



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



İNCE ÖĞÜTÜLMÜŞ BRONZ, TEL VE  
LASTİK ATIKLARI İLE ÜRETİLEN  
BETONUN SOĞUK BASMA MUKAVEMETİ,  
KOROZYON VE DONMA-ÇÖZÜLME  
DİRENCİNİN ARAŞTIRILMASI

Nesibe Sevde ÖZBAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2018  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır

## TEZ KABUL VE ONAYI

Nesibe Sevde ÖZBAY tarafından hazırlanan “Bronz, Lastik İçerisinden Çıkan İnce Tel ve İnce Öğütülmüş Lastik Atıkları İle Üretilen Betonun Soğuk Basma Mukavemeti, Korozyon Direnci ve Donma-Çözülme Direncinin Araştırılması” adlı tez çalışması 26/07/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Şerife YALÇIN YASTI

.....

#### Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Tuba BAHTLI

.....

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Hakan Burak KARADAĞ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ahmet AVCI  
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 171351001 nolu proje ile desteklenmiştir.

## **TEZ BİLDİRİMİ**

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

## **DECLARATION PAGE**

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

İmza

Nesibe Sevde ÖZBAY

Tarih:26/07/2018

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# İNCE ÖĞÜTÜLMÜŞ BRONZ, TEL VE LASTİK ATIKLARI İLE ÜRETİLEN BETONUN SOĞUK BASMA MUKAVEMETİ, KOROZYON VE DONMA- ÇÖZÜLME DİRENCİNİN ARAŞTIRILMASI

Nesibe Sevede ÖZBAY

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Tuba BAHTLI

2018, 96 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Tuba BAHTLI  
Dr. Öğr. Üyesi Şerife YALÇIN YASTI  
Dr. Öğr. Üyesi Hakan Burak KARADAĞ

Beton malzemesi için önemli problemlerin başında yüksek eksenel yük seviyeleri altında taşıma gücünün yetersizliği, beton içindeki donatıların zamanla korozyona uğraması, donma-çözülme, bu sebeplerden dolayı çatlama ve kopmaların oluşması gelmektedir. Günümüzde çelik lif takviyeli beton üretimi sertleşmiş betonun mekanik özelliklerini iyileştirmek için yapılmaktadır. Ayrıca korozyon, donma-çözülme betonarme yapılar için önemli bir problem olup, bu konuda çalışmalar yapılmaya devam edilmektedir.

Hammaddeden doğrudan üretim yapmak yerine ömrünü tamamlamış malzemelerin geri dönüşümünün yapılması, hem ekonomik hem de çevresel faktörler göz önüne alındığında büyük bir önem kazanmaktadır. Lastik atıkları ve atık tellerin betonda kullanımı üzerine çalışmalar yapılmaktadır ancak atık lastik içerisinden çıkan ince tel ile beton üretimi üzerine çok az çalışma vardır. Benzer şekilde, bronz atığının betonda kullanımı üzerine bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Bu çalışma ile amaç, daha önceden yapılmış 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 artırıcı malzemeler olarak kullanılabilirliğini araştırmak; atık malzemeler kullanılması sebebiyle de doğaya katkıda bulunulması, atıkların geri kazanımının sağlanması, maliyetin düşürülmesi, ekonomik kazanımın sağlanmasıdır. 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 mevcut çelik takviyeli ve takviyesiz beton ürünlere yakın ya da iyileştirilmiş beton malzemesi elde edilmesi hedeflenmektedir. Çalışma sonucunda betona bronz ilavesiyle katkısız beton malzemesinden daha yüksek soğuk basma mukavemeti ve yoğunluk değerlerine ulaşılmıştır. Bronz ile birlikte atık lastiğin ilavesiyle de betonun korozyon direnci artmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Atık lastik, atık tel, bronz, beton, donma-çözülme, korozyon, soğuk basma mukavemeti, yoğunluk

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **INVESTIGATION OF COLD COMPRESSIVE STRENGTH, CORROSION AND FREEZE-THAW RESISTANCE OF CONCRETE PRODUCED WITH FINELY MILLED BRONZE, WIRE AND TIRE WASTES**

**Nesibe Sevde ÖZBAY**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN MECHANICAL ENGINEERING**

**Advisor: Asst.Prof.Dr. Tuba BAHTLI**

**2018, 96 Pages**

**Jury**

**Asst.Prof.Dr. Tuba BAHTLI**

**Asst.Prof.Dr Şerife YALÇIN YASTI**

**Asst.Prof.Dr Hakan Burak KARADAĞ**

At the beginning of the important problems for concrete material is the inadequacy of bearing power under high axial load levels, corrosion of concrete reinforcements in over time, freezing and thawing, cracks and breaks due to these reasons. Nowadays steel fiber reinforced concrete production is made to improve the mechanical properties of hardened concrete. In addition, corrosion and freeze-thaw are important problems for reinforced concrete structures, and studies are being continued in this subject.

Instead of producing directly from raw material, the recycling of materials that have completed their life cycle is great important when both economic and environmental factors are taken into consideration. Similarly, no study has been conducted on the use of the bronze sawdust in the production of concrete.

The aim of this study is to consider the past studies on the use of waste wire and waste, to search the use of bronze, thin wire and fine rubber wastes obtained from waste tire as materials that improve mechanical strength, corrosion resistance and freeze-thaw resistance of concrete; contributing to nature due to the use of waste materials, ensuring the recovery of waste, reducing the cost, and ensuring economic gain. Therefore, this study aims to improve the properties of concrete by using bronze waste with high corrosion resistance and good mechanical properties and to improve the properties of both waste wire and bronze reinforced concrete by using polymer based thin rubber, to obtain concrete material which has close or improved the properties of steel reinforced and unreinforced concrete products. As a result of this study, the addition of bronze to concrete resulted higher cold crushing strength and density values than those of unreinforced concrete material. The corrosion resistance of the concrete was increased by the additions of waste tire together with bronze.

**Keywords:** bronze, cold compressive strength, concrete, corrosion, density, freeze-thaw, waste tire, waste wire

## ÖNSÖZ

Sonsuz sabrı ve teşviğiyle beni harekete geçiren, hiçbir yardım ve desteğini esirgemeyen başta danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Tuba BAHTLI'ya ve bu çalışmada büyük katkıları olan Dr. Öğr. Üyesi Hakan Burak KARADAĞ, Dr. Öğr. Üyesi M. Alpaslan KÖROĞLU, Dr. Öğr. Üyesi Yasin Ramazan EKER, KTO Karatay Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Veysel Murat BOSTANCI, Emre KARADAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olan destek ve anlayışlarını esirgemeyen eşim ve aileme teşekkür ederim.

Nesibe Sevd e ÖZBAY  
KONYA-2018

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Çimento Nedir.....	1
1.1.2. Çimento Üretim Aşamaları .....	2
1.1.3. Çimentonun hammaddeleri nelerdir .....	3
1.1.4. Çimentonun ana bileşenleri .....	3
1.1.5. Çimentonun kimyasal kompozisyonu.....	4
1.1.6. Çimentonun hidrasyonu .....	4
1.2. Beton Nedir.....	4
1.2.1. Betondan beklenen özellikler .....	5
1.3. Bronz Nedir.....	8
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>11</b>
2.1. Atık Lastik İle Üretilen Betonun Mekanik Özellikleri İle İlgili Çalışmalar.....	11
2.2. Atık Çelik Liflerin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi .....	12
2.3. Polipropilen ve Çelik Lifli Betonların Darbe Dayanımı.....	13
2.4. Atık Lastik İle Üretilen Betonun Donma-Çözülme Direnci İle İlgili Çalışmalar	13
2.5. Betonarme Korozyonu İle Çalışmalar .....	14
2.6. Atık Lastik İle Üretilen Betonun Korozyon Direnci İle İlgili Çalışmalar .....	18
2.7. Literatürdeki Korozyon Metodları.....	19
2.7.1. Ağırlık kaybını esas alan deneyler.....	19
2.7.2. Potansiyel haritaları .....	20
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>23</b>
3.1. Deneysel Çalışmalar .....	24
3.1.1. Fiziksel incelemeler (Açık gözenek ve yoğunluk ölçümü) .....	29
3.1.2. Mekanik özelliklerin belirlenmesi (Soğuk basma mukavemeti testi).....	29
3.1.3. Donma-çözülme testi .....	30
3.1.4. Korozyon testi.....	30
3.1.5. Taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile kırık yüzey ve mikroyapı analizleri .....	31
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>32</b>
4.1. Yoğunluk, Açık Gözenek ve SBM Sonuçları .....	32
4.2. Donma-Çözülme Testi Öncesi SEM İle Mikroyapı Analiz Sonuçları .....	35

4.3. Donma-Çözülme Öncesi Kırık Yüzey İncelemesi.....	46
4.4. Donma-Çözülme Test Sonuçları.....	49
4.5. Donma-Çözülme Testi Sonrası Mikroyapı Analizi .....	58
4.6. Korozyon Testi Sonuçları .....	60
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>80</b>
5.1. Sonuçlar .....	80
5.2 Öneriler .....	82
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>83</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>85</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

cm <sup>2</sup>	: Santimetrekaare
cm <sup>3</sup>	: Santimetreküp
°C	: Santigrat Derece
g	: Gram
kg	: Kilogram
m <sup>3</sup>	: Metreküp
mL	: Mililitre
mm	: Milimetre
MHz	: Megahertz
MPa	: Megapaskal
mV	: Mili Volt
N	: Newton
V	: Volt
%	: Yüzde

### Kısaltmalar

AC	: Alternatif akım
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
EDX	: Enerji Yayınımlı X-Işınları
SBM	: Soğuk Basma Mukavemeti
ASTM	: Amerikan Malzeme Standart Birimi

## 1. GİRİŞ

Beton malzemesi için önemli problemlerin başında yüksek eksenel yük seviyeleri altında taşıma gücünün yetersizliği, beton içindeki donatıların zamanla korozyona uğraması, donma-çözülme, bu sebeplerden dolayı çatlamların ve kopmaların oluşması gelmektedir. Çevrede zor ayrışan ve her geçen gün miktar olarak artan atıkların geri dönüşümü kadar farklı sektörlere geri kazandırılması, çevre açısından ve tekrar ürün üretme girdisi olabilmesi açısından önem arz etmektedir.

Günümüzde çelik lif takviyeli beton üretimi sertleşmiş betonun mekanik özelliklerini iyileştirmek için yapılmaktadır. Ayrıca korozyon, donma-çözülme betonarme yapılar için önemli bir problem olup, bu konuda çalışmalar yapılmaya devam edilmektedir. Lastik atıklarını ve atık tellerin betonda kullanımı üzerine çalışmalar yapılmaktadır ancak atık lastik içerisinden çıkan ince tel ile beton üretimi üzerine çok az çalışma vardır. Benzer şekilde, bronz atığının betonda kullanımı üzerine bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Bu tez çalışmasında daha önceden yapılmış 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 sağlanması araştırılmaktadır.

### 1.1. Çimento Nedir

Çimentonun ilkel maddeleri olan kil ve kalkerin belirli oranlarda karıştırılarak 1300-1500 °C sıcaklıklarda pişirilmesiyle elde edilen ürüne çimento denir. Yüksek sıcaklıklarda ilkel maddeler evvela ayrışır. Kalkerin ayrışması sonucunda CaO, kilin ayrışmasında SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> meydana gelir. Bu maddeler sıcaklığın daha büyük değerleri altında aralarında birleşerek çimentoya bağlayıcı madde özelliğini kazandıran silikatları ve alüminatları meydana getirir. Çimentonun katılma süresini

düzenlemek için az miktarda alçı taşı ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ilave edilir (Postacıoğlu,1986). Günümüzde yaygın olarak üretilen ve kullanılan çimento portland çimentosudur.

Portland çimento klinkeri esas olarak kalker ve kilin uygun oranlarda karıştırılması ve döner fırında yüksek sıcaklıkta sinterleşmeye kadar kızdırılmasıyla elde edilmektedir. Çok çeşitli çimento olmasına rağmen bu gün dünyada en çok üretilen portland çimentosu üretimini sağlayan en uygun kayaç marnlı kalker (killi kireçtaşıdır). Fakat her yerde uygun kimyasal bileşimdeki kayacı bularak tek hammaddeden çimento klinkeri yapmak mümkün değildir (Kapkaç, 2007).

Portland çimentosu klinkerinin temel hammaddeleri olan kireçtaşı ve kil hiçbir zaman doğada saf halde bulunmaz. Bunların içinde çeşitli yabancı maddeler bulunur ve bunlarda çimento içinde yer alırlar. Bu nedenle portland çimentolarının % 90'ını oluşturan  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  gibi temel bileşenleri dışında  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$  ve alkali oksitler ( $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ) bulunur (Kapkaç, 2007).

Çimentoyu oluşturan  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  klinker oluşumu sırasında yüksek sıcaklıkta birbiri ile birleşerek trikalsiyum silikat ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ), dikalsiyum silikat ( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ), trikalsiyum alüminat ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) ve tetra-kalsiyum alüminoferrit ( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ )'i oluşturur. Bu bileşikleri saf bir şekilde laboratuvarında elde etmek mümkündür. Ancak hammadde karışımı içinde değişik stokiometrik oranda bulunan oksitlerin birbirlerini etkilemeleri ve bunların dışında yabancı maddelerinde bulunması klinker bileşenlerinin ideal ve teorik durumlardan farklı bir şekilde bulunmasına yol açar (Kapkaç, 2007).

### 1.1.2. Çimento Üretim Aşamaları

Çimento üretimi sırasında belli aşamalardan geçmektedir.

- Ocaklardan patlatılarak çıkarılan çeşitli hammaddeler nakil araçlarına yüklenerak kırılmak üzere konkasörlere taşınır.
- Konkasörlerde kırılan hammaddeler ayrı ayrı stoklanır.
- Stoklardan alınan hammaddeler belli oranlarda karıştırılarak farin değirmenlerinde öğütülür.
- Farin adını alan karışım pişirilmek üzere farin stoklarında stoklanır.

- Ön ısıtıcılardan geçirilerek döner fırına sevk edilen farin yaklaşık 1400-1450 °C sıcaklıkta pişirilir.
- Döner fırından klinker olarak çıkan yarı mamul ürün soğutucuda soğutularak klinker stok holünde stoklanır. Alçıtaşı ve üretilecek çimento cinsine uygun katkılarla çimento değirmenlerinde öğütülür.
- Çimento cinslerine göre ayrı silolarda stoklanan çimento, torbalı ve dökme çimento olarak satışa sunulur (Kart, 2016).

### 1.1.3. Çimentonun hammaddeleri nelerdir

#### 1.1.3.1. Ana hammaddeler

Kalker ( $\text{CaCO}_3$ ), Kil ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) ya da istenilen özellikleri bünyesinde bulunduran Marn ( $\text{CaCO}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )

#### 1.1.3.2. Yardımcı hammaddeler

Silis Kumu ( $\text{SiO}_2$ )

Demir Cevheri ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

Alçı taşı ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

#### 1.1.3.3. Katkı hammaddeleri

Puzolanik (doğal ve endüstriyel) hammaddeler, öğütülmüş yüksek fırın tozları, uçucu küller, silikalı uçucu küllerdir.

### 1.1.4. Çimentonun ana bileşenleri

- $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  (dikalsiyumsilikat)  $\text{C}_2\text{S}$
- $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  (trikalsiyumsilikat)  $\text{C}_3\text{S}$
- $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  (trikalsiyumalüminat)  $\text{C}_3\text{A}$
- $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  (tetrakalsiyumalüminoferrit)  $\text{C}_4\text{AF}$

### 1.1.5. Çimentonun kimyasal kompozisyonu

Aşağıdaki çizelgede yer alan  $SO_3$ , çoğunlukla çimento üretimi esnasında klinkere eklenen alçıdan gelmektedir. Bunun dışındaki oksitler klinkeri oluşturan oksitlerdir. Görüldüğü gibi çimentonun büyük bir bölümü  $CaO$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  ve  $Fe_2O_3$ 'ten oluşmaktadır. Bu dört oksit, çimentonun ana bileşenlerini oluşturan ana oksitlerdir (Ramyar, 2004).

Çizelge1.1. Çimentonun kimyasal kompozisyonu

Oksit	Çimento Kimyasına Göre Sembolü	Miktarı, %	
Kireç	$CaO$	C	60 - 67
Siliç	$SiO_2$	S	17 - 25
Alümin	$Al_2O_3$	A	3 - 8
Demir Oksit	$Fe_2O_3$	F	0.5 - 6
Kükürt Trioksit	$SO_3$	S	1 - 3
Magnezyum Oksit	$MgO$	M	0.1 - 4
Alkaliler	$Na_2O + K_2O$	N+K	0.2 - 1.3

\* Çimento kimyasına göre su,  $H_2O$ , sadece H harfiyle gösterilmektedir; Bu durumda kalsiyum hidroksit,  $Ca(OH)_2$ , sadece CH ve alçıtaşı,  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  veya  $CaO \cdot SO_3 \cdot 2H_2O$ , ise  $CSH_2$  olarak ifade edilmektedir.

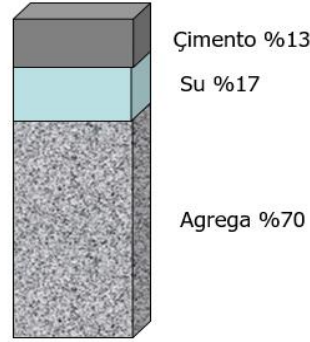
### 1.1.6. Çimentonun hidratasyonu

Çimentonun su ile reaksiyona girerek sistemde kimyasal ve fizikomekaniksel değişimlerin (katılaşma ve sertleşme) meydana gelmesi olayına çimentonun hidratasyonu denir. Hidratasyon süreci çimento ve suyun bir araya gelmesiyle başlar. Çimento tanecikleri kısmi olarak su içerisinde çözünürler. Çözünen bileşenler değişik hızlarda ve oranlarda reaksiyona girer. Reaksiyonlar sırasında ısı açığa çıkar ve yeni ürünler meydana gelir. Oluşan yeni ürünler çimento hamurunun sertleşmesine ve agregaların çimento hamuru ile bağlanmasına neden olurlar (Anonim 1).

## 1.2. Beton Nedir

Beton, çimento, su, agrega ve kimyasal veya mineral katkı maddelerinin homojen olarak karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup, şekil

verilebilen, zamanla katılaşıp sertleşerek mukavemet kazanan bir yapı malzemesidir.



**Şekil 1.1.** Beton bileşenlerinin yaklaşık hacimce yüzdeleri

Betonda su kullanılarak kimyasal reaksiyon başlatılır ve betona işlenebilir bir akıcılık sağlanır. İçilebilen her su beton yapımında kullanılabilir.

### **1.2.1. Betondan beklenen özellikler**

İyi bir beton bazı özelliklere sahip olması gereklidir. Bunlardan bazıları, mukavemetinin yüksek ve dayanıklı olması, hava etkisine, kimyasal etkilere ve aşınmaya karşı dayanıklı olması vb. Genelde betondan beklenen özellikleri, şu başlıklar altında incelemek mümkündür.

#### **1.2.1.1. Basma mukavemeti**

Betonun en önemli mekanik özelliği basma dayanımıdır. Basit mukavemet değerleri arasında en yüksek olanı basma, en düşük olanı çekmedir. Betonun çekme mukavemeti, basma mukavemetinin %8'i ile %14'ü arasındadır. Pratikte, betonun hiç çekme gerilmesi olmadığı, hemen çatladığı varsayılır ve beton da sadece basma dayanımı göz önüne alınır. Betonun basma dayanımı, diğer beton nitelikleriyle paralellik gösterir. Yüksek basma dayanımlı beton doludur, serttir, su geçirmez, dış etkilere dayanır ve aşınmaz.

Basma dayanımı standart silindir veya küpler üzerinde belirlenir. Basma dayanımı, laboratuvar koşullarında olgunlaştırılan 28 günlük beton örnekleri üzerinden değerlendirilir. Genel olarak standart beton basma dayanımının 28 gün

sonunda %100'e ulaşıldığı kabul edilir. Beton basma mukavemeti, imalatçıya betonun genel kalitesi hakkında fikir vermektedir (Anonim 2).

### **1.2.1.2. İşlenebilme**

Betonyerden çıkan taze betonun, taşıma ve kalıba yerleştirme sırasında ayrışarak homojenliğini kaybetmeme ve kalıplarda kolaylıkla yayılarak mümkün olduğu kadar az boşluk bırakarak bunları doldurma özelliklerinin hepsi birden işlenebilme özelliğini ifade eder.

Taze betonun kıvamı, yalnız ilave edilen su miktarının bir fonksiyonu değil, aynı zamanda uygun bir kıvamın elde edilmesi için su ihtiyacını tayin eden agreganın tane şekli ve granülometrisinin de bir fonksiyonudur. Bunda çimentonun karakteri ve miktarının da rolü büyüktür. Beton kıvamında, yuvarlak ve granülometrisi düzgün agreganın karışım suyu ihtiyacı, köşesi ve granülometrisi iyi olmayan agregadan daha azdır.

Kimyasal katkı maddesi kullanarak, betonun işlenebilme özelliğini arttırmak olasıdır, çökme değerini istenilen işlenebilmeye ayarlamak mümkündür. Süper akışkan betonlar üretilebilmektedir. Bu sayede beton yüksek noktalara kolaylıkla ulaştırılmaktadır (Anonim 2).

### **1.2.1.3. Dayanıklılık**

Dayanıklı bir beton, maruz kalacağı hizmet şartlarına, yani hava şartlarına, kimyevi tesirlere ve aşınmaya yeterli bir derecede tahammül edebilmelidir.

Hava şartlarına karşı dayanıklılık; betonun hava şartlarından dolayı parçalanıp dağılmasına sebep, ısı ve rutubet değişiklikleriyle meydana gelen donma-çözülme, genişleme, büzülme olaylarıdır. Beton içerisindeki mikroskobik hava habbecikleri betonun kılcallığını keser ve su geçirgenliğini önleyerek betonun donmasını engeller (Anonim 2).

#### **1.2.1.4. Aşınma ve çarpmaya karşı mukavemeti**

Yol, hava alanı, su boruları ve genel olarak döşeme kaplamalarında kullanılan beton, önemli derecede aşınma etkisinde kalır. Genellikle basma dayanımı yüksek olan betonlar aşınmaya karşı da dayanıklıdır.

Betonda çimento miktarı, agregaya kıyasla az olduğundan asıl aşınma etkisi agregaya gelir. Bu bakımdan beton üretiminde, aşınmaya dayanıklı sert agregaların kullanılması betonun aşınmaya karşı dayanımını artırır. Basma ve çekme mukavemeti büyük olan betonların çarpma mukavemeti de büyük olur (Anonim 2).

#### **1.2.1.5. Permeabilite (Geçirimsizlik)**

Betonun geçirgenliği, beton içerisindeki boşluklar ile çimento hamuru agrega ara yüzeyindeki mikro çatlakların bir fonksiyonudur. Su yapılarında, betonun su geçirgenliğinin az veya hiç olmaması çok önemlidir. Betonun su geçirgen bir yapıda olması önemli bir su kaybına neden olduğu gibi, donma-çözülmeden de çok etkilenmektedir. Çimentonun hidrasyon hızının yüksek olması halinde geçirimsizlik küçük değerler alabilir. Hidrasyonun zamanla gelişmesi, geçirimsizliğin zamanla azalmasına yol açar.

Kılcal su geçirimsizliği, daha çok bina cephelerinde zemin suyunun yerçekimine rağmen ince kılcal boşluklardan yükselmesi şeklinde görülür. Sıva ve beton yüzeylerde çiçeklenme adı verilen tuz birikmesi olayı, kapillarite olayı nedeniyle gelişir (Anonim 2).

#### **1.2.1.6. Hacim değişimi**

Hacim sabitliği betonda genel olarak aranan özelliklerdendir. Betonda hacim değişiklikleri betonun servis ömrü boyunca yapısal yönden önemli bir deformasyon meydana getirmemelidir. Genel olarak hacim değişimi, ıslanma ve kuruma sonrası meydana gelen genleşme ve büzülmedir. Genleşme ve büzülme olayına rötre denir. Rötre olayının iki önemli zararlı etkisi vardır. Bunlardan biri, betonda çatlakların oluşması, diğeri de betonarme donatıda parazit gerilmelerin oluşmasıdır. Çatlaklar,

betonun özellikle çekme dayanımını düşürürler. Ayrıca geçirimsizliğin artması nedeniyle betonun kimyasal etkilere ve donatı dayanıklılığını azaltıp, donatının korozyonunu kolaylaştırırlar. Betonlarda rötre olayı çok çeşitlidir, farklı nedenlere dayanan rötre türleri vardır (Anonim 2) .

### **1.2.1.7. Elastisite**

Beton, genel olarak elastik bir malzeme değildir. Betonun gerilme-deformasyon ilişkisi genellikle bir eğri şeklindedir. Eğrinin düz olduğu kısımdan eğrinin başlama noktası ve gerilmenin deformasyona oranı elastikiyet modülü olarak isimlendirilir. Betonun 28 günlük kırılma mukavemetlerinin %75'ine kadar ki basma dayanımları için, gerilme-deformasyon oranı oldukça üniformdur (Anonim 2).

### **1.3. Bronz Nedir**

Bronz, kompozisyonu geniş çapta değişebilen bir bakır alaşımıdır. Genellikle, dayanım ve aşınma direncinin gerekli olduğu ve bakırdan daha sert bir malzemenin gerekli olduğu durumlarda veya süs amaçlı kullanılır. Özellikle hava koşullarının etkisiyle bronzda değişimler meydana gelebilir. Gerçek bronz, yaklaşık % 90 bakır (Cu) ve % 10 kalay (Sn) kombinasyonudur, ancak heykel ve inşaat yapımda üç ana sınıf bronz türü vardır. Bunlar:

Heykel Bronz: Yaklaşık % 97 bakır (Cu), % 2 kalay (Sn) ve % 1 çinko (Zn); Bu kompozisyon gerçek bronzlara en yakın olanıdır.

Mimari Bronz: Yaklaşık % 57 bakır (Cu), % 40 çinko (Zn) ve % 3 kurşun (Pb) içerir.

Ticari Bronz: Yaklaşık % 90 bakır (Cu) ve % 10 çinko (Zn) içerir.

Geleneksel olarak, çinko içeren bakır alaşımı pirinçtir, kalay içeren bakır alaşımı bronzdur. Ancak bronz bileşimi önemli ölçüde değişebilir ve günümüzdeki bronzlar tipik olarak kalaylı (Sn) ya da kalaysız, silisyum (Si), manganez (Mn), alüminyum (Al), çinko (Zn) ve diğer elementleri içerebilen bakır alaşımlarıdır. İşlenmemiş durumdaki bronz, yarı-pembe veya somon rengi metaldir; saf halinde nadiren görülür. Bronz genellikle yeşil pas oluşumu ve korozyon sergiler ve böylece

rengi normal olarak limon yeşilinden kahverengiye doğru değişir. Açıkta kalan bronz sürekli renk değişimine uğrar ve oksidasyon ve korozyonun öngörülebilir aşamaları boyunca renk değişimi ilerleme kaydeder. Bronz korozyonunun evreleri aşağıdakiler başta olmak üzere birçok faktöre bağlı olarak başlangıç zamanı ve süresinde değişiklik gösterebilir.

- Bronz kompozisyonu
- Dökümde uygulanan yeşil pas ve diğer koruyucu işlemler
- Hava
- Bulunduğu yer ve yağış, güneş ve diğer iklim koşullarına maruz kalması
- Atmosferik kirleticiler
- Programlı bakım / temizlik (Anonymous, 2016).

% 10'dan fazla kalay içeren kalay bronzları genellikle pirinçten daha sert ve korozyona dayanıklıdır ve çoğu zaman % 20 kalay eklenir.

Bronz korozyon süreci öngörülebilir beş aşamadan geçer:

1. İndüksiyon, normal oksidasyon gerçekleştiğinde, normalde koyu kahverengi bakır oksit filmi üretir ve bu da gelecekteki kirleticilere karşı koruyucu bir bariyer oluşturabilir. Atmosferdeki yüksek konsantrasyonda sülfürler, daha az koruyucu filmler üretebilir. Oksitlenme hızı, yüzey kaplamasının uzun süreli dayanıklılığı üzerinde de etkili olabilir. Uzun süreler boyunca oluşan oksitler bozulmaya karşı çok daha dayanıklıdır.

2. En üstteki metalik yüzeyin bakır sülfata dönüştürülmesi, normalde yatay yüzeyler gibi en şiddetli maruz kalma yüzeylerinde meydana gelir. Oksijen yoksunluğu ve partiküllerin birikimi ve nem, elektrolitik reaksiyonların meydana geldiği yerde katalitik bir durum yaratır.

3. Akıntı çizgileri ve kabuk oluşumu önceki iki aşamadan daha yavaş bir oranda gerçekleşir ancak sonuçlar önemlidir. Bakır sülfatlar ve sülfürler daha önceki aşamalarda oluşmuş olabilir, ancak bu bileşiklerin çözünürlük dereceleri büyük ölçüde değişebilir. Yüzeyde düzensiz siyah-beyaz alanlar veya ada benzeri kabuklar bulununcaya kadar bu erozyon devam edebilir.

4. Oyuk, siyah kabuk oluşumunun etrafına yayılabilir; Oyuk da istikrarlı bir yüzey gibi görünerek alta yayılmaya devam edebilir. Çukurlaşma genellikle havadan çökelmiş mikroskobik klorür parçacıkları tarafından meydana gelir ve hızlandırılır ve

bir kabuğun veya bariyer kaplamanın altında klorürler varsa korozyon kontrol edilmemiş ve görünmez halde devam edebilir.

5. Açıkta kalan tüm yüzeylerin parlak mavi-yeşil bakır sülfata dönüşümü, korozyonun son aşamasıdır. Sonuç, kireç rengi ve mat dokusu ile tanıdık katı yeşil bronzdur. Bu durum bazen arzu edilen son durum olarak algılanır, ancak aslında aktif korozyonun bir fazıdır (Anonymous, 2016).



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

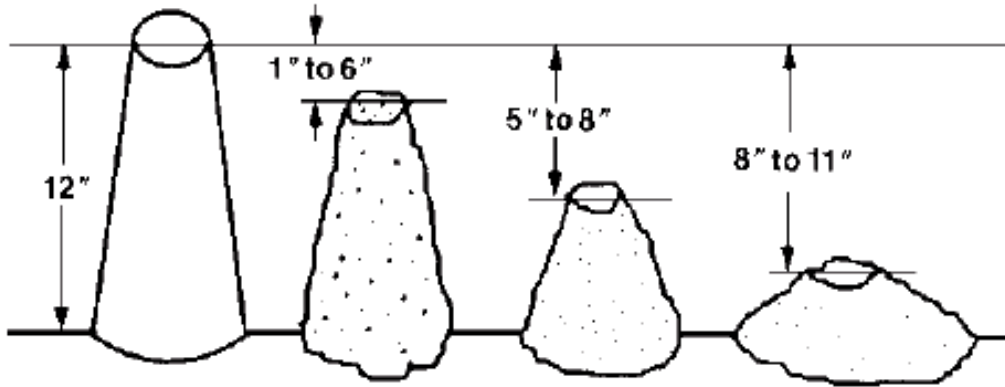
Atık lastik ve tel atık kullanılarak üretilen betonlarla ilgili çalışmalar geçmişten beri yapılmaktadır.

### 2.1. Atık Lastik İle Üretilen Betonun Mekanik Özellikleri İle İlgili Çalışmalar

Garrick 2005 yılında yaptığı tez çalışmasında; çelik takviyeli ve takviyesiz beton içerisinde kamyon ve araba lastik atığını fiber ve parça şekillerinde kullanmış, basma ve çekme testleri ile çökme testi yapılmıştır.



Şekil 2.1. Garrick tarafından yapılan tez çalışmasında kullanılan lastik atık şekilleri: a) parça şeklinde lastik atıklar, b) fiber şeklinde lastik atıklar



Şekil 2.2. Tipik çökmelerin kıyaslanması

Çalışma sonucunda, tokluğun atık kullanılan betonda daha yüksek olduğu, çatlağa karşı fiberlerin köprü yapması sebebi ile çatlakların kontrol edilebildiği, atıklar ile malzemenin daha sünek hale geldiği, fiber şeklinde kullanılan atıkların parça şeklinde kullanılan atıklara göre daha iyi sonuçlar verdiği, çekme testinde

çatlak oluştuktan sonra fiberin malzemeyi tuttuğu, atık kullanılan betonların daha düşük çekme ve basma mukavemet değerlerine sahip olduğu belirtilmiştir (Garrick, 2005).

2016 yılında Necmettin Erbakan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü öğrencisi Ünal Akgün'ün lisans bitirme tezi olarak yaptığı Atık Lastik, Çelik Tel Ve Forta-Ferro Liflerin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi adlı çalışma sonucunda atık lastik ilavesinin basınç deneyleri sonucunda katılan atık lastik miktarına bağlı olarak dayanımın önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Öncelikle %1 atık lastik kullanımında dayanım %3.9 artmış ve olumlu bir yönde artış sağlamıştır. Ancak %2.5 atık lastik kullanımında dayanım %16.14 azalmış , %5 atık lastik kullanımında ise dayanım %33.18 azalmıştır. Sonuçlardan anlaşılacağı üzere ilave edilen lastik atıklarının oransal olarak artımı dayanımda kayda değer bir azalmaya sebep olmaktadır.

Çelik telli ilavelerin basınç deneyleri sonucunda dayanımda lineer olmayan bir artış söz konusu olmuştur. %1 çelik telleri kullanımında dayanım %11.18 artmış , %2 çelik telleri kullanımında dayanım %20.91 artmış ve %3 çelik telleri kullanımında ise dayanım %16.34 artmıştır. Sonuçlardan anlaşılacağı üzere ilave edilen çelik tellerinin oransal olarak artımı dayanımda kayda değer bir artmaya sebep olmaktadır. Çelik teller için bu önemli bir ölçüttür (Akgün, 2016).

## **2.2. Atık Çelik Liflerin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi**

2015 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı öğrencisi Deniz Hamzaçebi 'nin yüksek lisans tezi olarak yaptığı Atık Çelik Liflerin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi adlı çalışmada şekil ve boyutlarına göre üç sınıfa ayrılan atık çelik teller kullanılmıştır. Kıvrık çelik tel b, düz çelik tel c, kalın çelik tel d olarak adlandırılmıştır. 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 gözlenmiştir. Yaklaşık % 0.5 atık çelik tel ilavesiyle yalnız betona göre % 3.03 civarı bir dayanım artışı ölçülmüştür. Çoğu numunede yalnız betondan daha düşük dayanımlar elde edilmiştir. Bu çalışma sonucunda atık çelik

tellerin betonun basınç dayanımında önemli bir artış oluşturmadığı söylenebilir (Hamzaçebi, 2015).

### **2.3. Polipropilen ve Çelik Lifli Betonların Darbe Dayanımı**

2012 yılında Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı öğrencisi Murat Caf'ın yüksek lisans tezi olarak yaptığı Polipropilen Ve Çelik Lifli Betonların Darbe Dayanımı adlı çalışmada polipropilen lif miktarı 300 g a kadar basınç dayanımı üzerinde olumlu etki yapıp maksimum basınç dayanımına ulaşmıştır. Bu değer 32,93 MPa olarak tespit edilmiştir. Lif miktarı arttıkça 600 g ve 1200 g oranlarında daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. En düşük değer 28,39 MPa ile 1200 g ilaveli liflerde gözlenmiştir. Çelik lif miktarının %1 olması durumunda en yüksek basınç dayanımı değerinin elde edildiği görülmektedir. Bu değer 37,61 MPa olarak tespit edilmiştir. En düşük değer ise kontrol numunelerinde gözlenmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde lif oranının %1'e kadar olması durumunda basınç dayanımında artış tespit edilirken %1 den sonraki oranlarda basınç dayanımının azalmaya başladığı belirlenmiştir. Fakat lifli numunelerin en düşük basınç dayanımlarının kontrol numunelerine göre %0,8 daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Caf, 2012).

### **2.4. Atık Lastik İle Üretilen Betonun Donma-Çözülme Direnci İle İlgili Çalışmalar**

Savas ve arkadaşları 1996 senesinde öğütülmüş granüle lastik/kauçuğu ağırlıkça 10, 15, 20 ve 30 oranlarında betona katarak donma-çözünme davranışlarını incelemiştir; 10-15 oranında atık malzeme katkısı ile üretilen betonun 20-30 oranında atık ile üretilen betona göre 300 donma-çözülme çevrimine yaklaşık olarak % 60 oranında daha iyi performans gösterdiğini belirlemiştir (Savas ve ark., 1996).

Benazzouk ve arkadaşları tarafından 2002 senesinde yapılan çalışmada kompakt ve uzun lastik agregası kullanılarak üretilen betonun donma-çözülme davranışı incelenmiş, % 30-40 oranlarında kullanıldığı zaman dayanıklılığın arttığı,

uzun lastik agregasında daha iyi sonuç alındığı belirtilmiştir (Benazzouk ve ark, 2002).

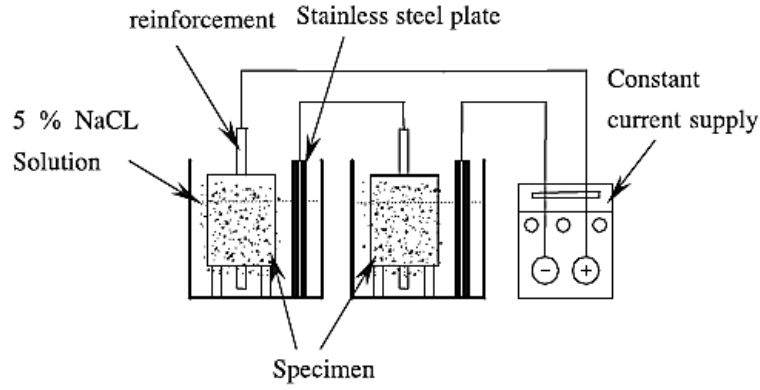
Gadkar tarafından yapılan tez çalışmasında öğütülmüş iri ve ince lastik/kauçuk atığı kullanarak basma mukavemetlerini, çözülme-donma dirençlerini incelemiştir. İnce boyutta atık kullanımının iri atık kullanılan betona göre ve ayrıca, atık ile birlikte yüksek alkali oranlı çimento kullanımının da düşük alkali içerikli çimentoya göre daha iyi donma-çözülme direnci gösterdiği belirtilmiştir (Gadkar, 2013).

## 2.5. Betonarme Korozyonu İle Çalışmalar

Congqi Fang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, 28 gün kürlendikten sonra 3 gün %5 NaCl çözeltisi içinde bekletilen düz ve deformedeli (Şekil 2.3.) çelik takviyeli beton malzemelerin korozyon direnci elektrik akımı altında tespit edilmiş ve mekanik testi yapılmıştır. Bazı numuneler, polietilen ile 20 °C'de üç gün kaplaması yapılmıştır.



Şekil 2.3. Kullanılan takviye barların şekli



Şekil 2.4. Elektrokimyasal korozyon yöntemi

Korozyona uğrayan takviye faz ile beton arasındaki bağlanmayı sağlamak için, test sonuçları aşağıdaki parametrelere göre analiz edilmiştir:

- 1) Korozyonun teorik ve gerçek derecesinin kıyaslanması
- 2) Farklı korozyon derecelerinde yük-kayma davranışı
- 3) Bağlanma Mukavemeti üzerine korozyon seviyesi etkisi

Çizelge 2.1. Congqi Fang ve arkadaşlarının yaptığı çalışma sonuçları

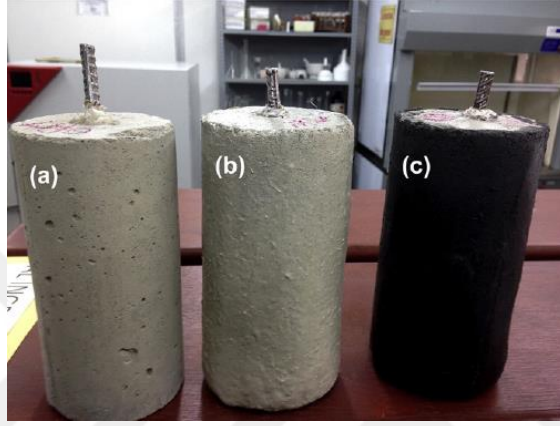
Specimen number	Specimen type <sup>a</sup>	Designed corrosion (%)	Measured corrosion (%)	Corrosion time (h)	Time of cracking (h)
1	D1	3.0	2.01	92.95	No crack
2	D1	7.0	4.29	219.16	120
3	D1	10.0	9.02	324.36	106.5
4	D2	3.0	1.00	92.95	No crack
5	D2	10.0	3.84	324.36	252
6	D2	7.0	6.01	219.16	72
7	S1	3.0	3.28	92.95	81.8
8	S1	10.0	6.77	324.36	226
9	S2	3.0	3.02	92.95	81.8
10	S2	7.0	4.74	219.16	154

Bu çalışma sonucunda, düz takviye bar kullanılması ile deforme bar kullanılan betona göre daha fazla korozyon olduğu, korozyon süresinin artması ile korozyon derecesinin de arttığı, D2 ve S2 olarak belirtilen polietilen malzemesi ile kaplamalı betonlar da ise korozyonun daha da düşük seviyelerde olduğu belirlenmiştir (Fang ve ark., 2004).

Cabrera'nın yaptığı çalışmada da benzer şekilde kaplamalı çelik takviyesinde betonarme ürünün daha az korozyona uğradığı tespit edilmiştir. Ayrıca korozyon derecesinin bağ mukavemeti üzerine önemli bir etkisi olduğu, korozyon derecesinin

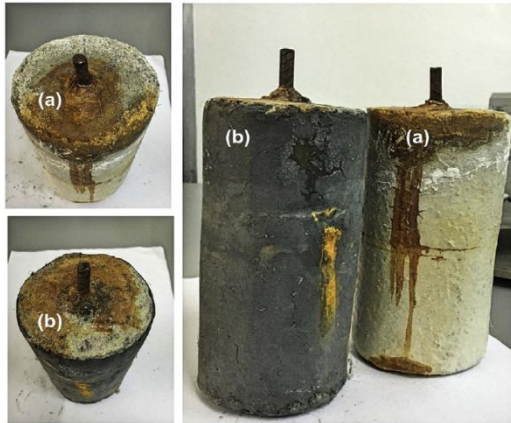
artması ile bağ mukavemetinin azaldığı belirtilmiştir. Bu çalışmada, uçucu kül betonunun normal portland çimentosu kullanılarak üretilen betondan daha iyi korozyon direnci gösterdiği sonucuna varılmıştır (Cabrera, 1996).

Guerrero ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada beton ürün metakaolin ve uçucu kül geopolimerik olarak 3, 7 ve 28 gün kaplamaları yapılmıştır.



Şekil 2.5. a) Kaplamasız, b) Metakaolin kaplamalı, c) Uçucu kül kaplamalı beton

Daha sonra ASTM C1202 standardına göre 15 gün, % 3,5 NaCl test hücresi içerisinde klor iyonlarına karşı dayanımlarını incelemek için 7 gün boyunca 5V voltaj uygulamıştır.

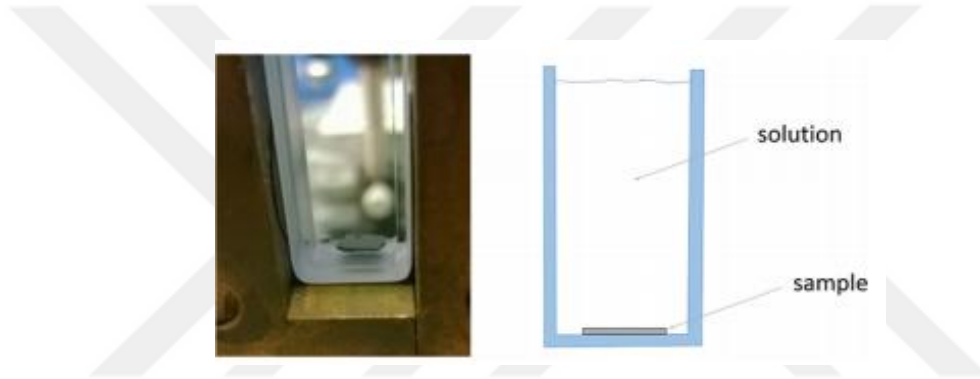


Şekil 2.6. Korozyon sonrası; a) Metakaolin kaplamalı, b) Uçucu kül kaplamalı beton

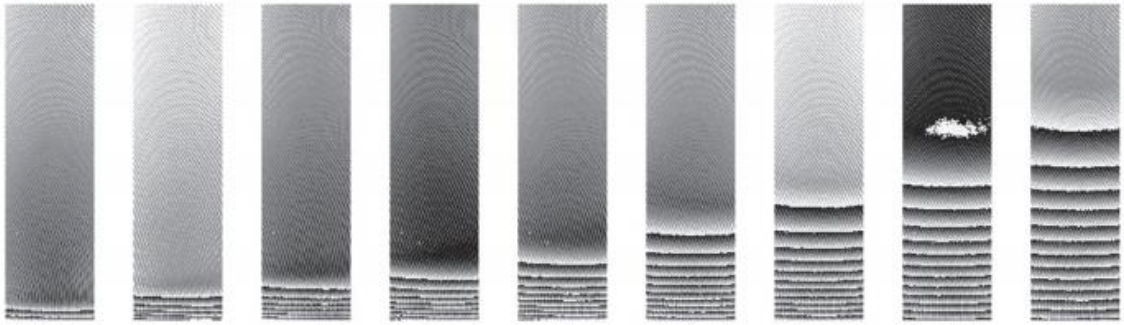
Bu çalışma sonucunda, metakaolin kaplamalı betonun daha yüksek basma mukavemetine sahip olduğu, jel polimerik kaplamanın hibrit polimer kaplamaya göre daha iyi yapışma özellik göstereceği belirtilmiştir. Geopolimer malzemenin

kaplamasız beton malzemesine göre çok daha iyi klor geçirgenlik direnci gösterdiği ve dolayısıyla geopolimer malzemelerin koruyucu bir kaplama olduğu sonucuna varılmıştır (Guerero, 2017).

Gay ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada petri kaplarına dökülen ve kesilen çimento macununa nemli ortamda 28 gün kürleme işlemi yapılmış ve  $5 \times 5 \times 0.5 \text{ mm}^3$  boyutlarında paralel yüzlü numuneler elde edilmiştir. Nitrik, sülfürik ve hidroklorik asit çözeltileri, istenen pH'ı elde etmek için saf suyla seyreltilmiştir. Bu güçlü üç inorganik asidin pH değerleri çözeltideki agresif türlerin içeriğini belirtmek için uygun miktardadır. Tüm deneyler ortam sıcaklığında gerçekleştirilmiştir (Gay ve ark., 2016).



Şekil 2.7. Asit çözeltisi içeren deney hücresi



Şekil 2.8. pH' ı 1.5 olan nitrik asit çözeltisi içerisindeki sertleşmiş portland çimentosu numunesinin 5, 15, 30, 50, 80, 130, 220, 400 ve 600 dakika sonra çözünmesini gösteren dijital holografik deney hücresi

Çözeltide kalma süresi uzadıkça çözünme artmıştır. Her üç asitte pH 2 seviyesinde sonuçların beklenenin aksine iyi çıktığı, bunun da çökeltme ile hızlanan bozunma kinetiğinin doğrudan bir göstergesi olduğu belirtilmiştir.

## 2.6. Atık Lastik İle Üretilen Betonun Korozyon Direnci İle İlgili Çalışmalar

Khalilitabas ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada 150 gün süreyle NaCl çözeltisine daldırıldığında geçirgenlik, su emme, korozyon potansiyeli, lineer polarizasyon direnci ve AC empedansını ölçerek çelik takviyeli betonun dayanıklılığı ve korozyon dayanımı üzerindeki lastik etkisini değerlendirmek amaçlanmıştır.

NaCl çözeltisine daldırılan betonun 150 gün boyunca geçirgenlik, su emme, korozyon potansiyeli, doğrusal polarizasyon direnci ve AC empedansı ölçülmüştür. Lastik ilavesi ile lastik esaslı betonların su geçirgenliğinin azaldığı gözlenmiştir. Lastik takviyeli betonun hacmini incelemek için taramalı elektron mikroskopisi mikrografları kullanılmış ve çimento / lastik ara yüzey bölgelerinin su geçirgenliği üzerinde önemli bir etkisi olduğu gösterilmiştir. Bu betonun korozyon davranışı klorür çözeltisinde araştırılmıştır. Sonuç olarak düşük lastik ilavesi ile optimum korozyon dayanımı elde edildiği gözlenmiştir. Bu çalışma, özellikle ekonomik açıdan atık lastik malzemesi ile modifiye edilmiş beton imalatı için uygun bir yöntemi açıklamaktadır (Khalilitabas ve ark, 2011).

Keleştemur 2009 senesinde çelik takviyeli beton malzemesinde, agrega bileşenini hacimce %2, 5, 7 ve 10 oranlarında iri fiber atık lastik ile değiştirilerek mekanik özelliklerini ve fiziksel özelliklerini incelemiştir. Çelik takviyeli betonun korozyonunu galvanik hücre içerisinde, elektrot potansiyel değişimi esasına göre, klor ilaveli ve ilavesiz olarak belirlemiştir. Sonuçlar incelendiğinde, çimento ile atık arasında bağlanma zayıf olduğundan, atık miktarının artması ile gözenek artmış, mukavemet düşmüştür. Atık lastik miktarı arttıkça çelik takviyesinin korozyon hızı azalmıştır (Keleştemur, 2009).

Nasser Al-Aqeeli tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada, iri ve ince boyutlardaki granüle olmuş atık lastik ve reçine yardımı ile çelik takviyeler kaplanmış ve beton içerisinde kullanılmıştır. İnce boyutlu atık ile daha düzgün yüzeyler elde edilmiştir. Kaplama miktarının artması ile korozyon direnci de artmıştır (Al-Aqeeli, 2015).

## 2.7. Literatürdeki Korozyon Metodları

Beton, bazik özelliği ile çeliği korozyona karşı çok iyi korur. Ancak, çeşitli çevresel etkilerle meydana gelen donatı korozyonu sonucu beton-çelik ara yüzünde aderans kaybı olur; beton ile çelik birlikte çalışamaz hale gelir, yapı güvenliği zaafa uğrar. Hasarların en aza indirilmesi için betonun basınç dayanımı yüksek, geçirimsizliği düşük, örtü betonu kalınlığı yeterli ve sürekli olmalı, tasarım ve uygulamanın en az hata ile gerçekleştirilmesine azami özen gösterilmeli, gerekli bakım ve onarım zamanında ve eksiksiz olarak yapılmalıdır.

Betonun korozyonuna başta; tasarım ve yapım sırasındaki konstrüksiyon hataları ve beton özellikleri olmak üzere pek çok faktör etki eder. Korozyon olayına alkali-agrega reaktivitesi (AAR) gibi iç korozyon olayları dışında çoğunlukla dış ortamdaki su ve zararlı sular neden olur (Aköz, Çakır 2014).

Betonarme yapılarda korozyon hızının ölçümü için bazı deneyler yapılmaktadır:

### 2.7.1. Ağırlık kaybını esas alan deneyler

Donatıda korozyonun oluşturduğu kesit kaybını araştırmak için ağırlık kaybından yararlanılarak penetrasyon derinliği belirlenebilir. Bunun için korozif ortamda bekletilen metal numunenin, belirli süre sonunda, yüzeyinde meydana gelen malzeme kaybı tespit edilerek malzemenin ortalama yıllık penetrasyon hızı (1.1) bağıntısı ile hesaplanır. Bu ifadede P, cm/yıl olarak penetrasyon hızını;  $W_K$  metalin korozyonla ağırlık kaybını (g); S, korozyona maruz kalan yüzeyi ( $cm^2$ ); t, deney süresini (saat);  $\Delta$  ise metalin yoğunluğunu ( $g/cm^3$ ) göstermektedir.

$$P = W_K \cdot (\Delta \cdot S \cdot t)^{-1} \cdot 24.365 \quad (1.1)$$

Korozyon nedeni ile birim zamanda, metal yüzeyinden taşınan tabakanın kalınlığını ifade eden ve literatürde korozyon hızı olarak tanımlanan bu bağıntı, mpy (mil/yıl: 25.4 $\mu$ /yıl) cinsinden (1.2) standartlarda da yer almaktadır [ASTM G1- 90].

$$\text{Korozyon hızı (mpy)} = 3,45 \cdot 10^6 \cdot W_K \cdot (\Delta.S.t)^{-1} \quad (1.2)$$

Korozyon nedeni ile oluşan ağırlık kaybı, pas tabakasının Clarke Çözeltilisi olarak bilinen kimyasal sıvı (1000 mL HCl, 24 g Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve 71.3 g SnCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O) ile temizlenmesinden sonra belirlenir (Yüzer, 2003).

### 2.7.2. Potansiyel haritaları

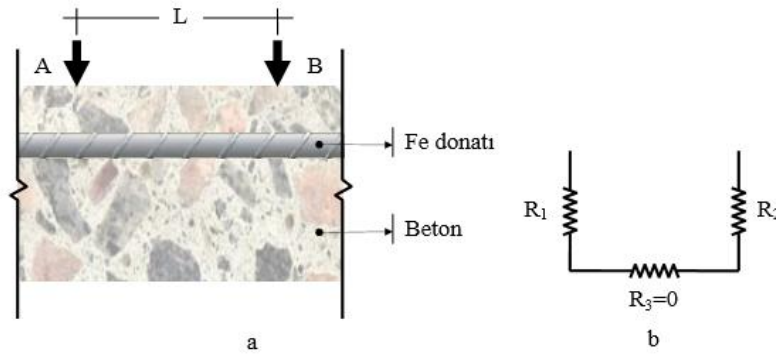
Korozyon hasarının tespitinde yapının korozyona uğrama ihtimalinin çok arttığı aktif bölgelerin gösterildiği potansiyel haritalarından çok sık yararlanır. Bu deney metodunda donatı çeliğinin korozyon aktivitesini belirlemek amacıyla yerinde veya laboratuvarında donatının elektriksel yarı hücre potansiyeli ölçülür. Korozyon potansiyelinin ölçülmesine dayanan bu yöntemde elektrokimyasal korozyon kolay ve hızlı bir şekilde izlenir. Yarı hücre potansiyeli metodunda referans elektrotu beton yüzeyine değdirilir, beton içindeki donatı ile referans elektrotu arasında meydana gelen potansiyel farkı, yüksek empedanslı bir voltmetre ile ölçülür. Betonun elektriksel direnci yüksek olduğundan iletkenliği sağlamak amacı ile referans elektrot ile beton arasına özel bir sıvı ile nemlendirilmiş sünger konulur. Bu metotta donatı üzerindeki beton kalınlığı dikkate alınmaz, beton elemanın herhangi bir servis süresinde uygulanabilir.

Referans elektrotu olarak en çok bakır-bakır sülfat, gümüş-gümüş klorür veya kalomel elektrot kullanılır. Bunlardan KCl eriğine daldırılmış Hg/Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> Kalomel elektrotu, KCl çözeltisinin normalitesine bağlı olarak 0.1N; 1N veya doymuş kalomel elektrot adlarını alır. Yapılması ve muhafazasının kolaylığı bakımından ve 1mV'luk hassasiyet yeterli olduğundan doymuş kalomel elektrot daha yaygın olarak kullanılır (E=0.2425 volt) (Yüzer, 2003). Sharp vd (Figg ve Leeming (1988), bu üç farklı referans elektrotu karşılaştırdıkları deneysel çalışmada; bakır-bakır sülfat elektrotunun beton boşluk suyuna benzeyen sodyumhidroksit çözeltisinde kararsız olduğunu, deniz suyunda ise elektrot potansiyelinin 150 mV'a varan salınımlar yaptığını, diğer iki elektrotun iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Ayrıca, aşağıda sıralanan fiziksel gerçeklere dayanarak bir düzenek hazırlamak mümkündür. Bunlar;

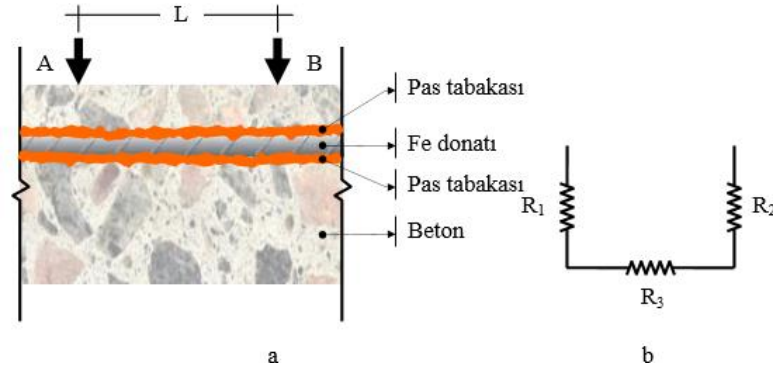
1. Kuru beton iyi bir elektrik iletkeni değildir. Elektrik akımının geçişine önemli bir direnç gösterir.
2. Çelik donatı iyi bir iletkendir. Elektrik akımını önemli bir direnç göstermeden geçirir.

Bir betonarme eleman kesitine bakıldığında (Şekil 2.9.a) ve eşdeğer elektrik devresi (Şekil 2.9.b) görülmektedir. Aralarında L mesafesi olan iki noktadan direnç ölçümü yapılırsa, üç direncin toplam değeri bulunmuş olur. Birincisi beton yüzeyinden donatıya kadar olan  $R_1$  direnci, ikincisi L uzunluğundaki demir donatının direnci  $R_2$  (ki paslanmamış bir donatıda sıfıra yakındır), üçüncüsü donatıdan beton yüzeyindeki B noktasına kadar olan  $R_3$  direncidir. Toplam direnç bu durumda  $\Sigma R_{temiz}=R_1+R_2+R_3$  olacaktır.



Şekil 2.9. (a) Donatıda korozyon gelişmemiş bir betonarme eleman kesiti ve (b) eşdeğer elektrik devresi

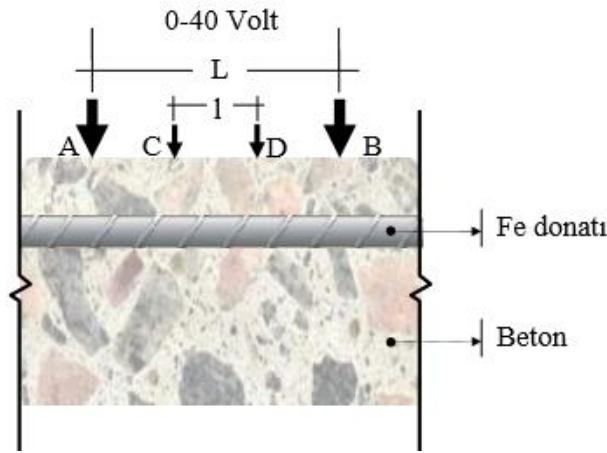
Şimdi içindeki donatısı korozyona uğramış bir betonarme kesiti incelensin (Şekil 2.9.a ve Şekil 2.9.b). Gene aralarında L mesafesi olan A ve B noktaları arasındaki direnç sayısı üç gibi görülüyor. Birincisi beton yüzeyinden donatıya kadar olan  $R_1$  direnci, ikincisi donatının direnci olan  $R_2$  direnci, üçüncüsü ise donatıdan yüzeye kadar olan  $R_3$  direncidir. Toplam direnç gene  $\Sigma R_{korozyonlu}=R_1+R_2+R_3$  olacaktır.



Şekil 2.10. (a) Donatısı korozyona maruz kalmış bir betonarme eleman kesiti ve (b) eşdeğer elektrik devresi

Donatının korozyona uğramış olduğu ikinci şekildeki toplam direnç, donatının temiz olduğu birinci şekildeki toplam dirençten çok daha büyük olacaktır. Çünkü, bütün metal oksitler iyi birer yalıtıcıdır. Bu yüzden birinci şekilde sıfıra yakın olan  $R_2$  donatı direnci, ikinci şekilde, hatırı sayılır derecede büyük çıkacaktır. Bu direnç farklılığının değerlendirilmesi ile donatıdaki korozyon miktarının belirlenmesi mümkün olabilir.

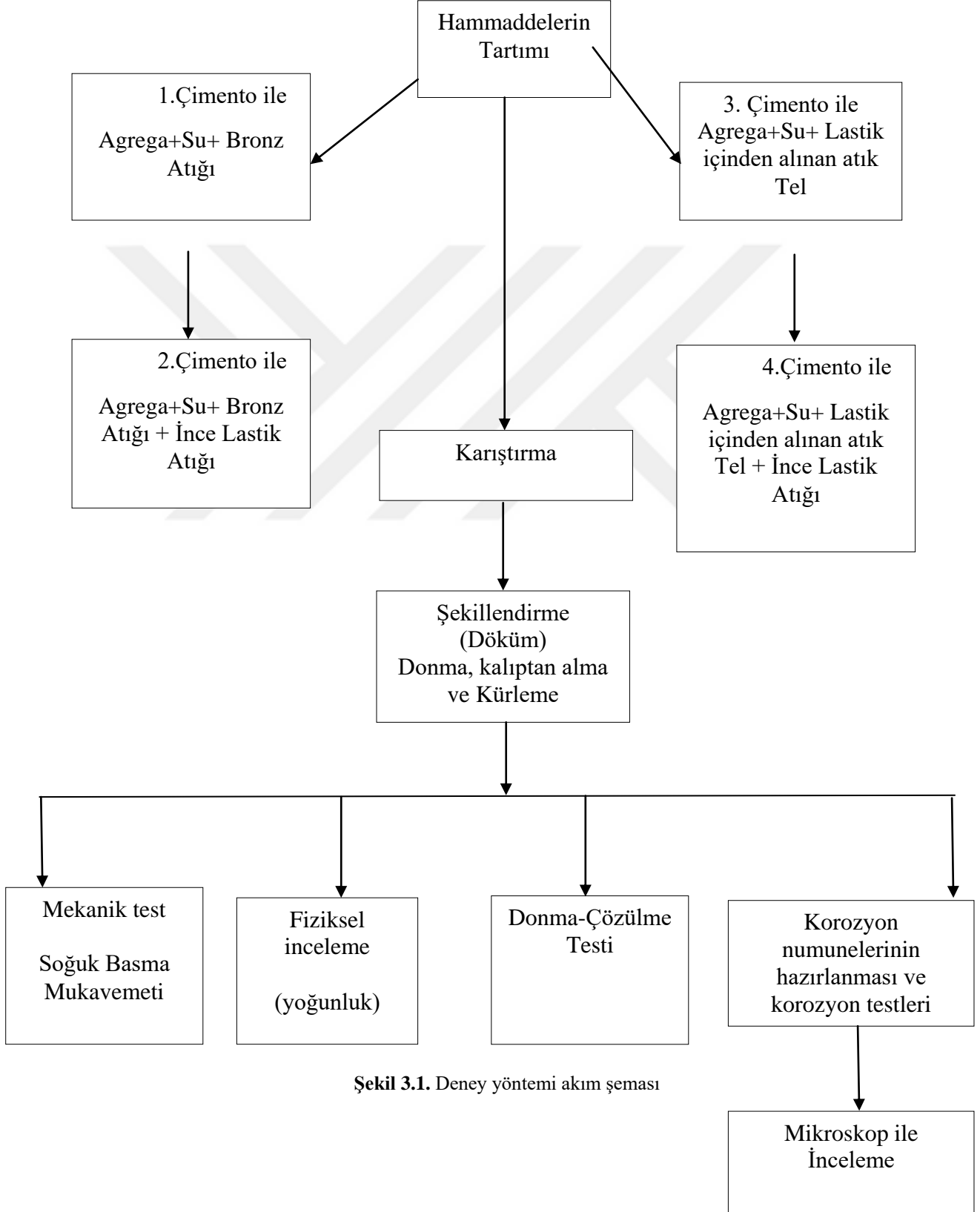
Ölçümü yapabilecek hassaslıkta bir direnç ölçer (ohmmetre) olmaması nedeniyle ölçüm, A ve B noktaları arasına, insan can güvenliğini tehdit etmeyecek sınır olan en çok 40 voltluk bir gerilim uygulanıp, betonarme direncini bir gerilim bölücü gibi değerlendirilerek yapmak olanaklıdır (Şekil 2.11). Bunun için 0-40 volt izole bir akım kaynağı gerilim ölçmek için 100 MHz bir osiloskop cihazına sahip olmak ve bir ölçüm probu oluşturmak yeterlidir (Çil, 2006).



Şekil 2.11. Betonarme elemana elektriksel gerilim uygulanarak ölçüm alınması

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan çalışmanın akım şeması şekildeki gibidir.



Şekil 3.1. Deney yöntemi akım şeması

### 3.1. Deneysel Çalışmalar

5\*5\*5 cm<sup>3</sup> boyutlarında kokil kalıplar kullanılarak C30 sınıfına ait Baumit marka hazır kuru beton harcıyla numuneler üretilmiştir. Hazır beton harcının tane boyut dağılımını saptamak için elek analizi yapılmıştır. Elek analizi Retsch AS200 marka titreşimli elek cihazında 50 genlikte 100 gram numune üzerinde 15 dakika titreşim uygulanarak yapılmıştır. Süre sonunda her bir elek aralığının yüzdesi yazılmıştır. Hesaplanan değerler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Beton harcı elek analizi % değerleri

<i>Elek açıklığı (mm)</i>	<i>% Ağırlık</i>
+4	3,178
+2	26,97
+1	23,31
+0,5	8,418
+0,250	9,898
+0,150	3,618
+0,063	3,108
Toz	21,50
Toplam	100



Şekil 3.2. Kullanılan kuru beton harcı

Beton harcının paketlenmesini belirlemek için harç 100 ml’lik (yükseklik 247 mm) mezür içine doldurularak 5 dakika boyunca titreşimli eleme cihazında (Retsch, titreşim genliği 100) titreşime maruz bırakılmış ve mezür içindeki dolu kısmın

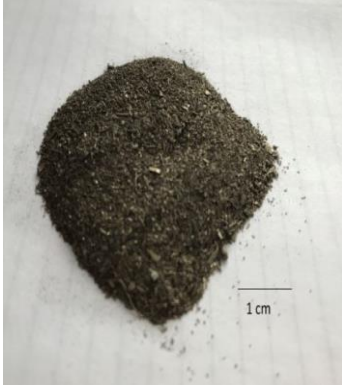
yüksekliği ölçülerek, paketlenmesi tespit edilmiştir. 5 dk sonunda mezür 100 ml'den 87 ml'e düşmüştür.

Reçete belirlendikten sonra beton harcına ağırlıkça % 10 su ilave edilerek 5 dk mikserde düşük devirde çalıştırılarak  $5*5*5 \text{ cm}^3$  kokil kalıplara harç karışımı sıkıştırılarak doldurulmuş ve katkısız deney numuneleri üretilmiştir.

Bronz katkılı beton numuneleri üretmek için iki farklı boyutta bronz kullanılarak kompozisyon ayarlama çalışmaları yapılmıştır. Farklı boyutlardaki bronz için elek analizi ve paketlenme çalışmaları yapılmıştır. Bronzun harçla beraber paketlenmesini belirlemek için öncelikle harç 100 ml'lik (yükseklik 247 mm) mezür içine doldurularak 5 dakika boyunca titreşimli eleme cihazında (Retsch, titreşim genliği 100) titreşime maruz bırakılmış ve 5 dk sonunda mezür 100 ml'den 87 ml'e düşmüştür. Sonra 3 dk öğütülmüş bronz ayrı ayrı %1 %3 ve %5 oranlarında ilave edilerek 5 dk boyunca titreşime maruz bırakılmış ve sonucunda mezür 87 ml'e düşmüştür. Aynı işlem 5 dk öğütülmüş bronz için de tekrarlanmıştır ve sonuç olarak mezür 87 ml olarak ölçülmüştür. Bu paketlenme çalışmasına göre 3 dk ve 5 dk öğütülmüş bronzun paketlenmesi farklı çıkmamıştır. Bu sebeple iki farklı tane boyutu kullanılarak deney numuneleri üretilmiştir. 3 dk ve 5 dk öğütülmüş bronzun elek analizleri Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3 de gösterilmiştir. Kullanılan bronz CuAl10Ni alaşımlı olup Alkor Döküm'den alınmıştır.

**Çizelge 3.2.** 3 dk öğütülmüş bronz (CuAl10Ni) elek analizi % değerleri

<i>Elek açıklığı (mm)</i>	<i>% Ağırlık</i>
+0,5	7,91
+0,250	43,85
+0,150	37,1
+0,100	5,55
+0,08	2,27
+0,063	2,66
+0,050	0,66
Toplam	100



Şekil 3.3. 3 dakika öğütülen bronz



Şekil 3.4. Talaş şeklindeki bronz

Çizelge 3.3. 5 dk öğütülmüş bronz (CuAl10Ni) elek analizi % değerleri

<i>Elek açıklığı (mm)</i>	<i>% Ağırlık</i>
+0,5	2,396
+0,250	16,489
+0,150	56,463
+0,100	11,914
+0,08	4,774
+0,063	4,062
+0,050	2,668
+0,032	1,213
+0,020	0,021
Toplam	100

Öncelikle halkalı değirmende 3 dk boyunca öğütülmüş bronz kullanılarak ağırlıkça % 1, % 3 ve % 5 bronz katkıli beton bloklar üretilmiştir. Sonra halkalı değirmende 5 dk boyunca öğütülmüş bronz kullanılarak ağırlıkça % 1, % 3 ve % 5 bronz katkıli beton bloklar üretilmiştir. Üretilen beton blokların hepsinin yoğunluğu ve soğuk basma mukavemetleri ölçülmüştür. Çıkan sonuçlar karşılaştırılarak kullanılacak bronz tane boyutu ve ağırlıkça yüzde miktarı belirlenmiştir. Çıkan sonuçlara göre en iyi SBM değerine 3 dk boyunca öğütülmüş bronz kullanılarak ağırlıkça %5 bronz katkıli malzemede ulaşılmıştır ve bu betonun yoğunluk değeri de yüksektir (Çizelge 3.2). Bu sebeple çalışmalarımızda 3 dk öğütülmüş ve ağırlıkça %5 bronz katkısının kullanılmasına karar verilmiştir. Tel ve lastik kullanılarak yapılacak olan deneylerde de bu sonuç göz önünde bulundurularak kompozisyon belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan atık lastik ve atık tel Selçuk Kauçuk firmasından temin edilmiştir. Atıklar kamyon tekerleğinden elde edilmişlerdir.



**Şekil 3.5.** Kullanılan atık lastik

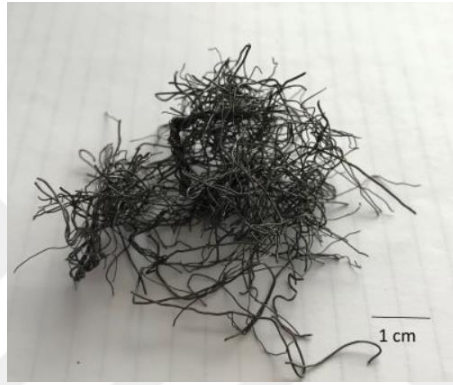
Bronz atığı, tel atık ve ince lastik atığı kullanılarak farklı kompozisyonda numunelerin üretimi yapılmıştır:

i) Ağırlıkça % 5 bronz atığı, ikinci bir kompozisyon olarak da toplam atık girdisi % 5 olacak şekilde % 2.5 bronz atığı ve % 2.5 lastik atık, üçüncü kompozisyon olarak da % 5 bronz ve % 5 lastik atık katılarak yeni beton numuneler üretilmiştir.

ii) Benzer şekilde, lastik içinden çıkan teller halkalı değirmende öğütülerek kullanıma hazır hale getirilmiştir, Çizelge 3.4 'de telin elek analizi verilmiştir. Öncelikle ağırlıkça % 5 tel içeren beton numuneler üretilmiştir. Sonra toplam atık girdisi % 5 olacak şekilde % 2.5 tel ile % 2.5 lastik atık kullanılarak, son olarak da % 5 tel ile % 5 lastik atık kullanılarak yeni beton numuneler üretilmiştir.

**Çizelge 3.4.** Atık tel elek analizi % değerleri

<i>Elek açıklığı (mm)</i>	<i>% Ağırlık</i>
+0,5	6,99
+0,250	72,86
+0,150	17,38
+0,100	1,29
+0,08	0,53
+0,063	0,25
+0,050	0,70
Toplam	100



**Şekil 3.6.** Kamyon lastiğinden çıkan atık tel



**Şekil 3.7.** Öğütülen atık tel

Üretilen numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra kürlleme işlemi için 28 gün suda bekletilmiştir. 28 gün sonunda sudan alınan numunelerin suda ve askıda ağırlıkları tartılarak yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Yoğunluk ölçümü yapılan numunelerin soğuk basma mukavemetleri ölçülmüştür.

### 3.1.1. Fiziksel incelemeler (Açık gözenek ve yoğunluk ölçümü)

Farklı kompozisyonda hazırlanıp suya bırakılan numuneler 28 gün sonunda sudan çıkarılmış ve bu numuneler için Arşimet düzeneği hazırlanmıştır. Numuneler düzeneğe yerleştirilerek hassas terazide tartılmıştır ve su içerisindeki ağırlıkları belirlenmiştir ( $W_b$ ). Daha sonra sudan çıkarılan numunelerin yüzeyi kâğıt mendil ile silinerek yüzeylerindeki suyu alınıp, yaş ağırlıkları hassas terazi yardımıyla tespit edilmiştir ( $W_c$ ). Son aşama olarak numuneler etüvde kurutulduktan sonra, kuru ağırlıkları hassas terazide tartılarak belirlenmiştir ( $W_a$ ). % görünen porozite ve bulk yoğunluk aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Görünen Porozite} = [(w_c - w_a) / (w_c - w_b)] * 100 \quad (1)$$

$$\text{Yığınsal (Bulk) Yoğunluk} = [w_a / (w_c - w_b)] \quad (2)$$

### 3.1.2. Mekanik özelliklerin belirlenmesi (Soğuk basma mukavemeti testi)

Şekillendirilen numunelere Necmettin Erbakan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında Liya marka basma test cihazı kullanılarak 4 kN/sn hızda 200ton yük uygulanmıştır. Okunan basınç değerleri (N); kesit alanına ( $\text{mm}^2$ ) bölünerek mukavemet değeri (MPa) hesaplanmıştır.

Schmidt çekici olarak adlandırılan beton test çekici sertleşmiş betonun basma dayanımı özelliklerinin hasarsız yöntem ile ölçümünde, betonun genel kalitesinin ve betondaki zayıf noktaların tespitinde kullanılır. Impact markalı Schmidt çekiciyle beton numunelerin 3 farklı bölgesine bastırılarak üzerindeki değerler okunmuştur. Bu değerlerin ortalaması alınarak numunenin yaklaşık basma mukavemeti değeri belirlenmiştir.



Şekil 3.8. Schmidt çekici

Impact marka ultrasonik muayene cihazı kullanılarak beton numunenin bir ucundan gönderilen ses dalgalarının diğer ucuna ulaşma hızı belirlenerek numunenin içerisindeki boşluk hakkında çıkarımda bulunulmuştur.

### 3.1.3. Donma-çözülme testi

5 cm<sup>3</sup>'lük beton bloklar için donma-çözülme dayanımı testi ASTM C-666 standardına göre Yüksel Kaya Makine markalı donma-çözülme test kabini kullanılarak -20 °C ile +20 °C sıcaklıkları arasında toplam 150 dk sürecek çevrimler yaptırılarak gerçekleştirilmiştir. Sırasıyla 10, 25, 50 adet donma-çözülme çevrimi uygulanarak test sonlandırılmıştır. Donma-çözülme testleri sonucunda ağırlık kayıpları, mukavemet değerleri ve mukavemet oranları değerleri belirlenmiş, kırık yüzey incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

### 3.1.4. Korozyon testi

PH'ı 1.5-2 olacak şekilde HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve HNO<sub>3</sub> asitleri kullanılarak üç farklı çözelti hazırlanmıştır. Bu testte korozyon tankına sahip olmadığımız için 3 farklı çözelti için 3 tane kapaklı borcam kullanılmıştır. Her kompozisyondan birer numune toplamda 7 numune çözeltinin içerisine bırakılıp 7 ve 28 gün boyunca numuneler üç farklı asit çözeltisinde bekletilmiştir. 7 gün sonunda numuneler çıkarılıp elektriksel dirençleri ölçülmüştür. Sonra numuneler kurutularak ağırlık tartımları yapılmıştır.

Aynı işlemler 28 gün bekletilen numuneler için de uygulanarak korozyon testi tamamlanmıştır. Korozyon testleri sonucunda mikroyapı incelemeleri yapılmıştır.

### **3.1.5. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile kırık yüzey ve mikroyapı analizleri**

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile mikroyapı ve kırık yüzey incelemek için Maestro marka sulu seramik kesme cihazı ile ortalama 20mm\*20mm\*20mm boyutunda kesilmiştir. Kesilen numuneler, 20 ml poliesterin 1 ml sertleştirici ile 1 dakika karıştırılıp daha sonra 1 ml hızlandırıcı ilave edilerek 1 dakika daha karıştırılmasıyla hazırlanan reçinenin kalıp içinde numune üzerine dökülerek 30 dakika beklenmesiyle soğuk kalıplama yapılmıştır. Daha sonra Dumlupınar Üniversitesi İleri Teknoloji Merkezi (İLTEM)'ne, Metkon marka parlatma cihazında 5'er dakika sırası ile 120, 240, 600 ve 1200 'lük zımpara ile parlatma yapılmıştır. Mikroyapı analizleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile geri yansıyan elektron dedektörü kullanılarak 1000x büyütmede yapılmıştır.

Kırık yüzey ve donma-çözülme ile korozyon testleri sonrası mikroyapı incelemeleri ise Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde (BİTAM) Taramalı elektron mikroskobunda (SEM) ikincil elektron görüntüsü ile 1000x büyütmede yapılmıştır.

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Yoğunluk, Açık Gözenek ve SBM Sonuçları

5\*5\*5 cm<sup>3</sup> boyutlarında şekillendirilip kürlenmesi ile elde edilen C30 sınıfı hazır beton harcının (CK), 3 dakika (3CB ) ve 5 dakika (5CB) sürelerde öğütülerek ağırlıkça % 1, 3 ve 5 oranlarında bronz katılarak üretilen beton numunelerinin yoğunluk, açık gözenek ve SBM değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

3C1B: 3 dk öğütülmüş bronz ağırlıkça %1 katkı

3C3B: 3 dk öğütülmüş bronz ağırlıkça %3 katkı

3C5B: 3 dk öğütülmüş bronz ağırlıkça %5 katkı

5C1B: 5 dk öğütülmüş bronz ağırlıkça %1 katkı

5C3B: 5 dk öğütülmüş bronz ağırlıkça %3 katkı

5C5B: 5dk öğütülmüş bronz ağırlıkça %5 katkı beton numunelerini ifade etmektedir.

Katkısız beton için ortalama 2,35 (g/cm<sup>3</sup> yoğunluk, % 8,78 açık gözenek ve 63,64 MPa SBM değerleri elde edilmiştir. Çıkan sonuçlara göre en iyi SBM ve yoğunluk değerlerine 3C5B malzemesinde ulaşılmıştır ve bu betonun yoğunluk değeri ve SBM değeri de katkısız betondan daha yüksektir. Bu sebeple çalışmalarımızda 3 dk öğütülmüş ve ağırlıkça % 5 bronz katkısının kullanılmasına karar verilmiştir (Çizelge 4.1).

**Çizelge 4.1.** Katkısız beton, bronz katkı beton numunelerinin yoğunluk, gözenek ve SBM değerleri

<i>Malzeme</i>	<i>Yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>)</i>	<i>Açık Gözenek(%)</i>	<i>SBM (Mpa)</i>
CK	<b>2,35</b>	<b>8,78</b>	<b>63,64</b>
3C1B	2,37	8,78	65,48
3C3B	2,42	8,38	66,20
<b>3C5B</b>	<b>2,42</b>	<b>8,71</b>	<b>67,76</b>
5C1B	2,38	8,59	63,35
5C3B	2,42	8,15	61,37
5C5B	2,43	8,37	65,03

Bronz + lastik içerikli beton numunelerine ait fiziksel ve mekanik test sonucu Çizelge 4.2’de verilmiştir. %5 B+L; ağırlıkça % 5 bronz ve % 5 lastik atık, % 2.5 B+L ise ağırlıkça % 2.5 bronz ve % 2.5 lastik atık içeren numunelerin kodudur.

**Çizelge 4.2.** Bronz ve lastik katkılı beton numunelerin yoğunluk, gözenek ve SBM değerleri

<i>Malzeme</i>	<i>Yoğunluk</i>	<i>Açık Gözenek(%)</i>	<i>SBM (Mpa)</i>
%2,5B+% 2,5L	2,25	11,22	35,24
%5B+% 5L	2,19	11,18	20,47

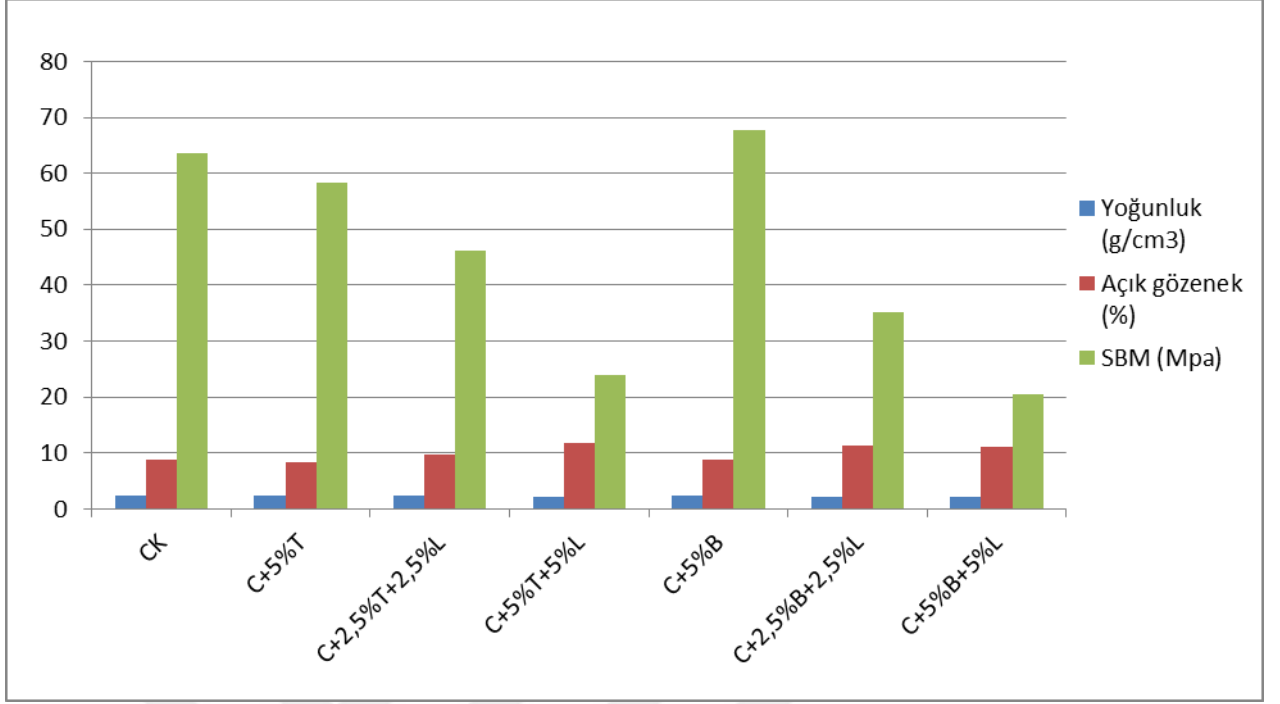
Çizelge 4.3’te, ağırlıkça % 5 tel içeren beton numunelerinin fiziksel ve mekanik test sonuçları verilmiştir. %5 T; ağırlıkça % 5 tel, %5 T+L ağırlıkça % 5 tel ve % 5 lastik atık, % 2.5 T+L ise ağırlıkça % 2.5 tel ve % 2.5 lastik atık içeren numunelerin kodudur. % 5 tel ilavesi ile üretilen beton numunesinin yoğunluk değeri ve SBM değeri katkısız beton ve % 5 bronz katkılı beton malzemelerinden daha düşüktür (Çizelge 4.3).

**Çizelge 4.3.** Tel ve tel+lastik katkılı beton numunelerin yoğunluk, gözenek ve SBM değerleri

<i>Malzeme</i>	<i>Yoğunluk</i>	<i>Açık Gözenek(%)</i>	<i>SBM (Mpa)</i>
%5T	2,46	8,34	58,28
%2,5T+% 2,5L	2,39	9,78	46,08
%5T+% 5L	2,24	11,87	23,96

Çizelge 4.2’de ve 4.3’te görüldüğü gibi, atık lastik girdisi ile yoğunluk değerleri azalmakta, açık gözenek miktarı artmakta ve dolayısı ile SBM değeri de azalmaktadır.

Açık gözenek miktarı, lastik miktarının daha fazla olduğu beton için daha fazla artmış, açık gözenek ve yoğunluk değerleri ise daha fazla azalmıştır. Bu genel durumun, lastik ile beton ve bronz/tel arasında bir bağlanmanın gerçekleşmemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



**Şekil 4.1.** Üretilen tüm beton malzemelerinin yoğunluk, açık gözenek ve SBM değerleri (C: beton, K: katkısız, T: tel, B: bronz, L: lastik)

Genel olarak, katkısız beton malzemesine artan katkı ilaveleri ile açık gözenek miktarı artmakta, yoğunluk ve SBM miktarı azalmaktadır. Ancak, üretilen malzemeler arasında en yüksek SBM değeri % 5 bronz katılarak üretilen betonda ölçülmüştür. Gerek tele gerekse bronzlu malzemeye lastik girdisi arttıkça SBM değerinde azalma ve açık gözenek oranında artış gözlenmiştir.

Schmidt metodu ile tayin edilen mukavemet değerleri ve numunenin içinden geçen ses hızı değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir. Ortalama değerler incelendiğinde, SBM testi ile benzer sonuçlar elde edildiği, % 5 bronz ilavesinde ise katkısız betondan daha yüksek mukavemet değeri elde edildiği, tel katılması ile katkısız betona yakın değerler elde edildiği ancak atık lastik ilavesi ile yapıda daha fazla boşluk ve çatlak oluştuğu, beton matrisi ile daha zayıf bağlanma gerçekleştiği için mukavemet değerlerinin azaldığı görülmektedir. Atık lastik miktarının artması ile mukavemetteki azalma daha fazla gerçekleşmiştir.

Numunenin içinden geçen ses hızı değerleri ise, malzemede boşluk miktarı arttıkça ve yoğunluk azaldıkça azalmaktadır. Bu değerler de yoğunluk ve açık gözenek değerlerini doğrulamaktadır. Atık malzemeler beton matrisine ilave

edildikçe gözenek miktarı artmakta, numunenin içinden geçen ses hızı da azalmaktadır.

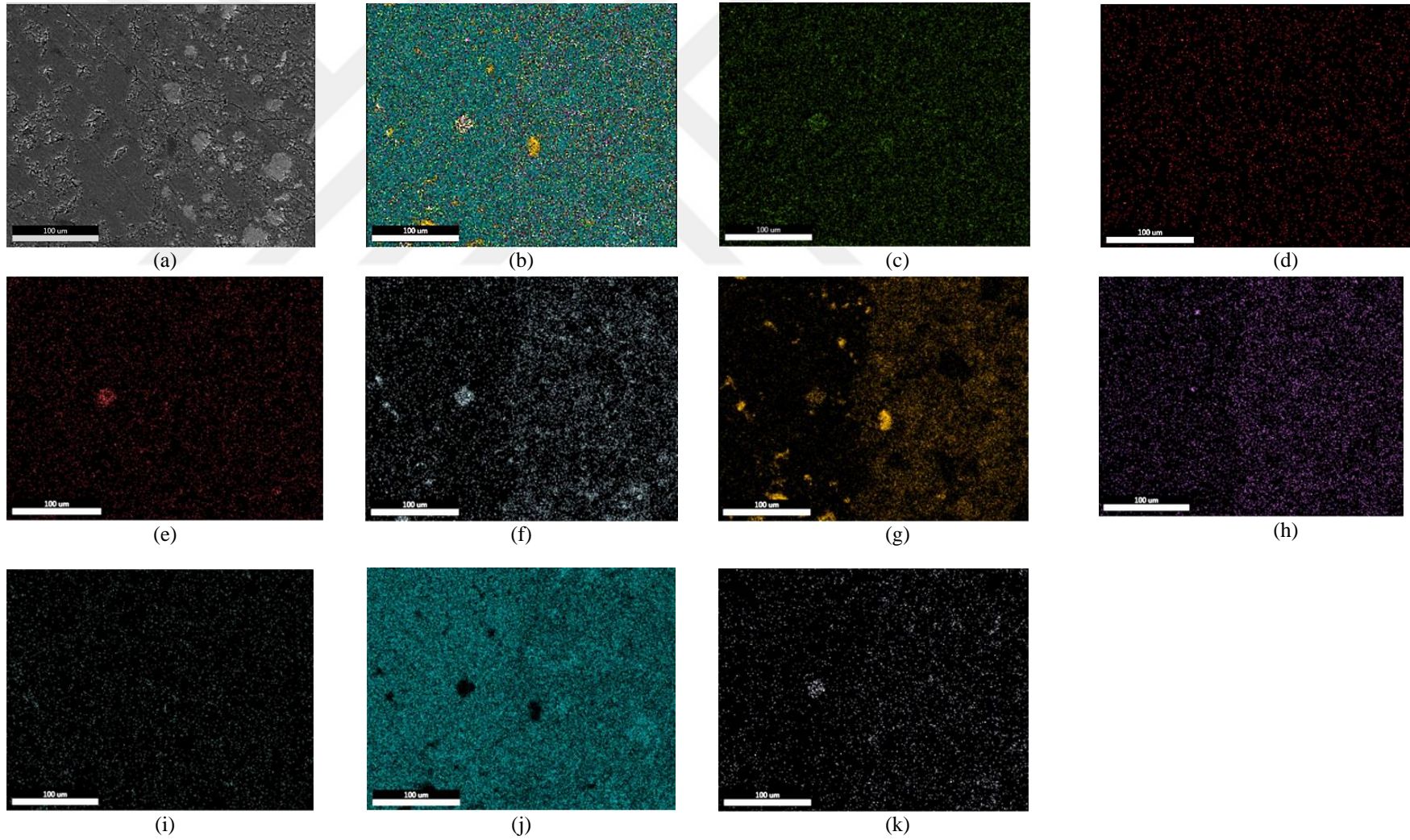
**Çizelge 4.4.** Schmidt Çekici ile mukavemet tayini sonuçları

<i>Beton Malzemesi</i>	<i>1. yüzey mukavemet değeri</i>	<i>2. yüzey mukavemet değeri</i>	<i>3. yüzey mukavemet değeri</i>	<i>Ortalama mukavemet değeri (Mpa)</i>	<i>Numunenin içinden geçen ses hızı (m/s)</i>
Katkısız	55,24	48,94	56,55	53,57	4567
% 5 B	57,20	58,95	55,57	57,24	4571
%2.5 B+%2.5 L	43,33	38,31	39,28	40,30	4165
%5 B+%5 L	33,01	32,25	24,51	29,92	3904
%5 T	46,94	42,42	48,25	45,87	4529
%2.5 T+%2.5 L	28,82	30,94	34,53	31,43	4286
%5 T+%5 L	28,56	26,89	25,60	27,02	3927

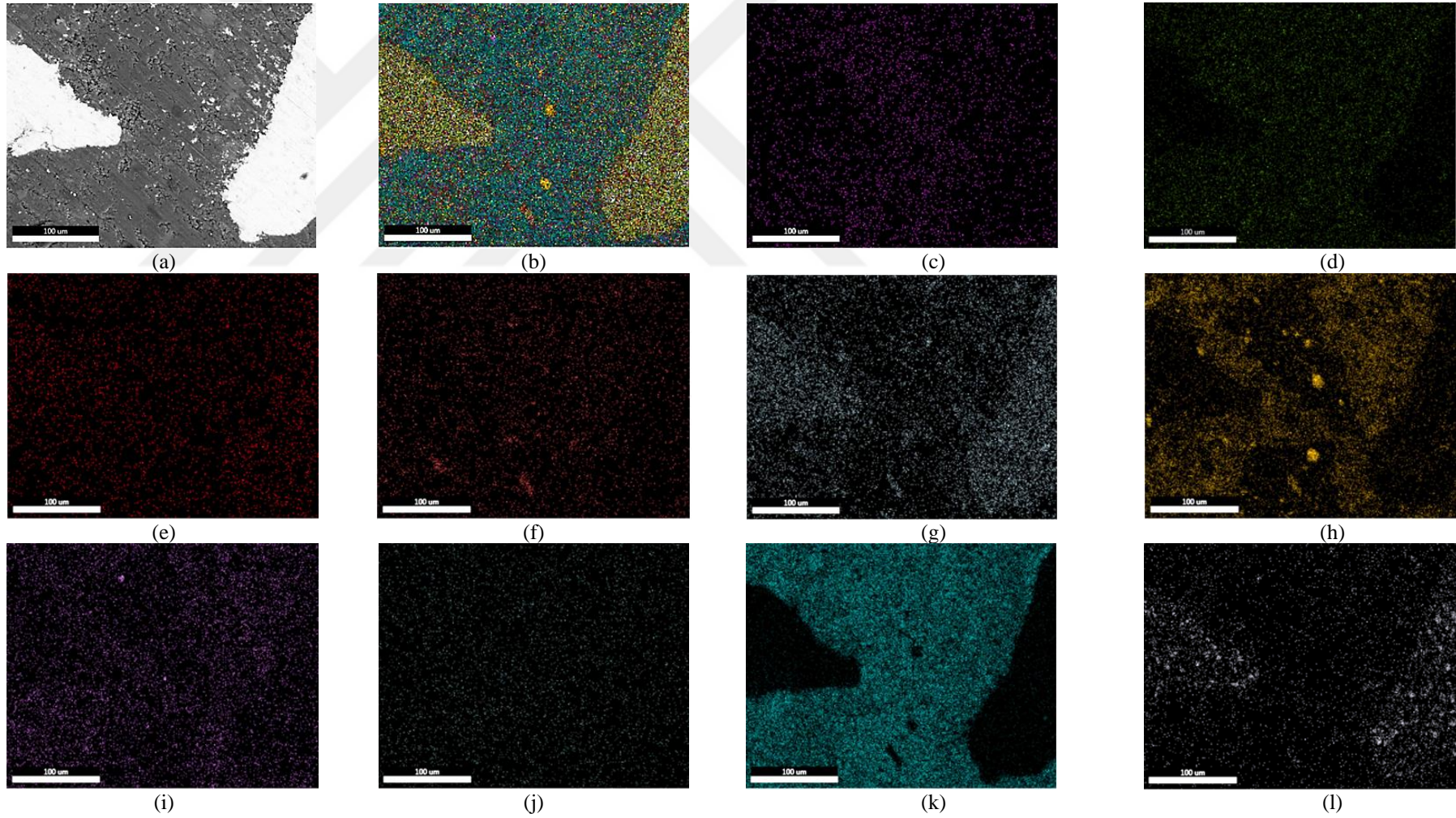
#### **4.2. Donma-Çözülme Testi Öncesi SEM İle Mikroyapı Analiz Sonuçları**

Katkısız beton numunesine ve atık ilaveleri ile üretilen beton numunelerine ait SEM görüntüleri 4.2-4.8’de verilmiştir.

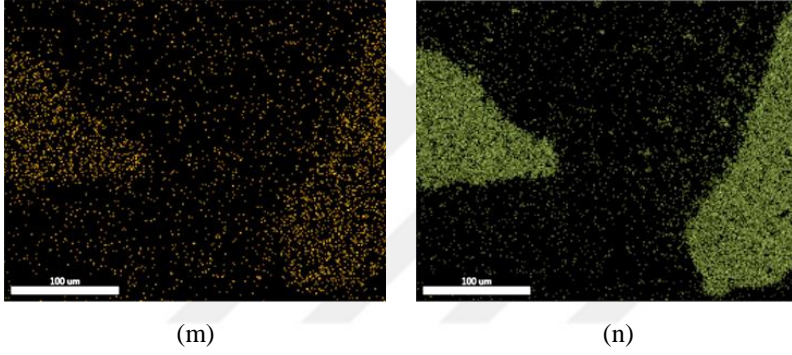
Elementel dağılımı incelendiğinde ağırlıklı olarak çimento fazına içerisinde yer alan Ca, Si, Al elementlerinin mevcut olduğu görülmektedir (Şekil 4.2). Mikroyapı görüntüsünde (Şekil 4.2-a) beton numunesinde boşluklar ve çatlaklar olduğu görülmüştür. Ancak genel olarak daha yoğun bir malzeme olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.2.** Katkısız beton numunesine ait; a) Mikroyapı, b) Renkli mikroyapı ve elementlerinin dağılımı: c) O, d) Na, e) Mg, f) Al, g) Si, h) S, i) K, j) Ca, k) Fe (1000X-SEM geri yansıyan görüntüsü)

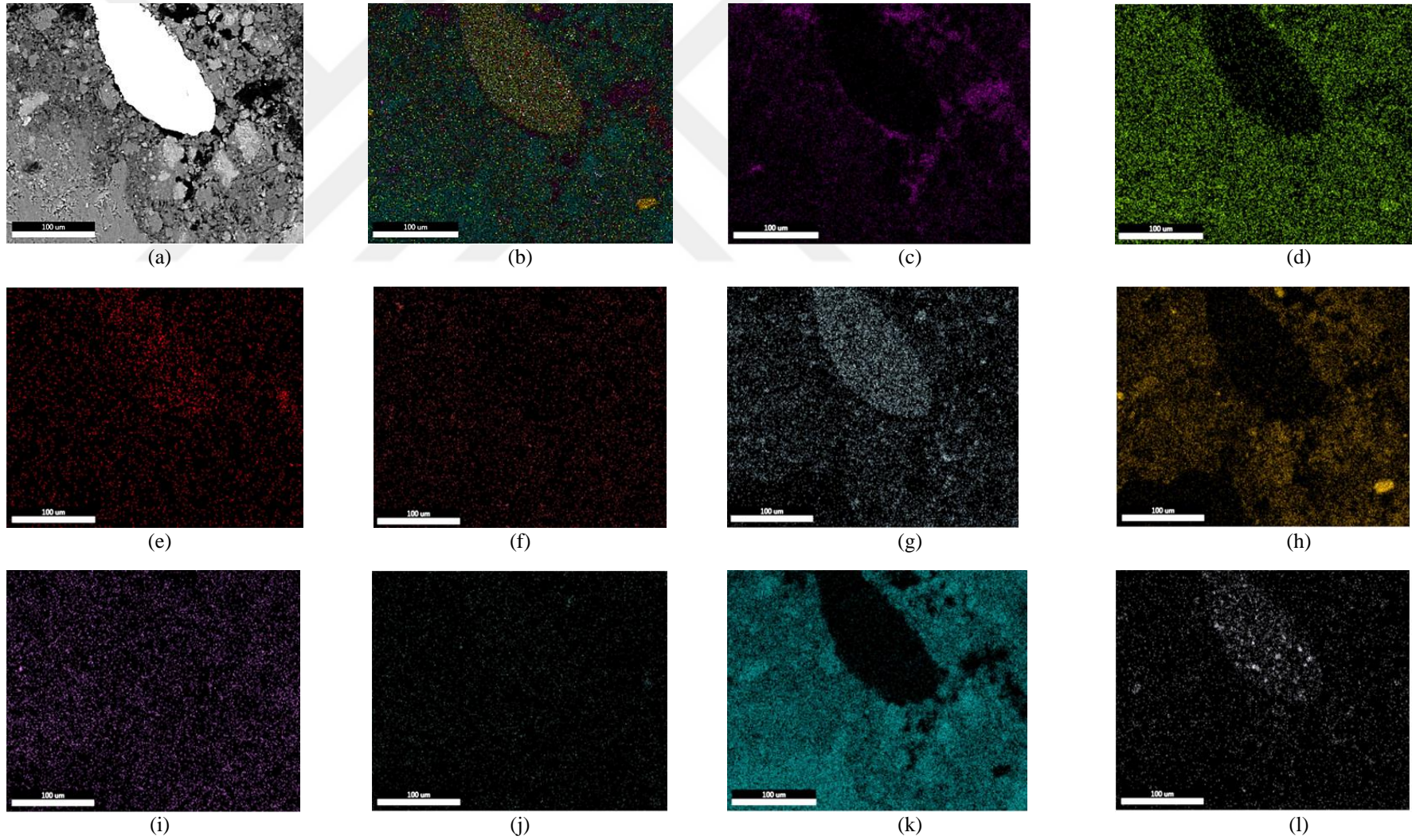


**Şekil 4.3.** % 5Bronz içeren beton numunesine ait; a) Mikroyapı, b) Renkli mikroyapı ve elementlerinin dağılımı: c) C, d) O, e) Na, f) Mg, g) Al, h) Si, ı) S, i) K, j) Ca, k) Fe, l) Ni, m) Cu (1000X-SEM geri yansıyan görüntüsü)

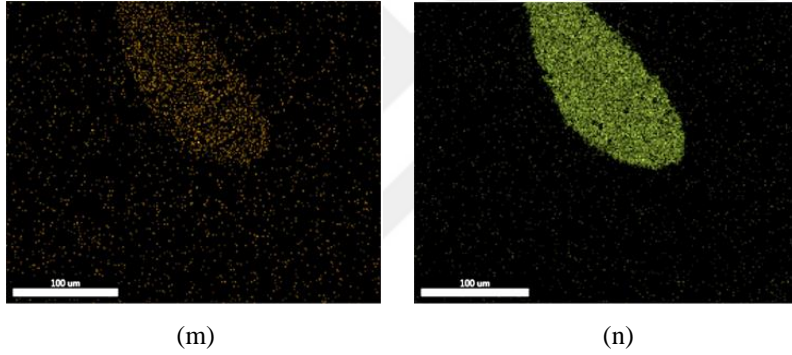


**Şekil 4.3. (Devamı)** % 5Bronz içeren beton numunesine ait; a) Mikroyapı, b) Renkli mikroyapı ve elementlerinin dağılımı: c) C, d) O, e) Na, f) Mg, g) Al, h) Si, i) S, j) K, k) Ca, l) Fe, m) Ni, n) Cu (1000X-SEM geri yansıyan görüntüsü)

Şekil 4.3.'te % 5 bronz içeren beton numunesine ait mikroyapı görüntüsü ve renkli elementel dağılımları görülmektedir. Bronz taneleri ile beton matrisi arayüzünde güçlü bir bağlanma gerçekleştiği görülmüştür. Bu da katkısız beton numunesine yakın yoğunluk elde edildiğini doğrulamaktadır. Yoğunlukta belirgin bir azalma olmaması ve bronz malzemesinin sünek olması sebebi ile bir miktar SBM değerinin arttığı düşünülmektedir. Katkısız beton numunesinden farklı olarak bronz malzemesini oluşturan Cu, Al, Ni elementlerinin yüksek oranda olduğu EDX analizinde görülmektedir.



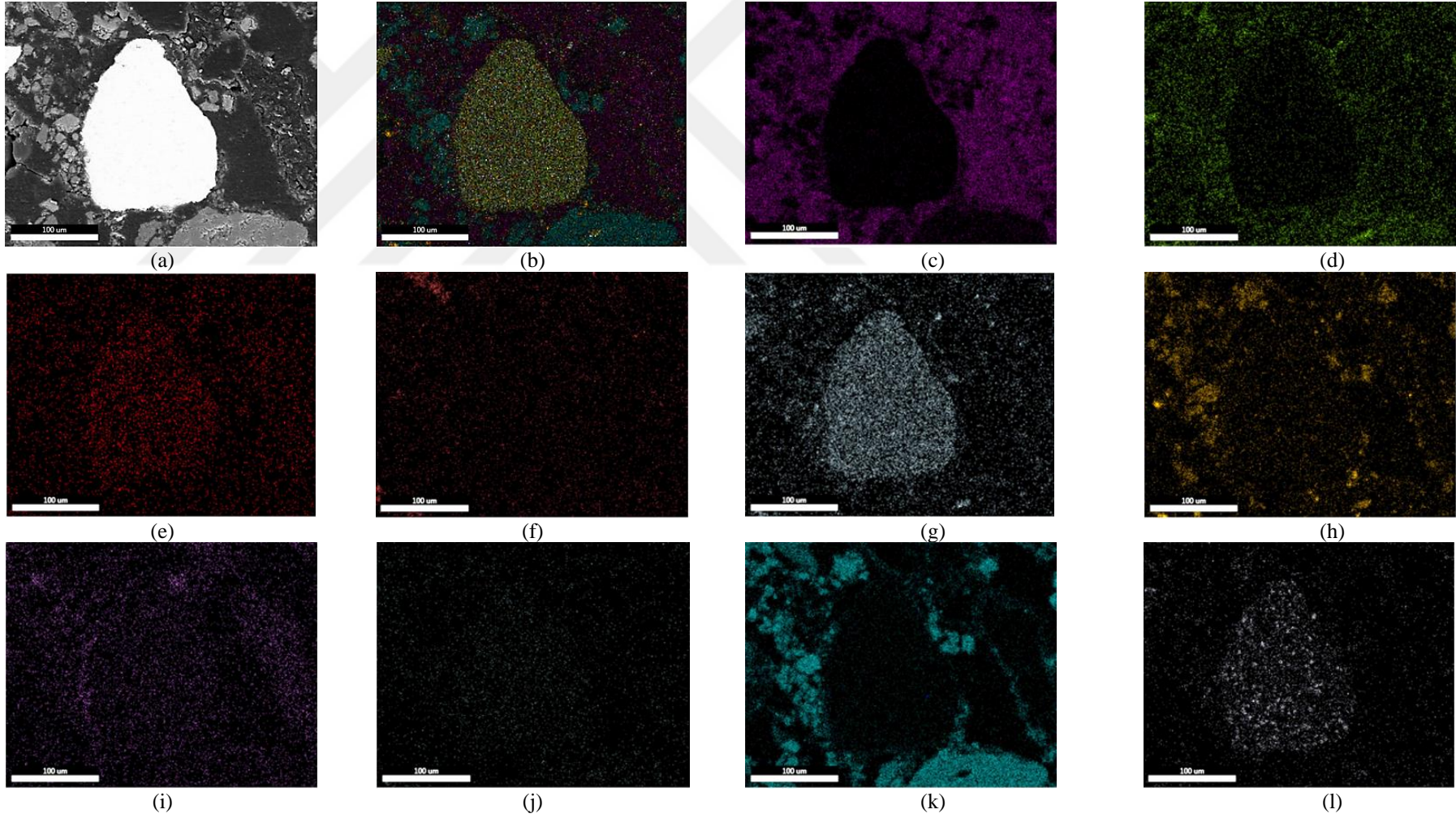
Şekil 4.4. % 2.5 Bronz+% 2.5 Lastik atığı içeren beton numunesine ait; a) Mikroyapı, b) Renkli mikroyapı ve elementlerinin dağılımı: c) C, d) O, e) Na, f) Mg, g) Al, h) Si, i) S, j) K, k) Ca, l) Fe, m) Ni, n) Cu (1000X-SEM geri yansıyan görüntüsü)



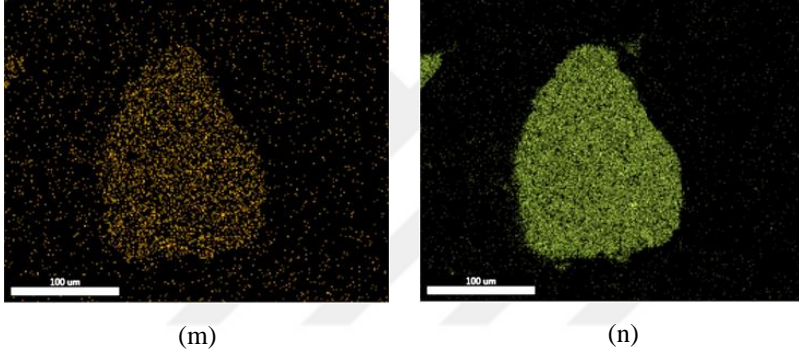
**Şekil 4.4. (Devamı)** % 2.5 Bronz+% 2.5 Lastik atığı içeren beton numunesine ait; a) Mikroyapı, b) Renkli mikroyapı ve elementlerinin dağılımı: c) C, d) O, e) Na, f) Mg, g) Al, h) Si, i) S, j) K, k) Ca, l) Fe, m) Ni, n) Cu (1000X-SEM geri yansıyan görüntüsü)

% 2.5 bronz ve % 2.5 lastik atığı içeren beton ile % 5 bronz ve % 5 lastik atığı içeren beton malzemelere ait mikroyapı, renkli mikroyapı ve elementel dağılımları sıra ile Şekil 4.4'te ve 4.5'te verilmiştir.

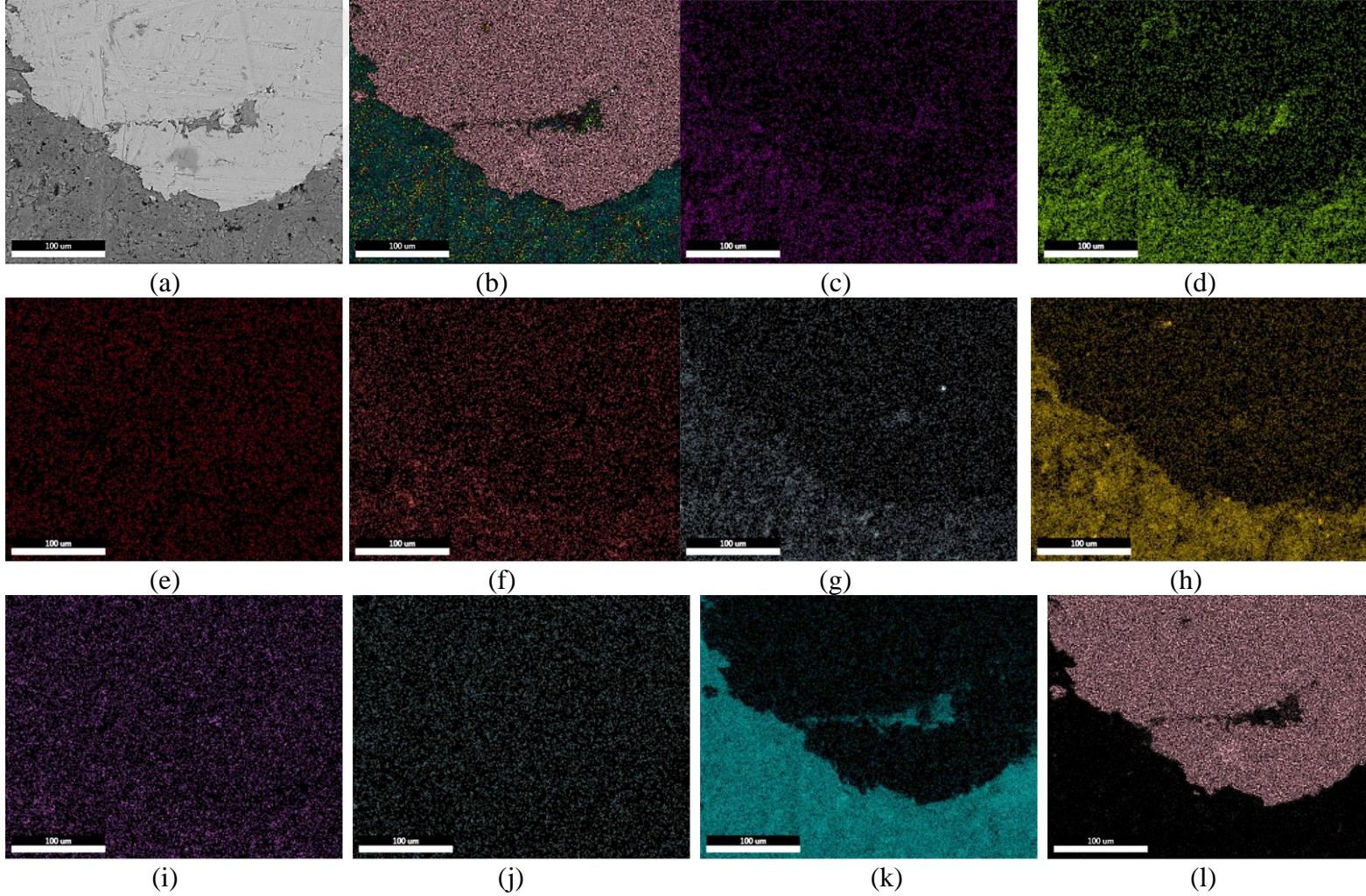
Lastik atığı girdisi ile yapıda beton matrisi, bronz ve lastik atığı arayüzlerinde güçlü bağlanmaların olmadığı, daha fazla gözenek ve çatlak olduğu görülmektedir. Bu durumlarda gözenek miktarının artarak mukavemetin azalmasını doğrulamaktadır. Elementel dağılımlarda ise, lastik atığının artması ile C yüzdesinin de arttığı görülmektedir. Cu, Al, Ni elementlerinin dağılımları Şekil 4.3'e benzer şekilde aynı bölgelerde olup buralardaki tanelerin bronz olduğu görülmektedir.



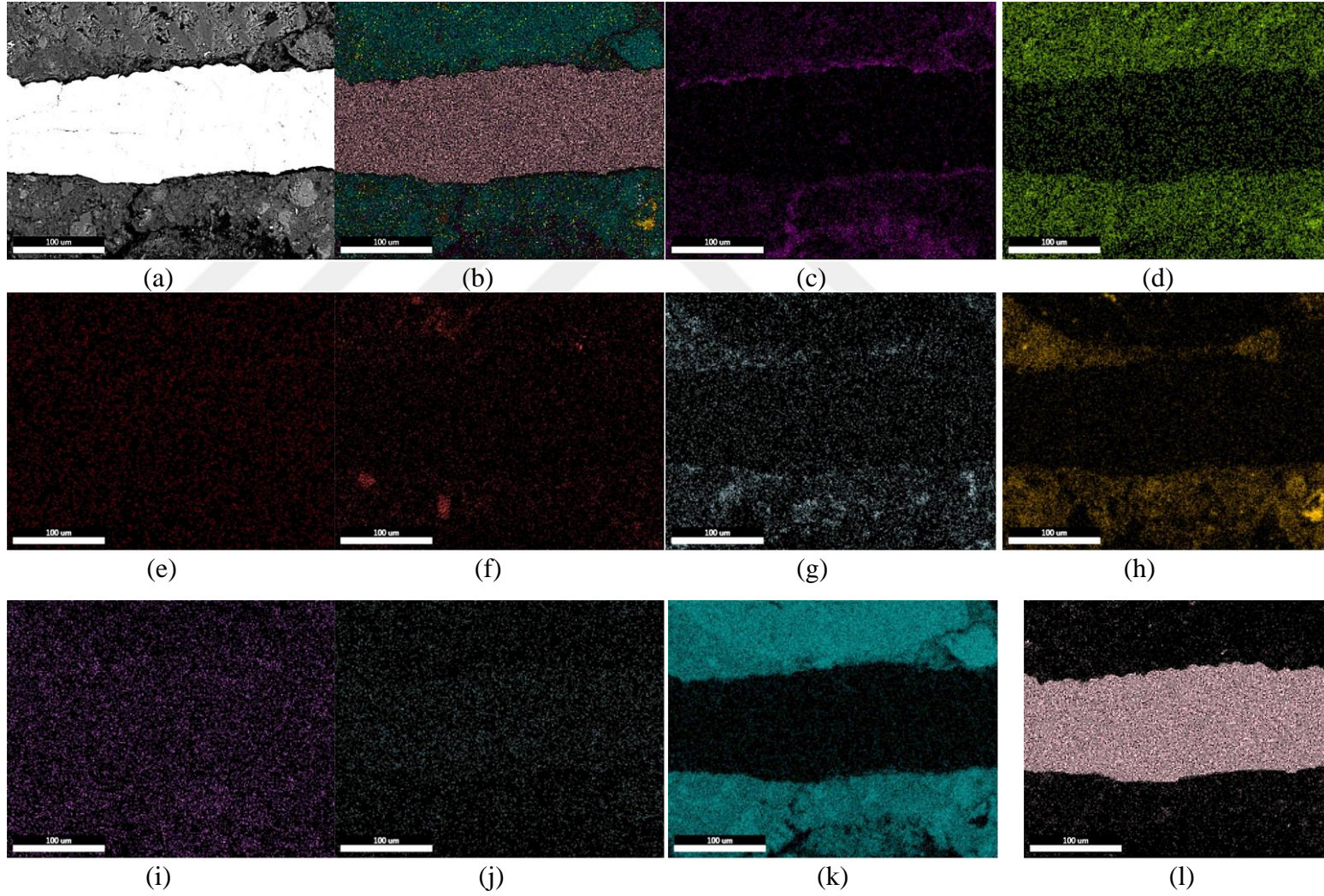
Şekil 4.5. % 5 Bronz+% 5 Lastik atığı içeren beton numunesine ait; a) Mikroyapı, b) Renkli mikroyapı ve elementlerinin dağılımı: c) C, d) O, e) Na, f) Mg, g) Al, h) Si, i) S, j) K, k) Ca, l) Fe, m) Ni, n) Cu (1000X-SEM geri yansıyan görüntüsü)



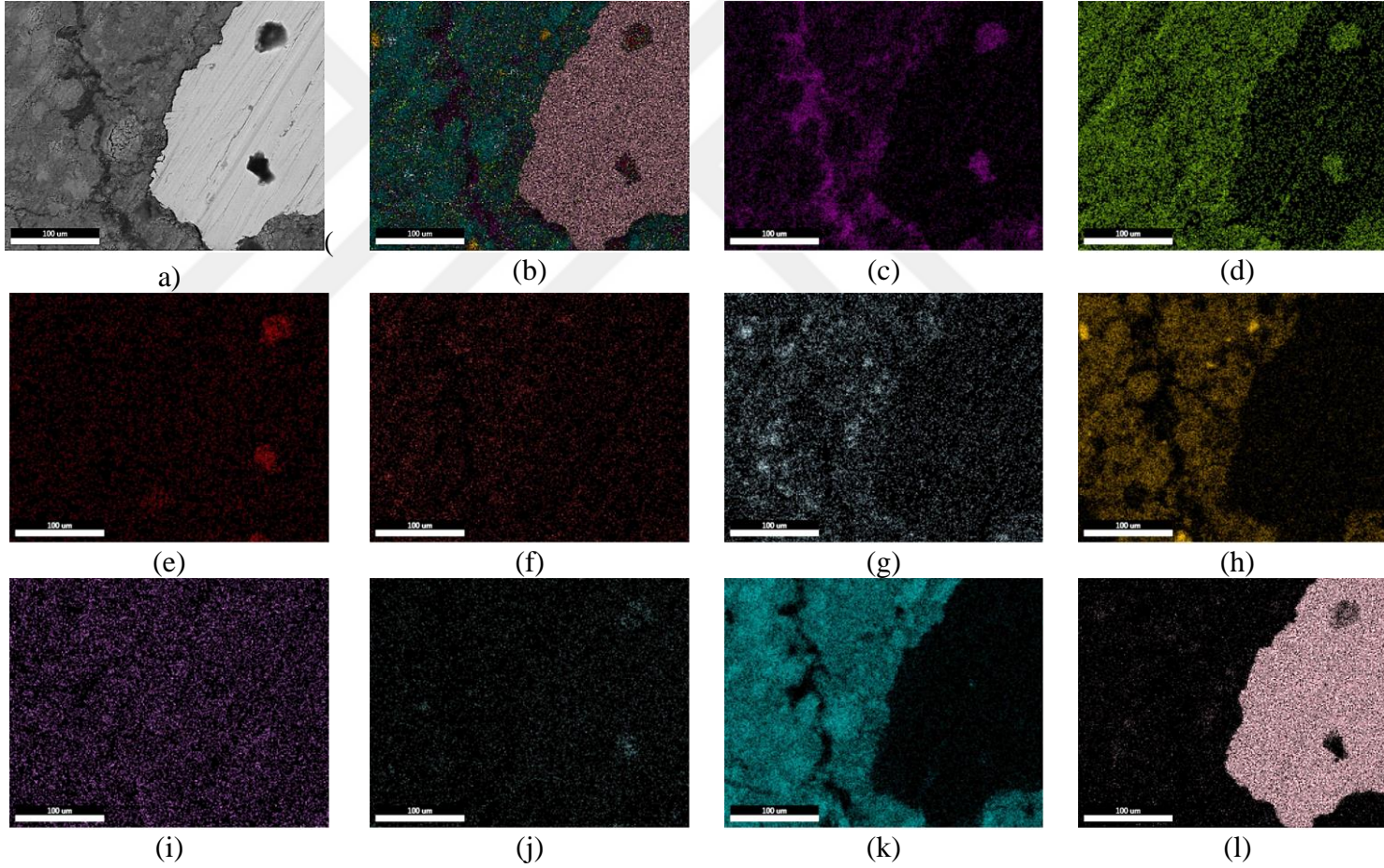
**Şekil 4.5. (Devamı)** % 5 Bronz+% 5 Lastik atığı içeren beton numunesine ait; a) Mikroyapı, b) Renkli mikroyapı ve elementlerinin dağılımı: c) C, d) O, e) Na, f) Mg, g) Al, h) Si, i) S, j) K, k) Ca, l) Fe, m) Ni, n) Cu (1000X-SEM geri yansıyan görüntüsü)



Şekil 4.6. % 5 tel içeren beton numunesine ait; a) Mikroyapı b) Renkli mikroyapı ve elementlerinin dağılımı: c) C, d) O, e) Na, f) Mg, g) Al, h) Si, i) S, j) K, k) Ca, l) Fe (1000X-SEM geri yansıyan görüntüsü)



**Şekil 4.7.** % 2.5 Tel+% 2.5 Lastik atığı içeren beton numunesine ait; a) Mikroyapı, b) Renkli mikroyapı ve elementlerinin dağılımı: c) C, d) O,e) Na, f) Mg, g) Al, h) Si, i) S, j) K, k) Ca, l) Fe (1000X-SEM geri yansıyan görüntüsü)



Şekil 4.8. % 5 Tel+% 5 Lastik atığı içeren beton numunesine ait; a) Mikroyapı, b) Renkli mikroyapı ve elementlerinin dağılımı: c) C, d) O, e) Na, f) Mg, g) Al, h) Si, i) S, j) K, k) Ca, l) Fe (1000X-SEM geri yansıyan görüntüsü)

% 2,5 Tel+% 2,5 Lastik atığı ve % 5 Tel+% 5 Lastik atığı içeren betonların mikroyapıları ve elementel dağılımları sırasıyla Şekil 4.7’de ve Şekil 4.8’de verilmiştir.

% 5 tel içeren beton malzemesinin SEM görüntüsüne göre mikroyapıda mikroçatlaklar ve tel ve beton matrisi arayüzündeki daha düşük bağlanma sebebiyle saf beton malzemesine göre daha düşük bir mukavemet değeri ölçülmüştür (Şekil 4.2 ve 4.6). Saf betondan farklı olarak, telden gelen C elementi Şekil 4.6 'da görülmüştür.

Atık lastiğin ilavesiyle tüm fazlar arasındaki arayüzlerde bağlanma zayıflamıştır. Ayrıca daha fazla gözeneklilik, mikro çatlaklar ve derin çatlaklar ortaya çıkmıştır. Bu yüzden beton numunelerin yoğunluğu ve SBM değerleri etkilenmiştir.

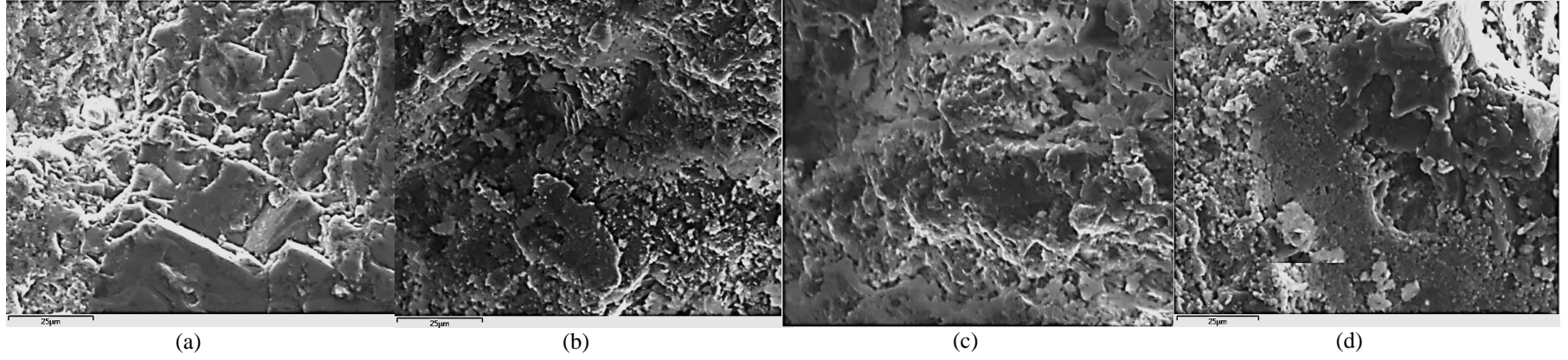
Beton numunelerin EDX analizlerine göre, çimentodan gelen Ca içeriği, saf betonda maksimum katkı miktarları arttıkça azalmıştır. Tel içeren tüm betonlar C ve Fe elementlerine sahiptir ve sadece % 5 tel içeren beton malzemesi maksimum Fe elementine sahiptir. Atık lastiğin eklenmesiyle, Fe miktarı azalırken, C ve S elementlerinin miktarı artmıştır (Çizelge 4.5). Bronz katkılı beton numunelerinin EDX analizinde, bronz alaşımı olan Cu ve Ni elementleri de görülmektedir. Tel içerikli beton numunelerinde ise Fe ve C içeriğinin yükseldiği görülmektedir.

Çizelge 4.5. Beton numunelerin EDX analizi

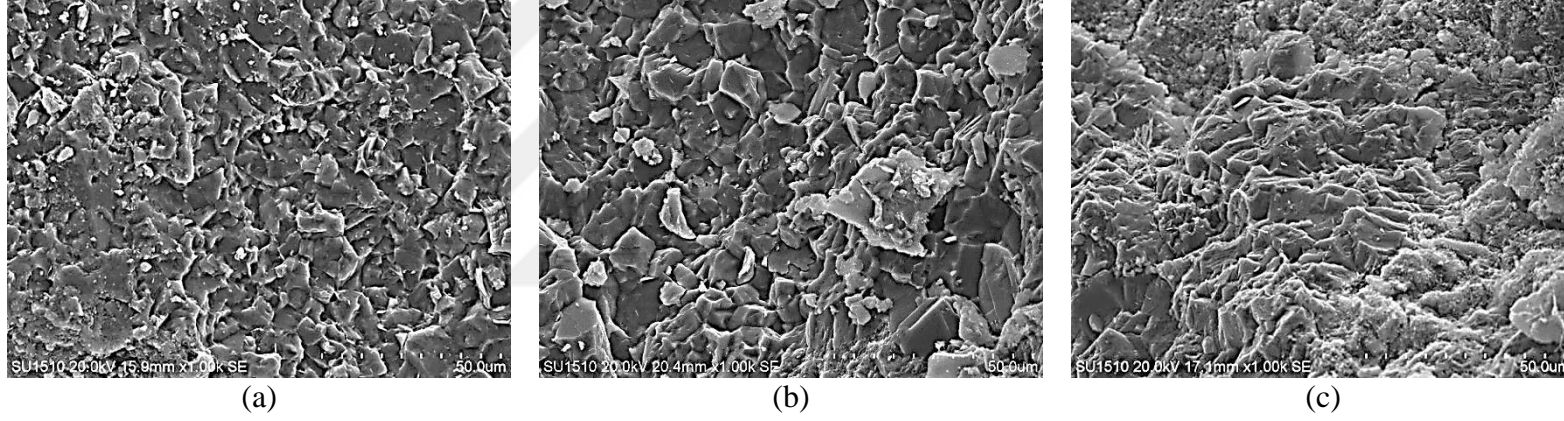
<i>Elementler</i> (%)	<i>Malzeme</i>						
	<i>C</i>	<i>C+5%T</i>	<i>C+2,5%T+2,5L</i>	<i>C+5%T+5%L</i>	<i>C+5%B</i>	<i>C+2,5%B+2,5%L</i>	<i>C+5%B+5%L</i>
C	0	2	5	5	0	7	30
O	9	4	5	5	6	8	6
Na	1	2	1	2	2	1	2
Mg	3	2	2	2	2	2	3
Al	4	3	4	4	7	6	7
Si	12	8	8	11	11	12	7
S	3	3	4	5	4	4	5
K	2	2	2	2	3	2	2
Ca	64	24	35	31	45	46	19
Fe	2	50	34	33	4	3	3
Ni					2	1	2
Cu					14	8	13

### 4.3. Donma-Çözülme Öncesi Kırık Yüzey İncelemesi

Katkısız beton, %5 bronz, bronz+lastik atıklarını içeren beton numunelerine ait kırık yüzey görüntüleri Şekil 4.9’te verilmiştir.



**Şekil 4.9.** Donma-çözülme testi öncesi kırık yüzey görüntüleri (ikincil elektron görüntüleri); a) Katkısız, b) % 5 Bronz c) % 2.5 Bronz+% 2.5 Lastik atığı, d) % 5 Bronz+% 5 Lastik atığı (1000X-SEM ikincil elektron görüntüsü)



**Şekil 4.10.** Donma-çözülme testi öncesi kırık yüzey görüntüleri (ikincil elektron görüntüleri); a) % 5 Tel, b) % 2,5 Tel+% 2,5 Lastik atığı ve c) % 5 Tel+% 5 Lastik atığı (1000X büyütme).

Katkısız beton numunesinde ve %5 bronz içeren beton numunelerinde tane içi ve taneler arası kırılma tipleri gözlenirken lastik atığı girdisi ile üretilen malzemelerde (Şekil 4.9-c ve d) tane içi kırılmanın baskın olduğu görülmüştür. Tel ile lastik ilavesi sonucu beton malzemesinde tane-içi kırılma baskın şekilde görülmektedir (Şekil 4.10).

Mekanik özelliklerdeki azalma sebebi olarak taneler arası kırılma tipinden tane içi kırılma tipine olan bu geçişin de etkili olduğu düşünülmektedir.



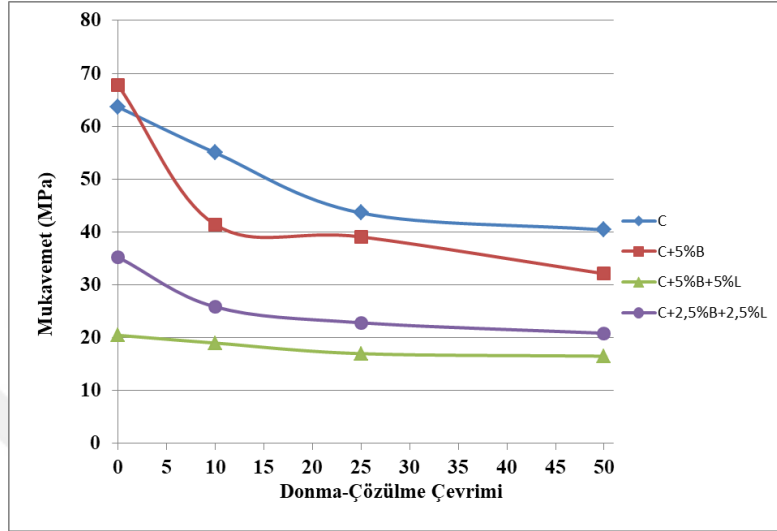
#### 4.4. Donma-Çözülme Test Sonuçları

10, 25 ve 50 çevrim donma-çözülme testine tabi tutulmuş beton numunelerine ait ağırlık kaybı değerleri Çizelge 4.6’da ve mukavemet ile mukavemet oranı değerleri ise Şekil 4.11-4.12’de verilmiştir.

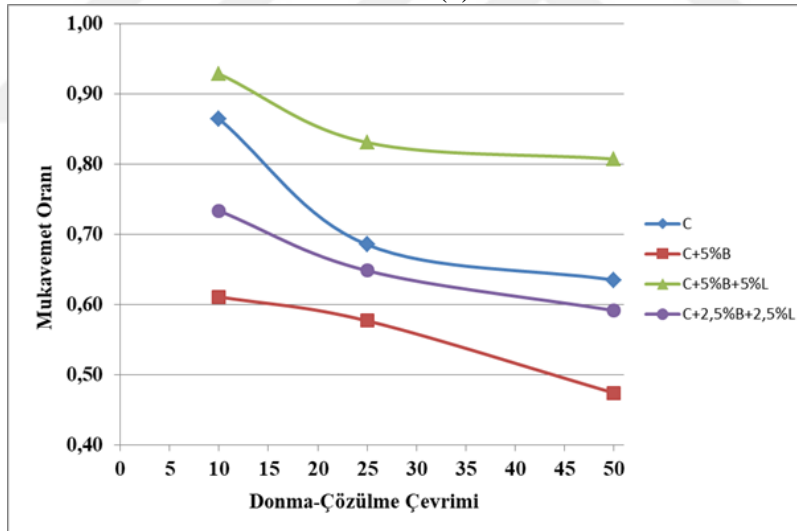
Çizelge 4.6. Donma-çözülme çevrimlerine tabi tutulmuş numunelerin ağırlık ölçümleri

<i>Numune kodu</i>	<i>Başlangıç ağırlığı (g)</i>	<i>10 Donma-çözülme çevrimi sonucu ağırlığı (g)</i>	<i>10 Donma-çözülme çevrimi sonucu ağırlık değişimi (%)</i>	<i>25 Donma-çözülme çevrimi sonucu ağırlığı (g)</i>	<i>25 Donma-çözülme çevrimi sonucu ağırlık değişimi (%)</i>	<i>50 Donma-çözülme çevrimi sonucu ağırlığı (g)</i>	<i>50 Donma-çözülme çevrimi sonucu ağırlık değişimi (%)</i>
Katkısız	302,77	299,08	-1,21875	298,54	-1,3971	293,68	-3,00228
<b>3C5B</b>	<b>316,81</b>	<b>319,22</b>	<b>0,760708</b>	<b>316,71</b>	<b>-0,34721</b>	<b>316,32</b>	<b>-0,15467</b>
<b>%2.5 B+L</b>	<b>290,05</b>	<b>293,57</b>	<b>1,213584</b>	<b>305,26</b>	<b>5,243923</b>	<b>301,10</b>	<b>3,809688</b>
<b>%5 B+L</b>	<b>285,63</b>	<b>288,15</b>	<b>0,88226</b>	<b>288,01</b>	<b>0,833246</b>	<b>289,33</b>	<b>1,295382</b>
%5 T	322,93	320,42	-0,77726	317,15	-1,78986	315,87	-2,18623
%5 T+L	300,67	292,22	-2,81039	289,09	-3,8514	281,38	-6,41567
%2.5 T+L	306,12	299,82	-2,05802	294,06	-3,93963	285,15	-6,85025

Donma-çözülme testi sonrası, bronz katkılı beton malzemelerinde az miktarda ağırlıkta artış gözlenmiş, özellikle %2,5 bronz ve %2,5 lastik içeren betonda bu oran en yüksek seviyede olmuştur.



(a)

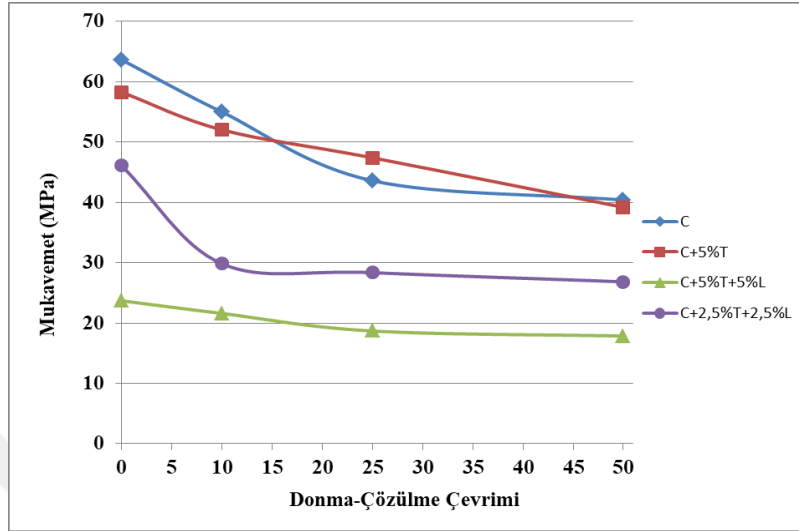


(b)

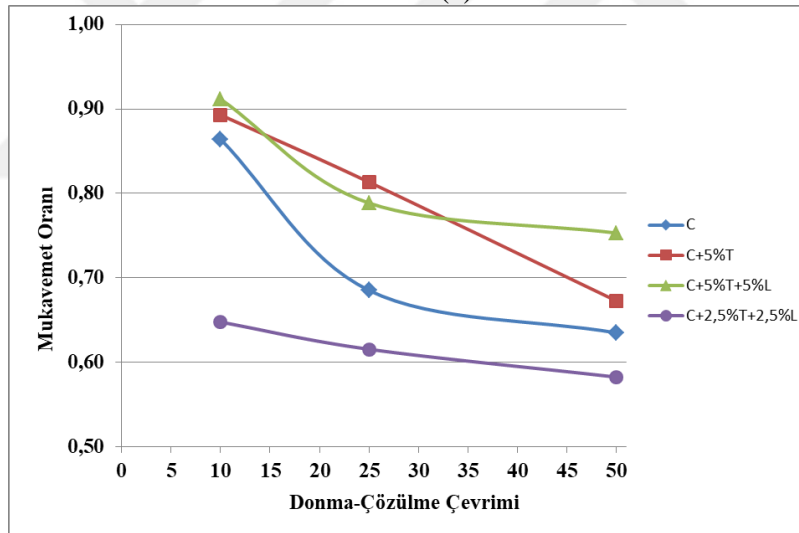
Şekil 4.11. Donma çözülme testi sonrası katkısız ve bronz ile lastik katkılı beton malzemelerine ait a) mukavemet, b) mukavemet oranı değerleri

Tel, bronz, lastik takviyeli beton malzemelerin 10, 25 ve 50 donma çözülme çevrimi sonrası mukavemet (SBM) ve mukavemet oranı grafikleri Şekil 4.11 ve 4.12’de verilmiştir. Genel olarak, çevrim sayısı arttıkça mukavemet değerleri azalmıştır. Gözeneklilik ve çatlaklar gibi yapısal kusurların miktarlarının, donma-çözülme

çevrimleri sayısı arttığını ve daha sonra SBM değerlerinin azaldığını düşünölmektedir.



(a)



(b)

**Şekil 4.12.** Donma çözölme testi sonrası katkısız ve tel ile lastik katkılı beton malzemelerine ait a) mukavemet, b) mukavemet oranı değerleri

Benzer şekilde mukavemet oranı değerleri azalmıştır ve beton malzemeler, donma-çözölme çevrim sayısı ile artık mukavemet değerlerini koruyamamıştır. Her ne kadar lastik atığı içeren betonun mukavemeti minimum düzeyde olsa da, atık lastikten üretilen betonun mukavemet oranlarındaki düşüşler, saf beton ve tel katkılı beton kadar

keskin değildir. Lastik ilavesi ile betonun plastik enerji kapasitesinin artmaya başladığı, bu nedenle yeni oluşan stresleri minimize ettiği düşünülmektedir.

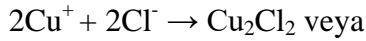
**Çizelge 4.7.** Donma-çözülme öncesi ve sonrası 3C5B (C+% 5B) ve % 2.5 B+L (C+% 2,5B+% 2,5L) malzemelerine ait EDX analiz sonuçları

	<i>Element</i>	<i>Donma-çözülme öncesi %</i>	<i>Donma-çözülme sonrası %</i>
C+% 5B	C	0	0,00
	<b>O</b>	<b>6</b>	<b>18,54</b>
	<b>Ca</b>	<b>44</b>	<b>15,73</b>
	Fe	4	4,41
	Ni	2	3,31
	<b>Cu</b>	<b>14</b>	<b>51,09</b>
	<b>Cl</b>	<b>0</b>	<b>0,05</b>
	Na	2	0,28
	Mg	2	0,78
	K	3	0,50
	Al	7	2,84
	<b>Si</b>	<b>10</b>	<b>2,48</b>
	S	4	0,01
C+%2,5B+%2,5L	<b>C</b>	<b>7</b>	<b>17,54</b>
	<b>O</b>	<b>8</b>	<b>43,59</b>
	<b>Ca</b>	<b>46</b>	<b>23,84</b>
	<b>Cu</b>	<b>8</b>	<b>6,03</b>
	Fe	3	1,10
	Na	1	0,23
	K	2	0,52
	Ni	1	0,42
	S	4	0,06
	<b>Cl</b>	<b>0</b>	<b>0,03</b>
	Al	6	1,48
	Mg	2	0,63
	<b>Si</b>	<b>12</b>	<b>4,52</b>

Donma-çözülme sonrası SEM görüntüleri (Şekil 4.13-4.14) ve EDX analizleri (Çizelge 4.7) incelendiğinde; beton matriksin donma-çözülme sonucu etkilenerek hataların arttığı ve malzeme kaybının yaşandığı, özellikle Ca ve Si yüzdesinin azaldığı görülmektedir. Bronz katkılı betonda, Ca ve Si yüzdesinin azalması oksijen ve Cu yüzdesinin artmasına sebep olmaktadır. Renkli mikroyapı ve elementel dağılım incelendiğinde oksijen ile bronzun aynı bölgelerde çok fazla olmadığı görülmektedir.

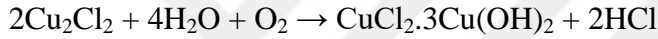
Ancak Cl iyonlarının hem beton matrisi hem de Cu elementinin olduğu bölgelerde olması, beton matrisi yapı içerisine suyun girdiğini ve bronz kanseri olarak bilinen korozyon tipinin, bakır ve alaşımı ile klorür iyonlarının neden olduğu bir kimyasal değişimdir, gerçekleştiği düşünülmektedir. Bu değişimlerin yapıda ağırlık artışına sebep oldukları düşünülmektedir.

Bronz kanseri sürecinde, ortamda serbest klor iyonları, iyonlaşan bakır ile klor iyonları reaksiyona girerek, Bakır(I) klorür (Nantokit) oluştururlar .

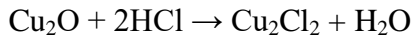
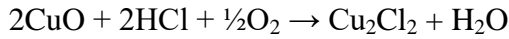


$\text{Cu}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{CuCl}$  ( Nantokit) (Nantokite: CuCl, beyaz, mumsu, kübik kristal formu)

Klor (Cl) iyonlarının varlığında, metalin hemen üzerindeki ilk tabaka olarak oluşan nantokit, nemli ve oksijenli ortamda bazik bakır(II) klorür'e (paratakamit yada atakamit'e) dönüşür.

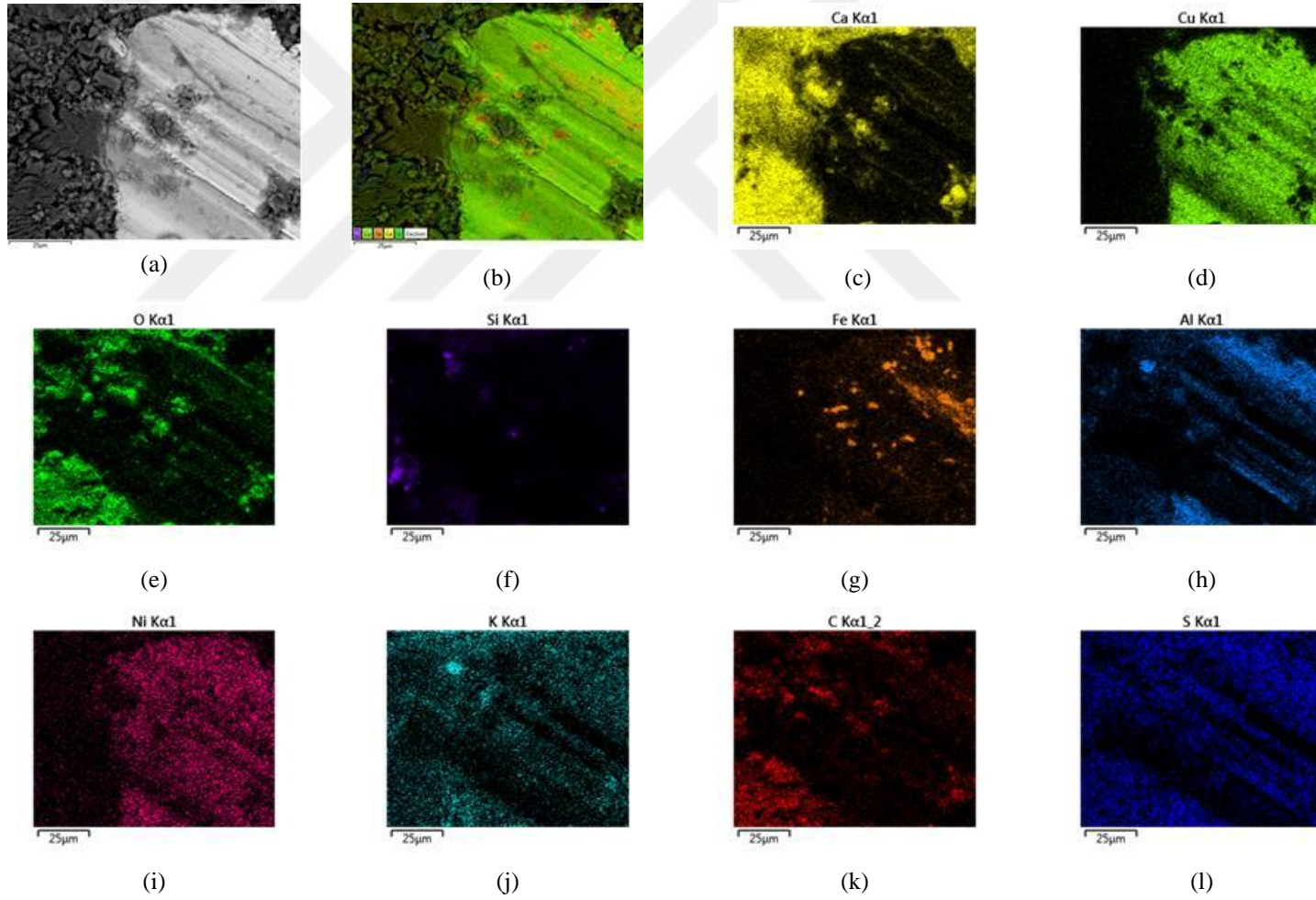


Bu reaksiyon sonucunda açığa çıkan hidroklorikasit (HCl), oksijenli çok hızlı bir şekilde metalik bakıra ve bakırın diğer korozyon ürünlerine etki ederek tekrar nantokit oluşturur.

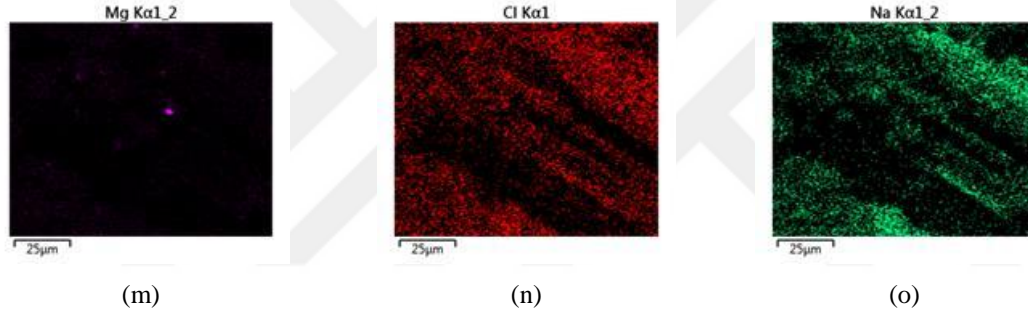


Reaksiyonlar birbiri ardına, bütün metal ve stabil haldeki bütün metal korozyon ürünleri, bazik bakır(II) klorür'e dönüşene kadar devam eder (Anonim 3).

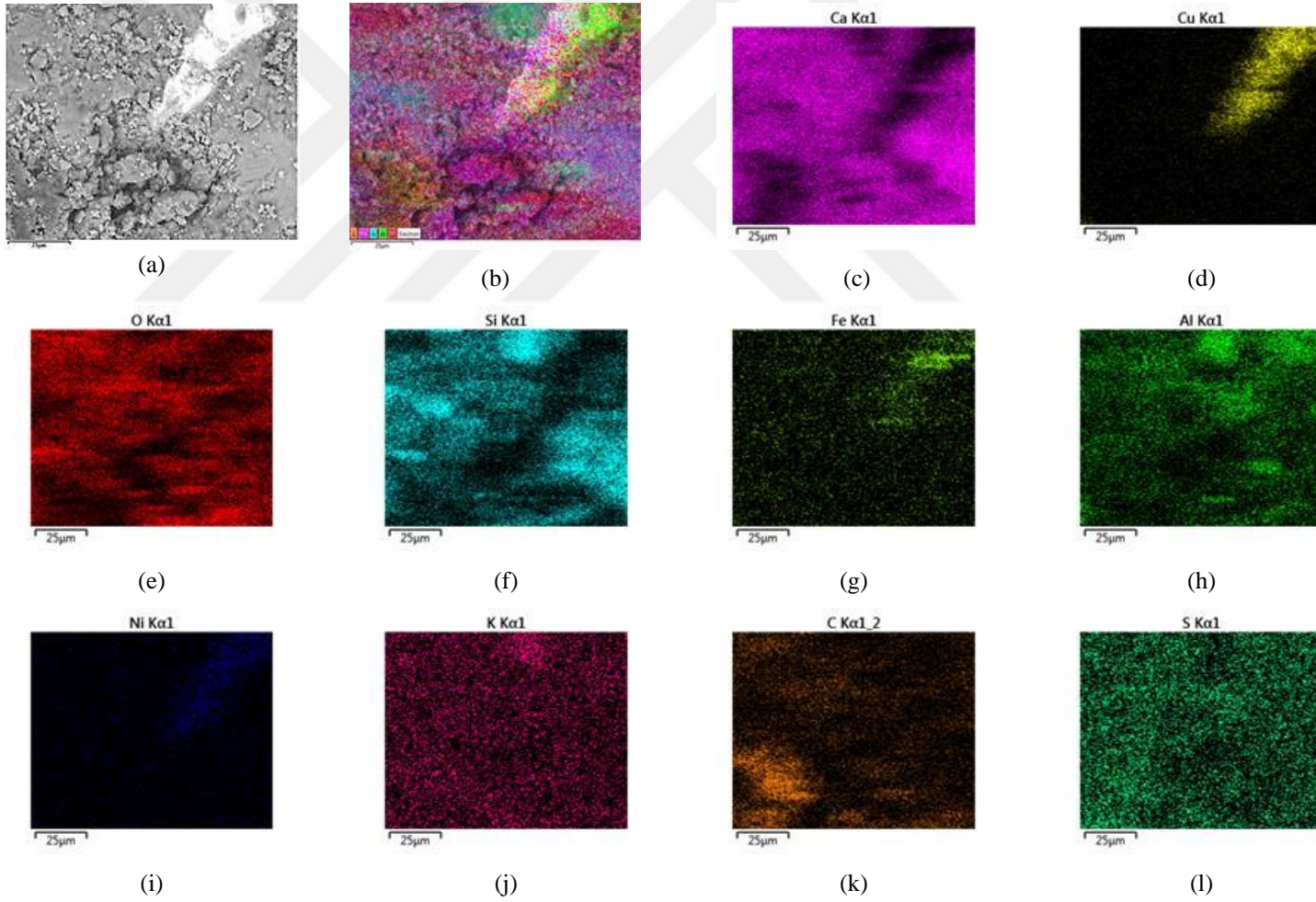
Lastik ve bronz içerikli beton numunesinde ise, Ca ve Si oranı azalırken Cu oranı yaklaşık aynı kalmış ancak oksijen yüzdesi çok artmıştır. Bu durumda özellikle lastik ile birlikte kullanıldığında renkli mikroyapı ve elementel dağılımda da oksijen dağılımının bronz tanelerinin olduğu bölgede olması sebebi ile bronz tanelerinin oksitlendiği, yeni faz oluşumunun gerçekleştiği düşünülmüştür. Cu miktarının donma-çözülme öncesi değerinden çok az bir azalma olması oksitlenmenin pasif oksitlenme (yüzeyde koruyucu oksit tabakası) olduğunu düşündürmektedir. Yine %5 bronz içeren betona benzer şekilde Cl iyonlarının hem beton matrisi, lastik atıkları ve hem de Cu elementinin olduğu bölgelerde görülmektedir. Lastik atıkları ile beton matrisinin bir miktar suyu absorbe ettiği ve bronz kanseri denilen korozyonun gerçekleştiği düşünülmektedir. Bu değişimlerin ağırlık artışında etkili oldukları düşünülmektedir.



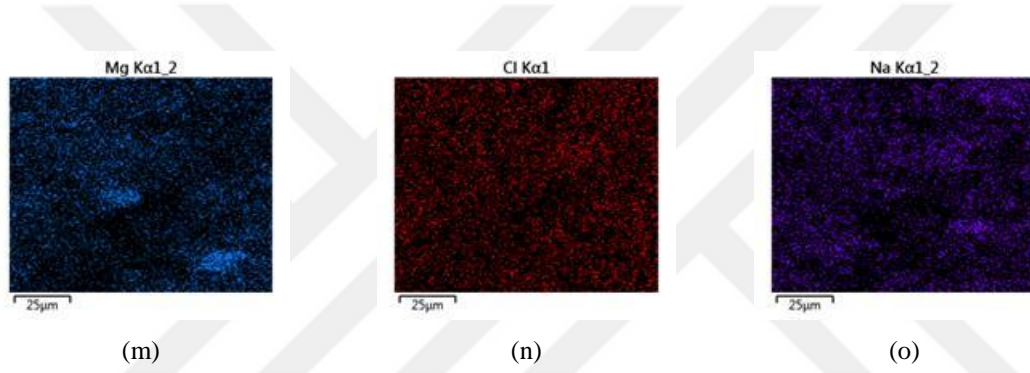
**Şekil 4.13.** Donma-Çözülme testi sonrası % 5 Bronz atığı içeren beton numunesine ait; a) Mikroyapı, b) Renkli mikroyapı ve elementlerinin dağılımı: c) Ca, d) Cu, e) O, f) Si, g) Fe, h) Al, i) Ni, j) K, k) C, l) S, m) Mg, n) Cl, o) Na (1000X-SEM geri yansıyan görüntüsü)



**Şekil 4.13. (Devam)** Donma-Çözülme testi sonrası % 5 Bronz atığı içeren beton numunesine ait; a) Mikroyapı, b) Renkli mikroyapı ve elementlerinin dağılımı: c) Ca, d) Cu, e) O, f) Si, g) Fe, h) Al, i) Ni, j) K, k) C, l) S, m) Mg, n) Cl, o) Na (1000X-SEM geri yansıyan görüntüsü)

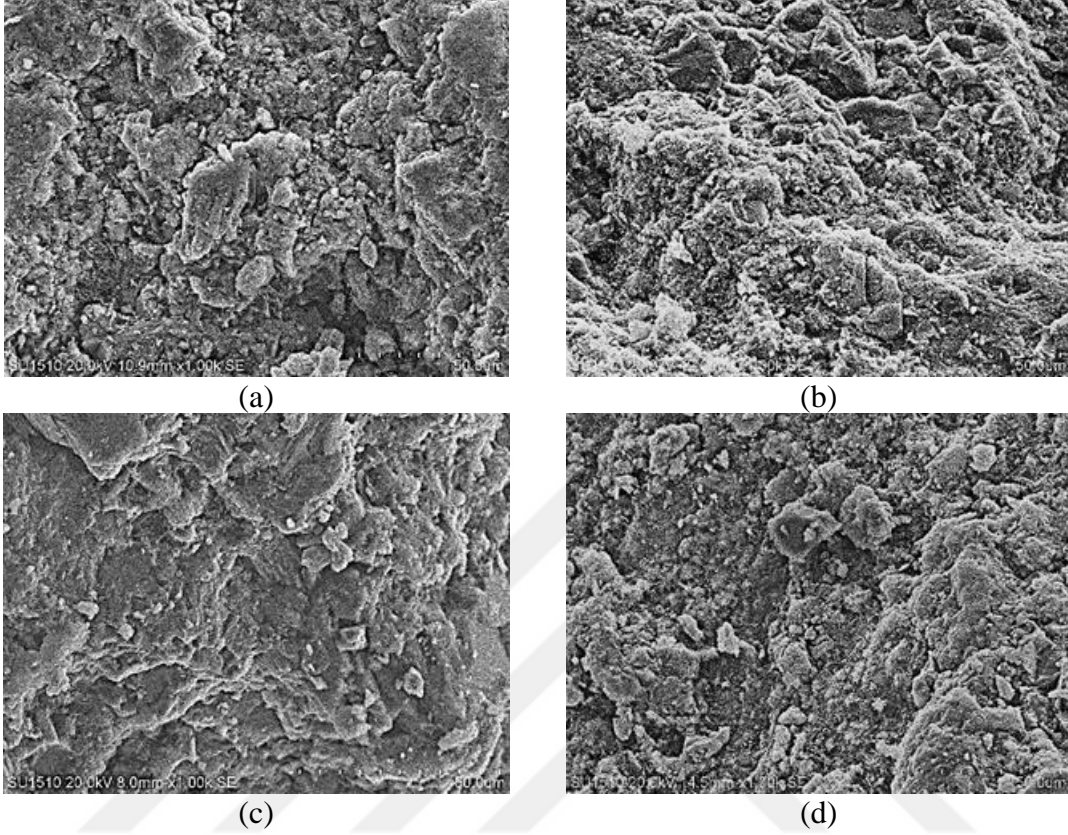


**Şekil 4.14.** Donma-Çözülme testi sonrası % 2,5 Bronz ve % 2,5 lastik atığı içeren beton numunesine ait; a) Mikroyapı, b) Renkli mikroyapı ve elementlerinin dağılımı: c) Ca, d) Cu, e) O, f) Si, g) Fe, h) Al, i) Ni, j) K, k) C, l) S, m) Mg, n) Cl, o) Na (1000X-SEM geri yansıyan görüntüsü)



**Şekil 4.14. (Devam)** Donma-Çözülme testi sonrası % 2,5 Bronz ve % 2,5 lastik atığı içeren beton numunesine ait; a) Mikroyapı, b) Renkli mikroyapı ve elementlerinin dağılımı: c) Ca, d) Cu, e) O, f) Si, g) Fe, h) Al, i) Ni, j) K, k) C, l) S, m) Mg, n) Cl, o) Na (1000X-SEM geri yansıyan görüntüsü)

#### 4.5. Donma-Çözülme Testi Sonrası Mikroyapı Analizi

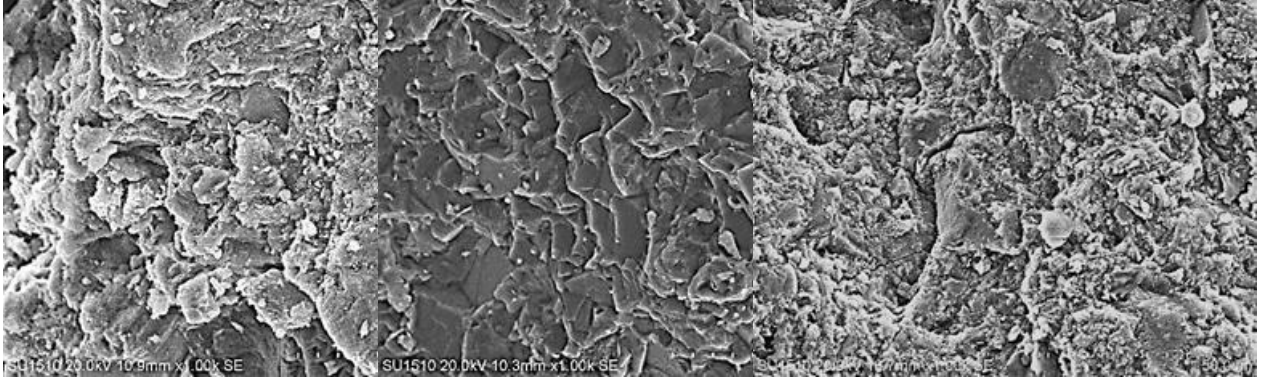


**Şekil 4.15.** Donma-çözülme testi sonrası kırık yüzey görüntüleri (ikincil elektron görüntüleri); a) saf beton, b) % 5 Tel c) % 2,5 Tel+% 2,5 Lastik atığı, ve d) % 5 Tel+% 5 Lastik atığı (1000X büyütme)

Diğer beton numuneleri için, donma-çözülme testinden önce katkı miktarı arttıkça transgranüler kırılma tipi daha baskın hale gelmiştir. Ancak donma-çözülme testinden sonra her iki kırık tipi de gözlenmiştir.

Bununla birlikte, tel ve lastik atığı katkılı betonların mukavemet değerleri, saf betonunkinden daha düşük, mukavemet oranı ise daha yüksektir. Bu, bu betonlar için mukavemet değerlerindeki düşüşün saf beton kadar keskin olmadığı anlamına gelir.

Özellikle C+5%T+5%L malzemesi 50 donma-çözülme çevriminden sonra en yüksek mukavemet değerine sahiptir. Bu beton başlangıçtaki mukavemet değerinin yüzde yetmiş beşini muhafaza ediyordu. Donma-çözülme testinden sonra bu betonda intergranüler tipi kırılma daha baskın hale gelmiştir. Transgranüler kırılma tipinden intergranüler kırılma tipine geçiş mekanik özelliklerde etkili olmuştur.



(a)

(b)

(c)

**Şekil 4.16.** Donma-çözülme testi sonrası kırık yüzey görüntüleri (ikincil elektron görüntüleri); a) C, b) C+5%B ve c) C+5%B+5%lastik atığı (1000X büyütme)

Katkısız beton numunesinde ve % 5 bronz içeren beton numunelerinde tane içi ve taneler arası kırılma tipleri gözlenirken lastik atığı girdisi ile üretilen malzemelerde (Şekil 4.15-c ve d) tane içi kırılmanın baskın olduğu görülmüştür. Mekanik özelliklerdeki azalma sebebi olarak taneler arası kırılma tipinden tane içi kırılma tipine olan bu geçişin de etkili olduğu düşünülmektedir.

#### 4.6. Korozyon Testi Sonuçları

Çizelge 4.8. Ph'ı 2 olan HCl çözeltisinde 7 ve 28 gün bekletilen numunelerin kuru ağırlıkları

Numune kodu	İlk kuru ağırlık (g)	Kuru ağırlık (7 gün asit çözeltisinde bekletilen) (g)	7 gün asit çözeltisinde bekletilen ağırlık değişimi(%)	Kuru ağırlık (28 gün asit çözeltisinde bekletilen) (g)	28 gün asit çözeltisinde bekletilen ağırlık değişimi(%)
CK	302,63	291,56	-3,65793	291,83	-3,56871
%5 T	324,54	313,85	-3,29389	314,18	-3,19221
%5 T+L	284,86	271,66	-4,63386	271,81	-4,5812
%2,5 T+L	299,74	290,23	-3,17275	290,31	-3,14606
3C1B	303,49	291,23	-4,03967	291,61	-3,91446
3C3B	318,04	306,28	-3,69765	306,94	-3,49013
<b>3C5B</b>	<b>308,80</b>	<b>308,91</b>	<b>-0,28821</b>	<b>309,73</b>	<b>-0,3465</b>
<b>%5 B+L 1</b>	<b>287,97</b>	<b>288,73</b>	<b>0,263916</b>	<b>289,16</b>	<b>0,239608</b>
<b>%2,5 B+L</b>	<b>298,42</b>	<b>299,64</b>	<b>0,509349</b>	<b>299,97</b>	<b>0,284833</b>

Katkısız ve katkılı tüm beton numuneleri için, kullanılan 3 farklı asit ile yapılmış korozyon testlerinde, genel olarak korozyonda bekleme süresinin ağırlık kayıplarına ciddi bir etkisi olmadığı gözlenmiştir. 3 asit çeşidinin, beton korozyonunda yaklaşık aynı ağırlık kaybı etkisi yaptığı tespit edilmiştir.

**Çizelge 4.9.** Ph'ı 2 olan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisinde 7 ve 28 gün bekletilen numunelerin kuru ağırlıkları

Numune kodu	İlk kuru ağırlık (g)	Kuru ağırlık (7 gün asit çözeltisinde bekletilen) (g)	7 gün asit çözeltisinde bekletilen ağırlık değişimi(%)	Kuru ağırlık (28 gün asit çözeltisinde bekletilen) (g)	28 gün asit çözeltisinde bekletilen ağırlık değişimi(%)
Katkısız	304,01	292,95	-3,63804	293,75	-3,37489
%5 T	322,5	311,75	-3,33333	312,29	-3,16589
%5 T+L	287,08	273,23	-4,82444	273,71	-4,65724
%2,5 T+L	299,66	289,51	-3,38717	290,05	-3,20697
3C1B	308,55	295,72	-4,15816	295,99	-4,07065
3C3B	306,82	295,02	-3,8459	295,83	-3,5819
<b>3C5B</b>	<b>307,71</b>	<b>308,13</b>	<b>-0,18849</b>	<b>308,93</b>	<b>-0,12349</b>
<b>%2,5 B+L</b>	<b>292,32</b>	<b>293,65</b>	<b>0,454981</b>	<b>293,98</b>	<b>0,465244</b>
<b>%5 B+L</b>	<b>283,20</b>	<b>283,65</b>	<b>0,158898</b>	<b>283,99</b>	<b>0,173023</b>

**Çizelge 4.10.** Ph'ı 2 olan HNO<sub>3</sub> çözeltisinde 7 ve 28 gün bekletilen numunelerin kuru ağırlıkları

Numune kodu	İlk kuru ağırlık (g)	Kuru ağırlık (7 gün asit çözeltisinde bekletilen) (g)	7 gün asit çözeltisinde bekletilen ağırlık değişimi(%)	Kuru ağırlık (28 gün asit çözeltisinde bekletilen) (g)	28 gün asit çözeltisinde bekletilen ağırlık değişimi(%)
Katkısız	301,24	291,06	-3,37937	292,82	-2,79511
%5 T	324,14	313,70	-3,22083	314,33	-3,02647
%5 T+L	283,66	269,96	-4,82973	270,37	-4,68519
%2,5 T+L	301,87	291,26	-3,51476	291,82	-3,32925
3C1B	300,86	287,60	-4,40737	288,22	-4,20129
3C3B	323,04	310,18	-3,98093	310,89	-3,76114
<b>3C5B</b>	<b>302,21</b>	<b>303,02</b>	<b>-0,06287</b>	<b>303,94</b>	<b>-0,08934</b>
<b>%2,5 B+L</b>	<b>293,17</b>	<b>294,81</b>	<b>0,24218</b>	<b>294,86</b>	<b>0,235358</b>
<b>%5 B+L</b>	<b>277,80</b>	<b>278,70</b>	<b>-0,036</b>	<b>278,87</b>	<b>0,025198</b>

Asitler ile katkısız beton malzemesinde (C) çözünmeler meydana gelmektedir, korozyon sonrasında ağırlık kaybı olduğu görülmektedir. Tel ve lastik ilavelerinin yapıldığı beton malzemesinde, asitler ile yapılan testler sonucunda yine ağırlık kaybının olduğu ve bu katkı malzemelerinin beton çözünmesine ve dolayısı ile korozyona etkisinin olmadığı düşünülmektedir. Bronz ilavesinde ise %1 ve %3 ilavelerinin de korozyon direncine etkisi olmadığı görülmektedir (Çizelge 4.8-4.10).

% 5 Bronz katkılı ve bronz ve lastiğin birlikte kullanıldığı beton numunelerinde, 3 asit ile yapılan korozyon testlerinde ağırlık kaybının belirgin olmadığı, korozyon öncesi değerine yakın olduğu hatta bir miktar arttığı görülmüştür. Bronz katkısının tel katkısından daha yüksek korozyon direncine sahip olduğu düşünülmüştür.

**Çizelge 4.11.** Saf suda ve asit çözeltilerinde bekletilen numunelerin elektriksel yüzey dirençleri

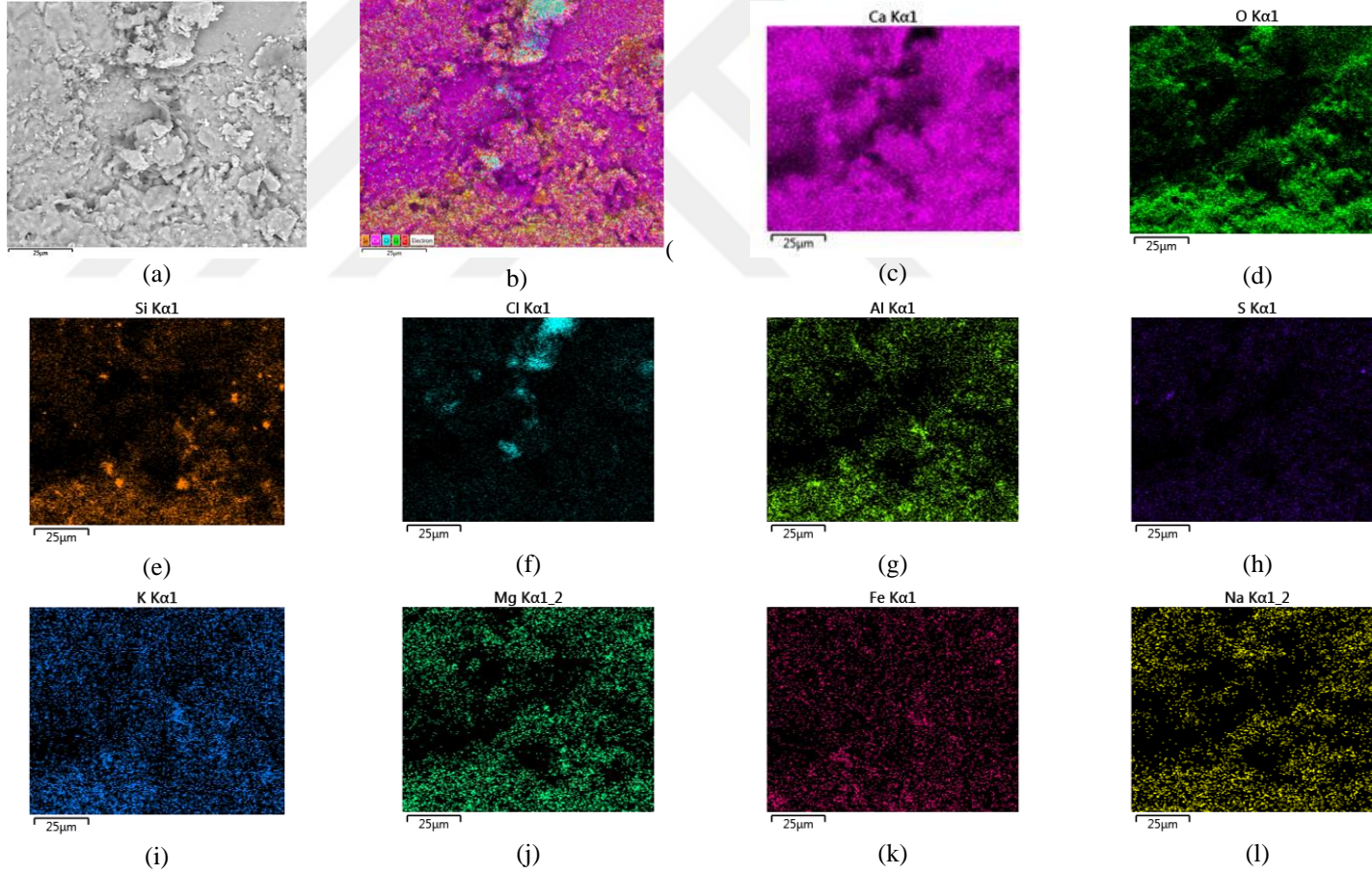
Numune kodu	Saf suda bekletilen (kΩcm)	7 gün asit çözeltisinde bekletilen (kΩcm)			28 gün asit çözeltisinde bekletilen (kΩcm)		
		HCl	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HNO <sub>3</sub>	HCl	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HNO <sub>3</sub>
Katkısız	51,5	140	135,5	126	346	265	160
%5 T	70	90	74,5	64	167	133	124
%5 T+L	93	150	167	185	254	266	331
%2,5 T+L	75	190	196	255	290	370	450
3C1B	94	107,6	110	116	198	201	205
3C3B	54,5	63	76	93	107	114	133
<b>3C5B</b>	<b>135</b>	<b>145</b>	<b>157</b>	<b>158</b>	<b>186</b>	<b>179</b>	<b>175</b>
<b>%2,5 B+L</b>	<b>128</b>	<b>160</b>	<b>174</b>	<b>183</b>	<b>172</b>	<b>196</b>	<b>190</b>
<b>%5 B+L</b>	<b>175</b>	<b>214</b>	<b>212</b>	<b>201</b>	<b>230</b>	<b>228</b>	<b>215</b>

3 farklı asit ile yapılan korozyon testleri sonucunda, tüm beton numunelerinin direnç değerlerinin arttığı görülmektedir. Katkısız beton malzemesinde korozyon etkisi ile oluşan yapısal, katkılı malzemelerde ise donatıların korozyona uğrayarak paslanmaları direnç artmasına sebep olmuştur. Seramik malzemeler elektrik iletimi olmayan malzemelerdir ve direnç gösterirler. Metal donatılar ise elektrik iletimi olan,

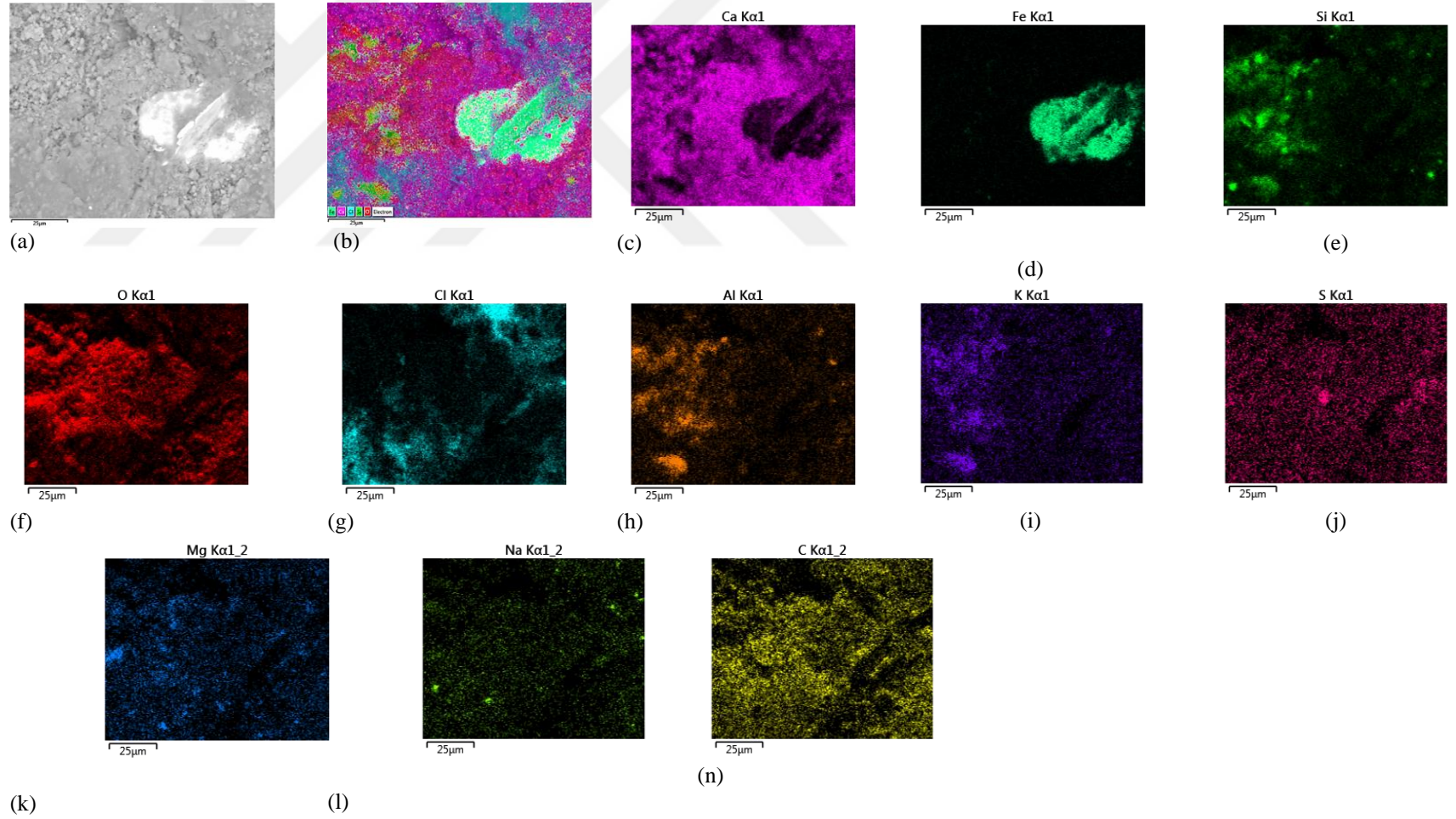
ancak korozyon ile paslanma etkisinden dolayı direnç göstermeye başlayan malzemelerdir. Direnç artışı metal donatıların korozyona uğradığı anlamına gelmektedir.

Direnç sonuçlarına göre de ağırlık kayıplarına benzer şekilde, 3 kuvvetli asit yaklaşık aynı korozyon etkisini yapmaktadır. Asitte bekleme süresi arttıkça, daha fazla korozyon gerçekleşmiş ve direnç değerleri artmıştır.

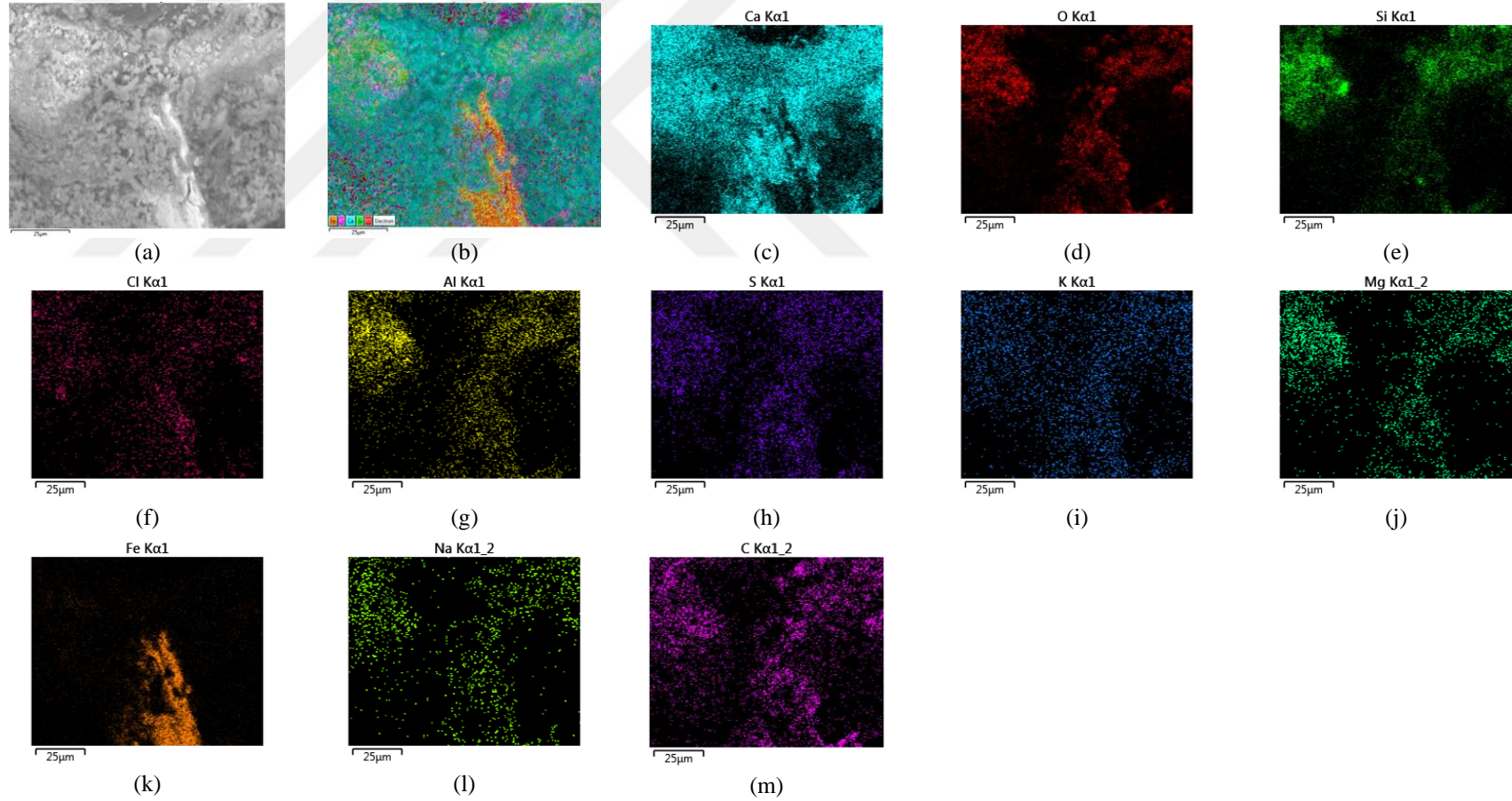




**Şekil 4.17.** Korozyon testi sonrası katkısız beton numunesine ait; a) Mikroyapı, b) Renkli mikroyapı ve elementlerinin dağılımı: c) Ca, d) O, e) Si, f) Cl, g) Al, h) S, i) K, j) Mg, k) Fe, l) Na (1000X-SEM geri yansıyan görüntüsü)



**Şekil 4.18.** Korozyon testi sonrası %5 tel beton numunesine ait a) Mikroyapı, b) Renkli mikroyapı ve elementlerinin dağılımı: c) Ca, d) Fe, e) Si, f) O, g) Cl, h) Al, i) K, j) S, k) Mg, l) Na (1000X-SEM geri yansıyan görüntüsü)



**Şekil 4.19.** Korozyon testi sonrası % 5 tel ve % 5 lastik atığı içeren beton numunesine ait; a) Mikroyapı, b) Renkli mikroyapı ve elementlerinin dağılımı: c) Ca, d) O, e) Si, f) Cl, g) Al, h) S, i) K, j) Mg, k) Fe, l) Na, m) C (1000X-SEM geri yansıyan görüntüsü)

HCl çözeltisi içerisinde korozyon testi yapılan:

i) katkısız beton numunesinde Cl iyonlarının olduğu bölge görülmektedir, asidin beton matris tarafından absorbe edildiği ve yapısal olarak çözümlerin ve dolayısı ile malzeme kaybının olduğu görülmektedir. Yapısal hatalar sonucu ağırlık kaybı yanısıra elektriksel direncin arttığı düşünülmektedir (Şekil 4.17, Çizelge 4.11).

ii) %5 tel içeren beton numunesinde beton matrisin olduğu bölgelerde Cl iyonlarının olduğu bölgeler görülmektedir. Beton matris asitten etkilenmiştir. Tel donatıların olduğu bölgelerde ise oksijen varlığı da görülmektedir ve tel donatıların oksitlendiği düşünülmektedir. Tel içerikli beton malzemelerin EDX sonuçlarına göre (Çizelge 4.12), Fe oranı belirgin şekilde ve az miktar Ca oranı azalırken oksijen miktarının net bir şekilde arttığı görülmüştür (Şekil 4.18). Bu durumda tel donatısının oksitlenerek korozyona uğradığı düşünülmektedir. Bu sebeple direnç değerleri artmaktadır (Çizelge 4.11). Ayrıca Cl iyonlarının da Fe elementlerinin olduğu bölgelerde varlığı göz önüne alındığında, klorür iyonlarının donatıya ulaştıklarında pasif tabakayı gevşettikleri, yüzeydeki kararlı tabaka ile reaksiyona girerek  $Fe(OH)_2 \cdot FeCl_2$  gibi kararsız klorür kompleksleri oluşturdukları düşünülmektedir.

Klorür iyonları, betonun içerisindeki çelik çubukların üzerindeki pasif oksit (yüzeyde koruyucu oksit tabakası) filminin kırılmasına, korozyonun daha kısa sürede başlamasına yol açmaktadır. Klorür iyonu konsantrasyonu belli eşik değerleri geçtiği zaman korozyon başlar ve elektrokimyasal korozyon devam eder.

Klorür iyonları, ortamın elektrolitliğini artırarak ve elektriksel direncini azaltarak anot-katot iyon akışını kolaylaştırırlar. Böylece akım şiddetinin artışına bağlı olarak korozyon hızı da artar.

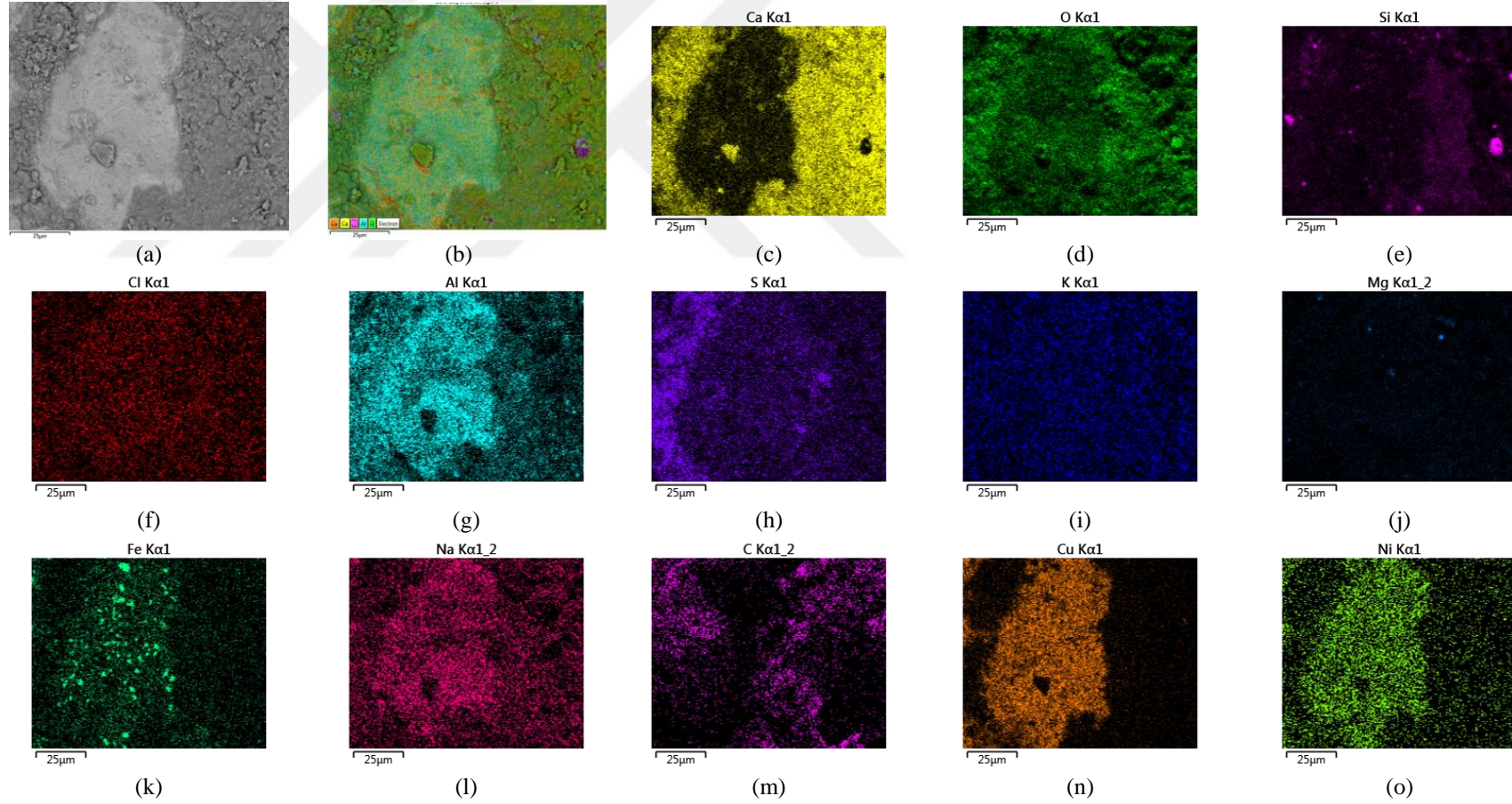
Beton içerisindeki klorür iyonları iki farklı tipte görülebilir. Birinci tip olanı serbest klorür olarak bilinen boşluk suyunda çözünen klorür iyonlarıdır. Diğer tip ise çimentonun hidrasyon ürünleri ile bağlanmış olan bağlı klorür iyonlarıdır. Her iki klorür iyon tipinde kimyasal denge sağlamak için ortamda aynı anda bulunmaktadır. Ancak korozyona neden olan beton içerisindeki iyonların taşınımını değerlendirmek sadece serbest klorür iyonları için önemlidir (Boğa, 2010).

Klorür iyonlarının etkisinin donma-çözülme testinde sudan gelen klor iyonlarının ve HCl asit gibi diğer asitlerin de benzer etki yaptığı düşünülmektedir.

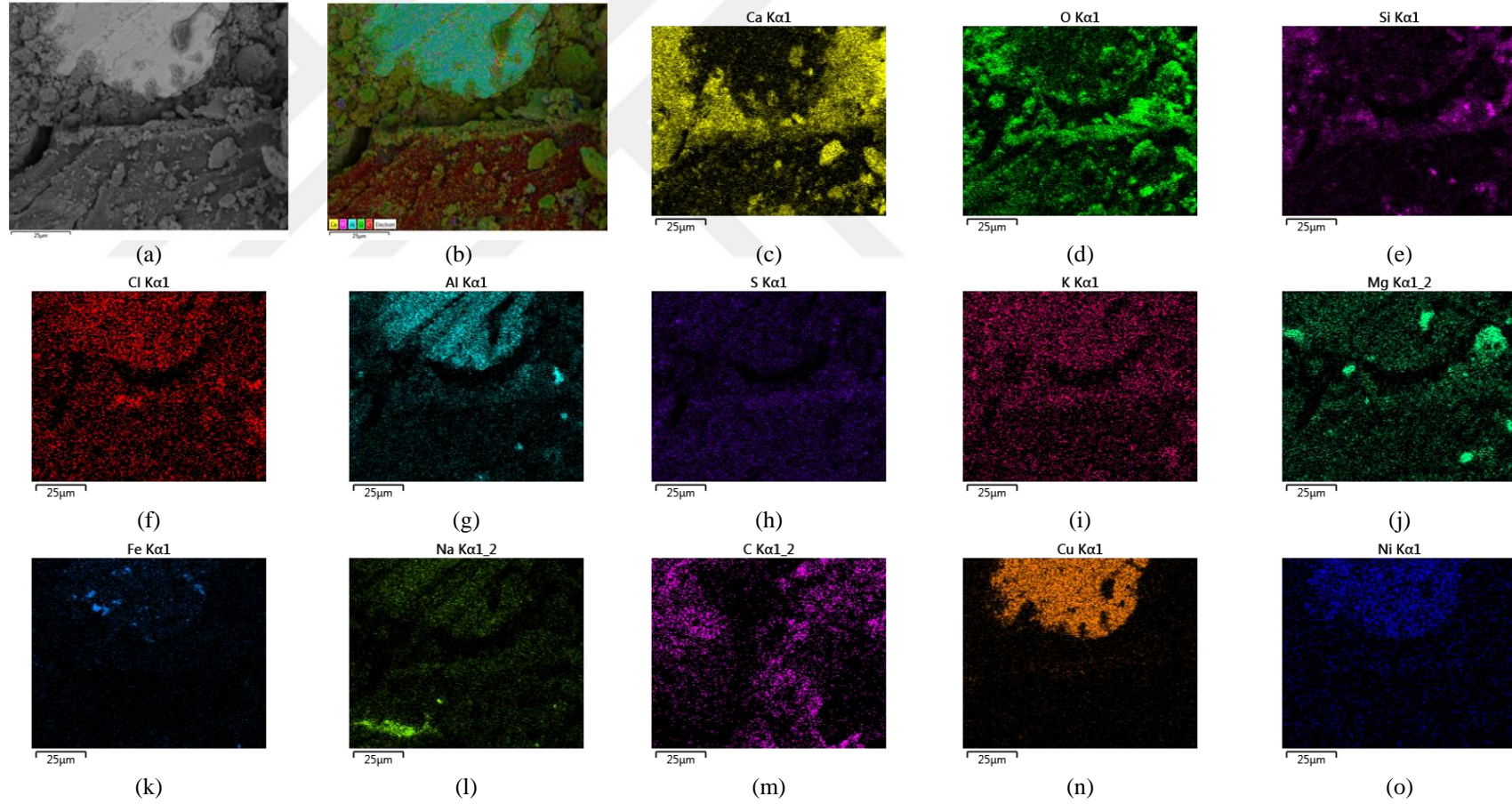
iii) %5 tel ve %5 lastik içeren beton numunesinin HCl çözeltisi içinde korozyonu sonucu EDX analizleri incelendiğinde (Çizelge 4.12), Fe ve Ca miktarının oldukça azaldığı ve toplamı 100 edecek şekilde C ve O miktarının arttığı görülmektedir. Tel katkılı beton numunesi için olan etkiler bu beton numunesinde de görülmektedir. Ayrıca beton matrisinin asitten etkilendiği, lastik bileşenlerinin ise asitten etkilenmediği EDX değerlerine göre düşünülmektedir.

Çizelge 4.12. Tel katkılı beton numunelerin HCl ile korozyonu sonrası EDX analizi

Elementler (%)	Malzeme			
	C+%5T		C+%5T+%5L	
	Korozyon Öncesi	Korozyon Sonrası	Korozyon Öncesi	Korozyon Sonrası
<b>C</b>	2	7,38	<b>5</b>	<b>36,49</b>
<b>O</b>	<b>4</b>	<b>45,26</b>	<b>5</b>	<b>32,67</b>
Na	2	0,08	2	0,09
Mg	2	0,27	2	0,28
Al	3	0,76	4	0,44
Si	8	2,0	11	1,51
S	3	0	5	0,30
K	2	0,29	2	0,18
<b>Ca</b>	<b>24</b>	<b>23,04</b>	<b>31</b>	<b>23,78</b>
<b>Fe</b>	<b>50</b>	<b>20,38</b>	<b>33</b>	<b>4,20</b>
<b>Cl</b>		<b>0,54</b>		<b>0,08</b>



**Şekil 4.20.** HCl çözeltisi içerisinde korozyon testi sonrası % 5 bronz talaş atığı içeren beton numunesine ait; a) Mikroyapı, b) Renkli mikroyapı ve elementlerinin dağılımı: c) Ca, d) O, e) Si, f) Cl, g) Al, h) S, i) K, j) Mg, k) Fe, l) Na, m) C, n) Cu, o) Ni (1000X-SEM geri yansıyan görüntüsü)



**Şekil 4.21.** HCl çözeltisi içerisinde korozyon testi sonrası % 2,5 bronz ve % 2,5 lastik talaş atığı içeren beton numunesine ait; a) Mikroyapı, b) Renkli mikroyapı ve elementlerinin dağılımı: c) Ca, d) O, e) Si, f) Cl, g) Al, h) S, i) K, j) Mg, k) Fe, l) Na, m) C, n) Cu, o) Ni (1000X-SEM geri yansıyan görüntüsü)

Çizelge 4.13. Bronz ve lastik katkılı beton numunelerin HCl ile korozyonu sonrası EDX analizi

Elementler (%)	Malzeme					
	C		C+%5B		C+%2,5B+%2,5L	
	Korozyon Öncesi	Korozyon Sonrası	Korozyon Öncesi	Korozyon Sonrası	Korozyon Öncesi	Korozyon Sonrası
<b>C</b>	<b>0</b>	<b>5,04</b>	<b>2</b>	<b>9.39</b>	<b>7</b>	<b>54.32</b>
<b>O</b>	<b>9</b>	<b>49,98</b>	<b>6</b>	<b>42.18</b>	<b>8</b>	<b>27.51</b>
Na	1	0,42	2	0,26	1	0,42
Mg	3	0,31	2	0,68	2	0,58
Al	4	0,50	7	4,43	6	<b>1.34</b>
<b>Si</b>	<b>12</b>	<b>5,86</b>	<b>10</b>	<b>3.09</b>	<b>12</b>	<b>1.12</b>
S	3	0	4	0	4	0,00
K	2	0,41	3	0,32	2	0,18
<b>Ca</b>	<b>64</b>	<b>36,43</b>	<b>44</b>	<b>23.07</b>	<b>46</b>	<b>6.64</b>
Fe	2	0,68	4	1,51	3	0,59
Ni			2	1,46	1	<b>0.45</b>
<b>Cu</b>			<b>14</b>	<b>13.37</b>	<b>8</b>	<b>6.78</b>
Cl				0,26		0,07

28 gün boyunca HCl çözeltisi içerisinde korozyon testi yapılan:

%5 bronz içeren beton numunesinde renkli mikroyapı ve elementel dağılım incelendiğinde (Şekil 4.20) oksijen ile Cl ve bronzun aynı bölgelerde olduğu görülmektedir. Cu miktarındaki azalmanın çok olmaması, direnç değerinin çok yükselmemesi bronzun pasif oksitlenmiş (yüzeyde koruyucu oksit tabakası) olabileceğini göstermektedir (Çizelge 4.11).

Cl iyonlarının hem beton matrisi hem de Cu elementinin olduğu bölgelerde olması, beton matrisinin HCl asitten etkilendiğini, Ca ve Si miktarının azalması beton matrisinin çözüldüğünü göstermektedir. Cl iyonları ile bronz donatısının da benzer şekilde çakışması, HCl çözeltisinden etkilenecek bronz kanseri olarak bilinen korozyon tipinin gerçekleştiği düşünülmektedir.

Atmosfer ile temas ettiğinde bakır, yıllar boyunca mavi-yeşil olan kahverengi-siyah bir patinayı oluşturur. Başlangıçta  $Cu_2O$  ve  $CuO$  oksitleri oluşur. Daha sonra, kirletici maddelerin varlığında, oksitler ile beraber yavaşça yeşilimsi hidroksi-sülfatlar  $Cu(OH)_x(SO_4)_y$ , hidroksikarbonatlar  $Cu(OH)_x(CO_3)_y$  veya hidrosiklorürler  $Cu(OH)Cl_y$  oluşur. Patina, kirli atmosferlerde daha hızlı oluşur, ama yine de, genellikle yeşil bir patinanın görünmesi için birkaç yıl beklemek gerekir. Yüksek  $SO_2$  konsantrasyonuna sahip ortamlar, yeşil patinanın oluşumunu tamamen önleyebilir, çünkü metalin yüzey pH'ı, bazik tuzların çökmesi için çok düşük kalır (Landolt, 2007).

Bakırın kendisi doğal olarak korozyona dayanıklıdır. Emf serilerinde hidrojene ve su içinde ve çözülmüş oksijen içermeyen oksitleyici asitlerde korozyona uğrama eğilimi olmadan termodinamik olarak stabildir. Bakır ve alaşımları ile, baskın katot reaksiyonu, hidroksit iyonları oluşturmak için oksijenin indirgenmesidir. Bu nedenle, korozyonun gerçekleşmesi için oksijen ya da diğer oksitleyici maddeler gereklidir. Oksitleyici asitlerde veya bakır kompleksleri oluşturan iyonların havalandırılmış solüsyonlarında korozyon ciddi olabilir.

Bakırın korozyon direnci, tatlı su veya deniz suyuyla temas ettiğinde, oluşan yüzey oksit filmine bağlıdır. Korozyonun devam etmesi için, bu filmde oksijen yayılmalıdır.

Bakır şunlara dayanıklı değildir:

1. Nitrik ve sıcak konsantre sülfürik asit gibi oksitleyici asitler, ve havalandırılmamış okside olmayan asitler (karbonik asit dahil)
2. Amonyum hidroksit (artı oksijen) - karmaşık iyon, ikame edilmiş amonyak bileşikler (aminler) de aşındırıcıdır.

3. Yüksek hızlı havalandırılmış sular ve sulu çözeltiler
4. Ağır metal tuzlarını (demir klorür, ferrik sülfat vb.) Oksitleme
5. Hidrojen sülfür ve benzer kükürt bileşikleri

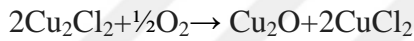
Koruyucu yüzey filmi, alüminyum ilavesiyle stabilize edilir (Schweitzer, 2006).

Cu bazlı alaşımlara alüminyum eklenmesi, aşındırıcı ortama maruz kaldıktan sonra yüzeyde hızla biriken koruyucu alümina tabakasının oluşması nedeniyle korozyon direncini artırır. Nikel mevcudiyeti, Cu-Ni alaşımlarının paslanmasında, alaşımın korozyona uğramış yüzeyinde oluşan Cu(I)oksit içerisine yerleştirilmesinden ve normalde Cu(I)oksit içinde mevcut olan katyon boşluğunun sayısını azalttığından önemlidir (Vrsalović, 2017).

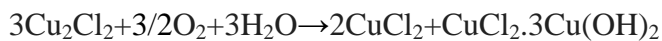
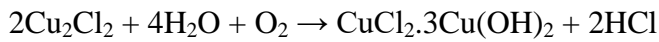
Bronz kanseri sürecinde, ortamda serbest klor iyonları, iyonlaşan bakır ile klor iyonları reaksiyona girerek, Bakır(I)klorür (Nantokit) oluşturmuştur.



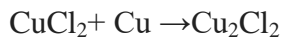
Bu ilk tepkiyi takiben, ortaya çıkan çürüme sürecini hesaba katmak için bir dizi hipotez geliştirilmiştir. Aşağıdaki açıklama önerilmiş olanlardan biridir (Gilberg 1988; McLeod 1981). Başlangıçta oluşan bakır klorürün bir kısmı, kuprik klorit oluşturmak için havada oksijen ile reaksiyona girer:

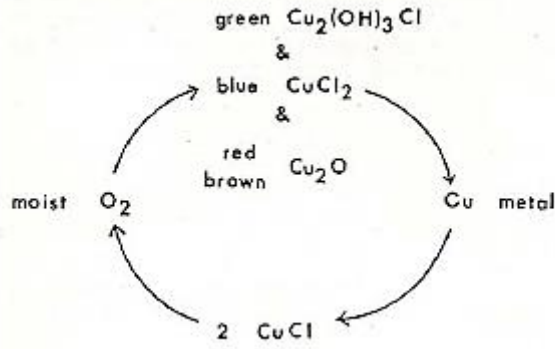


Klor (Cl) iyonlarının varlığında, metalin hemen üzerindeki ilk tabaka olarak oluşan nantokit, nemli ve oksijenli ortamda bazik bakır(II)klorür'e (paratakamit ya da atakamite) dönüşmüştür. Kalan bakır klorür oksitlenir ve ayrıca temel bakır klorürün yanı sıra daha fazla bakır klorür oluşturmak için çevresel su (veya su buharı) ile reaksiyona girer.



Bakır klorürün bir kısmı, daha fazla bakır klorür oluşturmak için alaşımdaki ek bakır ile reaksiyona girer:

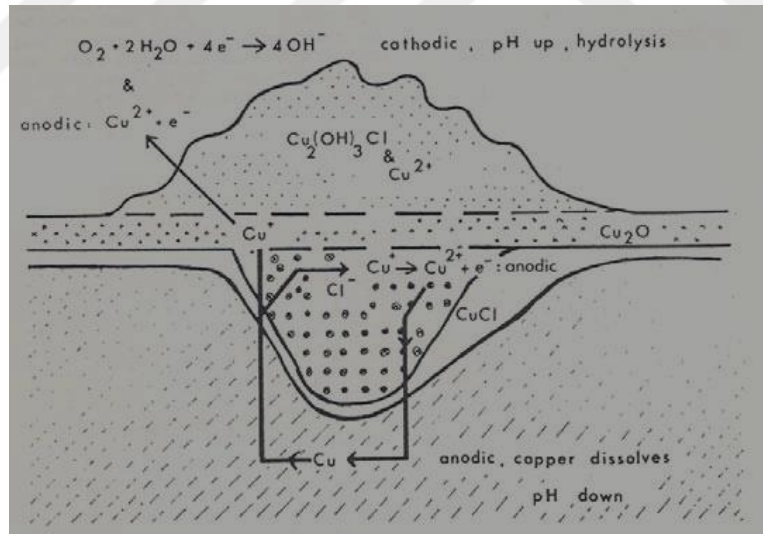




Şekil 4.22. Bronz hastalıklarının döngüsel doğasının şematik tasviri

Önleyici koruma tedavisi ile kesintiye uğramadığı sürece, bronz hastalık sürecinin reaksiyon dizisi, alaşımdaki tüm bakır, bakır bileşikleri ve alaşımdan yapılmış nesnelere atığa dönüşene kadar tekrar tekrar ortaya çıkar (Goffer, 2007).

Bu reaksiyon sonucunda açığa çıkan hidroklorikasit (HCl), oksijenli çok hızlı bir şekilde metalik bakıra ve bakırın diğer korozyon ürünlerine etki ederek tekrar nantokit oluşturmuştur. Metal korozyon ürünleri, bazik bakır(II)klorür'e dönüşmüştür.

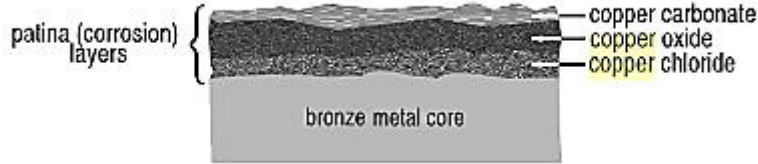


Şekil 4.23. Bronz Hastalığında yer alan başlıca oksidasyon ve indirgeme reaksiyonlarının şematik gösterimi

Bronz hastalık çukur korozyonu şeklindedir ve çukur tabakasının altında iç bölge aktif olarak çözülür (anodik alan) ve korozyon ürünleri Cu<sub>2</sub>O filminin üzerindeki bir höyükte (ana katodik alan) depolanır. Koruyucu Cu<sub>2</sub>O, oksijene sınırlı erişim nedeniyle çukurdaki metal üzerinde reform yapamaz. Büyümesi için koşullar, bakır oksit altında bir bakır klorür

tabakasının varlığını içerir.  $\text{Cu}_2\text{O}$  tabakası bipolar elektrot olarak işlev görür. Karşı taraflarda oksidasyon ve indirgeme reaksiyonları meydana gelir.

Çukurun içerisindeki çözünebilir bakır(I) türleri,  $\text{Cu}_2\text{O}$  membranındaki çatlaklardan difüzyonla taşınabilmektedir ve bu kompleksler, moleküler oksijenle bakır iyonuna oksitlenmektedir. (Macleod, 1981).



Şekil 4.24. Bakırın korozyonu (Goffer, 2007)

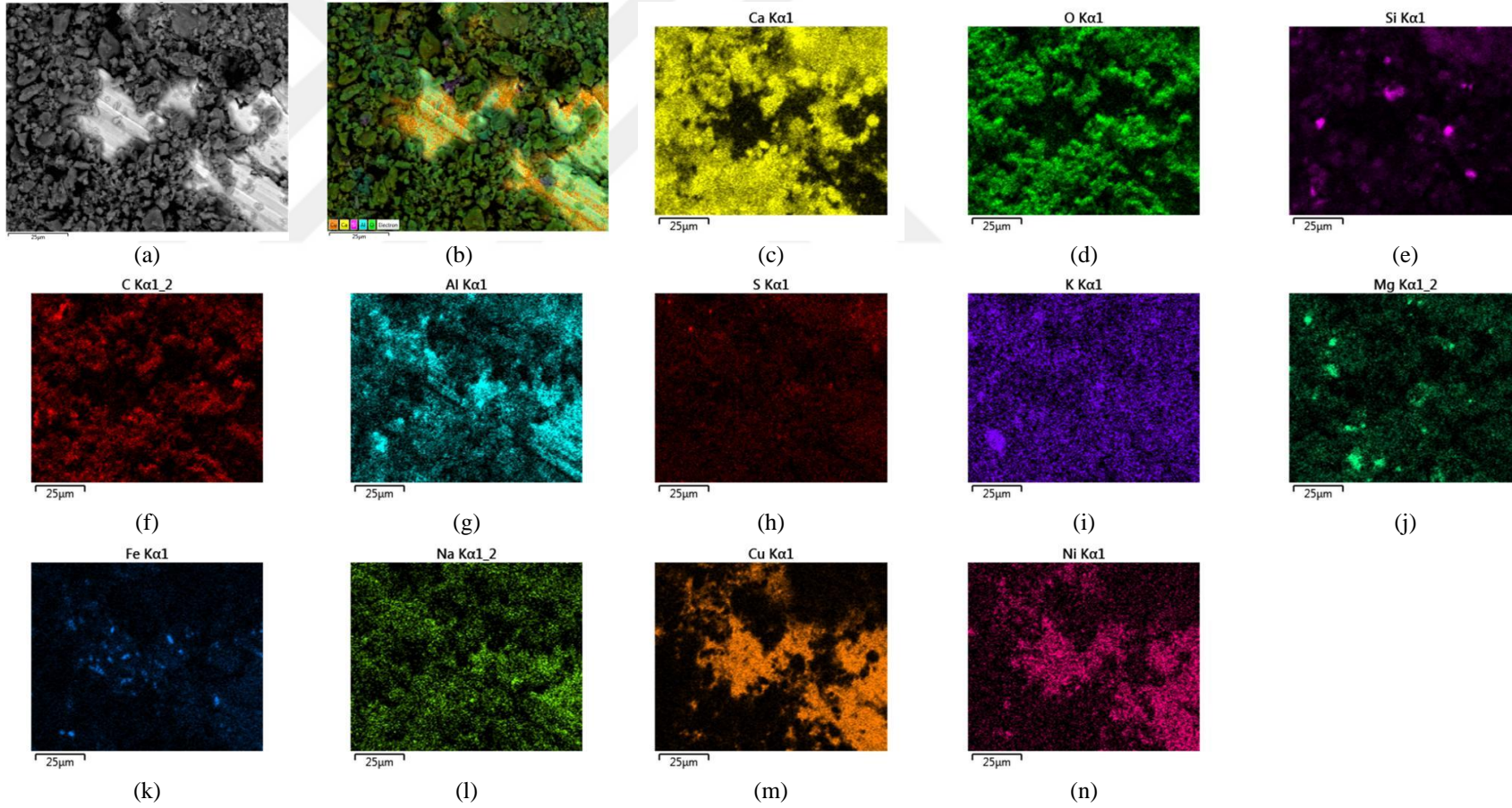
Benzer şekilde Vrsalović ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda, NaCl çözeltilerindeki CuAlNi alaşımı çözeltide küçük bir oksijen konsantrasyonunun varlığı belirlenmiş ve iki katodik reaksiyonun mümkün olduğu belirtilmiştir: oksijen indirgemesi ve hidrojen evrimi reaksiyonu. CuAlNi alaşımı için polarizasyon eğrilerinin 0.5, 0.9 ve 1.5% NaCl çözeltilerindeki akım yoğunluğu Cu(II)türlerinin oluşumuna bağlı olarak pozitif potansiyel değişikliklerle tekrar yükselmiştir. Ayrıca, yüzeyden korozyon ürünlerinin çözünmesinden sonra, anodik akım yoğunluğu artmıştır. Klorür iyonlarının artan konsantrasyonun, korozyon akım yoğunluklarında bir artışa ve CuAlNi alaşımının daha yüksek bir korozyonuna işaret eden polarizasyon direncindeki bir azalmaya yol açtığı düşünülmüştür.

%0.5, % 0.9 ve % 1.5 NaCl çözeltilerinde, CuAlNi alaşımı üzerinde çukur korozyonun görünümünü optik mikroskop analizi ile tespit etmişlerdir. Çukurun içindeki yüzeyin analizi çukurun etrafındaki yüzeye göre önemli ölçüde daha yüksek bir klor yüzdesini göstermiş, bu da çukurların içindeki aşınmanın bakır klorürün çözünebilir bir aşındırıcı ürününün oluşumunu göstermiştir. EDS yüzey analizi CuAlNi yüzeyindeki bakır oksijenin baskın yüzdesini ve yüzeydeki bakır oksidin varlığını göstermiştir. Küçük bir alüminyum yüzdesinin varlığı, yüzey tabakasındaki alüminyum oksit formundaki dağılımını göstermiştir (Vrsalović, 2017).

ii) %2,5 bronz ve %2,5 lastik içeren beton numunesinin HCl çözeltisi içinde korozyonu sonucu EDX analizleri incelendiğinde (Çizelge 4.13), Ca ve Si miktarının oldukça azaldığı ve toplamı 100 edecek şekilde C ve O miktarının arttığı görülmektedir. Beton matrisinin asitten etkilendiği, lastik bileşenlerinin ise asitten etkilenmediği düşünülmektedir. mikroyapı ve elementel dağılımda da oksijen dağılımının bronz tanelerinin olduğu bölgede olması sebebi ile bronz tanelerinin oksitlendiği, yeni faz oluşumunun gerçekleştiği

düşünülmüştür. Cu miktarının donma-çözülme öncesi değerinden çok az bir azalma olması oksitlenmenin pasif oksitlenme (yüzeyde koruyucu oksit tabakası) olduğunu düşündürmektedir. Yine %5 bronz içeren betona benzer şekilde Cl iyonlarının hem beton matrisi hem de Cu elementinin olduğu bölgelerde görülmektedir. Bu betonda da bronz kanseri denilen korozyonun gerçekleştiği düşünülmektedir.

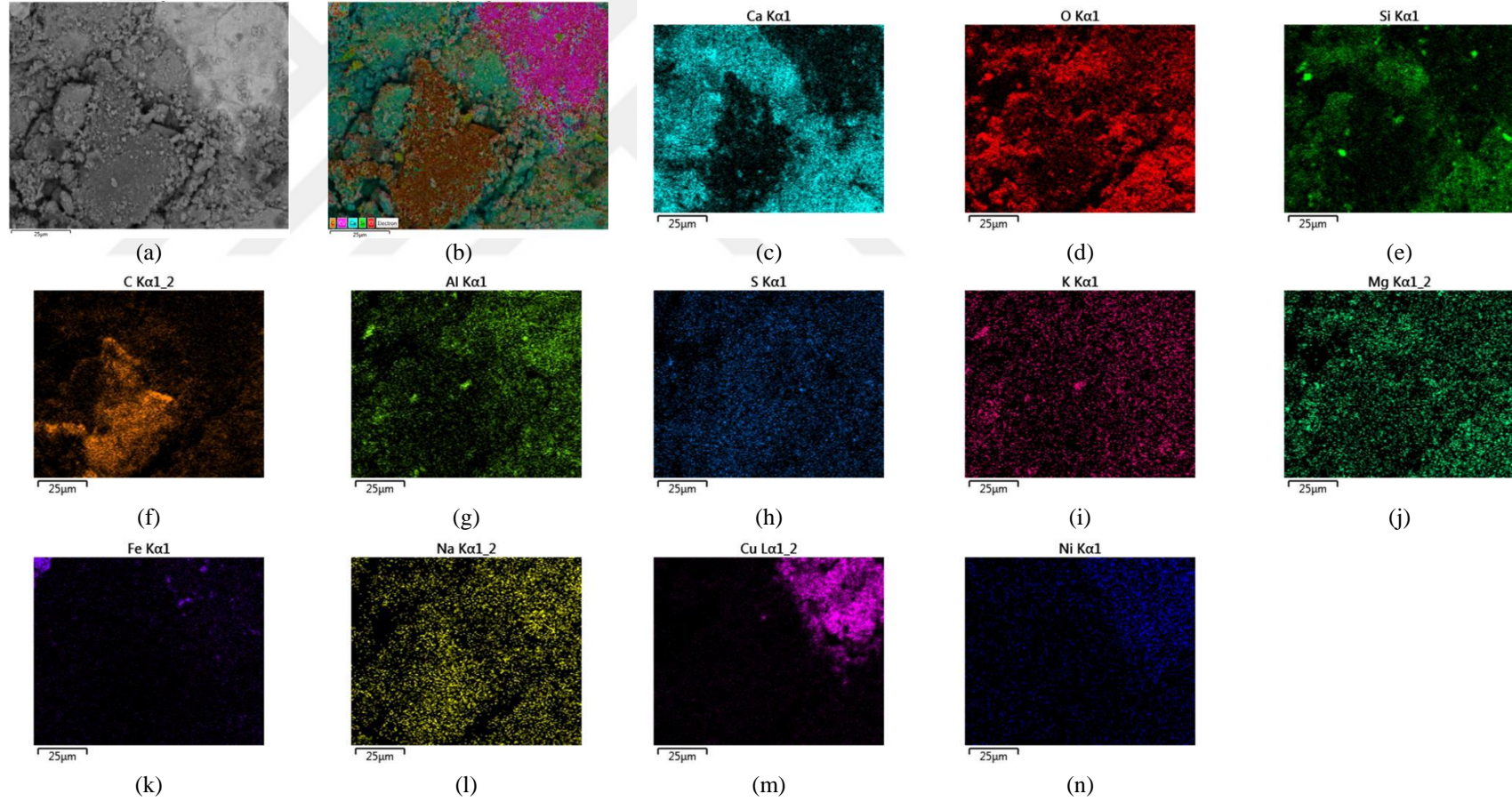
H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi kullanılan %5 bronzlu ve %2,5 bronz ile %2,5 lastik içeren betonun SEM (Şekil 4.22 ve 4.23) ve EDX (Çizelge 4.13) sonuçları incelendiğinde, oksijen miktarının arttığı görülmüştür. Oksijen ile Cu elementinin de dağılım bölgelerinde çakışması bronzun asitten etkilenecek oksitlendiği, ancak Cu miktarının azalmaması sebebiyle HCl çözeltisinde olduğu gibi pasif oksitlenme (yüzeyde koruyucu oksit tabakası) olduğu düşünülmektedir. Ca, Si miktarının azalması ise, beton matrisinin asitten etkilenecek çözüldüğü anlamına gelmektedir.



**Şekil 4.25.**  $H_2SO_4$  çözeltisi içerisinde korozyon testi sonrası % 5 bronz talaş atığı içeren beton numunesine ait; a) Mikroyapı, b) Renkli mikroyapı ve elementlerinin dağılımı: c) Ca, d) O, e) Si, f) C, g) Al, h) S, i) K, j) Mg, k) Fe, l) Na, m) Cu, n) Ni (1000X-SEM geri yansıyan görüntüsü)

**Çizelge 4.13.** Bronz ve lastik katkılı beton numunelerin H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile korozyonu sonrası EDX analizi

Elementler (%)	Malzeme			
	C+%5B		C+%2,5B+%2,5L	
	Korozyon Öncesi	Korozyon Sonrası	Korozyon Öncesi	Korozyon Sonrası
<b>C</b>	<b>2</b>	<b>6,86</b>	<b>7</b>	<b>33,75</b>
<b>O</b>	<b>6</b>	<b>34,04</b>	<b>8</b>	<b>28,18</b>
Na	2	0,33	1	0,18
Mg	2	0,94	2	0,60
Al	7	2,20	6	<b>1,80</b>
<b>Si</b>	<b>10</b>	<b>3,44</b>	<b>12</b>	<b>3,55</b>
S	4	0	4	0,00
K	3	0,36	2	0,30
<b>Ca</b>	<b>44</b>	<b>23,79</b>	<b>46</b>	<b>17,00</b>
Fe	4	1,83	3	2,18
Ni	2	1,46	1	<b>1,11</b>
<b>Cu</b>	<b>14</b>	<b>24,68</b>	<b>8</b>	<b>11,34</b>



**Şekil 4.26.**  $H_2SO_4$  çözeltisi içerisinde korozyon testi sonrası % 2,5 bronz talaş atığı ve % 2,5 lastik içeren beton numunesine ait; a) Mikroyapı, b) Renkli mikroyapı ve elementlerinin dağılımı: c) Ca, d) O, e) Si, f) C, g) Al, h) S, i) K, j) Mg, k) Fe, l) Na, m) Cu, n) Ni (1000X-SEM geri yansıyan görüntüsü)

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Deneysel çalışmalar sonucunda çıkan sonuçlara göre en iyi SBM ve yoğunluk değerlerine 3 dk öğütülmüş bronzun ağırlıkça %5 oranında kullanılmasıyla üretilen beton malzemesinde ulaşılmıştır ve bu betonun yoğunluk değeri ve SBM değeri de katkısız betondan ve ağırlıkça %5 tel içeren betondan daha yüksektir. Betona atık lastik girdisi ile yoğunluk değerleri azalmakta, açık gözenek miktarı artmakta ve dolayısı ile SBM değeri de azalmaktadır. Açık gözenek miktarı, lastik miktarının daha fazla olduğu beton için daha fazla artmış, açık gözenek ve yoğunluk değerleri ise daha fazla azalmıştır. Bu durumun, lastik ile beton ve bronz/tel arasında bir bağlanmanın gerçekleşmemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Donma çözülme testinden önce %5 bronz içeren beton malzemesine yapılan mikroyapı analizlerinde bronz taneleri ile beton matrisi arayüzünde güçlü bir bağlanma gerçekleştiği görülmüştür. Bu da katkısız beton numunesine yakın yoğunluk elde edildiğini doğrulamaktadır. Yoğunlukta belirgin bir azalma olmaması ve bronz malzemesinin sünek olması sebebi ile bir miktar SBM değerinin arttığı düşünülmektedir. % 2.5 bronz ve % 2.5 lastik atığı içeren beton ile % 5 bronz ve % 5 lastik atığı içeren beton malzemelere ait mikroyapı analizlerinde de lastik atığı girdisi ile yapıda beton matrisi, bronz ve lastik atığı arayüzlerinde güçlü bağlanmaların olmadığı, daha fazla gözenek ve çatlak oluştuğu görülmektedir. Bu durumlarda gözenek miktarının artarak mukavemetin azalmasını doğrulamaktadır.

% 5 tel içeren beton malzemesinin SEM görüntüsüne göre mikroyapıda mikroçatlaklar ve tel ve beton matrisi arayüzeyindeki daha düşük bağlanma görülmüştür bunun sonucu olarak da katkısız betona göre daha düşük SBM ölçülmüştür. % 2,5 tel+% 2,5 lastik atığı ve % 5 tel+% 5 lastik atığı içeren betonlarda atık lastiğin ilavesiyle tüm fazlar arasındaki arayüzlerde bağlanma zayıflamıştır. Ayrıca daha fazla gözeneklilik, mikro çatlaklar ve derin çatlaklar ortaya çıkmıştır. Bu yüzden beton numunelerin yoğunluğu ve SBM değerleri etkilenmiştir.

Donma-çözülme öncesi kırık yüzey incelemesinde katkısız beton numunesinde ve % 5 bronz içeren beton numunelerinde tane içi ve taneler arası kırılma tipleri gözlenirken lastik atığı girdisi ile üretilen malzemelerde tane içi kırılmanın baskın olduğu görülmüştür. Tel ile lastik ilavesi sonucu beton malzemesinde tane içi kırılma baskın şekilde görülmektedir. Mekanik özelliklerdeki azalma sebebi olarak taneler arası kırılma tipinden tane içi kırılma tipine olan bu geçişin de etkili olduğu düşünülmektedir.

Donma-çözülme testi sonrası, bronz katkılı beton malzemelerinde az miktarda ağırlıkta artış gözlenmiş, özellikle % 2,5 bronz ve % 2,5 lastik içeren betonda bu oran en yüksek seviyede olmuştur. Beton matriksin donma-çözülme sonucu etkilenecek hataların arttığı ve malzeme kaybının yaşandığı, özellikle Ca yüzdesinin azaldığı görülmektedir. Bronz katkılı betonda, Ca yüzdesinin azalması oksijen ve Cu yüzdesinin artmasına sebep olmaktadır. Renkli mikroyapı ve elementel dağılım incelendiğinde oksijen ile bronzun aynı bölgelerde olmadığı görülmektedir. Bronzlu malzemelerde yapı içerisine giren suyun donma-çözülme sonucu hacimsel değişimi ile yapıda ağırlık artışı olduğu düşünülmektedir. Lastik ve bronz içerikli beton numunesinde ise, Ca oranı azalırken Cu oranı yaklaşık aynı kalmış ancak oksijen yüzdesi çok artmıştır. Bu durumda özellikle lastik ile birlikte kullanıldığında renkli mikroyapı ve elementel dağılımda da oksijen dağılımının bronz tanelerinin olduğu bölgede olması sebebi ile bronz tanelerinin oksitlendiği, yeni faz oluşumunun gerçekleştiği ve sonucunda ağırlık artışında etkili olduğu düşünülmektedir. Cl iyonlarının hem beton matrisi, lastik atıkları ve hem de Cu elementinin olduğu bölgelerde görülmektedir. Lastik atıkları ile beton matrisinin bir miktar suyu absorbe ettiği ve bronz kanseri denilen korozyonun gerçekleştiği düşünülmektedir. Bu değişimlerin ağırlık artışında etkili oldukları düşünülmektedir.

Genel olarak, tel, bronz, lastik takviyeli beton malzemelerin donma-çözülme çevrim sayısı arttıkça mukavemet değerleri azalmıştır. Gözeneklilik ve çatlaklar gibi yapısal kusurların miktarlarının, donma-çözülme çevrimleri sayısı ile arttığını ve daha sonra SBM değerlerinin azaldığını düşünülmektedir. Benzer şekilde çevrimler sonunda mukavemet oranı değerleri azalmıştır ve beton malzemeler, donma-çözülme çevrim sayısı ile artık mukavemet değerlerini koruyamamıştır. Her ne kadar lastik atığı içeren betonun mukavemeti minimum düzeyde olsa da, atık lastikten üretilen betonun mukavemet oranlarındaki düşüşler, saf beton ve tel katkılı beton kadar keskin değildir. Lastik ilavesi ile betonun plastik enerji kapasitesinin artmaya başladığı, bu nedenle yeni oluşan stresleri minimize ettiği düşünülmektedir.

Donma-çözülme testinden önce katkı miktarı arttıkça transgranüler kırılma tipi daha baskın hale gelmiştir. Ancak donma-çözülme testinden sonra her iki kırık tipi de gözlenmiştir. Bununla birlikte, tel ve lastik atığı katkılı betonların mukavemet değerleri, saf betonunkinden daha düşük, mukavemet oranı ise daha yüksektir. Bu, bu betonlar için mukavemet değerlerindeki düşüşün saf beton kadar keskin olmadığı anlamına gelir.

Katkısız beton numunesinde ve % 5 bronz içeren beton numunelerinde tane içi ve taneler arası kırılma tipleri gözlenirken lastik atığı girdisi ile üretilen malzemelerde tane içi kırılmanın baskın olduğu görülmüştür. Mekanik özelliklerdeki azalma sebebi olarak taneler arası kırılma tipinden tane içi kırılma tipine olan bu geçişin de etkili olduğu düşünülmektedir.

Korozyon testi sonrası, % 5 bronz ve % 2,5 bronz ile % 2,5 lastik içeren beton numunesinin HCl çözeltisi içinde korozyonu sonucu EDX analizleri incelendiğinde Ca ve Si miktarının oldukça azaldığı, O miktarının arttığı görülmektedir. Benzer şekilde Cl iyonlarının hem beton matrisi hem de Cu elementinin olduğu bölgelerde görülmektedir. Beton matrisinin asitten etkilendiği, lastik bileşenlerinin ise asitten etkilenmediği düşünülmektedir. Mikroyapı ve elementel dağılımda da oksijen ile Cl ve bronz tanelerinin olduğu bölgede olması sebebi ile bronz tanelerinin oksitlendiği, yeni faz oluşumunun gerçekleştiği düşünülmüştür. Cu miktarının korozyon öncesi değerinden çok az bir azalma olması oksitlenmenin pasif oksitlenme (yüzeyde koruyucu oksit tabakası) olduğunu düşündürmektedir. Direnç değerlerinin fazla artmaması da bu durumu doğrulamaktadır. Ayrıca bu betonlarda bronz kanseri denilen korozyonun gerçekleştiği düşünülmektedir.

% 5 tel ve % 5 tel ile % 5 lastik içeren beton numunelerinde korozyon testi sonrasında ise, beton matrisin olduğu bölgelerde Cl iyonlarının olduğu bölgeler görülmektedir. Beton matris asitten etkilenmiştir. Tel donatılarının olduğu bölgelerde ise oksijen varlığı da görülmektedir ve tel donatılarının oksitlendiği düşünülmektedir. Bu sebeple direnç değerleri artmaktadır.

## 5.2 Öneriler

1. Korozyon cihazına uygun olacak şekilde daha büyük boyutta üretim yapılarak ölçümler daha hassas şekilde tekrarlanabilir.
2. Asit derişimleri ve korozyon süreleri değiştirilerek etkileri incelenebilir.
3. Karışım ve üretim aşamaları manuel olması yerine daha otomasyon sistemlerde yapılarak hata payları azaltılabilir.

## KAYNAKLAR

- Akgün, Ü., 2016, Atık lastik, çelik tel ve forta-ferro liflerin betonun mekanik özelliklerine etkisi, lisans bitirme tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya*, 75-76.
- Aköz, F. ve Özgür, Ç., 2013, Betonarme korozyonu, *Hazır Beton dergisi*, 70-71.
- Al-Aqeeli, N., 2015, Fabrication and Assessment of Crumb-Rubber-Modified Coatings with Anticorrosive Properties, *Materials 2015*, 8, 181-192.
- Benazzouk, A., Queneudec, M., 2002, Durability of cement–rubber composites under freeze thaw cycles, *Proceedings of the International Conference on Sustainable Concrete Construction, University of Dundee, Scotland, UK*, 356-362.
- Boğa, A.R, 2010, Yüksek Fırın Cürufu ve Korozyon İnhibitörü Kullanımının Beton İçerisindeki Donatı, Korozyonuna ve Beton Özelliklerine Etkileri, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- British Standard Testing of Engineering Ceramics, BS 7134 Section 1.2, 1989.
- Cabrera, J. G., 1996, Deterioration of Concrete Due to Reinforcement Steel Corrosion, *Cement & Concrete Composites 18*, 47-59.
- Caf, M., 2012 Polipropilen ve çelik lifli betonların darbe dayanımı, yüksek lisans tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum*, 58-62.
- Çil, İ., 2006, Betonarme donatısında elektriksel yöntemlerle korozyon ölçümü, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt: 8 Sayı: 1, 59-63.
- Dieter, L., 2007, Corrosion and surface Chemistry of Metals, *Engineering Sciences Materials*, EPFL Press, A Swiss academic publisher distributed by CRC Press.
- Fang, Congqi, Lundgrenb, Karin, Chena, Liuguo, Zhua, Chaoying, 2004, Corrosion influence on bond in reinforced concrete, *Cement and Concrete Research 34*, 2159–2167.
- Gadkar, S., 2013, Freeze-Thaw Durability Of Portland Cement Concrete Due To Addition Of Crumb Rubber Aggregates , *Clemson University, TigerPrints*.
- Garrick, G.M., 2005, Analysis And Testing Of Waste Tire Fiber Modified Concrete, *Louisiana State University, A Master Thesis Submitted to the Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College in partial fulfillment of the requirements for the degree of of Science in Mechanical Engineering in The Department of Mechanical Engineering*, 16-53.
- Gay, H., Meynet, T., Colombani, J., 2016, Local study of the corrosion kinetics of hardened Portland cement under acid attack, *Cement and Concrete Research 90*, 36-42.
- Goffer, Z., 2007, Archaeological Chemistry, *A John Wiley & Sons, Inc Publication*, p. 193-197.

- Guerrero, Ana María Aguirre, Rafael Andrés Robayo-Salazar, Ruby Mejía de Gutiérrez, 2017, A novel geopolymer application: Coatings to protect reinforced concrete against corrosion, *Applied Clay Science* 135, 437–446.
- Hamzaçebi, D., 2015, Atık çelik liflerin betonun mekanik özelliklerine etkisi, yüksek lisans tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 27-52.
- Kapkaç, F., 2007, Çimento Çeşitleri, Özellikleri, Hammaddeleri Ve Üretim Aşamaları, *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 223-232.
- Kart, Y. S., 2016, *İnovatif Kimya Dergisi*, 32, 30 <http://inovatifkimyadergisi.com/cimento-endustrisi> [Ziyaret tarihi: 31 Ocak].
- Keleştemur, O., 2009, Utilization of waste vehicle tires in concrete and its effect on the corrosion behavior of reinforcing steels, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, Volume 17, Number 3, June 2010, 363-370.
- Khalilitabas, A.A., Dehghanian, C., Aliofkhaeaei, M., 2011, Corrosion behavior of concrete modified with waste tire, *Anti-Corrosion Methods and Materials*, Vol.58 Iss: 2, 76-83.
- Macleod, I., 1981, Bronze Disease : An Electrochemical Explanation, *Government of Institute for the Conservation of Cultural Material (INC)*, Volume VII (1) pp 16-26.
- Postacıoğlu, B., 1986, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton, cilt 1, *Matbaa Teknisyenleri Basımevi*, İstanbul, 5-7.
- Ramyar, K., Portland Çimentosunun Kompozisyonu ve Hidratasyonu, *İMü İzmir Şubesi*, Şubat-2004 Yıl: 19 Sayı: 115, 24-25.
- Savas, B.Z., Ahmad, S., and Fedroff, D., 1996, Freeze-thaw durability of concrete with ground waste tire rubber, *Transportation Research Record No. 1574*, 80-88.
- Schweitzer, A. P., 2006, Fundamentals of Metallic Corrosion: Atmospheric and Media Corrosion of Metals, *Corrosion Engineering Handbook*, CRC Press.
- Vrsalović, L., Ivanić, I., Čudina, D., LOKAS, L., Kožuh, S., Gojić, M., 2017 The Influence of Chloride Ion Concentration on the Corrosion Behavior of the CuAlNi Alloy, *Tehnički Glasnik* 11, 3, 67-72.
- Yüzer, N., 2003, Betonarme yapılarda korozyon ölçüm yöntemleri ve hasar tespiti, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, sayı 426, 134-138.
- Anonim 1 [http://www.akcansa.com.tr/docs/20120216160047\\_teknik-notlar-3.pdf](http://www.akcansa.com.tr/docs/20120216160047_teknik-notlar-3.pdf) [Ziyaret Tarihi: 30 Ocak 2017].
- Anonim 2 <https://www.gninsa.com.tr/betondan-beklenen-ozellikler> [Ziyaret Tarihi: 31 Ocak 2017].
- Anonim 3 <https://slideplayer.biz.tr/slide/3635316/> [Ziyaret Tarihi: 12 Temmuz 2018].

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Nesibe Sevde ÖZBAY  
**Uyruğu** : T.C  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : KONYA - 19.08.1992  
**Telefon** : 05062782143  
**e-mail** : [nesibesevde@hotmail.com](mailto:nesibesevde@hotmail.com)

### EĞİTİM

Derece	Adı	İli	Bitirme Yılı
Lise	: Selçuklu Gazi Lisesi	KONYA	2006-2010
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi	KONYA	2010-2014
Yüksek Lisans	: Necmettin Erbakan Üniversitesi	KONYA	2015-

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
-----	-------	--------

### UZMANLIK ALANI

### YABANCI DİLLER

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

### YAYINLAR