



**ÇELİK LİFLİ POLİMER BETONLARIN  
MEKANİK DAVRANIŞI ÜZERİNE GERİ  
DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ ARAÇ LASTİĞİ  
PARÇACIKLARI VE LİFLERİNİN BİRLEŞİK  
ETKİSİ**

**Furkan GÖKBAŞI**

**Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Prof. Dr. Remzi ŞAHİN  
2021  
(Her hakkı saklıdır)**

T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**ÇELİK LİFLİ POLİMER BETONLARIN MEKANİK DAVRANIŞI ÜZERİNE GERİ  
DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ ARAÇ LASTİĞİ PARÇACIKLARI VE LİFLERİNİN  
BİRLEŞİK ETKİSİ**

(Combined Effect of Recycled Tire Particles and Tyre Steel Fibers on the Mechanical  
Behavior of Steel Fiber Reinforced Polymer Concretes)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Furkan GÖKBAŞI

Danışman: Prof. Dr. Remzi ŞAHİN

Erzurum  
Aralık, 2021

## KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Furkan GÖKBAŞI tarafından hazırlanan “Çelik Lifli Polimer Betonların Mekanik Davranışı Üzerine Geri Dönüştürülmüş Araç Lastiği Parçacıkları ve Liflerinin Birleşik Etkisi” başlıklı çalışması 29 / 12 / 2021 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yapı Malzemeleri Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Doç. Dr. Rıza POLAT  
Atatürk Üniversitesi

Aslı Islak İmzalıdır

Danışman: Prof. Dr. Remzi ŞAHİN  
Atatürk Üniversitesi

Aslı Islak İmzalıdır.

Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Türkay KOTAN  
Erzurum Teknik Üniversitesi

Aslı Islak İmzalıdır

Enstitü Yönetim Kurulunun  
..../.../.... tarih ve ..... sayılı  
kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

**Prof. Dr. Saltuk Buğrahan Ceyhun**

**Enstitü Müdürü**

Aslı Islak İmzalıdır

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

## ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak Prof. Dr. Remzi ŞAHİN danışmanlığında sunulan “Çelik Lifli Polimer Betonların Mekanik Davranışı Üzerine Geri Dönüştürülmüş Araç Lastiği Parçacıkları ve Liflerinin Birleşik Etkisi” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

| Tez Bölümleri      | Tezin Benzerlik Oranı (%) | Maksimum Oran (%) |
|--------------------|---------------------------|-------------------|
| Giriş              | 2                         | 30                |
| Kuramsal Temeller  | 23                        | 30                |
| Materyal ve Yöntem | 3                         | 35                |
| Bulgular           | 5                         | 20                |
| Tartışma           | 0                         | 20                |
| Tezin Geneli       | 14                        | 25                |

**Not:** Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

| Tez Yazarı (Öğrenci)       | Tez Danışmanı              |
|----------------------------|----------------------------|
| Furkan GÖKBAŞI             | Prof. Dr. Remzi ŞAHİN      |
| 29.12.2021                 | 29.12.2021                 |
| İmza: Aslı Islak İmzalıdır | İmza: Aslı Islak İmzalıdır |

\* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun ....../....../.... tarih ve ..... sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun ....../....../.... tarih ve ..... sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın başından sonuna kadar her türlü destek ve yardımı eksik etmeyen, akademik bilgi ve tecrübesi, Mühendislik bakış açısı ve özgün fikirleriyle çalışmamın her aşamasına katkıda bulunan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Remzi ŞAHİN'e minnettarım.

Deneysel çalışmalar esnasındaki destekleri nedeniyle, Sayın Arş. Gör. Dr. Yeşim TARHAN, Sayın Arş. Gör, Sayın Arş. Gör. Dr. Halit Alperen BULUT, Sayın Arş. Gör. Derya TURHAN, Sayın Arş. Gör. Fatih ARTUK, İnşaat Mühendisi Ahmet KORKMAZ, İnşaat Mühendisi Hamza ÇINAR, İnşaat Mühendisi Mehmet KELPETİN'e teşekkür ederim.

Yine çalışma motivasyonumu artırıcı yöndeki telkinlerinden dolayı ismini saymakla bitiremediğim arkadaşlarıma müteşekkirim.

Ayrıca deneysel çalışmalarda kullanılan atık lastik granüllerinin üretim ve teminini sağlayan KÂHYA KAÜÇÜK firmasına, atık çelik telin üretim ve teminini sağlayan Era Çevre Teknolojileri A.Ş.-Erzincan Şubesi (Erzincan ÖTL Geri Dönüşüm ve Enerji Üretim Tesisi) tesisindeki değerli çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

Son olarak hayatımın her anında yanımda olan, bütün çalışmalarımda olduğu gibi bu konuda da maddi ve manevi hiçbir yardımdan kaçınmayan, desteklerini her an benimle birlikte olduğunu hissettiren çok kıymetli aileme şükranlarımı sunarım.

Furkan GÖKBAŞI

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## ÇELİK LİFLİ POLİMER BETONLARIN MEKANİK DAVRANIŞI ÜZERİNE GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ ARAÇ LASTİĞİ PARÇACIKLARI VE LİFLERİNİN BİRLEŞİK ETKİSİ

Furkan GÖKBAŞI

Danışman: Prof. Dr. Remzi ŞAHİN

**Amaç:** Bu çalışmada geri dönüştürülmüş atık araç lastiği parçacıklarının dolgu maddesinin (ince agregası) bir kısmı, atık lastik tellerinden elde edilen çelik liflerin ise endüstriyel çelik lifin bir kısmı ile ikame etmek suretiyle üretilen çelik lifli polimer betonların mekanik özelliklerindeki değişimin incelenmesi amaçlanmıştır.

**Yöntem:** Polimer olarak doymamış polyester reçinesi seçilmiş ve beton üretiminde bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Dolgu maddesi (D) olarak 0-4, 4-8 ve 8-16 mm sınıflarında agregası, ince agregasıyla belirli oranlarda yer değiştiren iki farklı çapta (0-1 mm ve 1-3,5 mm) atık lastik (AL) parçacıkları kullanılmıştır. Ön deneyler sonucunda reçine/dolgu oranı %20, çelik lif oranı ağırlıkça %0,8, sertleştirici oranı %1,5 ve hızlandırıcı oranı %0,3 olarak sabit alınmıştır. AL/D oranı %0, %2,5, %5 ve %7,5; atık çelik lif (AÇL)/endüstriyel lif (EÇL) oranı ise %0, %33, %67 ve %100 olacak şekilde belirlenmiştir. Toplamda 4 seri ve Kontrol+16 grup için 102 adet 100x200 mm'lik silindirik, 34 adet de 70x70x280 mm'lik prizmatik numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Taze betonlar üzerinde birim hacim ağırlık, sertleşmiş betonlar üzerinde ise eksenel basınç, eğilmede çekme ve UPV deneyleri yapılmıştır. Eğilmede çekme deneyinde kırımların sehimleri de ölçülmüştür.

**Bulgular:** AL/D oranı arttıkça betonların birim ağırlıkları düşmüş, basınç ve eğilmede çekme dayanımı ile UPV değeri genel olarak azalmıştır. En yüksek basınç dayanımı 83 MPa, en yüksek eğilmede çekme dayanımı ise 18.4 MPa olarak bulunmuştur. AÇL/EÇL oranının artması ile de basınç ve eğilmede çekme dayanımında bir miktar azalma görülmüştür. Atık araç lastiği parçacıkları ve çelik lif içeren polimer betonların sünek kırıldıkları gözlemlenmiştir.

**Sonuç:** Atık lastik kullanımı polimer betonun dayanımını azaltmıştır. Atık çelik lif ve endüstriyel çelik lif kullanımı polimer betonun sünekliğini artırmıştır. Düşük dozlarda (atık lastik parçacıkları için %2,5, atık çelik lif için %33) kullanılmak şartıyla bu iki atık madde aynı anda çelik lifli polimer betonlarda değerlendirilebilir. Bu atıkların altyapı ya da taşıyıcı olmayan beton elemanların üretiminde kullanılması önerilir. Sonuçlar araştırmanın hipotezini doğrulamıştır.

2021, 133 sayfa

**Anahtar Kelimeler:** Polimer beton, atık araç lastiği parçacığı, atık lastik lifi, çelik lif, basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı

## ABSTRACT

### MS THESIS

#### COMBINED EFFECT OF RECYCLED TIRE PARTICLES AND TIRE STEEL FIBERS ON THE MECHANICAL BEHAVIOR OF STEEL FIBER REINFORCED POLYMER CONCRETES

Furkan GÖKBAŞI

Supervisor: Prof. Dr. Remzi ŞAHİN

**Purpose:** The aim of this study is to investigate the mechanical properties of steel fiber polymer concrete produced by replacing recycled tire particles with fine aggregate and tire steel fibers with industrial steel fiber.

**Method:** Unsaturated polyester resin was chosen as the polymer and used as a binder in concrete production. 0-4, 4-8 and 8-16 mm grades of aggregate (A) and two different diameters (0-1 mm and 1-3.5 mm) of recycled tire particles (WTP) displaced with fine aggregate at certain rates were used. As a result of the preliminary experiments, the resin/aggregate ratio was taken as 20%, the steel fiber ratio was 0.8% by weight, the hardener ratio was 1.5%, and the accelerator ratio was 0.3%. The WTP/A ratio was determined as 0%, 2.5%, 5%, and 7.5%, and the tire steel fiber (TSF)/industrial fiber(IF) ratio was determined as 0%, 33%, 67%, and 100%. Ø100x200 mm cylindrical (102 samples) and 70x70x280 mm prismatic (34 samples) specimens were produced for 4 series and Control+16 groups. Unit weight on fresh concrete, axial compressive strength, three-point flexural and UPV tests on hardened concretes were carried out. The deflections of the beams were also measured in the three-point flexural test.

**Findings:** As the WTP/A ratio increased, the unit weights of the fresh concretes decreased, and the compressive and flexural strength and UPV values of the hardened concretes decreased in general. The highest compressive strength was found to be 83 MPa, and the highest flexural strength was found to be 18.4 MPa. A slight decrease was observed in the flexural strength in compression and bending with the increase in the TSF/IF ratio. The fracture pattern of polymer concretes containing WTP and TSF ductile.

**Results:** The use of recycled tire particles has reduced the strength of polymer concrete. The use of tire steel fiber and industrial steel fiber has increased the ductility of polymer concrete. Provided that low doses (2.5% for recycled tire particles, 33% for tire steel fiber) are selected, these two waste materials can be used simultaneously in steel fiber polymer concretes. These wastes can be used in the production of infrastructure or non-structural concrete elements. The results did not confirm the research hypothesis.

**2021, 133 pages**

**Keywords:** Polymer concrete, recycled tire particles, the tire steel fiber, steel fiber, compressive strength, flexural strength

## İÇİNDEKİLER

|                                                                         |      |
|-------------------------------------------------------------------------|------|
| KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....                                             | i    |
| ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU .....                              | ii   |
| TEŞEKKÜR .....                                                          | iii  |
| ÖZET .....                                                              | iv   |
| ABSTRACT .....                                                          | v    |
| İÇİNDEKİLER.....                                                        | vi   |
| TABLolar DİZİNİ.....                                                    | ix   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                                   | x    |
| KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ.....                                     | xiii |
| GİRİŞ.....                                                              | 1    |
| Amaç ve Kapsam .....                                                    | 2    |
| Araştırmanın Hipotezi.....                                              | 2    |
| KURAMSAL TEMELLER.....                                                  | 3    |
| Tanımlar .....                                                          | 3    |
| Polimer Malzemeler ve Kimyasal Yapısı .....                             | 3    |
| Polimer Malzemelerin Tarihsel Süreci.....                               | 4    |
| Polimerlerin Sınıflandırılması.....                                     | 5    |
| Termoplastikler .....                                                   | 6    |
| Termoset Plastikler.....                                                | 7    |
| Elastomerler .....                                                      | 8    |
| Polimer malzemelerin diğer bileşenleri .....                            | 9    |
| Polimerlerin Özellikleri.....                                           | 10   |
| Polimer malzemelerin avantajları .....                                  | 12   |
| Polimer malzemelerin dezavantajları.....                                | 12   |
| Polimerlerin inşaat mühendisliği alanında kullanımı.....                | 13   |
| Atık Araç Lastiği.....                                                  | 15   |
| Atık lastiklerin zararları .....                                        | 16   |
| Atık lastiğin değerlendirme aşamaları .....                             | 18   |
| Atık lastiklerin inşaat mühendisliği ve diğer alanlarda kullanımı ..... | 23   |
| Ülkemizde atık lastik yönetimindeki yasal mevzuat.....                  | 24   |
| Dünyada atık lastik yönetimindeki yasal mevzuat.....                    | 24   |

|                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Atık lastikten elde edilen çelik tel.....                                                 | 25  |
| Lifli Betonlar.....                                                                       | 25  |
| Lif çeşitleri .....                                                                       | 26  |
| Kaynak Özetleri .....                                                                     | 30  |
| MATERYAL ve YÖNTEM.....                                                                   | 48  |
| Materyal .....                                                                            | 48  |
| Agregalar.....                                                                            | 48  |
| Polimer malzeme.....                                                                      | 49  |
| Sertleştirici ve hızlandırıcı malzemeler.....                                             | 50  |
| Atık lastik.....                                                                          | 51  |
| Endüstriyel çelik lif.....                                                                | 51  |
| Atık lastikten çıkarılmış çelik tel .....                                                 | 52  |
| Deney numunesi (kalıp) ayırıcı .....                                                      | 54  |
| Beton mikseri .....                                                                       | 54  |
| Masa tipi vibratör .....                                                                  | 54  |
| Beton numunesi deney kalıpları.....                                                       | 54  |
| Yöntem.....                                                                               | 54  |
| Parametreler, kodlama ve karışım hesabı.....                                              | 54  |
| Polimer beton üretimi.....                                                                | 56  |
| Deneysel çalışmalar .....                                                                 | 58  |
| ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....                                                      | 61  |
| Birim ağırlık deneyi sonuçları.....                                                       | 61  |
| Basınç Dayanımı Deney Sonuçları .....                                                     | 63  |
| Atık çelik lif/endüstriyel çelik lif oranının betonların basınç dayanımına etkisi .....   | 65  |
| Atık lastik/dolgu oranının polimer betonun basınç dayanımına etkisi.....                  | 70  |
| Eğilmede Çekme Dayanımı Deney Sonuçları.....                                              | 74  |
| Atık çelik lif/endüstriyel çelik lif oranının karışımların eğilme dayanımına etkisi ..... | 76  |
| Atık lastik/dolgu oranının polimer betondaki eğilme dayanımına etkisi .....               | 82  |
| UPV Deney Sonuçları .....                                                                 | 88  |
| AÇL/EÇL oranının polimer betonların ultrases hızı üzerindeki etkisi .....                 | 89  |
| AL/D oranının polimer betonların ultrases hızı üzerindeki etkisi.....                     | 91  |
| UPV değerleri ve basınç dayanımı değerlerinin ilişkilendirilmesi .....                    | 95  |
| SONUÇ ve ÖNERİLER .....                                                                   | 97  |
| KAYNAKLAR.....                                                                            | 99  |
| EKLER .....                                                                               | 106 |

|                                                 |     |
|-------------------------------------------------|-----|
| EK-1. Deneme Karşımları.....                    | 106 |
| EK-2. Yük-Sehim Grafikleri (Düzeltilmemiş)..... | 108 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                   | 118 |



## TABLÖLAR DİZİNİ

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 1.</b> Polimerlerin Yanıcılığa Göre Tasnifi .....                                                      | 12 |
| <b>Tablo 2.</b> Bazı Ülkelerde Araç Lastiklerinin Yönetimi.....                                                 | 18 |
| <b>Tablo 3.</b> Çeşitli Ülkelerde Atık Lastik Miktarları ve Değerlendirilme Yöntemlerinin Sayısal Verileri..... | 19 |
| <b>Tablo 4.</b> Atık Lastiklerden Elde Edilecek Ana Ürünlerin Yüzdelik Değerleri.....                           | 20 |
| <b>Tablo 5.</b> Atık Otomobil Lastiklerinin Bileşiminin Sayısal Verileri.....                                   | 22 |
| <b>Tablo 6.</b> Polyester Reçineye Ait Teknik Bilgiler.....                                                     | 50 |
| <b>Tablo 7.</b> Sertleştiriciye ait Teknik Bilgiler .....                                                       | 50 |
| <b>Tablo 8.</b> Hızlandırıcıya Ait Teknik Bilgiler.....                                                         | 50 |
| <b>Tablo 9.</b> Atık Lastiğin Teknik Özellikleri .....                                                          | 51 |
| <b>Tablo 10.</b> Endüstriyel Çelik Lifi'nin Teknik Özellikleri.....                                             | 52 |
| <b>Tablo 11.</b> Atık Lastiklerden Elde Edilmiş 1000 Adet Çelik Tel ile İlgili Değerler.....                    | 53 |
| <b>Tablo 12.</b> Karışım Numaraları, Kodlar, Sabitler, Parametreler ve Seviyeleri .....                         | 55 |
| <b>Tablo 13.</b> Beton Karışım Hesapları ( $\text{kg/m}^3$ ) ve Üretim Esnasında Yapılan Gözlemler .....        | 56 |
| <b>Tablo 14.</b> Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları .....                                                           | 61 |
| <b>Tablo 15.</b> 3, 14 ve 28 Günlük Basınç Dayanım Sonuçları (MPa) .....                                        | 63 |
| <b>Tablo 16.</b> 28 Günlük Eğilmede Çekme Dayanımı Deney Sonuçları.....                                         | 75 |
| <b>Tablo 17.</b> UPV Dalga Hızı Sonuçları .....                                                                 | 88 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 1.</b> Monomer moleküllerin polimerizasyon tepkimeleriyle birbirine bağlanarak polimer moleküllere dönüşümü .....                                                                           | 4  |
| <b>Şekil 2.</b> Polimer zincir biçimlerinin farklı çeşitleri .....                                                                                                                                   | 6  |
| <b>Şekil 3.</b> Termoplastik polimer zinciri.....                                                                                                                                                    | 6  |
| <b>Şekil 4.</b> Termoset polimer zinciri .....                                                                                                                                                       | 7  |
| <b>Şekil 5.</b> Elastomer zincirlerinin çekme kuvveti altındaki davranışı .....                                                                                                                      | 8  |
| <b>Şekil 6.</b> Termosetler ve elastomerler arasındaki çapraz bağ yoğunluk farkı.....                                                                                                                | 8  |
| <b>Şekil 7.</b> Polimerlerin onarım-güçlendirmede kullanılması.....                                                                                                                                  | 14 |
| <b>Şekil 8.</b> Polimer malzemenin kolona enjekte edilmesi.....                                                                                                                                      | 14 |
| <b>Şekil 9.</b> Polimerlerin betonda üç farklı kullanımı .....                                                                                                                                       | 14 |
| <b>Şekil 10.</b> Araç lastiğin şematik olarak gösterimi.....                                                                                                                                         | 15 |
| <b>Şekil 11.</b> 2021 yılının ağustos ayında Kuveyt'teki dünyanın en büyük lastik mezarlığı olan 25.000 metrekaRELİK Al SulaiBiya (Rahaya) sahasında çıkan yangın sonucu meydana gelen manzara ..... | 17 |
| <b>Şekil 12.</b> Doğaya bırakılmış atık lastik yığınları .....                                                                                                                                       | 17 |
| <b>Şekil 13.</b> Atık lastik yönetimi.....                                                                                                                                                           | 18 |
| <b>Şekil 14.</b> ABD 2005 yılı atık lastik değerlendirme yöntemi dağılımı.....                                                                                                                       | 19 |
| <b>Şekil 15.</b> Atık lastikler için önerilen depolama şekilleri .....                                                                                                                               | 21 |
| <b>Şekil 16.</b> Çelik liflerin şekilleri .....                                                                                                                                                      | 27 |
| <b>Şekil 17.</b> Beton içerisine katılan liflerin gerilme anındaki köprü gibi davranışı.....                                                                                                         | 29 |
| <b>Şekil 18.</b> Çelik lifin farklı alanlarda kullanım örnekleri .....                                                                                                                               | 29 |
| <b>Şekil 19.</b> İnce ve iri agregaların görüntüsü (soldan sağa: 0/4, 4/8 ve 8/16 tane sınıfı) .....                                                                                                 | 48 |
| <b>Şekil 20.</b> Deneyde kullanılan elekler ve titreşimli elek analizi test cihazı .....                                                                                                             | 49 |
| <b>Şekil 21.</b> 16 mm maksimum agrega çapı için standart eğriler ve karışım granülometrisi .....                                                                                                    | 49 |
| <b>Şekil 22.</b> 0-1 mm (solda) ve 1-3,5 mm (sağda) tane sınıfına ayrılmış atık lastik granülleri ....                                                                                               | 51 |
| <b>Şekil 23.</b> Deneylerde kullanılan endüstriyel çelik lifin boyut ve şekli.....                                                                                                                   | 51 |
| <b>Şekil 24.</b> Karışımda kullanılan endüstriyel çelik lif .....                                                                                                                                    | 52 |
| <b>Şekil 25.</b> Atık lastikten çıkarılan çelik tellerin ayrıştırmadan önce (soldaki) ve sonraki hali..                                                                                              | 53 |
| <b>Şekil 26.</b> Atık lastikten elde edilen çelik lifin boy ve çap ölçümü.....                                                                                                                       | 53 |
| <b>Şekil 27.</b> Deneyde kullanılan masa tipi vibratör ve içi dolu numune kalıpları .....                                                                                                            | 54 |
| <b>Şekil 28.</b> Polimer beton üretim aşamalarını gösteren diyagram.....                                                                                                                             | 57 |
| <b>Şekil 29.</b> Deney numunelerinin laboratuvar ortamında (havada) kür edilmesi.....                                                                                                                | 58 |

|                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 30.</b> Ultrasonik Dalga Hızı Test Cihazının tedarikçi firmanın sayfasından alınan resmi ve okumaların yapıldığı ekranın görüntüsü (solda) ..... | 58 |
| <b>Şekil 31.</b> Basınç dayanımı tayini deney aleti (ELE / AUTOTEST 3000).....                                                                            | 59 |
| <b>Şekil 32.</b> Gerilme şekil değiştirme deney aleti ve deney aşamasından görünüm.....                                                                   | 59 |
| <b>Şekil 33.</b> Eğilmede çekme deney aleti ve LVDT'ler.....                                                                                              | 60 |
| <b>Şekil 34.</b> Karışımların birim ağırlıklarının atık lastik ve atık lif oranına göre değişimi .....                                                    | 62 |
| <b>Şekil 35.</b> Tüm grupların 3, 14 ve 28 günlük basınç dayanımları .....                                                                                | 64 |
| <b>Şekil 36.</b> KAL0AÇL0EÇL0 kodlu numunenin basınç deneyi sonucunda gevrek kırılma şekli .....                                                          | 64 |
| <b>Şekil 37.</b> AL=0 olan numunelerin basınç deneyi altındaki kırılma biçimine örnek (AL0AÇL1).....                                                      | 65 |
| <b>Şekil 38.</b> AL7,5AÇL0,33 koldu numunenin kırılma biçimi .....                                                                                        | 66 |
| <b>Şekil 39.</b> AL=%0 olan polimer betonların basınç dayanımlarına AÇL oranının etkisi .....                                                             | 67 |
| <b>Şekil 40.</b> AL=%2,5 olan polimer betonların basınç dayanımlarına AÇL oranının etkisi .....                                                           | 68 |
| <b>Şekil 41.</b> AL=%5 olan polimer betonların basınç dayanımlarına AÇL oranının etkisi .....                                                             | 69 |
| <b>Şekil 42.</b> AL=%7,5 olan betonların basınç dayanımlarına AÇL oranının etkisi.....                                                                    | 69 |
| <b>Şekil 43.</b> AL/D oranına ait 28 günlük basınç dayanımı- AÇL/EÇL oranı arasındaki ilişki ....                                                         | 70 |
| <b>Şekil 44.</b> AÇL=%0 olan karışımların basınç dayanımları üzerine AL oranının etkisi .....                                                             | 71 |
| <b>Şekil 45.</b> AÇL=%33 olan karışımların basınç dayanımları üzerine AL oranının etkisi .....                                                            | 72 |
| <b>Şekil 46.</b> AÇL=%67 olan karışımların basınç dayanımları üzerine AL oranının etkisi .....                                                            | 73 |
| <b>Şekil 47.</b> AÇL=%100 olan karışımların basınç dayanımları üzerine AL oranının etkisi .....                                                           | 73 |
| <b>Şekil 48.</b> Kiriş numunelerinin 3 nokta eğilme deneyi düzeneği (Erkek 2020) .....                                                                    | 74 |
| <b>Şekil 49.</b> Tüm karışımların 28 günlük eğilmede çekme dayanımları .....                                                                              | 74 |
| <b>Şekil 50.</b> %0 oranında atık lastik içeren örneklerin çekme dayanımı üzerine AÇL etkisi.....                                                         | 77 |
| <b>Şekil 51.</b> %2,5 oranında atık lastik içeren örneklerin çekme dayanımı üzerine AÇL etkisi....                                                        | 78 |
| <b>Şekil 52.</b> %5 oranında atık lastik içeren örneklerin çekme dayanımı üzerine AÇL etkisi.....                                                         | 78 |
| <b>Şekil 53.</b> %7,5 oranında atık lastik içeren örneklerin çekme dayanımı üzerine AÇL etkisi....                                                        | 79 |
| <b>Şekil 54.</b> %0 atık lastik içeren polimer betonlarda atık çelik lif kullanımının sehime etkisi...                                                    | 79 |
| <b>Şekil 55.</b> %2,5 atık lastik içeren polimer betonlarda atık çelik lif kullanımının sehime etkisi .....                                               | 80 |
| <b>Şekil 56.</b> %5 atık lastik içeren polimer betonlarda atık çelik lif kullanımının sehime etkisi .....                                                 | 80 |
| <b>Şekil 57.</b> %7,5 atık lastik içeren polimer betonlarda atık çelik lif kullanımının sehime etkisi .....                                               | 81 |

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 58.</b> %0 atık çelik lif içeren betonların çekme dayanımına atık lastik kullanımının etkisi .....    | 82 |
| <b>Şekil 59.</b> %33 atık çelik lif içeren betonların eğilme dayanımına atık lastik kullanımının etkisi .....  | 82 |
| <b>Şekil 60.</b> %67 atık çelik lif içeren betonların çekme dayanımına atık lastik kullanımının etkisi .....   | 83 |
| <b>Şekil 61.</b> %100 atık çelik lif içeren betonların eğilme dayanımına atık lastik kullanımının etkisi ..... | 83 |
| <b>Şekil 62.</b> %0 atık çelik lif içeren polimer betonlarda atık lastik kullanımının sehime etkisi...         | 84 |
| <b>Şekil 63.</b> %33 atık çelik lif içeren polimer betonlarda atık lastik kullanımının sehime etkisi .....     | 84 |
| <b>Şekil 64.</b> %67 atık çelik lif içeren polimer betonlarda atık lastik kullanımının sehime etkisi .....     | 85 |
| <b>Şekil 65.</b> %100 atık çelik lif içeren polimer betonlarda atık lastik kullanımının sehime etkisi .....    | 85 |
| <b>Şekil 66.</b> AÇL/EÇL oranına göre AL/D-eğilme dayanımı arasındaki ilişki .....                             | 86 |
| <b>Şekil 67.</b> Kontrol numunesinin (KAL0AÇL0EÇL0) gevrek kırılması .....                                     | 87 |
| <b>Şekil 68.</b> AL içeren örneklerde görülen tipik sünek kırılma biçimi (resimdeki için AL/D=2,5).....        | 87 |
| <b>Şekil 69.</b> İçi tam olarak sertleşmeyen AL7,5AÇL0,33 kodlu numunenin ezilerek kırılması ..                | 87 |
| <b>Şekil 70.</b> Tüm gruplara ait 3, 14 ve 28 günlük ortalama UPV değerleri.....                               | 89 |
| <b>Şekil 71.</b> AL/D=0 olan polimer betonların UPV değerlerine atık çelik lif oranının etkisi .....           | 90 |
| <b>Şekil 72.</b> AL/D=2,5 olan polimer betonların UPV değerlerine atık çelik lif oranının etkisi ...           | 90 |
| <b>Şekil 73.</b> AL/D=5 olan polimer betonların UPV değerlerine atık çelik lif oranının etkisi .....           | 91 |
| <b>Şekil 74.</b> AL/D=7,5 olan polimer betonların UPV değerlerine atık çelik lif oranının etkisi ...           | 91 |
| <b>Şekil 75.</b> AÇL/EÇL=0 için polimer betonların UPV değerleri üzerine AL oranının etkisi.....               | 92 |
| <b>Şekil 76.</b> AÇL/EÇL=0,33 için polimer betonların UPV değerleri üzerine AL oranının etkisi .....           | 92 |
| <b>Şekil 77.</b> AÇL/EÇL=0,67 için polimer betonların UPV değerleri üzerine AL oranının etkisi .....           | 93 |
| <b>Şekil 78.</b> AÇL/EÇL=1 için polimer betonların UPV değerleri üzerine AL oranının etkisi.....               | 93 |
| <b>Şekil 80.</b> UPV değerleri ile basınç dayanımı deneyi sonuçları arasındaki ilişki.....                     | 95 |

## KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

|                |                                              |
|----------------|----------------------------------------------|
| ABD            | : Amerika Birleşik Devletleri                |
| AÇL            | : Atık Çelik Lif                             |
| AL             | : Atık Lastik                                |
| ASTM           | : American Society for Testing and Materials |
| cm             | : Santimetre                                 |
| °C             | : Derece selsiyus                            |
| C              | : Karbon                                     |
| dk             | : Dakika                                     |
| D              | : Dolgu Malzemesi                            |
| EÇL            | : Endüstriyel Çelik Lif                      |
| g              | : Gram                                       |
| kg             | : Kilogram                                   |
| kgf            | : Kilogramkuvvet                             |
| kN             | : Kilonewton                                 |
| µsn            | : Mikrosaniye                                |
| MEKPO          | : Metil Etil Keton Peroksit                  |
| MMA            | : Metilmetakrilat                            |
| MPa            | : Megapascal                                 |
| N              | : Newton                                     |
| ÖTL            | : Ömrünü tamamlamış lastik                   |
| UPV            | : Ultrases Geçiş Hızı                        |
| PC             | : Polimer Beton                              |
| PIC            | : Polimer Emdirilmiş Beton                   |
| PMC            | : Polimer ile Modifiye Edilmiş Beton         |
| R <sup>2</sup> | : Determinasyon katsayısı                    |
| σ <sub>B</sub> | : Basınç dayanımı                            |
| σ <sub>ç</sub> | : Eğilmede çekme dayanımı                    |
| sn             | : Saniye                                     |
| TS             | : Türk Standartları                          |

## GİRİŞ

Yapay malzeme üretimine olanak sağlayan polimerler, malzeme anlamında ciddi çeşitliliğe sebep olarak günümüz malzeme dünyasında vazgeçilmez bir konumuna gelmiştir. İnşaat mühendisliğinde de önem arz eden polimer malzemeler hızlı bir şekilde tercih edilen malzeme olarak sektöre girmiştir. İlk zamanlar onarım ve güçlendirme amacıyla kullanılan polimerler, daha sonra taşıyıcı eleman olarak da kullanılmaya başlanmıştır. Geleneksel betona kıyasla çekme dayanımındaki performansı ise polimerleri daha da önemli kılmıştır. Bu nedenle polimer malzemenin betonun davranışına sağladığı faydaların tespitine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır (Topsakal 2013; Bayram 2015). Diğer taraftan, yapılardaki kullanım amaçlarının çeşitliliği beton teknolojisindeki gelişmeleri de tetiklemiş ve bir özel beton çeşidi olarak polimer beton 1950’li yıllarda hayatımıza girmiştir (Özden 2010; Bulut 2016).

Yüksek dayanıma polimer betonlar; su geçirimsizliğine, kimyasal etkilere, rötire çatlaklarına ve donmaya karşı da gösterdiği performanslarından ötürü de önemsenen bir betondur (Pişkin 2010). Bu betonlar; beton yüzeylerin aşınmasını önleme ve onarım-güçlendirme işlerinin yanında yüzme havuzları, güverteler, kanalizasyon boru ve bacaları, yeraltı tünelleri, drenaj kanalları başta olmak üzere çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Pişkin 2010; Akın 2017).

Nüfustaki hızlı artışla birlikte her alandaki tüketim oranı da bir hayli artmaktadır. Bundan dolayı doğal kaynaklar hızla bozulmakta ve özellikle endüstriyel atıkların çevreye verdikleri zarar gün be gün daha da belirginleşmektedir. Diğer taraftan, araç sayısının artması lastik üretimini ciddi oranda arttırmış bu da çevresel yük (environmental burden) oluşturan atık lastik tarlalarının/tepeciklerinin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bu lastiklerin çevresel dengeyi de ciddi oranda etkilediği tespit edilmiştir (Gönüllü 2004; Yakaboğlu 2010). Bundan dolayı atık lastikleri farklı alanlarda değerlendirmek suretiyle bu tehdidin ortadan kaldırılmasına yönelik çalışmaların önemi günümüzde artmıştır.

Lastiğin geri kazanımı için tekrar kaplama, yenileme, yakma ve öğütme gibi farklı uygulamalar mevcuttur. Kullanım ömrü tamamen bitmiş atık lastikler, öğütülerek çeşitli uygulamalarda kullanılabilir (Batır 2002). Öğütülerek granül hale gelmiş lastik kauçuğu inşaat mühendisliğinde de kullanılmaktadır (Topçu 1995). Birim ağırlığının düşük olması, yalıtım özelliği ve yüksek tokluk gibi avantajları atık lastiklerin tercih edilebilirliğini artırmaktadır. Buna ilaveten atık lastikten çıkarılan atık teller de betonda lif olarak değerlendirilebilir.

Atık lastiğin inşaat sektöründe çeşitli uygulama alanları mevcuttur. Dolgu maddesinin bir kısmının yerine lastik granüllerinin kullanımı ile üretilen betonlar, hafif agregalar, asfalt agregaları, zemin dolgusu, istinat duvarları, çarpma bariyerleri gibi uygulamalar bu alanlara örnek olarak verilebilir (Yakaboğlu 2010; Akın 2017).

Kullanım ömrünü tamamlamış atık lastiklerin değerlendirilmesi ile çevresel tehditlerin önüne geçilmekle birlikte bu malzemelerin endüstriye yeniden kazandırılması ve değerlendirilmesi ile ülke ekonomilerine faydalar da sağlanmaktadır.

## **Amaç ve Kapsam**

Atık lastiklerin beton endüstrisi başta olmak üzere inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılmasıyla ilgili bilimsel çalışmalar yapılmış olsa da yeterli seviyede olduğu söylenemez. Yapılan çalışmaların birçoğu ise geleneksel betonlar üzerinde gerçekleştirilmiş olup bu çalışmalarda en önemli bulgu, atık lastiğin dolgu maddesi olarak kullanılması durumunda betonun mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilediğidir. Normal betonlar üzerindeki çalışmalara devam edilmesinin yanında bu atıkların özel betonların fiziko-mekanik ve durabilite performansları üzerindeki etkilerinin araştırılmasına yönelik çalışmalara da yönelmek gerekir. Çünkü bazı atık maddelerin özel betonlardaki uyumu ve performansları geleneksel betonlardan daha iyi olabilmektedir.

Bu çalışmada atık lastiklerinin parçalanması ile elde edilen (geri kazanılmış) granül ve toz malzemeler betondaki dolgu maddesinin (ince agrega) bir kısmı, yine aynı atıklardan elde edilen atık çelik teller ise endüstriyel çelik lifin bir kısmı ile ikame edilip çelik lifli polimer betonlar üretilmiştir.

Aynı kaynaktan elde edilen iki farklı atık maddenin polimer betonların mekanik özellikleri üzerindeki etkisinin incelenmesini amaç edinen bu çalışma ile inşaat (özellikle beton) sektörüne teknik, ülke ekonomisine ise parasal katkılar sağlanmasının yanı sıra gittikçe büyüyen bir çevresel tehdidin önüne geçilmesi de amaçlanmıştır.

Dolgu ve lif olarak iki farklı atık maddenin birlikte bir polimer betonda değerlendirilmesini amaç edinen bu çalışmanın benzerine literatürde rastlanılmamıştır. Bu nedenle, çalışma özgündür.

## **Araştırmanın Hipotezi**

Bu araştırmanın hipotezi, atık lastiklerden elde edilen kauçuk parçacıklar ve çelik liflerin polimer betonların basınç ve eğilmede çekme dayanımı ile temsil edilen mekanik özelliklerini artıracaktır.

## KURAMSAL TEMELLER

### Tanımlar

Tez konusu ile doğrudan ilişkili olan kavramların anlamları aşağıda, dolaylı olarak ilişkili olan kavramların anlamları ise ilgili başlıkların altında verilmiştir.

Polimer<sup>1</sup>: Çok sayıda küçük birimin (monomer) uç uca eklenmesiyle oluşan büyük moleküller (Saçak 1998; Bayrak 2012).

Polimer Beton (Polymer Concrete, PC): Bağlayıcı olarak sadece polimerlerin kullanıldığı ve polimer malzemenin polimerizasyonu sonucu bağlayıcı özelliği gelişen betonlardır (Özden Akkaya, 2010).

Polimer Emdirilmiş Beton (Polymer Impregnated Concrete, PIC): Bir monomerin sertleşmiş haldeki Portland çimentolu betona emdirilerek polimerize edilmesi ile elde edilen betonlardır (Akman, 1987).

Polimer ile Modifiye Edilmiş Beton (Polymer Modified Concrete, PMC): Lateks gibi polimerik emülsiyonların betondaki karışım suyunun bir kısmının yerine kullanılmasıyla elde edilen betonlardır (Akın, 2017).

Lif: Farklı metotlarla üretilen belirli geometri ve boy/çap (narinlik oranı) oranına sahip çeşitli malzemelerden oluşan beton bileşenleridir (Ünal vd. 2007; Kozak 2013).

Lifli beton: Boy/çap oranı yüksek ( $l/d > 10$ ) olan karbon, çelik, aramid, polipropilen gibi malzemelerin ilavesiyle oluşturulan taneli kompozit malzemedir (Caf 2012).

Atık: Malzemelerin üretim safhasından son anına kadarki değişimini kapsayan ve işlevselliğini kaybetmiş âtil durumdaki maddelerin tamamıdır (Anonim 2021c).

### Polimer Malzemeler ve Kimyasal Yapısı

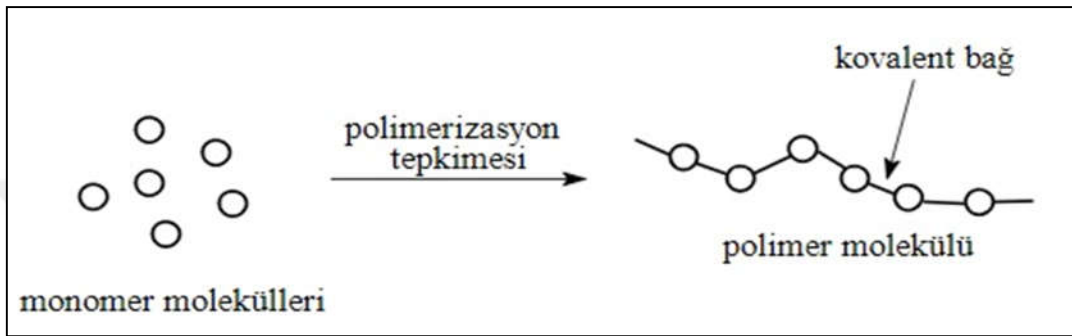
Mühendislik malzemeleri, temel olarak doğada bulunma şekli itibarıyla üç grup (polimerik, metalik ve seramik) olarak sınıflandırılır. Bu üç ana grubun farklı özelliklerinin bir malzemede geliştirilmesiyle kompozit malzemeler, dördüncü bir grup olarak teşkil olunur (Özel ve İren 2016). Kompozit malzemeler farklı matris yapılarından oluşmaktadır. Polimer matrisli kompozitler en çok tercih edilen matris çeşitlerinden biridir (Bayrak 2012).

---

<sup>1</sup>Etimolojik açıdan bu kelime, Yunanca *poly* (çok) ve *meros* (parça) kelimelerinin birlikte kullanılması sonucu türetilmiş olan “çok parça” anlamına gelmektedir (Bayrak 2012).

Polimerik malzemelerin günlük hayatımızdaki vazgeçilmezliğini göz önüne alarak çoğu kimyacı içinde bulunduğumuz dönemi polimer çağı olarak adlandırmaktadır. Günlük hayatta polimerik maddeler ağırlıklı olarak plastik, lif veya elastomer (kauçuk) olarak bilinen son ürünler halinde tüketilir. Ayrıca yapıştırıcılar, boyalar, yer kaplamaları gibi malzemelerin çoğu da polimer temellidir (Saçak 1998).

Polimerler, çok sayıda küçük moleküllerin birbirine kovalent bağ ile bağlanması sonucu oluşan makro moleküllerdir. Monomerler uygun şartlarda polimerizasyon tepkimesi sonucunda birbirleriyle kimyasal bağ yaparak polimer moleküllerini oluştururlar (Saçak 1998).



**Şekil 1.** Monomer moleküllerin polimerizasyon tepkimeleriyle birbirine bağlanarak polimer moleküllere dönüşümü (Saçak 1998).

### Polimer Malzemelerin Tarihsel Süreci

Doğal kauçuk, selüloz ve nişasta gibi doğal polimerler eskiden beri kullanılan polimer malzemelerdir. Pre-Columbian dönemde dahi Güney ve Orta Amerika yerlilerinin doğal kauçuğu kullandıkları bilinmektedir (Anonim 2009a). 1700’lü yılların sonlarından itibaren polimerler adına birtakım çalışmaların yapıldığı tespit edilmiştir. 1770’te İngiliz kimyager Joseph Priestly’nin “silgi (rubber)” adını verdiği doğal kauçuk, ancak 1839 yılında Amerikalı Charles Goodyear ve İngiliz kimyager Charles Macintosh ve Thomas Hancock tarafından kükürtle vulkanize edip kullanılabilir hale getirilmiştir (Anonim 2009a). 1839 yılında Schönbein ve Simon tarafından selüloz nitrata stirenin, daha sonraki yıllarda da Hyatt J.W.’nin nitrik asit ile pamuk selülozunu birleştirerek yarı sentetik polimer malzemeyi bularak polimer tarihinde bir ilke imza atmışlardır (Ateş, 1994). 1868 yılında Amerika’da plastiklerin esas maddesi olan selüloit üretilmiştir (Saçak, 2005). 1907’de Baekeland L.H., formaldehit reçinelerini bularak polimer tarihinde ilk kez tam sentetik polimer malzemeyi malzeme dünyasına kazandırmıştır (Ateş, 1994). 1924’te Alman bilim adamı Hermann Staudinger “Makromolekül Hipotezi” ni ileri atarak polimer teknolojisine büyük katkı sağlamış ve birçok polimerin üretimine rehberlik etmiştir. Staudinger bu hipotezi ile 1933’te Kimya Nobel ödülü almıştır (Anonim 2009a). Ateş (1994)’de belirtildiğine göre; 1927’de selüloz asetat ve polivinil klorür, 1928’de polimetilmetakrilat, 1929’da ürefoormaldehid reçineleri, 1930’da polistireni 1940’lardan sonra

stiren-butadien kopolimeri (SBR sentetik kauçuğu), 1931’de sentetik kauçuk olan neopren (dupren), 1936’da poliakrilonitril, stiren-akrilonitril kopolimeri ve polivinil asetat, 1937’de Plunkett R.J. tarafından poliüretan, 1938’de teflon ismiyle bilinen polietrafloroetilen, 1939’da melaminformaldehit (formika) reçineleri, 1940’ta silikonların hammaddesi olan silanlar, 1940’ta polietilenretetalat, 1942’de doymamış poliesterler ve orlon ticari adıyla poliakrilonitril fiber, 1947’de epoksi reçineleri, 1948’de akrilonitril-butadien-stiren terpolimeri (ABS) üretilmiştir.

### **Polimerlerin Sınıflandırılması**

Polimerler (Özden Akkaya 2010; Öztürk 2013);

- organik ve inorganik olmasına göre,
- molekül ağırlığına göre,
- doğada mevcut olmasına ve sentez biçimine göre (doğal veya yapay) ,
- sentezleme tepkimelerine göre (basamaklı ya da zincir),
- ısıya karşı davranışına göre (termoset veya termoplastik),
- zincirin kimyasal ve fiziksel yapısına göre (lineer, dallanmış veya çapraz bağlı),
- zincir yapısına göre (homopolimer veya kopolimer)

sınıflandırılmaktadır.

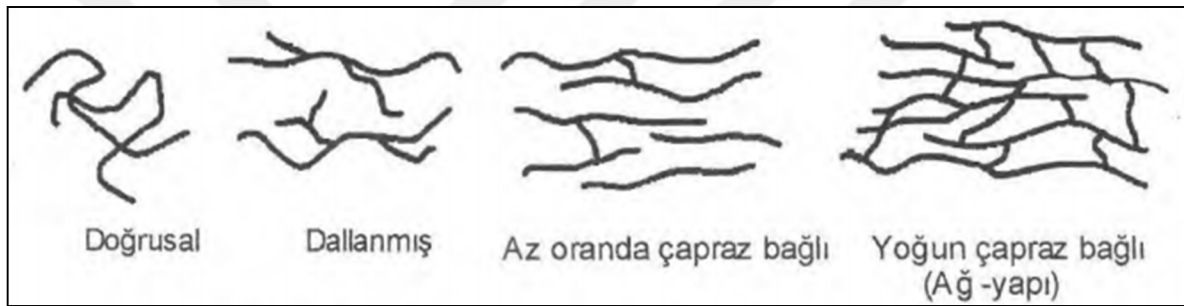
Polimer malzemeler genel anlamda doğal ve yapay polimerler olarak iki gruba ayrılabilir. Doğal polimerlerin başında doğal kauçuk, nişasta ve selüloz gelmektedir. Biyopolimer olarak adlandırılan ve hayatın birçok alanında karşımıza çıkan proteinler, nükleik asitler (DNA, RNA) ve enzimler doğal polimerlere örnek olarak verilebilir.

Yapay polimerler sentetik ve yarı sentetik polimer olmak üzere ikiye ayrılır. Sentetik polimerler yüksek molekül ağırlıklı moleküllerin sentezlenmesiyle oluşur. En basit sentetik polimer olan polietilen örnek verilebilir. Yarı sentetik polimerler doğal polimerlerin modifikasyonu ile elde edilirler. Örnek olarak doğal selülozdan elde edilen rejenere selüloz ve diğer selüloz türevleri verilebilir (Öztürk 2013).

Kimyasal açıdan organik ve inorganik şeklinde iki gruba ayrılan polimerler temel olarak ana zincir üzerinde atom veya element bulundurması ve bağ enerjilerine göre bu iki gruba dâhil olmaktadır. Organik polimerlerde ana zincir üstünde ilk olarak karbon olmak üzere oksijen, hidrojen, azot ve halojen atomları bulunmaktadır. İnorganik polimerlerde ise ana zincirde C atomu yerine periyodik cetveldeki IV-VI grupları yer alır. Bağ enerjisi açısından, ana zincirde element bulunduran inorganik polimerler organiklere göre daha yüksek enerjiye sahiptirler.

Zincir yapısına göre polimer malzemeler homopolimer ve kopolimer şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Bir polimer tek bir monomer biriminin tekrarlanması ile oluşuyorsa buna homopolimer, iki farklı monomer polimerize olursa kopolimer denir. Homopolimere örnek olarak polietilen, kopolimere ise stiren-butadien kauçuk verilebilir. Son olarak polimerleri işleme yani ısıya davranışına göre ikiye ayırmak mümkündür. Bunlar termoplastikler ve termosetler isimlendirilmektedir (Bulut 2016).

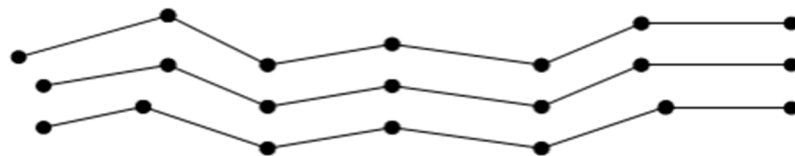
Polimer zincirlerinin biçimleri polimer özelliklerini etkiler. Polimer molekülleri Şekil 2’ de verildiği gibi farklı yapılarda olabilir. Çapraz bağ oranının fazla olması ağ yapılı polimere yol açar. Doğrusal ya da dallanmış zincirlere sahip bir polimerlerin aradaki bağları ayrıştırılabilir. Ağ yapılı bir polimerin ayrışması imkân dahilinde değildir. Zincir biçimlerinin farklılığından dolayı polimerler kendi içlerinde termoplastikler, elastomerler ve termosetler olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılabilir (Saçak 1998).



**Şekil 2.** Polimer zincir biçimlerinin farklı çeşitleri (Saçak 1998).

### Termoplastikler

Termoplastiklerin molekülleri arasındaki bağ Van der Waals bağlarıdır. Termoplastikler, iç yapısındaki bağların zayıf olması sebebiyle rijit bir yapıya sahip değildir. Isı etkisi ile yapıları değişmeyip şekil değişikliği gerçekleşmektedir. Termoplastikler yüksek sıcaklıklarda erime işlemi gerçekleşir. Soğutma işleminden sonra tekrar katı halini alır. Sıvı halde bulunduğu sıcaklıklarda viskozitesi yüksektir. Bundan dolayı ara yüzey bağı termosetlere göre daha zayıftır. Şekil değiştirmede düşük sıcaklıklar olması yeterli olup bu özelliğinin olması malzemeyi mali olarak avantajlı kılar (Öztürk 2013).



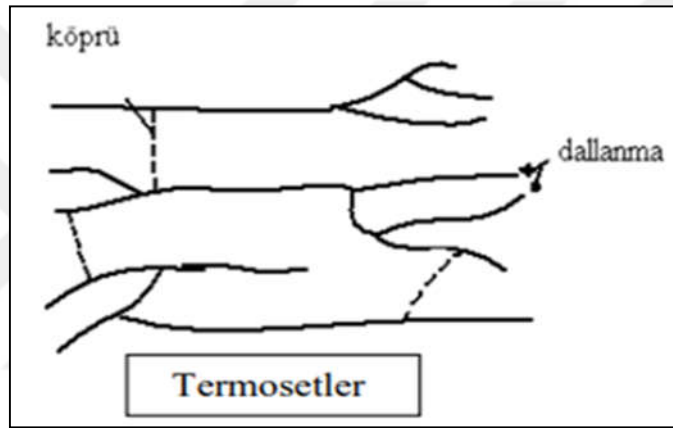
**Şekil 3.** Termoplastik polimer zinciri

Termoplastikler; Polieterler-Polyesterler-Selülozikler, Vinilikler-Polialkoller-Polikarbürler ve Poliamitler şeklinde sınıflandırılabilirler (Bulut, 2016).

## Termoset Plastikler

Termoset yoğun çapraz bağ yapısına sahip (ağ yapısı)  boyutlu sert polimerlerdir. Termosetler ısı ile fiziki hali ve şekli değişmemektedir. Ancak yüksek sıcaklıklarda termoset plastiklerin i yapısındaki bağların kırılıp parçalanarak bozulması söz konusudur. Bu durumda bile plastikleşmez ve yumuşamazlar. Termosetler şekillendirilmeden önce viskoz sıvı halindedir (Saçak 1998). Termosetler sınıfları ise aminoplastlar, fenoplastlar, poliüretanlar ve polieterlerdir (Bulut 2016).

Termoset ve termoplastiklerin farklı olmalarının en önemli nedeni molekül yapılarıdır. Termosetlerde moleküller dal şekline sahiptir ve moleküller arası bağ köprüleri ortaya çıkmıştır. Termoplastiklerde ise moleküller birbirine paralel, uzun ve ipliğimsi şekle sahiptir (Bulut 2016).



**şekil 4.** Termoset polimer zinciri (Bulut 2016)

Epoksi ve polyester başta olmak üzere fonelik, silikon, polymide, bismaleimide, amino reçineler, poliüretanlar, polieterler (poliepoksitler) termoset plastiklere örnek olarak verilebilir. Burada isimleri geçenlerden inşaat alanında en çok kullanılan iki termoset çeşidi ile ilgili kısa bilgiler aşağıdaki paragraflarda verilmiştir.

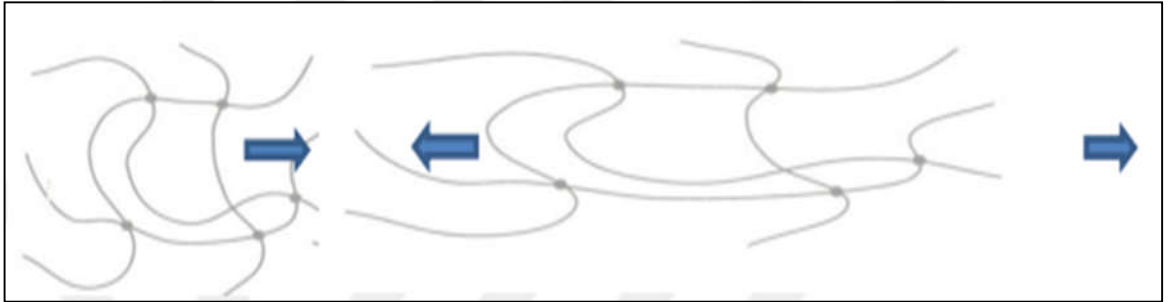
Birden fazla epoksitlerin bir araya gelmesi ile oluşan malzeme epoksi olarak adlandırılır. Açık renkli ve sıvı haldedir. Epoksi reçine matrislerinin yapısında karbon bulunmaktadır. Malzemeye uygulanan kür işlemi sayesinde epoksinin yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı 150-200°C seviyelerine ulaşmaktadır (elik 2007). Polimer malzeme olan epoksinin kullanımı sıvı halde olmakla beraber kuruduktan sonra suya, asitlere ve alkalilere dirençli bir yapıya sahip olan, zamanla bu özelliğini koruyan, temizlenmesi kolay, mekanik dayanımı yüksek bir kimyasaldır (Akın 2017).

Polyester<sup>2</sup>, çok sayıda organik tuz olarak tanımlanır. Ayrıca bu molekül zincirlerinin de polimer olduğunu söyleyebiliriz. Bu alanda ilk çalışmalar II. Dünya savaşında olmuştur. 1950’lerde cam elyaf ile ikame edilmesi ile çok sağlam ve hafif bir malzeme olduğu anlaşılmıştır. Doymamış polyester reçineleri, geçmişten günümüze kadar geliştirilerek başlangıca nazaran çok daha üstün özellikler göstermektedir (Pişkin 2010).

### Elastomerler

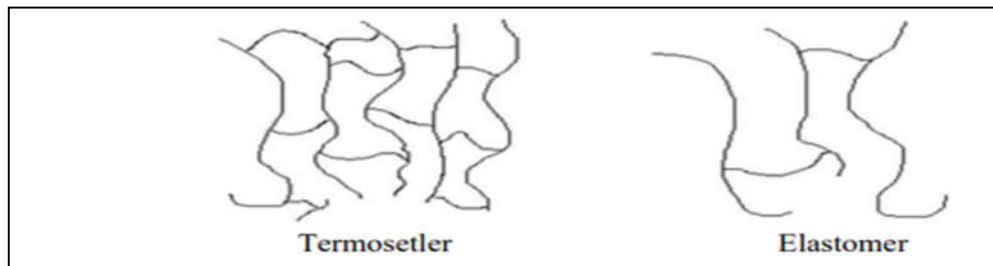
Elastomerler (kauçuklar), esnek ve elastik malzemelerdir. Çekme kuvveti uygulandığında yüksek oranda uzama yapar ve bu kuvvet kaldırıldığında tekrar ilk haline döner. Elastomerlerin bu davranışı sergilemesinin sebebi, elastomerlerin iç yapısındaki az orandaki çapraz bağların var oluşudur (Saçak 1998).

Elastomerler eriyebilen, çözülebilen grup olan termoplastik grubuna aittir. Bu grup yüksek olmayan yükler altında yüksek deformasyon özelliği gösteren düşük elastikiyete sahiptirler. Doğrusal yapıda bulunan polimerler, yapışma ve çok az miktarda moleküller arası çapraz bağ yapısında bulunurlar. Çoğu kez helezonik yaylara benzer davranış gösterirler. Üzerine gelen yükün kalkması sonrasında tekrardan eski hallerine geri dönmesine sebebiyet veren ise çapraz bağlı olmasından ötürüdür.



**Şekil 5.** Elastomer zincirlerinin çekme kuvveti altındaki davranışı

Termosetler ve elastomerlerin çapraz bağlar arasındaki yoğunluk farkları Şekil 6’da gösterilmiştir. Şekil 6’dan görüldüğü üzere, termosetlerde çapraz bağ yoğunluğu yüksek oranda iken, elastomerlerdeki çapraz bağ oranı düşük yoğunluğa sahiptir (Akın 2017).



**Şekil 6.** Termosetler ve elastomerler arasındaki çapraz bağ yoğunluk farkı (Akın 2017).

<sup>2</sup> Köken olarak, çok anlamına gelen *poly* ve organik tuz anlamındaki *ester* ekinin birleşiminden oluşur.

## **Polimer malzemelerin diğ er bileş enleri**

Aşağıda tanımlanan malzemeler diğ er yan ürünlerle kullanıldığında Polimer beton için hedeflenen işlevsellik yakalanmış olur.

### ***Solventler***

İşlemede avantajlı olan solventler, fizyolojik yönden aktif olamayan, depolanma sırasında kararlı renksiz ve berrak yapıda bulunurlar. Buharlaşma hızlarına göre yavaş hızlı, orta hızlı ve hızlı olmak üzere üç grupturlar (Akkaya 2010):

- i) yavaş hızla buharlaşanlar: cyclohexanol, glycol,
- ii) orta hızla buharlaşanlar: xylen, butanol, cyclohexanone ve
- iii) hızlı buharlaşanlar: aseton, eter ve benzindir.

### ***Plastifiyanlar***

Fiziki olarak viskoz sıvı veya katı olan, plastik malzemelerin esnek davranışlarını artıcı yönde etki gösteren maddelerdir. İyi bir plastifiyan buharlaşmamalı ve karışımda homojen dağılım sağılamalıdır ( zt rk 2013).

### ***Stabilizanlar***

Sıcaklık ve ultraviyole ışınlar etkisinde kalmış plastiğın bozulmaması için yüzde veya binde oranında kullanılan bileş endir. Bunlar metallerin organik tuzlarıdır. Genel olarak kurşun, kalay, baryum, strontium, kadmiyum, stearatlardır (Pişkin 2010).

### ***Dolgu maddeleri***

Plastiğın  retim maliyetini düşürmek amacıyla kullanılır. Aynı zamanda sıcaklık, sertlik ve ışışa dayanıklılık, elektriksel direnç veya iletkenlik özelliklerini olumlu yönde etkilerler (Akman 1987).

### ***Pigmentler***

Kullanım alanları renklendirme işleridir. Pigmentler reçine ve solvent içinde erimemeli, kararlı yapıda bulunmalıdır. Sıcaklıktan ve ultraviyole ışınlarından da etkilenmemelidir. Bunlar boya sanayisinde kullanılan metal oksit grubundadırlar ( zden Akkaya 2010;  zt rk 2013).

### ***Katkı maddeleri***

Betonda istenilen özellikleri elde etmek için kullanılan kimyasal katkı maddelerinin rolünü plastik uygulamalarında da çeşitli katkı maddeleri sağılar. Bunlar ( zden Akkaya 2010;  zt rk 2013);

- i) lübrifanlar yani yağlayıcılar, malzemeye daha kolay şekil verebilmek için eklenirler (örneğin, metal sabunlar, mumlar),
- ii) Fungicide adı verilen katkıları mantar ve yosunlara karşı kullanılırlar (örneğin, cıva ve bakır organik tuzları),
- iii) kalıp sektöründe maddenin kalıptan çıkmasını rahat bir şekilde sağlayan kalıp ayırıcılarıdır (örneğin çinko stearat, teflon, silikon vernikler vb.) ve
- iv) Ignifugane şeklinde isimlendirilen alevin yayılmasını önleyen katkı maddeleridir (örneğin, antimuan tuzları, klorlanmış parafinler).

### **Polimerlerin Özellikleri**

Polimer malzemeler, uygulama alanında birçok işi kolaylaştıran malzemelerdir. Bu malzemeleri kullanılabilir kılan çok sayıda özellikleri vardır. Polimerlerin hafif olması, işlenebilirliğinin kolay olması, korozyona dayanıklılığı, elektrik ve ısıya karşı yalıtkan oluşu, kaliteli yüzey elde etmeye uygun olması gibi birçok özelliğinden ötürü polimer malzemeler en çok tercih edilen malzemelerdendir. Günümüz teknolojisinde, makine, uçak, elektrik, elektronik, ev aletleri gibi sahalarda rol alarak tercih edilen malzeme sınıfına girmiştir. Ayrıca günlük hayatta sıkça kullandığımız tekstil, mobilya ve inşaatlarda, kaplama ve sentetik yapıştırıcı imalatında, kırtasiye ve ambalaj malzemesi yapımında çok tercih edilmektedir (Akkurt 1991). Aşağıda polimerlerin genel özellikleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

#### **Yüksek sıcaklığa dayanım ve ısı dengesi**

Polimerlerin iç bağlarının kovalent olması, polimerlerin ısı ve elektriğe karşı yalıtkan özellik göstermesini sağlar. Yüksek sıcaklık altında dayanım sağlamak için inorganik malzemeler tercih edilmektedir. Örneğin; silikon polimerleri gibi silikon oksijen bağlarının bulunmasından dolayı yüksek sıcaklık direnci gösterir. Polimerler yüksek sıcaklıkta tehlike arz ederler. Bazı türleri (polifluoretilen, teflon, melamin vb.) 300-400°C'ye kadar dayanım göstermekte fakat çoğunluk 80°C'yi aşılması durumunda zarara uğrarlar (Akın 2017).

#### **Kimyasal dayanıklılık**

Polimerlerin kimyasal dayanıklılığını polimerlerin kimyasal yapısı ve monomerlerin moleküler dizilimi etkilemektedir. Polimerlerin molekül ağırlığı arttıkça çözünürlüğü azalmaktadır. Molekül ağırlığı fazla olan polimerlerin genellikle viskoziteleri de yüksektir. Polimerler, asit ve alkali gruplarına kıyasla daha iyi kimyasal dayanım performansı sergilerler. Ayrıca kesin polar grupları ihtiva eder ve bunları kimyasal dayanım açısından hassaslaştırır (Pişkin 2010).

## **Oksidasyon direnci**

Bazı polimerler yapım veya kullanım sürecinde atmosferik oksijenden dolayı oksidasyona hassastır. Molekül ağırlığı zincir düzenine veya çapraz bağlanma durumuna göre değişim gösterir. Bu değişime fiziksel özelliğinin bozulması sebep olmaktadır. Polyesterler, poliüretanlar, poliamidler, polikarbonatlar genellikle oksidasyon altında fiziki yapılarındaki küçük değişikliklerle renkte solmalar görülür. Ayrıca yüksek sıcaklık etkisiyle fiziksel yapısı zarar görebilir. Polimere ve reaksiyon tipindeki farklılıklara göre polimer yıkılır, ergime akışında değişim meydana gelir (Pişkin 2010).

## **Hava etkisiyle bozulma**

Malzemenin kimyasal yapısının bozulması ile zamanla hasarlar meydana gelir. Bu tarz durumların olması birden fazla sebebe bağlıdır. Bu sebeplerin en önemlileri; termik, mekanik, fotokimyasal, radyasyon, biyolojik ve kimyasal etkilerdir. Çok kez çeşitli şekilde meydana gelen yıpranmalar, aynı anda meydana gelmeye başlamıştır. Örneğin açık havada serbest bulunan bir polimer, ultraviyole radyasyonu ile oksijen ve atmosfer etkisine maruz bırakılmaktadır. Polimerler uygulama esnasında ısı, mekanik kuvvetler ve oksijenin etkisine maruz bırakılmaktadır. Polimer malzemelerin çevresel faktörlere karşı dayanımını artırmak için, antioksidant ve stabilizatör gibi katkı maddeleri ilave edilir (Özden Akkaya 2010).

## **Geçirgenlik**

Polimerlerin geçirgenliği kimyasal dayanımla ilişkilidir. Polimerlerde gaz geçişi katı molekül parçalarıyla düzgün kanallarda gerçekleşir. Bağ yapıları kristal, cam veya yüksek çapraz bağlı olan polimerlerde geçiş difüzyonla gerçekleşir ve viskoz malzemeler bu esnada bir miktar tutunabilir. Polimer boyunca sıvı ve gazlardaki difüzyon oranının azalması ile kimyasal direnç artar. CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> gazlarına göre geçirimliliği daha fazladır. Endüstriyel alanda polimerlerin geçirimliliği önem arz etmektedir (Pişkin 2010).

## **Yanıcılık**

Polimerler değişimli yanmaya maruz kalırlar. Yanma polimerin yüzeyine doğru geçmektedir. Çeşitli yanıcılık sınıfları söz konusu olup genel olarak üç başlıkta toplanırlar. Pişkin (2010)'da belirtilen bu sınıflandırma Tablo 1'de belirtilmiş olup her bir grubun açıklaması yine aynı kaynaktan alınarak tablonun altında verilmiştir.

**Tablo 1.** Polimerlerin Yanıcılığa Göre Tasnifi

| 1.Grup                      | 2. Grup         | 3. Grup       |
|-----------------------------|-----------------|---------------|
| Politetrafloretlen          | Silikonlar      | Polistren     |
| Aromatik Polietersülfon     | Polikarbonatlar | Polyolefinler |
| Bütün aromatik polimidler   | Naylon          | Poliasetatlar |
| Bütün aromatik polyesterler |                 | Akrilikler    |
| Bütün aromatik polieterler  |                 | Poliüretanlar |
| Polivinilden klorid         |                 |               |
| Polivinilklorid             |                 |               |

1. Grup alev geciktirici özelliğine sahiptir. Bunlar ya halojen veya aromatik gruplardır. Bu polimerler yanıcı özellikte olup yüksek ısıl dayanım sergiler. Yüksek aromatik polimerler, çok az duman oluştururlar.

2. Grup bileşimler yanma işleminden sonra kömürleşme görülmez, alev geciktirici olarak tercih edilmezler, yanıcı veya kömürleştirici olabilirler.

3. Grup polimerler yanıcıdır ve yanarak kömürleşmekle birlikte kolayca dekompozit olabilirler. Polimerler yanma gerçekleştikten sonra patlayıcı hale gelerek zehirli toxic ve koroziv gazları meydana çıkarır.

#### **Polimer malzemelerin avantajları**

Bulut (2016)'da polimer malzemelerin avantajları aşağıdaki şekilde özetlenmiştir:

- Polimerlerin yaygın olarak kullanılmalarının en önemli nedeni üretimlerinin kolay olması ve çeşitli şekillerde kullanımına olanak sağlamasıdır. Böylece çok farklı sahalarda kullanılabilirler.
- Polimerler diğer malzemelerle kıyaslandığında çok hafiftirler. Bu özellik sayesinde ilk üretimden taşımaya, enerji tüketimine kadar birçok alanda kolaylık sağlarlar.
- Polimerler yüksek mukavemetli malzemelerdir.
- Özellikle kimyasal dirençleri çok yüksektir.
- Düşük geçirimliliğe sahiptirler.
- Kolaylıkla renklendirilebildikleri için çeşitli türleri oluşturmak mümkündür.
- Bazı çeşitleri dışında suya karşı dayanıklılıkları oldukça iyidir.
- Diğer malzemelere göre çok seri bir şekilde üretilebildikleri, daha az enerji harcadıkları için uygundur.

#### **Polimer malzemelerin dezavantajları**

Pişkin (2010) ve Bulut (2016)'da polimer malzeme ve polimer betonların aşağıdaki dezavantajlara sahip olduğu belirtilmiştir:

- Mali olarak geleneksel betonla karşılaştırıldığında ciddi oranda fazladır. Geleneksel betona kıyaslandığında finansal olarak 100 katına kadar bir artış söz konusudur. Maliyetinin yüksek olması kullanım yönünü spesifik alanlara çevirir.
- Yüksek sıcaklıklara karşı direnci düşüktür. Polimer malzemelerde sıcaklığın artmasıyla zararlar oluşur. Bu durum polimerleri uygulamada yapıların taşıyıcı elemanlarında tercih edilmesini engellemektedir.
- Özellikle polimer ürünü üretme kapsamında kokusu, zehirli kimyasal içermesi ve yanma riskleri göz önünde bulundurulduğunda potansiyel tehlike olduğu söylenebilir.
- Yüksek sıcaklıklar polimerler için her zaman tehlike arz eder. Bazı türleri (300-400°C'ye kadar polifluoretilen, teflon, melamin vb.) dışında genellikle 80°C'yi aşması durumunda tehlikeyi doğuran sonuçlar kaçınılmazdır.
- Polimer beton, inşaat mühendisliğinde uygulama olarak mazisi çok olmadığından parametrelerinin belirlenmesi için gerekli bilgiye ulaşma adına geleneksel betondaki kadar bilgi yoğunluğu yoktur. Bu durum da üretimde oluşabilecek problemlerin çözüme kavuşmasını zorlaştırmaktadır.

### **Polimerlerin inşaat mühendisliği alanında kullanımı**

Yaplardan beklenen özellikler; dayanım, dayanıklılık, işlevsellik ve ekonomiktir. Hedeflenen performansı göstermesi için çeşitli şekilde malzemeler kullanılarak yapılar inşa edilir. Bağlayıcı malzeme olarak çimento, inşaat sektöründe hedeflenen yapısal özelliklerin elde edilmesi adına çok önemli rol oynamaktadır. Ancak günümüzde araştırmacılar çok farklı teknik ve çevresel nedenlerden dolayı çimentonun alternatifi olabilecek malzemelerin geliştirilmesine yoğunlaşmışlardır. Bu bağlamda polimerler de inşaat mühendisliğinde alternatif malzeme olarak kullanılmaya başlamıştır.

Polimerler, ilk olarak gövde malzemesi (takım tezgâhı, pompa, boru imalatı) gibi alanlarda kullanılmıştır. Teknolojinin ilerlemesiyle betonda polimer malzeme kullanılarak polimer beton üretilmeye başlanmıştır. Günümüzde kaplama, kaldırım malzemesi, prefabrik yapı panelleri, yaya yolu gibi farklı sahalarda da tercih edilmektedir. Özellikle çekme dayanımı düşük olan betonda polimerler kullanılarak bu özellik iyileştirilmeye çalışılmaktadır (Bulut 2016). Şekil 7 ve 8'de uygulamadan bazı örnekler gösterilmiştir.

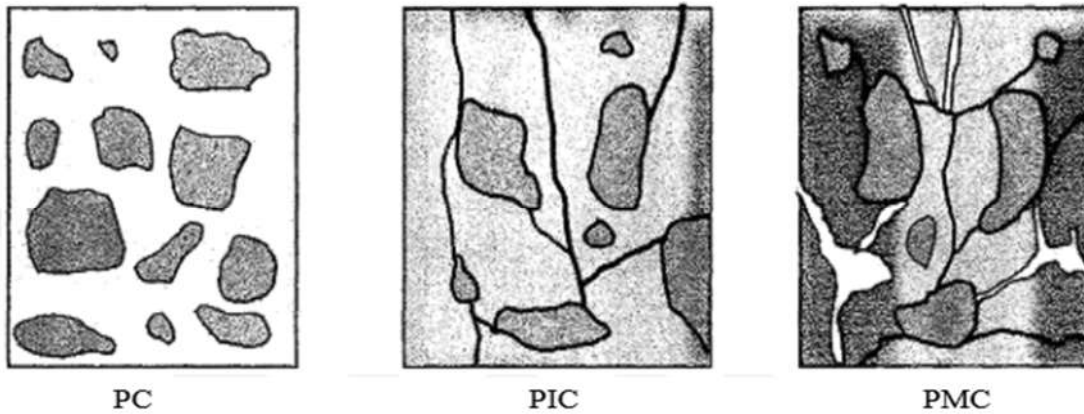


**Şekil 7.** Polimerlerin onarım-güçlendirmede kullanılması (Anonim 2021a)



**Şekil 8.** Polimer malzemenin kolona enjekte edilmesi (Anonim 2021b)

Polimer betonların kullanım tarihçesi araştırıldığında, 1950’lerden bu yana çok olmasa da Polimer Beton (PC) ve Polimer ile Modifiye Edilmiş Beton (PMC) üretilmeye başlandığı tespit edilmiştir. 1970’li yıllardan sonra ise Polimer Emdirilmiş Betonların (PIC) incelenmesi ile polimer beton malzemelerinin tanınırlığı ciddi oranda artmıştır. 1975 yılında betonda polimerler üzerine uluslararası ilk kongre Londra’da düzenlenmiştir. İlerleyen yıllarda da düzenli bir şekilde polimerlerin betonda kullanımıyla ilgili kongreler yapılmıştır. Günümüzde Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) tarafından oluşturulan “Beton için Polimerler ve Yapıştırıcılar” isimli bir komite (Komite no: 548) konu ile ilgili standart belirlemeye yönelik çalışmalarına devam etmektedir (Bulut 2016). Şekil 9’da PC, PIC ve PMC betonların şematik gösterimleri verilmiştir.



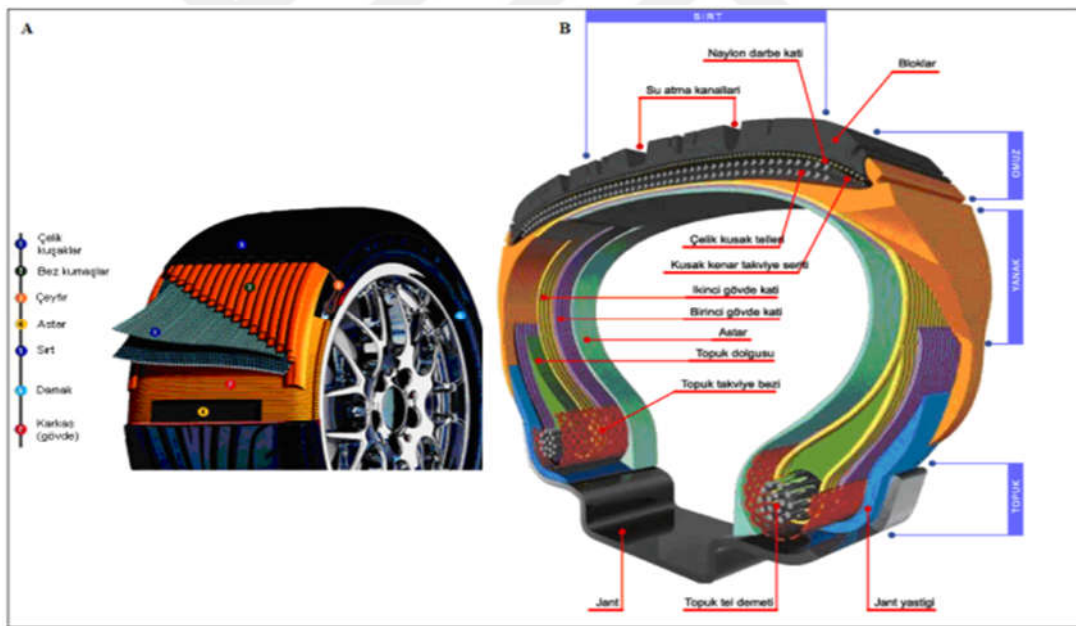
**Şekil 9.** Polimerlerin betonda üç farklı kullanımı (Özden Akkaya 2010; Öztürk 2013)

Görseldeki büyük parçacıklar agregaları, siyah çizgili damarlar polimer takviyesi ile doldurulmuş çatlakları, noktalı kısım çimento fazını ve beyaz bölgeler ise polimer fazını göstermektedir. Polimer betonda (PC), agregaları saran matris tamamen polimerle kaplanmıştır. Betonda çimento hamuru yoktur. Polimer emdirilmiş betonda (PIC), kılcal boşlukların tamamıyla birlikte jel boşluklarının bir kısmı da polimerle doldurulmuştur. Polimer ile modifiye edilmiş betonda (PMC) ise kılcal yolların bir kısmı ile agregaların çevresi polimer filmi ile doldurulmuştur. Bu betonda çimentoda kullanılmaktadır (Bulut 2016).

### Atık Araç Lastiği

Araç lastiği, belirli sıcaklık ve basınç altında pişirilme işlemine maruz bırakılan ve içerisinde hava bulunan, araçların hareket etmesini sağlayan, farklı kullanım sahalarına göre boyutları, şekilleri ve yapıları olan kauçuk hava yastığıdır (Yakaboylu 2010).

Lastik sırt, omuz, yanak, topuk (damak) ve karkas (gövde) olmak üzere 5 ana katmandan oluşmaktadır. Lastiğin yapısında yer alan diğer alt katmanların temsili gösterimi Şekil 10'daki gibidir.



Şekil 10. Araç lastiğin şematik olarak gösterimi (Hamzaçebi 2015).

Lastiğin yapısını teşkil eden bölümler aşağıdaki gibi açıklanmaktadır (Hamzaçebi 2015):

- Sırt: Lastiğin zeminle temas eden kısmı,
- Omuz: Kauçuğun kalın kısmından meydana gelen yanak ile sırtın birleşim kısmı,
- Yanak: Lastiğin yan yüzeyi olup esneklik sağlayan kısım,
- Topuk bölgesi: Lastiğin jantla birleştiği kısım,

- Karkas: Polyester kord bezinden üretilen, lastiğin alt ucundaki bir damak telinden diğerine uzayan destek bölgesi,
- Kuşaklar: Lastiğin sırt deseninin altındaki dar bölge,
- Ceyfir: Lastiğin iskelet yapısının jant tarafından aşınmasını ve zarar görmesini önleyen esnek kısım,
- Astar: Lastik havasının kaçmasını engelleyen, lastiğin iç kısmındaki ince bir kauçuk tabakasıdır.

### **Atık lastiklerin zararları**

Petrol türevi poşetler, şişeler, hazır gıda paketleri, kereste atıkları, teneke kutular, ezilmiş seramikler, mobilya döşeme atıkları ve atık beton molozları, camlar, atıl durumdaki otomobil lastikleri ve kauçuk gibi malzemeler endüstriyel katı atıklar arasında bulunmaktadır (Geredelioğlu 1997).

Dünya genelinde her yıl 1 milyardan fazla lastik satışı yapılmakta ve bu sektör hızla genişlemektedir (Tüzüm Demir, 2020). Dünyada bir yıl içinde 10 milyon tondan daha fazla atık araç lastiği oluşmakta ve bu durum her sene artarak devam etmektedir (Yakaboylu 2010). Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına göre Türkiye’de 2015 yılında 350.000 ton lastik satılmıştır. Buna karşın Türkiye’de yaklaşık olarak her yıl 300.000 ton kullanım ömrünü tamamlamış lastik bulunmaktadır. Kullanım ömrünü tamamlamış lastiklerin geri kazanımına önem verilmesi, ekonomik ve çevresel açıdan önem arz etmektedir (Anonim 2012a).

Lastik, yapısı gereği çevresel faktörlere karşı dirençli olduğundan doğada çözünmeleri zordur (De *et al.* 2006). Yüksek molekül yapıdaki kauçuklardan üretilen lastikler, işlevselliğini kaybettikten sonra geri dönüşüm işleminden geçmemesi durumunda çevre kirliliğinde önemli rol oynamaktadırlar. (Gönüllü 2004; Demirel ve Öz 2017; Akgün vd. 2020). Atık lastiklerin iç yapısıyla alakalı olarak yüksek alevli yangınlar, devasa duman kütleleri gibi potansiyel risklerinden ötürü stok sahalarındaki fazla sayıdaki lastikler büyük tehlike olarak görülmektedir (Reshner 2008, Akın 2017). Şekil 11’de bu tehlikelerden biri, Şekil 12’de ise potansiyel tehlike oluşturan atık lastik tarlalarından birinin görüntüsü verilmiştir.

Atık lastikler kimyasal yönden kararlı yapıda olduklarından dolayı zehir etkisi bulunmamasına karşın çevreye gelişigüzel bir şekilde bırakılıp yakılması durumunda çevre kirliliğine sebep olup ekosistem adına büyük problem oluştururlar. Kontrol altına alınması gereken yangında sarf edilen su ve yağmur suları zararlı bileşenlerin toprağa geçişine sebep olmaktadır (Anonymous 2002).

Li *et al.* (2002)'nin literatüre dayandırdığı bilgilere göre 10 günlük takipten sonra lastik tozunun aynı su ile teması sonucu lastikte görülen sızmanın sulak bölgede hayatını sürdüren mikroorganizmalar başta olmak üzere böcek-kurtçuk gibi hayvanlara da zarar vermektedir.



**Şekil 11.** 2021 yılının ağustos ayında Kuveyt'teki dünyanın en büyük lastik mezarlığı olan 25.000 metrekarelik Al Sulaibiya (Rahaya) sahasında çıkan yangın sonucu meydana gelen manzara (Anonim 2021d).



**Şekil 12.** Doğaya bırakılmış atık lastik yığınları (Anonim 2021d).

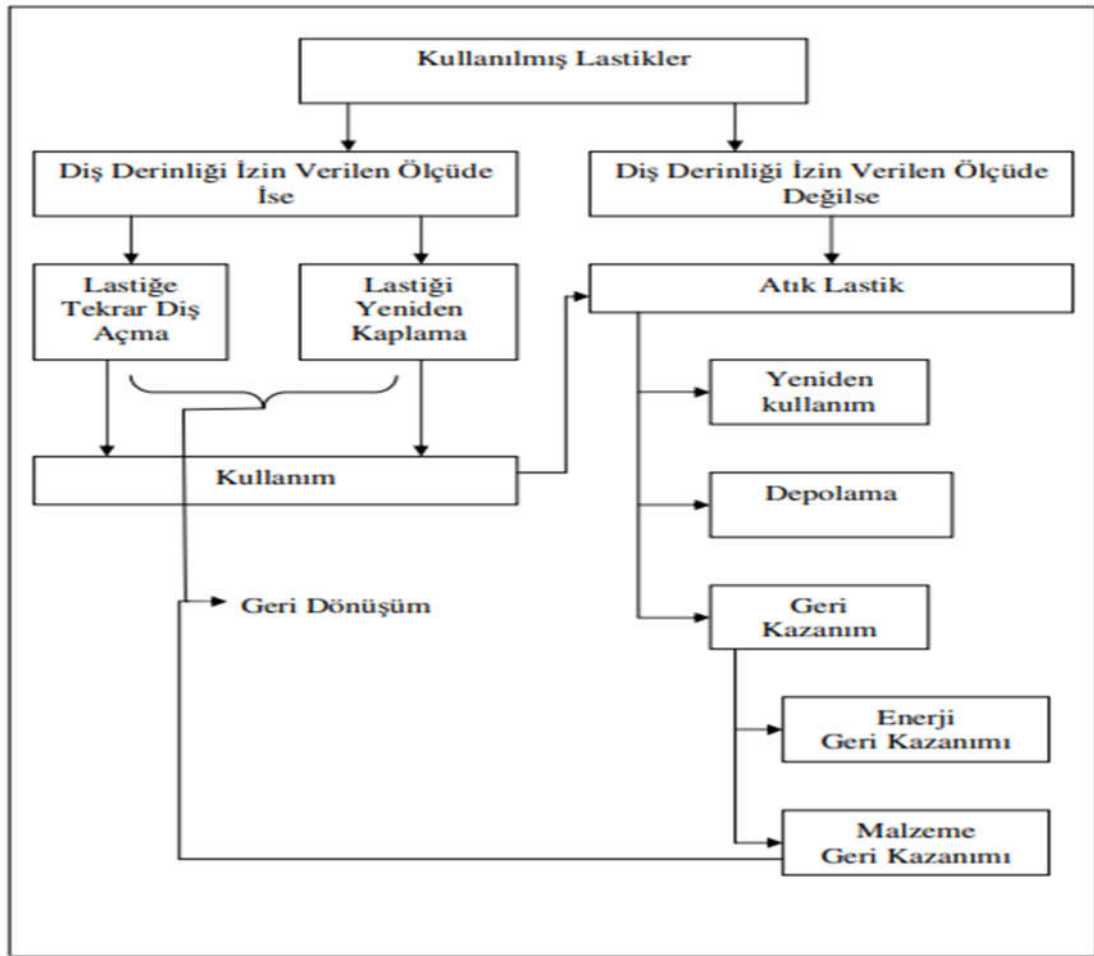
International Agency for Research on Cancer tarafından lastiğin hammaddelerinden olan işlenmiş naftenik ve aromatik extender yağlarının deriyle teması sonucu deneyde kullanılan hayvanların deri kanserine yakalandığı bulgusuna varılmıştır. İnsan derisinde de alerjik duruma sebep olduğu gözlemlenmiştir (Akın 2017).

### Atık lastiğin değerlendirme aşamaları

Atık çevre kirliliğinin önüne geçmek için atık yönetimi diye adlandırılan değerlendirme hiyerarşisi vardır. Bu hiyerarşi atık oluşumunu önleme ve azaltma, atığı yeniden değerlendirme ile geri dönüştürme, atıktan enerji geri kazanımı ve depolama şeklinde sıralanmaktadır. Tablo 2’de bazı ülkelerdeki araç lastiklerinin yönetimi, Şekil 13’te ise kullanılmış lastiklerin yeniden değerlendirilmesine yönelik bir algoritma verilmiştir. Atık lastik değerlendirme yöntemi ile bazı sayısal veriler ise Tablo 3 ve Şekil 14’ ten görülebilir.

**Tablo 2.** Bazı Ülkelerde Araç Lastiklerinin Yönetimi (Adhikari *et al.* 2000)

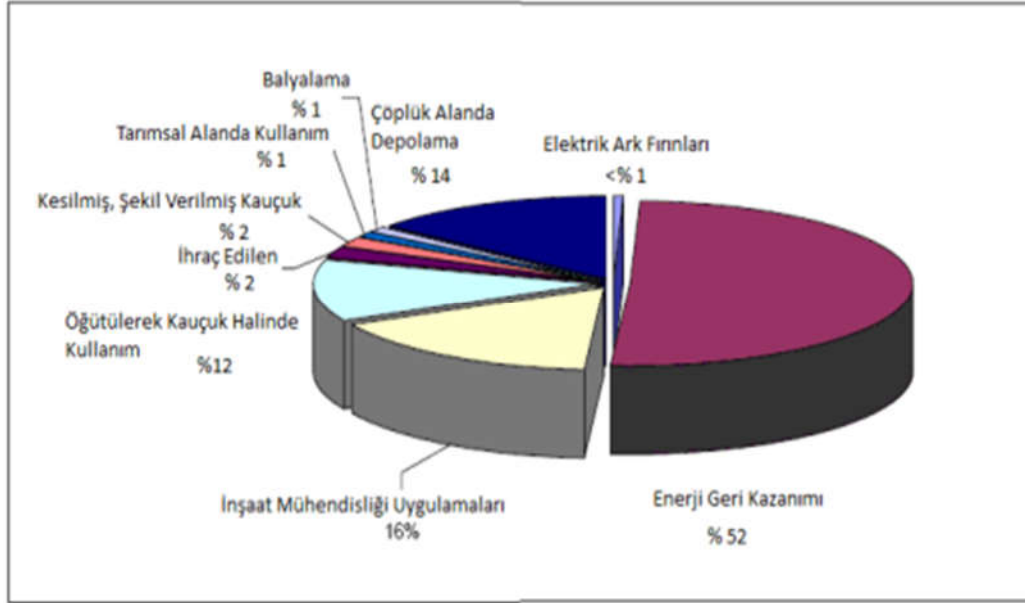
| Bertaraf Yöntemi        | Fransa | Almanya | İtalya | İngiltere | Belçika | Hollanda | İsveç | ABD |
|-------------------------|--------|---------|--------|-----------|---------|----------|-------|-----|
| Yeniden kaplama, %      | 20     | 17,5    | 22     | 31        | 20      | 60       | 5     | 0   |
| Geri kazanma, %         | 16     | 11,5    | 12     | 16        | 10      | 12       | 12,5  | 28  |
| Enerji elde edilmesi, % | 15     | 46,5    | 23     | 27        | 30      | 28       | 64    | 72  |
| Atık deposuna, %        | 45     | 4       | 40     | 23        | 5       | 0        | 5     | 0   |
| İhracat, %              | 4      | 16      | 2      | 2,5       | 25      | 0        | 7     | 0   |



**Şekil 13.** Atık lastik yönetimi (Yakaboylu 2010)

**Tablo 3.** Çeşitli Ülkelerde Atık Lastik Miktarları ve Değerlendirilme Yöntemlerinin Sayısal Verileri

| Ülke       | Yıl  | Atık Lastik Üretimi<br>(Milyon Adet) | Enerji Geri Kazanımı<br>(%) | İnşaat Sektörü veya Malzeme Geri Kazanımı (%) | Çöp, Depolama ve diğer (%) |
|------------|------|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------|
| ABD        | 2005 | 292                                  | 52                          | 33                                            | 14                         |
| Avrupa     | 2006 | 250                                  | 41                          | 43                                            | 16                         |
| Japonya    | 2006 | 100                                  | 70                          | 15                                            | 15                         |
| Meksika    | 2004 | 30                                   | 0                           | 90                                            | 10                         |
| Brezilya   | -    | 27                                   | 69                          | 13                                            | 18                         |
| Güney Kore | 2003 | 23                                   | 77                          | 16                                            | 7                          |
| Kanada     | 2003 | 22                                   | 20                          | 75                                            | 5                          |
| Avustralya | 2006 | 20                                   | 22                          | 8                                             | 70                         |
| Türkiye    | 2008 | 200 bin ton                          | 15                          | 20                                            | 60                         |



**Şekil 14.** ABD 2005 yılı atık lastik değerlendirme yöntemi dağılımı (Anonim 2006)

Avrupa'daki atık araç lastiklerinin %26'sı atık depolarında muhafaza edildiği, %24'ü ısı kaynağı olarak kullanıldığı, %9'u dış ülkelere ihraç edildiği, %14'ü işlendikten sonra tekrar kullanıldığı ve %25'i ise inşaat sektöründe değerlendirildiği kayıtlara girmiştir (Miguel *et al.* 2006).

Atık lastik yönetimindeki işleyiş; yeniden (tekrar) kullanım, geri dönüşüm (recycle), depolama, geri kazanım, enerji geri kazanımı (recovery) ve malzeme geri kazanımı yöntemlerinden oluşmaktadır (Batır 2002). Aşağıda bu yöntemler açıklanmıştır.

### ***Yeniden (tekrar) kullanım (reuse)***

Atık lastikler kaplama işleminden sonra eski işlevine dönebilir. Kaplama işlemi yapılmış lastikler hem ekonomik hem de farklı alanlarda kullanılabildiğinden tercih edilen bir yöntemdir. Kaplama lastikler yeni lastikler gibi güvenlik ve performans göstermektedir. Bu yöntem ile atık lastik yığınları azaltılıp yeni lastik üretimi için gerekli hammadde tüketilmeden ekonomiye katkı sağlanmaktadır (Tüzüm Demir 2020). Lastik atıklarının herhangi bir işlem görmeden farklı amaçlar için kullanıldığı bir yöntemdir (Xiao G *et al.* 2008). Atık lastiklerin yığma binalarda bütünsel olarak kullanılmasıyla duvar dayanımına katkı sağlamıştır (Türer vd. 2005).

### ***Geri dönüşüm (recycle)***

Atık lastiğin ve lastik bileşenlerinin bir işleme tabi tutularak ilk durumuna gelmesi veya atık lastiğin parçalanmasıyla metal, elyaf ve diğer ürünlerin ayrıştırma işlemi lastiğin geri dönüşümüdür. Bir otomobil atık lastiğinin ağırlığı yaklaşık 9.1 kg'dır. Atık lastiğin yaklaşık olarak %35'i doğal ve %65' i sentetik geri kazanılabilir kauçuktan oluşmaktadır (Sugözü ve Mutlu 2009). Bir kamyon lastiği 18,2 kg ağırlığında olup, bu ağırlığın %60 ile %70'i geri kazanılabilir kauçuk içermektedir. Akın (2017)'de atık lastiklerden elde edilecek ana ürünlerin yüzdelik değerleri ile ilgili Tablo 4' te verilen bilgiler bulunmaktadır.

**Tablo 4.** Atık Lastiklerden Elde Edilecek Ana Ürünlerin Yüzdelik Değerleri (Akın 2017).

| Ürün                      | Kamyon lastiği (%) | Endüstriyel araç lastiği (%) | Otomobil lastiği (%) |
|---------------------------|--------------------|------------------------------|----------------------|
| Kauçuk kırıntısı          | 70                 | 78                           | 70                   |
| Çelik                     | 27                 | 15                           | 15                   |
| Elyaf ve diğer kalıntılar | 3                  | 7                            | 15                   |

### ***Depolama***

Mazisi olan bertaraf yöntemlerinden biri de depolamadır. Ancak günümüzde depolama kısımlarının azalması, depolama kısma taşımanın maliyetli olması, bu maliyetin önemli bir ekonomik kaynağın değerlendirmek yerine beklemeye alınması ve biriktirilen atıkların ilerleyen zamanlarda önemli bir çevre kirliliğine sebebiyet vermesi gibi nedenlerden ötürü uygulanması uygun görülmemektedir (Batır 2002, Akın 2017).

Depolarda bekletilen atık lastiklerdeki katkı maddeleri, zamanla atık yüzeyine yayılmakta ve toprak, hava ve su kirliliğine sebebiyet vermektedir. Bu katkılar topraktaki yararlı bakterileri de öldürüp yeni hastalıklara davetiye çıkarmaktadır (Dhir *et al.* 2001).



**Şekil 15.** Atık lastikler için önerilen depolama şekilleri (Anonim 2021e)

25.11.2006 tarihli Resmi Gazetede yayınlanan Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği'ne göre Türkiye'de ömrünü tamamlamış lastiklerin çevreyi olumsuz etkileyecek şekilde gelişigüzel bırakılması, hangi amaçla olursa olsun, kabul edilmez. Ancak, Türkiye'de ömrünü tamamlamış lastiklerin bir kısmı çevreye hatta çöp konteynırı veya çöplük alanlara kontrolsüz olarak bırakılmaktadır. Ülkemizde her yıl 70 bin ton atık lastik bu yolla değerlendirme dışı kalmaktadır (Lasder 2009).

#### ***Enerji geri kazanım (recovery)***

Araç lastiklerinin yaklaşık %90'nı organik malzemelerden meydana geldiği için yüksek ısı kapasitesine sahiptir. Lastikler bu avantajından ötürü çimento fabrikaları, enerji santralleri gibi büyük sanayi tesislerinde yakıt olarak kullanılabilir. Bu işlem sonucunda açığa çıkan gazların çevreye verildiği zarar göz önüne alındığında bu yöntemi tercih etmek mantıklı görülmemektedir (Wu and Zhou, 2009). Atık lastikten elde edilen yakıt, kömür ile kıyaslandığında daha fazla ısı değeri olduğu bilinmekle birlikte içerdiği sülfür de daha düşüktür. Aynı zamanda 1 ton atık lastik, 1 ton kaliteli kömür veya 0,7 ton fuel oil kadar enerjiye sahip olması bakımından tercih edilir bir yakıt olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak atık lastiklerin yakılması ile atmosferde zararlı bileşikler dağılıp siyah bir bulut şeklinde atmosferi kirletmektedir. Atmosferi kirleten zararlı bileşenlerden bazıları; organikler, çok halkalı hidrokarbonlar, yağlar, kükürt oksitleri, azot oksitleri, karbon oksitleri, uçucu partiküller şeklindedir. Bu zararlı bileşikler havayla birlikte toprak ve suyu da kirletmektedir (Islam *et al.* 2009; Huang and Tang 2009). Ülkemizde ve Avrupa'da elektrik üreten termik santrallerde ve çimento fabrikalarında yakıt olarak kullanımı söz konusudur (Zhang *et al.* 2008).

Enerjinin geri kazanımı açısından atıkların yakılması gereken durumlar olmaktadır. Bu gibi durumlarda AB, çevre kirliliğinin önüne geçmek için 2000 yılında Atık Yakma Yönergesi

ve 2001 yılında Düzenli Depolama Yönergesi kabul edilmiştir. Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü (IPPC) ile alakalı AB Yönergesinde atıkla alakalı faaliyetlerin hava, su ve toprak için emisyon değerleri ortaya koyulmuştur (Anonim 2012a).

Lasder (2009) ve Akın (2017)'de enerji geri kazanımında kullanım alanları olarak; elektrik üretim tesisleri, elektrik üretimi yapılan santraller ve çimento fabrikalarını sayılmıştır.

Yine Lasder (2009) atık lastik yakma ve doğal geri dönüşüm etkisi bağlamında atık lastiklerin %20'sinin lateks<sup>3</sup> olduğunu ve 1 ton atık lastik yakılması sonucunda atmosfere 647 kilo karbondioksit salınımı gerçekleştiğini belirtmiştir.

### ***Malzeme geri kazanımı***

Atık lastikler, Tablo 5'te gösterildiği gibi birçok bileşenden oluşur. Bu bileşenleri tekrar hammadde olarak değerlendirmek için bazı yöntemler kullanılır.

**Tablo 5.** Atık Otomobil Lastiklerinin Bileşiminin Sayısal Verileri

| Bileşen         | Miktar, % (Kütlece) |
|-----------------|---------------------|
| Kauçuk          | 47,0                |
| Karbon siyahı   | 21,5                |
| Metal           | 16,5                |
| Katkı maddeleri | 7,5                 |
| Tekstil elyaf   | 5,5                 |
| Çinko oksit     | 1,0                 |
| Kükürt          | 1,0                 |

Bu yöntemlerden biri atık lastiklerini elektrik ark fırınlarında kullanma yöntemidir. Atık lastikler, içerdiği çelikten dolayı yüksek karbonlu çelik üretiminde kullanılabilirler. 1650°C'den daha fazla sıcaklıktaki elektrik ark fırınlarında bu işlem gerçekleştirilmektedir (Anonim 2006). Atık lastiklerin yakıt olarak kullanılacak kısmı enerji kaynağı olarak kullanılırken karbon ve çeliğin büyük bir kısmı yeni çelik üretimi için kullanılabilir. Bu yöntemle göre karbon, çelik ve kauçuk ürünleri geri kazanılmakla birlikte bu işlem masraflı olduğundan çok makul değildir (Anonim 2006; Anonim 2008).

Bir diğer yöntem piroliz<sup>4</sup> yöntemidir. Bu yöntemle katı ve sıvı atıklar doğrudan değerlendirilerek geri kazanılır. Piroliz yöntemiyle katı atıklar, atıkların cinsine göre değerli endüstri ürünlerine dönüştürülebilirler (Taşan 1991). Katı atıklar piroliz yöntemiyle, oksijen

<sup>3</sup> Lateks, Polyisoprene C<sub>5</sub>H<sub>8</sub> dir ve %88 Karbon atomundan oluşur.

<sup>4</sup> Piroliz, ısı yardımıyla kimyasal bağların kırılma işlemidir.

bulunmayan ve ısıya maruz bırakılmış bir ortamda organik bileşiklerini enerji taşıyan maddelere dönüştürmektedir (Tüzüm Demir 2020). Piroliz işlemi atık lastiklerde uygulandığında işlem sonucunda karbon siyahı, gaz, çelik ve yağ hammaddeleri tekrar elde edilir. Bu işlem inert atmosferde, 300-900 °C sıcaklıklarında gerçekleşir (Islam *et al.* 2009; Islam *et al.* 2008; Taşan 1991). Hurda Lastik Yönetim Konseyi'ne göre bir araç lastiğinden yaklaşık 4 litre yağ, 3 kg karbon siyahı, 1,5 kg gaz, 1 kg çelik ve kül üretilir. Elde ettiğimiz yağ ve gaz ürünleri düşük kaliteli yakıt olarak değerlendirilebilir. Piroliz işlemi kapalı bir reaktörde gerçekleşmesi ve bu işlem sonucu elde edilen ürünlerin çoğu yeniden değerlendirildiği için yanma işlemine kıyasla daha çevre dostudur (Taşan 1991). Ancak, piroliz işlemleri, ticari değerlerini etkileyen son ürünlerin düşük kalitesi nedeniyle şu anda ekonomik açıdan avantajlı değildir (Neocleous *et al.* 2006).

Uygulamada kullanılan bir diğer yöntem ise devulkanizasyon<sup>5</sup> yöntemidir. Bu yöntemle mekanik, ısı ve kimyasal işlemler ile kauçuk yeniden karıştırılabilir, işlenebilir ve vulkanize edilebilir hale getirilmektedir. Bu yöntem ile atık lastiğin karbon-kükürt bağları kırılarak rejenere kauçuk adı verilen kauçuk elde edilir. Rejenere kauçuğun normal kauçuğa göre mekanik özelliği daha düşük olması sebebiyle kullanımı azdır. Bu işlem iki kademedir oluşur. Bunlardan birincisi boyut küçültme, ikincisi ise bağ kırılması işlemidir. Bağların kırılması kimyasal, ultrasonik, mikrodalga ve biyolojik şekilde gerçekleşmektedir. Kimyasal devulkanizasyon 180 °C ve 1.5 MPa basınç altında farklı kimyasallar kullanılarak gerçekleşmektedir (Batır 2002; Anonim 2008).

Ülkemizde en fazla tercih edilen geri kazanım yöntemlerinden biri de atık lastiğin parçalama işlemidir (Yakaboğlu 2010). Bazı durumlarda atık lastiklerin boyutlarının küçülmesi gerekebilir. Atık lastiğindeki inorganik maddeleri ayırtmak için mekanik veya azotla parçalama yöntemi kullanılır. Parçalama işlemine tabi tutulan lastikler çelik, lif ve inorganik maddelere ayrıştırılıp çeşitli şekilde değerlendirilebilir.

### **Atık lastiklerin inşaat mühendisliği ve diğer alanlarda kullanımı**

Atık lastikler, inşaat mühendisliğinde tercih edilebilecek bir yapıya sahiptir. Bu malzemeler, iç yapısından ötürü hafif, kolayca şekil değişen, boşluklu olması sebebiyle yalıtımı iyi olan malzemelerdir. Birçok avantajının olması lastikleri bu sahada değerli kılmaktadır. Uygulamada zemin iyileştirmede, ısı ve ses yalıtımlarında, drenaj kanallarında ve bunun gibi birçok sahada değerlendirilmektedir (Ordu vd. 2017).

---

<sup>5</sup> Bu yöntem, kükürt-kükürt (S-S) ve karbon-kükürt (CS) bağlarının seçici olarak koparılması şeklinde tanımlanan genel bir terimdir (Çataklı ve Ergüder 2019).

Ayrıştırılan hammaddeler farklı alanlarda da değerlendirilir. Bunlardan bazıları (Akın 2017; Tüzüm Demir 2020); otomotiv sanayisinde yeni araç lastiklerinde dolgu maddesi olarak, araç paspaslarında, contalarda, araç tampon bölgesinde, yüzme havuzu çevrelerinde, bahçe içi yollarda, kaydırmaz halı tabanında, asfalt döşenmesi gibi uygulamalarda, çatı kiremitleri ve duvar izolasyonunda, zemin kaplamalarında, çöp kutuları, bazı basit makinelerin tekerlek bölgelerinde, kaplama malzemesi olarak karolarda, trafik sinyal işaretlerinde, mobilyalarda, çim halı sahaların zemininde, ahır zemininde, spor ve rekreasyon alan kaplamalarında ve lastikten çıkarılan çelik liflerin beton teknolojisinde kullanımıdır.

### **Ülkemizde atık lastik yönetimindeki yasal mevzuat**

Türkiye’de ömrünü tamamlamış lastiklerin kontrolünü sağlamak amacıyla T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca 26 Kasım 2006 tarihinde 26357 sayılı Resmî Gazete’de Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrol Yönetmeliği yayınlanmıştır. Bu yönetmelik;

- Ömrünü tamamlamış lastiklerin geri kazanılmasını esas almıştır.
- Geri kazanım ve bertaraf işlemlerinde, hava, su, toprak, bitki ve hayvanlar üzerinde tehlike oluşturmada, ses ve koku yoluyla çevreye herhangi bir olumsuz etkide bulunmadan ve alıcı ortama, doğaya, koruma altına alınmış alanlara olumsuzluk oluşturmada yapılması zorunlu hale getirilmiştir.
- Ömrünü tamamlamış lastiklerin ithalatını, atık lastiklerin hiçbir şekilde vadi veya çukurlarda dolgu malzemesi olarak değerlendirilmesini, katı atık depolama tesislerine kabulü ve depolanmasını, ısınmada kullanılmasını, gösteri ve benzeri fiilleri kapsayacak durumda her türlü yakılması yasaklanmıştır.
- Ömrünü tamamlamış lastiklerin lastik tamirhaneleri, kaplama tesisleri, perakende satış noktaları, oto sanayi vb. yerlerde açık alanda depolanması önlenmiştir.
- Biriktirme yerlerinde yangına, sivrisinek, fare gibi zararlıların üremesine ve toprağa sızıntı ihtimallerine karşı önlem alınmasını zorunlu kılmaktadır.

### **Dünyada atık lastik yönetimindeki yasal mevzuat**

Atık lastiklerin değerlendirilmesi AB’de geçerli olan yönetmeliklerle farklı şekillerde açıklanmış olup, genel olarak atık yönetimi şeklinde değerlendirilmiştir. AB’ne göre atık yönetimindeki ilk aşama atık oluşumuna meydan vermeme, ikinci olarak atığın geri dönüştürülmesi, son olarak da atığı enerjiye dönüştürme olarak bilinmektedir. Hiçbir şekilde faydalanılamayacak atıklar da çöp olarak bertaraf edilmektedir. Ancak atık lastiklerin doğrudan çöplüklerde depolanması 2003 yılında yasaklanmıştır, 2003-2006 yılları arasında küçük

boyutlara getirildikten sonra depolanmasına izin verilmiştir. 2006 yılından bu yana, atık lastikler hiçbir şekilde çöplüklerde depolanmasına izin verilmemekle birlikte, atık yönetimi yapılarak geri dönüşümü ve geri kazandırılması gerektiği vurgulanmaktadır (Anonim 2009b; Anonim 1999).

ABD’de ise, atık lastiklerin değerlendirilmesine yönelik mevzuatlara göre depolama yapılmaması gerektiği, atık lastikleri tekrardan kullanma adına teşvik edilmektedir. Ancak her eyalette yönetmelikler ayrı ayrıdır. 37 eyalette atık lastiklerin doğrudan çöplüklerde biriktirilmesi yasaklanmışken, 9 eyalette ise küçük boyutlara getirilmiş lastiklerin de depolanması yasak edilmiştir. 37 eyalette depolama alanlarındaki atık lastiklerin temizlenmesi adına uygulamalar vardır. Bunlardan 20’sinde aktif bir şekilde uygulanmaktadır. Aynı zamanda 35 eyalette atık lastik başına 0,25-4 ABD doları arasında vergi alınmaktadır (Anonim 2007).

### **Atık lastikten elde edilen çelik tel**

Çelik lastik teli, atık lastiklerden çıkarılan bir eritme hurdasıdır. Atık çeliğin karbon oranı yüksek olup hurda olmasına karşın kaliteli bir malzemedir. Genellikle ortalama bir lastik ağırlığının %10- 20’si çelikten oluşur (Anonim 2010). Otomobil lastiklerinde kullanılan çelik St-52 gibi yüksek dayanımlı bir çelik olduğundan çeliğin geri dönüşüm tesislerinde yaklaşık %5 gibi bir getirisi vardır (Yakaboğlu 2010). Bir araç lastiği üretilirken ortalama 1-1,5 kg çelik kullanılmaktadır ve bu miktarın tamamına yakını geri dönüştürülebilmektedir. Türkiye’de yılda ortalama 350 bin ton atık lastik olduğu düşünülürse 500 bin ton kullanılabilecek çelik lif elde edilebilir.

Toplanmış atık lastikler geri dönüşüm tesislerinde ilk olarak çelik ayrıştırma ünitesinde çeliğin %95’i ayrıştırılır. %5’lik kısım ise piroliz yöntemiyle ayrışım yapıldıktan sonra müknaatıslarla ayrıştırılır (Hamzaçebi 2015).

Günümüzde atık lastik parçalarının betonda kullanılabilirliğinin yanında atık lastikten elde edilen çelik tellerin de betonda kullanılabilirliği araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda atık lastik parçacıklarının ve atık lastikten elde edilen atık çeliğin betonda kullanılabilirliği incelenmiştir. Betonda lastik parçacıkları ve çelik liflerin çeşitli oranlarda eklenmesiyle çatlakları engellemede , dayanımda olumlu etkiler gözlemlenmiştir. Özellikle eğilme ve çekme dayanımlarında güzel sonuçlar elde edilmiştir. Ancak atık lastik parçalarının ve atık lastik tellerinin kullanımı ile işlenebilirlik azalmıştır (Köroğlu 2016).

### **Lifli Betonlar**

Lifler; metalik, plastik, cam gibi farklı malzemelerden çeşitli tip ve boyutlarda üretilmektedirler. Amerikan Beton Enstitüsü’ne (ACI) göre lifin en önemli parametresi lif

boyunun lif çapına bölünmesiyle elde edilen “boy/çap” (aspect ratio) oranıdır. “Narinlik oranı” olarak da ifade edilmektedir. Lifi tanıtan diğer faktörler ise lifin geometrisi, yapısı ve çekme gerilmesidir (Ünal vd. 2007; Kozak 2013). Bir malzemenin lif olarak tanımlanması bazı şartlara bağlıdır. Narinlik oranı 10’dan büyük olmalı ( $l/d > 10$ ), lifin en büyük genişliği 0.25 mm’den ve en büyük kesit alanı da  $0.05 \text{ mm}^2$ ’den daha küçük olmalıdır (Güngör 2013).

### **Lif çeşitleri**

Liflerin uygulama ve karakteristik açıdan birçok türü vardır. Lifler, doğal ve sentetik olarak sınıflara ayrılır. Doğal lifler; hayvansal, bitkisel ve mineral liflerdir. Sentetik lifler de polimerik, metalik ve seramik lif şeklinde sınıflandırılır (Aral 2006).

Betonu mekanik yönden iyileştirmek için lif ilavesi yapılır. Lif olarak bilinen en eski doğal lifler; saman ve at yelesidir. Geçmişte yapıların maruz kaldıkları etkenlere karşı yapıyı güçlendirme adına bu lifler kullanılmıştır (Güngör 2013). Ülkemizde lif örneklerine ilk olarak Troia Kazılarında rastlanmış olup ve MÖ 2500 yıllarına dayanmaktadır. O coğrafyada yaşamış insanlar duvar harçlarında saman ve keçi kılını katarak ilk mikro donatı teknolojisinin uygulamasını yapmıştır (Ekincioglu 2003). Mazisi en eski olan lif takviye uygulaması kerpiç duvarlardaki sıvada kullanılan saman takviyeli kildir. Bu uygulama günümüzden yaklaşık 4500 yıl öncesine dayanmaktadır. Eski uygulamalarda kil hamuruna bitkisel lif olarak saman, keten ve kenevir lifleri takviye edilerek kullanılmış. Hayvansal lif olarak da atkuyruğu, keçi kılı, kuş tüyü gibi lifler kullanılmıştır (İpek 2007).

Son zamanlarda ise sentetik lif diye adlandırılan lifler tercih edilmektedir. Polimer ve metalik lifler karşımıza en çok çıkan sentetik lif türleridir. Metalik lifler, başta mühendislik uygulamaları olmak üzere birçok sektörde kullanılmaktadır (Kurt 2006). Lif çeşitleri fazla olup aşağıda bu çalışmada kullanılmış olan çelik lifler ile ilgili bilgiler verilmekle yetinilmiştir.

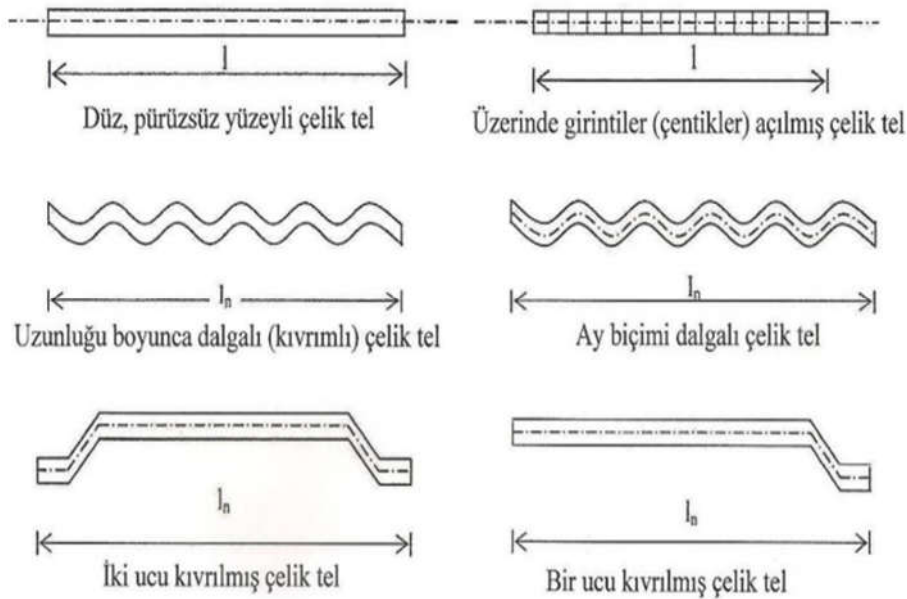
### **Çelik lif**

Beton yapısı gereği gevrek bir malzeme olup bu yönünün geliştirilmesi gereklidir (Neville 2011; Mehta and Monteiro 2001). Betonun bu zayıf yönünü çelik lif takviyesi geliştirmektedir. Çelik lifli beton, geleneksel betonda kullanılan malzemelere ek olarak çelik lif ilavesiyle elde edilen beton çeşididir. Çelik lif donatılı betonlar, 1960 yıllarında iyileştirilmeye başlanmış ve günümüzde halen bu tarz çalışmalar devam etmektedir. Günümüzde popülerliğini kaybetmemiş önemli bir lif türüdür (Yıldırım 2002).

Betonda kullanılabilecek çelik lifler ile ilgili iki farklı Türk standardı bulunmaktadır: TS EN 14889-1 (Lifler - Betonda kullanım için - Bölüm 1: Çelik lifler - Tarifler, özellikler ve uygunluk) (Anonim 2006) ve TS 10514 (Lif takviyeli betonun karışım oranları ve imalatı için

kurallar) (Anonim 2015a)'dir. Görüldüğü gibi ilk standart çelik liflerle ilgili düzenlemeleri içerirken ikincisi lifli betonlarla ilgilidir. TS EN 14889-1'de çelik lif "beton veya harç içine homojen olarak karıştırılmaya uygun, soğuk çekilmiş çelik tellerin düz veya deforme parçaları, düz veya deforme kesilmiş sac lifleri, eritilerek çekilmiş lifler, traşlanmış soğuk çekilmiş tel lifleri ve çelik bloklardan çekilmiş lifler" olarak tarif edilmektedir. Numarası verilen standartta bu tarif içinde geçen liflerin elde edilme yöntemleri I-V arasında değişik şekilde gruplara ayrılmıştır. Bu standartta liflerin şekilleri ile ilgili görsel bilgi verilmemekte ve "lifler ya düz ya da deforme olacaktır. Üretici, elyafın şeklini beyan etmelidir. Şekil üzerindeki kontrol ve toleranslar, her farklı şekil için ayrı ayrı belirtilecek ve optik ekipman kullanılarak gerçekleştirilebilecektir. Çelik lifler bir kaplama ile tedarik edildiğinde (örneğin çinko kaplama), g/m<sup>2</sup> cinsinden tip ve karakteristik miktar beyan edilmelidir. Miktarın kontrolü, kaplama tipinin bir fonksiyonu olmalı ve imalatçı tarafından beyan edilmelidir." denilmektedir. Bu çalışmada kolay anlaşılması bakımından yürürlükten kalkmış olsa da Kozak (2013)'den hareketle TS 10513 (Anonim 1992)'de belirtilen şekiller verilmiştir. Buna göre betonda kullanılacak, çelik lifler şekillerine göre üç sınıfa ayrılmıştır. Bunlar;

- i- düz, pürüzsüz yüzeyli teller,
- ii- bütün uzunluğunca deforme olmuş teller (üzerinde girintiler (çentikler) açılmış teller, uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) teller ve ay biçimi dalgalı teller) ve
- iii- sonu kancalı teller (İki ucu kıvrılmış teller ve bir ucu kıvrılmış teller) şeklinde sınıflandırılır (Şekil 16).



**Şekil 16.** Çelik liflerin şekilleri (Kozak 2013)

### ***Çelik lifin avantajları***

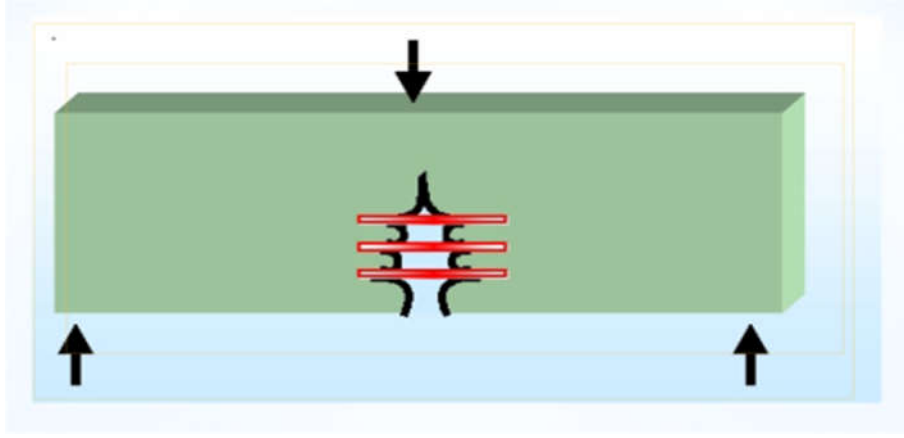
Çelik liflerin betonda kullanılmasıyla; taşıma kapasitesi yüksek betonlar, düzgün beton yüzeyleri elde edilir, çatlakların kontrolü sağlanır, donatı işçiliğine fazla gerek kalınmaz (Taşdemir vd. 2004) ve beton gibi çimento bileşenli kompozitlerin yarı gevrek davranışının sünek davranışa doğru geliştirilmesi gibi imkanlara erişilir (Yardımcı 2007).

Çelik lif takviyeli betonlarda enerji yutma kapasitesi, dolayısıyla, süneklik özellikleri iyileştirilmektedir. Çatlak ilerlemesi çelik lifli betonlarda ciddi oranda azalır. Uygun bir karışım dizaynı yapılmış çelik lifli betonlarda; ilk çatlağın oluşumundan sonra matriste bulunan rastgele dağılmış olan kısa çelik lifler köprü etkisi yaparak çatlağın ilerlemesini engeller. Çelik liflerin matristen sıyrılıp çıkması fazla enerji gerektirdiğinden bu durum betonun tokluğunu da olumlu yönde etkiler (Yalçın vd., 2007). Çelik lif takviyeli betonların performansını etkileyen en önemli etkenler; lif tipi, geometrisi, kullanım oranı (hacimce), boy/çap oranı, betondaki dağılımı ve yönelimi olarak bilinmektedir (Zeynal 2008).

Lifli betonlarda lif ve agregalar arasında bir toklaşma mekanizması vardır. Lif takviyeli betonlarda lifler ve agregalar çatlak köprüsü oluşturur. Çatlak genişlemek istedikçe liflerin çatlak köprüsü baskın hale gelir. Bu şekilde betonda oluşacak gerilmeler, lifler üzerinden geçeceğinden lifler köprü olarak kullanılır. Çatlak açılmasıyla lifler matrinden sıyrılır ve bir miktar enerji sönümlenir. Ucu kancalı olan liflerde enerji sönümlenmesi daha çok olur. Çelik lifli betonların basınç dayanımlarında ciddi bir artış söz konusu olmayıp daha çok sünekliği artmıştır.

Çelik lifli betonların basınca çalıştığı durumlarda göçmenin aniden ve patlama şeklindeki olmasının önüne geçmede ve dinamik yükler altında da enerjinin sönümlenmesinde rol aldığından, betonda çelik lif kullanımı önemlidir. Çelik lif takviyeli betonlarda çekme dayanıklılığı basınç dayanıklılığına göre önemli derecede iyi sonuçlar verir. Çelik lifli betonlar dayanımda olduğu gibi enerji yutma kapasitesinde de olumlu sonuçlar vermektedir. Çelik liflerde miktar ve boy/çap oranına artmasına bağlı olarak betonun eğilme dayanımında, kırılma enerjisinde ve tokluğunda artış gözlemlenmektedir. Yapılan araştırmalarda çelik lif takviyeli betonun sünekliği yalın betona kıyaslandığında yaklaşık 50 katı daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir (Yardımcı 2007).

Kullanılan liflerle, betonda oluşan çatlakların büyük açıklıklara dönüşmesi önlenmektedir. Betonda meydana gelen gerilme kuvvetleri düzensizdir. Lifler, köprü gibi davranarak gerilmeleri çatlak olmayan bölgelere aktarırlar (Şekil 17). Böylece matriste gerilmeler sonucu oluşabilecek çok sayıda kılcal çatlak önlenmiş olur (Oltulu 2020).



**Şekil 17.** Beton içerisine katılan liflerin gerilme anındaki köprü gibi davranışı (Oltulu 2020)

### ***Çelik lifli betonların kullanım alanları***

Çelik lif takviyeli betonlar sünek davranış olarak iyi bir performans sergilemektedir. Çelik lif takviyeli betonlar çarpma etkilerine, titreşimli yüklerin etkisine ve dinamik yük etkisine karşı iyi performans sergilemesinden dolayı farklı alanlarda tercih edilmektedir (Kozak 2010). Çelik lifli betonlar aşağıda verilen çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bunlar; depreme dayanıklı yapılar, döşemeler, taşıyıcı elemanların birleşim bölgeleri, sıcaklık farkının olduğu yapılar, hidrolik yapılar, betonarme borular ve altyapı malzemeleri, havaalanı yüzey kaplamaları, liman yüzeyi kaplamaları, püskürtme betonlar (shotcrete), ince kabuk yapı elemanları, endüstri yapıları, şev stabilizeleri, yüksek dayanıklı betonlar ve patlama riskinin olduğu alanlardaki güvenlik bariyerleri vb. yerlerdir (Kozak 2013). Şekil 18’de çelik liflerin farklı alanlarda kullanıma dair bazı örnekler verilmiştir.



**Şekil 18.** Çelik lifin farklı alanlarda kullanım örnekleri (Kozak 2013).

## Kaynak Özetleri

Polimer betonlar, atık lastik ve atık çelik lifi üzerine yapılmış çalışmalardan tez konusu ile ilişkili olanların özetleri aşağıda verilmiştir. Özete polimer betonlarla başlanılmıştır.

Akın (2017)'de bildirildiğine göre Ohama (1973) en büyük agrega tane boyutu 19 mm olan iki farklı iri agrega ve beş farklı ince agrega, %20 ve %25 oranında doymamış polyester ve kırmataş tozu (filler) karışımıyla polimer beton üretmiştir. Çalışmada polimer betona iki farklı sıcaklıkta (20°C, 50/70°C) kür uygulanmıştır. Yüksek sıcaklıkta kürlenene polimer betonlarda beş saatte 140 MPa, normal sıcaklıkta kürlenene betonlarda ise 7 günde 105 MPa'lık basınç dayanımı elde edilmiştir.

Vipulanondan and Paul (1993) yaptığı çalışmada farklı kür koşullarında üretilmiş polimer betonun sıcaklık ve şekil değiştirme hızı altındaki değişimi ile polyester polimerin basınç ve çekme özelliklerini incelemiştir. Kür sıcaklığı ve şekil değiştirme oda sıcaklığından başlayarak 80°C'ye kadar artırılmış, şekil değiştirme hızı ise %0.01'den %60'a kadar arttırılmıştır. Bununla beraber polimer beton ve polyester polimerin dayanımı, kırılma şekil değiştirmesi, gerilme şekil değiştirmesi; kür yönteminden, test sıcaklığından ve değişen sıcaklıklarda şekil değiştirme hızından etkilenmiştir. %15 reçine oranı en ideal oran olarak belirlenmiştir.

Ateş (1994) yaptığı çalışmada polimer malzemesi olarak epoksi reçinesi, sertleştirici ve hızlandırıcı kullanmıştır. Dolgu malzemesi olarak 0-1, 1-3, 3-5, 5-8, 8-12 mm elek çaplarında kuvars agregası eklemiştir. Polimer/dolgu oranı %14,3-85,7, %18-82, %22-78 olan polimer betonlar üretmiş olup, üretilen betonun basınç ve eğilme dayanımı ile statik ve dinamik yükler altındaki mekanik özellikleri incelenmiştir. Deneyler sonucunda farklı oranlar karşılaştırılarak incelenmiş olup, en yüksek basınç dayanımının polyesterin %14,3 oranında, en yüksek eğilme dayanımının ise polyester oranının %22 olduğu karşında elde etmiştir. Sonuç olarak yüksek yorulma dayanımı istenilen yerlerde bu oranlardaki polimer betonun yetersiz olacağını belirtmekle birlikte farklı betonların tercih edilebileceği gibi polimer oranı artırılarak istenilen özellikte betonların da üretilebileceği rapor edilmiştir.

Rebeiz (1996) yaptığı çalışmada PET plastik atığını esas alan doymamış polyester reçinenin kullanıldığı donatılı ve donatısız polimer betonun davranışı ve dayanım özelliklerini araştırmıştır. PET plastik atığına dayanan reçinelerin ulaşım, makine ve inşaat elemanları gibi öndökümlü uygulamalar için iyi kaliteye sahip polimer betonların üretilmesinde kullanılabileceği görülmüştür. Karışım sonucunda oluşturulan polimer beton, %80 oranından fazla nihai dayanımını yaklaşık 1 günde kazanmıştır. Sıcaklığın artmasıyla betonda dikkate değer dayanım kaybı oluşmuştur. Fakat bu kayıpta bile normal Portland çimentolu betonla

kıyaslandığında, polimer betonun eğilme ve basınç dayanımının çok yüksek olduğu gözlemlenmiştir. PET atığının polimer betonda kullanılmasıyla birlikte malzeme maliyetinin azaltılması, bazı katı atık problemlerinin çözümü ve enerji tasarrufu gibi alanlarda fayda sağlayacağı belirtilmiştir.

Orak ve Karademir (1997) ise takım tezgahı olarak kullanılan polimer betonun sönümleme yeteneği üzerinde araştırma yapmıştır. Bu bağlamda polimer oranı sabit tutularak dolgu malzemesi (kuvars) farklı oranlarda seçilmiştir. Polimer beton ve dökme demir numunelerin sönümleme deneyleri yapılmıştır. Serbest titreşim metoduyla kritik sönüm yüzdeleri hesaplanmıştır. Dökme demir ile kıyaslandığında polimer betonun sönümleme yeteneğinin 4-7 kat daha yüksek olduğu sonucuna varmıştır.

Özden (2010)'in bildirdiğine göre ise Bal (1998) polimerlerin çimento ile birlikte bağlayıcı olarak kullanıldığı harçların mekanik ve fiziksel özelliklerindeki değişimi incelemiştir. Bu kapsamda polimer malzeme ile Portland çimentosu (PÇ 42.5) ile yapılan harç numunelerinde %0-2-5-10-15 oranlarında katkı olarak kullanılmış ve bu numuneler üzerinde kıvam deneyi, çekme deneyi, aşınma deneyi, su emme miktarı, basınç dayanım deneyi, eğilmede çekme deneyi ve donma-çözülme deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonunda katkı maddesi miktarı arttığında basınç dayanımlarında azalma olduğu tespit edilmiş ve %2 lik karışım oranında en iyi sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır.

Demircan Sağlıyan (1999) prepakt betonları çimento ve polimer bağlayıcılı olarak iki farklı türde incelemiştir. Hazırlanan numunelerin mekanik özelliklerini basınç, çekme, aşınma dayanımları ile fiziksel özelliklerini ise su emme ve donma-çözülme deneyleri incelemiştir. Deneysel sonuçlara göre polimer bağlayıcılı prepakt betonların çimento bağlayıcılı prepakt betonlara göre daha iyi bir performans sergilediğini gözlemlemiştir. Ancak ekonomik yönden polimer bağlayıcılı prepakt betonların maliyet artışına neden olduğunu da belirtmiştir.

Başçavuşoğlu (2001) yaptığı çalışmada yapıların maruz kaldığı korozyonlara karşı hızlandırılmış korozyon deneyi ile polimer katkılı betonların hasar görme süreçlerini incelemiştir. Deneysel çalışmada kopolimer dispersiyon ve lateks olmak üzere iki farklı polimer kullanılarak üretilen betonda katkı kullanılmadan üretilen beton ile farklılıkları araştırmıştır. İki kez hızlandırılmış korozyon uygulanmasından sonra lateks katkılı betonların katkı kullanılmadan üretilen betonlara göre çok daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir.

Arıkan (2002) yaptığı çalışmada farklı oranlarda %1,5-3-4.5 çelik lif takviyeli polyester reçineli polimer kompozitlerin kırılma özelliklerini araştırmıştır. Lif oranına bağlı olarak mekanik özelliklerin arttığı belirlenmiş, %4,5 takviyeli lifli betonda, takviyesize göre eğilme dayanımının %57, elastisite modülünün %53, kırılma tokluluğunun %64 oranında artış

göstermiştir. Kritik gerilme şiddet faktörünün de en iyi sonucu %4,5 oranındaki takviyeli polimer kompozitte verdiği sonucu ortaya çıkarmıştır. Çelik lif takviyeli polimer kompozitin yüksek dayanım, yüksek tokluk ve yüksek rijitlik istenen yerlerde kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

Gorninski *et al.* (2004) ise isoftalik ve ortoftalik olan iki tür bağlayıcı madde kullanarak polimer beton bileşikler üretilmiş ve polimer betonun elastisite modülünü incelemiştir. Ortoftalik polyesterler, normalde PC üretiminde kullanılan isoftalik polyestersden çok daha düşük bir maliyete sahiptir. Maliyeti düşük polimer betonu tanımlayabilmek için önceki çalışmalardan bileşenler seçmiştir. Bu veriler ışığında, kuru malzemelerin ağırlıkça %13'ü oranında isoftalik polyester, %12 oranında da ortoftalik polyester kullanmıştır. Dolgu malzemesi olarak uçucu külü agrega ağırlığının %8, %12, %16 ve %20 oranlarında karışımda kullanmıştır. Sonuç olarak tüm bileşiklerde yüksek elastisite modülü değeri elde etmiş ve en yüksek değerin 29 GPa olduğunu tespit etmiştir. İstatistiksel analizler, bileşiklerin elastisite modülü üzerine reçine tipi ve uçucu kül konsantrasyonunun önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

San-Jose *et al.* (2005) ise çelik ve fiber takviyeli çubuklarla güçlendirilmiş polyester polimer betonun yapısı ve davranışını incelemiş ve normal çimento betonu ile karşılaştırmıştır. Elde edilen betonun mekanik performansı (basınç-eğilme dayanımı, şekil değiştirme) üzerinde araştırma yapmıştır. Ayrıca polyester polimer betonun statik ve dinamik davranışını da ele almıştır. Hem monoton hem de devirli yüklemeye maruz bırakıldığı zaman polyester polimer beton matrise gömülü olan metalik ve metalik olmayan çubukların davranışını analiz etmiştir. Sonuç olarak polyester polimer betonun normal betona göre basınç ve eğilme dayanım değerleri bakımından daha iyi performans gösterdiğini tespit etmiştir.

Chen *et al.* (2006) yaptığı çalışmada polimer emdirilmiş betonun fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine polimerizasyon sıcaklığının ve emdirme süresinin etkisini araştırmıştır. Emdirme süresini 4, 8, 12, 16, 20 ve 24 saatte kontrol etmiş, polimerizasyon sıcaklığını sırasıyla 0,5, 1, 2, 4, 6, 12 ve 24 saat emdirme süreci için 70, 80 ve 90 °C olarak belirlemiştir. Su/çimento oranı 0,45 ve 0,65 olan silindirik beton numunelerine MMA (metil metakrilat) ve BPO (benzoil peroksit) karışımları emdirilmiştir. 12 saate kadar batırma-daldırma süresi olarak polimer yüklemesi artmıştır. Basınç dayanımı ve yüzey emilimine dayanan optimum polimerizasyon sıcaklığı Mix A (yüksek çimento içerikli) için 70 °C ve Mix B (düşük çimento içerikli) için 80 °C olmuştur. Polimer emdirme, sadece beton dayanımı ve özgül direncini artırmamış aynı zamanda büyük oranda normal betonla kıyaslandığında yüzey emilimini de azaldığını gözlemlemiştir. SEM ve MIP gözlemleri polimer emdirilmiş beton numunelerinin mikro ve

mezo boşluklarını MMA ile doldurmuş ve tüm boşluk hacmi ve maksimum boşluk çapını ciddi oranda azalttığını göstermiştir.

Yıldırım (2007) yaptığı çalışmada öğütülmüş fındık kabuğunun %5-10-15-20 oranlarında polipropilen esaslı matrisle ikame ederek malzemenin kullanılabilirliğini araştırmıştır. Kullanılan öğütülmüş fındık kabuğu oranının artması ile elastisite modülü, sertliği, yoğunluğu, yük altında erime sıcaklığının arttığı gözlemlenmiştir. Bunların yanında çentikli ve çentiksiz darbe dayanımı, çekme dayanımı, kopma dayanımı ile kopma uzaması, eriyik akış indisi değerlerinin düştüğü belirlenmiştir.

Sağlıyan ve Yıldırım (2010) çimento ve polimer bağlayıcı olarak üretilen iki farklı betonun basınç ve çekme dayanımları, aşınma, su emme ve donma dayanıklılık özelliklerini incelemiştir. Polimer bağlayıcı olarak epoksi reçinesi ve dolgu malzemesi olarak agrega kullanılarak üretilen numuneler üzerinde mekanik ve fiziksel deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda polimer katkılı betonun, çimento katkılı betona göre basınç dayanımının 3 kat daha iyi olduğu, donma dayanımının ve su emmenin de çok daha iyi olduğu gözlemlenmiş fakat aşınma dayanımının düşük olduğunu belirlemiştir. Sonuç olarak polimer katkılı betonun yüksek dayanım istenilen yerlerde kullanılabilirliği ortaya çıkmıştır.

Özden (2010) polimer betonun donma-çözünme hasarını incelemiştir. Bu kapsamda reçine/dolgu oranını %10-90, %15-85, %20-80 numuneleri hazırlamış ve bu numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarını ölçmüştür. Ayrıca donma sıcaklığını -10, -20, -30°C, çözülme sıcaklığı ise +5°C alarak, 30 çevrim sonundaki ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Bu kapsamda reçine/dolgu oranının artması ile basınç dayanımları ve donma-çözülme dayanıklılığında artış gözlemlenmiştir.

Pişkin (2010) yaptığı çalışmada polimer betonda dolgu malzemesinin (kuvars tozu) yerine belirli oranlarda cam tozu ikame ederek polimer betonun işlenebilirliği ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Dört farklı oranlardaki polyester reçinesine kuvars agregası katılarak çökme deneyleri yapıldıktan sonra, 4x4x16 cm ebatlarında prizmatik numuneler üretmiştir. Üretilen numunelere dökümden hemen sonra 1 saat boyunca 80°C sıcaklıkta kür uygulamıştır ve 20 gün oda sıcaklığında muhafaza etmiştir. Örneklerin çökme, basınç ve eğilme dayanımlarını tespit edilip optimum şartları sağlayan karışım oranları belirlenip kullanılacak polyester reçine miktarı sabitlenerek, kuvars tozunun bir kısmının yerine cam tozu ikame etmiştir. Beş farklı oranda (%10-%20-%30-%40-%47) cam tozu karıştırarak üretilen numunelere taze halde iken çökme, sertleştikten sonra eğilme ve basınç deneyleri yapmıştır. Çökme deneyleri sonuçları incelendiğinde; karışımdaki bağlayıcı malzeme olarak kullanılan reçine miktarının %13 artışı sonucunda deney numunelerinin çökme değerlerinde %20'lik bir

artış gözlemlenmiştir. Ancak karışımda kullanılan reçine miktarının %20 oranında arttırılmasına rağmen numunelerdeki çökme değeri artışının %20’de kaldığını tespit etmiştir. Reçine miktarının %13 artması ile numunelerin eğilme dayanımlarında %1,4 oranında bir artış olmuştur. Basınç dayanımları sonuçları incelendiğinde ise deney numuneleri arasındaki %20’lik reçine artışı sonucunda karışımların basınç dayanımlarındaki artış %6,7 olmuştur. Karışımdaki cam tozu oranının %30 seviyesinde tutulması ile en ideal oranı yakalamıştır. Karışıma cam tozu ikamesi sonucu polimer betonun dayanımında bir artış sağlanarak atık bir malzeme faydalı bir şekilde değerlendirmiştir.

Ateş ve Aztekin (2011) cam lif takviyeli polimer kompozitlerin yoğunluk ve basınç dayanımlarını incelemiştir. Cam lif, polimer içine hacimsel olarak %22 -33 -44 -55 -66 -77 -88 oranlarında ikame edilerek numuneler üretmiştir. Deneysel çalışmaların ardından en iyi sonucu %55 cam lif ikameli kompozitin 45 MPa’lık basınç dayanımı ve 1.142 gr/cm<sup>3</sup>’lük yoğunluk değerleri ile verdiğini belirtmiştir.

Haidar *et al.* (2011) tarafından yapılan çalışmada minimum boşluk içeriği, yüksek Young modülü ve mükemmel dayanım özelliklerine sahip bir yapı malzemesi üretmek için mikro polimer beton (MPC) formülasyonlarının optimizasyonunu araştırmıştır. Mikropolimer betonları tasarlamak için kaba ve ince kumun gradasyon karışımı ile güçlendirilmiş bir epoksi reçine, kür süresinin ve bağlayıcı madde içeriğinin etkileri oda sıcaklığında gerçekleştirilen çekme, basınç, eğilme ve ultrasonik dalga hızı metodu testlerine tabi tutmuştur. Farklı MPC formülasyonlarının gözenekliliği ve boşluk boyutunun dağılımı, civa intrüzyon gözenek ölçer (MIP) kullanılarak kürlenme süresinin bir fonksiyonu olarak araştırılmıştır. Sonuçlar, bağlayıcı içeriğinin artmasıyla toplam gözenek hacminin ve maksimum gözenek boyutunun önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. En yüksek dayanımın 3 günlük kürden sonra %13 oranındaki reçine numunesine ait olduğunu, çekme dayanımı değerinin ise 7 günlük kür edilen numunelerden elde edildiği rapor edilmiştir. MPC'nin tüm mekanik özellikleri, ortam sıcaklıklarında 3 gün kürlendikten sonra stabilize olmuştur. %9 polimer içeriği ile tasarlanan mikropolimerbeton, dayanım, rijitlik, daha düşük boşluk içeriği (dolayısıyla en iyi dayanıklılık) gibi en yüksek fiziksel ve mekanik özellikler gösterdiği belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar, MPC'nin mekanik davranışının zamana bağlı olduğunu göstermiştir.

Reis (2011) yaptığı çalışmada erken yaşlarda bağlayıcı olarak doymamış polyester reçine ile ürettiği polimer betonun kırılma mekanizmasını incelemiştir. Polimer beton yaş aldıkça kırılma parametreleri (tokluk ve enerji) azalmış ve gevrek davranışı artmıştır.

Topsakal (2013) mineral dolgu malzemesi veya liflerin polimer beton üstündeki etkisini araştırmıştır. Reçine olarak polyester ve vinilester, faz (dolgu) malzemesi olarak ise standart

CEN kumu ve üç farklı lif (polipropilen, cam, karbon-çelik lif) kullanılmıştır. Polyester ve vinilester oranı sırasıyla %60 ve %30, lif kullanım oranı ise %4,4 ve %9 seçilip numuneler üretilmiştir. Bu numunelerin reaksiyon sıcaklığı, yüksek sıcaklık etkisi ve 28, 56 ve 90 günlük durabilite özellikleri araştırılmıştır. Polimer betonun mekanik ve fiziksel özelliklerinde faz malzemesinin türü kadar matris/faz malzemesi oranının da etkili olduğu, durabilite özelliklerinde maruz kaldığı etki ve süreden daha fazla oranda reçine türünün ve kimyasal yapısının etkili olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

Yonar *et al.* (2013) agrega tane çapı 8 mm olan agregalar ile ürettiği numuneleri yüksek sıcaklığa maruz bırakıp polimer ile güçlendirdikten sonra betonun basınç dayanımı ve ultrasonik ses hızı üzerinde deneysel parametrelerin önemini istatistiksel olarak araştırmıştır. Numuneler 28 günlük standart su küründe bekletildikten sonra 200, 300, 400, 600 ve 800°C sıcaklığa maruz bırakılıp 24 saat polimer emdirilmiştir. Bu işlem sonunda 200°C sıcaklık sonrası polimer emdirilen serinin en yüksek basınç dayanım değeri verdiği anlaşılmıştır. Kontrol numunelerine göre %31 oranında artış görülmüştür. Ultra ses hızı deneylerinde ise yine 200°C sıcaklık sonrası polimer emdirilmiş beton serisinde en iyi sonuç verdiği gözlemlenmekle birlikte, kontrol numunesine göre %18 artış gözlemlenmiştir.

Öztürk (2013) polimerlerle modifiye edilmiş hafif beton üretiminde agrega olarak pomza kullanmıştır. 400 ve 500 kg/m<sup>3</sup> olacak şekilde iki farklı dozajda toplam 12 numune üretmiştir. Su/çimento oranını 0,35 olarak belirlemiş, bazı karışımlarında uçucu kül kullanmıştır. Her grupta %0-5-10 oranında styrene-budatiene lateks kullanmıştır. Deney sonucunda styrene-budatiene lateks kullanımı hafif betonun basınç ve eğilme dayanımlarını etkilemezken; aşınma, kılcallık ve su emme özelliklerini etkilediğini gözlemlemiştir.

Aktaş (2014) yaptığı çalışmada bağlayıcı olarak Portland ve alüminatlı çimento, dolgu olarak  $d_{\max} = 0.2$  mm olan kalsit agregası ile  $d_{\max} = 2$  mm olan standart kum, akışkanlaştırıcı, köpük kesici, kıvam arttırıcı ve çinko sterat kullanarak ürettiği numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Polimer olarak ise üç farklı toz, akrilik, sıvı polimer olmak üzere üç farklı polimer kullanmıştır. Sonuç olarak mekanik özellik açısından %2,5 oranında polimer katkı kullanımı, fiziksel özellik açısından ise %5 polimer kullanımı ideal olarak belirlenmiştir. Agrega olarak kalsit yerine standart kum kullanımı olumlu etki yapsa da bazı serilerde olumsuz etkilerinin olduğunu belirlemiştir.

Kaya (2014) tarafından yapılan çalışmada ise farklı koşullarda kür edilen polimer ile iyileştirilmiş harçların mekanik ve fiziksel özellikleri araştırılarak en ideal kür şartları belirlenmiştir. Üç farklı polimer (MAD (Modifiyeli Akrilik Dispersiyon), PÜ (Poliüretan) ve SBR (Stiren Butadiyen Kauçuk)) ve beş farklı (%0-%5-%10-%15-%20) oranda katılarak

numuneler üretmiştir. Bu numunelere üç farklı kür uygulanmış betonunların mekanik özelliklerindeki değişimi incelemiştir. Ayrıca numuneler dört farklı sıcaklığa (21-100-200-250°C) tabii tutmuştur. Sonuçlar olarak polimerin su emme ve su işleme derinliğini düşürdüğü, polimer katkılı matrislerin su ile temasının artmasının mekanik özellikleri üzerinde olumsuz etki oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda en ideal kürün günde iki kez dışarıda sulama olduğunu tespit etmiştir. Kullanılan polimer olarak MAD ve SBR'nin özellikleri iyileştirdiği, PÜ'nün ise olumsuz sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. En yüksek sıcaklık olan 250°C altında en iyi performansı SBR polimeri vermiş ve mekanik özellikleri iyileştirdiğini gözlemlemiştir. 250°C sıcaklığa maruz kalması sonucunda katkısız numunelerle kıyaslandığında %15 SBR katkılı harçların, eğilme dayanımı %42, sehimi %15, basınç dayanımı %21 daha yüksek çıkmıştır.

Sevin (2014) farklı koşullarda kür edilen polimer ile iyileştirilmiş matrislerin mekanik ve fiziksel özelliklerini inceleyerek en uygun kür ortamını belirlemiştir. Bu kapsamda üç farklı (SBR, PSBR ve SAC) polimer belirlenmiş ve çimento harçlarına %0-5-10-15-20 oranlarında katarak numuneler üretmiştir. Bu numunelere üç farklı kür uygulamıştır. Birinci grup dışarıda sulama, ikinci grup 16 saat suda 8 saat dışarıda, üçüncü grup ise bir gün suda bir gün dışarıda olmak üzere kür edilmiştir. Bu kür işlemi 28 gün boyunca devam etmekle birlikte örnekler üç farklı (0-10-200) donma-çözülme döngüsüne tabi tutulmuştur. Sonuç olarak en iyi kür koşulunun birinci grup kür koşulu olduğunu belirlemiştir. SBR ve PSBR'nin şartları iyileştirdiği, SAC polimerin ise olumsuz etkileri gözlemlemiştir. 200 donma çözülme döngüsü sonucunda polimer katkılı örneklerin mekanik özellikleri kontrol numunelerine göre iyi sonuç vermiştir.

Gökçegöz (2015) bağlayıcı olarak iki farklı çimento (CEM IV/B(P) 32,5 ve CEM I 42,5 R) ve akrilik asit esteri ile modifiye polikarboksilat esaslı iki farklı polimer kullanmıştır. Bu bağlamda üretilen numuneler üzerinde taze betonda birim hacim ağırlık ve yayılma deneyi ile sertleşmiş betonda basınç dayanımlarını araştırmıştır. Akrilik asit esterinin işlenebilme ve basınç dayanımı özelliklerini iyileştirmediği, modifiye polikarboksilat esaslı polimerin ise işlenebilme ve basınç dayanımını artırdığını gözlemlemiştir. CEM I 42,5 R çimentosunun işlenebilme ve basınç dayanım değerlerini arttırıcı etkisi olduğunu gözlemlemiştir.

Topsakal ve Özel (2015) lif oranının polimer beton üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada polipropilen, cam, çelik ve karbon lif kullanılarak oranlarını ise %0-3-6-9-12 oranında belirlemişlerdir. Üretilen numuneler üzerinde ultra ses geçiş hızı, reaksiyon sıcaklığı, Schmidt çekici, yüzey sertliği, eğilme ve basınç dayanımı deneylerini uygulamışlardır. Eğilme mukavemetinin artması, çatlakların önlenmesi açısından lif kullanımının gerekliliği

vurgulanmıştır. Polimer betonda lif kullanımı önem arz etmekle beraber bu oranın maksimum %6 olası gerektiğini belirtmişlerdir.

Özel vd (2015) yaptıkları çalışmada polimer betonun farklı karışım bileşenlerine göre ısı iletim katsayılarının değişimini incelemişlerdir. Bağlayıcı olarak polyester ve vinilester, dolgu olarak kum ve polipropilen kullanarak numuneler üretmişlerdir. Numuneler için 5 farklı (-10, 10, 20, 30, 50°C) plaka sıcaklığı belirlemişlerdir. Sonuç olarak polimer betonun ısı iletim katsayısının geleneksel betona göre 5-6 kat daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir.

Bayram (2015) yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan polimer betonların yapılarında bazı değişikliklerin meydana geldiğini tespit etmiştir. Bu kapsamda iki farklı polimer (polyester ve vinilester) iki farklı faz malzemesi (CEN Standart kum ve polipropilen lif) farklı oranlarda kullanılarak üretilen numuneleri ele almıştır. Polyester reçineli betonda %30 ve %60 mineral ile %4,5 ve %9 lif; vinilester reçineli betonda ise %15 ve %30 mineral ile %4,5 ve %9 lif kullanmıştır. Üretilen numuneleri 1, 3, 5 saat süreleri ile -25, 25, 75, 175, 275 ve 375°C farklı sıcaklıklardaki fırında bırakmıştır. Bu işlemlerin sonunda basınç ve eğilme dayanımı, ultra ses geçiş hızı, ısı iletimi, birim hacim ağırlık deneylerini yapmış ve polimer betonun termomekanik özelliklerinde faz malzemesinin türü, matris/faz oranının etkisi yanı sıra uygulanan sıcaklık ve sürenin de etkili olduğunu belirlemiştir.

Barbuta *et al.* (2016) farklı tipte atık (kil tozu, kalkerli toz, mermer tozu, uçucu kül) kullanarak polimer beton elde etmiş elektronik görüntüleme yoluyla da mikroyapısal analiz yapmıştır. Aynı zamanda basınç, eğilme, yarmada çekme gibi mekanik özellikleri de incelemişlerdir. Sonuç olarak kalkerli atık ve uçucu külün polimer betonun mekanik özelliklerini iyileştirdiğini, kil içeren atık katkılı karışımının ise mekanik özelliklerini düşürdüğünü gözlemlemişlerdir.

Bulut (2016) yaptığı tez çalışmasında elektronik atıkların, polimer betonda kullanılmasıyla elde ettiği betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemiştir. Reçine/dolgu oranını %10-90, %15-85 ve %20-80 olarak belirleyerek e-plastik oranını da %0-5-15-25 olacak şekilde ilave etmiştir. Elde ettiği numuneler üzerinde 28 günlük eksenel basınç, eğilmede çekme, yarmada çekme deneyi yapmış ve sonuç olarak e-plastik oranı arttıkça basınç, eğilmede çekme, yarmada çekme dayanımları azalmış; öte yandan süneklik artmıştır. En ideal oranı ise reçine oranı %15 e-plastik oranını da %5 ve %15 olduğunu gözlemlemiştir.

Salazar *et al.* (2020) tarafından yapılan çalışma ultra yüksek performanslı betonun sünekliğini, polilaktik asit (PLA) veya akrilitril bütadien stirenden (ABS) yapılmış 3D baskılı polimerik kafeslerle güçlendirerek artırmak için yeni bir yöntem sunmaktadır. Kafes şeklindeki betonarme numunelerde basınç ve dört noktalı eğilme testi yapılmıştır. Polimerik takviye

oranlarının mekanik özellikler üzerindeki etkisi ise iki kafes konfigürasyonu ile test edilerek araştırılmıştır. ABS takviye oranının %19,2'den %33,7'ye yükseltilmesi ile ortalama basınç dayanımında %22 azalma görülmüştür. Bununla birlikte, PLA takviye oranının %19,2'den %33,7'ye yükseltilmesi ile eğilme dayanımında %38'lik bir artış gözlemlenmiştir.

Zegardlo *et al.*(2018) bu çalışmada eskimiş aydınlatma malzemelerinden elde edilen cam atıkların polimer beton için bir agrega olarak kullanılması olasılığını sunmuştur. Cam aydınlatma elemanları, ezilmeye maruz bırakıldıktan sonra cam atık olarak firmadan elde edilmiştir. Cam atıkların geleneksel kum-çakıl agregası ile çeşitli oranlarda birleştirilerek çeşitli karışım türleri hazırlanmıştır. Çalışmada kapsamında polimer betonların temel fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş ve kompozitlerin mikro yapısı da taramalı elektron mikroskobu kullanılarak analiz edilmiştir. Araştırma sonuçları, cam atıklardan elde edilen agreganın polimer beton üretimi için başarıyla kullanılabileceğini göstermiştir. Cam atıkların geleneksel agrega yerine %50 ikame olarak kullanıldığı bir kompozit için en faydalı fiziko-mekanik özellikler elde edilmiştir.

Heidarnezhad *et al.* (2020) tarafından bu çalışmada tahribatlı ve tahribatsız testler kullanılarak üç farklı sıcaklıkta (-15 , +5 ve +25°C ) test edilen dört farklı polimer oranı (%10, %12, %14 ve %16) içeren hafif polimer betonun (LWPC) mekanik özellikleri araştırılmıştır. Ek olarak, LWPC'nin yarmada çekme, eğilme ve darbe mukavemetini tahmin etmek için testler yapılmıştır. Tahribatlı testlerin sonuçlarına göre polimer oranının artırılmasının LWPC'nin basınç, yarmada çekme, darbe dayanımı ile enerji emiliminde artışa sebebiyet vermiştir. Sıcaklığın +25°C'den -15°C'ye düşürülmesiyle, basınç, yarmada çekme ve eğilme dayanımları ile elastisite modülü (EM) artarken; enerji emilimi, darbe enerjisi ve süneklik azalmıştır. Bulgular, yüksek mukavemet-ağırlık oranına sahip malzemelere ihtiyaç duyulan mühendislik uygulamalarında güvenli kullanımı anlamaya yönelik yararlı bilgiler sağlamaktadır.

Bu çalışmada atık lastikler ile ilgili de literatür taraması yapılmıştır. Tarama sonuçları aşağıda verilmiştir.

Fedroff *et al.* (1996) yaptıkları çalışmada Portland çimentolu betonda ince öğütülmüş kauçuk kullanmanın fizibilitesini incelemek için betonda agrega yerine hacimce %0-10-20-30 oranında araba lastiği parçacığı katıp mekanik yönden sonuçlarını incelemişlerdir. Lastik oranının artması ile basınç dayanımlarının azaldığını gözlemlemişler ve atık lastiğin mekanik özelliklerini düşürdüğü sonucuna varmışlardır.

Khatib *et al.* (1999) üç grup farklı lastik kullanarak, ilk grupta ince agrega yerine %5-100 oranında, ikinci grupta kaba agrega yerine %5-100 oranında, üçüncü grupta kum ve agrega yerine %5-100 oranında lastik ikamesi ile ürettiği numunelerin basınç dayanımlarını

incelemişlerdir. Sonuçta, basınç dayanımlarının 38 MPa'dan 3 MPa'a kadar düştüğünü ideal oranın hacimce %40-50 lastik ilavesi olabileceğini, ve lastik miktarı arttıkça dayanımın da azaldığını gözlemlemişlerdir.

Benozzouk (2003) yaptığı çalışmada betona %10-20-30-40 oranlarında lastik ikame ederek ürettiği numuneleri incelemiştir. Lastik ilaveli numunelerin kuru birim ağırlıkları %22 ve %35 oranlarında azaldığı ve ultra ses hızının lastik miktarı arttıkça azaldığını belirtmiştir. Ayrıca lastik miktarı arttıkça basınç dayanımlarının azaldığı ve bu azalmanın ince agregalı betonlarda kaba agregalı betonlardan daha fazla olduğu belirtmiştir.

Li *et al.* (2004) atık lastik liflerin betonda kullanılabilirliği üzerinde çalışarak %15 oranında kalın agrega yerine atık lastik ikamesi ile numuneler üretmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda lastik agregalı betonun tokluğunun daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır. Atık lastik lifli beton, atık lastik parçalı betondan daha yüksek dayanım ve sertliğe sahiptir. Bundan dolayı lastikler, ince boyuttaki lifler halinde kullanılabileceğini tespit etmişlerdir.

Doğan (2005), CEM I 42.5 imento, kırma taş ve iki farklı boyuttaki atık lastikleri %10, %15, %30, %45 hacim oranında kırma taş agrega ile yer değiştirerek elde edilen numuneler üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapmıştır. Deneyler sonucunda lastik agregalı betonların kontrol numunesine göre taze birim ağırlıkların %15,8, sertleşmiş birim ağırlıkların %17,4 oranında; 28 günlük basınç dayanımların ise %23-%56 arasında değişen oranlarda azaldığını tespit etmiştir. Kırılmış şekilleri ise normal betonda patlama şeklinde olurken lastik agregalı numunelerin yüzeyinde çatlak oluşup patlama olmamıştır. Eğilmede ekme dayanımlarında da düşmeler olduğu gözlemlemiştir. 25 tekrarlı donma-zlmede ise numunelerin basınç dayanım değerleri %0-%8,8 arasındaki oranlarda azalmıştır.

Bignozzi and Sandrolini (2006) kendiliğinden yerleşen beton (KYB) harcına iki farklı oranda (%22,2 ve %33,3) ince agrega yerine ikame edilen atık lastik tozu ile üretilen numunelerin taze ve sertleşmiş özelliklerini incelemişlerdir. Lastik boyutlarını da 0.5-2 mm ile 0.05–0.7 mm elek çaplarında kullanmışlardır. Su/imento oranı 0.34, bağlayıcı olarak CEMII/A-LL 42.5R, agrega çapları ise 4-16 mm ve 0-4 mm olarak belirlemiştir. Katkı olarak da akrilik tabanlı süper plastikleştirici ve akışkanlaştırıcı kullanmışlardır. Lastik miktarı taze beton özelliklerini etkilemiş olup, karışımda ayrışma gözlemlemişlerdir. Elde edilen numunelerin yavaş kırılması gözlemlemekle birlikte, basınç dayanımlarında ve sertlik miktarında azalmalar olduğunu rapor etmişlerdir.

Topçu ve Sarıdemir (2008) ise CEM II/B-P 32.5 tipi imento, dere yatağından alınmış 0-4 mm elek çaplı yıkanmış kum, 1-16 ve 1-32.5 mm dane çaplı kırma taş ve (0-1 mm) – (1-4 mm) aplarında iki farklı atık lastik tozu kullanılmıştır. Atık lastikler %15-30-45 oranlarında

ikame edilmiş olup, elde edilen numuneler fiziksel ve mekanik yönden incelenmiştir. Taze birim ağırlık değerlerinde düşme görülmüş ayrıca lastik miktarı arttıkça yayılma değeri de artmıştır. Çalışmada lastikli taze betonların birim ağırlık ve yayılma değerlerini deney yapmadan tahmin edebilmek için Yapay Sinir Ağları (ANN) ve Bulanık Mantık (FL) yöntemlerinde modeller oluşturmuştur ve bu modeller sonucunda değerleri %10 hata payı ile tahmin etmişlerdir. Hafif bir malzeme olduğu için lastik kullanılarak hafif beton üretilebileceği ve atık lastiklerin bu şekilde geri dönüştürülebileceğinin kanısına varmışlardır.

Turgut ve Yeşilata (2009) yaptıkları çalışmada atık otomobil lastik karışımı betonların termo-mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırmışlardır. Çelik telli alın yüzeyi ve çelik tel bulunmayan yanal yüzeyli olmak üzere iki farklı lastik kullanmışlardır. Çelik telli olanlar şerit biçiminde kesilerek içerisine döşenmiş lastik ise agrega yerine ilave ederek kullanılmışlardır. Bu numunelerdeki iyileşme oranları harç numuneler için %6,5–%13,3 briket numuneler için %4,5–%10,8 oranlarında bulmuşlardır. Diğer taraftan atık lastik katkısı ile briket numunelerin mekanik özelliklerinde azalmalar tespit etmişlerdir. Fiziksel özelliklerinde bazı iyileşmeler olmuştur ve en belirgin özelliği briket ağırlığının %29 oranında azalmasıdır.

Topçu ve Toprak (2009) atık lastik külü ve uçucu külün özelliklerini, lastik ve uçucu külü üç farklı oranda kullanarak ürettikleri numuneler üzerinde araştırmışlardır. Uçucu kül ve lastik külünün miktarının artması ile mekanik özellikler ve su emme, ağırlık kaybı, donma-çözülmenin olumsuz etkilenmiştir. Deneyler sonucunda %10 lastik katkılı numunelerden en iyi sonuçları almışlardır. Çalışma sonucunda atık lastiklerin hafif harç yapımında kullanılması önerilmiştir.

Emiroğlu vd. (2009) yapmış oldukları çalışmada atık lastik oranını %5, %10, %15 ve %20 olarak belirleyip agrega kısmına hacimsel olarak eklemek suretiyle numuneler üretmişler. Bu numunelerin mekanik ve fiziksel olarak özellikleri araştırılmıştır. Eğilmede çekme deneylerinin yapılabilmesi için 100x100x500 mm ebatlarında kiriş numuneleri kullanarak sehim ve elastisite modülünü belirlenmişler. Ayrıca çeşitli ülkelerin standartlarında önerilen ampirik formüllerde elastisite modülünü hesaplamışlar ve bu değerleri karşılaştırmışlardır. Lastik miktarı arttıkça deneysel verilerdeki elastisite modülü ile ampirik olarak hesaplanan elastisite modülünün arasındaki ilişkinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak Amerika Beton Enstitüsü (ACI) tarafından önerilen formül ile deneysel olarak hesaplanan elastisite modülü arasında oldukça güçlü bir ilişki olduğunu tespit etmişlerdir.

Topçu ve Demir (2009) ise otomobil atık lastiği (OAL) agregası kullanılarak hazırlanan harçların özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada agrega miktarına %10-20-30-40 oranlarında atık lastik ilavesi ile üretilen numunelerin fiziksel ve mekanik deneylere tabi tutularak

sonuçlarını irdelemişlerdir. Sonuç olarak çimentosu CEMII/A-L 42.5R olan ve %10 oranındaki lastik tozu karışımli numunelerin, diğér numunelere göre daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Emiroğlu (2012) lif şeklindeki atık lastikler ile yüksek harç oranına sahip kendiliğinden yerleşen beton karışimları hazırlamıştır. Çalışmada dört farklı oranda lastik kullanılmıştır. Sonuç olarak yüksek lastik ilaveli karışimların doldurma ve geçme kabiliyetinin azaldığı, bunun yanında %15 lastik ilaveli betonların yarmada çekme ve eğilmede çekme dayanımlarında iyileşme olduğunu gözlemlemiştir.

Avcı (2013) ise rijit üstyapı imalatlarında atık lastiklerin kullanılabilirliğini araştırmıştır. Ayrıca çelik tel donatılı betonların genel özellikleri ve beton yol yapısında kullanılmasının getirileri üzerinde incelemeler yapmış ve sonuçları paylaşmıştır. Sonuç olarak beton basınç ve yarma mukavemetinin atık lastik oranı arttıkça düştüğü, çelik tel donatının ise basınç ve yarma dayanımlarına olumlu etki sağladığını gözlemlemiştir. Her iki katkının beraber kullanımı ise çelik tel katkının atık lastik katkısının mukavemete olan olumsuz etkisini nötrale edebileceğı sonucuna varmıştır.

Akın (2017) yaptığı çalışmada polimer betonlarda atık araç lastiğı kullanımının etkisini incelemiştir. Bağlayıcı olarak doymamış polyester reçinesi, 0-1 mm ve 0-4 mm ince agrega ve 4-16 mm iri agrega ile iki farklı çapta (0-1 mm ve 0-4 mm) atık lastik %0- %5- %12,5- %20 oranlarında ince agrega yerine kullanmıştır. Reçine (polyester)/dolgu oranı %15-%85, %20-%80, %25-%75 olarak kullanmıştır. Sonuç olarak atık lastik oranı arttıkça basınç ve eğilme dayanımı azalmış, süneklik ve işlenebilirlik ise artmıştır. Yüzey sertliğı deneyi ile basınç dayanımı sonuçları ilişkilendirildiğinde regresyon çizgisinde %96 oranında benzerlik olduğu tespit etmiştir.

Sarkaz (2020) yüksek fırın cürufu içeren (YFC) geopolimer betonlarda atık lastik (AL) etkisini araştırmıştır. 300°C, 600°C ve 900°C gibi üç farklı sıcaklığın geopolimer betonun dayanıklılığına etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, AL değişimi sebebiyle yayılma çapında azalma olduğu, en kötü değerin %15 karışımında 21 cm ile ölçüldüğü, lastik içeriğindeki artışın karışımın işlenebilirliğini azalttığını göstermiştir. Ayrıca basınç dayanımının artan AL oranına bağılı olarak azaldığı görülmüştür. En yüksek basınç dayanımı değerin ise 3 günde 50,2 MPa, 7 günde 52,9 MPa iken 28 günde 56,2 MPa ile %5 AL içeren karışimlarda gerçekleşmiştir. Yüksek sıcaklık etkileri incelendiğinde ise kullanılan AL ve geopolimerin özellikleri nedeniyle 900°C’de hasar oluşmuş ve dayanımlar belirlenememiştir. Ancak daha düşük sıcaklık derecelerinde sıcaklık arttıkça, basınç dayanımının düştüğü belirlenmiştir. Yüksek sıcaklık sonrası en yüksek basınç dayanımı,

300°C'de 39.6 MPa ile %5 AL içeren örneklerden elde edilmiştir. Artan tane boyutu (2-4 mm) ise yüksek sıcaklık sonucunda dayanımda azalışa neden olmuş ve 8,8 MPa gibi bir değer elde edilmiştir. Sonuç olarak AL'lerin geopolimer betonlarda önlemler alınmak koşulu ile belirli orana kadar kullanılabileceği belirtilmiştir.

Aksoy (2021), 0-4 mm aralığındaki atık lastik agregasını farklı oranlarda (%0, %5, %10, %15 ve %20) ince agrega (0-4 mm) yerine hacimce ikame edilerek Lastik Agregalı Beton (LAB) elde etmiştir. Elde ettiği LAB karışımlarının içerisine çimento hacminin %1 ve %2 oranlarında polyester ve stiren-bütadien (SBR) polimerleri katmıştır. Üretilen karışımlardan Lastik Agregalı Polyester İçeren Beton (LPB) ve Lastik Agregalı Stiren Bütadien İçeren Beton (LSB) üretmiştir. Çalışmanın sonucunda, %1 oranında SBR içeren lastik agregalı beton numunelerin dayanımlarının diğer serilere oranla daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Fauzan *et al.* (2021) yaptıkları çalışmada, kırıntı kauçuk şeklindeki atık lastik kauçuğunun normal ve uçucu küllü beton üzerindeki etkisini, ince agrega ile kısmen değiştirmek suretiyle, incelenmiştir. Uçucu kül, çimento ağırlığının %15'i yerine ikame edilmiştir. Atık lastikten elde edilen kırıntı kauçuk oranı ise ince agrega hacmine göre %5, %10, %15 ve %20'dir. Sonuçlar, kauçuk içeren betonun düşük işlenebilirlik, basınç ve çekme dayanımlarına sahip olduğunu, ancak normal betonla karşılaştırıldığında daha fazla çatlak direncine sahip olduğunu göstermiştir. Hem kauçuklu normal beton (RNC) hem de kauçuk takviyeli uçucu küllü betonda (RFAC), kırıntı kauçuğun artması ile betonun basınç ve çekme dayanımlarında azalmalar gözlemlenmiştir. RNC ile karşılaştırıldığında, RFAC'ların, uçucu kül nedeniyle, daha yüksek bir mukavemete sahip olduğu belirlenmiş ve normal beton ve uçucu küllü betonda sırasıyla %10 ve %15 oranlarında kırıntı kauçuğun ince agrega ile değişimi önerilmiştir.

Sofi (2018) tarafından yapılan bir derleme çalışmasında, kauçuk katılmış betonun basınç ve eğilmede çekme dayanımı ile su penetrasyon derinliğinin kontrol karışımından daha az olduğu, aşınma direnci ve su emiliminin (%10'a kadar ikame) ise kontrol karışımından daha iyi sonuçlar sergilediği belirtilmiştir. Makalede ayrıca agregaların kırıntı kauçukları ile değiştirilmesi konusunda çok sayıda proje yürütüldüğü ancak çimentolu dolgu ilavesine yönelik verilerin oldukça sınırlı olduğu belirtilmiştir.

Arulrajah *et al.* (2020) tarafından yapılan çalışmada kaldırım alt temel uygulamalarında taş ocağı agregalarının yerine lastik türevi agregaların (TDA) kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu amaçla, küçük boyutlu TDA (TDA-S) ve orta ölçekli TDA (TDA-M) ile harmanlanmış orantılı geri dönüştürülmüş beton agregadan (RCA) yapılmış numuneler üzerinde üç eksenli (RLT) ve tekerlek taşıyıcı (WT) testleri yapılmıştır. RLT ve WT testlerinden elde edilen sonuçlar, TDA-

RCA karışımlarının kaldırım tabanı/alt temel malzemeleri için uygun bir alternatif olduğunu doğrulamıştır.

Aureliano et al. (2019)'e göre atıkların inşaatta hammadde olarak kullanılması ve kum ve çakıl gibi doğal kaynakların çıkarılmasını en aza indirmesi, bu atıkların kentsel alanlarda birikmesini azaltması bakımından önemsenmesi gerekir. Araştırmacılar çalışmalarında, atık lastik kauçuğunun beton bloklarda agrega olarak kullanımını araştırmış ve bu atıkların azaltılmış yoğunluk, daha iyi drenaj, daha yüksek termal ve akustik yalıtım sağlama gibi teknik faydalar sağlayabileceğini belirtmişlerdir.

Atık çelik liflerle alakalı literatür taraması sonucu ise aşağıda özetlenmiştir.

Alibekiroğlu (2019)'nda belirtildiğine göre Centonze *et al.* (2012), yaklaşık 2000 adet atık lastiklerden elde edilmiş çelik telleri incelemişlerdir. Atık tellerin çapları ve uzunlukları mikrometre yardımı ile ölçülüp kaydedilmiş, çatlak sonrası performansı, basınç dayanımı ve döşemenin eğilme dayanımını araştırmak amacı ile hacimce %0.23 ve %0.46 oranlarında geri dönüştürülmüş lastiklerden elde edilen atık teller ile standart çelik tel ayrı ayrı olmak üzere katılarak karışım hazırlamışlardır. 28 günlük kür sonucunda beton kırımı gerçekleştirilmiş ve ilk olarak atık tel katılan numunelerde basınç dayanımının arttığı, standart teller katılarak hazırlanan numunelerde ise azaldığı gözlemlenmiştir. Basınç dayanımındaki bu artışın narinlik oranı ve çelik tel yüzdesi ile alakalı olabileceği değerlendirilmiştir. Atık çelik lifin betona katılması sonucunda beton iki farklı basınç dayanımı davranışı gösterir. Uzunluğu 30 mm'den kısa ise az bir azalma olur, yaklaşık 60 mm uzunluğunda çelik lifler katılmışsa basınç dayanımını etkilemez ancak araştırmacılar genel olarak beton basınç dayanımının pek etkilenmediği görüşündedirler. Çatlama sonrası betonun tokluğu iki katına kadar çıktığı, tokluğun endüstriyel tel ile benzer özellikte olduğu sonucuna varmışlardır. Döşemenin eğilme dayanımında atık çelik tel içeren numunenin standart tel içeren numuneye oranla %18 oranında az olduğunu gözlemlenmiştir.

Hamzaçebi (2015), yaptığı Atık Çelik Liflerin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi adlı çalışmada şekil ve boyutlarına göre üç sınıfa ayrılan atık çelik teller kullanmıştır. Kıvrık çelik tel b, düz çelik tel c, kalın çelik tel d olarak adlandırmıştır. Çalışmalar sonucunda betona atık çelik lif ilavesinin dayanıma katkısı en yüksek C40 olarak adlandırılan hacimce 40 kg/m<sup>3</sup> düz tel içeren numunede gözlemlenmiştir. Yaklaşık %0,5 atık çelik tel ilavesiyle yalın betona göre %3,03 civarı bir dayanım artışı ölçmüştür. Çoğu numunede yalın betondan daha düşük dayanımlar elde etmiştir. Bu çalışma sonucunda atık çelik tellerin betonun basınç dayanımında önemli bir artış oluşturmadığı sonucuna varmıştır.

Karahan vd. (2016) yapmış oldukları çalışmada haddelenmiş çelik telleri betona ilave ederek elde ettikleri lifli betonlar üzerinde basınç, eğilme ve yarmada çekme dayanımı deneyleri yapmışlardır. Şahit numuneye kıyasla basınç dayanımının %7-9 oranında azaldığını, eğilme dayanımının ve yarmada çekme dayanımının ise %40-60 oranında arttığını ifade etmişlerdir.

Köroğlu (2016) yaptığı çalışmada CEM I 32.5 R çimento, ince agreg (dere kumu), kaba agreg, atık lastik talaşı ve geri dönüştürülmüş çelik lastik lifleri (recycled steel tire fibres) (RSF) kullanmıştır. 28 günlük basınç dayanımı küp numunelerde uygulamıştır. 150×150×150 mm ölçülerinde toplam 36 adet beton küp numune hazırlamıştır. Çelik liflerin ağırlıkça oranı (%0, %1, %2, %3) ve atık lastik talaşları (%0, %1, %2,5, %5) oranlarında kullanmıştır. Sonuç olarak en yüksek ortalama basınç dayanımı, 30.93 MPa ve çelik lif ağırlığı %2'dir. En düşük ortalama basınç dayanımı ise 28.05 MPa ve çelik lif ağırlığı %0'dır. %2 lif ağırlığına sahip ağırlığına sahip numune %3 lif içeren numuneden daha az lif bulundurmasına rağmen basınç dayanımı daha fazla bulmuştur. Kontrol silindirin çekme mukavemetinin 2.36 MPa olduğu ve %2'de 3.26 MPa' a kadar azaldığı ve çelik elyaflar için 3.14 MPa olan %3'te tekrar arttığı bulunmuştur. En yüksek eğilme mukavemeti lif içeriğinin %2,0 olan numunede 3,78 Mpa, en düşük mukavemet lif hacminin %0 olduğu numunede 2,99 MPa olarak bulmuştur. Atık lastik talaşları ile beton için çekme mukavemeti, lastik talaşlarının ağırlık fraksiyonu ile azalır. Yarmada çekme testi ve 3 noktada eğilme testi, geri dönüştürülmüş çelik lastik lifler ile güçlendirilmiş betonların normal betona kıyasla çok daha fazla tokluğa sahip olduğunu göstermiştir.

Şengül (2016), yapmış olduğu çalışmada atık lastiklerden elde edilmiş çelik tellerin beton ile kullanıldığında betonun mekanik özelliklerine etkisini incelemek için bir araştırma yapmıştır. Bir şahit numune, standart tel içeren numune ile ortalama çapları 0.3, 0.6, 1.4 mm, ortalama uzunlukları ise 6 cm olan atık lastiklerden elde edilmiş çelik liflerden farklı oranlarda kullanılarak beton üretmiştir. İlk olarak çelik liflerin işlenebilirliği azalttığı gözlemlemiştir. Şahit numuneye bakılarak numunelerin basınç dayanımını önemli ölçüde değiştirmezken ( $\pm\%7$ ) hem olumlu hem olumsuz olarak etkilenmiştir. Bu artışlar ve azalışlar lifin beton içerisinde dağılımından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çelik tel içeriği ve kalınlığı arttıkça eğilme dayanımının da arttığı gözlemlenmiştir. Ancak genel olarak atık lastiklerden elde edilmiş tellerin beton içerisinde kullanımı betonun basınç, eğilme ve çekme dayanımına önemli ölçüde etki etmemiştir. Geri dönüştürülmüş çelik tel içeren betonun standart tel içeren betona kıyasla yük-deplasman eğrileri benzerdir. Tüm sonuçlar dikkate alındığında atık lastiklerden

elde edilen elik tellerin standart elik teller yerine beton içerisinde kullanılabilir olduğunu ifade etmiştir.

Özby (2018), yaptığı çalışmada atık lastik ve atık telin betonda kullanımı üzerine olan çalışmalar göz önünde bulundurularak; bronz, lastik içerisinden çıkan ince tel ve ince lastik atıklarının betonda mekanik özellik, korozyon direnci ve donma-çözülme direncini arttırıcı malzemeler olarak kullanılabilirliğini araştırmak; atık malzemeler kullanılması sebebiyle de doğaya katkıda bulunulması, atıkların geri kazanımının sağlanması, maliyetin düşürülmesi, ekonomik kazanımın sağlanmasını hedeflemiştir. Dolayısı ile bu çalışma ile korozyon direnci yüksek ve mekanik özellikleri iyi olan bronzun atık şekilde kullanılması ile betonun özelliklerinin iyileştirilmesi, polimer esaslı olan ince lastik ile de hem atık tel hem de bronz katkılı betonun özelliklerinin daha da iyileştirilmesi, sektördeki elik takviyeli ve takviyesiz beton ürünlere yakın ya da iyileştirilmiş beton malzemesi elde edilmesi hedeflemiştir. Çalışma sonucunda betona bronz ilavesiyle katkısız beton malzemesinden daha yüksek soğuk basma mukavemeti ve yoğunluk değerlerine ulaşmıştır. Bronz ile atık lastiğin ilavesiyle de betonun korozyon direnci arttığını gözlemlemiştir.

AliBekiroğlu (2019) yapmış olduğu çalışmada, geri dönüşüme katkı sağlamak amacı ile atık lastiklerden elde edilen elik tellerin betonun mekanik özelliklerine etkisi araştırmıştır. Araştırma kapsamında fabrikalarda üretilen standart elik tel (ST), atık lastiklerden elde edilmiş uzun elik tel (UAT) ve kısa elik tel (KAT) olmak üzere üç farklı tip elik tel kullanılarak lifli betonlar üretmiştir. şahit numuneyi ürettikten sonra lifli beton karışımları, beton hacminin %0,5, %1, %1,5, ve %2 oranlarında elik lifler kullanılarak hazırlamıştır. Karışımlarda su/imento oranı 0,5 olarak sabit tutulmuş ve farklı oranlarda süperakışkanlaştırıcı katkı malzemesi eklemiştir. Hazırlanan beton numuneleri 28 gün boyunca standart kre tabi tutmuş ve sonrasında birim hacim ağırlık, eğilme, basınç, yarmada çekme, kapiler su emme, elastisite modülü ve ultrases hızı tayini deneylerini yapmıştır. Elde edilen sonuçlardan bu uygulamanın ülke ekonomisine ve çevreye katkı sağlayacağı, atık lastiklerden elde edilen tellerin standart elik tellerin alternatifi olarak lifli beton üretiminde kullanılabileceğini değerlendirmiştir.

elikten ve Canbaz (2020) yaptıkları çalışmada, çeşitli evre problemlerine neden olan hurda lastiklerden geri dönüşümü sağlanan elik lifler kullanılarak üretilen SIFCON kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine bağlayıcı türünün etkisi araştırmışlardır. SIFCON retiminde bağlayıcı olarak kalsiyum alminatlı imento (CAC), CEM I 42.5R ve CEM IV/B (P) 32.5 N imentoları ayrı ayrı kullanmışlar. Üretilen SIFCON kompozitler üzerinde birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, eğilme ve basınç dayanımı deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Bağlayıcı türü, SIFCON numunelerin mekanik özelliklerinde % 40'a ulaşan oranda değişim

gözlemlemişlerdir. Atık çelik liflerle elde edilen SIFCON numunelerinde 41.1 MPa basınç dayanımına, 25.3 MPa eğilme dayanımını tespit etmişlerdir. Sonuç olarak atık çelik liflerin SIFCON üretiminde kullanılabileceği kanısına varmışlardır.

Babar *et al.* (2021) tarafından yapılan bu çalışmada farklı miktarlarda atık lastik çelik lifi (WSF) ve uçucu külü (FA) ile üretilen yüksek dayanımlı betonların (HSC) performansı değerlendirilmiştir. WSF, HSC'de %0,5 ve %1 olmak üzere iki dozda, FA ise %10-35 oranında kullanılmıştır. Çalışılan dayanıklılık parametreleri arasında su emme, asit saldırı direnci (AAR), hızlı klorür geçirgenliği (RCP) ve klorür penetrasyon derinliği (CPD) yer almıştır. HSC'nin, basınç dayanımı ( $f_{CM}$ ), esneklik modülü ( $E_{CM}$ ), yarmada çekme mukavemeti ( $f_{CTM}$ ) ile yırtılma modülü ( $f_{CRM}$ ) gibi çeşitli temel mekanik özellikleri de analiz edilmiştir. Sonuçlarda WSF'nin HSC'nin RCP direnci üzerindeki zarar verici etkisinin çelik elyafın yüksek iletkenliğinden kaynaklanabileceği ileri sürülmüştür. Bununla birlikte CPD sonuçları, atık çelik lifinin yüksek mukavemetli betonda klorür geçirgenliğinde olumsuz sonuçlar doğurduğunu ortaya çıkarmıştır. Ancak, FA ile yapıldığında, WSF takviyeli HSC'ler çok düşük klorür geçirgenliği sağlamıştır. Hem WSF hem de FA, HSC'nin AAR'sında iyileşmeye katkıda bulunmuştur. WSF, gerilme değerleri için oldukça yararlıyken,  $f_{CM}$  ve  $E_{CM}$  üzerinde küçük etkiler göstermiştir. %1WSF ve %10-%15 FA içeren HSC ile optimum süneklik ve dayanıklılık elde edilebileceği belirtilmiştir.

Obinna *et al.* (2017) hurda lastik çelik elyafın (SSF) %1 ve 2 kütle fraksiyonu ile güçlendirilmiş normal Portland çimentosu (OPC), F sınıfı uçucu külü (PFA) ve metakaolin (MK) alkali ile aktive edilmiş harçların (AAM) mukavemeti, toplam gözenekliliği ve korozyon performansını araştırmıştır. Sonuçlar, SSF'nin OPC ve AAM karışımları için ayrık lif takviyesi olarak kullanılabileceğini göstermekte olup hızlandırılmış korozyon testinden sonra bile harçların deformasyonunu ve tokluğunu iyileştirmiştir. Bununla birlikte, AAM, OPC harçlarından daha yüksek gözeneklilik ve azaltılmış elektrik direnci sunmuştur. SSF takviyeli MK'lı AAM'nin yüzey ve iç korozyon performansı zayıf olsa da, PFA'lı AAM, OPC harcı ile karşılaştırılabilir korozyon direncine sahip olduğu belirlenmiştir.

Obinna and Nemkumar (2018) çimento harcındaki ticari makro kancalı uçlu (HE) çelik elyafın bir kısmı veya tamamı yerine yeniden kullanım değerine sahip hurda lastik çelik elyafı (SSF) kullanmanın mekanik performans ve maliyet üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Mekanik özellikler, özellikle çatlak sonrası ortalama kalıntı dayanımı (ARS) ve %0,35 ve %0,5 toplam lif hacimleri ile güçlendirilmiş karışımların aşınma direnci değerlendirilmiştir. Türetilmiş ARS/aşınma performans iyileştirmelerine dayalı maliyet-fayda analizleri yapılmıştır. Sonuçlar, tüm karışımlar için karşılaştırılabilir düzeyde basınç ve yarmada çekme mukavemetinin olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde, SSF veya SSF ve HE liflerinin %50 kombinasyonunun aşınma direnci, sadece HE lifleri ile güçlendirilmiş karışımlardan daha yüksek çıkmıştır.

Maliyet - fayda analizleri için ise hem ARS hem de aşınma direnci için, %0,35 SSF ile tek başına güçlendirilmiş harç karışımlarının, HE fiberin 4 katına kadar maliyet avantajı sağladığını göstermiştir. HE:SSF maliyet oranı 1:0,5'i aştıktan sonra ise SSF'nin harçta fiber takviyesi olarak kullanılması, özellikle HE fiberlerin SSF ile %30 ikamesinde, sadece marjinal maliyet avantajları sağlamıştır.

Samarakoon *et al.* (2019) lastik atıklarından (RF) elde edilen çelik lifleri kullanarak lifli betonarme elemanların davranışını incelemiş ve lastik atıklarından elde edilen çelik liflerin, üretilen çelik elyafa (SF) alternatif bir yapı malzemesi olarak yeniden kullanma potansiyeli olduğunu ileri sürmüşlerdir. Dört noktalı kiriş testi sonuçları, %0,5 RF ilavesinin kirişin süneklik davranışını geliştirdiğini göstermiştir. %0,5 RF ve %0,5 SF karşılaştırıldığında ise benzer sünek davranışa sahip oldukları görülmüştür. Ayrıca, %1 RF içeren kiriş ve %1 SF içeren kiriş de, sırasıyla, 91,7 mm ve 97,7 mm'lik orta açıklık sehimine ulaşarak iyi bir uyum göstermiştir.

Atoyebi *et al.* (2020) tarafından derleme türünden bir çalışmada ise atık lastiklerin çağdaş yönetimi, bu lastiklerden çıkarılan çelik liflerin kullanıldığı betonların taze ve sertleştirilmiş özellikleri ve bu betonların dayanıklılığı gözden geçirilmiştir. Sonuç olarak bu liflerin tünel astarlarında, hidrolik yapılarda, köprü güvertelerinde, kaldırımlarda ve şev stabilizasyonunda kullanılabileceği belirtilmiştir.

## MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde; dolgu malzemeleri (doğal agrega ve atık lastik), bağlayıcı malzeme (polyester), muhtelif kimyasal katkıları, lifler, ölçüm cihazları ve deney düzenekleri ile takip edilen yöntemler hakkında bilgi verilmiştir.

### Materyal

#### Agregalar

Çalışmada dolgu malzemesi olarak dere kumu (0-4 mm), çakıl (4-8 mm) ve kırma taş (8-16 mm) kullanılmıştır (Şekil 19).



**Şekil 19.** İnce ve iri agregaların görüntüsü (soldan sağa: 0/4, 4/8 ve 8/16 tane sınıfı)

Çalışmada agregaların TS 3523 (Anonim 2015b)'e göre yüzey nemleri belirlenmiştir. Ancak literatür taramalarında agregaların kuru halde karışıma katılmaları tavsiye edildiğinden (Bulut, 2017) karışımdaki agregalar ve atık lastikler laboratuvar ortamında kurutulmuştur.

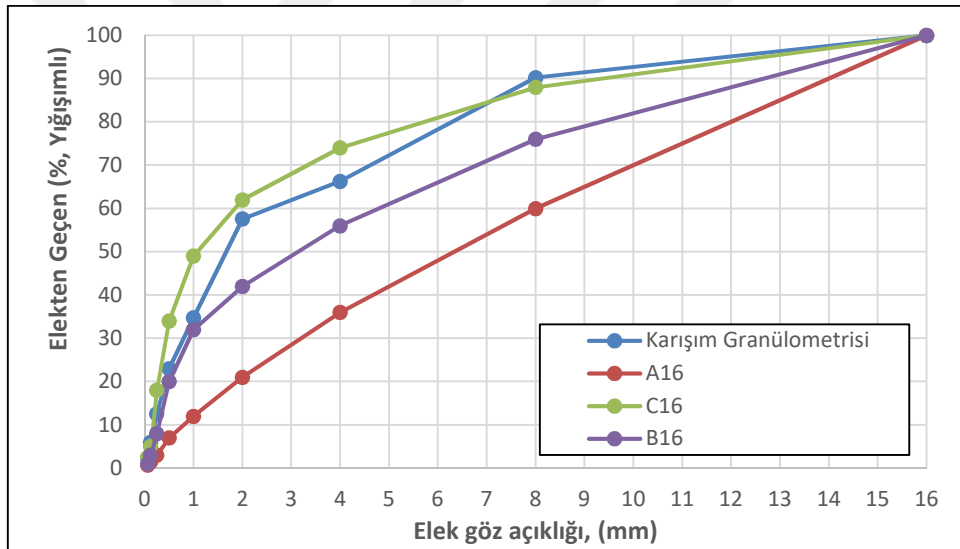
#### *Elek analizi ve karışım granülometrisi*

Deneylerde TS ISO 3310-1'e (Anonim 2019a) uygun toplama kabı, 0,25 m, 0,5 m, 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm, 16 mm göz açıklıklı kare delikli tel elekler kullanılmıştır. Elek serisi ve agrega numunelerinin elenmeden önceki görüntüsü Şekil 20'de verilmiştir.

Çalışmada elek analizleri TS 706 EN 12620+A1'e (Anonim 2009) göre belirlenmiştir. Agregaların granülometrisi TS 802'de (Anonim 2016) agrega en büyük tane çapı ( $d_{max}$ ) 16 mm olan agregalar için önerilen eğrilerden B16-C16 eğrileri arasında kalacak şekilde belirlenmiştir (Şekil 21). Buna göre 0/4 tanı sınıfı için %50, 4/8 tane sınıfı için %35 ve 8/16 tane sınıfı için ise %15 oranında olacak şekilde agregalar alınmıştır.



**Şekil 20.** Deneyde kullanılan elekler ve titreşimli elek analizi test cihazı



**Şekil 21.** 16 mm maksimum agrega çapı için standart eğriler ve karışım granülometrisi

### **Özgül Ağırlık ve Su Emme**

0-4 mm, 4-8 mm ve 8-16 mm tane sınıfları için doymun kuru yüzey yoğunluklar, sırasıyla 2,66, 2,68 ve 2,68 olarak su emme oranları ise yine sırasıyla %3.00, %1,93 ve %1,23 olarak tespit edilmiştir. Agregaların yoğunlukları TS EN 1097-6 (Anonim 2013)'e göre belirlenmiştir.

### **Polimer malzeme**

Polimer beton numunelerinin üretiminde bağlayıcı olarak doymamış polyester reçine kullanılmıştır. Seçilmiş olan polyester reçine; Camelyaf firması tarafından üretilen CE 80 Döküm Tipi Polyester kod numarası ile piyasada satışı bulunan ve ortoflatik esaslı polimer

beton polyesteri olarak tasarlanmış olan reçinedir. Üretici firmadan alınan polyester reçineye ait teknik bilgiler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

**Tablo 6.** Polyester Reçineye Ait Teknik Bilgiler

| Özellik              | Aralık                                       | Standart adı |
|----------------------|----------------------------------------------|--------------|
| Yoğunluk (23°C)      | Yaklaşık 1,1 gr/cm <sup>3</sup>              | ISO 1675     |
| Kırılma İndis (23°C) | 1,518-1,521                                  | -            |
| Parlama Noktası      | Yaklaşık 33 °C                               | 2800         |
| Viskozite (23°C)     | 550-600 cps                                  | ISO 2555     |
| Renk (Hazen)         | 0-250                                        | ISO 2211     |
| Monomer Oranı        | 33-36 %                                      | OT012        |
| Asit değeri          | 10-14 mgKOH/g                                | ISO 2114     |
| Tiksotropi           | N/A                                          |              |
| Jel süresi           | 07-10 (Kış Dönemi)<br>14-18 (Yaz Dönemi) dk. | ISO 2535     |
| Ortam Sıcaklığı      | 18-26 °C                                     |              |

#### Sertleştirici ve hızlandırıcı malzemeler

Reçine ve monomerin sertleşmesi için çapraz bağ ile sonuçlanan kimyasal reaksiyonu başlatan madde olan polyester sertleştirici ve reaksiyon hızlandırıcısı olarak kullanılan polyester hızlandırıcı ile ilgili üretici firmadan alınan teknik bilgiler aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

**Tablo 7.** Sertleştiriciye ait Teknik Bilgiler

|                              |                                                                             |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Ürün Kodu                    | AKPEROX A1                                                                  |
| Ürün Tanımı                  | Metil Etil Keton Peroksit karışımıdır                                       |
| Yoğunluk                     | 1,16 ± 0,005 gr/cm <sup>3</sup>                                             |
| Görünüm                      | Renksiz, sıvı                                                               |
| Aktif O <sub>2</sub> İçeriği | 9,4 -9,6 %                                                                  |
| Peroksit İçeriği             | 33 -37 %                                                                    |
| Kullanım önerisi             | 1% - 2% (Oda sıcaklığında kobalt hızlandırıcıları ile kullanılması gerekir) |

**Tablo 8.** Hızlandırıcıya Ait Teknik Bilgiler

|                |                                           |
|----------------|-------------------------------------------|
| Ürün Kodu      | KOBALT OKTOAT (EGE Dry 12201)             |
| Uygulama Alanı | Polyester katalizör hızlandırıcısı olarak |
| Yoğunluk       | 0,98 gr/cm <sup>3</sup>                   |
| Görünüm        | Mor, sıvı                                 |
| Co Metal       | 10 %                                      |
| Toplam Katı    | 63 %                                      |

### Atık lastik

Numune üretiminde kullanılan atık otomobil lastiği Kâhya Rejenere Kauçuk (Sakarya) firmasından tedarik edilmiştir. Atık lastik parçacıkları çalışmada ince agregalar (0-1 mm ve 1-4 mm) ile yer değiştirileceği için atık lastikler de 0-1 mm ve 1-3,5 mm çaplarında seçilmiş ve tedarik edilmiştir. Şekil 22’de atık lastik granüllerinin resimleri, Tablo 9’da ise teknik özellikleri verilmiştir.



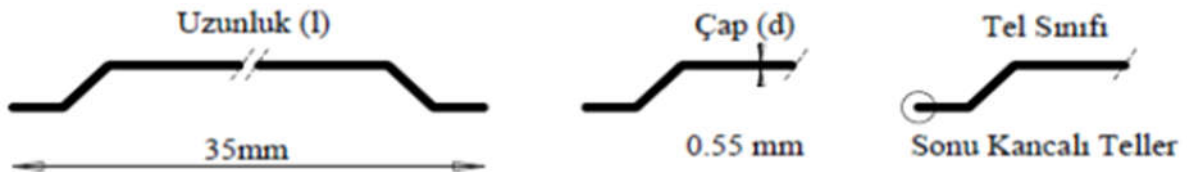
Şekil 22. 0-1 mm (solda) ve 1-3,5 mm (sağda) tane sınıfına ayrılmış atık lastik granülleri

Tablo 9. Atık Lastiğin Teknik Özellikleri (Akın 2017)

| Teknik Özellikler                  | Değer     |
|------------------------------------|-----------|
| Sıkıştırılmış Yoğunluk ( $t/m^3$ ) | 1,16      |
| Porozite (%)                       | 50        |
| Permeabilite (cm/s)                | 5         |
| Elastisite Modülü (MPa)            | 1         |
| Poisson Oranı                      | 0,3       |
| Termal İletkenlik (W/m.K)          | 0,15-0,30 |

### Endüstriyel çelik lif

Deneyisel çalışmada Bekaert İzmit Çelik Kord San. ve Tic. A.Ş. firmasından temin edilen Dramix 3D 65/35BG (P60X20KG) ticari adlı endüstriyel çelik lif kullanılmıştır. Çelik tel ile ilgili bilgiler Şekil 23’deki şematik resimler ile Tablo 10’da, gerçek görüntüsü ise Şekil 24’de verilmiştir.



Şekil 23. Deneylerde kullanılan endüstriyel çelik lifin boyut ve şekli

**Tablo 10.** Endüstriyel Çelik Lifin Teknik Özellikleri

|                |                                           |
|----------------|-------------------------------------------|
| Standart       | ASTM A820, CE EN 14889-1 (system 1)       |
| Görünüm        | Parlak ve yapıştırılmış çelik tel         |
| Tip            | Soğuk Çekme                               |
| Kenar          | Kıvrımlı                                  |
| Açı            | 45 °                                      |
| Fiber Uzunluk  | 35 mm                                     |
| Çap            | 0.55 mm                                   |
| Narinlik Oranı | 65                                        |
| Çekme muk.     | 1345 N/mm <sup>2</sup> (Tolerans: ± 7,5%) |
| Young Modülü   | ± 210.000 N/mm <sup>2</sup>               |
| Paketleme      | 20 kg                                     |



**Şekil 24.** Karışımda kullanılan endüstriyel çelik lif

#### **Atık lastikten çıkarılmış çelik tel**

Atık çelik teller Era Çevre Teknolojileri A.Ş.’nin Erzincan Şubesi olan Erzincan ÖTL Geri Dönüşüm ve Enerji Üretim Tesisi’nden temin edilmiştir.

Betonlara karıştırılabilecek en fazla lif miktarı, kullanılan agreganın en büyük dane büyüklüğüne ve lifin boyluluk oranına bağlı olarak TS 10514 (Anonim 2015a) ’te verilmiştir. Standartta en büyük agrega çapı 32 mm olan karışımlarda  $L/d = 60$  için  $50 \text{ kg/m}^3$ ,  $L/d = 75$  için  $40 \text{ kg/m}^3$  ve  $L/d = 100$  için  $30 \text{ kg/m}^3$  kullanılabileceği belirtilmektedir. Yine aynı standartta beton ve harçların takviye edilmesinde kullanılacak çelik tellerin kırılmadan bükülebilir özellikte, her türlü pas, yağ, petrol ve diğer zararlı maddelerden arındırılmış ve temiz olmaları gerektiği belirtilmektedir.

Deneyde kullanılan atık çelik teller üzerlerindeki tekstil iplikleri, kauçuk artıkları gibi kalıntılar ayıklandı. Rastgele seçilen 1000 adet çelik tellin çapları elektronik kumpasla, boyları ise iki ucundan kerpeten ile tutturularak cetvel ile ölçüldü. Ölçüm ve istatistiksel sonuçlar Tablo 11’ de atık çelik liflere çeşitli görüntüler ise Şekil 25 ve 26’da verilmiştir. Tablo 10 ve 11’den görülebileceği gibi endüstriyel lif ile atık lifin boyları yaklaşık eşit olmalarına rağmen atık lifin narinlik oranı (270) endüstriyel lifinkinden (65) yaklaşık dört kat daha fazladır.

**Tablo 11.** Atık Lastiklerden Elde Edilmiş 1000 Adet Çelik Tel ile İlgili Değerler

| Atık Tel                      | Ölçüm/Hesap Sonucu (mm) |
|-------------------------------|-------------------------|
| Ortalama uzunluk (l)          | 32,27                   |
| Ortalama çap (d)              | 0,12                    |
| Çap mod                       | 0,17                    |
| Çap medyan                    | 0,14                    |
| Çap aralık                    | 0,01-1,16               |
| Boy mod                       | 25                      |
| Boy medyan                    | 30                      |
| Boy aralık                    | 9-85                    |
| Ortalama narinlik oranı (l/d) | 270                     |



**Şekil 25.** Atık lastikten çıkarılan çelik tellerin ayrıştırmadan önce (soldaki) ve sonraki hali



**Şekil 26.** Atık lastikten elde edilen çelik lifin boy ve çap ölçümü

### **Deney numunesi (kalıp) ayırıcı**

Beton üretiminden sonra betonun kalıptan ayrılması için kalıp iç yüzeylerine kalıp ayırıcı sürülmüştür. Poliya Poliester ve Yard. Mad. San. (İstanbul) üretimi olan ve Polivaks SV-6 adı ile piyasadan temin edilen bu ürün yüksek performanslı vaks özelliğine sahiptir. Bu malzemenin vaks bazı karnauba, balmumu ve mineral vakslardan, solvent bazı ise alifatik hidrokarbonlardan oluşmuş olup krem renkli pasta kıvamı görünümündedir.

### **Beton mikseri**

Beton numuneler; 60 dm<sup>3</sup> kapasiteli, 25 devir/dk. karıştırma hızına sahip, düşey eksenli laboratuvar tipi mikserle karıştırılarak üretilmiştir.

### **Masa tipi vibratör**

Kalıplara dökülen betonların istenilen düzeyde yerleştirilip boşluklarını olabildiğince doldurabilmek için masa tipi vibratör kullanılmıştır. Kullanılan vibratörün en düşük frekansı 40 Hz (dakikada 2400 devir)'dir (Şekil 27).

### **Beton numunesi deney kalıpları**

Çalışmada eksenel basınç deneyi için 100x200 mm'lik plastik silindir, eğilmede çekme deneyi için ise 70x70x280 mm'lik metal prizmatik kalıplar kullanılmıştır (Şekil 27).



**Şekil 27.** Deneyde kullanılan masa tipi vibratör ve içi dolu numune kalıpları

### **Yöntem**

#### **Parametreler, kodlama ve karışım hesabı**

Çalışmada iki farklı parametrenin polimer betonun mekanik davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bunlar, atık lastik/dolgu (AL/D) oranı ile atık çelik lif/endüstriyel çelik lif (AÇL/EÇL) oranıdır. Yapılan yoğun literatür çalışması ve ön deneyler sonuçlarına göre

reçine/dolgu oranı %20 olarak sabit alınmıştır. Atık lastik/dolgu oranı için ise %0, %2,5, %5 ve %7,5 olarak belirlenmiştir. Yine ön deneyler sonucunda betona katılacak sertleştirici oranının %1,5, hızlandırıcı oranının ise %0,3 olmasına karar verilmiştir. Bu oranlar bütün karışımlar için sabit alınmıştır. Çalışmada, değişik oranlarda toplam 4 seri ve 17 gruptan oluşan polimer beton üretimi yapılmıştır. Her bir grup için 2 adet 70x70x280 mm'lik prizma ile 6 adet 100x200 mm'lik silindir numune üretilmiştir. Bu da her bir grup için toplamda 13,5 dm<sup>3</sup> beton üretileceği anlamına gelmektedir. Deneysel planlamada ne endüstriyel ne de atık çelik lif içermeyen bir karışımına (kontrol karışımı) da yer verilmiştir.

Her bir seri ve karışım için belirlenen numaralar, kodlar, sabitler ve parametreler (seviyeleri ile birlikte) Tablo 12'de verilmiştir.

**Tablo 12.** Karışım Numaraları, Kodlar, Sabitler, Parametreler ve Seviyeleri

| Seri No                                                                                                                                                                | Karışım No | KOD          | Sabitler |       |         |         | Parametreler |         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------|----------|-------|---------|---------|--------------|---------|
|                                                                                                                                                                        |            |              | S (%)    | H (%) | P/D (%) | EÇL (%) | AL/D (%)     | AÇL/EÇL |
| 1                                                                                                                                                                      | 1          | AL0AÇL0      | 1,5      | 0,3   | 20      | 0,8     | 0            | 0       |
|                                                                                                                                                                        | 2          | AL0AÇL0,33   | 1,5      | 0,3   | 20      | 0,8     | 0            | 0,33    |
|                                                                                                                                                                        | 3          | AL0AÇL0,67   | 1,5      | 0,3   | 20      | 0,8     | 0            | 0,67    |
|                                                                                                                                                                        | 4          | AL0AÇL1      | 1,5      | 0,3   | 20      | 0,8     | 0            | 1       |
| 2                                                                                                                                                                      | 5          | AL2,5AÇL0    | 1,5      | 0,3   | 20      | 0,8     | 2,5          | 0       |
|                                                                                                                                                                        | 6          | AL2,5AÇL,33  | 1,5      | 0,3   | 20      | 0,8     | 2,5          | 0,33    |
|                                                                                                                                                                        | 7          | AL2,5AÇL0,67 | 1,5      | 0,3   | 20      | 0,8     | 2,5          | 0,67    |
|                                                                                                                                                                        | 8          | AL2,5AÇL1    | 1,5      | 0,3   | 20      | 0,8     | 2,5          | 1       |
| 3                                                                                                                                                                      | 9          | AL5AÇL0      | 1,5      | 0,3   | 20      | 0,8     | 5            | 0       |
|                                                                                                                                                                        | 10         | AL5AÇL0,33   | 1,5      | 0,3   | 20      | 0,8     | 5            | 0,33    |
|                                                                                                                                                                        | 11         | AL5AÇL0,67   | 1,5      | 0,3   | 20      | 0,8     | 5            | 0,67    |
|                                                                                                                                                                        | 12         | AL5AÇL1      | 1,5      | 0,3   | 20      | 0,8     | 5            | 1       |
| 4                                                                                                                                                                      | 13         | AL7,5AÇL0    | 1,5      | 0,3   | 20      | 0,8     | 7,5          | 0       |
|                                                                                                                                                                        | 14         | AL7,5AÇL0,33 | 1,5      | 0,3   | 20      | 0,8     | 7,5          | 0,33    |
|                                                                                                                                                                        | 15         | AL7,5AÇL0,67 | 1,5      | 0,3   | 20      | 0,8     | 7,5          | 0,67    |
|                                                                                                                                                                        | 16         | AL7,5AÇL1    | 1,5      | 0,3   | 20      | 0,8     | 7,5          | 1       |
| Kontrol                                                                                                                                                                | 17         | KAL0AÇL0EÇL0 | 1,5      | 0,3   | 20      | 0       | 0            | 0       |
| S: Sertleştirici H: Hızlandırıcı P: Reçine (Polyester) D: Dolgu (Agrega) AL: Atık Lastik<br>AÇL: Atık Lastik Çelik Lifi EÇL: Endüstriyel Çelik Lif K: Kontrol Numunesi |            |              |          |       |         |         |              |         |

Çalışmada yedi adet ön deneme yapılmıştır. Bu deneylerde göz önünde bulundurulacak bileşen miktarları (karışım hesapları) ve her bir deney için kaydedilen gözlemler Ek 1'de verilmiştir. Ana deneylere esas alınan beton karışım hesapları ve gözlemler ise Tablo 13'te ifade edilmiştir. Tablo 13'deki karışımlardan hakkında gözlem notu düşülmeyenlerde, karıştırma, yerleştime ve 24 saatlik kalıpta bekletilme süresi içinde herhangi bir sıkıntı oluşmamış ve numuneler kalıptan sorunsuz bir şekilde çıkarılmıştır.

**Tablo 13.** Beton Karışım Hesapları (kg/m<sup>3</sup>) ve Üretim Esnasında Yapılan Gözlemler

| No | KOD            | Agrega (kg)  |              |               | Polimer ve bileşenleri (kg) |                |                 | Atık Lastik (kg) |          | Çelik Lif (kg) |             |
|----|----------------|--------------|--------------|---------------|-----------------------------|----------------|-----------------|------------------|----------|----------------|-------------|
|    |                | 0-4 mm (%50) | 4-8 mm (%35) | 8-16 mm (%15) | Reçine (%20)                | Hızlan. (%0,3) | Sertleş. (%1,5) | 0-1 mm           | 1-3,5 mm | Atık Ç.Lif     | End. Ç. Lif |
| 1  | AL0AÇL0        | 13,77        | 9,64         | 4,13          | 3,082                       | 0,009          | 0,046           | -                | -        | -              | 0,848       |
| 2  | AL0AÇL0,33     | 13,77        | 9,64         | 4,13          | 3,082                       | 0,009          | 0,046           | -                | -        | 0,178          | 0,568       |
| 3  | AL0AÇL0,67*    | 13,77        | 9,64         | 4,13          | 3,082                       | 0,009          | 0,046           | -                | -        | 0,362          | 0,28        |
| 4  | AL0AÇL1*       | 13,77        | 9,64         | 4,13          | 3,082                       | 0,009          | 0,046           | -                | -        | 0,54           | -           |
| 5  | AL2,5AÇL0      | 13,43        | 9,64         | 4,13          | 3,082                       | 0,009          | 0,046           | 0,086            | 0,258    | -              | 0,848       |
| 6  | AL2,5AÇL0,33*  | 13,43        | 9,64         | 4,13          | 3,082                       | 0,009          | 0,046           | 0,086            | 0,258    | 0,178          | 0,568       |
| 7  | AL2,5AÇL0,67*  | 13,43        | 9,64         | 4,13          | 3,082                       | 0,009          | 0,046           | 0,086            | 0,258    | 0,362          | 0,28        |
| 8  | AL2,5AÇL1*     | 13,43        | 9,64         | 4,13          | 3,082                       | 0,009          | 0,046           | 0,086            | 0,258    | 0,54           | -           |
| 9  | AL5AÇL0        | 13,08        | 9,64         | 4,13          | 3,082                       | 0,009          | 0,046           | 0,172            | 0,516    | -              | 0,848       |
| 10 | AL5AÇL0,33     | 13,08        | 9,64         | 4,13          | 3,082                       | 0,009          | 0,046           | 0,172            | 0,516    | 0,178          | 0,568       |
| 11 | AL5AÇL0,67*    | 13,08        | 9,64         | 4,13          | 3,082                       | 0,009          | 0,046           | 0,172            | 0,516    | 0,362          | 0,28        |
| 12 | AL5AÇL1*       | 13,08        | 9,64         | 4,13          | 3,082                       | 0,009          | 0,046           | 0,172            | 0,516    | 0,54           | -           |
| 13 | AL7,5AÇL0**    | 12,74        | 9,64         | 4,13          | 3,082                       | 0,009          | 0,046           | 0,258            | 0,775    | -              | 0,848       |
| 14 | AL7,5AÇL0,33** | 12,74        | 9,64         | 4,13          | 3,082                       | 0,009          | 0,046           | 0,258            | 0,775    | 0,178          | 0,568       |
| 15 | AL7,5AÇL0,67   | 12,74        | 9,64         | 4,13          | 3,082                       | 0,009          | 0,046           | 0,258            | 0,775    | 0,362          | 0,28        |
| 16 | AL7,5AÇL1      | 12,74        | 9,64         | 4,13          | 3,082                       | 0,009          | 0,046           | 0,258            | 0,775    | 0,54           | -           |
| 17 | KAL0AÇL0EÇL0   | 13,77        | 9,64         | 4,13          | 3,082                       | 0,009          | 0,046           | -                | -        | -              | -           |

\*: 3,4,6,7,8 numaralı karışımların üretimi esnasında mikserde kuru malzemeler karıştırılırken atık çelik lif topaklaştı. Ancak, reçine ve katkıları ilave edildikten sonra ayrıştı.

\*: 11 ve 12 numaralı karışımların üretimi esnasında 24 saatlik kür sonunda numuneleri kalıptan çıkarırken tam sertleşme gözlenmedi. 2 saat daha beklenilip sonra kalıptan çıkarıldı.

\*\* : 13 ve 14 numaralı karışımların üretimi esnasında 24 saatlik kür sonunda numuneleri kalıptan çıkarırken tam sertleşme gözlenmedi. 2 saat geçtikten sonra da numune kalıp yüzeyine kısmen yapışmış olduğu görüldü.

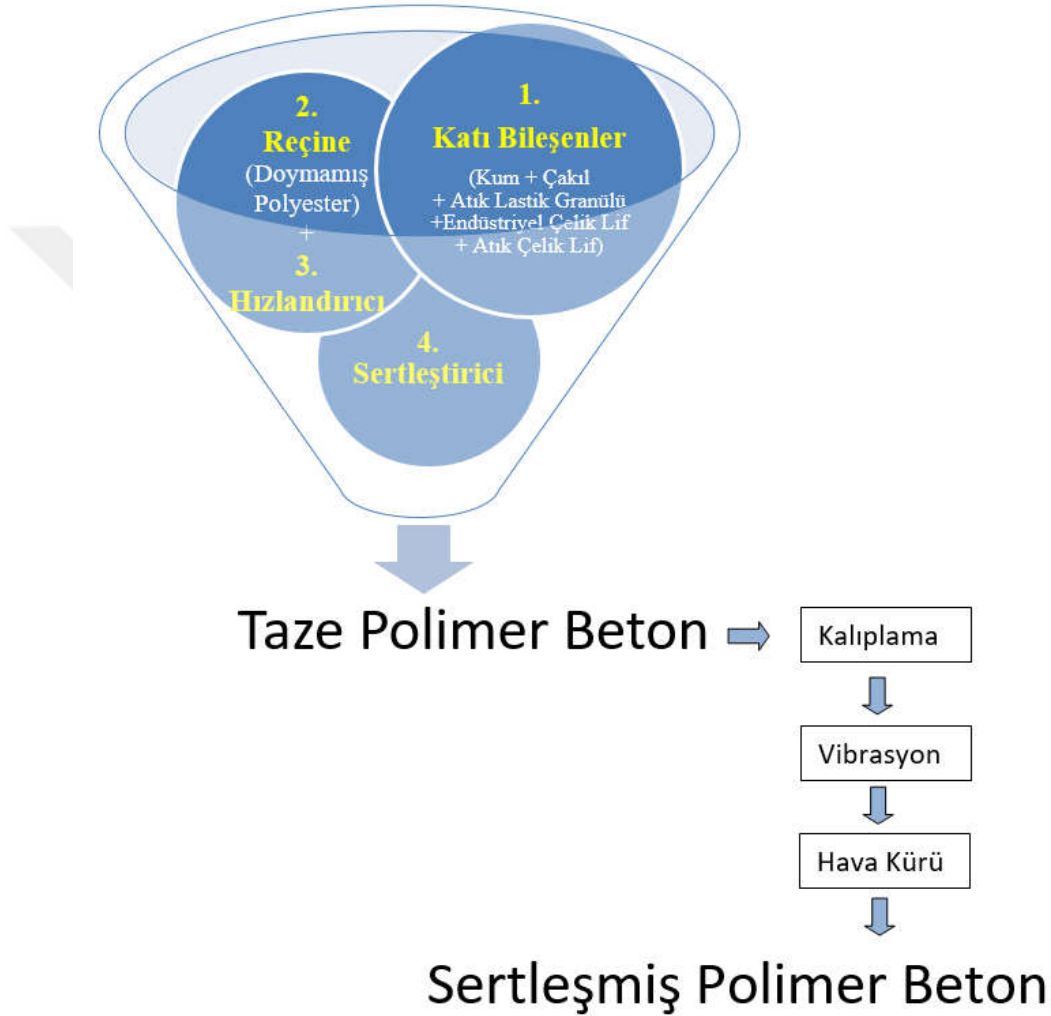
### Polimer beton üretimi

Polimer beton, reçine ve inorganik agregaların birlikte kullanılması sonucu elde edilmektedir. Az miktarlarda sertleştirici ve hızlandırıcının reçineye eklenmesiyle kürleşme veya sertleşme süreci başlamaktadır. Sertleştirici polimerizasyonu başlatmakta, hızlandırıcı ise reaksiyonu hızlandırmaktadır (Rebeiz 1996).

Çalışmada polimer beton numunelerinin üretiminde aşağıdaki sıra uygulanmıştır:

- i. Karışım tasarımına uygun bir şekilde tartılan katı malzemeler (dere kumu, çakıl, atık lastik, endüstriyel çelik lif ve atık çelik lif) beton mikserinde kuru olarak 2 dk. karıştırılmıştır.
- ii. Ayrı bir kap içinde reçine ve hızlandırıcı 3 dk. karıştırılmıştır.
- iii. Reçine ve hızlandırıcı karışımı mikserde ilave edilip 2 dk. daha karıştırılmıştır.
- iv. Son olarak mikserdeki karışıma sertleştirici de katılıp tüm malzemeler 3 dk. karıştırılmıştır.

Toplamda polimer beton üretimi için 10 dakika süren bir karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Polimer beton üretimini gösteren şematik diyagram Şekil 28’de verilmiştir.



**Şekil 28.** Polimer beton üretim aşamalarını gösteren diyagram

Karıştırma işlemi bittikten sonra polimer beton karışımı, önceden kalıp ayırıcı ile yağlanan kalıplara yerleştirilmiştir. Betonlar, silindirik numunelere 2 tabaka halinde 15'er kez şişleme ile prizmatik numunelere ise tek tabaka halinde 25 kez şişleme işlemi ile yerleştirilmiştir. Yerleştirme işleminden sonra masa tipi vibratörde numuneler 1 dk. titreşme işlemine tabii tutulmuştur. Kalıplardan 24 saat sonra çıkartılan numuneler deney gününe kadar (3, 7 ve 28 gün boyunca) laboratuvar ortamında bekletilmek suretiyle havada kür edilmiştir (Şekil 29).



**Şekil 29.** Deney numunelerinin laboratuvar ortamında (havada) kür edilmesi

### **Deneyisel çalışmalar**

#### ***Birim ağırlık deneyi***

Çalışmada taze beton deneylerinden birim hacim ağırlık deneyi yapılmıştır. Beton üretimini takiben her bir grubun ağırlıkları ölçülerek kabın hacmine bölünüp birim hacim ağırlık değerleri elde edilmiştir. Bu deney, TS EN 12350-6'a (Anonim 2019b) göre yapılmıştır.

#### ***Ultrases dalga hızı deneyi***

Ultrases dalga hızı tayini deneyi Proceq marka ultrases cihazı kullanılarak yapılmıştır. Bu cihaz ultrasonik ses dalgaları üreterek bu dalgaları numuneye gönderip, numunelerin diğer tarafından dalgaların alınmasına kadar geçen süreyi ölçmektedir. Ultrases dalga hızı (UPV) yöntemi, tahribatsız bir yöntem olup bu çalışmada ultrases dalga hızı tayini TS EN 12504-4'e (Anonim 2021) göre numunelerin eksenel basınç dayanımına tabi tutulmadan önce yapılmıştır. Ultrases geçiş süresi  $\mu sn$  olarak ölçülmüş ve boy/süre (m/s) formülü ile geçiş hızı (V) belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan cihazın görüntüleri Şekil 30'da verilmiştir.



**Şekil 30.** Ultrasonik Dalga Hızı Test Cihazının tedarikçi firmanın sayfasından alınan resmi ve okumaların yapıldığı ekranın görüntüsü (solda)

### ***Eksenel basınç dayanımı deneyi ve boyuna deformasyon ölçümü***

Bu çalışmada sertleşmiş beton numuneler üzerinde TS EN 12390-3'de (Anonim 2019c) standart basınç dayanımı tayini için önerilen deney yöntemi kullanılmıştır. 3 ve 7 günlük örnekler ELE marka AUTOTEST 3000 tipi, 300 ton kapasiteli, yükleme hızı otomatik olarak ayarlanabilen hidrolik preste (Şekil 31) kırılmıştır. Deneyler süresince yükleme hızı 471 kgf/cm<sup>2</sup>/s (0.6 MPa/s) alınmış ve örnekler tek eksenli basınç testine tabii tutulmuştur.



**Şekil 31.** Basınç dayanımı tayini deney aleti (ELE / AUTOTEST 3000)

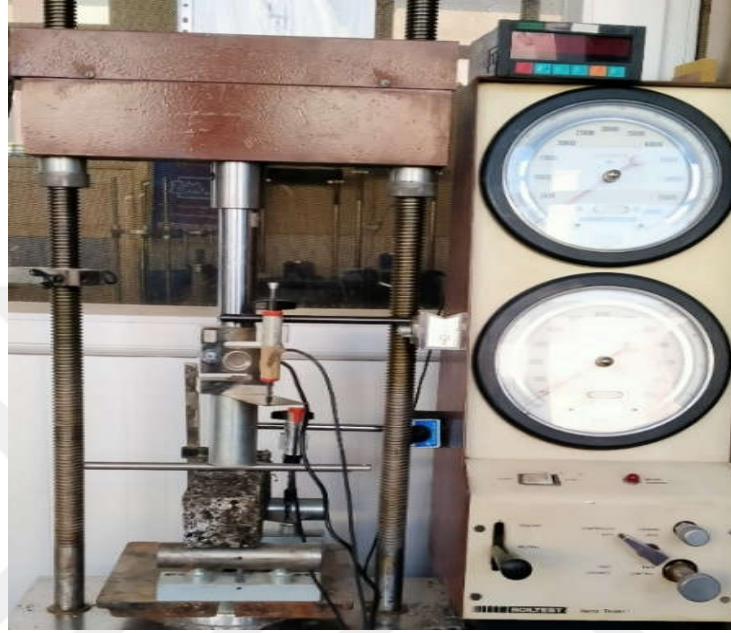
Çalışmada 28 günlük numuneler ise Şekil 32'de gösterilen BESMAK marka presle kırılmıştır. Yükleme hızının yine 0.6 MPa/sn olarak alındığı bu deneylerde yük ve düşey deformasyon değerleri okunmuştur.



**Şekil 32.** Gerilme şekil değiştirme deney aleti ve deney aşamasından görünüm

### *Eğilmede çekme deneyi*

Sertleşmiş polimer beton numuneleri üzerinde TS EN 12390-5 (Anonim 2019d) standardı da göz önünde bulundurularak orta noktasından yüklenmiş basit kiriş yöntemi ile eğilmede çekme deneyi yapılmıştır. Deneylerde SOILTEST marka 20 ton kapasiteli deney aleti (Şekil 33) kullanılmıştır. Cihaza LVDT'ler bağlanarak numunelerin yük altındaki sehimleri ölçülmüştür. Cihaz deformasyon kontrollü olup yükleme hızı 0,8 mm/dakika alınmıştır.



**Şekil 33.** Eğilmede çekme deney aleti ve LVDT'ler

## ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde taze ve sertleşmiş beton deneylerinden elde edilen bulgular verilmiş ve bu bulguların değerlendirmeleri yapılmıştır.

### Birim ağırlık deneyi sonuçları

Çalışmada taze beton deneyi olarak yalnızca birim ağırlık deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 14’te verilmiştir.

**Tablo 14.** Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları

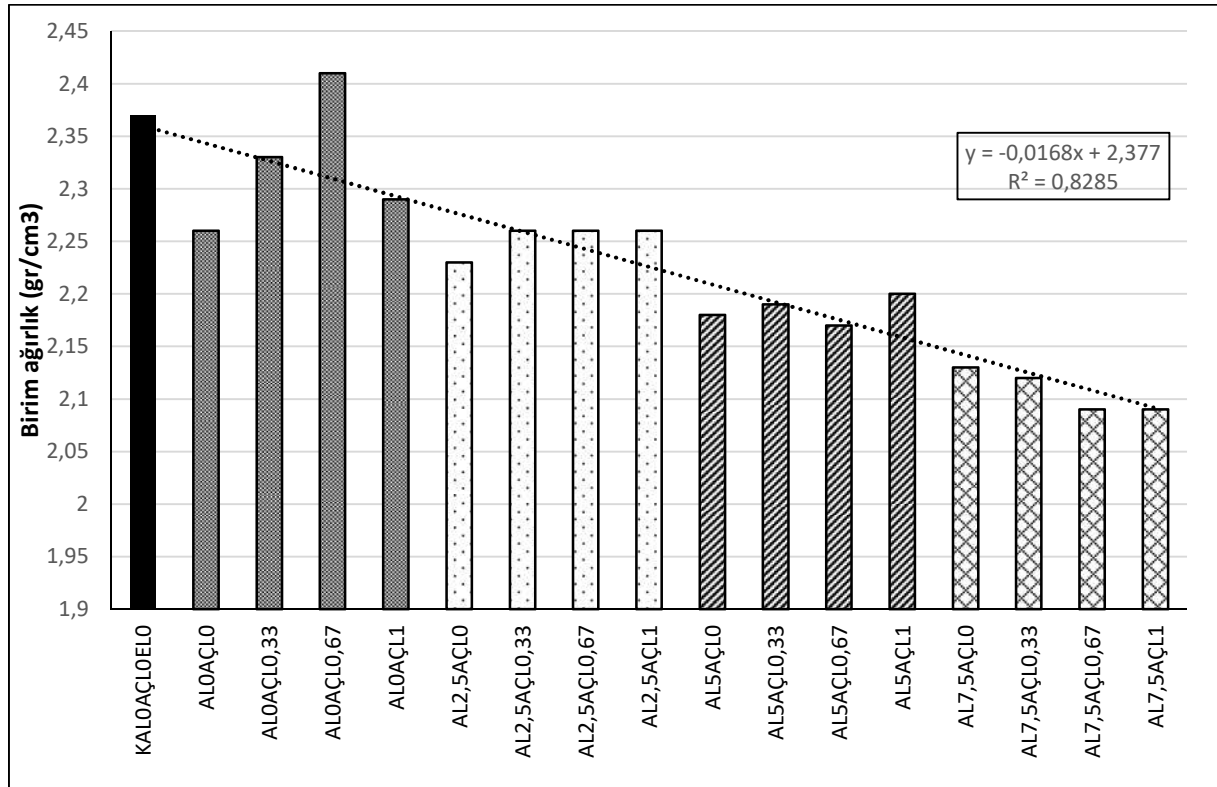
| KODU         | Birim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> ) | KODU         | Birim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> ) |
|--------------|-------------------------------------|--------------|-------------------------------------|
| KAL0AÇL0EÇL0 | 2,37                                | AL5AÇL0      | 2,18                                |
| AL0AÇL0      | 2,26                                | AL5AÇL0,33   | 2,19                                |
| AL0AÇL0,33   | 2,33                                | AL5AÇL0,67   | 2,17                                |
| AL0AÇL0,67   | 2,41                                | AL5AÇL1      | 2,20                                |
| AL0AÇL1      | 2,29                                | AL7,5AÇL0    | 2,13                                |
| AL2,5AÇL0    | 2,23                                | AL7,5AÇL0,33 | 2,12                                |
| AL2,5AÇL0,33 | 2,26                                | AL7,5AÇL0,67 | 2,09                                |
| AL2,5AÇL0,67 | 2,26                                | AL7,5AÇL1    | 2,09                                |
| AL2,5AÇL1    | 2,26                                |              |                                     |

Tablo 14’te de görülebileceği üzere Kontrol numunesinin (KAL0AÇLEÇL0) birim ağırlık değeri 2,37 gr/cm<sup>3</sup> iken lif içeren karışımların birim ağırlıkları 2,09 gr/ cm<sup>3</sup> ile 2,41 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişmiştir. Diğer taraftan, tüm gruplar içerisinde en yüksek (2,41 gr/cm<sup>3</sup>) birim ağırlık değerine AL0AÇL0,67 kodlu numune, en düşük (2,09 gr/cm<sup>3</sup>) birim ağırlık değerine ise AL7,5AÇL0,67 ve AL7,5AÇL1 koldu numuneler sahip olmuştur. En düşük ve en yüksek birim ağırlık değerlerine sahip olan örneklerin aralarındaki fark AL oranıdır. AL içermeyen (%0) karışımların birim ağırlıkları, en yüksek oranda (%7,5) AL içerenlerden daha fazla çıkmıştır.

Tablo 14’te verilen değerlerden hareketle Şekil 34’teki grafik çizilmiştir. Şekildeki yatay eksen de verilen karışım kodları incelendiğinde orijin noktasından uzaklaştıkça değişen ana unsurun atık lastik (AL) oranı olduğu görülecektir. Öyle ki orijine en yakın karışım da %0 olan AL oranı en sağdaki karışım da %7,5’e çıkmıştır. Bundan dolayı karışımdaki atık lastik miktarı arttıkça birim ağırlık değerlerinde anlamlı düşüşlerin söz konusu olduğu söylenebilir. Atık lastik, karışımdaki ince agrega ile ikame edilmek suretiyle karşıma katılmıştır. Ancak karışımdaki ince agreganın özgül ağırlığı 2,66 iken atık lastiğin özgül oranı 1.16’dır (Tablo 9).

Özgül ağırlıklar arasındaki bu farklılığın karışımların birim hacim ağırlıklarının azalmasına yol açtığı düşünülmektedir.

Diğer taraftan, endüstriyel çelik lif ile atık lastiklerden elde edilen çelik liflerin özgül ağırlıklarının yaklaşık aynı değerde olduğu göz önünde bulundurulacak olursa aynı ikame oranında AL içeren karışımların birim ağırlıklarının da aşağı-yukarı aynı çıkması beklenirdi. Şekil 34'te de görüleceği üzere çalışmada %2,5 ve %5 ikame oranında AL içeren karışımlarda nispeten birbirine yakın değerler elde edilmiş iken %0 ve %7,5 oranında AL içeren karışımlardaki birim ağırlık farklılıkları belirgindir. Bu durum eğilim çizgisinin belirleme katsayısı ( $R^2$ ) değerinden de anlaşılabilmektedir. Belirleme katsayısının 0,8285 çıkmış olması bağımlı değişken (birim ağırlık) ile bağımsız değişken (öncelikle AL) arasındaki ilişkinin lineerlikten uzaklaştığını göstermektedir.



**Şekil 34.** Karışımların birim ağırlıklarının atık lastik ve atık lif oranına göre değişimi

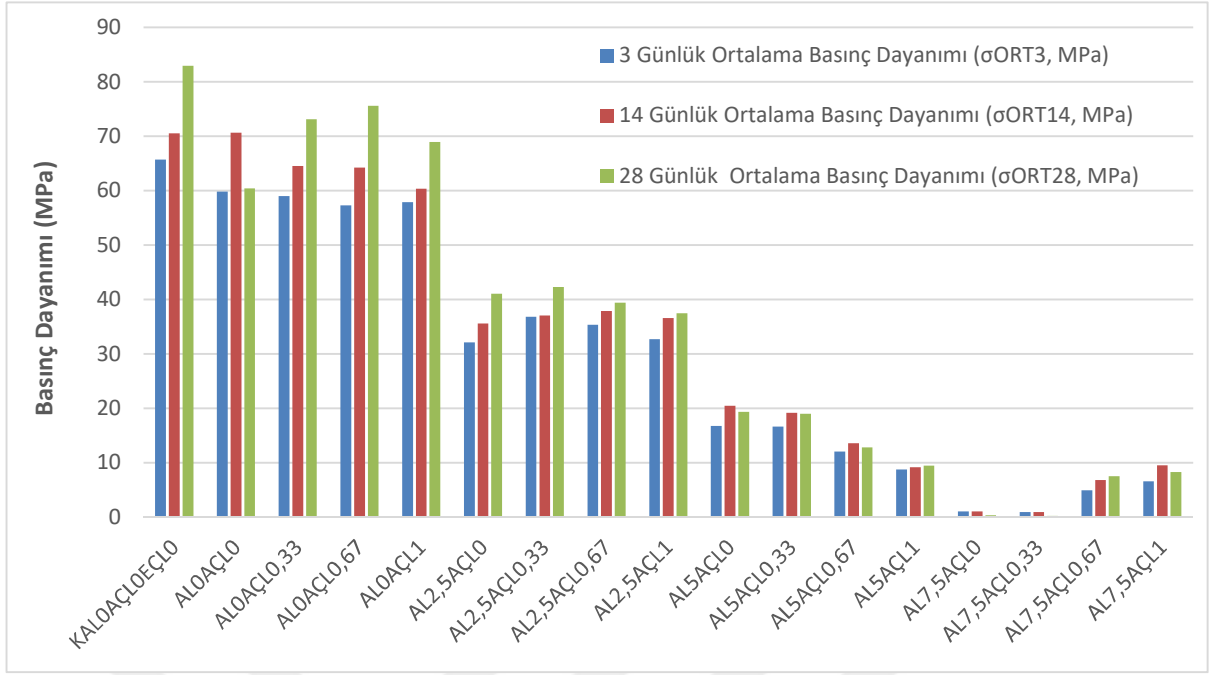
Aynı AL oranına sahip olan örneklerin birim ağırlık değerlerindeki bu farklılıklara yol açan ana nedenin deney esnasındaki ölçüm hataları olduğu düşünülmektedir. Her ne kadar hassas çalışmaya özen gösterilmiş olsa da çelik lif içeren karışımların birim ağırlık kaplarına - ki bunlar aynı zamanda numune kalıpları idi- yerleştirirken homojen yerleştirme yapılmadığı gibi kalıpların açık (üst) yüzeylerinin tesviyesinde de güçlükler yaşanmış ve tüm kalıplar aynı şartlarda deneye tabi tutulamamıştır.

## Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Polimer beton numunelerinin 3, 14 ve 28 günlük silindir basınç dayanımı deneyi sonuçları Tablo 15 ve Şekil 35’de verilmiştir. Her bir karışım için iki numune üretilmiştir.

**Tablo 15.** 3, 14 ve 28 Günlük Basınç Dayanım Sonuçları (MPa)

| Kod            | 3 Gün                         |                                 | 14 Gün                         |                                   | 28 Gün                         |                                  |
|----------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
|                | Tekil s.<br>( $\sigma_{B3}$ ) | Ortalama<br>( $\sigma_{ORT3}$ ) | Tekil s.<br>( $\sigma_{B14}$ ) | Ortalama<br>( $\sigma_{ORT.14}$ ) | Tekil s.<br>( $\sigma_{B28}$ ) | Ortalama<br>( $\sigma_{ORT28}$ ) |
| KAL0AÇL0EÇL0   | 66,56                         | 65,74                           | 81,32                          | 70,55                             | 86,43                          | 82,92                            |
| KAL0AÇL0EÇL0-2 | 64,92                         |                                 | 59,77                          |                                   | 79,41                          |                                  |
| AL0AÇL0        | 64,22                         | 59,8                            | 69,71                          | 70,63                             | 66,9                           | 60,4                             |
| AL0AÇL0-2      | 55,37                         |                                 | 71,55                          |                                   | 53,9                           |                                  |
| AL0AÇL0,33     | 58,65                         | 59,02                           | 63,1                           | 64,54                             | 65,62                          | 73,14                            |
| AL0AÇL0,33-2   | 59,47                         |                                 | 65,97                          |                                   | 80,65                          |                                  |
| AL0AÇL0,67     | 57,56                         | 57,28                           | 73,1                           | 64,23                             | 85,23                          | 75,6                             |
| AL0AÇL0,67-2   | 57                            |                                 | 55,35                          |                                   | 65,97                          |                                  |
| AL0AÇL1        | 58,44                         | 57,86                           | 68,75                          | 60,38                             | 66,81                          | 68,92                            |
| AL0AÇL1-2      | 57,28                         |                                 | 52,01                          |                                   | 71,02                          |                                  |
| AL2,5AÇL0      | 34,12                         | 32,12                           | 31,85                          | 35,62                             | 41,46                          | 41,04                            |
| AL2,5AÇL0-2    | 31,11                         |                                 | 39,39                          |                                   | 40,62                          |                                  |
| AL2,5AÇL0,33   | 36,12                         | 36,81                           | 35,04                          | 37,09                             | 41,2                           | 42,32                            |
| AL2,5AÇL0,33-2 | 37,49                         |                                 | 39,14                          |                                   | 43,44                          |                                  |
| AL2,5AÇL0,67   | 36,58                         | 35,33                           | 37,51                          | 37,89                             | 34,61                          | 39,44                            |
| AL2,5AÇL0,67-2 | 34,08                         |                                 | 38,26                          |                                   | 44,26                          |                                  |
| AL2,5AÇL1      | 33,07                         | 32,69                           | 38,64                          | 36,6                              | 39,61                          | 37,45                            |
| AL2,5AÇL1-2    | 32,31                         |                                 | 34,56                          |                                   | 35,28                          |                                  |
| AL5AÇL0        | 16,93                         | 16,78                           | 21,08                          | 20,5                              | 17,03                          | 19,35                            |
| AL5AÇL0-2      | 16,63                         |                                 | 19,92                          |                                   | 21,67                          |                                  |
| AL5AÇL0,33     | 16,19                         | 16,67                           | 19,83                          | 19,16                             | 19,14                          | 18,99                            |
| AL5AÇL0,33-2   | 17,15                         |                                 | 18,48                          |                                   | 18,83                          |                                  |
| AL5AÇL0,67     | 12,5                          | 12,05                           | 12,65                          | 13,61                             | 14,1                           | 12,8                             |
| AL5AÇL0,67-2   | 11,6                          |                                 | 14,56                          |                                   | 11,49                          |                                  |
| AL5AÇL1        | 9,14                          | 8,75                            | 9,5                            | 9,17                              | 9,16                           | 9,5                              |
| AL5AÇL1-2      | 8,35                          |                                 | 8,84                           |                                   | 9,84                           |                                  |
| AL7,5AÇL0      | 1,07                          | 1,07                            | 1,22                           | 1,08                              | 0,4                            | 0,36                             |
| AL7,5AÇL0-2    | 1,07                          |                                 | 0,93                           |                                   | 0,32                           |                                  |
| AL7,5AÇL0,33   | 0,84                          | 0,92                            | 0,89                           | 0,96                              | 0,05                           | 0,22                             |
| AL7,5AÇL0,33-2 | 0,99                          |                                 | 1,03                           |                                   | 0,38                           |                                  |
| AL7,5AÇL0,67   | 4,99                          | 4,95                            | 7,75                           | 6,81                              | 7,69                           | 7,55                             |
| AL7,5AÇL0,67-2 | 4,9                           |                                 | 5,86                           |                                   | 7,41                           |                                  |
| AL7,5AÇL1      | 6,18                          | 6,57                            | 9,07                           | 9,53                              | 7,96                           | 8,28                             |
| AL7,5AÇL1-2    | 6,96                          |                                 | 9,99                           |                                   | 8,59                           |                                  |



**Şekil 35.** Tüm grupların 3, 14 ve 28 günlük basınç dayanımları

Şekil 35’den görülebileceği üzere tüm günler için en yüksek basınç dayanımı değerlerine kontrol numuneleri (KAL0AÇL0EÇL0) erişmiştir. Kontrol numuneleri atık lastik ve çelik lif (atık ve endüstriyel) içermemektedir. Bu verilerden hareketle, başta atık lastik oranı olmak üzere, her üç katkı maddesinin de polimer betonun basınç dayanımını düşürdüğü söylenebilir. Diğer taraftan, 28 günlük basınç dayanımlarının kontrol betonunda 83 MPa, AL=0 olan betonlarda ise 60-75,6 MPa aralığında çıkmış olması çalışma kapsamında üretilen bazı polimer betonların yüksek dayanımlı beton sınıfında değerlendirilebileceğini göstermektedir. Nitekim en yüksek basınç dayanımına sahip olan kontrol numunesinin kırılma şekli de yüksek dayanımlı betonlara özgü kırılma biçimi olan gevrek kırılma şeklinde olmuştur. Şekil 36’dan da görülebileceği gibi örnekler ortadan ikiye yarılmış ve kırılma agregadan olmuştur.



**Şekil 36.** KAL0AÇL0EÇL0 kodlu numunenin basınç deneyi sonucunda gevrek kırılma şekli

Aşağıda basınç dayanımlarında değişimler her iki parametreye göre ayrı ayrı irdelenmiştir.

#### **Atık çelik lif/endüstriyel çelik lif oranının betonların basınç dayanımına etkisi**

Atık lastik /dolgu oranının %0 olduğu (AL=0) polimer beton grubu incelendiğinde, AÇL/EÇL oranı arttıkça basınç dayanımında çok bariz olmasa da genel olarak düşüş olduğu söylenebilir. En yüksek dayanım değeri 28. günde AL0AÇL0,67 kodlu numunede 75.6 MPa olarak kaydedilmiştir. En düşük dayanım değeri (57.3 MPa) ise 3 günlük sonuçlarda AL0AÇL0,67 kodlu numunede görülmüştür.

AL/D oranı %0 olan gruptaki numuneler yüksek dayanımlı betonlarda görülen kırılma şekilleri gibi agregadan kırılmış olup örnek bir kırılma biçimi Şekil 37’da gösterilmiştir. Şekil 37’den görüldüğü gibi numune aynı zamanda gevrek kırılma temsil edecek şekilde yaklaşık 45°’lik açıyla kırılmıştır.



**Şekil 37.** AL=0 olan numunelerin basınç deneyi altındaki kırılma biçimine örnek (AL0AÇL1)

Atık lastik /dolgu oranının %2,5 olduğu grupta ise diğer grupta olduğu gibi AÇL/EÇL oranı arttıkça dayanımda önce artma daha sonra da azalma olduğu kaydedilmiştir. Öyle ki AÇL oranı 0 ve 1 olan karşımaların basınç dayanımları bir biri ile aynı iken 0,33 ve 0,67 olanlarındaki de biri diğerininki ile hemen hemen aynı çıkmıştır. Bununla birlikte en yüksek basınç dayanımı (42,2 MPa) 28. günde AL2,5AÇL0,33 kodlu numunede, en düşük basınç dayanımı (32.1 MPa) ise 3 günlük deney sonuçlarında AL2,5AÇL0 kodlu numunede olduğu görülmüştür.

Atık lastik/dolgu oranının %5 olduğu polimer beton grubunda AÇL/EÇL oranının 0 ve 0,33 olduğu karışımlarda birbirine yakın dayanım değerleri elde edilmiş iken oranlar arttıkça dayanımda kayda değer oranlarda düşüşler kaydedilmiştir. Bu grupta en yüksek dayanımı 14. günde AL5AÇL0 kodlu numunede 20,5 MPa olarak, en düşük dayanımı ise 3 günlük deney sonuçlarında AL5AÇL1 kodlu numunede 8,75 MPa olarak bulunmuştur.

Atık lastik/dolgu oranının %7,5 olduğu grupta ise AÇL/EÇL oranı arttıkça dayanımda artış olduğu kaydedilmiştir. Ancak, Tablo 13’de verilen gözlemlerde de belirtildiği gibi, AL7,5AÇL0 ve AL7,5AÇL0,33 kodlu numuneler 28. gün sonunda bile tam olarak sertleşmemiş (yani reçine bağlayıcılık işlevini yerine getirememiş) sadece 14 ve 28 günlüklerin dış yüzeyinde (kabuklarında) sertleşme olduğu gözlemlenmiştir. Öyle ki, bu iki grubun numunelerinin basınç dayanımı deneyinde fiçilaşarak dağıldığı gözlemlenmiştir. Şekil 38’de bu kırılma biçimine bir örnek verilmiştir. Bu numunelerin dayanım sonuçları yanıltıcı olacağı düşünüldüğünden bu iki karışım değerlendirme dışı tutulmuştur.



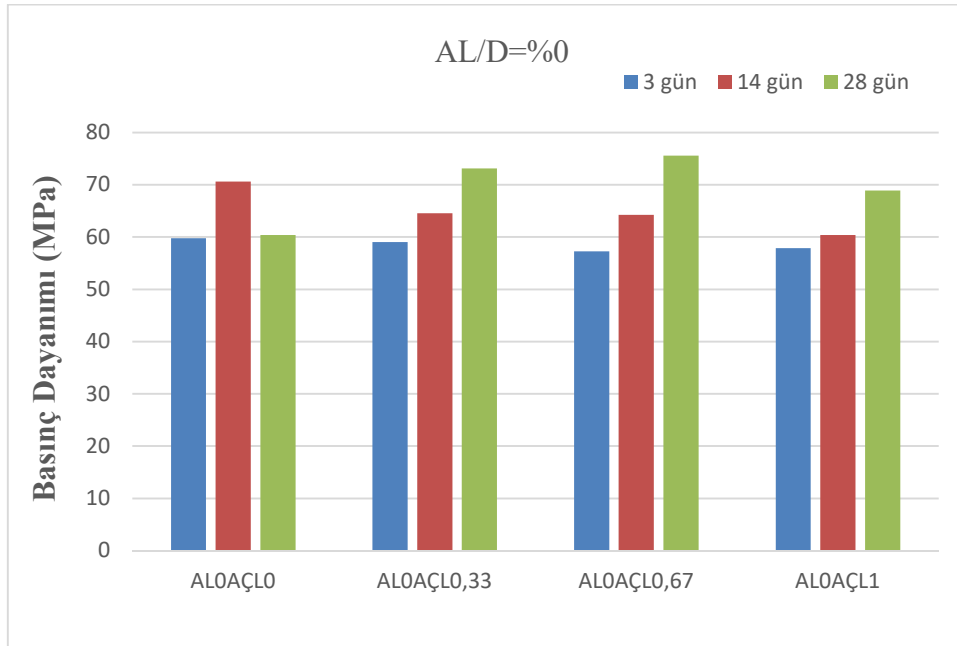
**Şekil 38.** AL7,5AÇL0,33 kodlu numunenin kırılma biçimi

Bu grupta ilginç olan AL7,5AÇL0,67 ve AL7,5AÇL1 kodlu numunelerin düşük de olsa belli bir dayanım değerine sahip olmalarıdır. Hatta AÇL/EL oranı arttıkça basınç dayanımı az da olsa artmıştır. Bu iki grup içerisinde en yüksek dayanımı (9,5 MPa) 14. günlük AL7,5AÇL1 kodlu numunede, en düşük dayanımı (4,95 MPa) ise 3 günlük AL7,5AÇL0,67 kodlu numunede görülmüştür.

Bu çalışmada atık lastikten çıkarılan çelik lifin, endüstriyel lif gibi betonun basınç dayanımına etki ettiği ve endüstriyel lifin atık çelik life nazaran biraz daha iyi sonuçlar yansıttığı gözlemlenmiştir. Hamzaçebi (2015) de yaptığı çalışmada şekil ve boyutlarına göre üç

sınıfa ayrılan atık çelik teller kullandı ve çoğu numunede yalın betondan daha düşük dayanımlar elde etti. Şengül (2016) ise yaptığı çalışmada atık lastiklerden elde edilmiş çelik tellerin betonda kullanıldığında betonun mekanik özelliklerine etkisini incelemek için bir araştırma yapmıştır. Şahit numuneye göre atık lastik telli numunelerin basınç dayanımı önemli ölçüde değişmemişken hem olumlu hem olumsuz ( $\pm\%7$ ) sonuçlar kaydetmiştir. Bu artışlar ve azalışların lifin beton içerisinde dağılımından kaynaklandığı düşünülmektedir. Tüm sonuçlar dikkate alındığında atık lastiklerden elde edilen çelik tellerin, standart çelik teller yerine beton içerisinde kullanılabilir olduğu teyit edilmiştir.

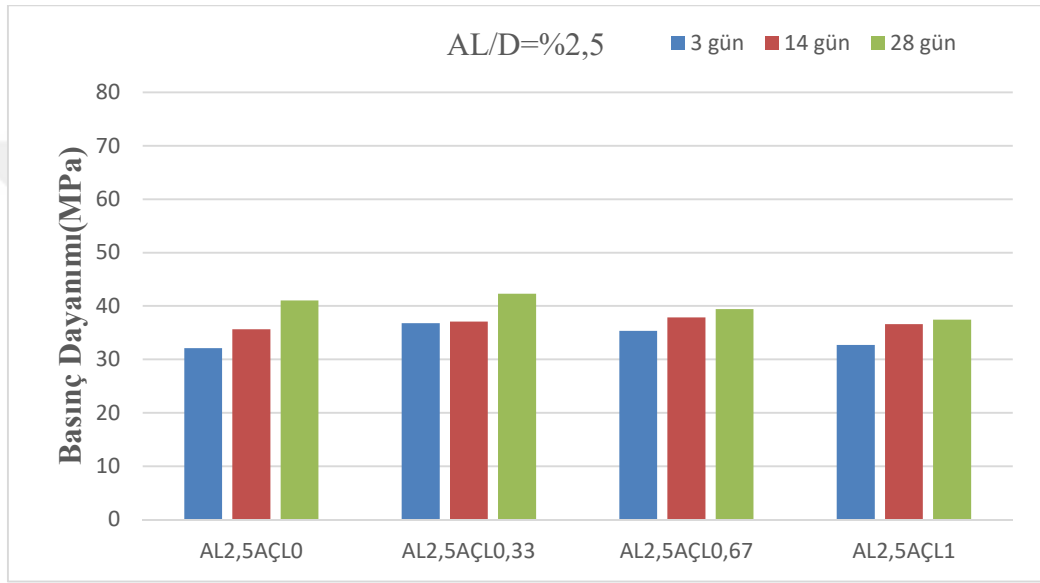
Atık lastik /dolgu oranı %0 için %33, %67 ve %100 oranında atık çelik lif kullanımında 3 günlük deney sonuçlarında sırasıyla %1,3, %4,2 ve %3,2 oranında azalış, 14 günlük deney sonuçlarında sırasıyla %8,6, %9 ve %14,5 oranında azalış, 28 günlük deney sonuçlarında sırasıyla %21,1, %25,2 ve %14,1 oranında artış gözlemlenmiştir (Şekil 39). Bütün serilerin; 14 günlük deney sonuçlarının 3 günlük deney sonuçlarına göre artış oranları AL0AÇL0, AL0AÇL0,33, AL0AÇL0,67, AL0AÇL1 kodlu numunelerde sırasıyla %18,1, %9,4, %12,1, %4,4 olarak belirlenmiştir. 28 günlük deney sonuçlarının 14 günlük deney sonuçlarına göre artışı AL0AÇL0,33, AL0AÇL0,67, AL0AÇL1 kodlu numunelerde gözlemlenmiş olup sırasıyla %,13,3, %17,7, %14,1 oranında olmuştur. Görüldüğü gibi 3-14 günden ziyade 14-28 gün arasındaki dayanım kazanma hızı daha fazla olmuştur. AL0AÇL0 kodlu numunenin 28 günlük dayanımının 14 günlük dayanımından daha düşük çıkmış olması ise ilginç bulunmuştur.



**Şekil 39.** AL=%0 olan polimer betonların basınç dayanımlarına AÇL oranının etkisi

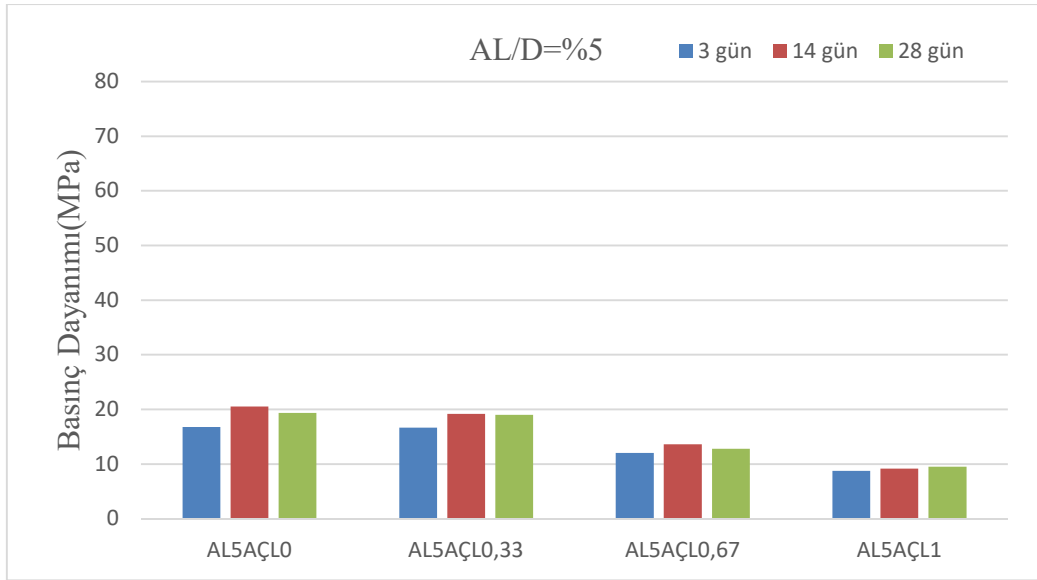
Atık lastik/dolgu oranı %2,5 için %33, %67 ve %100 oranında atık çelik lif kullanımında 3 günlük deney sonuçlarında sırasıyla %14,6, %10 ve %1,8 oranında artış, 14

günlük deney sonuçlarında sırasıyla %4,1, %6,4 ve %2,8 oranında artış, 28 günlük deney sonuçlarında sırasıyla %3,1 artış, %4,1 ve %9,6 oranında azalış gözlemlenmiştir (Şekil 40). Bütün serilerin; 14 günlük deney sonuçlarının 3 günlük deney sonuçlarına göre artış oranları AL2,5AÇL0, AL2,5AÇL0,33, AL2,5AÇL0,67, AL2,5AÇL1 kodlu numunelerde sırasıyla %10,9, %0,8, %7,2, %12 olarak belirlenmiştir. 28 günlük deney sonuçlarının 14 günlük deney sonuçlarına göre artışı AL2,5AÇL0, AL2,5AÇL0,33, AL2,5AÇL0,67, AL2,5AÇL1 kodlu numunelerde gözlemlenmiş olup sırasıyla %15,2, %14,1, %4,1, %2,3 oranında olmuştur. Bu grupta da AÇL=0 ve AÇL=2,5 olan karışımlar 3-14 gün arasında daha az 14-28 gün arasında ise daha fazla dayanım artışı sağlamışlardır.



**Şekil 40.** AL=%2,5 olan polimer betonların basınç dayanımlarına AÇL oranının etkisi

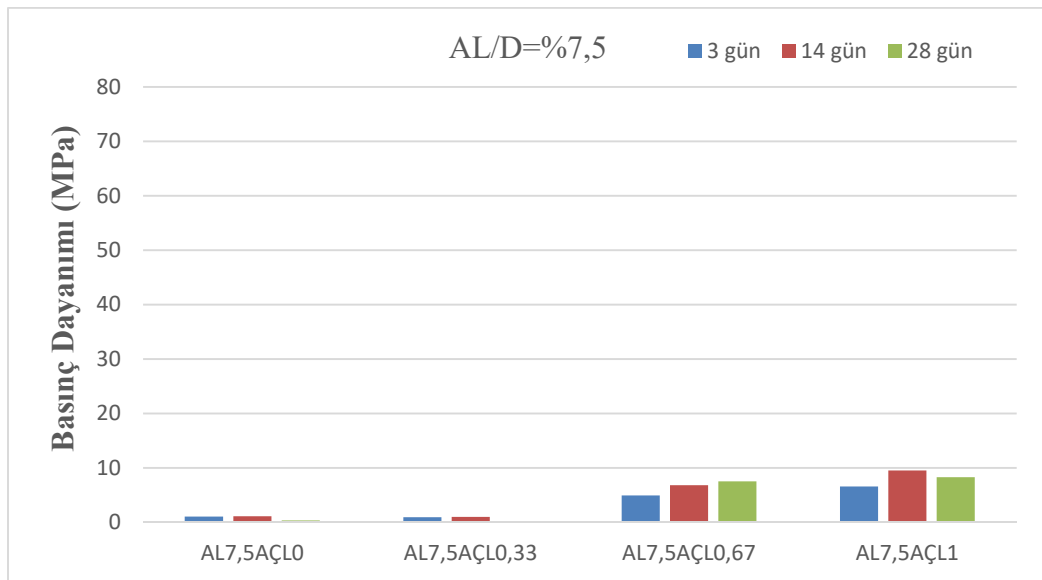
Atık lastik/dolgu oranı %5 için ise bütün karışımlarda zamanla dayanım düşüşleri görülmüştür. %33, %67 ve %100 oranında atık çelik lif kullanımı için bu azalmalar; 3 günlük deney sonuçlarında sırasıyla %0,66, %28 ve %48 oranında, 14 günlük deney sonuçlarında sırasıyla %6,5, %34 ve %55 oranında ve 28 günlük deney sonuçlarında sırasıyla %2, %34 ve %51 oranında olmuştur (Şekil 41). Bütün serilerin; 14 günlük deney sonuçlarının 3 günlük deney sonuçlarına göre artış oranları AL5AÇL0, AL5AÇL0,33, AL5AÇL0,67, AL5AÇL1 kodlu numunelerde sırasıyla %22,2, %14,9, %12,9 ve %4,8 olarak belirlenmiştir. 28 günlük deney sonuçlarının 14 günlük deney sonuçlarına göre AL5AÇL0, AL5AÇL0,33, AL5AÇL0,67 kodlu numunelerde ise yine sırasıyla %5,6, %0,9 ve %6 azalış, AL5AÇL1 kodlu numunede %3,6 oranında artış olmuştur.



**Şekil 41.** AL=%5 olan polimer betonların basınç dayanımlarına AÇL oranının etkisi

Atık lastik/dolgu oranı %7,5 için AL7,5AÇL0 ve AL7,5AÇL0,33 kodlu numunelerin değerlendirmeye alınmayacağı yukarıda nedenleriyle birlikte açıklanmıştı. Bu grup için yalnızca AL7,5AÇL0,67 ve AL7,5AÇL1 kodlu numuneler değerlendirilecektir.

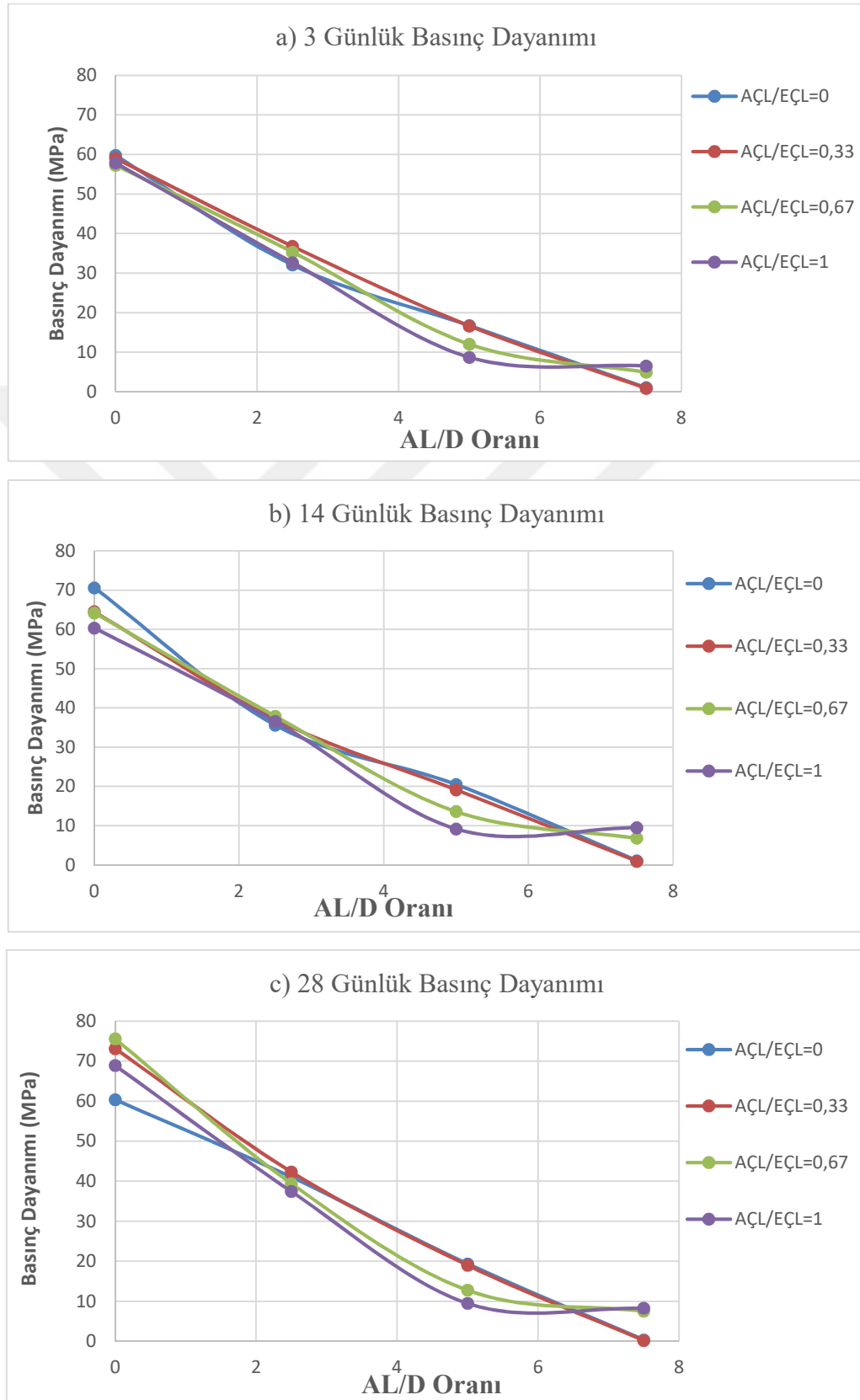
Bu grupta %67 ve %100 oranında atık çelik lif kullanımında 3 günlük deney sonucunda %32,7, 14 günlük deney sonuçlarında %39,9 ve 28 günlük deney sonuçlarında %9,7 oranlarında artışlar gözlemlenmiştir (Şekil 42). Bütün serilerin; 14 günlük deney sonuçlarının 3 günlük deney sonuçlarına göre artış oranları AL7,5AÇL0,67, AL7,5AÇL1 kodlu numunelerde sırasıyla %37,6 ve %45 olarak belirlenmiştir. 28 günlük deney sonuçlarının 14 günlük deney sonuçlarına göre AL7,5AÇL0,67 kodlu numunede 10,9 oranında artış, AL7,5AÇL1 kodlu numunede ise %13,1 oranında azalış olmuştur.



**Şekil 42.** AL=%7,5 olan betonların basınç dayanımlarına AÇL oranının etkisi

### Atık lastik/dolgu oranının polimer betonun basınç dayanımına etkisi

AL/D oranının betonların basınç dayanımı üzerindeki etkisi her üç deney yaşı için ayrı olmak üzere Şekil 43’de gösterilmiştir.



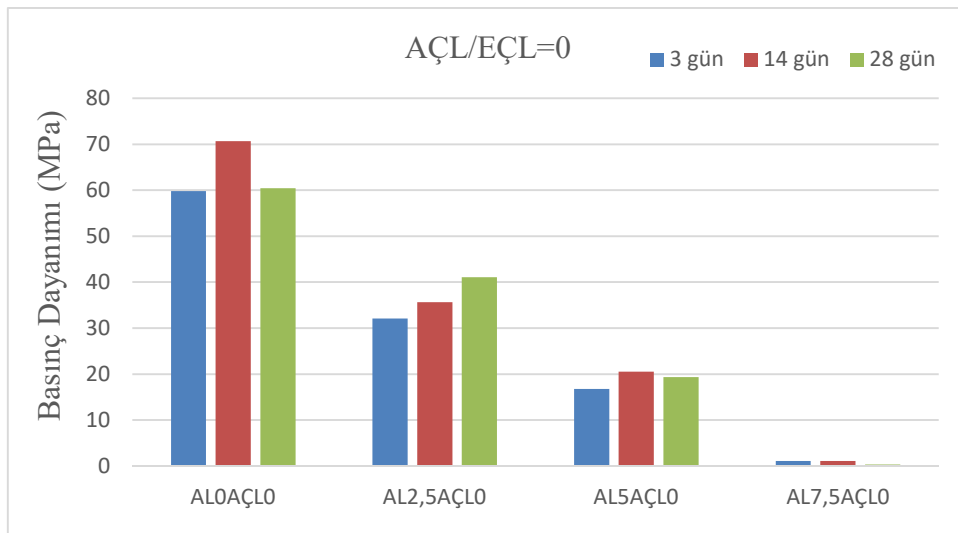
Şekil 43. AL/D oranına ait 28 günlük basınç dayanımı- AÇL/EÇL oranı arasındaki ilişki

Şekil 43'den görüldüğü gibi karışımlardaki atık lastik oranının artması ile, AÇL/EÇL oranına bağlı olarak küçük bazı değişiklikler olmakla birlikte, polimer betonların basınç dayanımlarında belirgin düşüşler olmuştur. Üstelik her üç yaşa ait grafikte birbirine bezerdir. Bu da, gün sayısından bağımsız olarak, AL oranına göre karışımların benzer davranışlar sergilediğini göstermiştir.

En yüksek dayanım değerleri %0, %33, %67 ve %100 AÇL içeren karışımlarda, sırasıyla, 75,6 MPa, 73,1 MPa, 75,6 MPa ve 68,9 MPa olmuştur. Bu dayanım değerlerine sahip olan karışımların tamamı AL içermeyen karışımlardır.

Aşağıdaki AÇL/EÇL oranları sabit alınarak çizilen grafikler üzerinden AL/D oranının etkisi ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

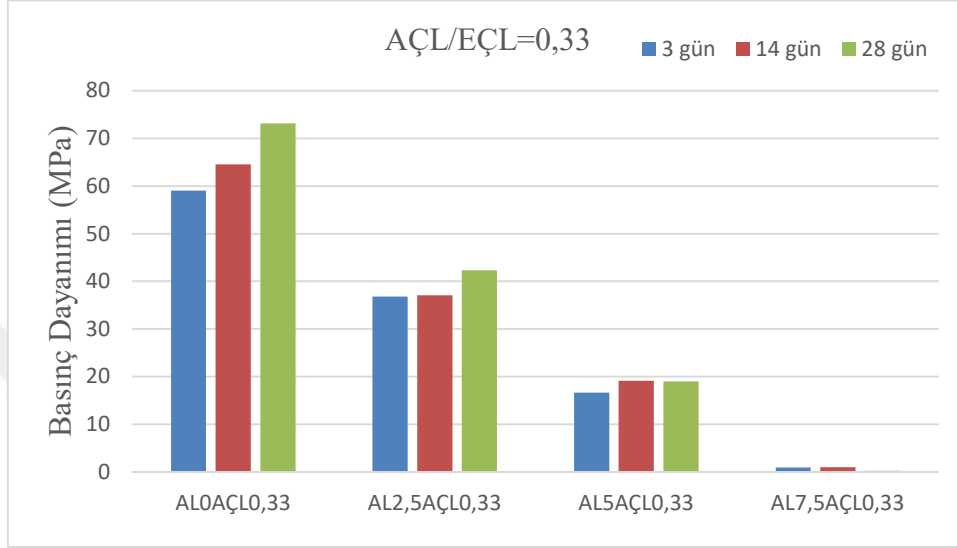
AÇL/EÇL oranı %0 olan grupta %2,5, %5 ve %7,5 oranında AL kullanımında 3 günlük deney sonuçlarında sırasıyla %46,3, %71,9 ve %98,2 oranında azalış, 14 günlük deney sonuçlarında sırasıyla %49,6, %71,0 ve %98,5 oranında azalış, 28 günlük deney sonuçlarında sırasıyla %32,1, %67,8 ve %99,4 oranında azalış gözlemlenmiştir (Şekil 44). Bütün serilerin; 14 günlük deney sonuçlarının 3 günlük deney sonuçlarına göre artış oranları AL0AÇL0, AL2,5AÇL0, AL5AÇL0, AL7,5AÇL0 kodlu numunelerde sırasıyla %18,1, %10,9, %22,2 ve %0,9 olarak belirlenmiştir. 28 günlük deney sonuçlarının 14 günlük deney sonuçlarına göre artışı sadece AL2,5AÇL0 kodlu numunede gözlemlenmiş olup %15,2 oranında olmuştur.



**Şekil 44.** AÇL=%0 olan karışımların basınç dayanımları üzerine AL oranının etkisi

AÇL/EÇL oranının 0,33 olduğu grupta, %2,5, %5 ve %7,5 oranında atık lastik kullanımında 3 günlük deney sonuçlarında sırasıyla %37,6, %71,8 ve %98,4 oranında azalış, 14 günlük deney sonuçlarında sırasıyla %42,5, %70,3 ve %98,5 oranında azalış, 28 günlük

deney sonuçlarında sırasıyla %42,1, %74 ve %99,7 oranında azalış gözlemlenmiştir (Şekil 45). Bütün serilerin; 14 günlük deney sonuçlarının 3 günlük deney sonuçlarına göre artış oranları AL0AÇL0,33, AL2,5AÇL0,33, AL5AÇL0,33, AL7,5AÇL0,33 kodlu numunelerde sırasıyla %9,4, %0,8, %14,9 ve %4,3 olarak belirlenmiştir. 28 günlük deney sonuçlarının 14 günlük deney sonuçlarına göre artışı AL0AÇL0,33, AL2,5AÇL0,33 kodlu numunelerde gözlemlenmiş olup sırasıyla %13,3 ve %14,1 oranında olmuştur.

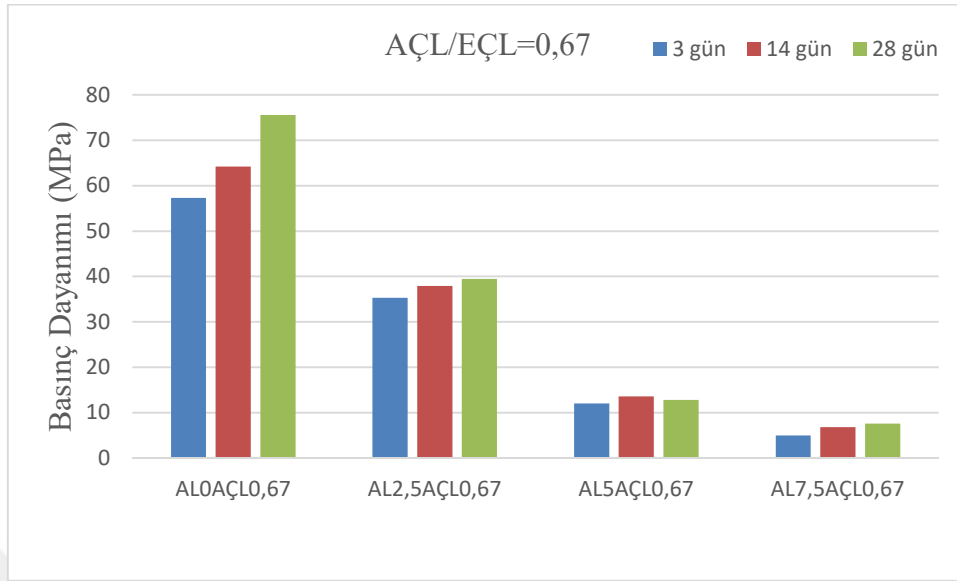


**Şekil 45.** AÇL=%33 olan karışımların basınç dayanımları üzerine AL oranının etkisi

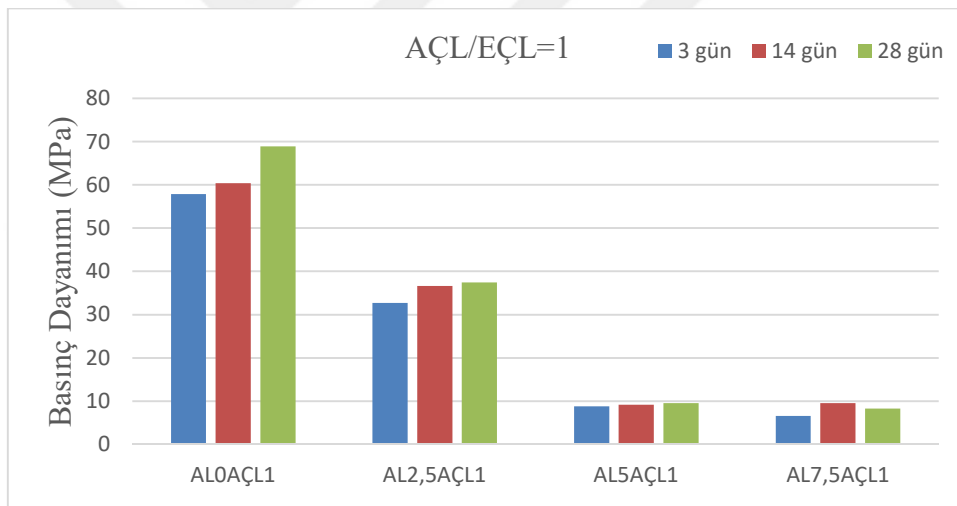
AÇL/EÇL oranının 0,67 olduğu grupta, %2,5, %5 ve %7,5 oranında atık lastik kullanımında 3 günlük deney sonuçlarında sırasıyla %38,3, %79 ve %91,4 oranında azalış, 14 günlük deney sonuçlarında sırasıyla %41, %78,8 ve %89,4 oranında azalış, 28 günlük deney sonuçlarında sırasıyla %47,8, %83,1 ve %90 oranında azalış gözlemlenmiştir (Şekil 46). Bütün serilerin; 14 günlük deney sonuçlarının 3 günlük deney sonuçlarına göre artış oranları AL0AÇL0,67, AL2,5AÇL0,67, AL5AÇL0,67, AL7,5AÇL0,67 kodlu numunelerde sırasıyla %12,1, %7,2, %12,9 ve %37,6 olarak belirlenmiştir. 28 günlük deney sonuçlarının 14 günlük deney sonuçlarına göre artışı AL0AÇL0,67, AL2,5AÇL0,67, AL7,5AÇL0,67 kodlu numunelerde gözlemlenmiş olup sırasıyla %15, %4,1 ve %10,9 oranında olmuştur.

AÇL/EÇL oranının 1 olduğu grupta, %2,5, %5 ve %7,5 oranında atık lastik kullanımında 3 günlük deney sonuçlarında sırasıyla %43,5, %84,9 ve %88,6 oranında azalış, 14 günlük deney sonuçlarında sırasıyla %39,4, %84,8 ve %84,2 oranında azalış, 28 günlük deney sonuçlarında sırasıyla %45,7, %86,2 ve %88 oranında azalış gözlemlenmiştir (Şekil 47). Bütün serilerin; 14 günlük deney sonuçlarının 3 günlük deney sonuçlarına göre artış oranları AL0AÇL1, AL2,5AÇL1, AL5AÇL1, AL7,5AÇL1 kodlu numunelerde sırasıyla %4,4, %12, %4,8 ve %45,1 olarak belirlenmiştir. 28 günlük deney sonuçlarının 14 günlük deney

sonuçlarına göre artışı AL0AÇL1, AL2,5AÇL1, AL5AÇL1 kodlu numunelerde gözlemlenmiş olup sırasıyla %14,1, %2,3 ve %3,6 oranında olmuştur.



Şekil 46. AÇL=%67 olan karışımların basınç dayanımları üzerine AL oranının etkisi



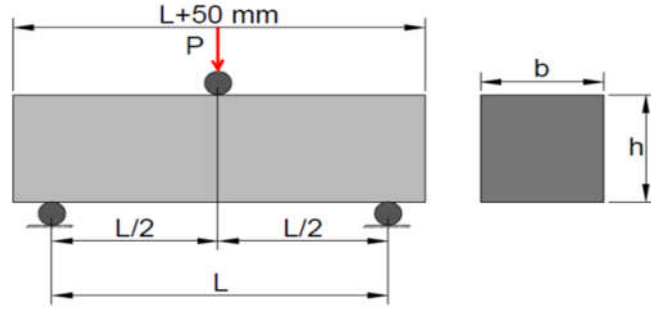
Şekil 47. AÇL=%100 olan karışımların basınç dayanımları üzerine AL oranının etkisi

Bu alt başlıktaki grafikler üzerinde gösterilmeyen KAL0AÇL0EÇL0 kodlu kontrol numunesinin 28 günlük basınç dayanımı çalışmada elde edilen en yüksek değer olan 82,9 MPa'dır. Bu başlık altındaki değerler kontrol betonunun dayanım değeri ile karşılaştırıldığında AL kullanımının polimer betonların basınç dayanımını düşürdüğü sonucuna varılabilir.

Benzer sonuçlar başka araştırmacılar tarafından da gözlemlenmiştir. Nitekim, Barbuta et al. (2017) betonun mekanik özelliklerinde atık lastik tozunun etkisini araştırdıkları çalışmalarında basınç dayanımı değerlerinin tüm atık lastik kullanım oranlar için azaldığını tespit etmişlerdir. Akın (2017) ise polimer betonların özelliklerinde atık araç lastiklerinin kullanımının etkisini incelediği çalışmada atık lastik oranı arttıkça basınç ve eğilme dayanımının azaldığını süneklik ve işlenebilirliğin ise arttığını rapor etmiştir.

## Eğilmede Çekme Dayanımı Deney Sonuçları

Betonun eğilme dayanımı tayini TS EN12390-5(Anonim 2019d) ve TS EN 14651+A1(Anonim 2008a) standartlarına göre açıklığın 1/2 noktasında yüklenmiş kirişlerde 3 nokta eğilme deneyi düzeneği ile yapılmıştır (Şekil 48). Eğilmede çekme dayanımları tayini için polimer beton numunelerinden her bir karışım için 2 adet 70\*70\*280 mm boyutlarında toplam 34 adet prizmatik numune üretilmiştir. Numunelerin deney günündeki yaşları 28’dir. Çalışmada örneklerin eğilmede çekme dayanımı 1 nolu formülünden hareketle hesaplanmıştır.



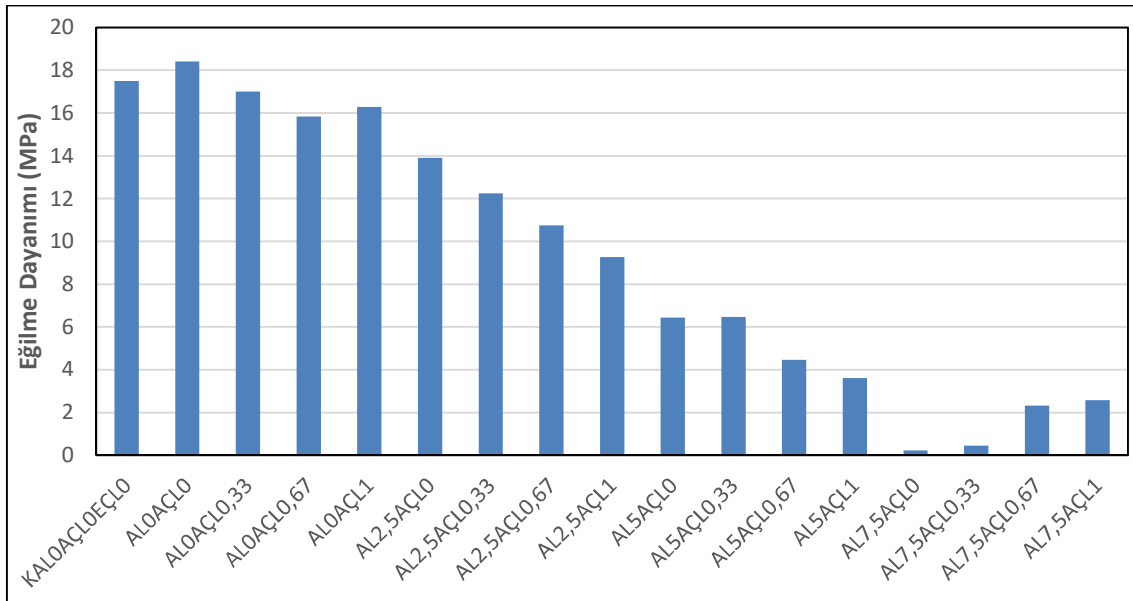
Şekil 48. Kiriş numunelerinin 3 nokta eğilme deneyi düzeneği (Erkek 2020)

$$\sigma_c = (3 \times P \times L) / (2 \times b \times h^2) \quad (1)$$

Burada  $\sigma_c$ : çekme day., P: yük, L: açıklık, b ve h ise kiriş kesitinin eni ve yüksekliğidir.

Çalışma kapsamında elde edilen eğilmede çekme dayanım deney sonuçları Tablo 16’da verilmiştir. Tekil sonuçlar tablonun ilk üç, ortalama sonuçlar ise son iki sütununda verilmiştir. Deneyler esnasında elde edilen yük-sehim eğrileri ise Ek-2’de verilmiştir.

Tablo 16’da verilen ortalama eğilmede çekme dayanımı (kısaca çekme dayanımı) değerlerinin grafize edilmiş hali Şekil 49’dadır.



Şekil 49. Tüm karışımların 28 günlük eğilmede çekme dayanımları

**Tablo 16.** 28 Günlük Eğilmede Çekme Dayanımı Deney Sonuçları

| KODU           | Tekil sonuçlar  |                                                |            | Ortalama sonuçlar                                        |                    |
|----------------|-----------------|------------------------------------------------|------------|----------------------------------------------------------|--------------------|
|                | Max Kuv.<br>(N) | Eğ. Day.<br>( $\sigma_e$ , N/mm <sup>2</sup> ) | Sehim (mm) | Ort. Eğ. Day.<br>( $\sigma_e$ , ort, N/mm <sup>2</sup> ) | Ort. Sehim<br>(mm) |
| KAL0AÇL0EÇL0   | 17403,6         | 17,49                                          | 0,88       | 17,49                                                    | 0,88               |
| KAL0AÇL0EÇL0-2 | 17403,6         | 17,49                                          | 0,88       |                                                          |                    |
| AL0AÇL0        | 17614,4         | 17,7                                           | 0,95       | 18,41                                                    | 1,3                |
| AL0AÇL0-2      | 19019,8         | 19,12                                          | 1,65       |                                                          |                    |
| AL0AÇL0,33     | 16763           | 16,85                                          | 0,79       | 17                                                       | 0,83               |
| AL0AÇL0,33-2   | 17065,1         | 17,15                                          | 0,86       |                                                          |                    |
| AL0AÇL0,67     | 16258,5         | 16,34                                          | 0,87       | 15,84                                                    | 0,8                |
| AL0AÇL0,67-2   | 15249,7         | 15,33                                          | 0,72       |                                                          |                    |
| AL0AÇL1        | 16193,9         | 16,28                                          | 0,73       | 16,28                                                    | 0,73               |
| AL0AÇL1-2      | 16193,9         | 16,28                                          | 0,73       |                                                          |                    |
| AL2,5AÇL0      | 17096,6         | 17,18                                          | 0,87       | 13,91                                                    | 0,75               |
| AL2,5AÇL0-2    | 10575,5         | 10,63                                          | 0,62       |                                                          |                    |
| AL2,5AÇL0,33   | 13712,4         | 13,78                                          | 1,93       | 12,24                                                    | 1,35               |
| AL2,5AÇL0,33-2 | 10636,2         | 10,69                                          | 0,77       |                                                          |                    |
| AL2,5AÇL0,67   | 10581           | 10,64                                          | 1,91       | 10,75                                                    | 1,22               |
| AL2,5AÇL0,67-2 | 10809,3         | 10,87                                          | 0,52       |                                                          |                    |
| AL2,5AÇL1      | 8943,65         | 8,99                                           | 0,15*      | 9,27                                                     | 0,78               |
| AL2,5AÇL1-2    | 9503,47         | 9,55                                           | 0,78       |                                                          |                    |
| AL5AÇL0        | 6172,86         | 6,21                                           | 0,85       | 6,44                                                     | 0,66               |
| AL5AÇL0-2      | 6624,42         | 6,66                                           | 0,37       |                                                          |                    |
| AL5AÇL0,33     | 6432,08         | 6,47                                           | 1,4        | 6,47                                                     | 1,4                |
| AL5AÇL0,33-2   | -               | -                                              | -          |                                                          |                    |
| AL5AÇL0,67     | 4517,18         | 4,54                                           | 0,73       | 4,47                                                     | 0,59               |
| AL5AÇL0,67-2   | 4370,12         | 4,39                                           | 0,45       |                                                          |                    |
| AL5AÇL1        | 3292,97         | 3,31                                           | 0,27       | 3,61                                                     | 0,33               |
| AL5AÇL1-2      | 3885            | 3,91                                           | 0,39       |                                                          |                    |
| AL7,5AÇL0      | 297,69          | 0,3                                            | 1,3        | 0,23                                                     | 1,3                |
| AL7,5AÇL0-2    | 145,5           | 0,15                                           | 0,27*      |                                                          |                    |
| AL7,5AÇL0,33   | -               | -                                              | -          | 0,45                                                     | 0,97               |
| AL7,5AÇL0,33-2 | 449,88          | 0,45                                           | 0,97       |                                                          |                    |
| AL7,5AÇL0,67   | 2398,23         | 2,41                                           | 0,77       | 2,32                                                     | 1,41               |
| AL7,5AÇL0,67-2 | 2210,93         | 2,22                                           | 2,05       |                                                          |                    |
| AL7,5AÇL1      | 2113,93         | 2,13                                           | 0,42       | 2,58                                                     | 0,8                |
| AL7,5AÇL1-2    | 3020,37         | 3,04                                           | 1,17       |                                                          |                    |

\*: Diğer numune ile arasında yaklaşık beş kat fark olan bu iki değer anomali kabul edilmiş ve ortalamanın hesaplanmasında göz önünde bulundurulmamıştır.

Şekil 49'dan karışımlardaki AL ve AÇL oranları arttıkça çekme dayanımlarında azalmaların olduğu görülmektedir. En yüksek çekme dayanım değerleri 18.4 MPa ile AL0AÇL0 kodlu ve 17,5 MPa ile KAL0AÇL0EÇL0 (kontrol) kodlu numunelerden, en düşük çekme dayanımları ise 28 gün sonunda tam olarak sertleşmeyen AL7,5AÇL0 ve AL7,5AÇL0,33 kodlu örneklerden elde edilmiştir. Kontrol numunesinin çekme dayanımının diğerlerinden bir miktar daha düşük olması içerisinde çelik lif bulundurmaması ile açıklanabilir. Çünkü AL0AÇL0 kodlu karışımda endüstriyel çelik lif bulunmaktadır. Bu sonuç, endüstriyel çelik liflerin polimer betonların çekme dayanımlarını artırdığının kanıtı olarak görülebilir. Topsakal ve Özel (2015) de lif oranının polimer betonun eğilmede çekme mukavemetini artırdığını ve çatlakları önlemesi açısından lif kullanımının gerekliliğini vurgulamışlardır.

Şekil 49'dan hareketle yapılan detaylı değerlendirmeler ise aşağıda verilmiştir.

#### **Atık çelik lif/endüstriyel çelik lif oranının karışımların eğilme dayanımına etkisi**

AL/D oranının %0 olduğu polimer beton grubu incelendiğinde, AÇL/EÇL oranı arttıkça çekme dayanımında genel olarak düşüş olduğu görülmüştür. En yüksek çekme dayanımı AL0AÇL0 kodlu numunede 18.4 MPa, en düşük çekme dayanımı ise AL0AÇL0,67 kodlu numunede 15,8 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu grupta, AL0AÇL1 kodlu karışımın çekme dayanımının (16,3 MPa) AL0AÇL0,67 kodlu numuneninkinden (15,8 MPa) yüksek olması dikkat çekmiştir.

AL/D oranının %2,5 olduğu polimer beton grubunda, diğer grupta olduğu gibi, AÇL/EÇL oranı arttıkça çekme dayanımında düşüşler gözlemlenmiştir. Bu grupta, en yüksek çekme dayanımı AL2,5AÇL0 kodlu numunede 13,9 MPa, en düşük çekme dayanımı ise AL2,5AÇL1 kodlu numunede 9,3 MPa olarak tespit edilmiştir.

AL/D oranının %5 olduğu grupta AÇL/EÇL oranı arttıkça çekme dayanımı önce sabit kalış ardından düşmüştür. Nitekim AL5AÇL0 ve AL5AÇL0,33 kodlu numunelerin çekme dayanımları hemen hemen aynı iken diğer iki karışımın çekme dayanımı değerleri daha düşüktür. Bu gruptaki maksimum-minimum çekme dayanımı aralığı 6,44 MPa - 3,61 MPa olarak belirlenmiştir.

AL/D oranının %7,5 olduğu polimer beton grubunda ise AÇL/EÇL oranı arttıkça çekme dayanımında artışlar kaydedilmiştir. Ancak, yukarıda basınç dayanımı sonuçlarının değerlendirildiği başlıkta belirtilen nedenden dolayı, AL7,5AÇL0 ve AL7,5AÇL0,33 kodlu numunelerin çekme dayanım sonuçları değerlendirme dışı tutulmuştur. Kalan AL7,5AÇL0,67

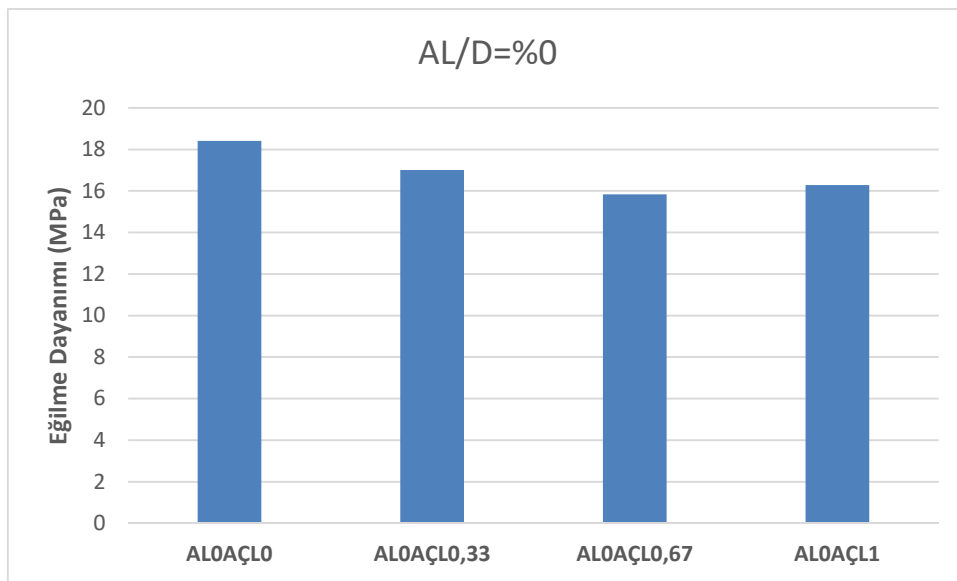
ve AL7,5AÇL1 kodlu örneklerin ise belli düzeyde çekme dayanımına sahip olduğunu ve AÇL oranının artmasıyla çekme dayanım değerinin çok az da olsa arttığını belirtmek gerekir.

Yukarıdaki değerlendirmelerden atık lastikten çıkarılan çelik lifin, polimer betonların eğilmede çekme dayanımı üzerinde endüstriyel lif gibi davranmadığı bir miktar dayanım kaybına yol açtığı söylenebilir. Bu sonuca liflerin geometrilerinin, boylarının, deformasyon şekillerinin katkısı olabileceği gibi beton içerisindeki dağılımlarının da etkisi olabileceği değerlendirilmiştir. Nitekim endüstriyel lifler daha düz, uçları kancalı, boyları sabit ve beton içinde dağılan demetler şeklinde iken atık lastik lifler eğri (bkz. Şekil 25), kancasız ve tekil haldedir. Ayrıca atık liflerin kolay topaklandıklarının beton üretim aşamasında gözlemlendiği (bkz. Tablo 13) yukarıda belirtilmiştir.

Benzer sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından da gözlemlenmiştir. Örneğin, Centonze *et al.* (2012) atık lastiklerden elde edilmiş çelik telleri betonda kullanarak ürettiği örneklerin eğilme dayanımlarının, standart tel içeren numuneye oranla %18 oranında daha düşük olduğunu rapor etmiştir.

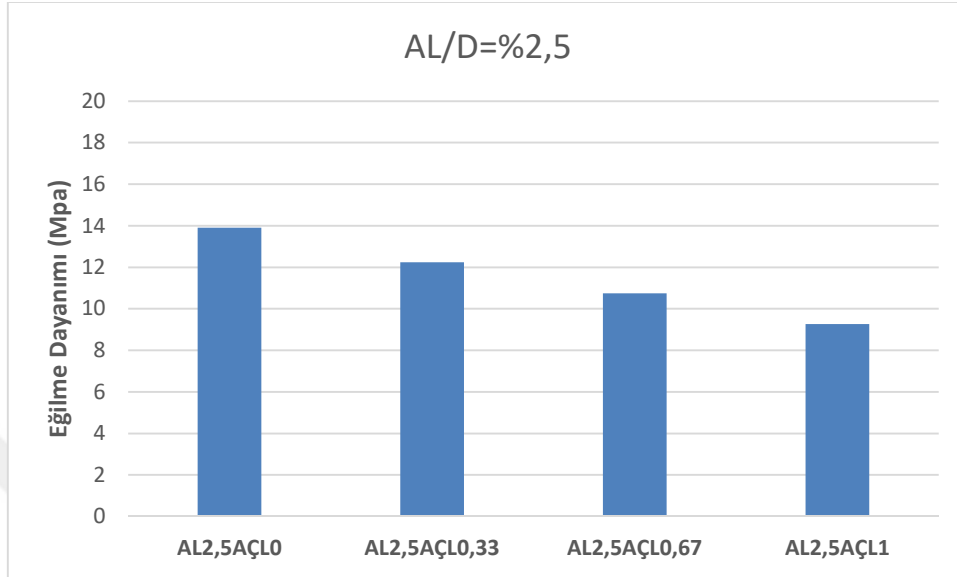
Aynı oranda AL/D içeren örnekler kendi aralarında karşılaştırıldıklarında ise AÇL'nin çekme dayanımı üzerindeki etkisi daha net olarak belirlenmiştir. Konu ile ilgili değerlendirmeler aşağıda verilmiştir.

AL/D oranı %0 olan örneklerle %33, %67 ve %100 oranında AÇL katılmasıyla çekme dayanımlarında sırasıyla %7,66, %13,96 ve %11,57 oranında düşüş gözlemlenmiştir (Şekil 50). Görüldüğü gibi AL içermeyen örneklerde AÇL miktarının artması çekme dayanımının azalmasına yol açmıştır.



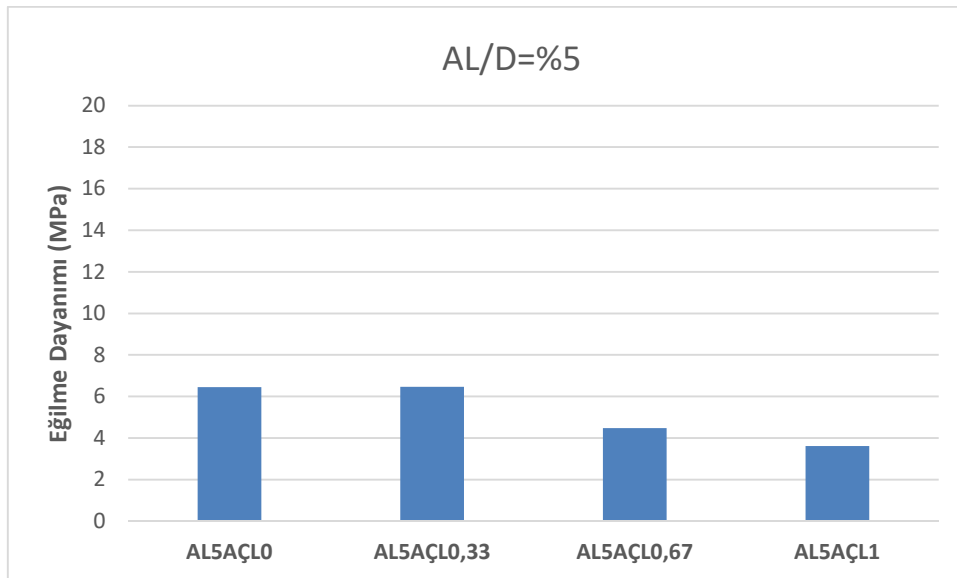
**Şekil 50.** %0 oranında atık lastik içeren örneklerin çekme dayanımı üzerine AÇL etkisi

AL/D oranı %2,5 olan karışımlara %33, %67 ve %100 oranında AÇL katılması ile çekme dayanımlarında sırasıyla %12,01, %22,72 ve %33,36 oranında düşüş gözlemlenmiştir (Şekil 51). Bu sonuçlar, karışımlara AÇL katılması ile çekme dayanımının yine düştüğünü ancak düşüşün AL içermeyen bir önceki gruba göre daha fazla olduğunu göstermektedir.



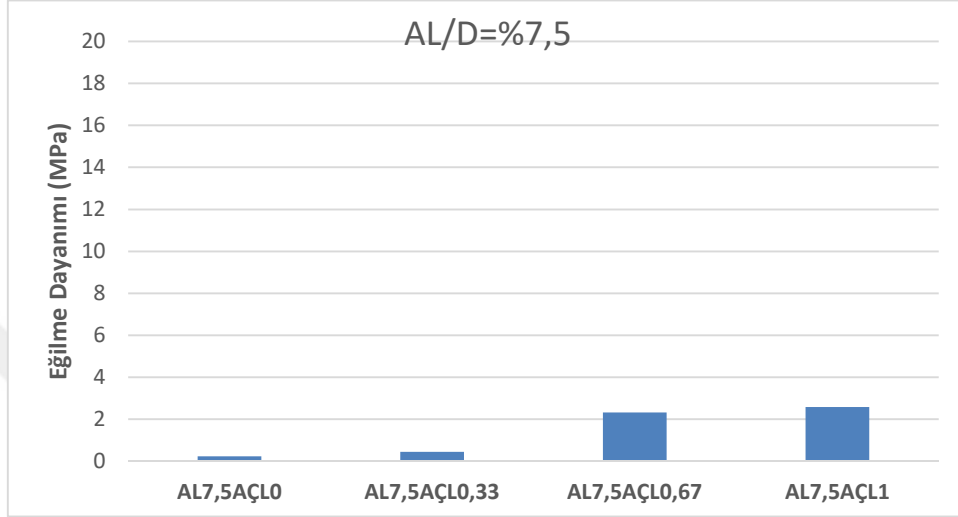
**Şekil 51.** %2,5 oranında atık lastik içeren örneklerin çekme dayanımı üzerine AÇL etkisi

AL/D oranı %5 olan grupta ise %33, %67 ve %100 oranında AÇL kullanımı ile çekme dayanımlarında sırasıyla %0,47 oranında artış, %30,59 ve %43,94 oranında azalış gözlemlenmiştir (Şekil 52). Görüldüğü gibi %33 oranında AÇL katılmasının sonuçlar üzerinde pek bir etkisi olmamıştır. Ancak, %67 ve %100 oranında AÇL katılması çekme dayanımını AL/D oranı %0 ve %2,5 olan gruplara göre daha fazla oranda düşürmüştür.



**Şekil 52.** %5 oranında atık lastik içeren örneklerin çekme dayanımı üzerine AÇL etkisi

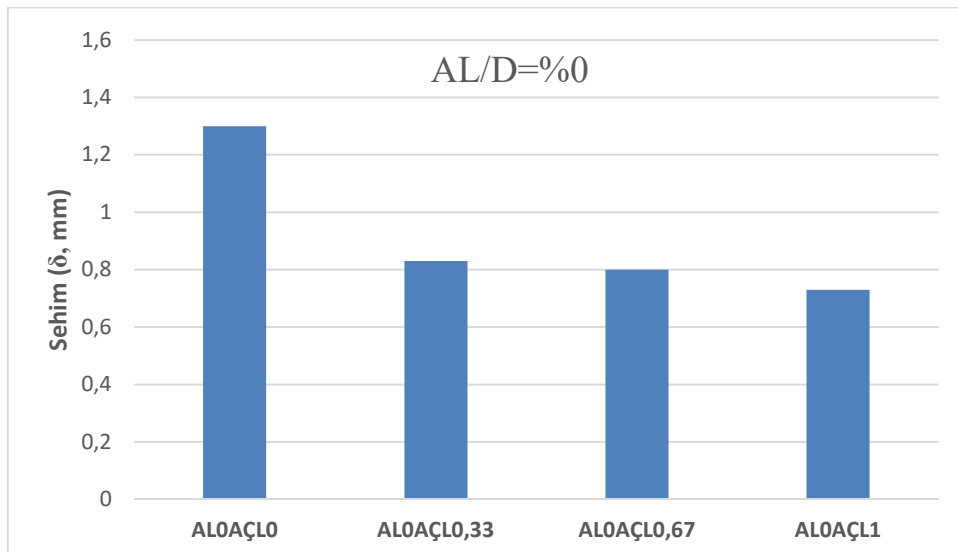
AL/D oranı %7,5 olan grupta yalnızca AL7,5AÇL0,67 ve AL7,5AÇL1 kodlu numunelerin sonuçları değerlendirilmiştir. Buna göre %67 oranında AÇL içeren karşıma göre %100 oranında AÇL içerenlerin çekme dayanımı %10,08 oranında artmıştır (Şekil 53). Bununla birlikte, AL7,5AÇL0,67 koldu numunenin çekme dayanımının 2,32 MPa, AL7,5AÇL1 koldu numuneninkinin ise 2,58 MPa olduğu göz önünde bulundurulacak olursa aralarında farkın çok da anlamlı olmadığını belirtmek gerekir.



**Şekil 53.** %7,5 oranında atık lastik içeren örneklerin çekme dayanımı üzerine AÇL etkisi

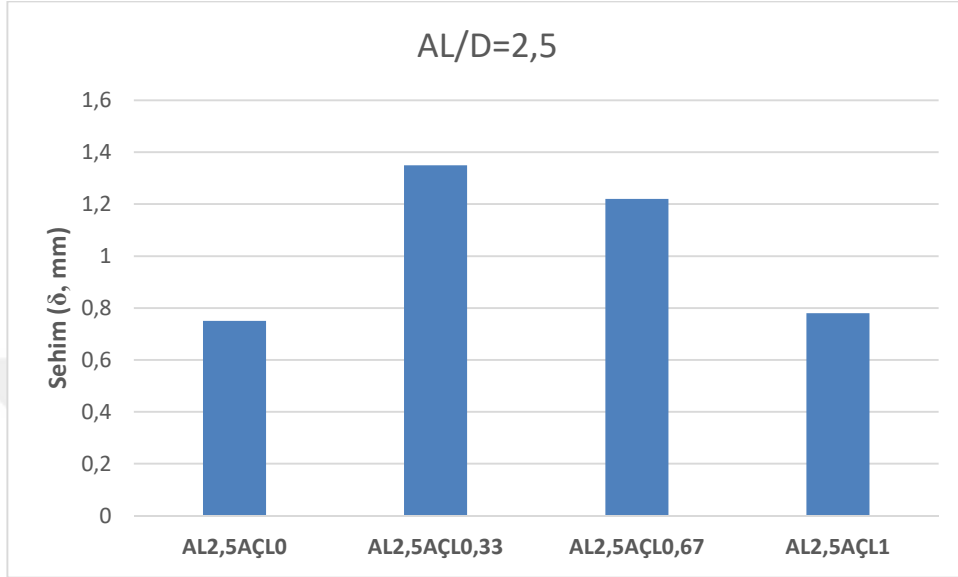
Eğilmede çekme deneylerinde örneklerin orta noktasında gerçekleşen sehim (düşey yer değiştirme,  $\delta$ ) değerleri de ölçülmüştür. Bu verilere göre yapılan değerlendirmeler aşağıdadır.

AL/D=%0 için %33, %67 ve %100 oranında AÇL içeren örneklerin sehimi sırasıyla %36,15, %38,5 ve %43,84 oranında azalmıştır. En yüksek sehim değeri 1,30 mm ile AL0AÇL0 kodlu numunede, en düşük sehim değeri ise 0,73 mm ile AL0AÇL1 kodlu numunede elde edilmiştir (Şekil 54).



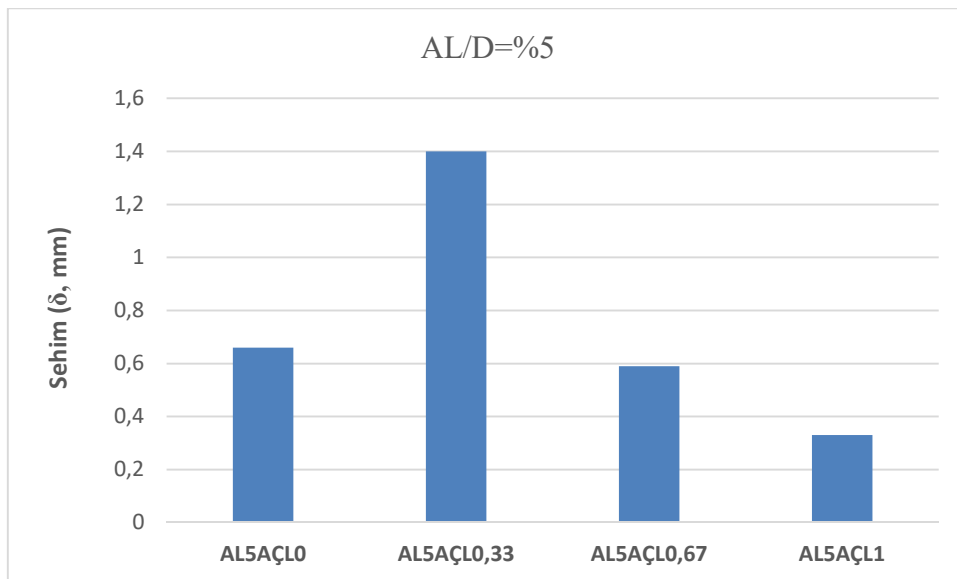
**Şekil 54.** %0 atık lastik içeren polimer betonlarda atık çelik lif kullanımının sehime etkisi

AL/D=%2,5 için %33, %67 ve %100 oranında AÇL kullanımında ise sehim önce sırasıyla %80 artmış, %63 artmış daha sonra ise %4 oranında düşmüştür. Bu gruplarda da en yüksek sehim değeri 1,35 mm ile AL2,5AÇL0,33 kodlu numunede, en düşük sehim değeri ise 0,75 mm ile AL2,5AÇL0 kodlu numunede elde edilmiştir (Şekil 55). AL2,5AÇL1 kodlu numenin de sehimini AL2,5AÇL0 kodlu numuneyle hemen hemen aynıdır (0,78 mm).



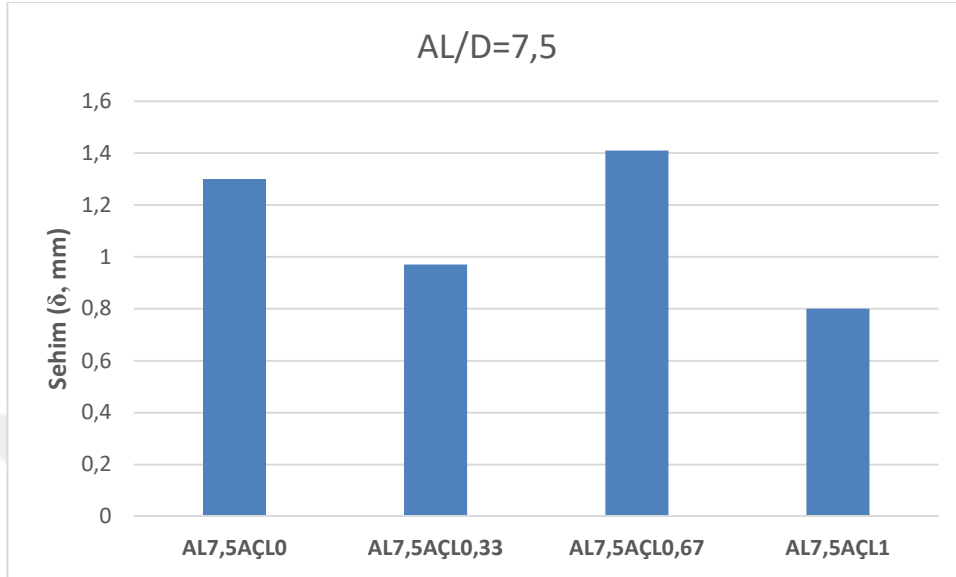
**Şekil 55.** %2,5 atık lastik içeren polimer betonlarda atık çelik lif kullanımının sehim etkisi

AL/D=%5 olan karışımlarda ise %33, %67 ve %100 oranında AÇL kullanımı ile numune sehimleri önce %112,12 oranında artmış daha sonra da sırasıyla %10,6 ve %50 oranında düşüş gözlemlenmiştir. Bu grupta en yüksek sehim değeri 1,40 mm ile AL5AÇL0,33, en düşük sehim değeri ise 0,33 mm ile AL5AÇL1 kodlu numunede elde edilmiştir (Şekil 56).



**Şekil 56.** %5 atık lastik içeren polimer betonlarda atık çelik lif kullanımının sehim etkisi

AL/D=%7,5 olan grup için ise %33, %67 ve %100 oranında AÇL kullanımında eğilme etkisi altındaki numunelerin sehimi sırasıyla %25 azalmış, %8,5 artmış ve %38,5 oranında azalmıştır. Bu grup ise en yüksek sehim değeri 1,41 mm ile AL7,5AÇL0,67, en düşük sehim değeri ise 0,79 mm ile AL7,5AÇL0 kodlu numunede elde edilmiştir (Şekil 57).



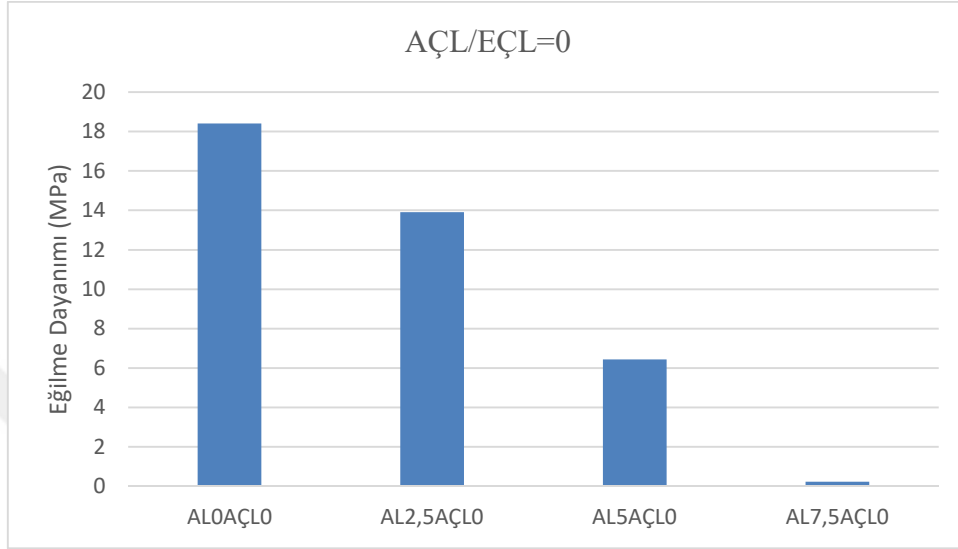
**Şekil 57.** %7,5 atık lastik içeren polimer betonlarda atık çelik lif kullanımının sehime etkisi

Tablo 16'dan görülebileceği gibi KAL0AÇL0EÇL0 kodlu şahit numunenin sehimi 0,88 mm olup sehimi bu değerden yüksek de düşük de olan atık çelik lif kullanılan örnekler vardır. Dolayısıyla, atık olsun endüstriyel olsun liflerin polimer betonun sehimi üzerindeki etkisi bu çalışmada net olarak belirlenememiştir.

Diğer taraftan, AL içermeyen karışımlarda AÇL oranının artmasıyla sehim değerlerinde bariz düşüşler görülmüştür. Yani AL=0 olan karışımlarda endüstriyel çelik lifin bir kısmının atık lifle değiştirilmesiyle kirişlerin sehim ile temsil edilen sünekliklerinde azalmaların olduğu söylenebilir. Bu duruma atık liflerin kancasız olmasının ve beton içinde homojen dağılmamasının yol açtığı düşünülmektedir. Karışımlara %2,5 ve %5 oranlarında AL katılması durumunda ise AÇL'nin %33 ve %67 oranlarının sehimleri artırdığı, %100 oranının ise düşürdüğü tespit edilmiştir. AL=0 içerikli karışımların aksine AL= %2,5 ve %5 oranlı örneklerde AÇL'nin EÇL ile kısmen yer değiştirilmesinin prizmatik örneklerin sünekliğini artırması önemli bulunmuştur. Çünkü kauçuk olan atık lastik parçacıklarının esnek yapısı sınırlı miktardaki düzensiz lif ve özel üretilmiş endüstriyel lifle bir arada kullanıldığında polimer betonların sünekliği artmıştır. AL=7,5 oranının ise dalgalı bir etki oluşturduğu söylenebilir ise de AL7,5AÇL0 ve AL7,5AÇL0,33 kodlu örnekler 28 gün sonra bile tam olarak sertleşmediği için kendi içinde bile olsa mukayeseli bir değerlendirme yapılması uygun bulunmamıştır. Ancak bu grupta da AÇL'nin %100 oranının en düşük sehimi verdiğini, belirtmek gerekir.

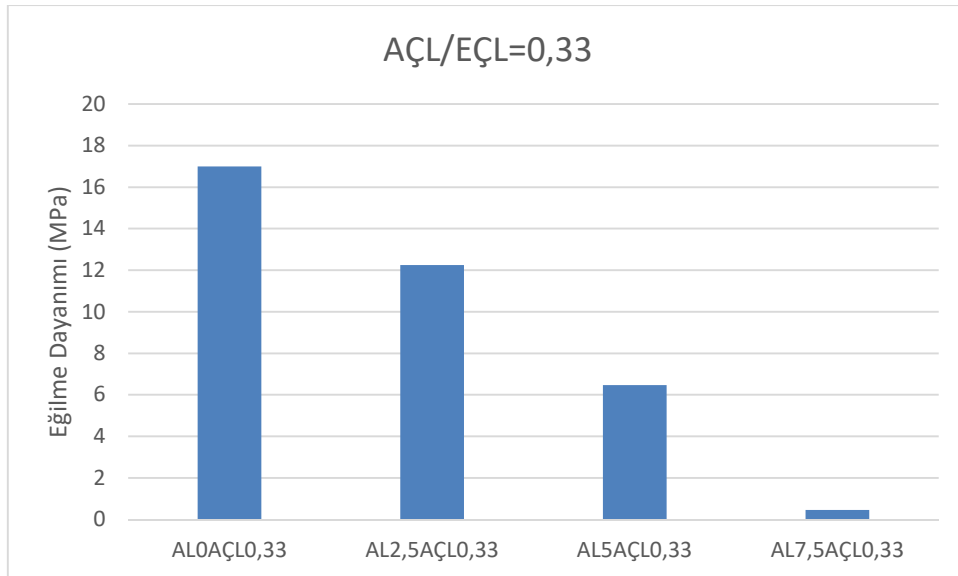
### Atık lastik/dolgu oranının polimer betondaki eğilme dayanımına etkisi

Atık çelik lif oranının %0 olduğu polimer beton grupları incelendiğinde, AL/D oranı arttıkça çekme dayanımının azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 58). En yüksek dayanım AL0AÇL0 kodlu numunede 18,41 MPa olarak kaydedilmiştir. En düşük dayanımı ise AL7,5AÇL0 kodlu numunede 0.23 MPa olarak belirlenmiştir.



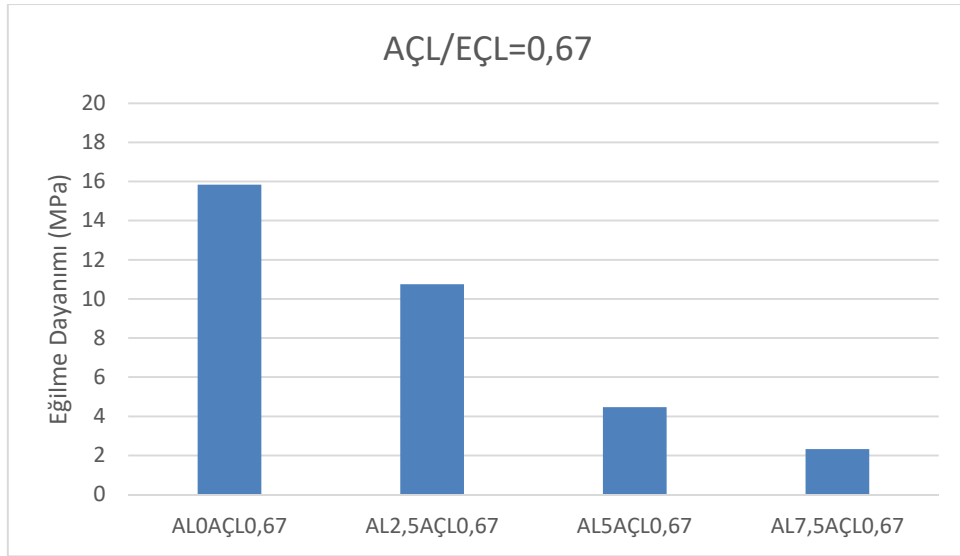
**Şekil 58.** %0 atık çelik lif içeren betonların çekme dayanımına atık lastik kullanımının etkisi

AÇL/EÇL oranının %33 olduğu karışımlarda da AL/D oranı arttıkça çekme dayanımı azalmıştır (Şekil 59). Bu grupta en yüksek dayanım AL0AÇL0,33 kodlu numunede 17 MPa olarak, en düşük dayanımı ise AL7,5AÇL0,33 kodlu numunede 0.45 MPa olarak belirlenmiştir.



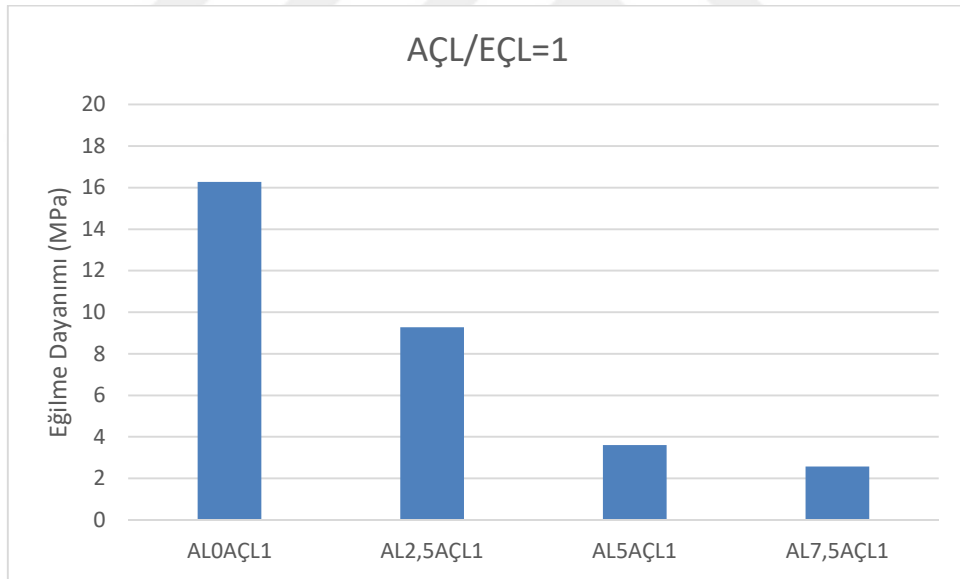
**Şekil 59.** %33 atık çelik lif içeren betonların eğilme dayanımına atık lastik kullanımının etkisi

AÇL/EÇL=0,67 olan polimer betonlarda da AL/D oranı arttıkça eğilme dayanımı azalmıştır (Şekil 60). Bu grupta en yüksek dayanım AL0AÇL0,67 kodlu numunede 15,84 MPa olarak, en düşük dayanımı ise AL7,5AÇL0,67 kodlu numunede 2.32 MPa olarak belirlenmiştir.



**Şekil 60.** %67 atık çelik lif içeren betonların çekme dayanımına atık lastik kullanımının etkisi

AÇL/EÇL=1 olan gruplar incelendiğinde, AL/D oranı arttıkça çekme dayanımının azaldığı görülmüştür (Şekil 61). Bu grupta en yüksek dayanım AL0AÇL1 kodlu numunede 16,28 MPa olarak en düşük dayanımı ise AL7,5AÇL1 kodlu numunede 2,58 MPa olarak belirlenmiştir.



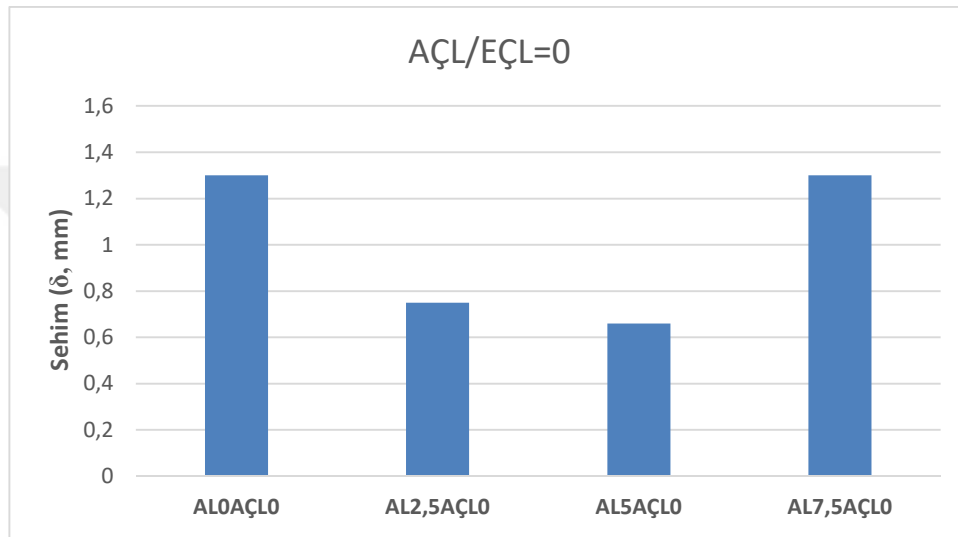
**Şekil 61.** %100 atık çelik lif içeren betonların eğilme dayanımına atık lastik kullanımının etkisi

AÇL/EÇL oranı %0 için, %2,5, %5 ve %7,5 oranında atık lastik kullanımında 28 günlük deney sonuçlarında sırasıyla %24, %65 ve %99 oranında azalış gözlemlenmiştir. %33 oranı için ise bu oranlar yine sırasıyla %28, %62 ve %97 şeklindedir. %67 oranlı karşımlar da oranlar sırasıyla %32, %72 ve %85'dir. %100 oranında ise sırasıyla %43, %78 ve %84 oranında azalış gözlemlenmiştir. Görüldüğü gibi AÇL/EÇL oranı sabit tutulduğunda karışımların eğilmede çekme dayanımları atık lastik oranının artması ile dramatik bir şekilde azalmıştır. Bu sonuç

elik lifli polimer betonların çekme dayanımlarının da atık lastik miktarı ile ters orantılı olarak değiştiğini göstermektedir.

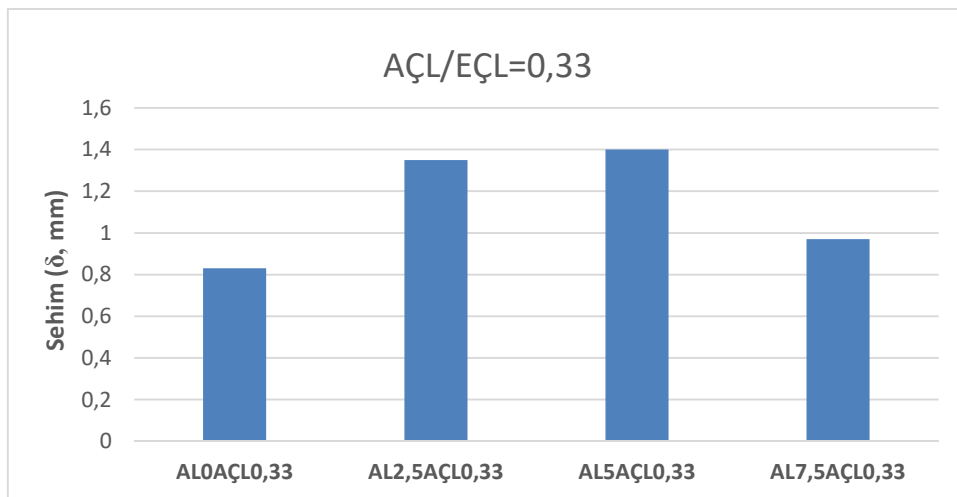
Aşağıdaki paragraflarda ise AL/EL oranının elik lifli polimer betonları sehimleri, dolayısıyla süneklik düzeyleri, üzerindeki etkileri irdelenmiştir.

AL/EL=0 olan karışımlara %2,5, %5 ve %7,5 oranında atık lastik katılması ile eğilme etkisi altındaki numunelerin sehimleri sırasıyla %42, %49 ve %0 oranlarında azalmıştır (şekil 62). Bu grupta en yüksek sehim değeri 1,30 mm ile AL0AL0 kodlu numunede, en düşük sehim değeri ise 0,66 mm ile AL5AL0 kodlu numunede elde edilmiştir.



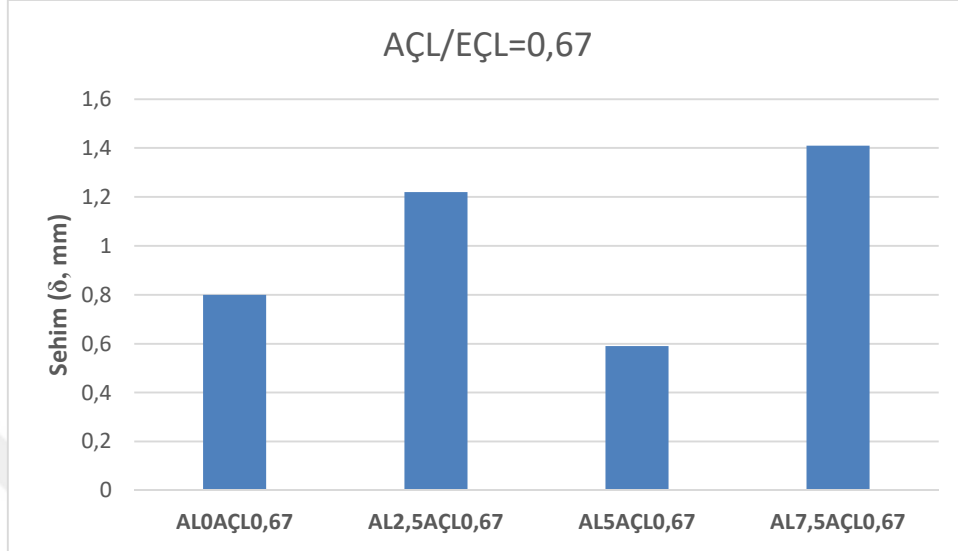
**şekil 62.** %0 atık elik lif içeren polimer betonlarda atık lastik kullanımının sehime etkisi

AL/EL=0,33 olan örneklerde %2,5, %5 ve %7,5 oranında atık lastik kullanımı ile numunelerin sehimleri sırasıyla %63, %69 ve %17 oranında artmıştır (şekil 63). Bu grupta en yüksek sehim değeri 1,40 mm ile AL5AL0,33 kodlu numunede, en düşük sehim değeri ise 0,83 mm ile AL0AL0,33 kodlu numunede elde edilmiştir.



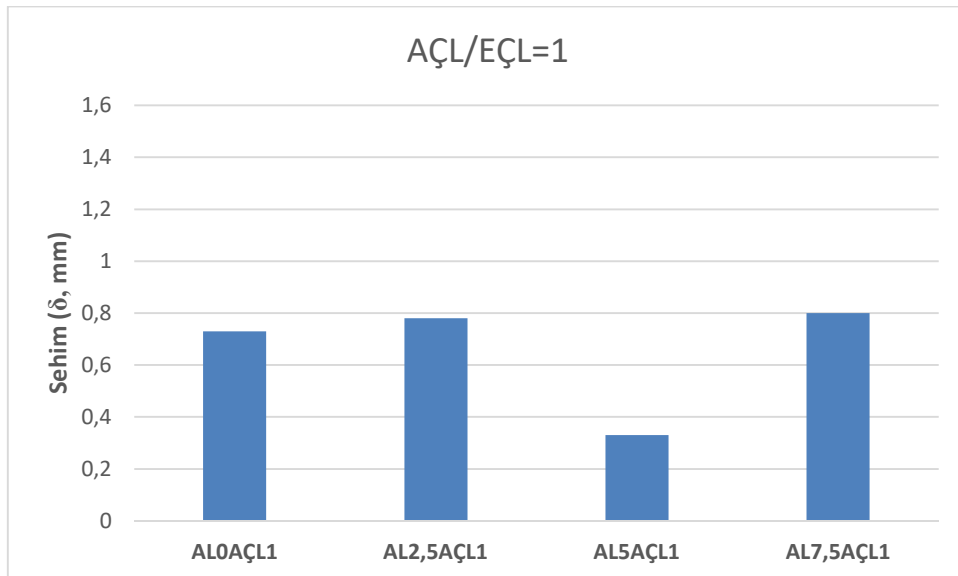
**şekil 63.** %33 atık elik lif içeren polimer betonlarda atık lastik kullanımının sehime etkisi

$A\mathcal{L}/E\mathcal{L}=0,67$  olan karışımlarda ise %2,5, %5 ve %7,5 oranında atık lastik kullanımı ile numunelerin sehimleri sırasıyla önce %52,5 artmış, sonra %26 azalmış ve tekrar %76 oranında artmıştır (Şekil 64). En yüksek sehim değeri ise 1,41 mm ile AL7,5AÇL0,67 kodlu numunede, en düşük sehim değeri 0,59 mm ile AL5AÇL0,67 kodlu numunede elde edilmiştir.



**Şekil 64.** %67 atık çelik lif içeren polimer betonlarda atık lastik kullanımının sehime etkisi

$A\mathcal{L}/E\mathcal{L}=1$  olan karışımlara %2,5, %5 ve %7,5 oranında atık lastik katılması ile ise örneklerin sehimleri sırasıyla %7 artmış, %55 azalmış ve %10 artmıştır (Şekil 65). En yüksek sehim değeri 0,8 mm ile AL7,5AÇL1 kodlu numunede, en düşük sehim değeri ise 0,33 mm ile AL5AÇL1 kodlu numunede elde edilmiştir.

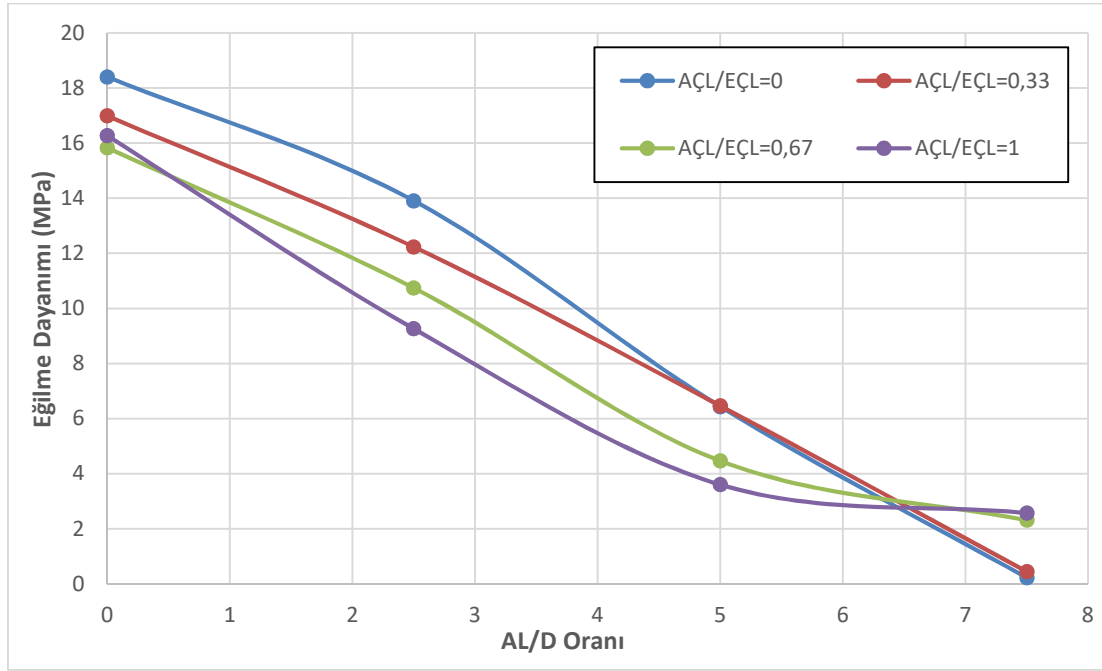


**Şekil 65.** %100 atık çelik lif içeren polimer betonlarda atık lastik kullanımının sehime etkisi

Yukarıda verilen dört grafik ve bu grafiklerden hareketle yapılan değerlendirmelerden de anlaşılacağı üzere  $A\mathcal{L}/E\mathcal{L}$  oranı sabit tutulup AL oranının artırılması durumunda çelik lifli polimer betonların sehimlerindeki değişim net olarak belirlenememiştir. Bununla birlikte

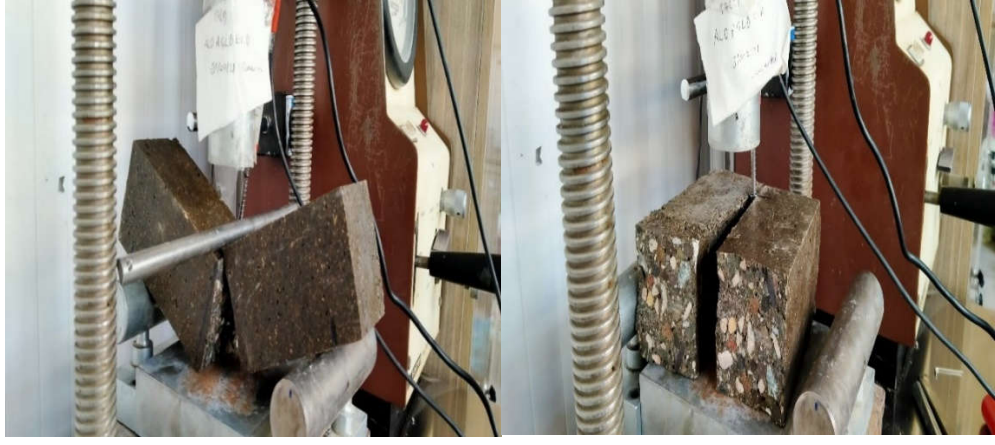
$AL/D=7,5$  olan karışımların sehimlerinin genelde yüksek olduğunu belirtmek gerekir. Bu tespit,  $AÇL/EÇL$  oranının sabit kalması şartıyla karışım içindeki atık lastik oranının artmasının polimer kirişlerin sünekliğini artırabileceği anlamına gelmektedir.

Yukarıdaki tespitlerden de anlaşılacağı gibi çalışma kapsamında seçilen parametrelerden polimer betonların eğilmede çekme dayanımı üzerinde en etkin olanı  $AL/D$ 'dir. Şekil 66'da verilen grafikten bu sonuç çok net olarak görülmektedir.

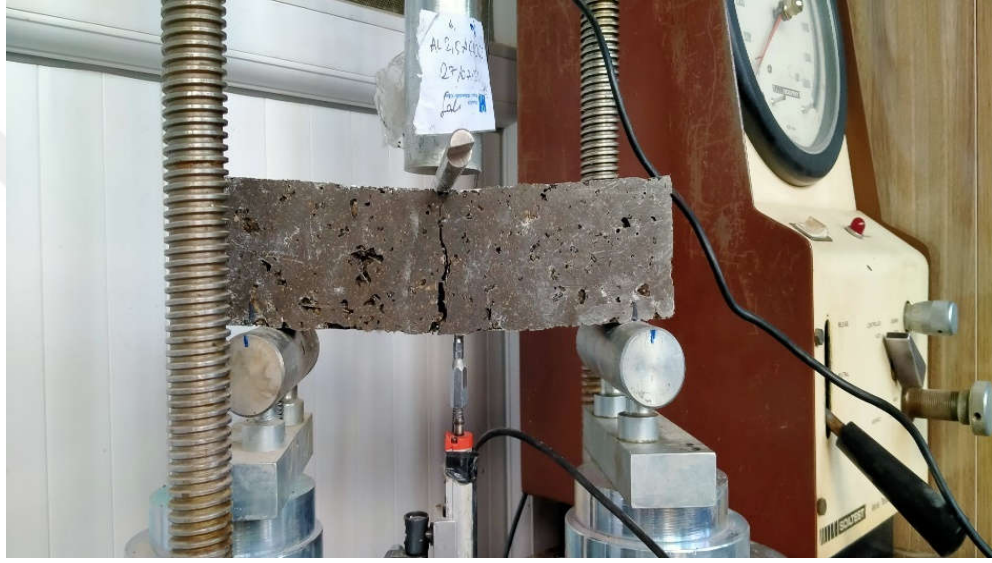


**Şekil 66.** AÇL/EÇL oranına göre AL/D-eğilme dayanımı arasındaki ilişki

Polimer betona atık araç lastiği parçacıkları, atık araç lastiği telinden üretilmiş çelik lif ve endüstriyel çelik lif kullanılmasıyla betonların kırılma biçimlerinin sünek kırılmaya kaydığı gözlemlenmiştir. Şekil 67-69'de deneyler esasında gözlemlenen kırılma biçimlerine örnek resimler gösterilmiştir. Şekillerden görülebileceği üzere Al, AÇL ve EÇL içermeyen polimer betondan üretilmiş kontrol numunesi gevrek olarak kırılmış iken  $AL/D$  oranı 0,25 olan çelik lifli polimer betonlar sünek kırılmıştır. Şekil 69'da 28 gün beklenilmesine rağmen tam olarak sertleşmeyen örneklerden  $AL7,5AÇL0,33$  koldu olanın kırılma şekli verilmiştir. Bu karışımlar ezilerek kırılmışlardır.



Şekil 67. Kontrol numunesinin (KAL0AÇL0EÇL0) gevrek kırılması



Şekil 68. AL içeren örneklerde görülen tipik sünek kırılma biçimi (resimdeki için  $AL/D=2,5$ )



Şekil 69. İçi tam olarak sertleşmeyen AL7,5AÇL0,33 kodlu numunenin ezilerek kırılması

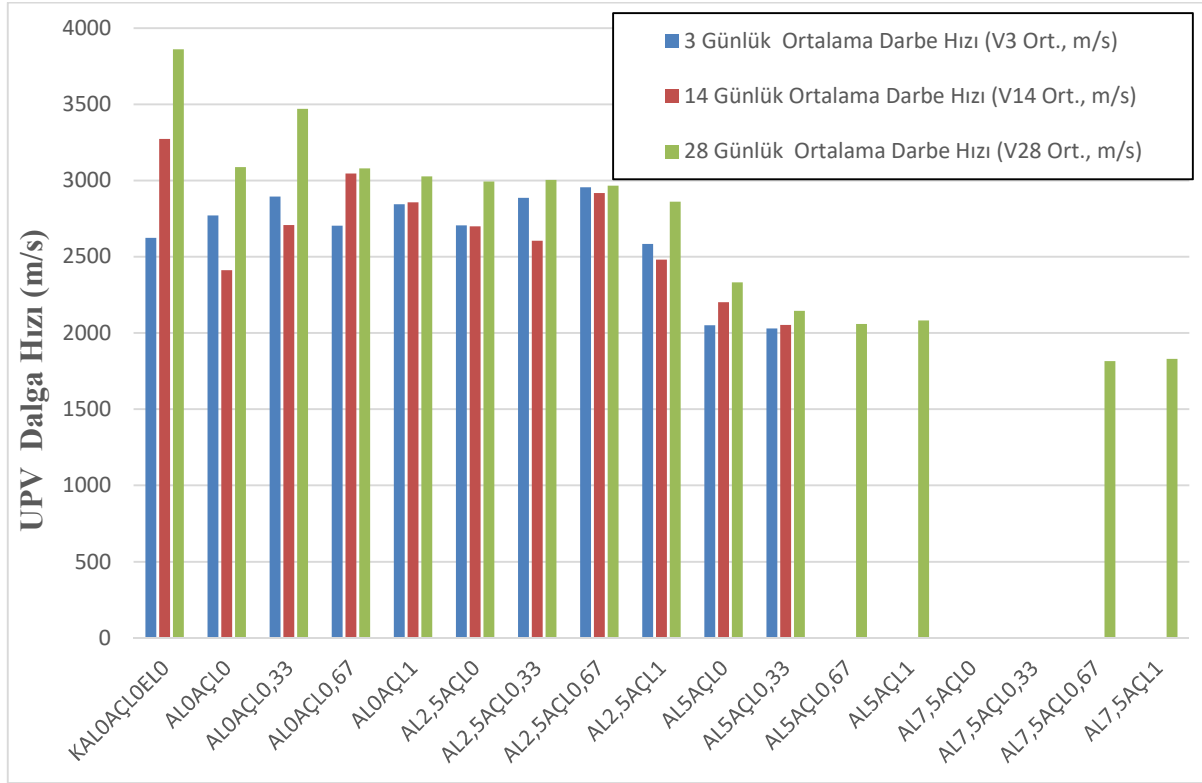
## UPV Deney Sonuçları

Numuneler üzerinde 3, 14 ve 28. günde yapılan UPV ölçümlerinin sonuçları Tablo 17’de verilmiştir.

**Tablo 17.** UPV Dalga Hızı Sonuçları

| KOD            | 3 Günlük UPV         |                            | 14 Günlük UPV         |                             | 28 Günlük UPV         |                             |
|----------------|----------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|
|                | V <sub>3</sub> (m/s) | V <sub>3, ORT.</sub> (m/s) | V <sub>14</sub> (m/s) | V <sub>14, ORT.</sub> (m/s) | V <sub>28</sub> (m/s) | V <sub>28, ORT.</sub> (m/s) |
| KAL0AÇL0EÇL0   | 2612                 | 2623,3                     | 3279,7                | 3271,9                      | 3825,8                | 3860                        |
| KAL0AÇL0EÇL0-2 | 2634,5               |                            | 3264                  |                             | 3894,2                |                             |
| AL0AÇL0        | 2794,5               | 2770                       | 2552,4                | 2412,2                      | 3090,6                | 3087,3                      |
| AL0AÇL0-2      | 2746,7               |                            | 2274                  |                             | 3084                  |                             |
| AL0AÇL0,33     | 3216,2               | 2894,1                     | 2891,9                | 2708,1                      | 3157,9                | 3469,1                      |
| AL0AÇL0,33-2   | 2572                 |                            | 2524,2                |                             | 3780,3                |                             |
| AL0AÇL0,67     | 2867                 | 2703,9                     | 3242,9                | 3046                        | 3279,4                | 3080,4                      |
| AL0AÇL0,67-2   | 2540,7               |                            | 2849                  |                             | 2881,4                |                             |
| AL0AÇL1        | 2851,3               | 2844,3                     | 2867                  | 2856,2                      | 2862,6                | 3027,5                      |
| AL0AÇL1-2      | 2837,3               |                            | 2845,4                |                             | 3192,3                |                             |
| AL2,5AÇL0      | 2867,3               | 2705,2                     | 2807,7                | 2700,1                      | 3044                  | 2994,1                      |
| AL2,5AÇL0-2    | 2543,1               |                            | 2592,5                |                             | 2944,1                |                             |
| AL2,5AÇL0,33   | 2877,5               | 2886,8                     | 2586                  | 2604,4                      | 2993,6                | 3004,3                      |
| AL2,5AÇL0,33-2 | 2896                 |                            | 2622,7                |                             | 3014,9                |                             |
| AL2,5AÇL0,67   | 2975                 | 2955,5                     | 2944,6                | 2918,4                      | 2931,8                | 2965,7                      |
| AL2,5AÇL0,67-2 | 2936                 |                            | 2892,1                |                             | 2999,6                |                             |
| AL2,5AÇL1      | 2877,1               | 2583,3                     | 2622,2                | 2481,5                      | 3049                  | 2861,4                      |
| AL2,5AÇL1-2    | 2289,4               |                            | 2340,7                |                             | 2673,7                |                             |
| AL5AÇL0        | 2036,9               | 2051,5                     | 2346,1                | 2201                        | 2295,5                | 2331,1                      |
| AL5AÇL0-2      | 2066,1               |                            | 2055,9                |                             | 2366,6                |                             |
| AL5AÇL0,33     | 2046,9               | 2030,4                     | 2068,2                | 2053,1                      | 2093,3                | 2145,1                      |
| AL5AÇL0,33-2   | 2013,9               |                            | 2038                  |                             | 2136,8                |                             |
| AL5AÇL0,67     | -                    | -                          | -                     | -                           | 1928,2                | 2059,1                      |
| AL5AÇL0,67-2   | -                    |                            | -                     |                             | 2189,9                |                             |
| AL5AÇL1        | -                    | -                          | -                     | -                           | 2078,7                | 2081,9                      |
| AL5AÇL1-2      | -                    |                            | -                     |                             | 2085,1                |                             |
| AL7,5AÇL0      | -                    | -                          | -                     | -                           | -                     | -                           |
| AL7,5AÇL0-2    | -                    |                            | -                     |                             | -                     |                             |
| AL7,5AÇL0,33   | -                    | -                          | -                     | -                           | -                     | -                           |
| AL7,5AÇL0,33-2 | -                    |                            | -                     |                             | -                     |                             |
| AL7,5AÇL0,67   | -                    | -                          | -                     | -                           | 1824,8                | 1814,6                      |
| AL7,5AÇL0,67-2 | -                    |                            | -                     |                             | 1804,4                |                             |
| AL7,5AÇL1      | -                    | -                          | -                     | -                           | 1825,5                | 1830                        |
| AL7,5AÇL1-2    | -                    |                            | -                     |                             | 1834,5                |                             |

Tablo 17’den verilen ortalama UPV değerlerinin grafik üzerindeki gösterimi ise Şekil 70’de verilmiştir.

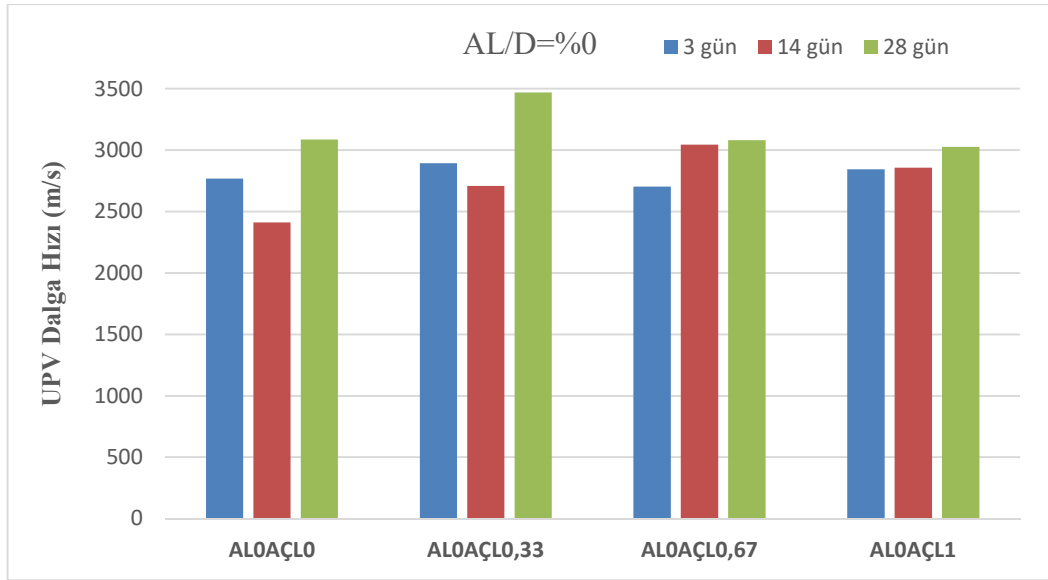


Şekil 70. Tüm gruplara ait 3, 14 ve 28 günlük ortalama UPV değerleri

Şekil 70’de verilen sütun grafiklere genel bir bakış sergilendiğinde polimer betonlardaki atık lastik parçacıklarının oranı arttıkça ultrases hızlarında düşüşlerin olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, özellikle 14 ve 28. gün sonuçları itibariyle en yüksek UPV değerlerine (3860 m/s) kontrol betonlarının sahip oldukları görülmektedir. Yine aynı grafik üzerinden AL/D=5 ve 7,5 olan karışımların birçoğunda 3 ve 14. günlerde UPV okumalarının yapılamadığı görülmektedir. 28 gün sonra bile sertleşmeyen AL7,5AÇLO ve AL7,5AÇLO,33 koldu karışımlara ise hiç bir okuma gerçekleştirilememiştir. Ayrıntılı değerlendirmeler ise aşağıdaki paragraflarda yapılmıştır.

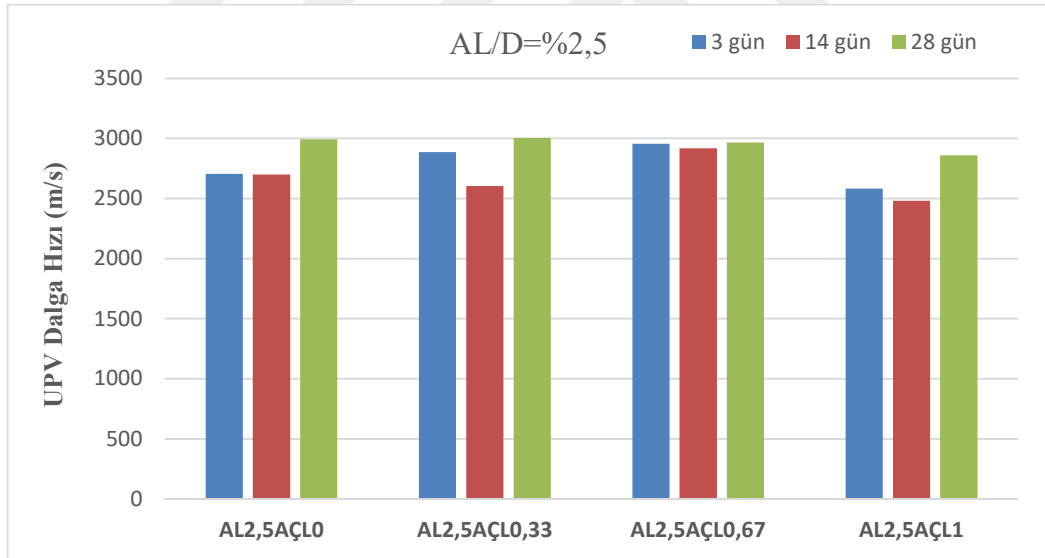
#### AÇL/EÇL oranının polimer betonların ultrases hızı üzerindeki etkisi

AL/D=0 durumu için %33, %67 ve %100 oranında AÇL içeren karışımların 3 günlük UPV sonuçlarında sırasıyla %4,5 artış, %2 azalış ve %3 artış; 14 günlük sonuçlarda sırasıyla %12, %26 ve %18 artış; 28 günlük sonuçlarda sırasıyla %12 artış, %0,2 ve %2 azalış gözlemlenmiştir. Bu durum Şekil 71’de gösterilmiştir.



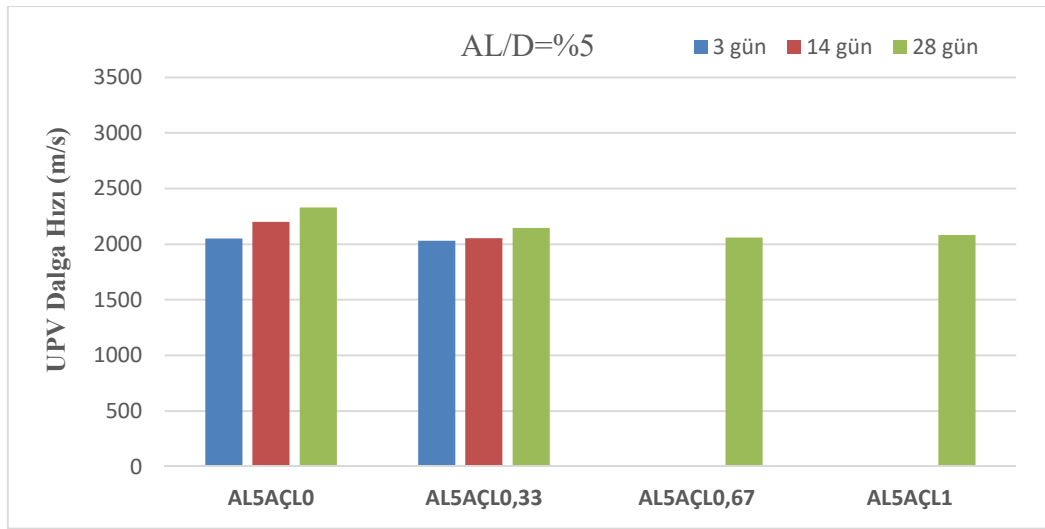
**Şekil 71.** AL/D=0 olan polimer betonların UPV değerlerine atık çelik lif oranının etkisi

AL/D=2,5 oranı için %33, %67 ve %100 oranında AÇL içeren karışımların 3 günlük UPV sonuçlarında sırasıyla %7 artış, %9 artış ve %4,5 azalış; 14 günlük sonuçlarda sırasıyla %3,5 azalış, %8 artış ve %8 azalış; 28 günlük sonuçlarda ise yine sırasıyla %0,3 oranında artış, %1 azalış ve %4 oranında azalış gözlemlenmiştir. Bu durum ise Şekil 72’de gösterilmiştir.



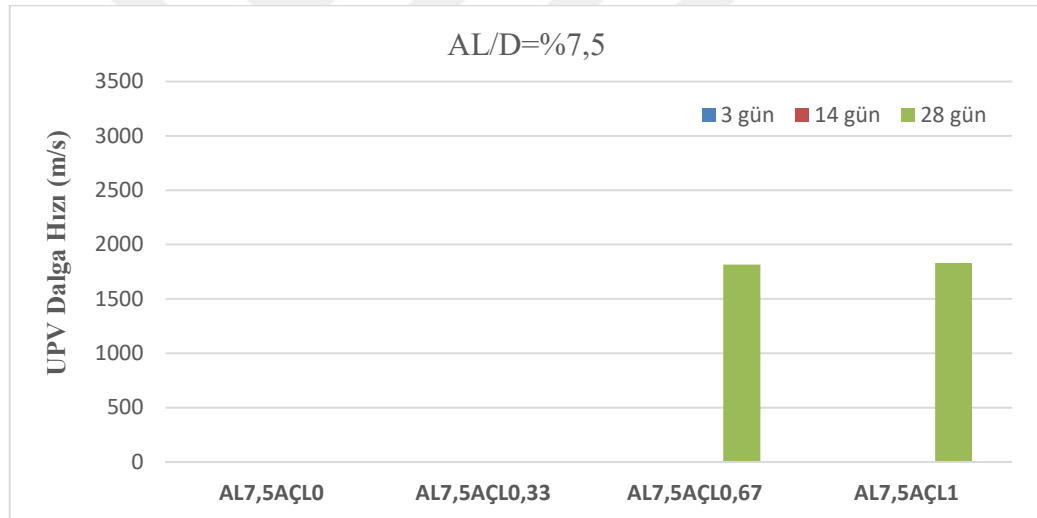
**Şekil 72.** AL/D=2,5 olan polimer betonların UPV değerlerine atık çelik lif oranının etkisi

AL/D=5 için %33 oranında AÇL kullanımında 3 günlük UPV sonucunda %1 oranında azalış, 14 günlük UPV sonucunda %6,7 oranında azalış, %33, %67 ve %100 oranında AÇL kullanımında 28 günlük deney sonuçlarında sırasıyla %8, %11,7 ve %10,7 oranında azalış gözlemlenmiştir. Bu durum ise Şekil 73’de gösterilmiştir.



**Şekil 73.** AL/D=5 olan polimer betonların UPV değerlerine atık çelik lif oranının etkisi

AL/D=7,5 için 3 ve 14. günlerde UPV deney sonucu alınamayıp 28. günün de yalnızca AL7,5AÇL0,67 ve AL7,5AÇL1 kodlu numunelerde ölçüm alınabilmiştir. Bu iki grubun UPV değerleri de birbiri ile hemen hemen aynıdır (fark %0,8). Bu grup ise Şekil 82’de gösterilmiştir.



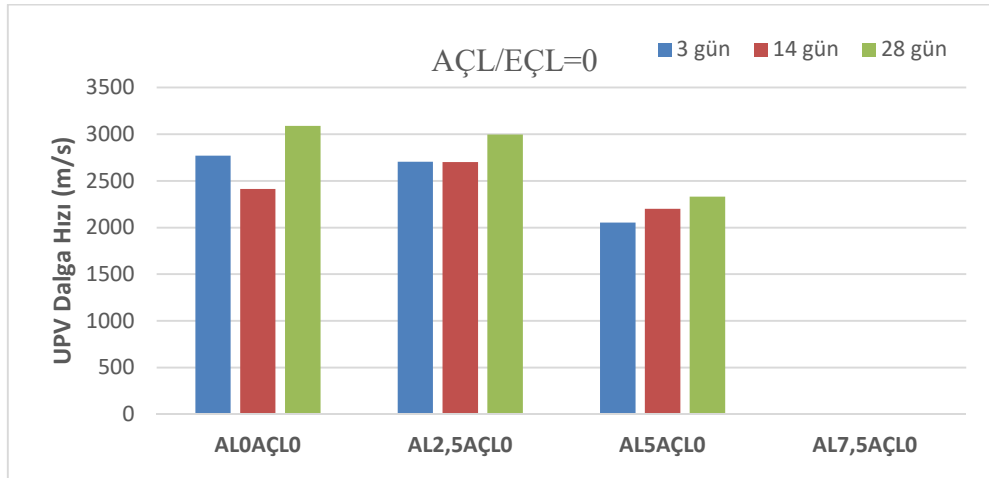
**Şekil 74.** AL/D=7,5 olan polimer betonların UPV değerlerine atık çelik lif oranının etkisi

Yukarıda verilen bilgilerin değerlendirilmesinden çelik lifli polimer betona atık araç lastiklerinden elde edilen çelik tellerin katılması ile UPV değerlerinin bazı numunelerde arttığı bazılarında ise azaldığı söylenebilir. Hatta nerdeyse hiçbir değişikliğe yol açmadığı karışımlar bile vardır. Bu nedenle sabit AL/D oranları için ACL/EÇL oranının artmasıyla 3, 14 ve 28. günlerde okunan UPV değerlerinden kesin yargıya götürebilecek sonuçlar elde edilememiştir.

#### **AL/D oranının polimer betonların ultrases hızı üzerindeki etkisi**

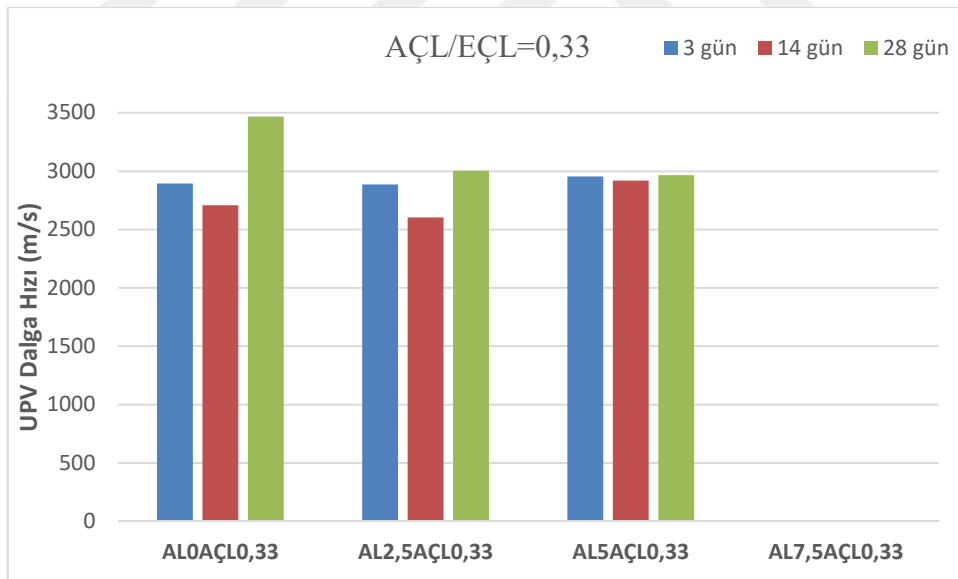
AÇL/EÇL= 0 olan gruplarda %2,5 ve %5 oranında AL içeren örneklerin 3 günlük UPV sonuçlarında sırasıyla %2 ve %26 oranında azalış, 14 günlük sonuçlarında sırasıyla %12

oranında artış ve %9 oranında azalış, 28 günlük sonuçlarında ise sırasıyla %3, %24,5 oranında azalış gözlemlenmiştir. Bu grup Şekil 75’te verilmiştir.



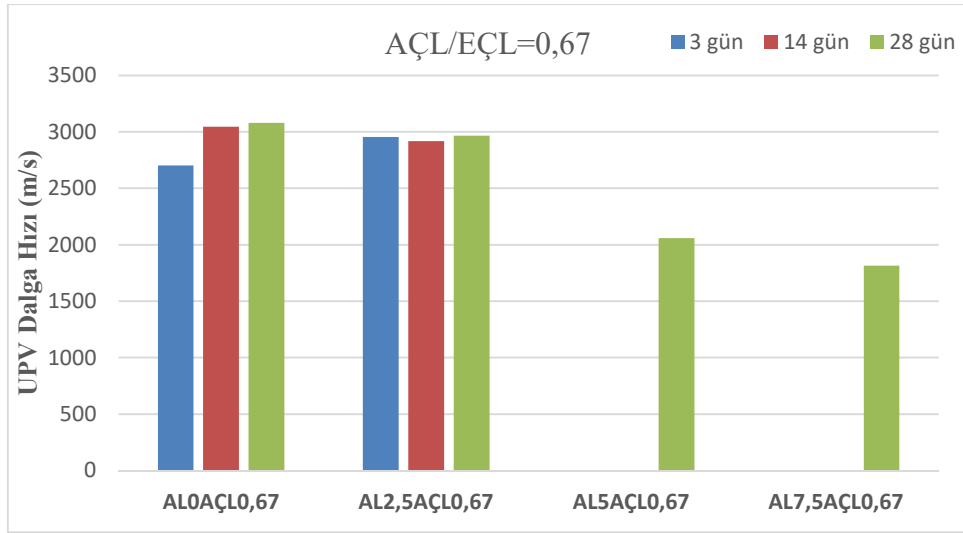
**Şekil 75.** AÇL/EÇL=0 için polimer betonların UPV değerleri üzerine AL oranının etkisi

AÇL/EÇL= 0,33 olan gruplarda %2,5 ve %5 oranında AL kullanımının örneklerin 3 günlük UPV sonuçlarında sırasıyla %0,3 azalış ve %2 oranında artış, 14 günlük sonuçlarında sırasıyla %4 azalış ve %8 oranında artış, 28 günlük sonuçlarında ise sırasıyla %13 ve %14,5 oranında azalış gözlemlenmiştir. Bu gruplar Şekil 76’da gösterilmiştir.



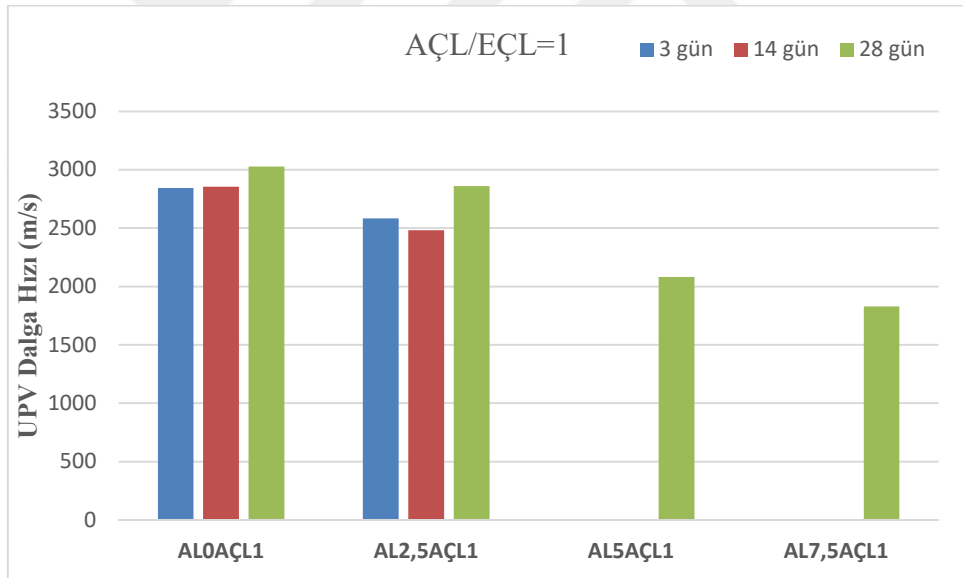
**Şekil 76.** AÇL/EÇL=0,33 için polimer betonların UPV değerleri üzerine AL oranının etkisi

AÇL/EÇL= 0,67 olan gruplarda ise %2,5 oranında AL kullanımında 3 günlük UPV sonuçlarında %9 oranında artış, 14 günlük sonuçlarında %4 oranında azalış, %2,5, %5 ve %7,5 oranlarında 28 günlük sonuçlarında sırasıyla %4, %33 ve %41 oranında azalış gözlemlenmiştir. Bu gruplarda değerlendirilen örnekler ise Şekil 77’te gösterilmiştir.



**Şekil 77.** AÇL/EÇL=0,67 için polimer betonların UPV değerleri üzerine AL oranının etkisi

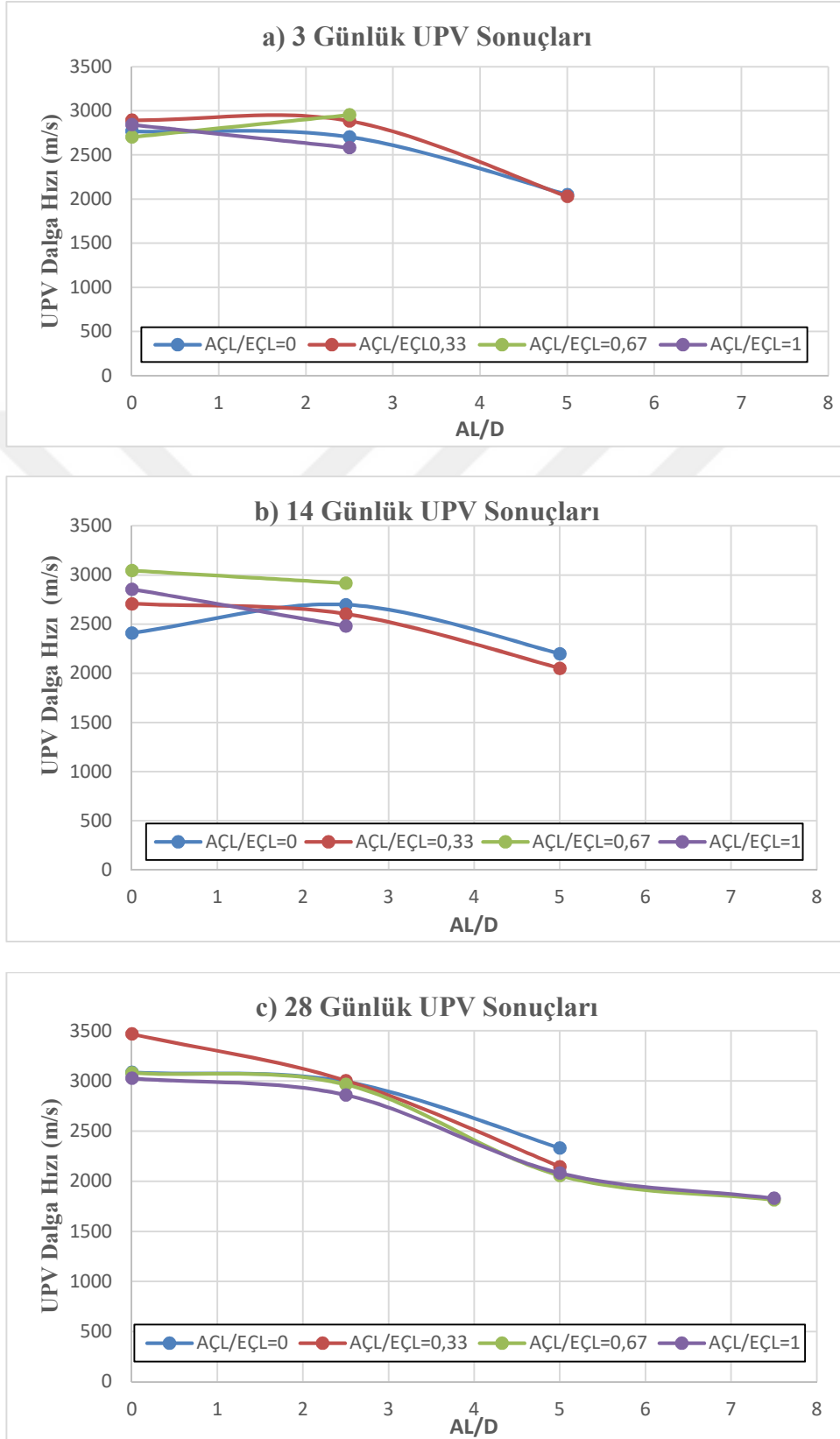
AÇL/EÇL= 1 olan gruplarda ise %2,5 oranında AL içerenlerin 3 günlük UPV sonuçlarında %9 oranında azalış, 14 günlük sonuçlarında %13 oranında azalış, %2,5, %5 ve %7,5 oranında AL içerenlerin 28 günlük UPV sonuçlarında sırasıyla %5,5, %31 ve %40 oranında azalış gözlemlenmiştir. Bu grubu oluşturan karşımlar Şekil 78’de verilmiştir.



**Şekil 78.** AÇL/EÇL=1 için polimer betonların UPV değerleri üzerine AL oranının etkisi

Yukarıda verilen bilgilerden de anlaşılacağı üzere polimer betonlardaki atık lastik oranının artması ile örneklerin UPV değerlerinde düşmeler olmaktadır. Bu sonuç 28. günlük UPV değerlerinde daha belirgin şekilde görülmektedir. Nitekim AÇL/EÇL’nin her dört oranından AL/D oranı arttıkça ultrases hızları azalmıştır. Ancak, 3 ve 14. günler için bu derecede (kesin) bir yargıya varılamamıştır. Böyle bir sonucun doğmasına bir kısım örneklerden 3 ve 14. günlerde okuma yapılamamış olmasının da etkisi vardır. Şekil 79’da bu paragrafta bahsedilen hususlar (AL/D oranına bağlı olarak UPV değerlerinin değişimi) grafikler

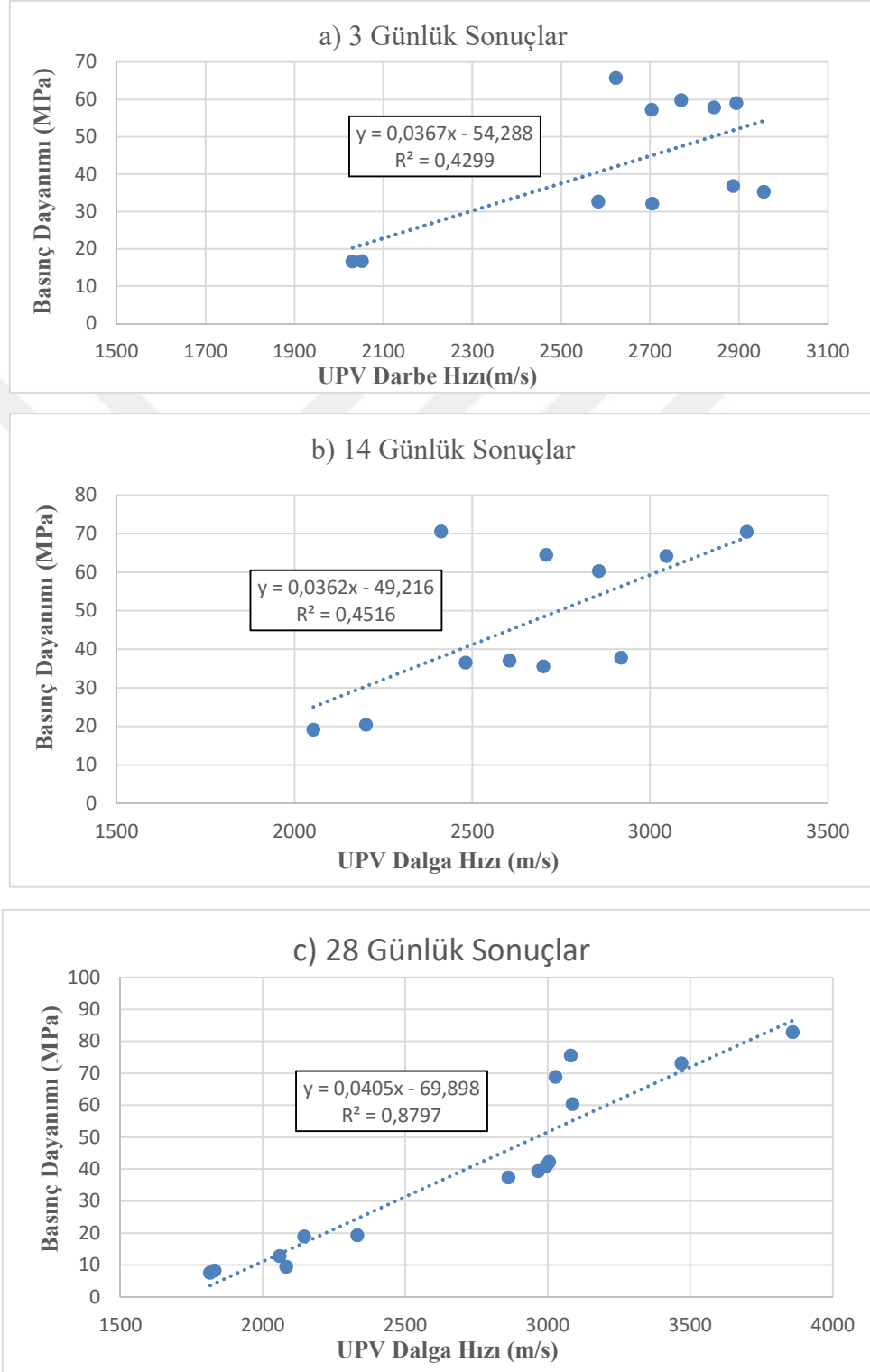
yardımla gösterilmiştir. Akın (2017) tarafından yapılan çalışmada da benzer sonuçla karşılaşılmış ve atık lastik tozu kullanımı arttıkça genel olarak UPV değerlerinde azalmaların görüldüğü rapor edilmiştir.



Şekil 79. AL/D oranına bağlı olarak UPV değerlerinin değişimi

### UPV değerleri ve basınç dayanımı değerlerinin ilişkilendirilmesi

Tablo 15’de verilen basınç dayanımı değerleri ile Tablo 17’de verilen UPV değerleri arasındaki ilişkiler her üç (3, 14 ve 28) yaş grubu için ayrı ayrı olmak üzere Şekil 80’de verilen grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 80. UPV değerleri ile basınç dayanımı deneyi sonuçları arasındaki ilişki

Şekil 80’de verilen grafiklerden de görülebileceği gibi eğilim çizgilerinin determinasyon katsayıları ( $R^2$ ) 3 ve 14 günlük ilişkilerde oldukça düşük iken (sırasıyla 0,4299 ve 0,4516) 28 günlük deneylerde yükselerek 0,8797 değerine ulaşmıştır. Bu sonuçlar, 28 günlük örneklerden elde edilen basınç dayanım değerleri ile UPV değerleri arasında çok güçlü olmasa da lineer bir ilişkinin var olduğunu göstermektedir. Buna karşın 3 ve 14 günlük sonuçlar için bu türden bir ilişkiden bahsedilemez.



## SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışma kapsamında elde edilen deneysel bulgulardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

- 1- Karışımlardaki atık lastik (AL) miktarı arttıkça birim ağırlık değerlerinde kayda değer düşüşler olmuştur. Atık lastiğin özgül ağırlığının ikame edildiği ince agregadan daha düşük olmasının birim hacim ağırlık değerlerinin düşmesinde başlıca rol oynadığı değerlendirildi.
- 2- En yüksek basınç dayanımı (83 MPa) değerine kontrol numuneleri (KAL0AÇL0EÇL0) erişmiştir. Bu numuneler atık lastik ve çelik lif (atık ve endüstriyel) içermemektedir. Lifli polimer betonlarda ise AL/D=0 olan karışımlar en yüksek basınç dayanımı aralığına (60-75,6 MPa) sahip olmuşlardır.
- 3- Atık lastikten elde edilen çelik lifin (AÇL), endüstriyel çelik lifin (EÇL) etkisine benzer şekilde betonun basınç dayanımına etki ettiği ancak endüstriyel lifin atık çelik life nazaran daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.
- 4- AÇL/EÇL oranına bağlı olarak küçük bazı değişiklikler olmakla birlikte, karışımlardaki AL/D oranının artması ile polimer betonların basınç dayanımlarında belirgin düşüşler olmuştur. Bu durum her üç yaş (3, 14 ve 28) için de geçerlidir.
- 5- En yüksek eğilmede çekme dayanımı değerleri 18.4 MPa ile AL0AÇL0 ve 17,5 MPa ile KAL0AÇL0EÇL0 (kontrol) kodlu numunelerden elde edilmiştir. Kontrol numunesinin çekme dayanımının diğerinden bir miktar daha düşük olması, çelik lif içermemesi nedeniyledir.
- 6- Karışımlardaki AL miktarı arttıkça betonların eğilmede çekme dayanımları azalmıştır. Sabit AÇL/EÇL oranlarında ise örneklerin eğilmede çekme dayanımları AL/D oranının artması ile dramatik bir şekilde azalmıştır. Çalışma kapsamında seçilen parametrelerden çelik lifli polimer betonların eğilmede çekme dayanımı üzerinde en etkin olanın AL/D olduğu belirlenmiştir.
- 7- AÇL'nin polimer betonların eğilmede çekme dayanımı üzerinde endüstriyel lif gibi davranmadığı bir miktar dayanım kaybına yol açtığı tespit edilmiştir. Bu sonuca atık çelik liflerin geometrik düzensizliklerinin katkısı olabileceği gibi beton içerisindeki dağılımlarının da etkisi olabileceği değerlendirilmiştir. Nitekim endüstriyel lifler düz, uçları kancalı, boyları sabit ve beton içinde dağılan demetler şeklinde iken atık lastik lifler eğri, kancasız, boyları farklı ve tekil haldedir. Ayrıca atık liflerin kolay topaklandıkları beton üretim aşamasında gözlenmiştir. Topaklanma da atık liflerin karışım içerisinde homojen dağılmama riskini doğurmaktadır.

- 8- AL içermeyen karışımlarda AÇL oranının artmasıyla sehım değerlerinde bariz düşüşler olmuştur. Bu duruma atık liflerin kancasız olmasının ve beton içinde homojen dağılmamasının yol açtığı düşünülmektedir. Karışımlara %2,5 ve %5 oranlarında AL katılması durumunda ise AÇL'nin %33 ve %67 oranlarının sehımleri artırdığı, %100 oranının ise düşürdüğü tespit edilmiştir. Bu tespitten, sınırlı miktardaki kauçuk esaslı atık lastik parçacıklarının esnek yapısının yine sınırlı miktardaki düzensiz lif ve özel üretimli endüstriyel liflerin köprü işlevi ile birleşmesi durumunda polimer betonların esnekliğinin de artacağı sonucu çıkarılabilir.
- 9- Polimer betona atık araç lastiğı parçacıkları, atık araç lastiğı telinden üretilmiş çelik lif ve endüstriyel çelik lif kullanılmasıyla betonların kırılma biçimlerinin gevrek kırılmadan sünek kırılmaya evirildiğı gözlemlenmiştir.
- 10- Polimer betonlardaki atık lastik parçacıklarının miktarı arttıkça ultrases hızlarında düşüşler olmuştur. Bu sonuç 28. günlük UPV değerlerinde en belirgin şekilde görülmüştür.
- 11- 28 günlük örneklerden elde edilen basınç dayanım değerleri ile UPV değerleri arasında çok güçlü olmasa da lineer bir ilişkinin var olduğı tespit edilmiştir. Bu sonuç, UPV testinin lifli/lifsiz polimer betonların dayanımının tahmininde kullanılabileceğini göstermiştir.
- 12- Polimer beton üretimi geleneksel betonlara göre daha fazla hassasiyet gerektirmekte olup ortam sıcaklığından etkilenmektedir. Bu nedenle, üretim esnasında özellikle seçilen reçinenin sıcaklık bakımından kullanım aralığının gözetilmesi önerilir.
- 13- “Atık lastiklerden elde edilen kauçuk parçacıklar ve çelik liflerin polimer betonların basınç ve eğilmede çekme dayanımı ile temsil edilen mekanik özelliklerini artıracığı” yönündeki araştırma hipotezi doğrulanmamıştır. Ancak, her ne kadar mekanik özellikleri bir miktar zayıflatsa da bu iki atığın düşük dozlarda (AL/D için %2,5, AÇL/EÇL için %33) polimer betonlarda kullanılmasının çevresel ve ekonomik fayda saylayacağı açıktır. Bu nedenle altyapıda ya da taşıyıcı olmayan beton elemanlar üretiminde bu iki atık bir arada kullanılarak değerlendirilebilir.

## KAYNAKLAR

- Adhikari, B., De, D. ve Maiti, S., 2000. Reclamation and Recycling of Waste Rubber. Progress in Polymer Science, 25, pp.909-948.
- Akın, M.H., 2017. Polimer betonların özelliklerinde atık lastik kullanımının etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Aksoy, S.R., 2021. Atık lastik katkılı farklı polimer içeren betonların özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Alibekiroğlu, M.A., 2019. Atık çelik liflerin beton özelliklerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Anonim 2006. TS EN 14889-1: Lifler - Betonda kullanım için - Bölüm 1: Çelik lifler - Tarifler, özellikler ve uygunluk. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim 2008. Basel Convention, 2008. Revised technical guidelines on environmentally sound management of used tires, UNEP, Basel Convention, Basel, İsviçre.
- Anonim 2008a. TS EN 14651+A1: Metal lifli beton - Deney yöntemi - Eğilmede çekme dayanımının tayini (Kalıcı orantısız sınır (LOP)). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim 2009. TS 706 EN 12620+A1: Beton agregaları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim 2009a. <https://avys.omu.edu.tr> Polimer+Malzemeler-I. (Erişim tarihi: Aralık 2021)
- Anonim 2013. TS EN 1097-6: Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim 2015a. TS 10514: Lif takviyeli betonun karışım oranları ve imalatı için kurallar. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim 2015b. TS 3523: Beton Agregalarının Yüzey Nemi Oranının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim 2016. TS 802: Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim 2019a. TS ISO 3310-1: Deney elekleri - Teknik özellikler ve deneyler - Bölüm 1: Metal tel örgülü deney elekleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim 2019b. TS EN 12350-6: Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 6: Birim hacim kütlesi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim 2019c. TS EN 12390-3: Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim 2019d. TS EN 12390-5: Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim 2021. TS EN 12504-4: Yapılarda beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 1999. Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste. The Council of the European Union.
- Anonim, 2006. Scrap tire markets in the United States: Rubber Manufacturers Association, 2006 edition, Washington DC, ABD
- Anonim, 2007. State legislation-scrap tire disposal. U.S. Rubber Manufacturers Association, Washington DC, ABD.

- Anonim, 2009b. European Union, 1999. Comission Sitesi. <http://ec.europa.eu/envronment/waste/index.htm> 2009 (Erişim tarihi: Aralık 2021)
- Anonim, 2010. <http://www.europeanrecycle.com> (Erişim tarihi: Kasım 2021)
- Anonim, 2012a. <http://www.lasder.org.tr/tr.03asp> (Erişim tarihi: Aralık 2021)
- Anonim, 2012b. Atık Yönetimi Hakkında AB Müktesebat Rehberi, Temmuz 2012, İstanbul & Brüksel.
- Anonim, 2021a. <https://images.app.goo.gl/gdrabYT9TcYzPX6t9> (Erişim tarihi: Kasım 2021)
- Anonim, 2021b. <https://images.app.goo.gl/bMmfYAFZsaD5YhEe7> (Erişim tarihi: Kasım 2021)
- Anonim, 2021c. Türk Dil Kurumu – Bilim ve Sanat Terimleri Ana Sözlüğü, <http://tdkterim.gov.tr/2021>
- Anonim, 2021d. *Dünyanın en büyük lastik yangını* (*polemikhaber.com*) (Erişim tarihi: Mart 2021)
- Anonim, 2021e. *Eroğlu Sac ve Demir San. Ltd. Şti. - Geri Dönüşüm* (*eroglugineridonusum.com*) (Erişim tarihi: Aralık 2021)
- Anonymous, 2002. Tire Pile Fires: Prevention Respanse Remediotion. Environmental Engineering and Contracting, Inc. Santa Ana, California, ABD.
- Aral M., 2006. Karma Lif İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı-Bir Optimum Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arıkan, H., 2002. Çelik Tel Takviyeli Kompozitlerin Kırılma Oluşumu, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, KONYA.
- Arulrajah, A., Maghool, F., Mohammadinia, A., Mirzababaei, M., Horpibulsuk, S., 2020. Wheel tracker testing of recycled concrete. and tyre aggregates in Australia. *Geotechnical Research*, 7(1), 49-57.
- Ateş, E., Aztekin, K., 2011. Parçacık ve Fiber Takviyeli Polimer Kompozitlerin Yoğunluk ve Basınç Özellikleri, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi. 26, (2), 479-486
- Atoyebi, O. D., Awolusi, T., Oke, O., Akinkulore O., Sojobi A., 2020. Waste tires steel fiber in concrete: a review. *Innovative Infrastructure Solutions*, 6 (1), 34.
- Aureliano, F., Costa, A.A.F., Júnior, I.F., and Pedrosa, R., 2019. Manufacture of structural blocks of concrete with waste tire rubbers. *Procedia Manufacturing*, 38, 464-470.
- Avcı, B.E., 2013. Çelik Tel Donatı ve Atık Lastik Tozu Katkılı Rijit Üst Yapıların Mukavemet Yönünden Analizi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2013 Erzurum.
- Babar A., Yılmaz E., Tahir A. R., Gamaoun, F., El Ouni, M. H., Murtaza, S. M., 2021. The Durability of High-Strength Concrete Containing Waste Tire Steel Fiber and Coal Fly Ash. *Hindawi Advances in Materials Science and Engineering*, 2021, (Article ID 7329685).
- Barbuta, M., Rujan M., Nicuta A., 2016. Characterization Of Polymer Concrete With Different Wastes Additions *Procedia Technology* 22, 407-412.
- Başçavuşoğlu, E. 2001. Hasarlı Yapıların Onarımında ve Güçlendirilmesinde Polimer Betonların Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Batır, B., 2002. Türkiye için kullanılmış lastik yönetimi araştırması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bayrak, S., 2012. Maleik Anhidrit-Akrilik Asit Kopolimeri ile Seramik Kompozinin Hazırlanması ve Karakterizasyonu. Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Çorum.
- Bayram, Y., 2015. Polimer Betonların Bazı Termomekanik Özelliklerinin Araştırılması Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Benozzouk, A., Mezreb, K., Doyen, G., Goullievx, A. And Quenevdec, M., 2003. Effect Of Rubber Aggregates On The Physico-Mechanical Behaviour Of Cement Rubber Composites-Influence Of The Alveolar Texture Of Rubber Aggregates. Cement and Concrete Composites 711-720.
- Bignozzi, M.C., Sandrolini F., 2006. Tyre Rubber Waste Recycling in Self Compacting Concrete Cement and Concrete Research 36, 735, 739.
- Bulut, H.A., 2016. Elektronik plastik atık içeren polimer betonların mekanik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Caf, M., 2012. Polipropilen ve çelik lifli betonların darbe dayanımı, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, syf: 58-62
- Centonze, G., Leone, M., Aiello M.A. 2012. Steel fibers from waste tires as reinforcement in concrete: A mechanical characterization, Construction and Building Materials, Volume 36, November 2012, Pages 46–57.
- Çataklı, T., ve Ergüder, T.H., 2019. Biyo-devulkanizasyon: Atık Lastik Yönetiminde Çevre Dostu Bir Yaklaşım. Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, Sayı 2(1):20-34.
- Çelik, M.E., 2007. Pim Bağlantılı Kompozit Malzemelerin Dizaynı, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Bölümü, Bitirme Projesi, İzmir.
- Çelikten, S., Canbaz, M. 2021. Bağlayıcı Türünün Atık Çelik Liflerle Üretilen SIFCON Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Etkisi. Politeknik Dergisi, 23, (2) ,457-482, (2020).
- Çetişli, F., 2013. Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Pirolyzi., Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Çökeliler, P., 2010. Polimer Kimyası, Başkent Üniversitesi, Ankara.
- De D., Das A., De D., Dey B., Debnath S. C., Roy B. C., 2006. Reclaiming of ground rubber tire (GRT) by a novel reclaiming agent. European Polymer Journal, 42, 917–927.
- Demircan Sağlıyan, S., 1999. Polimer Bağlayıcılı Prepakt Agregalı Betonların Mekaniksel ve Ekonomik Yönden İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Demirel, S., Öz, H., 2017. Atık Malzemelerin Kendiliğinden Yerleşen Beton Performansına Etkisi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20 (3), 40-48.
- Dhir, R.K., Limbachiya M.C., Paine K. A., 2001. Recycling and Reuse of Used Tyres. Thomas Telford, Londra.
- Doğan, Ö., 2005. Lastik Agregalı Betonların Özelliklerinin Deneysel İrdelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

- Ekincioglu, Ö., 2003. Karma Lif İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı-Bir Optimum Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Anabilim Dalı, İstanbul.
- Emiroğlu, M., 2012. Lastik Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.
- Emiroğlu, M., Yıldız, S., Özgan, E., 2009. Lastik Agregalı Betonlarda Elastisite Modülünün Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24(3), 469-476.
- Erkek, O., 2020. Lifli Betonların Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Fauzan, N., Oscar F., Albarqi, K., Melinda, A. P., Al Jauhari, Z., 2021. The Effect of Waste Tire Rubber on Mechanical Properties of Normal Concrete and Fly Ash Concrete. International Journal of Geomate, 20, 55-61.
- Fedroff, D., Ahmad, S. and Savas, B.Z., 1996. Mechanical Properties Of Concrete With Ground Waste Tire Rubber Transpartation Rescarch Recard, 1532, (1), 66-72.
- Gorninski, J.P., Dal Molin, D.C. and Kazmierczak, C.S., 2004. Study of the modulus of elasticity of polymer concrete compounds and comparative assessment of 87 polymer concrete and portland cement concrete. Cement and Concrete Research, 34, 2091–2095.
- Gökçeğöz, Y., 2015. Polimer Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gönüllü, M.T. 2004., Atık Lastiklerin Yönetimi. Katı Atık Geri Dönüşüm Teknolojileri Semineri, İstanbul Sanayi Odası, İstanbul.
- Güngör, E., 2013. Karma Lifli Betonların Özelliklerinin Deneysel İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Haidar, M., Ghorbel, E. and Toutanji, H., 2011. Optimization of the formulation of micro-polymer concretes. Construction and Building Materials, 25 (4), 1632- 1644.
- Hamzaçebi, D., 2015. Atık Çelik Liflerin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Heidarneshad, F., Jafari K., Ozbakkaloglu T., 2020. Effect of polymer content and temperature on mechanical properties of lightweight polymer concrete. Construction and Building Materials, 260 (2020), 119853.
- Huang, H. and Tang, L., 2009. Pyrolysis treatment of waste tire powder in a capacitively coupled RF plasma reactor. Energy Conversion and Management, 50, 611–617.
- Islam, M. R., Haniu, H. and Beg M. R. A., 2008. Liquid fuels and chemicals from pyrolysis of motorcycle tire waste: Product yields, compositions and related properties. Fuel, 87, 3112–3122.
- Islam, M. R., Haniu, H. and Fardoushi, J., 2009. Pyrolysis kinetics behavior of solid tire wastes available in Bangladesh, Waste Management, 29, 668–677.
- İpek, G., 2007. Beton Büz Üretiminde Farklı Liflerin Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.
- Kalemtaş, A., Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Ders Notları, Bursa.

- Karahan, O., 2006. Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Khatib, Z.K., and Bayomy, F.M., 1999. Rubberized Portland Cement Concrete, Joinal of Motorials M. Civil Engineering, 3, 206-213.
- Kozak, M., 2013. Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi, 3(5), 26-35.
- Köroğlu, M. A., 2016. Mechanical characterization of rcycled tires in concrete. Selçuk Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4(4), 330-336.
- Kurt G., 2006., Lif İçeriği ve Su Çimento Oranının Fibrobetonun Mekanik Davranışa Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Li et Stubblefield, M.A., Gorrich, E., Eggers, J., Abodie, C., and Huang, B., 2004. Development Of Waste Tire Modified. Concrete Cement and Concrete Research, 34, 2283-2289.
- Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M., 2001. Concrete: Microstructure, Properties and Materials. Mc Graw Hill, ABD.
- Miguel G. S., Aguado J., Serrano D.P., Escola J.M., 2006. Thermal and catalytic conversion of used tyre rubber and its polymeric constituents using Py-GC/MS, Applied Catalysis B: Environmental, 64, 209-219.
- Neocleous, K., Pilakoutas, H., Waldron, P., 2006. From used tyres to concrete reinforcement. Proceedings of the 2nd International FIB Congress, Italy.
- Neville, A.M., 2011. Properties of Concrete, Pearson, London.
- Obinna, O., Borges, P. H. R., Bhutta, A., Banthia, N., 2017. Performance of Scrap Tire Steel Fibers in OPC and Alkali-Activated Mortars. Materials and Structures, 50(2), 1-10.
- Obinna, O., Nemkumar B., 2018. Scrap tire steel fiber as a substitute for commercial steel fiber in cement mortar: Engineering properties and cost-benefit analyses. Resources, Conservation & Recycling, 134(2018), 248-256.
- Oltulu M., 2020. Lifli Beton Ders Notları, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Orak, S., Karademir, Ş., 1997. Poliester Reçineli Betonun Sönüm Yeteneği Üzerinde Araştırma. TÜBİTAK, 323-327.
- Ordu, E., Bicer, P., Ordu, S., Abanozoglu, E., 2017. An investigation on the soil stabilization with waste tyres materials in granular soils. Aksaray University Journal of Science and Engineering, 1 (1), 51-61.
- Özbay N. S., 2018. İnce Öğütülmüş Bronz, Tel ve Lastik Atıkları İle Üretilen Betonun Soğuk Basma Mukaveneti, Korozyon Ve Donma Çözülme Direncinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Necmeddin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Özden Akkaya, Ç., 2010. Polimer Betonların Donma- Çözülme Etkisine Dayanıklılığı. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Özel, C., İren, B., 2016. Polimer Betonlarda Gaz beton Atıklarının Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi, 6(2), 28-38, Isparta.
- Özel, C., Koru, M., Bayram, Y., 2015. Mineral ve Fiber İçeren Polimer Betonların Plaka Sıcaklıklarına Bağlı Isı İletkenlik Katsayılarının İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19, (1), 28-34.

- Öztürk, M., 2013. Polimerlerle Modifiye Edilmiş Hafif Betonun Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Pişkin, E., 2010. Polimer Beton Üretiminde Cam Tozu Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Rebeiz, K.S., 1996. Precast use of polymer concrete using unsaturated polyester resin based on recycled PET waste. *Construction and Building Materials*, 10 (3), 215- 220.
- Reis, J.M.L., 2011. Effect of aging on the fracture mechanics of unsaturated polyester based on recycled PET polymer concrete. *Materials Science and Engineering A*, 528, 3007-3009.
- Reshner, K., 2008. Scrap Tire Recycling: A Summary of Prevalent Disposal and Recycling Methods. Berlin, Germany.
- Saçak, M., 1998. Polimer Kimyasına Giriş, A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları No: 50, Ankara.
- Saçak, M., 2005. Polimer Teknolojisine Giriş. Gazi Kitabevi, Ankara.
- Salazar, B., Aghdasi, P., Williams, I. D., Osterdag, C. P., Taylor, H. K., 2020. Polymer lattice-reinforcement for enhancing ductility of concrete. *Materials and Desing*, 196, 1-9.
- Samarakoon, S.M. Samindi M. K.; Ruben, P., Pedersen, J. W., Evangelista, L., 2019. Mechanical performance of concrete made of steel fibers from tire waste. *Case Studies in Construction Materials*, 11, (2019).
- San-Jose, J.T., Vegas, I. and Ferreira, A., 2005. Reinforced polymer concrete: Physical properties of the matrix and static/dynamic bond behaviour. *Cement and Concrete Composites*, 27 (9-10), 934-944.
- Sarkaz, A. M. H., 2020. Atık Lastik Katkılı Geopolimer Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- Sevin, S., 2014. Polimerle İyileştirilmiş Harçların En Uygun Kür Koşullarının Belirlenmesi ve Donma-Çözülme Etkisi Altında Mekanik Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.
- Sofi, A., 2018. Effect of waste tire rubber on mechanical and durability properties of concrete—A review. *Ain Shams Eng. J.*, 9(4), 2691–2700.
- Sugözü, İ., Mutlu İ., 2009. Atık Taşıt Lastikleri ve Değerlendirme Yöntemleri, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1(1), 35-46.
- Şengül, Ö. (2016). Mechanical behavior of concretes containing waste steel fibers recovered from scrap tires. *Construction and Building Materials*, 122, 649–658.
- Taşan, A.S., 1991. Şehirsel Çöp ve Katı Atıkların Değerlendirilmesi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Topcu, İ.B., 1995. Properties of rubberized concrete, *Cement and Concrete Research*, 25 (2), 304–310.
- Topçu, İ. B., Sarıdemir M., 2008. Prediction of rubberized concrete properties using artificial neural networks and fuzzy logic. *Construction and Building Materials*, 22, 532- 540.
- Topçu, İ.B., Demir. A., 2009. Farklı Çimentolarda Üretilen Lastik Agregalı Harçların Bazı Özellikleri. *Politeknik Dergisi*, 12 (3), 201-206.
- Topçu, İ.B., Toprak, M.V., 2009. Lastik Küllü Harçların Özellikleri. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22, (1), 109-127.

- Topsakal, A., 2013. Polimer Betonların Bazı Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Topsakal, A., Özel, C., 2015. Süreksiz Fazlı Tipli Polimer Betonların Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19, (2), 1-27.
- Turgut, P., Yeşilata, B., 2009. Atık Lastik Katkılı Harç Plaka ve Briketlerin TermoMekanik Davranışlarının Araştırılması, Gazi Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt24 No:4/651-658, i Ankara.
- Türer, A, Gölalınış, M., 2005. Kullanılmış araba lastiği ile ard germe uygulayarak yığma duvarların düzlem dışı dayanımının iyileştirilmesi. Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 1023-1034.
- Tüzüm Demir, A. P. 2020. Araç lastiklerinin geri dönüşümü üzerine bir derleme. <http://www.plastik-ambalaj.com/tr> (Erişim tarihi: Ekim 2021)
- Vipulanandan, C., and Poul, E., 1993. Characterization of Polyester Polymer and Polymer Concrete Journal Of Materials in Civil Engireng (ASCE).
- Wu B., Zhou M.H., 2009. Recycling of waste tyre rubber into oil absorbent. Waste Management, 29, 355–359.
- Xiao G., Ni M. J., Chi Y., Cen K. F., 2008. Low-temperature gasification of waste tire in a fluidized bed, Energy Conversion and Management, 49, 2078–2082.
- Yakaboylu, O., 2010. Atık Lastik Yönetimi ve Atık Lastik Pirolyzi Model Tesisi İçin Yapılabilirlik Çalışması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yalçın, M., Taşdemir, C., Gökalp İ., Ekim, H., Yerlikaya, M., 2007. Çelik Tel Donatılı Betonların Kullanılabilirlik ve Taşıma Gücü Sınır Durumlarına Göre Tasarımı. 7. Ulusal Beton Kongresi, Beton Teknolojisinde Gelişmeler ve Uygulamalar, 28-29- 30 Kasım, İstanbul, Sayfa 353-362.
- Yardımcı, M. Y., 2007. Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik, Mekanik, Kırılma Parametrelerinin Araştırılması ve Optimum Tasarımı. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yıldırım, S. T., 2002. Lif Takviyeli Betonların Performans Özelliklerinin Araştırması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Elâzığ.
- Yonar, Y., Tanyıldız, H., Şahin, M., 2013. Yüksek sıcaklığa maruz kalan betonun polimer emdirilerek basınç dayanımının ve ultra ses hızının incelenmesi. Beton kongresi Çağrılı Bildirileri & Bildiriler Kitabı, 126-134.
- Zegardło, B., Szelag, M., Ogrodnik, P. and Bombik A., 2018. Physico-Mechanical Properties and Microstructure of Polymer Concrete with Recycled Glass Aggregate. Materials, (11), 1213-1228.
- Zeynal, E., 2008. Çelik Lif ve S/Ç Oranlarının Çelik Lifli Betonların Darbe Mukavemetine ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Zhang X., Wang T., Ma L., Chang J., 2008. Vacuum pyrolysis of waste tires with basic additives. Waste Management, 28, 2301–2310.

## ÖZGEÇMİŞ

| Kişisel Bilgiler      |                                                                                                                           |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Adı Soyadı:</b>    | Furkan GÖKBAŞI                                                                                                            |
| <b>Doğum Yeri:</b>    |                                                                                                                           |
| <b>Uyruğu:</b>        |                                                                                                                           |
| <b>Adres:</b>         |                                                                                                                           |
| Eğitim                |                                                                                                                           |
| <b>Lisans:</b>        | Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi                                                                                |
| <b>Yüksek lisans:</b> | Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat<br>Mühendisliği Ana Bilim Dalı/ Yapı Malzemeleri Bilim<br>Dalı (2021) |
| Yabancı Dil Bilgisi   |                                                                                                                           |
| <b>İngilizce:</b>     | İyi                                                                                                                       |