10K-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.122 incelendiğinde %0.5 oranında atık tel ile beraber %10 oranında kauçuk türü atık lastik kullanarak oluşturulmuş numunelerin grafikleri görülmektedir. C 10K-10 isimli numunenin taşıdığı maksimum kuvvet 50,9 kN iken C 10K-16 isimli numunenin 46,1 kN olduğu görülmektedir. C 10K-10 isimli numuneden eğilme davranışı görülürken C 10K-16 isimli numunede kesme davranışı görülmektedir.

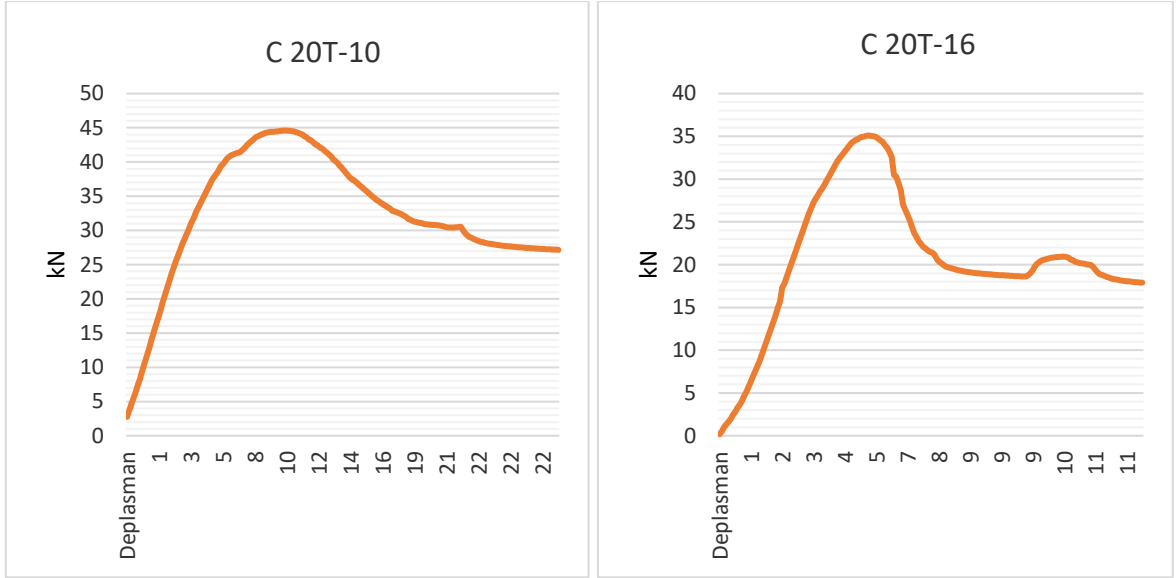


Şekil 4.124. C 20M-10 ve C 20M-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.125. C 20M-10 ve C 20M-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.124 incelendiğinde %0.5 oranında atık tel ile beraber %20 oranında mercimek türü atık lastik kullanarak oluşturulmuş numunelerin grafikleri görülmektedir. C 20M-10 isimli numunede eğilme davranışı gözlemlenirken C 20M-16 isimli numunede kesme davranışı gözlemlenmektedir. C 20M-10 isimli numune maksimum 42,1 kN yük taşıırken C 20M-16 isimli numune maksimum 32,3 kN yük taşımaktadır.

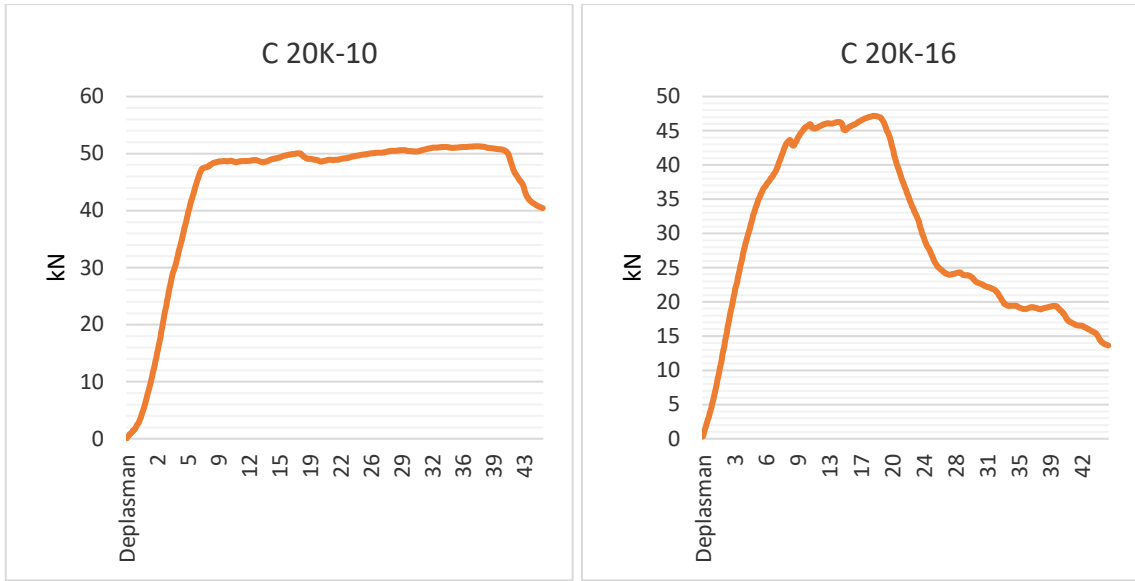


Şekil 4.126. C 20T-10 ve C 20T-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.127. C 20T-10 ve C 20T-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.126 incelendiğinde %0.5 oranında atık tel ile beraber %20 oranında toz türü atık lastik kullanarak oluşturulmuş numunelerin grafikleri görülmektedir. Hem C 20T-10 isimli numunede hem C 20T-16 isimli numunede kesme davranışı gözlemlenmektedir. C 20T-10 isimli numune maksimum 44,6 kN kuvvet taşıırken C 20T-16 isimli numune maksimum 35 kN kuvvet taşımaktadır.



Şekil 4.128. C 20K-10 ve C 20K-16 numunelerin deney sonuçları



Şekil 4.129. C 20K-10 ve C 20K-16 numunelerin deney sonu görüntüleri

Şekil 4.128 değerlendirildiğinde %0.5 oranında atık tel ile beraber %20 oranında kauçuk türü atık lastik kullanarak oluşturulmuş numunelerin grafikleri görülmektedir. C 20K-10 isimli numunede eğilme davranışı görülürken C 20K-16 isimli numunede kesme davranışı görülmektedir. C 20K-10 isimli numune maksimum 51,2 kN kuvvet taşıırken, C 20K-16 isimli numune maksimum 47,1 kN maksimum kuvvet taşıdığı görülmektedir.

%0.5 atık tel katılmış numunelerin deney sonuçları incelendiğinde göze çarpan nokta olarak C 0-10 isimli sadece atık tel kullanılan 10 cm etriye aralıklı numunede ve C 20T-10 isimli atık tel ile birlikte %20 oranında toz türü katılarak oluşturulmuş 10 cm etriye aralıklı donatıya sahip numunede kesme davranışı gözlemlenmesi olarak belirtebiliriz. Çünkü deney boyunca 10 cm aralığındaki donatılar kullanıldığı zaman numune eğilme davranışı gösterdiği görülmektedir.

Ayrıca %0.5 atık tel kullanılarak oluşturulan 10 cm etriye aralıklı donatı kullanılarak numunelerde, atık lastik kullanılmayan numuneye kıyasla atık lastik kullanılmış bütün numuneler atık lastiksiz numuneden daha iyi dayanım sonuçları vermiştir.

#### 4.2.3.5 Büyük kiriş numunelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi

Tüm numunelerin deneyleri gerçekleştirildikten sonra, deneylerin sonuçlarına göre elde edilen veriler üzerinden yük ile deplasman arasındaki ilişkisi değerlendirilmiştir. Elde edilen bu değerlendirmeler ışığında numunelerin süneklikleri, enerji tüketme kapasiteleri ve numunelerin rijitlikleri hesaplanmıştır.

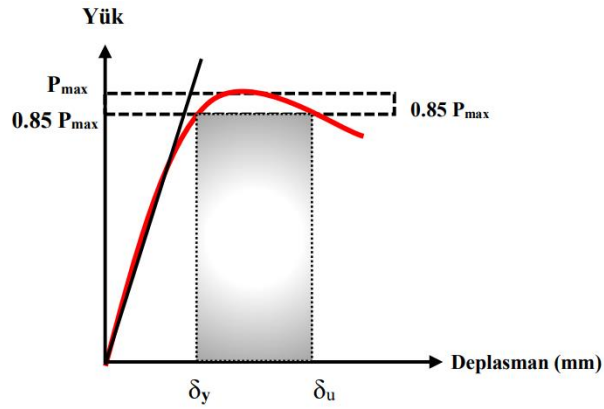
##### 4.2.3.5.1 Sünekliğin incelenmesi

Süneklik, yük taşıma kapasitesinde hiçbir değişim gerçekleşmeden yapı elemanındaki deplasman değerindeki artış olarak tarif edilmektedir. Süneklik katsayısı  $\mu$ , uygulanan yükün %85'lik değerine karşılık gelen deplasman değerinin, akma zamanındaki deplasman değerine oranıdır. Süneklik limit değerlerindeki dayanım düşüşü %15 ( $P_u = 0,85 \times P_{max}$ ) olarak kabul edilmektedir. Bu sebeple elde edilen numunelerin süneklik oranı hesaplanırken Şekil 4.130'da gösterildiği gibi maksimum yükün %85'ine karşılık gelen  $\delta_u$  ve  $\delta_y$  değerleri bulunmaktadır.

Süneklik oranı

$$\mu = \delta_u / \delta_y$$

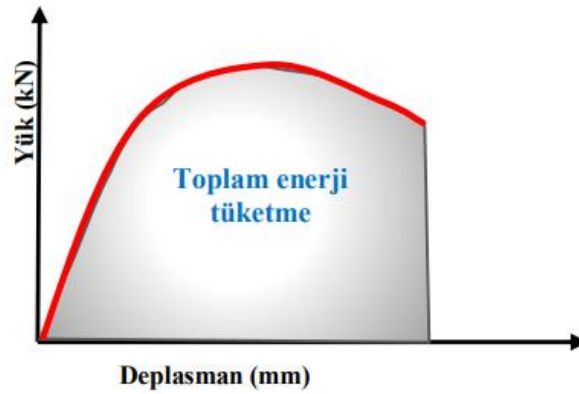
kullanılarak hesaplanmıştır. Burada  $\delta_y$  (mm), akma anındaki şekil değiştirme değeridir ve  $\delta_u$  yükün kopma anındaki şekil değiştirme (mm) değeridir.



Şekil 4.130. Sünekliliğin Değerlendirildiği Grafik

#### 4.2.3.5.2 Enerji tüketme kapasitesinin değerlendirilmesi

Numunelerin toplam enerji tüketme kapasiteleri elde etmek için her bir numuneye ait yük deplasman eğrilerinin altında kalan alan hesaplanmaktadır. Bu alanı elde etmek için numuneden elde edilen grafiğin altında kalan toplam alan hesaplanarak malzemenin enerji yutma kapasitesi değerlendirilmiştir.



Şekil 4.131. Enerji Tüketme Kapasitesinin Şematik Gösterimi

Numune No	P <sub>max</sub> (kN)	P <sub>u</sub> (0.85P <sub>max</sub> ) (kN)	δ <sub>y</sub> (mm)	δ <sub>u</sub> (mm)	Süneklilik Oranı (δ <sub>u</sub> /δ <sub>y</sub> )	Enerji Yutma Kapasitesi (kN/mm)
Ref 0-10	48,647	41,349	6,91	49,7	7,19	2174,3
Ref 0-16	47,53	40,4	6,5	25,8	3,97	1178,8
Ref 5M-10	46,04	39,13	4,8	24,1	5,02	1041
Ref 5M-16	44,65	37,95	5	8,9	1,78	348,16
Ref 5T-10	47,48	40,35	5,2	23,8	4,58	1041,89
Ref 5T-16	48,23	41	4,8	13,4	2,79	545,76
Ref 5K-10	48,09	40,87	4,8	40,3	8,40	1745,2
Ref 5K-16	32,778	27,86	2	5,6	2,80	184,55
Ref 10M-10	50,6	43,01	5	43,9	8,78	1996,4
Ref 10M-16	45,82	38,94	0,5	4,1	8,20	234,77

Ref 10T-10	48,68	41,38	5,6	24,2	4,32	1032,52
Ref 10T-16	42,05	35,74	3,8	9,9	2,61	400,92
Ref 10K-10	54,02	45,91	4,1	58,1	14,17	2866,23
Ref 10K-16	34,46	29,29	3,5	5,2	1,49	215,56
Ref 20M-10	50,73	43,12	4,5	36,2	8,04	1678,83
Ref 20M-16	33,29	28,29	2,7	4	1,48	140,16
Ref 20T-10	43,81	37,24	6,3	17,5	2,78	698,55
Ref 20T-16	36	30,6	4,9	11,9	2,43	437,71
Ref 20K-10	49,66	42,21	4,6	39,9	8,67	1796,87
Ref 20K-16	44,79	38,07	4,6	8	1,74	348,13
A 0-10	52,34	44,48	1,4	51,4	36,71	2601,03
A 0-16	45,21	38,43	4,1	9,5	2,32	437,43
A 5M-10	54,01	45,9	4,4	59,5	13,52	3018,35
A 5M-16	37,42	31,81	4	6,2	1,55	314,07
A 5T-10	48,12	40,9	5,8	22,4	3,86	1108,05
A 5T-16	37,16	31,59	7	12,4	1,77	416,13
A 5K-10	49,77	42,3	7,8	39,7	5,09	1837,04
A 5K-16	35,28	29,98	6,1	10,7	1,75	513,08
A 10M-10	52,29	44,45	4,4	58,3	13,25	2890,61
A 10M-16	47,35	40,25	6,6	11	1,67	483,43
A 10T-10	48,7	41,39	5	17,7	3,54	858,79
A 10T-16	41,97	35,67	5,9	15,1	2,56	577,03
A 10K-10	51,22	43,54	4,8	51,6	10,75	2823,37
A 10K-16	46,45	39,48	5	9,6	1,92	548,3
A 20M-10	50,35	42,8	4,4	31,9	7,25	1592,51
A 20M-16	42,08	35,77	4,1	8,7	2,12	397,99
A 20T-10	41,31	35,11	3,8	17	4,47	1113,83
A 20T-16	37,5	31,87	7	20,3	2,90	716,66
A 20K-10	50,23	42,7	7,3	44,8	6,14	2058,74
A 20K-16	51,33	43,63	5	9,5	1,90	374,47
B 0-10	54,38	46,22	5,5	88,9	16,16	4630,61
B 0-16	49,77	42,3	4,7	32,3	6,87	1501,82
B 5M-10	53,41	45,39	12,7	68,6	5,40	3267,95
B 5M-16	47,1	40,04	4,8	10,4	2,17	441,15
B 5T-10	52,38	44,52	5,9	42,4	7,19	1992,94
B 5T-16	52	44,2	4,4	7,3	1,66	336,26
B 5K-10	48,74	41,42	6,2	35,3	5,69	1635,01
B 5K-16	43,48	36,95	5,7	26,3	4,61	1039,44
B 10M-10	54,78	46,56	5,1	45,4	8,90	2225,48
B 10M-16	50,7	43,09	4,9	36,4	7,43	1698,4
B 10T-10	52,42	44,56	6,9	47,2	6,84	2330,79
B 10T-16	43,58	37,05	5,2	9,6	1,85	320,94
B 10K-10	53,02	45,06	18,9	83,7	4,43	4012,53
B 10K-16	53,45	45,43	5,2	14,8	2,85	706,1
B 20M-10	48,2	40,97	6,5	35,2	5,42	1492,67
B 20M-16	47,61	40,47	5	9	1,80	358,9

B 20T-10	51,63	53,88	5,8	53,5	9,22	2495,03
B 20T-16	40,31	34,26	5,5	9,3	1,69	327,35
B 20K-10	53,86	45,78	14,4	82,6	5,74	4064,44
B 20K-16	53,42	45,4	5,4	39	7,22	1896,47
C 0-10	42,74	36,33	6,8	22	3,24	812,19
C 0-16	39,37	33,46	4	8,1	2,03	275,73
C 5M-10	51,55	43,81	6,5	54	8,31	2538,4
C 5M-16	39,59	33,65	4,6	13,6	2,96	479,57
C 5T-10	48,71	41,4	4	44,1	11,03	2199,62
C 5T-16	37,16	31,59	5,8	12,4	2,14	416,13
C 5K-10	54,84	46,61	5,6	51,8	9,25	2555,12
C 5K-16	42,76	36,34	4,4	12,8	2,91	482,5
C 10M-10	44,7	38	8,5	37,5	4,41	1447,64
C 10M-16	38,13	32,41	5,1	19,9	3,90	641,42
C 10T-10	46,25	39,31	6,1	22,9	3,75	924,68
C 10T-16	39,14	33,26	5,2	11,2	2,15	329,93
C 10K-10	50,93	43,29	5,7	44,7	7,84	2098,61
C 10K-16	46,18	39,26	5	9,3	1,86	423,81
C 20M-10	42,17	35,84	7,2	38	5,28	1431,08
C 20M-16	32,33	27,48	3	5,4	1,80	161,32
C 20T-10	44,59	37,9	5	14,2	2,84	770,1
C 20T-16	35,09	29,82	3,2	6,5	2,03	258,4
C 20K-10	51,28	43,58	6,1	42,7	7,00	1946,97
C 20K-16	47,18	40,1	7,4	20,8	2,81	1327,22

**Çizelge 4.2.** Büyük giriş numunelerinin süneklilik ve enerji yutma kapasite değerleri

Yapılan deneyler sonucunda numuneler için farklı enerji yutma kapasiteleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde 10 cm aralığında donatılarda etriye kullanımı gerçekleştirildiği zaman genel olarak deney numunelerinden daha iyi sonuçlar çıktığı görülmektedir. Özellikle B 0-10 isimli sadece %2 oranında atık tel kullanılmış numune, B 10K-10 isimli %2 atık tel ile %10 kuşbaşı türü atık lastik kullanılmış numune ve B 20K-10 isimli %2 atık tel ile %20 kuşbaşı türü atık lastik kullanılmış numune referans numunesinden 2 kat fazla enerji tutma kapasitesine eriştikleri görülmüştür. Ayrıca Ref 20T-10 isimli sadece %20 toz türü atık lastik kullanılmış numune, A 10T-10 isimli %1 atık tel ile %10 toz türü atık lastik kullanılmış numune, C 0-10 isimli sadece %0.5 atık tel kullanılmış numune ve C 20T-10 isimli %0.5 atık tel ile %20 toz türü atık lastik kullanılmış numunede enerji tutma kapasiteleri referans numunesine göre %50 oranından daha az çıkmaktadır. 16 cm aralığında donatılarda etriye kullanılan numuneler göz atarsak ilginç bir durum karşımıza çıkmaktadır. Sadece atık lastik kullanılmış ve %1 atık tel kullanılan bütün numunelerde elde edilen sonuçlar referans numunesinden daha olumsuz durumlar içermektedir. C 20K-16 isimli numune olan %0.5 atık tel ile birlikte %20 kuşbaşı türü atık lastik kullanılan numune hariç

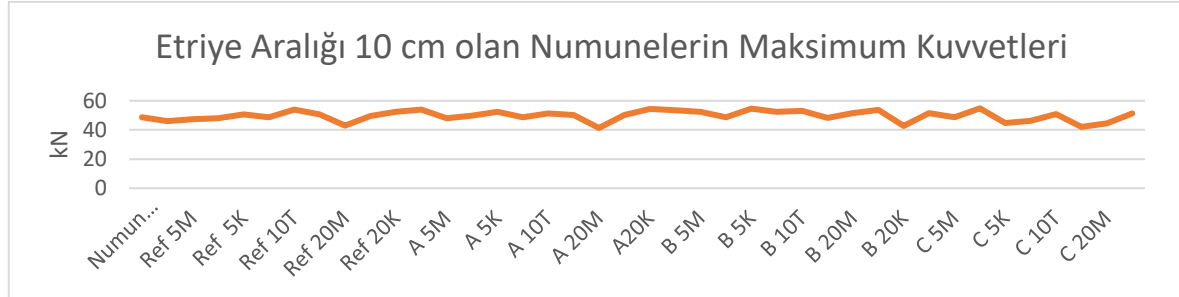
diğer bütün %0.5 atık tel kullanılan numunelerin de referans numunesinden daha kötü sonuçlar elde edilmiştir. %2 atık tel kullanıldığı zaman ise sadece %2 atık tel kullanılmış numune, %10 ve %20 kuşbaşı türü kullanılan numuneler ve %10 mercimek türü atık lastik kullanılan numuneler referans numunesine yakın ve daha iyi sonuçlar vermişlerdir. Elde edilen diğer bütün sonuçlar referans numunesinden daha düşük sonuçları içermektedir.

Yapılan deneylerde bu sefer sürekliliği incelersek, 10 cm etriye aralığında Ref numunelerinde toz numuneler referans numunelerinde yaklaşık %50 daha olumsuz sonuçlarda vermektedir. Mercimek ve kauçuk türü numuneler Ref numunesine yakın değerler sergilemektedir. %1 tel kullanılan A numunelerinde yine toz olarak kullanılan atık lastiklerde %50 daha olumsuz sonuçlar görmekteyiz. Mercimek ve kauçuk türü numuneler Ref numunesine yakın değerler sergilemekte olup istisna olarak A 5K-10 numunesi yaklaşık %30 daha olumsuz sonuç vermiştir. Ayrıca A 0-10 numunesi referans numunesinden 4 kat daha olumlu sonuç vermekte olup mercimek türü atık lastik kullanılan A 5M-10 ve A 10M-10 numuneleri 2 kat daha olumlu sonuçlar vermektedir. %2 tel kullanılan B numunelerinde genel olarak toz numunesi ön plana çıkmamakta olup diğer numunelerinde Ref numunesinden daha kötü sonuçlar verdiği görülmektedir. İstisna olarak B 20T-10 numunesi referans numunesinden daha iyi sonuçlar sergilemektedir. %0.5 tel kullanılan C numunelerinde ise atık lastik kullanım oranı ön plana çıkmaktadır. %10 ve %20 atık lastik kullanıldığı zaman numunelerde olumsuz sonuçlar meydana gelmekte olup diğer numunelerin aksine sadece tel numune kullanılan C 0-10 numunesi yaklaşık %50 oranında daha kötü sonuçlar vermektedir. Sadece tel kullanılan numuneleri kıyaslarsak %1 ve %2 atık tel kullanıldığı zaman olumlu, %0.5 tel kullanıldığı zaman olumsuz sonuçlar elde etmekteyiz.

16 cm etriye aralığında ise Ref numuneleri Ref 10M-16 numunesi hariç daha olumsuz sonuçlar göstermektedir. A numunelerinin hepsi referans numunesinden daha kötü sonuçlar göstermektedir. B numunelerinde ise B 10M-16 ve B 20K-16 numunesi hariç yine diğer numunelerin hepsinde olumsuz sonuçlar gözlemlenmiştir. C numunelerinde de A numunelerinde olduğu gibi numunelerin hepsinde olumsuz sonuçlar gözlemlenmektedir.

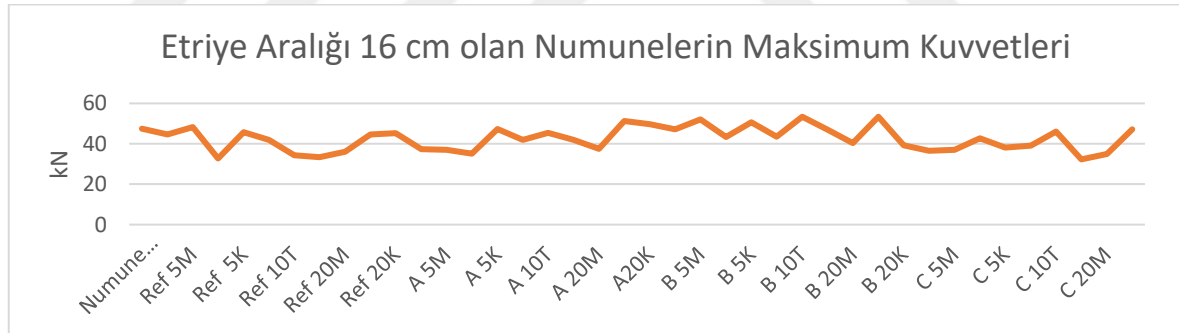
#### 4.2.3.6 Büyük Kiriş Numunelerin Kuvvet Yönünden Değerlendirilmesi

Taşıyabilecekleri maksimum kuvveti kullanılan etriyeye göre değerlendirilmesi yapılırsa;



**Şekil 4.132.** 10 cm aralıklı etriyeli donatı içeren numunelerin maksimum kuvvetleri

Şekil 4.132’de 10 cm aralığında etriye kullanılarak oluşturulmuş donatıları içeren bütün büyük kiriş numunelerin taşıyabilecekleri maksimum kuvvetler görülmektedir. Ref 20T isimli atık tel içermeyen %20 oranında toz türü lastik kullanılmış numune, A 20T isimli %1 atık tel ve %20 toz türü atık lastik içeren numune, C 0 isimli sadece %0.5 atık tel içeren numune ve C 10K isimli %0.5 atık tel ve %10 kuşbaşı türü içeren numunelerde referans numunesine kıyasla sadece %10 oranında dayanım kaybı görülmüştür. Görülen bu dayanım kayıpları en olumsuz dayanım kayıplarıdır.



**Şekil 4.133.** 16 cm aralıklı etriyeli donatı içeren numunelerin maksimum kuvvetleri

Şekil 4.133’te 16 cm aralığında etriye kullanılarak oluşturulmuş donatıları içeren bütün büyük kiriş numunelerin taşıyabilecekleri maksimum kuvvetler görülmektedir. Ref 5K isimli atık tel kullanılmadan %5 oranında kauçuk türü atık lastikli numunede, Ref 20M isimli atık tel kullanılmadan %20 oranında mercimek türü atık lastikli numunede ve C 20M isimli %0.5 atık tel ile %20 mercimek türü atık lastikli numunede referans numunesine göre %30 dayanım kaybının meydana geldiği görülmüştür.

## 5. SONUÇ

Yapılan araştırmalar neticesinde beton numunesine farklı oranlarda atık tel ve lastik kullanarak beton teknolojisi geliştirmeyi amaçladığımız bu araştırmada genel olarak çıkarımlarda bulunmamız gerekirse birkaç yorum yapabilmekteyiz.

Basınç dayanımını irdelediğimiz küp numune deneylerine bakarak;

- Numunelerde %20 oranında toz türü atık lastik kullandığımız zaman her zaman en kötü dayanım sonuçlarını elde edilmektedir. %20 oranında mercimek türü atık lastik kullanımı da bize en kötü ikinci sonucu vermektedir.
- Kauçuk türü atık lastik kullanımı genel olarak mercimek türü ve toz türü atık lastik kullanımından daha iyi sonuçlar vermektedir. En kötü senaryoyu toz türü atık lastik kullandığımızda elde etmekteyiz.
- Kullandığımız atık lastik oranı arttıkça dayanım kayıplarındaki düşüşler artmakta olduğu görmekteyiz.
- Atık tel kullandığımız zaman en iyi sonucu %1 oranında almaktayız.

Çekme dayanımını incelediğimiz silindir numune deneyleri baktığımızda;

- Numunelerde %20 oranında toz türü atık lastik kullandığımız zaman basınç deneylerinde de görüldüğü üzere her zaman en kötü dayanım sonuçlarını elde edilmektedir.
- Genel olarak kauçuk türü atık lastik, mercimek ve toz türünden daha iyi sonuçlar vermiştir ama basınç deneylerindeki gibi bariz farklar görülmemiştir.
- Kullanılan lastik oranı arttıkça dayanımda lineer bir şekilde azalmalar meydana gelmektedir.
- Referans numuneler en iyi sonucu verirken, tel kullanılan numunelerde referans numuneleri kadar olmasa da en iyi sonucu %1 oranında atık telin kullandığı numuneler vermiştir. %0.5 oranında tel numune kullanıldığı zaman en kötü sonuç meydana gelmektedir.

Eğilme dayanımını donatısız bir şekilde tahmin etmek için yaptığımız küçük kiriş deneylerinde;

- Referans numuneleri en iyi sonucu vermekte olup atık tel kullandığımızda %1 oranı en iyi sonucu vermekte olup, %0.5 ve %2 oranlarında görülen kayıplar %50 civarındadır.
- Basınç ve çekmede görülen kauçuk türü atık lastiğin diğer lastiklere olan üstünlüğünü donatısız eğilmede görülememektedir.
- Genel olarak gördüğümüz atık lastik oranı artıkça dayanımda azalmaların meydana geldiğini küçük kiriş deneyinde bariz şekilde görememekteyiz.

Eğilme ve kesme dayanımını farklı etriye aralıklı donatılar kullanarak incelediğimiz büyük kiriş numune deneylerinde;

- Genel olarak donatılarda 10 cm aralıklı etriye kullanıldığı zaman eğilme, donatılarda 16 cm aralıklı etriye kullanıldığı zaman kesme davranışı görmekteyiz.
- 10 cm etriye aralığı kullanılan numunelerde elde edilen değerlerin küçük bir standart sapmasının olduğu, 16 cm aralığında kullanılan numunelerde elde edilen değerlerin standart sapmasının daha büyük olduğu fark edilmektedir.
- Kullanılan neredeyse bütün tel oranlarında (%2 hariç) donatılarda 10 cm etriye aralığı ve %20 toz türü atık lastik kullanıldığında, diğer numunelerde gördüğümüz eğilme davranışının aksine kesme davranışı görmekteyiz.
- %2 oranında tel kullanılarak oluşturulmuş numunelerin çoğu, atık tel ve lastik kullanılmamış referans numunesinden daha iyi sonuçlar vermektedir.
- %2 tel oranında 16 cm etriye aralıklı numunelerin neredeyse yarısında kesme davranışı beklenirken eğilme davranışı gösterdikleri görülmüştür.
- %2 oranında tel kullanıldığı zaman, betonun yerleşimini tam olarak yapamadığı fark edilmektedir. Eğer beton tam olarak yerleşimini yapabilseydi zaten %2 tel oranında elde ettiğimiz diğer numunelerden yüksek sonuçların daha iyi olacağını düşünmekteyiz.
- Enerji yutma kapasitelerine baktığımızda 16 cm etriye aralığındaki donatıların kullanıldığı numunelerin neredeyse hepsinde olumsuz sonuç elde

edilmesi göze çarpmaktadır. 10 cm etriye aralığındaki donatıların kullanıldığı numunelere bakarsak öne çıkan numunelerde kauçuk türü atık lastik kullanıldığı fark etmekteyiz.

- Sünekliliği incelediğimizde ise 10 cm etriye aralığında toz numunelerde diğer numunelere göre olumsuz sonuçlar elde edilmiş olup, sadece tel kullanılan numunelerde (%0.5 hariç) ve %1 telle beraber mercimek türü atık lastiklerde olumlu sonuçlar elde edilmiş olup, 16 cm etriye aralığındaki numunelerde genel olarak çoğu numunede olumsuz sonuçlar gözlemlenmiştir.

Yapılan deneylerde kullanılan numunelerde içinde hiçbir katkısı maddesi olmayan referans numunesinde kırık ve çatlaklar incelendiğinde katkı maddeli olan diğer numunelere göre daha fazla kırık ve çatlaklar gözlemlenmiştir. Katkılı madde eklenmiş numunelerde ise kırık ve çatlak miktarlarında azalma görülmesi nedeniyle atık lastik ve tel, malzemenin bir arada kalarak dağılması önlemiş olduğunu ve betonda bulunan diğer malzemeler ile aderans yönünde daha iyi bir ilişkide bulunduğunu söyleyebiliriz. İstisnai olarak bazı numunelerde köşe bölgelerinde atık lastik malzeme bulunması yüzünden erken ve büyük parça kopmaları gözlemlenmiş olsa da genel olarak atık lastik ve tel malzeme numunelerin parçalanma durumunu olumlu yönde etkileyerek numunenin bir arada kalmasına sağlamıştır.

**KAYNAKLAR**

- Abas F. O., Ghafoor E. A. A., Abass M. U. Ve Abd T. K., (2015), Re-use of Waste Tires Rubber As Fine Aggregate Replacement in Concrete Applications, *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 4(3), 110-120
- Aksoylu C., Özkılıç Y. O., Hadzima-Nyarko M. Ve Işık E., 2022, Investigation on Improvement in Shear Performance of Reinforced-Concrete Beams Produced with Recycled Steel Wires from Waste Tires, *MDPI Sustainability*, 14, 13360
- Alacalı M. ve Yarbaşı N., 2018, Atık Lastik Parçalarıyla Güçlendirilmiş İri Taneli Zeminlerin Donma-Çözülme Sonucu Mukavemetlerindeki Değişimin İncelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(3), 561-565
- Albidah A., Alsaif A., Abadel A., Abbas H. Ve Al-Sallaoun Y., 2021, Role of Recycled Vehicle Tires Quantity and Size on the Properties of Metakaolin-Based Geopolymer Rubberized Concrete, *Journal of Materials Research and Technology*, 18, 2593-2607
- Alibekiroğlu M. A., 2019, Atık Çelik Liflerin Beton Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*
- Argunhan Z., 2017, Yapı Elemanlarında Kullanılan Atık Lastiklerin Isıl Performansının İncelenmesi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8(3), 621-630
- Avcı B. E., 2013, Çelik Tel Donatı Ve Atık Lastik Tozu Katkılı Rijit Üstyapıların Mukavemet Yönünden Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*
- Aydöner T., 2002, Çelik Tel Takviyeli Betonların Mekanik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*
- Bayraktar O. Y. ve Kaplan G., 2021, Farklı Çimentolardan Üretilen Köpük Betonlarda Atık Lastiklerin Hafif Agregası Olarak Kullanımı, *Gümüşhane University Journal of Science and Technology*, 11(3), 692-703
- Baylavlı H., 2008, Lastik Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Taze Beton Özelliklerine Farklı Katkıların Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*
- Beycioğlu A. Başyigit C. Ve Subaşı S., 2008, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı ile Geri Kazanılması ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması, Çevre Sorunları Sempozyumu, Kocaeli, 1386-1394
- Çetin A., 1997, Endüstriyel Atıkların Asfalt Beton Kaplama Karışımında Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*
- Çelikcan P., 2021, Atık Çelik Tel İçeren Çimento Bulamacı Emdirilmiş Lifli Betonların Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*

- Dedeoğlu R. Ő., 2010, Akışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Beton Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*
- Emiroğlu M., 2006, Atık Taşıt Lastiğinin Beton içerisinde Kullanımı ve Betonun Karakteristiklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Yapı Eğitimi Anabilim Dalı*
- Emiroğlu M. Yıldız S. ve Keleştemur M.H., 2009, Katı Atıklarla Elde Edilmiş Betonlarda Dayanım Azalma Faktörünün Belirlenmesi, Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük
- Emiroğlu M. Yıldız S. ve Özgan E., 2009, Lastik Agregalı Betonlarda Elastisite Modülünün Deneysel ve teorik Olarak İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(3), 469-476
- Eken M. ve Avşaroğlu E. B. G., 2018, Takviye Olarak Kullanılan Atık elik Liflerin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi, *Bilimsel Araştırmalarda Yeni Yaklaşımlar*, Köse O. ve Kirik E., Berikan Yayınevi, 85-96
- Eren M. E., 2019, Atık Mermer Tozu Ve Lastik Agregası Kullanılarak Üretilmiş evre Dostu Betonların Dayanım Ve Dayanıklılık Özelliklerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*
- Etefa G. Ve Mosisa G., 2020, Waste Rubber Tires: A Partial Replacement for Coarse Aggregate in Concrete Floor Tile Production, *American Journal of Civil Engineering*, 8(3), 57-63
- Gönen T., Onat O., Cemalgi S., Yılmaz B. Ve Altuncu Y. T., 2012, Beton Teknolojisi İçin Yeni Atık Malzemeler Üzerine Bir İnceleme, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(1), 36-43
- Guo S., Dai Q., Si R., Sun X. Ve Lu C., 2017, Evaluation of Properties and Performance of Rubber-Modified Concrete for Recycling of Waste Scrap Tire, *Journal of Cleaner Production*, 148, 681-689
- İpek S. ve Mermerdaş K., 2022, Atık Lastik Agregasının Geopolimer Harcın Taze Özellikleri Üzerine Etkisi, *16.Mas International European Conference on Mathematics, Engineering, Natural and Medical Sciences*, 500-510
- İpek S. Mermerdaş K. Ulusoy A. Ve Işıker Y., 2022, Atık Lastiklerin, Beton Üretiminde Agregası Olarak Kullanımının Betonun Taze ve Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, *Gümüşhane University Journal of Science and Technology*, 12(3), 982-999
- Kızar S., 2017, Atık Lastiklerin Bina Yapı ve Duvar Elemanlarında Kullanabilirliğinin Araştırılması, Isıl ve Ses Performanslarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*

- Köroğlu M. A., 2016, Mechanical Characterization of Recycled Tires in Concrete, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(4), 330-336
- Mhaya A. M., Huseien G. F., Abidin A. R. Z. Ve Ismail M., 2020, Long-term Mechanical and Durable Properties of Waste Tires Rubber Crumbs Replaced GBFS Modified Concretes, *Construction and Building Materials*, 256, 119505
- Özbyay N. S., 2018, İnce Öğütölmüş Bronz, Tel ve Lastik Atıkları ile Üretilen Betonun Soğuk Basma Mukavemeti, Korozyon ve Donma-Çözölme Direncinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*
- Öztürk H., 2016, Atık Lastik Katkısının Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mühendislik Özelliklerine Etkileri, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*
- Roychand R., Gravina R. J., Zhuge Y., Ma X., Youssf O. Ve Mills J. E., 2019, A Comprehensive Review on The Mechanical Properties of Waste Tire Rubber Concrete, *Construction and Building Materials*, 237, 117651
- Sarkaz A. M. H., 2020, Atık Lastik Katkılı Geopolimer Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*
- Shaaban I. G., Rizzuto J. P., El-Nemr A., Bohan L., Ahmed H. ve Tindyebwa H., 2020, Mechanical Properties and Air Permeability of Concrete Containing Waste Tires Extracts, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 33(2)
- Shu X. Ve Huang B., 2014, Recycling of Waste Tire Rubber in Asphalt and Portland Cement Concrete, *Construction and Building Materials*, 67, 217-224
- Shtayeh S. M. S., 2007, Utilization of Waste Tires in the Production of Non Structural Portland Cement Concrete, An-Najah National University Faculty of Graduate Studies
- Siddika A., Al Mamun M. A., Alyousef R., Amran Y. H. M., Aslani F. Ve Alabduljabbart, 2019, Properties and Utilizations of Waste Tire Rubber in Concrete, *Construction and Building Materials*, 224, 711-731
- Sofi A., 2018, Effect of Waste Tyre Rubber on Mechanical and Durability Properties of Concrete, *Ain Shams Engineering Journal*, 9, 2691-2700
- Şimşek B., Polat R. Ve Gül R., 2022, Atık Lastik Katkılı Betonlarda Uçucu kül Kullanımının Aderans ve Basınç Dayanımına Etkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(4), 2290 – 2301
- Thomas B. S., Gupta R. C. Ve Panicker V. J., 2015, Recycling of Waste Tire Rubber as Aggregate in Concrete: Durability-Related Performance, *Journal of Cleaner Production*, 112, 504-513
- Topçu İ. B., Türeyen A. C. ve Uygunoğlu T., 2022, Atık Lastik Katılmış Betonun Süspansiyon Teorisi ile İncelenmesi, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt:9 No:2, 925-935

- Topçu İ. B., Demir A., 2004, Lastik Agregalı Harçlarda Deniz Suyu Etkisinin İncelenmesi, Beton Kongresi, İstanbul, 312-320
- Topçu İ. B., Demir A., 2007, Atık Lastik ve Uçucu Küllü Harçların Özellikleri, *Eskişehir Osmangazi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt:20 No:2
- Topçu İ. B., Demir A., 2009, Farklı Çimentolarla Üretilen Lastik Agregalı Harçların Bazı Özellikleri, *Politeknik Dergisi*, Cilt:12 No:3, 201-206
- Topçu İ. B., Toprak M. U., 2009, Lastik Küllü Harçların Özellikleri, *Eskişehir Osmangazi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt:22 No:1, 109-127
- Tulga İ., 2017, Endüstriyel Atıkların Çimento Yerine İkame Edilmesi ile Oluşturulan Beton Numunelerinin Mühendislik Özelliklerindeki Değişimin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*
- Turgut P. Ve Yeşilata B., 2009, Atık Lastik Katkılı Harç Plak ve Briketlerin Termo-Mekanik Davranışlarının Araştırılması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt:24 No:4, 33-39
- Turgut P. Ve Yeşilata B., 2007, Kompozit Yapı Malzemelerinin Isıl Özellik Ölçümü-2: Hurda Lastik Katkılı Betonlar İçin Ölçüm Sonuçları, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Cilt:48 No:565, 651-658
- Yeşilata B. Turgut P. Ve İşiker Y., 2006, Atık Polimerik Malzeme Katkılı Betonun Yalıtım Özelliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 26(1), 15-20
- Uyan M., 1996, Akışkanlaştırıcı Katkıların Etkinliği, *4. Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, 13-23
- Yung W. H., Yung L. C. Ve Hua L. H., 2012, A Study of The Durability Properties of Waste Tire Rubber Applied to Self-Compacting Concrete, *Construction and Building Materials*, 41, 665-672
- Zaleska M., Pavlik Z., Citek D., Jankovksy O. Ve Pavlikova M., 2019, Eco-friendly Concrete with Scrap-Tyre-Rubber-Based Aggregate– Properties and Thermal Stability, *Construction and Building Materials*, 225, 709-722
- Zhang Peter, Wang Chenyang, Wu Cunliang, Guo Yongfu, Li Yin ve Guo Jinjun, 2022, A Review on the Properties of Concrete Reinforced with Recycled Steel Fiber from Waste Tires, *Reviews on Advanced Materials Science*, 61, 276-291
- Url-1 [www.europeanrecycling.green/en/product/products/all/tire-wire-scrap/7/](http://www.europeanrecycling.green/en/product/products/all/tire-wire-scrap/7/)  
(erişim tarihi 18.10.2023)