



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**PETROL TÜREVİ ATIKLARIN EKLENMESİ İLE  
ÜRETİLEN YAPI MALZEMELERİNİN MİKROYAPISAL  
VE MİNERALOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**İnş.Yük.Müh. Cemil ÖZYAZGAN  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yapı Programı**


**Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Özlem SOLA**

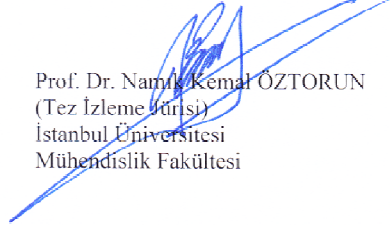
**Temmuz, 2011**

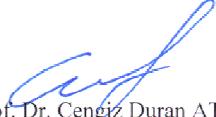
**İSTANBUL**

Bu çalışma 07/09/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı programında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

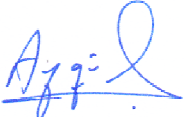
Tez Jürisi

  
Yrd. Doç. Dr. Özlem SOLA  
(Danışman)  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

  
Prof. Dr. Namık Kemal ÖZTORUN  
(Tez İzleme Jürisi)  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

  
Prof. Dr. Cengiz Duran ATIŞ  
(Tez İzleme Jürisi)  
Kayseri Abdullah Gül Üniversitesi  
Mühendislik Mimarlık Fakültesi

  
Prof. Dr. Mehmet Ali GÜRKAYNAK  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

  
Doç. Dr. Aygül YEPREM  
Yıldız Teknik Üniversitesi  
Kimya Metalurji Fakültesi

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliđinin T-7681 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

## ÖNSÖZ

Tezimin tüm safhasında verdiği destek ve olumlu motivasyonları için çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Özlem SOLA'ya şükranlarımı sunuyorum.

Bu çalışmada yardımlarını esirgemeyen, çalışma arkadaşlarıma, ve çalışmamın uygulama kısmını destekleyen İstanbul Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Lisans eğitimimden bu yana tercihlerimi destekleyen ve bana güven aşıl原因an canım annem Sevgi ÖZYAZGAN'a, kardeşlerim Dr. Ahmet ÖZYAZGAN ve Ayşe ÖZYAZGAN'a hayatıma kattıkları değerler için sonsuz teşekkürler ediyorum.

Tezimin ilk anından bitimine kadar tüm sıkıntılı süreci benimle birlikte yaşayan sevgili eşim Yüksek Kimyager Esin ÖZYAZGAN'a özel bir teşekkür borçluyum. İnişi ve çıkışı ile moral ve duygu dalgalanması yaşadığım bu uzun süreçte bana tahammül edip bir de ötesinde yönlendirici ve yüreklendirici oldun. İyi ki varsın.

Canımın içi, biricik kızım; doğumunla beraber bana güç ve azim aşıladın. O yüzden en büyük teşekkürüm, kızım Deniz ÖZYAZGAN içindir. Canım kızım, ileride bu satırları okuduğunda, hedeflerin için sevdiğin kimi şeylerden fedakarlık etmenin ve hedefine ulaşmak için çalışmanın ne kadar önemli olduğunu aklından çıkarmamanı istiyorum. Ne yaparsan en iyisini yapmak için uğraş ver, yeteneklerinin ve hakettiğinin azına razı olma.

Bu çalışma lisans eğitimimin ilk yılında ebediyete intikal eden sevgili babam İnşaat Mühendisi Nurettin ÖZYAZGAN'ın aziz hatırasına ithaf edilmiştir.

**Temmuz, 2011**

**Cemil ÖZYAZGAN**

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
TABLO LİSTESİ .....	xi
SEMBOL LİSTESİ .....	xii
ÖZET .....	xiii
SUMMARY .....	xiv
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. GENEL KISIMLAR.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. ATIKLAR.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.1. Atık Lastik .....</b>	<b>4</b>
2.1.1.1. <i>Atık Lastik Yönetim ve Geri Kazanımı .....</i>	5
2.1.1.2. <i>Atık Lastiklerin Fiziksel Özellikleri .....</i>	9
2.1.1.3. <i>Atık Lastiklerin Kimyasal Özellikleri.....</i>	9
2.1.1.4. <i>Atık Lastiklerin FTIR Özellikleri .....</i>	9
2.1.1.5. <i>Atık Lastiklerin DTA-TGA-DT Özellikleri .....</i>	9
2.1.1.6. <i>Atık Lastiklerin Mikroyapı Özellikleri .....</i>	10
2.1.1.7. <i>Atık Lastiklerin Mineralolojik Özellikleri .....</i>	10
<b>2.1.2. Kazınmış Asfalt.....</b>	<b>10</b>
2.1.2.1. <i>Kazınmış Asfaltın Fiziksel Özellikleri .....</i>	11
2.1.2.2. <i>Kazınmış Asfaltın Kimyasal Özellikleri .....</i>	11
2.1.2.3. <i>Kazınmış Asfaltın FTIR Özellikleri.....</i>	11
2.1.2.4. <i>Kazınmış Asfaltın DTA-TGA-DT Özellikleri.....</i>	11
2.1.2.5. <i>Kazınmış Asfaltın Mikroyapı Özellikleri.....</i>	11
2.1.2.6. <i>Kazınmış Asfaltın Mineralolojik Özellikleri.....</i>	11

<b>2.2. ÇİMENTO</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2.1. Çimentoların İnceliği</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2.2. Çimentoların Prizi</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2.3. Döner Fırın Reaksiyonları</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2.4. Çimento Çeşitleri</b> .....	<b>14</b>
2.2.4.1. <i>Portland Çimentoları</i> .....	14
2.2.4.2. <i>Doğal Çimentolar</i> .....	14
2.2.4.3. <i>Puzolanik Çimentolar</i> .....	14
2.2.4.4. <i>Yüksek Fırın Cürufu Çimentosu</i> .....	14
2.2.4.5. <i>Alüminli Çimentolar</i> .....	14
2.2.4.6. <i>Özel Çimentolar</i> .....	14
<b>2.2.5. Çimento Standartları</b> .....	<b>15</b>
<b>2.3. ÇİMENTO HARÇLARINDA DAYANIM VE DAYANIKLILIK</b> .....	<b>15</b>
<b>2.3.1. Basınç Dayanımı</b> .....	<b>15</b>
<b>2.3.2. Eğilme Dayanımı</b> .....	<b>16</b>
<b>2.3.3. Dayanıklılık</b> .....	<b>18</b>
2.3.3.1. <i>MgSO<sub>4</sub> Çözeltisi Yöntemi ile Donma-Çözölmeye Dayanıklılık</i> .....	23
2.3.3.2. <i>Islanma-Kuruma Etkisine Dayanıklılık</i> .....	24
<b>2.3.4. Dayanım ve Dayanıklılık ile Eleastisite ve Tokluk ilişkisi</b> .....	<b>26</b>
<b>2.4. ÇİMENTO HARÇLARINDA MİKROYAPI ÖZELLİKLERİ</b> .....	<b>31</b>
<b>2.5. ÇİMENTO HARÇLARINDA MİNERALOLOJİK ÖZELLİKLER</b> .....	<b>31</b>
<b>2.6. ÇİMENTO HARÇLARINDA DTA-TGA-TG ÖZELLİKLERİ</b> .....	<b>32</b>
<b>2.7. ÇİMENTO HARÇLARINDA FTIR ÖZELLİKLERİ</b> .....	<b>32</b>
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM</b> .....	<b>34</b>
<b>3.1. KULLANILAN MALZEMELER</b> .....	<b>34</b>
3.1.1. <i>Portland Çimentosu</i> .....	34
3.1.2. <i>Atık Lastik</i> .....	34
3.1.3. <i>Kazınmış Asfalt</i> .....	35
3.1.4. <i>Kum</i> .....	35
<b>3.2. KARIŞIM ORANLARI VE ÇİMENTO HARÇ ÜRETİMİ</b> .....	<b>36</b>
3.2.1. <i>Kullanılan Karışım Oranları</i> .....	36
3.2.2. <i>Çimento Harç Üretimi</i> .....	37

<b>3.3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>38</b>
<b>3.3.1. Fiziksel Deneyler.....</b>	<b>39</b>
3.3.1.1. Yoğunluk.....	39
3.3.1.2. İncelik (Blaine) .....	39
3.3.1.3. Priz Süresi Tayini (Vicat) .....	40
3.3.1.4. Lazer Granülometrisi ile Tane Boyut Dağılımı.....	40
<b>3.3.2. Dayanım ve Dayanıklılık Deneyleri .....</b>	<b>41</b>
3.3.2.1. Basınç Dayanımı Deney Serileri .....	41
3.3.2.2. Eğilme Dayanımı Deney Serileri .....	42
3.3.2.3. Dayanıklılık Deney Serilerinde Donma-Çözülme .....	42
3.3.2.4. Dayanıklılık Deney Serilerinde Islanma-Kuruma .....	42
3.3.2.5. Dayanıklılık Deney Serilerinde Ağırlık Değişimi .....	43
3.3.2.6. Dayanıklılık Deney Serilerinde Boy Değişimi.....	43
3.3.2.7. Dayanıklılık Deney Serilerinde Kılcallık .....	43
3.3.2.8. Dayanım ve Dayanıklılık Deneylerinde Elastisite Modülü ve Tokluk .....	43
<b>3.3.3. SEM-EDS Cihazı ile Mikroyapısal Analiz.....</b>	<b>44</b>
<b>3.3.4. XRD Cihazı ile Mineralolojik Analiz.....</b>	<b>45</b>
<b>3.3.5. DTA-TG Cihazı ile Kütle Kaybı Analizi.....</b>	<b>45</b>
<b>3.3.6. FTIR Cihazı ile Bağ Yapısı Analizi.....</b>	<b>46</b>
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>47</b>
<b>4.1. FİZİKSEL DENEY SONUÇLARI .....</b>	<b>47</b>
4.1.1. Yoğunluk.....	47
4.1.2. İncelik (Blaine).....	47
4.1.3. Priz Süresi Tayini (Vicat).....	47
4.1.4. Lazer Granülometrisi ile Tane Boyut Dağılımı .....	48
<b>4.2. DAYANIM VE DAYANIKLILIK DENEY SONUÇLARI .....</b>	<b>50</b>
4.2.1. Basınç ve Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları.....	50
4.2.2. Dayanıklılık Deney Sonuçları.....	52
4.2.2.1. Donma-çözülme ve Islanma-kuruma Deney Sonuçları.....	52
4.2.2.2. Ağırlık Değişimi Deney Sonuçları .....	55
4.2.2.3. Boy Değişimi Deneyi Sonuçları.....	59

<b>4.2.3. Kılcallık Deneyi Sonuçları.....</b>	<b>59</b>
<b>4.2.4. Elastisite ve Tokluk Sonuçları.....</b>	<b>74</b>
4.2.4.1. <i>Elastisite Analizi</i> .....	74
4.2.4.2. <i>Tokluk Analizi</i> .....	80
<b>4.3. SEM-EDS CİHAZI İLE MİKROYAPISAL ANALİZ SONUÇLARI .....</b>	<b>84</b>
<b>4.3.1. Kullanılan Ham Malzemelere ait SEM-EDS Analiz Sonuçları.....</b>	<b>85</b>
<b>4.3.2. 28 Günlük Harç Numunelerine ait SEM-EDS Analiz Sonuçları .....</b>	<b>88</b>
4.3.2.1. <i>Atık Lastik Katkılı Numuneler</i> .....	88
4.3.2.2. <i>Kazınmış Asfalt Katkılı Numuneler</i> .....	89
4.3.2.3. <i>Karma Numuneler</i> .....	89
<b>4.3.3. 56 Günlük Harç Numunelerine ait SEM-EDS Analiz Sonuçları .....</b>	<b>89</b>
4.3.3.1. <i>Atık Lastik Katkılı Numuneler</i> .....	89
4.3.3.2. <i>Kazınmış Asfalt Katkılı Numuneler</i> .....	90
4.3.3.3. <i>Karma Numuneler</i> .....	90
<b>4.3.4. 98 Günlük X Serisi (Suda Kür) 'ne ait SEM-EDS Analiz Sonuçları ....</b>	<b>90</b>
4.3.4.1. <i>Atık Lastik Katkılı Numuneler</i> .....	90
4.3.4.2. <i>Kazınmış Asfalt Katkılı Numuneler</i> .....	90
4.3.4.3. <i>Karma Numuneler</i> .....	90
<b>4.3.5. 98 Günlük Y Serisi (Donma-Çözülme)'ne ait SEM-EDS Analizi .....</b>	<b>91</b>
4.3.5.1. <i>Atık Lastik Katkılı Numuneler</i> .....	91
4.3.5.2. <i>Kazınmış Asfalt Katkılı Numuneler</i> .....	91
4.3.5.3. <i>Karma Numuneler</i> .....	91
<b>4.3.6. 98 Günlük Z Serisi (Islanma-Kuruma)'ne ait SEM-EDS Analizi .....</b>	<b>91</b>
4.3.6.1. <i>Atık Lastik Katkılı Numuneler</i> .....	91
4.3.6.2. <i>Kazınmış Asfalt Katkılı Numuneler</i> .....	92
4.3.6.3. <i>Karma Numuneler</i> .....	92
<b>4.4. XRD CİHAZI İLE MİNERALOLOJİK ANALİZ SONUÇLARI .....</b>	<b>110</b>
<b>4.4.1. Kullanılan Ham Malzemelere ait XRD Analiz Sonuçları .....</b>	<b>110</b>
<b>4.4.2. Atık Lastik Katkılı Numunelere ait XRD Analiz Sonuçları.....</b>	<b>111</b>
<b>4.4.3. Kazınmış Asfalt Katkılı Numunelere ait XRD Analiz Sonuçları.....</b>	<b>114</b>
<b>4.4.4. Karma Numunelere ait XRD Analiz Sonuçları.....</b>	<b>117</b>



<b>4.5. DTA-TG CİHAZI İLE KÜTLE KAYBI ANALİZİ SONUÇLARI.....</b>	<b>118</b>
4.5.1. Kullanılan Ham Malzemelere ait DTA-TG Analiz Sonuçları.....	118
4.5.2. Bütün Kür Sürelerine ait DTA-TG Analiz Sonuçları .....	119
<b>4.6. FTIR CİHAZI İLE BAĞ YAPISI ANALİZİ SONUÇLARI.....</b>	<b>123</b>
4.6.1. Kullanılan Ham Malzemelere ait DTA-TG Analiz Sonuçları.....	125
4.6.2. Bütün Kür Sürelerine ait DTA-TG Analiz Sonuçları .....	125
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>128</b>
5.1. Fiziksel ve Tane Boyut Dağılımı Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi...	128
5.2. Mekanik Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	129
5.3. Mikroyapı Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	132
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>134</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>139</b>
EK-1. Deney Sonuç Tabloları .....	139
EK-2. SEM Görüntüleri.....	148
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>191</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	: Tokluk indeksi değerlendirilmesi.....	29
Şekil 2.2	: Basınç altında enerji yutma kapasitesi .....	30
Şekil 3.1	: XRF Cihazı .....	35
Şekil 3.2	: Deney Programı .....	38
Şekil 3.3	: Elektronik Pıknometre cihazı .....	39
Şekil 3.4	: Otomatik Blaine cihazı.....	40
Şekil 3.5	: Lazer granülometrisi cihazı .....	41
Şekil 3.6	: Basınç dayanım cihazı.....	41
Şekil 3.7	: Eğilme dayanım cihazı .....	42
Şekil 3.8	: SEM-EDS Cihazı .....	44
Şekil 3.9	: XRD Analizi Cihazı .....	45
Şekil 3.10	: DTA-TG Analizi Cihazı.....	46
Şekil 3.11	: FTIR Analizi Cihazı.....	46
Şekil 4.1	: Kazınmış asfalt katkılı numunelerin tane boyut dağılımı .....	49
Şekil 4.2	: Atık lastik katkılı numunelerin tane boyut dağılımı .....	49
Şekil 4.3	: Karma atık içeren numunelerin tane boyut dağılımı.....	49
Şekil 4.4	: Atık Lastik katkılı numunelerin basınç dayanım grafiği .....	50
Şekil 4.5	: Kazınmış asfalt katkılı numunelerin basınç dayanım grafiği.....	51
Şekil 4.6	: Karma atık içeren numunelerin basınç dayanım grafiği.....	52
Şekil 4.7	: Atık lastik katkılı numunelerin dayanıklılık deneyleri sonrası basınç ve eğilme dayanım grafiği .....	53
Şekil 4.8	: Kazınmış asfalt katkılı numunelerin dayanıklılık deneyleri sonrası basınç ve eğilme dayanım grafiği.....	54
Şekil 4.9	: Atık lastik ve kazınmış asfalt katkılı karma numunelerin dayanıklılık deneyleri sonrası basınç ve eğilme dayanım grafiği .....	55
Şekil 4.10	: Y Serisi atık lastik katkılı numunelerin dayanıklılık deneyi kapsamında ağırlık değişimi deney sonuçları.....	56
Şekil 4.11	: Y Serisi kazınmış asfalt katkılı numunelerin dayanıklılık deneyi kapsamında ağırlık değişimi deney sonuçları .....	57
Şekil 4.12	: Y Serisi karma atık içeren numunelerin dayanıklılık deneyi kapsamında ağırlık değişimi deney sonuçları.....	57
Şekil 4.13	: Z Serisi atık lastik katkılı numunelerin dayanıklılık deneyi kapsamında ağırlık değişimi deney sonuçları.....	58
Şekil 4.14	: Z Serisi kazınmış asfalt katkılı numunelerin dayanıklılık deneyi kapsamında ağırlık değişimi deney sonuçları .....	58
Şekil 4.15	: Z Serisi karma atık içeren numunelerin dayanıklılık deneyi kapsamında ağırlık değişimi deney sonuçları.....	59
Şekil 4.16	: 28 günlük atık lastik katkılı numuneler kılcallık deney sonuçları.....	60
Şekil 4.17	: 56 günlük atık lastik katkılı numuneler kılcallık deney sonuçları.....	61
Şekil 4.18	: X Serisi atık lastik katkılı numuneler kılcallık deney sonuçları.....	62

<b>Şekil 4.19</b>	:Y Serisi atık lastik katkıli numuneler kılcallık deney sonuçları.....63
<b>Şekil 4.20</b>	:Z Serisi atık lastik katkıli numuneler kılcallık deney sonuçları .....64
<b>Şekil 4.21</b>	:28 günlük kazınmış asfalt katkıli numuneler kılcallık deney sonuçları.65
<b>Şekil 4.22</b>	:56 günlük kazınmış asfalt katkıli numuneler kılcallık deney sonuçları.66
<b>Şekil 4.23</b>	:X Serisi kazınmış asfalt katkıli numuneler kılcallık deney sonuçları....67
<b>Şekil 4.24</b>	:Y Serisi kazınmış asfalt katkıli numuneler kılcallık deney sonuçları....68
<b>Şekil 4.25</b>	:Z Serisi kazınmış asfalt katkıli numuneler kılcallık deney sonuçları ....69
<b>Şekil 4.26</b>	:28 gün kür sureli karma numuneler kılcallık deney sonuçları .....70
<b>Şekil 4.27</b>	:56 gün kür sureli karma numuneler kılcallık deney sonuçları .....71
<b>Şekil 4.28</b>	:X Serisi karma numuneler kılcallık deney sonuçları.....71
<b>Şekil 4.29</b>	:Y Serisi karma numuneler kılcallık deney sonuçları.....72
<b>Şekil 4.30</b>	:Z Serisi karma numuneler kılcallık deney sonuçları .....73
<b>Şekil 4.31</b>	:Atık lastikli numuneler tüm kür sürelerindeki elastisite mod.değişimi.74
<b>Şekil 4.32</b>	:Kazınmış asfalt num.ler tüm kür sürelerindeki elastisite mod.değişimi75
<b>Şekil 4.33</b>	:Karma numunelerin tüm kür sürelerindeki elastisite modülü değişimi.76
<b>Şekil 4.34</b>	:Atık lastikli numuneler dayanıklılık serisi elastisite modülü değişimi..77
<b>Şekil 4.35</b>	:Kazınmış asfalt num.ler dayanıklılık serisi elastisite modülü değişimi.78
<b>Şekil 4.36</b>	:Karma numuneler dayanıklılık serisi elastisite modülü değişimi.....79
<b>Şekil 4.37</b>	:Atık lastik katkıli numuneler yutulan bağıl enerji (Tokluk) değerleri...80
<b>Şekil 4.38</b>	:Kazınmış asfalt katkıli num. yutulan bağıl enerji (Tokluk) değerleri....81
<b>Şekil 4.39</b>	:Karma numuneler yutulan bağıl enerji (Tokluk) değerleri .....82
<b>Şekil 4.40</b>	:Atık lastik katkıli numuneler dayanıklılık serisi tokluk değerleri .....82
<b>Şekil 4.41</b>	:Kazınmış asfalt katkıli num. dayanıklılık serisi tokluk değerleri.....83
<b>Şekil 4.42</b>	:Karma numuneler dayanıklılık serisi tokluk değerleri.....84
<b>Şekil 4.43</b>	:Çimento numunesi SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi .....86
<b>Şekil 4.44</b>	:Atık lastik SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel Analizi.....87
<b>Şekil 4.45</b>	:Kazınmış asfalt SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve elementel analizi .....88
<b>Şekil 4.46</b>	:28 günlük 5 numaralı %5 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi.....92
<b>Şekil 4.47</b>	:28 günlük 12 numaralı %10 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi.....93
<b>Şekil 4.48</b>	:28 günlük 19 numaralı %15 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi.....93
<b>Şekil 4.49</b>	:28 günlük 8 numaralı %5 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi.....94
<b>Şekil 4.50</b>	:28 günlük 15 numaralı %10 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi.....94
<b>Şekil 4.51</b>	:28 günlük 22 numaralı %15 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi.....95
<b>Şekil 4.52</b>	:28 günlük 23 numaralı %20 oranında D + %10 Oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi .....95
<b>Şekil 4.53</b>	:56 günlük 5 numaralı %5 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi.....96

<b>Şekil 4.54</b>	:56 günlük 12 numaralı %10 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi.....96
<b>Şekil 4.55</b>	:56 günlük 19 numaralı %15 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi.....97
<b>Şekil 4.56</b>	:56 günlük 8 numaralı %5 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi.....97
<b>Şekil 4.57</b>	:56 günlük 15 numaralı %10 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi.....98
<b>Şekil 4.58</b>	:56 günlük 22 numaralı %15 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi.....98
<b>Şekil 4.59</b>	:56 günlük 23 numaralı %20 oranında D + %10 Oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi .....99
<b>Şekil 4.60</b>	:X Serisi 5 numaralı %5 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi.....99
<b>Şekil 4.61</b>	:X Serisi 12 numaralı %10 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spekt. ve elementel analiz..... 100
<b>Şekil 4.62</b>	:X Serisi 19 numaralı %15 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi..... 100
<b>Şekil 4.63</b>	:X Serisi 8 numaralı %5 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi..... 101
<b>Şekil 4.64</b>	:X Serisi 15 numaralı %10 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi..... 101
<b>Şekil 4.65</b>	:X Serisi 22 numaralı %15 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi..... 102
<b>Şekil 4.66</b>	:X Serisi 23 numaralı %20 oranında D + %10 Oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi ..... 102
<b>Şekil 4.67</b>	:Y Serisi 5 numaralı %5 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi..... 103
<b>Şekil 4.68</b>	:Y Serisi 12 numaralı %10 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi..... 103
<b>Şekil 4.69</b>	:Y Serisi 19 numaralı %15 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi..... 104
<b>Şekil 4.70</b>	:Y Serisi 8 numaralı %5 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi..... 104
<b>Şekil 4.71</b>	:Y Serisi 15 numaralı %10 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi..... 105
<b>Şekil 4.72</b>	:Y Serisi 22 numaralı %15 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi..... 105
<b>Şekil 4.73</b>	:Y Serisi 23 numaralı %20 oranında D + %10 Oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi ..... 106
<b>Şekil 4.74</b>	:Z Serisi 5 numaralı %5 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi..... 106
<b>Şekil 4.75</b>	:Z Serisi 12 numaralı %10 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi..... 107

<b>Şekil 4.76</b>	:Z Serisi 19 numaralı %15 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi.....	107
<b>Şekil 4.77</b>	:Z Serisi 8 numaralı %5 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi.....	108
<b>Şekil 4.78</b>	:Z Serisi 15 numaralı %10 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi.....	108
<b>Şekil 4.79</b>	:Z Serisi 22 numaralı %15 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi.....	109
<b>Şekil 4.80</b>	:Z Serisi 23 numaralı %20 oranında D + %10 Oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi.....	109
<b>Şekil 4.81</b>	:1 numaralı referans numuneye ait 28-56 günlük ve X-Y-Z Serisi XRD Analizleri.....	110
<b>Şekil 4.82</b>	:#5 numuneye ait 28-56 günlük ve X-Y-Z Serisi XRD Analizleri.....	111
<b>Şekil 4.83</b>	:#12 numuneye ait 28-56 günlük ve X-Y-Z Serisi XRD Analizleri.....	111
<b>Şekil 4.84</b>	:#19 numuneye ait 28-56 günlük ve X-Y-Z Serisi XRD Analizleri.....	112
<b>Şekil 4.85</b>	:#8 numuneye ait 28-56 günlük ve X-Y-Z Serisi XRD Analizleri.....	112
<b>Şekil 4.86</b>	:#15 numuneye ait 28-56 günlük ve X-Y-Z Serisi XRD Analizleri.....	113
<b>Şekil 4.87</b>	:#22 numuneye ait 28-56 günlük ve X-Y-Z Serisi XRD Analizleri.....	113
<b>Şekil 4.88</b>	:#23 numuneye ait 28-56 günlük ve X-Y-Z Serisi XRD Analizleri.....	114
<b>Şekil 4.89</b>	:Ham numunelere ait DTA-TG Analizleri.....	115
<b>Şekil 4.90</b>	:28 günlük numunelere ait DTA-TG Analizleri.....	117
<b>Şekil 4.91</b>	:56 günlük numunelere ait DTA-TG Analizleri.....	118
<b>Şekil 4.92</b>	:98 günlük X Serisi numunelere ait DTA-TG Analizleri.....	118
<b>Şekil 4.93</b>	:98 günlük Y Serisi numunelere ait DTA-TG Analizleri.....	119
<b>Şekil 4.94</b>	:98 günlük Z Serisi numunelere ait DTA-TG Analizleri.....	119
<b>Şekil 4.95</b>	:Ham numunelere ait FTIR Analizleri.....	122
<b>Şekil 4.96</b>	:28 günlük numunelere ait FTIR Analizleri.....	122
<b>Şekil 4.97</b>	:56 günlük numunelere ait FTIR Analizleri.....	123
<b>Şekil 4.98</b>	:98 günlük X Serisi numunelere ait FTIR Analizleri.....	123
<b>Şekil 4.99</b>	:98 günlük Y Serisi numunelere ait FTIR Analizleri.....	124
<b>Şekil 4.100</b>	:98 günlük Z Serisi numunelere ait FTIR Analizleri.....	124

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 2.1</b>	:İhraç edilen ve kaplanan lastik harici atık lastiklerin değerlendirme yöntemleri .....	8
<b>Tablo 2.2</b>	:Lastik ve yakıtların ısı değeri ve emisyon miktarları .....	8
<b>Tablo 2.3</b>	:Atık lastik yoğunluğu değerleri .....	9
<b>Tablo 2.4</b>	:Atık lastik kimyasal analizi .....	9
<b>Tablo 3.1</b>	:Kullanılan atıkların kimyasal analizleri .....	35
<b>Tablo 3.2</b>	:Atık lastik ve kazınmış asfalt boyutları.....	36
<b>Tablo 3.3</b>	:Çimento numunelerinin karışım oranları .....	36
<b>Tablo 3.4</b>	:Kullanılan katkı çimentoların kimyasal analizleri .....	37
<b>Tablo 4.1</b>	:Çimento Hamurlarının Fiziksel Özellikleri.....	48

## SEMBOL LİSTESİ

<b>C</b>	CaO	
<b>S</b>	SiO <sub>2</sub>	
<b>A</b>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
<b>F</b>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
<b>CS</b>	Ca SiO <sub>3</sub>	Wollastonit
<b>C<sub>3</sub>S</b>	3CaO . SiO <sub>2</sub>	Trikalsiyumsilikat
<b>C<sub>2</sub>S</b>	2CaO . SiO <sub>2</sub>	Dikalsiyum silikat
<b>C<sub>2</sub>AS</b>	2CaO . Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . SiO <sub>2</sub>	Gehlenit
<b>C<sub>3</sub>A</b>	3CaO . Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Trikalsiyum alüminat
<b>C<sub>4</sub>AF</b>	4CaO . Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tetrakalsiyum alüminoferrit
<b>CH</b>	CaO . H <sub>2</sub> O veya Ca(OH) <sub>2</sub>	Porlandit-Kalsiyum hidroksit
<b>CSH</b>	CaO-SiO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O (C <sub>3</sub> S <sub>2</sub> H <sub>3</sub> )	Kalsiyum silikat hidrat
<b>C<sub>2</sub>ASH<sub>8</sub></b>	2CaO . Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . SiO <sub>2</sub> . 8H <sub>2</sub> O	
<b>C<sub>3</sub>AH<sub>8</sub></b>	3CaO . Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . 8H <sub>2</sub> O	
<b>C<sub>6</sub>AS 3H<sub>32</sub></b>	6CaO . Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . 3SO <sub>3</sub> . 32H <sub>2</sub> O	Etrenjit
<b>NH</b>	NaOH	Sodyum hidroksit
<b>NS</b>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sodyum sülfat
<b>MS</b>	MgSO <sub>4</sub>	Magnezyum sülfat
<b>CSH<sub>2</sub></b>	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	Alçıtaşı
<b>MH</b>	(Mg(OH) <sub>2</sub>	Brusit-Magnezyum hidroksit
<b>M-S-H</b>	MgO.SiO <sub>2</sub> .H <sub>2</sub> O	Magnezyum silika hidrat
<b>C<sub>3</sub>.S.SC. H<sub>15</sub></b>	3CaO.SiO <sub>2</sub> .SO <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> .15H <sub>2</sub> O	Tomasit
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>		Hematite
<b>3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub></b>		Mullit
<b>NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub></b>		Albit
<b>CaCO<sub>3</sub></b>		Kalsit
<b>NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub></b>		Feldspat

## ÖZET

### PETROL TÜREVİ ATIKLARIN EKLENMESİ İLE ÜRETİLEN YAPI MALZEMELERİNİN MİKROYAPISAL VE MİNERALOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Tüm dünyada ve ülkemizde de doğal kaynaklar hızla tükenmekte ve çevre sorunları artarak çok ciddi boyutlara ulaşmaktadır. Bu sebeple, inşaat sektöründeki bilim insanları alternatif, doğayla uyumlu inşaat malzemeleri üretimine yönelmişlerdir. Bu bilinçle, yapılan bu tez çalışmasında, doğaya salıverilmiş durumda bulunan petrol türevi endüstriyel atık malzemeler kullanılarak yapı malzemeleri üretilmiştir.

Kullanılan endüstriyel atık malzemeler, dört farklı boyuttaki atık lastik ve üç farklı boyuttaki kazınmış asfalttır. Bu atıklar kullanılarak; deneysel çalışma kapsamında 4x4x16cm ölçülerindeki prizmatik harç kalıpları ile katkılı çimento harcı numuneleri üretilmiştir. Üretilen bu numunelerin dayanım ve dayanıklılık deneyleri yapılmıştır. Basınç dayanım deneyleri için harçlara 2, 7, 28, 56 ve 98 günlük kür süreleri uygulanmıştır. Dayanıklılık deneyleri için ıslanma-kuruma ve donma-çözülme deneyleri yapılmıştır.

Geleneksel deneylerin yanında, numunelere yeni teknoloji ürünü olan ileri analizler de kapsamlı olarak uygulanmıştır. Kullanılan malzeme ve harç numunelerinin tane boyut dağılımları, kimyasal özellikleri, XRD (X-Ray Diffraction) ile mineralojik özellikleri ve SEM (Scanning Electron Microscopy) ile mikro yapı özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca bu cihaz analizlerine ek olarak numunelerin sıcaklık karşısındaki davranışlarını ve kütle kayıplarını ölçmek için DTA-TG (Differential Thermal Analysis and Thermal Gravimetry Analysis) kullanılmıştır. FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) analizleri ise numunelerde oluşan bileşiklerin bağ yapılarının aydınlatılması için uygulanmıştır. Sonuç olarak bütün deney ve analizler sonucunda kullanılan katkıların katkılı çimento harcı özelliklerini nasıl etkilediği birbirleri ile ilişkilendirilerek detaylı bir biçimde sunulmuştur.



## **SUMMARY**

### **INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURAL AND MINERALOGICAL FEATURES OF BUILDING MATERIALS PRODUCED BY ADDING PETROLEUM WASTES**

Natural resources are scarce and environmental problems are increasing to an alarming level in the whole World. Therefore, scientists in civil engineering area are intended to produce alternative building materials, compatible with nature. With this awareness, in this thesis, construction materials were produced by using oil derivatives industrial wastes abandoned in nature.

The used waste materials were waste tires in four different particle sizes, and three different sizes of scraped asphalt. In the experimental study, by using 4x4x16cm sized prismatic mortar mold, blended cement mortar samples were produced. Strength and durability tests of produced mortars were performed. The strength tests were applied to the mortars on 2, 7, 28, 56 and 98 days in curing periods. Wetting-drying and freeze-thaw durability tests were carried out.

In addition to these traditional methods, advanced analyses were applied to the materials and samples in details. With using of Mastersizer-X device, particle size distribution, chemical properties and mineralogical properties of XRD and SEM analysis of microstructure properties of the materials were determined. Beside of these techniques, DTA-TG (Differential Thermal Analysis and Thermal Gravimetry Analysis) were used to measure mass loss of the samples. FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) was also used to determine bond type of components. Consequently, effects of wastes on cement mortar properties was presented and discussed in details.

## 1. GİRİŞ

Endüstriyel atıkların inşaat sektöründe değerlendirilmesi, doğal kaynakların azalması ve çevre bilincinin yükselmesi ile birlikte, güncel ve yaygın bir çalışma konusudur. Endüstriyel atık olarak çimento sektöründe değerlendirilen çok sayıda atık mevcuttur. Bu çalışmada petrol türevi atıkların çimento harcı üretiminde kullanılması konusu araştırılmıştır.

Sürdürülebilir atık yönetimi ve yaşanabilir çevre için katkıda bulunmak bu tez çalışmasının ana hedeflerinden biridir. Bu katkıların yanında atık kullanımı ile daha düşük maliyetli yapı malzemesi oluşturabilmek ve bu sayede ülke ekonomisine sağlanacak fayda ile atık malzemedен yararlanma bilinci ulaşılmak istenen sonuçlardır.

Kullanılan petrol türevi atıklar, atık lastik ve kazınmış asfalt olarak seçilmiştir. Atık lastiklerin bertarafı her geçen gün daha da önemli bir konu haline gelmektedir. Depolama alanlarının azalması ve depolama alanlarının neden olduğu biyolojik olumsuzluklara karşı duyarlılığın artması, kontrolsüz yakılmasının önündeki çevre bilinci ve kontrollerin kurallara bağlanmış olması, atık lastiklerin değerlendirilmek üzere yeni yollar bulunmasını gerektirmiştir. Atık lastiklerin inşaat mühendisliğinde beton bünyesinde kullanılmasının, basınç dayanımındaki düşüşe rağmen daha düşük birim ağırlığa sahip olması, elastik özelliklerin iyileşmesi, çevresel etkilere daha fazla dayanıklılık göstermesi nedeniyle tercih edilebileceği çeşitli araştırmaların sonucudur. Kazınmış asfaltın endüstriyel atık olarak değerlendirilmesi ve beton harcı içerisinde kullanımı konusunda literatürde çalışmaya rastlanılmamıştır. Bunda kazınmış asfaltın belirli oranda yeniden asfalt üretiminde kullanılması rol oynamaktadır. Kazınmış asfaltın seçilmesinin nedeni çalışma başlığında yer alan petrol türevi atıklara ikinci bir kıyas numunesi sunmaktır.

Bu çalışmada atık lastiğin kırılarak, 4 farklı elek üstü boyutu ve kazınmış asfaltın öğütüldükten sonra 3 farklı elek üstü boyutunun, beton harcı içerisinde %5, %10 ve

%15 oranlarında çimento yerine ikame edilmesi ile 4x4x16 cm boyutlu beton harcı numuneleri elde edilmiştir. Elde edilen numuneler üzerinde standart olarak yapılan fiziksel, kimyasal, mekanik özelliklerine ait deneylerin dışında çalışmanın özgünlüğü olan mineralojik, mikroyapı, bağ yapı özellikleri ve sıcaklık karşısındaki davranışları günümüz teknolojisi olan cihazlarla oldukça kapsamlı bir biçimde incelenmiş ve yapılan çalışmalar arasındaki korelasyonlar ortaya konulmuştur.

Çalışmanın 2. Bölümünde genel bilgiler verilmiş, konu hakkındaki literatür bilgileri ve çalışmalar derlenmiştir. 3. Bölümde literatür ve çalışmalar sonucu karar verilen çalışma yöntemi ve malzemeler hakkında açıklayıcı bilgiler verilmiştir. 4. Bölümde yapılan çalışmanın sonucu olan bulgular ortaya konulmuştur. 5. Bölümde ise elde edilen bulgular ve literatür bir arada değerlendirilerek çalışma ve sonuçlarına ait tartışma gerçekleştirilmiştir.

Endüstriyel atık olarak petrol türevi atıkların beton içerisinde kullanımının mümkün olduğu yapılan bu çalışma ile ortaya konulmuştur. Bu atıkların kullanımı ile doğal kaynakların daha az tüketilmesi, atıkların değerlendirilebilmesi, çimento enerji maliyetlerinin azaltılması ve daha temiz bir çevre oluşturulabilmesine katkıda bulunabileceği ortaya konulmuştur. Bu genel hedeflerin yanında; bu atıkların kullanımı ile sülfat etkisine dayanıklı katkı çimento harçlarının üretilebileceği ortaya konulmuştur. Gelişen teknoloji ve teknolojinin araştırmacılara sağladığı ileri araştırma tekniklerinin inşaat mühendisliğinin temel taşlarından biri olan beton harcındaki değişkenlikleri açıklamada ne kadar önemli ve gerekli olduğu ortaya konulmuştur.

## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1. ATIKLAR

Atık tanımı değişkenlik göstermekle beraber genel olarak ekonomik ömrünü tamamlamış her türlü materyal olarak tanımlamak mümkündür. Halen dünyada atık yönetiminin hiçbir ülkede %100 seviyesinde çözüldüğü söylenemez. Bu sebeptendir ki bu konu üzerinde çalışma ve araştırmalar devam etmektedir. Tez çalışmasında petrol türevi atık olarak atık lastiğın kırılmış ve 4 farklı tane boyutuna sahip elek üzeri numuneleri ile kazınmış asfaltın 3 farklı tane boyutuna sahip elek üzeri numuneleri kullanılmıştır. Atıklar, Gönüllü (2004) çalışmasında, aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır:

- Katı atıklar: Servis ömrünü tamamlayan ve yaşanılan ortamdaki uzaklaştırılması gereken her türlü katı malzemeye verilen ortak isimdir.
- Ambalaj atıkları: Kullanılmış ürünlerden geriye kalan boş ambalajlar kağıt, cam, metal, plastik vs. bu gruba dahildir.
- Tehlikeli atıklar: Tehlikeli atıklar; çevre ve insan için tehlike arz eden yanıcı, yakıcı, kanserojen, patlayıcı, tahriş edici ve zehirli atıkların tümüne verilen genel bir isimdir.

Tehlikeli atıklar kapsamında; Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) bünyesinde hazırlanan “Basel Sözleşmesi” 05.05.1992 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Türkiye ise Basel Sözleşmesini 1989 yılında imzalamış ve 1994 yılında onaylamıştır. Ülkemizde, tehlikeli atık yönetim sisteminin oluşturulması amacıyla Çevre Kanunu ve Basel Sözleşmesi esas alınarak “Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği” hazırlanmış ve 27.08.1995 tarih ve 22387 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Söz konusu Yönetmelik, 14 Mart 2005 tarihinde son kez değiştirilmiştir (Uzunoğlu, 2007).

- Özel atıklar: Evsel atıklara göre farklı yöntemlerle toplanan, taşınan ve işlenen ancak yasal olarak evsel atık sınıfı dışında kalan atıklardır.
- Tıbbi atıklar: Hastaneler, klinikler ve laboratuvarlardan atılan atıklardır.

- Atık pıl-akümülatörler
- Endüstriyel atıklar: Endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan atıklardır. Atık lastik ve kazınmış asfalt bu gruba girmektedir.

### 2.1.1. Atık Lastik

Atık lastik, kara taşıtlarından sökülmüş, ekonomik ömrünü tamamlamış lastiklerdir. Atık lastiklere ait fiziksel ve kimyasal özellikler alt bölümlerde verilmiş olup, konu hakkında yapılmış araştırmalar ve atık lastiğin neden olduğu çevresel problemler aşağıdaki gibidir:

Beycioğlu ve diğ. (2008) çalışmasında, hızla büyüyen atık lastik stoklarının, Dünya’da olduğu gibi ülkemizde de büyük bir çevresel sorun haline gelmekte olduğunu, depolama sahasında bulunan kullanılmış lastiklerin çeşitli çevresel ve toplum sağlığı ile ilgili problemler oluşturduğunu, lastiklerin depolama sahasında yer kaplamaması için yakmanın tercih edildiği ve lastiğin diğer ürünlere dönüştürülmekte olduğunu, ayrıca lastik yığınlarının sivrisinek ve kemirgenler için ideal bir yetiştirme ortamı sağlamakta olduğunu belirtmiştir.

Yakaboylu (2010) çalışmasında, Sürdürülebilir Kalkınma için Dünya İş Konseyi’nin 2008 yılında yayınladığı rapora göre dünyada her yıl yaklaşık olarak 1 milyar adet atık lastik oluştuğu, 2005 yılında sadece Amerika Birleşik Devletlerinde yaklaşık olarak 300 milyon adet atık lastik oluştuğu, Avrupa Birliği ülkelerinde bu rakamın 2006 yılında 2,8 milyon ton, ülkemizde ise, her yıl yaklaşık olarak 200 bin ton atık lastik oluşmakta olduğu belirtilmiştir. Yasal mevzuatlara rağmen, ülkemizdeki atık lastiklerin çoğu, gelişmiş ülkeler de dahil olmak üzere diğer ülkelerde de bir kısmı doğrudan doğaya salıverildiği bildirilmiştir.

Atık lastiklerin tehlikeli atık özelliğine sahip olmamakla birlikte uzun vadede asidik şartlarda metal iyonların çözülmesi nedeni ile organiklerin çözülmesinin arttığı, bu nedenle sıhhi kullanım alanlarında kullanılmadığı, olabilecek yangınlar nedeni ile karbon siyahı, uçucu organikler, yarı uçucu organikler gibi atmosfere zararlı bileşikler yayılabileceği belirtilmektedir (Gönüllü, 2004).

Merino ve diğ. (2007) çalışmasında, lastiğin üretimi için 32 kWh/k, yakılması ile elde edilen enerjinin ise 9 kWh/k olduğunu, yakılmanın toksisiteye neden olduğu, atık lastiğe kullanım alanı bulunması gerektiği belirtilmiştir. Atık lastikler geri kazanım sürecinde kullanım alanı olarak kendisine inşaat mühendisliği alanında da yer bulduğu belirtilmiştir.

Meyer (2009) çalışmasında, çimento sanayinin tek başına tüm dünyada üretilen CO<sub>2</sub>'in %7'sinden sorumlu olduğunu, çimento üretiminin yoğun enerji tüketen bir sektör olduğunu belirtmiştir. Enerji ihtiyacı ile birlikte kirliliği azaltmak adına kullanımını önerdiği ürünler arasında atık lastik de bulunmaktadır.

#### *2.1.1.1. Atık Lastik Yönetim ve Geri Kazanımı*

Atık lastiğin boyutlarına göre farklı sektörlerde kullanımını (Gönüllü, 2004) ve sonrasında atık lastikler hakkında yapılan araştırma çalışmaları şu şekildedir:

Bütün halde olan atık lastikler için kullanım alanları:

- Oyun parkları ve motorlu spor alanları
- Deniz kıyısında gemi yanaşma noktaları
- Toprak erozyonu önleme
- Zeminin su oymasına karşı köprü ayaklarının kaplanması
- Araç park alanları
- Deniz kıyısında dalga kırıcı olarak
- Su ortamlarında canlı yaşamının gelişmesi için
- Şev ve yol stabilizasyonunda

İri parçalar haline dönüştürülen atık lastiklerin kullanıldığı alanlar ise,

- Çöp depo yerinde sızıntı suyu toplama tabakası teşkilinde,
- Çimento fabrikalarında yakıt olarak
- Elektrik üreten termik santrallerde yakıt olarak
- Isı, buhar ihtiyacı için endüstriyel sektörlerin kazanlarında yakıt olarak

Kırıntı ve toz haldeki atık lastiklerin kullanıldığı alanlar ise,

- Otomobil endüstrisinde yedek parça üretimi
- Spor alanı yüzeylerinde parkur yapımında, saha yüzey kaplamasında
- Tekne içinde kayma önleyici yüzey olarak
- İnşaat ve inşaat malzemesi üretiminde, hafif beton üretiminde (Benazzouk ve diğ., 2007) tutkallar ve izolasyon sıvıları, zemin kaplamaları, çatı örtü ve sızdırmazlık ürünleri,
- Zemin ve asfalt uygulamalarında, drenaj boruları, asfalt yol çatlakları kapama malzemesi, karayollarında lastik katkıli asfalt

ASTM D 6270 (1988) raporu atık lastiğin inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılmasına odaklı bir çalışmadır. Kullanılmış lastiklerin kullanım alanı olarak lastik kırıntısı-zemin karışımı ile hafif dolgu elde edilmesi, düşük ısı geçirgenliği ile yol kaplamalarında don derinliğinin iyileştirilmesi, demiryollarında sarsıntı azaltıcı bariyer olarak kullanılması tavsiye edilmiştir. Cao (2007) çalışmasında, atık lastiğin kırılmış bir şekilde asfalt yol kaplamasında aşınma tabakası olarak kullanımında gerekli koşulları sağladığını belirtmiştir.

Topçu (2006a) çalışmasında, atık lastiklerin, asfalt üretiminin dışında beton üretiminde ince agrega yerine kullanımında betonun mekanik özelliklerini düşürmesine karşın dayanıklılığına olumlu etkilediği, mekanik özelliklerin önemli olmadığı yollar ve liman yapılarında kullanılması çevresel ve ekonomik faydalar sağladığı belirtilmiştir.

Snelson ve diğ. (2009) çalışmalarında, beton esaslı yapılarda kullanılan beton karışımlarında, agrega olarak kırılmış atık lastiklerin ve çimento yerine kısmi olarak toz haline getirilmiş yakıt külünün (PFA) kullanımı araştırılmıştır.

Yılmaz ve Değirmenci (2009), çalışmalarında, kagir uygulamalarında kompozit malzeme olarak portland çimentosuyla uçucu kül ve lastik atığı kullanılarak uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Portland çimentosunda üç farklı boyutta C sınıfı uçucu kül ve atık otomobil lastiği kullanılmıştır.

Segre ve Joeques (2000) çalışmasında, öğütülmüş atık lastiğin %10 oranında çimento harcına eklenmesi ile kırılma enerjisi, eğilme ve basınç dayanım sonuçları değerlendirilmiş, malzemenin yüksek dayanım gerektirmeyen yol yapılarında kullanılması tavsiye edilmiştir.

Pierce ve Blackwell (2003) çalışmasında, hafif ağırlıklı malzeme üretmek için kumun yerine kırılmış lastik kullanılmasını deneysel olarak incelenmiş, sonuç olarak, pekçok yapı uygulamalarında (köprü mesnetleri, temel destek birimleri) kırılmış lastik kullanılabilceği belirlenmiştir.

Benazzouk ve diğ. (2007), tarafından yapılan çalışmanın amacı, hafif ağırlıklı yapı malzemeleri üretmek için ince agrega olarak çimento karışımlarında lastik atığın kullanımı araştırmaktır. Hacimsel olarak %10 dan %50 ye kadar değişik oranlarda 5 lastik içeriği kullanılmıştır. Mekanik dayanım azalmasına rağmen lastik parçacıkların içerikte yer aldığı kompozitlerin hafif ağırlıklı yapı malzemelerine uygunluğu saptanmıştır.

Khaloo ve diğ. (2008) çalışmasında, atık lastiklerin, ciddi çevresel sorunlara yol açması nedeniyle, betonda agrega olarak elastik ve esnek lastik-kauçuk atıkların kullanım uygunluğunu bu çalışmada araştırmışlardır. Ufalanmış lastik, kırıntı kauçuk ve ufalanmış lastik, kırıntı kauçuk kombinasyonu betonda mineral agregaların yerine kullanılmıştır. Bu numunelerde, betonda toplam mineral agreganın yerine %25, 37.50 ve 50 oranında atıklar kullanılmıştır.

Turatsinze ve diğ. (2005) çalışmasında, doğal kum agregaları yerine lastik-kauçuk atıkları kullanılmıştır. Tüm durumlarda, parçacıkların boyutu 4 mm den daha küçük kum yerine kullanılan kauçuk agregaların oranları %20 ve %30 hacim olarak belirlenmiştir. Çalışma ile atık lastiklerin çevresel olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir.

Yakaboylu (2010) çalışmasında, günümüzde atıkların çevreye olan zararlarını en aza indirmek için uygulanan atık yönetimi önceliği atığın oluşumunu önleme, azaltma, yeniden kullanma, geri dönüştürme, atıktan enerji kazanımı ve depolama şeklinde olduğu belirtilmektedir.



Tablo 2.1. İhraç edilen ve kaplanan lastik harici atık lastiklerin değerlendirme yöntemleri, Yakaboylu (2010)

Ülke	Veri Alınan Yıl	Atık Lastik Üretimi (Milyon adet)	Enerji Geri Kazanımı (%)	İnşaat Sektörü veya Malzeme Geri Kazanımı (%)	Çöp, Depolama vd (%)
ABD	2005	292	52	33	14
AB ülkeleri	2006	250	41	43	16
Japonya	2006	100	70	15	15
Avustralya	2006	20	22	8	70
Türkiye	2008	(200 bin ton)	15	20	60

Tablo 2.2 Lastik vd yakıtların ısıl değeri ve emisyon miktarları, Yakaboylu (2010)

Yakıt	Isıl Değer (MJ/kg)	Emisyon Değerleri	
		Kg CO <sub>2</sub> /ton	Kg CO <sub>2</sub> /GJ
Odun	10,2	1122	110
Kömür	27	2430	90
Doğalgaz	39	1989	51
Motorin	46	3220	70
Lastik	32	2270	85

Tablo 2.1 ve 2.2'nin bir arada değerlendirilmesi sonucu gelişmiş ülkelerde atık lastiklerin yakılması yöntemi ile enerji geri kazanımı en önde gelen değerlendirme yöntemi iken, gelişmekte olan ülkelerde depolama yöntemi daha yüksek değerlendirme yüzdesine sahiptir. Buna karşın ülkemizde depolamadan sonra en çok atık lastik değerlendirme yöntemi atık lastiğin yakılması şeklindedir. 24 adet çimento fabrikası lastik yakma lisansına sahiptir (Türkiye İnşaat Malzemeleri Sektör Görünüm Raporu, 2011). Atık lastik gerek ısıl değerinin yüksekliği, gerekse de emisyon değerleri açısından kömüre göre daha az kirletici olduğu görülse de kontrolsüz lastik yakılması açığa çıkan kükürt ve azot dioksitler ile uçucular sebebi çevreye ciddi zararları bulunmaktadır.

### 2.1.1.2. Atık Lastiklerin Fiziksel Özellikleri

Otomobil lastiklerinin yoğunluğuna ait veriler Tablo 2.3’de sunulmuştur.

Tablo 2.3 : Atık lastik yoğunluğu değerleri (Celik O. 2006)

Tanecik Çapı ( $\Phi$ )	Yoğunluk ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
$\Phi < 0.7 \text{ mm}$	714
$0.8 \text{ mm} < \Phi < 2.5 \text{ mm}$	1053
$2.5 \text{ mm} < \Phi < 4.0 \text{ mm}$	1333

### 2.1.1.3. Atık Lastiklerin Kimyasal Özellikleri

Otomobil lastiklerinin genel kimyasal bileşimi Tablo 2.4.’da sunulmuştur. Polimer grubu, %45-49 aralığında bulunması sebebiyle en yüksek yüzdeye sahip bileşendir.

Tablo 2.4 : Atık lastik kimyasal analizi (Celik O. 2006)

Bileşen	% Ağırlık
Polimer	45-49
Karbon siyahı	33-37
Aromatik yağı	10-16
Çinko oksit	1-2
Esterik asit	1-2
Parafenilendiamin	0.3-0.6
Parafinik vax	0.5-1
Trimetil-kuinolin	0.1-0.3
Sülfür	0.7-1.5
Sülfonamidlerden gelen sülfür	0.2-0.6

### 2.1.1.4. Atık Lastiklerin FTIR Özellikleri

Aromatik C=C bağları  $1500 \text{ cm}^{-1}$  civarında zayıf bağ, C=O bağları  $1710 \text{ cm}^{-1}$  civarında orta görünümde, C-H bağı  $2850 \text{ cm}^{-1}$  civarında güçlü pik, C-O  $1100 \text{ cm}^{-1}$  civarında güçlü pikler olarak görülmektedir.

### 2.1.1.5. Atık Lastiklerin DTA-TGA-TG Özellikleri

$200^\circ\text{C}$ ’den başlayarak  $600^\circ\text{C}$ ’ye kadar ekzotermik reaksiyonlar sonucunda kütle kayıpları meydana gelir.

#### *2.1.1.6. Atık Lastiklerin Mikroyapı Özellikleri*

Kırılmış lastik ile kesilmemiş ve deforme olmamış lastik mikroyapıları arasında farklılıklar mevcuttur. Kırılmış lastikte düzensiz yapılar çoğunluktadır.

#### *2.1.1.7. Atık Lastiklerin Mineralolojik Özellikleri*

Atık lastikler, XRD analiz sonuçlarında genel hatlarıyla Çinko oksit (ZnO), kuartz (SiO<sub>2</sub>) ve kalsit (CaCO<sub>3</sub>) verirler.

### **2.1.2. Kazınmış Asfalt**

Servis ömrünü tamamlamış veya çeşitli sebeplerle yenilenecek asfalt kaplaması kazıma makinesi ile yerlerinden sökülürler. Kazınmış asfalt genel olarak asfalt üretiminde geri dönüşüm malzemesi olarak kullanılmaktadır. Türkiye için sadece İstanbul ili dahilinde yıllık olarak 150 bin.ton Avrupa Yakası, 100 bin.ton Anadolu Yakası olmak üzere toplam 250 bin.ton kazınmış asfalt elde edilmektedir. Sola Z. (2011) çalışmasında, kazınan asfalt tabakasının tekrar kullanılarak milli kaynakların korunması ve ekonomik kazanımların elde edileceği, geri dönüşüm ile yeni malzeme ihtiyacının azalacağı, atık sahalarının oluşmaması açısından çevrenin korunmasına katkıda bulunacağı, enerji tasarrufu sağlayacağı belirtilmiştir. Kazınmış asfaltın geri dönüşümünde 4 farklı uygulama yöntemi ile tekrar kullanımın sağlanabildiği, bu uygulamalarda %10 ile %50 arasında kazınmış malzemenin kullanılabilirdiği, ancak daha yüksek yüzdeye sahip atık malzemenin kullanıldığı yöntemin ilk kurulum maliyetinin çok yüksek olması sebebiyle kazınmış asfaltın yüksek yüzde ile kullanımına ait dezavantajdan bahsedilmiştir. Kazınmış asfalt konusundaki değerlendirme yöntemi ülkemizde ve tüm Dünya'da paralel bir şekilde belirli bir yüzde ile yeniden asfalt içinde değerlendirmeye yöneliktir. Bu sebeple kazınmış asfaltın çimento ve betondaki uygulamalarına ait çalışmaya rastlanılamamıştır. Kazınmış asfalt, çalışma başlığına uygun petrol içerikli katkının beton harcında geliştirdiği değişimin mekanik, mineralojik ve mikroyapısal yönden incelemek adına seçilmiş, çalışmada atık lastiğe ait sonuçlarla birlikte değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

#### 2.1.2.1. Kazınmış Asfaltın Fiziksel Özellikleri

Asfalt üretimi sonucunda elde edilen ürünün yoğunluğu yaklaşık olarak  $2.4 \text{ g/cm}^3$  civarında olmalıdır. Bu sonuç bize kazınmış asfalt yoğunluğu hakkında bir fikir vermektedir. Tane boyut dağılımı üretilen asfalt türüne göre değişkenlik göstermektedir.

#### 2.1.2.2. Kazınmış Asfaltın Kimyasal Özellikleri

Asfalt üretiminde kullanılan agregaların kimyasal bileşimi gözönüne alındığında en yüksek içerik Kalsiyum oksit (CaO) olmaktadır. İçeriğinde bitüm ihtiva ettiği için kızdırma kaybı (KK) çok yüksek olmaktadır.

#### 2.1.2.3. Kazınmış Asfaltın FTIR Özellikleri

$449\text{-}517 \text{ cm}^{-1}$  aralığı Al-O bağlarını,  $846\text{-}875 \text{ cm}^{-1}$  kalsiyum karbonat fazını,  $3610\text{-}3642 \text{ cm}^{-1}$  ise bağlanmış ve absorbe edilmiş suyun varlığını göstermektedir.  $1100$  ve  $806 \text{ cm}^{-1}$  pikleri ise Si-O-Si bağlarının varlığına işaret eder.

#### 2.1.2.4. Kazınmış Asfaltın DTA-TGA-TG Özellikleri

Literatürde kazınmış asfaltın termal özelliklerine açıklık getiren herhangi bir bulguya rastlanılamamıştır.

#### 2.1.2.5. Kazınmış Asfaltın Mikroyapı Özellikleri

Literatürde kazınmış asfaltın mikroyapı özelliklerine açıklık getiren herhangi bir bulguya rastlanılamamıştır.

#### 2.1.2.6. Kazınmış Asfaltın Mineralojik Özellikleri

Asfaltta kullanılan agregalar kalker ve dolomit kökenli malzemelerdir. Mineralojik bileşiminde ana bileşenler olarak kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), kuartz ( $\text{SiO}_2$ ) ve dolomit ( $\text{CaCO}_3\cdot\text{MgCO}_3$ ) bulunmaktadır.

## 2.2. ÇİMENTO

Çimentolar taneli malzemenin boşluğunda yer alan ve su ile birleştiğinde önce bir hamur meydana getiren, sonra da sertleşerek dayanım kazanarak kütle meydana gelmesini sağlayan, genel bileşenleri kil ve kireç bünyeli bağlayıcı malzemedir. Çimento ve suyun bir araya gelmesiyle elde edilen çimento hamuru, başlangıçta plastik bir yapıya sahiptir ve bu iki malzemenin birleştiği andan itibaren aralarında hidrasyon başlamaktadır. Hidrasyonun devamı ile başlangıçta plastik yapıya sahip olan çimento hamuru zamanla sert bir malzeme halini almaktadır. Çimento hamurunun bağlayıcılık kazanma hızı ve miktarı, çimento ile su arasındaki hidrasyonun oluşumuna bağlıdır. Hidrasyon özellikleri ise sıcaklık ve rutubet ortamlarına ek olarak çimentonun inceliği, miktarına bağlıdır. Hidrasyon ürünlerinin artması çimento hamuru içindeki kapiler boşlukların azalmasını da sağlamaktadır. Bu durum çimento hamurunun ve betonun dayanımı ile birlikte dayanıklılığını da etkilemektedir (Postacioğlu, 1975).

Türkiye İnşaat Malzemeleri Sektör Görünüm Raporu (2011)'nda, Türk çimento sektörünün üretim açısından yakın coğrafyada 1., dünyada 7. sırada olduğu, enerji maliyetleri açısından Türkiye'nin enerjide dışa bağımlı olması (petrolün %90'a yakın bir kısmı, doğalgazın %97'si ve kullanılan kömürün %20'si) ve enerji fiyatları açısından dünyadaki en pahalı enerjiyi kullanan ülkeler arasında yer almasının sektörün maliyetlerini artırdığı belirtilmiştir. Kyoto Protokolü kapsamında enerji tüketimi sonucu ortaya çıkan sera gazı salım oranlarının, 2012 yılına kadar 1990 seviyesinin % 5,2 altına düşürülmesi hedeflenmektedir. Bunun için ülkemizde tüketilen tüm enerjinin %7'lik kısmını kullanan çimento sektöründe CO<sub>2</sub> salınımının azaltılması, buna bağlı olarak daha az enerji kullanımına yönelik yenilikçi yaklaşımlar önerilmiştir.

CEM çimentosunun hidrolik sertleşmesi öncelikle kalsiyum silikatların hidrasyonu nedeniyle. Diğer kimyasal bileşenler, mesela alüminatlar da, sertleşme işlemine iştirak edebilirler. CEM çimentosunda oranlar EN 196-2'ye göre tayin edildiğinde, reaktif kalsiyum oksit (CaO) ve reaktif silisyum dioksit'in (SiO<sub>2</sub>), oranlarının toplamı kütlece en az % 50 olmalıdır.

- CEM I Portland çimentosu
- CEM II Portland-kompoze çimento
- CEM III Yüksek Fırın Curufllu çimento
- CEM IV Puzolanlı çimento
- CEM V Kompoze çimento

### **2.2.1. Çimentoların inceliği**

Çimentoların inceliğinin belirlenmesine ait esaslar Mart 2000’de yürürlüğe giren TS EN 196-6 ile belirlenmiştir. Standartın 4. bölümünde Hava Geçirgenlik (Blaine) Metodu ile çimentonun inceliğinin belirlenmesi tarif edilmiştir. Buna göre;

Çimentonun inceliği, belirlenmiş boyutlarda ve porozitedeki sıkıştırılmış bir çimento yatağından sabit hava miktarının geçtiği sürenin gözlenmesiyle spesifik (ölgül) yüzey olarak ölçülür. Standard şartlar altında çimentonun ölgül yüzeyi, sıkıştırılmış çimento yatağından geçen belirli bir hava miktarının geçtiği süre ile orantılıdır. Klinker tane boyutlarının küçültülmesi ile çimento inceliği artırılmış olur. Genel olarak çimento boyutları 90 µm’den büyük olan tane miktarının toplam hacmin %14’ünü geçmemesi istenir (TS EN 196-6, 2000).

### **2.2.2.Çimentoların prizi**

Priz, bağlayıcı maddelerin katılaşması veya plastik deformasyon yapma kaabilyetini kaybetmesi demektir. Priz bakımından bilinmesi gereken iki özellik; prizin başlama ve sona erme süresidir.

### **2.2.3. Döner fırın reaksiyonları**

Klinkerin pişirilmesi esnasında döner fırında oluşan reaksiyonlar aşağıdaki şekildedir:

100°C seviyesinde karışım içinde bulunan su buharlaşır.

500°C seviyesinde kaolinit içindeki su ayrılarak amorf silis amor alümine dönüşür.

600°C seviyesinde kalsiyum karbonatın ayrışır.

1200°C seviyesinde kireç ile silisin birleşmesi ile silikatların oluşması başlar.

## 2.2.4. Çimento Çeşitleri

### 2.2.4.1. Portland Çimentoları

Portland çimentosu, kalker ve kil karışımının 1450°C seviyesinde pişirilerek elde edilen klinkere alçıtaşı katılması ile birlikte öğütülmesi ile elde edilir. Çimentonun bağlayıcılık değerini tayin eden bileşenler, kalsiyum silikatlı bileşenler olan  $C_3S$  ve  $C_2S$ 'dir.

### 2.2.4.2. Doğal Çimentolar

Doğal çimentolar, kalkerli ve killi maddeler karışımının erime noktası altında bir sıcaklığa kadar kızdırılmaları sonucu elde edilen bir bağlayıcıdır.

### 2.2.4.3. Puzolanik Çimentolar

Priz düzenleyici olarak kalsiyum sülfatın katılması sonucu elde edilen çimentodur. Bu tür çimentolar geçirimsizliği az, sülfatlı sulara dayanıklı, hidrasyon ısısı düşük, donmaya dayanımı az olan çimentolardır.

### 2.2.4.4. Yüksek fırın cürufu çimentosu

Ani soğutulmuş granül hale getirilmiş bazik yüksek fırın cürufu ile portland çimento klinkeri ve alçı taşının karıştırılarak öğütülmesi sonucu oluşur.

### 2.2.4.5. Alüminli çimentolar

İçeriğinde kalker, düşük nitelikte boksit veya diaspor bulunmaktadır. Kısa sürede sertleşmesi ve yüksek dayanımı belirgin özellikleridir.

### 2.2.4.6. Özel çimentolar

- Beyaz çimento:Demir ve titan oksitten arındırılmış, dayanımı fazla olmayan çimentodur.
- Renkli çimentolar:portland veya beyaz çimentonun pigmentle renklendirilmesi sonucu oluşturulan çimentodur.
- Sıva çimentosu: Sıva işinde kolaylık sağlaması amacı ile plastik özelliği yüksek çimentodur.
- Su geçirmez çimento: Portland çimentosuna öğütülme sırasında kalsiyum stearat veya alçının tannik asitle karıştırılması ile elde edilen çimentodur.

### 2.2.5. Çimento Standartları

11 Mart 2002 tarihinde yürürlüğe giren TS EN 197-1 standardı, Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler Ve Uygunluk Kriterleri, TS EN 197-2 ise Çimento-Bölüm 2: Uygunluk Değerlendirmesi ana başlığını içermektedir. Çimento özelliklerinin incelendiği TS EN 197 1-2 içerisinde, çimento deney metodlarının tarif edildiği TS EN 196 serisi standartlara atıf bulunmaktadır. TS EN 196 serisi standart ana başlıkları aşağıdaki gibidir:

- TS EN 196-1 Çimento Deney Metotları (Ç.D.M.)-Bölüm 1: Dayanım Tayini
- TS EN 196-2 Ç.D.M.-Bölüm 2: Çimentonun Kimyasal Analizi
- TS EN 196-3 Ç.D.M.-Bölüm 3: Priz Süresi ve Genleşme Tayini
- TS EN 196-5 Ç.D.M.-Bölüm 5: Puzolanik Çim. Puzolanik Özellik Tayini
- TS EN 196-6 Ç.D.M.-İncelik tayini
- TS EN 196-7 Ç.D.M.-Bölüm 7: Çimentodan Numune Alma ve Hazırlama Met.
- TS EN 196-21 Ç.D.M.-Bölüm 21: Klorür, CO<sub>2</sub> ve Alkali Muhtevası Tayini

## 2.3. ÇİMENTO HARÇLARINDA DAYANIM VE DAYANIKLILIK

### 2.3.1. Basınç Dayanımı

Dayanım, betonun üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı betonun göstereceği maksimum direnme gücüdür (Ustabaş, 2008). Beton bu direncini kimyasal açıdan puzolanik reaksiyonlardan almaktadır. Puzolanik reaksiyonların gerçekleşebilmesi için kullanılan malzemelerin puzolanik aktiviteye sahip olması gerekir. Puzolanik reaksiyon; eğer bir malzeme kalsiyum hidroksit ile (CaOH<sub>2</sub>) reaksiyona girebiliyorsa o malzeme için puzolanik aktiviteye sahiptir denilir ve puzolan diye adlandırılır. Puzolanik reaksiyon  $CH+S+H>C-S-H$  şeklindedir (Mindess ve Young, 1981). Oluşan bu CSH jelleri sertleşmiş betonda katı hale dönüşür ve kimyasal açıdan basınç dayanımını sağlar. Beton dayanımına etki eden diğer unsurlar göz önünde bulundurulduğunda ise beton aşağıdaki faktörlerden etkilenmektedir.

Betonun dayanımı, çimento hamurunun dayanımına, agreganın dayanımına ve çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderansa bağlıdır. Çimento hamurunun dayanımı



su/çimento oranına ve çimentonun ne ölçüde hidrasyon yapmış olduğuna bağlıdır. Düşük su/çimento oranına sahip çimento hamurunda kapiler boşluk oranı da azdır. Kapiler boşluk oranının azalması çimento hamurunun ve buna bağlı olarak betonun daha yüksek dayanım kazanması demektir. Çimento hamuru priz alırken ve sertleşirken bir miktar büzülme göstermektedir. Beton içerisindeki agrega tanelerinin elastiklik modülü çimento hamurununkinden daha yüksek olduğu için agrega taneleri çimento hamurunun serbestçe büzülmesini kısıtlamaktadır. Bu durum çimento hamuru ve agrega taneleri arasındaki yüzeyde kayma ve çekme kuvvetleri oluşturmakta ve çok küçük çatlamlar meydana getirmektedir. Bu kuvvetlerin etkisi agrega boyutunun büyüklüğüyle doğru orantılıdır. Betona uygulanan yükün artması çimento hamuru ile iri agrega taneleri arasındaki çatlakların daha da artmasına neden olmaktadır. Çimento hamuruyla iri agregalar arasındaki boşlukların az olması aderansın yüksek olmasına neden olur. Beton dayanımına etkileyen faktörler; su/çimento oranı, karma suyunun kalitesi, çimento miktarı, çimento özellikleri, agrega özellikleri, granülometri, karıştırma, taşıma, yerleştirme, sıkıştırma işlemleri, kür koşulları ve beton yaşı olarak sıralanabilir. Karma suyunda mevcut maddelerin türü ve miktarının betonun priz süresine, dayanımına, dayanıklılığına etkisi göz ardı edilmemelidir. Çimento tipini belirleyen faktörler, çimentonun kimyasal bileşimi ve çimento tanelerinin inceliğidir. İşlenebilirliği az betonun yerleştirilmesi zorlaşır. Betonun yerleştirilmesi sırasında uygun vibrasyon uygulaması ile betonun boşluksuz yerleşmesi sağlanmalıdır. Vibrasyon sonucu beton içerisinde mevcut hava bünyeden ayrılır ve böylece boşluk oranı azalan betonun dayanımı artar. Gereğinden fazla vibrasyon segregasyona yol açar. Taze beton kalıbına yerleştirildikten sonra çevre koşullarına bağlı olarak sıcak ortamda hidrasyon suyu taze betonun bünyesinden ayrılabilir. Soğuk havalarda çimento priz yapmaz. Yağışlı havalarda beton karışımında çimento hamurunun yıkanması gibi sorunlar yaşanabilir. Bütün bunlar betonun dayanımına olumsuz etki eden unsurlardır (Ustabaş, 2008).

### **2.3.2. Eğilme Dayanımı**

Yılmaz ve Değirmenci (2009), çalışmalarında, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, kuru birim ağırlığı ve su emilimi testleri, atık araba lastiği içeren kompozit örnekler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bütün karışımlar için; basınç dayanımı, lastik kullanım miktarı arttıkça azalmış, uçucu kül kullanım miktarı arttıkça artmıştır. Bu eğilim

parçacık boyutundan çok az etkilenmiştir. Atık lastikli örneklerin eğilme dayanımı, kauçuk liflerin etkisi nedeniyle kontrol karışımdan daha yüksek değerler elde edilmiştir. %10 portland çimentosu, %70, %60 uçucu kül ve %20, %30 atık lastik parçacıkları kagir uygulamalarda kullanılmak için yeterli dayanıma sahip olduğu belirtilmiştir.

Raghavan ve diğ. (1998) çalışmasında atık lastik boyutlarının kırılma davranışını etkilediği, atık lastik kullanımının çekme dayanımı ve plastik kırılma davranışını azalttığı belirlenmiştir.

Segre ve Joekes (2000) çalışmasında, öğütülmüş atık lastiğin %10 oranında çimento harcına eklenmesi ile kırılma enerjisi, eğilme ve basınç dayanım sonuçları değerlendirilmiş, lastik eklenmesinin tokluğun artması ve porozitenin azalması yönünde iyileşmeler sağladığı belirtilmiştir.

Ganjian ve diğ. (2009) çalışmasında, %5, 7,5 ve 10 oranında kırılmış atık lastik agrega ve çimento yerine ayrı ayrı ikame edilerek mekanik testler yapılmıştır. 7 ve 28 günlük basınç dayanımı testi sonucunda %5 oranında agrega yerine ikame edilen atık lastikli numuneler referans numuneden daha yüksek basınç dayanımı değerleri vermiştir. Atık lastiğin çimento yerine ikame edildiği numuneler, agrega yerine ikame edilen numunelerden daha düşük basınç dayanımına, daha yüksek çekme dayanımına sahiptir. Elastisite modülleri referans numuneye göre düşük ancak atık lastiğin ikame edildiği agrega ve çimentoya göre birbirine çok yakın olan değerlerdedir.

Fattuhi ve Clark (1996), çalışmalarında çimento hamuru, harç ve beton karışımlarında değişik oranlarda atık lastik ile hazırlamışlardır. Hazırlanan 32 karışımda, yoğunluk, basınç dayanımı, darbe ve yangın direnci özellikleri irdelenmiştir. Sonuçlar, çeşitli karışımların yoğunluk ve basınç dayanımları lastiğin eklemesiyle azalmıştır. Yoğunluk, 1300 ve 2300 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmiştir. Toplam kütle içeriğinde lastik oranı beton kütlelerinin %13'üne ulaştığında, basınç dayanımı %70 oranında azalmıştır.

Bignozzi ve Sandrolini (2004) gerçekleştirdikleri çalışmada, ham haldeki atık lastiklerin farklı tane boyutlarında hazırlanarak betona katılması ile 28 günlük kür süresi sonucunda sertleşmiş betonun mekanik ve mikroyapısal davranışını araştırmışlardır. Bu gibi malzemelerin taze ve sertleştirilmiş özellikleri kendiliğinden yerleşen betonun tipik referans formülasyonu ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen basınç dayanımları literatür

sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, kendiliğinden yerleşen beton teknolojisinin atık lastiğin bağlanmasına yardımcı olduğu doğrulanmıştır.

Olivares ve diğ. (2002) çalışmasında, parçalanmış atık lastik ve polipropilen liflerin kullanılmasıyla oluşturulmuş beton numunelerin statik ve dinamik yükler altında 7 ve 28 güne ait mekanik davranış sonuçlarının deneysel olarak belirlenmesi konusunu çalışmışlardır. Çimento içeriğinde hacimsel olarak %5'e kadar lastik kauçuk eklenmesinin betonun mekaniksel özelliklerini (maksimum gerilme veya elastisite modülünü) önemli ölçüde değiştirmedeği saptanmıştır.

Aiello ve Leuzzi (2010) çalışmalarında, iri agrega olarak kuvars, ince agrega olarak kum kullanılan betonlarda bu agregaların yerine atık lastik ikamesi yapılmış, taze ve sertleşmiş durumda beton özellikleri incelenmiştir. İşlenebilirlik, birim ağırlık, basınç ve eğilme dayanımı ve çatlak sonrası davranışı değerlendirilmiş ve kauçuk katılmış betonların mekanik özellikleri bakımından daha iyi karışım oranları belirlemek için farklı karışımlar için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışmadaki sonuçlar, literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Kauçuk içeren beton karışımlar sade betona göre daha düşük birim ağırlığa ve iyi işlenebilirliğe sahiptir. Basınç ve eğilme test sonuçları, atık lastik kullanımının iri agrega içeren betonun ince agrega içeren betona oranla daha büyük mekanik azalmaya neden olduğu görülmüştür.

### **2.3.3. Dayanıklılık**

Sertleşmiş betonun servis süresi boyunca yapı malzemelerinin ve yapıların işlevlerinin uzun yıllar boyu bozulmadan yerine getirebilmelerine dayanıklılık, kalıcılık veya durabilite denir. Değişik türdeki yapılarda kullanılmakta olan beton, hizmet süresi boyunca bünyesinde yıpranmaya yol açabilecek birçok kimyasal ve fiziksel etkenle karşılaşmaktadır. Betonun içerisine sızan su karbon dioksit, oksijen, sülfat, asit ve klor gibi maddeler, betonda değişik türlerdeki kimyasal olayların yer almasına neden olmaktadır. Betonun içerisindeki alkalilerle reaktif agregalar arasında gelişen ve sertleşmiş betonun genişerek yıpranmasına yol açan reaksiyonlarda kimyasal olaylar sonucunda yer almaktadır. Donma-çözülme ısınma-soğuma gibi olaylar betonun yıpranmasına yol açacak nitelikteki fiziksel olaylardır. Betonda yer alan kimyasal ve fiziksel olaylar sonucunda, beton daha boşluklu bir malzeme durumuna gelebilmekte,

içerisindeki demir donatılar paslanabilmekte ve beton aşınabilmekte ve betonun içerisinde çok büyük gerilmeler oluşabilmektedir. Bütün bu olaylar betonun hasar görmesi ve hizmet edemez duruma gelmesine neden olabilmektedir (Topçu, 2006b)

Betonun hizmet gördüğü süre boyunca karşılaştığı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında yeterli direnci gösterebilmesi yani yeterince dayanıklı olması, en az beton dayanımı kadar hatta çoğu zaman beton dayanımından daha da önemlidir. (Erdoğan, 2003), (Baradan ve diğ., 2002)

Beton dayanıklılığına olumsuz etki eden fiziksel ve kimyasal etkenler aşağıda sıralanmıştır:

- 1) Gecikmiş etrenjit oluşumu: Uzun süreli olarak nemli ortamlarda kalan bazı prefabrik elemanlarda yıllar sonra çatlak ve hasarlar görülmüştür yapılan araştırmalar hasar nedeninin gecikmiş etrenjit oluşumu (DEF) olduğunu ortaya koymuştur. Gecikmiş etrenjit oluşumunu aslında içten gelen sülfat etkisi olarak tanımlamak mümkündür. Sülfat etkisi ile genleşen tuz sertleşmiş betonu genişleterek çatlatmaktadır. Ancak burada oluşan etrenjit normal hidrasyon sonucu oluşan etrenjit ile karıştırılmamalıdır. Beton taze iken kristalleşen tuzun genişlemesine izin verecek ortam mevcuttur.
- 2) Deniz suyu etkisi: Deniz sularının içinde klorür iyonlarının bulunuyor olması, sülfat reaksiyonları sonucunda ortaya çıkan ürünlerin daha az genleşme yaratmasına neden olmaktadır. Klorür, sülfat hücumu sonunda betonun içinde oluşan alçıtaşı ve etrenjitin bir miktarının çözünerek betonun yüzeyine çıkmasına sebebiyet vermektedir. Böylece alçıtaşı ve etrenjitin sertleşmiş betonun içerisinde genleşme yaratıcı etkileri biraz olsun azalmaktadır.
- 3) Karbonatlaşma: Betonun yüzeyi ile temas eden ve betonun içerisine giren karbon dioksit betonun içerisinde bulunan kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek karbonatlaşma oluşmaktadır.



Karbonatlaşma sonucunda sertleşmiş çimento hamuru büzülme göstermekte ve betonda çatlaklar oluşmaktadır. Karbonatlaşma sonucunda kalsiyum hidroksitin çözülmesiyle beton içerisindeki alkali ortam daha düşük düzeye inmektedir. Alkalitenin azalması ile

betonda karbonatlaşmanın yer aldığı bölgelerdeki betonarme demirlerinin korozyonu daha hızlı olabilmektedir.

4) Alkali silika reaksiyonu: Alkali silika reaksiyonu (ASR) çimentodan kaynaklanan alkali oksitlerle ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) reaktif silika formları içeren agregalar arasında oluşan ve betonda genleşme etkisi yaratan bir reaksiyondur. ASR basitçe iki aşamada gerçekleşir. Birinci aşamada alkalilerle reaktif silikaların birleşmesi ile ASR jel ürünleri oluşur ve daha sonra ikinci aşamada alkali silika jelleri ortamdaki nem ile birleşerek genleşmeleri oluşturur. Oluşan bu genleşmelerde zamanla betonun çatlamasına ve bozunmasına neden olur. (Baradan ve diğ., 2003, Bazant ve diğ., 2000, Jin ve diğ., 2000)

5) Çelik donatı korozyonu: Yapılarda yaygın olarak kullanılan ve önemli görevi olan çelik donatı zamanla paslanma olarak da bilinen korozyona uğrayabilmektedir. Beton dayanımını artırmak üzere kullanılan betonarme çeliğindeki korozyon yalnız metalin değil betonarme yapının ömrü açısından da önem taşır. Betonarme yapılarda dayanım karma suyuna, çimento türüne, agrega bileşimine, çevreye vb bağlı olarak değişmektedir. Betonarme çeliğinin korozyonuna da bu faktörler etki etmektedir. (Kahyaoğlu ve diğ., 1999)

6) Donma-çözülme etkisi: Beton sıcaklığı yeterince düşük olduğunda kapiler boşluklarda bulunan su donmaktadır. Beton içerisindeki suların tümü, açıktaki su gibi  $0^\circ\text{C}$ 'de donmamaktadır. Büyük kapiler boşluklarda yer alan su  $0^\circ\text{C}$  veya biraz daha düşük sıcaklıkta donarken çok küçük kapiler boşluklarda su,  $-15^\circ\text{C}$  veya  $-20^\circ\text{C}$  gibi sıcaklıklarda donmaktadır. Jel boşlukları çok küçük olduğu için bu boşluklardaki sular çok daha düşük sıcaklıkta ( $-78^\circ\text{C}$ 'de) donmaktadır. Kısacası betonun içindeki suların donma noktası olarak belirtilebilecek tek bir değer yoktur. Donma-çözülme olayı fiziksel bir etkidir. Islanarak doymun duruma gelen ve donma-çözülme çevrimlerine maruz kalan bütün betonlar kısa sürede hasar görmektedirler.

7) Sülfat etkisi

Yeraltı sularında, bazı killi topraklarda ve cürufle doldurulmuş arazilerde oldukça yüksek miktarlarda sodyum sülfat ve potasyum sülfat gibi tuzlar bulunabilmektedir. Sertleşmiş betonun içerisine dışarıdan sızan sularla birlikte giren sülfatlar, betonun genişip çatlamasına yol açan kimyasal olaylara neden olmaktadır. Sülfatların betonda oluşturduğu yıpratıcı etki, sülfat hücumu olarak adlandırılmaktadır. Sülfat hücumuna maruz kalan betonların yüzeyi, karakteristik olarak beyazımsı bir görünüm almaktadır.

Turatsinze ve diğ. (2005) çalışmasında, çimento esaslı malzemelerin çatlama açısından, özellikle büzülme çatlakları yönünden gevrek ve son derece hassas olduklarını, agrega olarak kauçuk taneciklerinin kullanımı basınç ve çekme dayanımlarını sınırladığı, diğer açıdan, elastisite modülü önemli ölçüde azaltmış ve deformasyon kapasitesi bakımından yararlı etkisi olmuştur. Çimento esaslı elemanların durabilitesi geliştirmek için bir çözüm olarak saptanmıştır.

Donma-çözülme karasal iklim koşullarının görüldüğü yörelerde betonun dayanıklılığı karşısındaki en büyük tehditlerden biridir. Donma-çözülme betona taze, henüz sertleşmemiş haldeyken etkilemesi durumunda, beton içerisindeki su donmaya başladığında oluşan buz serbestçe boşluklara kaçabilmektedir ancak beton donduğunda çimento harcı ile agrega taneleri arasındaki yüzey bağları bozulmaya başlamaktadır. Donma olayı agreganın betondan daha hızlı donması sebebiyle agrega yüzeyi ve çevresinde oluşur. Genleşen suyun boşluk sınırlarına uyguladığı gerilme kılcal çatlaklar oluşturur (Yalçınkaya, 2009).

Betonun donma-çözülme dayanımına çimento dozajı, su/çimento oranı, sürüklenmiş hava doğrudan tesir etmektedir. Donma-çözülme dayanımının artırılması için betondaki kapiler boşluklar en aza indirilmelidir. ACI 201R standartına göre donma-çözülme maruz kalacak betonların su/çimento oranının 0.5'i aşmaması ve 24 MPa dayanıma ulaştıktan sonra bu etkiye maruz kalması önerilmektedir. Su/çimento oranı yalnızca toplam kapiler boşluk miktarını değil, düşük porozite, düşük permeabilite değerleri ile suyun çimento hamuruna girişini güçleştirerek donma-çözülme hasarının azalmasına neden olmaktadır (Baradan ve diğ. 2002).

Sülfat hücumu ile çimentodaki  $C_2S$  ve  $C_3S$  ana bileşenlerinin hidratasyonu, çimento hamuruna bağlayıcılık sağlayan kalsiyum-silika-hidrat (C-S-H) jellerinin yanı sıra, kalsiyum hidroksit (CH) oluşmasına yol açmaktadır.  $C_4AF$  ve özellikle  $C_3A$  ile çimento içerisinde yer alan alçının ve suyun arasındaki reaksiyonlar ise, etrenjit ( $C_6AS_3H_{32}$ ) ve kalsiyum-alümino-monosülfhidrat ( $C_4ASH_{12}$ ) gibi ürünlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Hem  $C_4ASH_{12}$ , hem de  $C_6AS_3H_{32}$  çimento hamurunun genişmesine yol açmaktadır. Özellikle  $C_6AS_3H_{32}$  çok büyük genişleme kapasitesine sahiptir. Sülfat hücumunu azaltıcı önlemler olarak betonun olabildiğince geçirimsiz olmasına dikkat

edilmeli, çimento içeriğindeki  $C_3A$ 'nın sülfata dayanımda önemli bir parametre olduğu hatırlanmalıdır. (Topçu, 2006b)

TS 3655, Beton Agregalarında Dona Dayanıklılık Tayini başlığında dayanıklılık tespitine açıklık getirmiştir. Dona dayanıklılığın tayini için suda donma, havada donma ve kimyasal yöntemle tayini yöntemlerine yer verilmiştir. Kimyasal yöntem ile dona dayanıklılığın tayini deneyi sodyum sülfat veya magnezyum sülfat deneyi olarak adlandırılmış ve tercih edilme nedeni olarak suda donma için gerekli soğutucunun bulunamaması veya sonuca kısa sürede varılmak istenmesi durumunda tercih edilebileceği standartın ilgili maddesi olan, 3.2'de bahsedilmiştir. Deneylerde kullanılan magnezyum sülfat için standartta çözelti yoğunluğunun  $1.20 \text{ g/cm}^3$  ile  $1.30 \text{ g/cm}^3$  değerleri arasında olması gerektiği belirtilmiştir.

Tosun ve diğ., (2009) çalışmasında, katkılı çimento üretiminin son yıllarda artması ile birlikte farklı mineral katkıları çimento üretiminde kullanılmaya başlanmış olduğunu, uçucu kül, doğal puzolanlar, yüksek fırın cürufu, silika dumanı gibi bilinen mineral katkıların yanında %5'in üzerinde kalker kullanımı da özellikle TS EN 197-1 standardının Avrupa'da ve Türkiye'de kabulü ile birlikte arttığını, standardın öngördüğü kalker kullanım oranının %35'e kadar çıkması ile kalker katkılı çimentoların sülfat etkilerine karşı dayanıklılıkları ile ilgili bilgi birikimi daha yeni oluşmaya başlamış olduğunu belirtmiştir.

Sülfatın beton bileşenleri ile kimyasal reaksiyona girebileceği ilk olarak 1818 yılında Vicat tarafından açıklanmıştır. Candlot 1890 yılında kalsiyum alümina ve kalsiyum sülfatın sulu çözeltisinden genleşen bir ürün ortaya çıktığını belirlemiştir. Michealis 1892'de çimento bileşenlerinde  $C_3A$  ile sülfatın reaksiyona girerek etrenjiti meydana getirdiğini ortaya çıkarmıştır. Sülfat etkisinde söz edilmesi gereken en önemli kimyasal reaksiyonlar, alçıtaşı ve etrenjit oluşumu ile ilgili olanlardır. Alçıtaşının yanında etrenjit oluşumu da sülfat etkisi ile meydana gelen kimyasal reaksiyonlar arasındadır. Ancak etrenjit oluşumu her zaman hasar verici etki yaratmaz. Etrenjitin oluşum zamanı, boyutu ve bulunduğu ortam özellikleri genleşme yaratıp yaratmayacağını belirleyen parametrelerdir. Etrenjit aynı zamanda hidratasyon ürünlerinden biri olup, taze betonda

oluşarak priz dengeleme işlevini yerine getirir. Bu yüzden sülfat hasarı görmemiş örneklerde de bir miktar etrenjite rastlanır (Tosun, 2007).

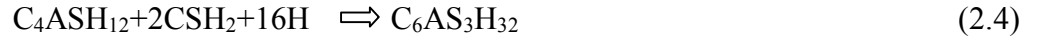
### 2.3.3.1. $MgSO_4$ ve $Na_2SO_4$ in Çimento ve Beton Dayanıklılığına Etkisi

Sertleşmiş betonun içine sızan sularda sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) veya magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) gibi sülfatlar bulunduğu takdirde, betonda iki tür reaksiyonların yer almasına neden olmaktadır. Bunlar:

1) Sertleşmiş çimentonun bünyesinde hidrasyon ürünü olarak yer almakta olan kalsiyum hidroksit ile sülfatlar arasındaki reaksiyonlar sonucunda alçıtaşı oluşmasına yol açan reaksiyonlar;



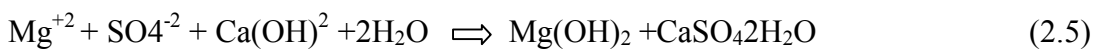
2) Sertleşmiş çimentonun bünyesinde bulunan yarı kararlı yapıdaki  $C_4ASH_{12}$  ile sülfat etkisi ile oluşmuş olan alçıtaşı arasındaki reaksiyonlar sonucunda  $C_6AS_3H_{32}$  oluşmasına yer açan reaksiyonlar



Yukarıdaki formüllerdeki CH, NS, H,  $CSH_2$ , NH, MH,  $C_4ASH_{12}$  ve  $C_6AS_3H_{32}$ , sırasıyla, kalsiyum hidroksitin, sodyum hidroksitin, magnezyum hidroksitin, kalsiyum-alümino-monosülfohidrat ve etrenjitin çimento kimyasındaki sembollerle gösterilmiş halidir.

Sertleşmiş betonun içerisinde alçıtaşı oluşması bir miktar genişlemeye yol açmaktadır. Ancak asıl genişleme, alçıtaşı ve yarı kararlı durumdaki kalsiyum-alümino-monosülfohidrat arasındaki reaksiyonlar sonucunda yer almaktadır. Sertleşmiş betonun içerisinde etrenjit kristallerinin oluşması, çok büyük genişlemeler yaratmakta, betonun çatlayıp parçalanmasına yol açmaktadır.

Magnezyum sülfata maruz kalan betondaki reaksiyonu aşağıdaki şekilde oluşur;



Reaksiyon sonucunda brusit ( $Mg(OH)_2$ ) oluşmaktadır. Bu ürünün suda çözünürlüğü azdır ve beton içindeki boşlukları doldurarak geçirimsizliğin azalmasına neden olur. Bu ürün



MgSO<sub>4</sub> etkisinde beton dış yüzeyinde pamuksu bir görünüm oluşmasına neden olur. Bunun hemen altında ise kalsiyum sülfat (alçıtaşı) oluşur. Magnezyum iyonlarının kalsiyum iyonları ile yer değiştirme özelliği vardır. Sülfat reaksiyonu sonucunda tükenen kalsiyum hidroksit için gereken kalsiyum CSH jellerinden sağlanmaya çalışılır. Ayrıca magnezyum jeldeki kalsiyumun yerine geçmeye çalışır. Dolayısı ile CSH yapısı bozunmaya başlar ve CSH jelindeki C/S oranı da giderek düşer (Ustabaş, 2008), (Skalny ve diğ., 2002).

Mineral katkı ilavesi ile sülfat atağı veya alkali silika reaksiyonlarının kontrol altına alındığını ifade etmiştir. %40 ve %60 mineral katkı içeren katkıli çimentoların kontrol karışımından daha yüksek basınç dayanımı ve durabilite özelliği gösterdiği ifade edilmiştir (Wu ve Naik, 2002).

Santhanam ve diğ. (2002) çalışmasında, sodyum ve magnezyum sülfat etkisinin portland çimentosundan elde edilen harç numunelerine yapmış olduğu şişme ve mikroyapı etkileri incelenmiş, mineral katkıların sülfat karşısındaki direnci artırdığı belirtilmiştir (Uysal ve Sumer, 2011). Mikroyapı çalışmaları iç yapıdaki çatlaklar üzerinden yapılmış, magnezyum sülfat etkisinde şişmenin devamlı artma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Sülfat iyonlarının bünyeye ilk girişi ile yüzeyde brusit oluşumu gelişir ve sonrası için bir anlamda bariyer oluşturur. Numunedeki kırılmanın CSH oluşumu ile gerçekleştiği belirtilmektedir.

Binici ve diğ., 2007 çalışmasında, belirli tane boyutlarına ayırdıkları mineral katkıların basınç dayanımı ve durabilite özelliklerini incelemişler sonuç olarak daha ince taneciklere sahip numunelerin daha yüksek basınç dayanımı ve sülfat direncine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

### 2.3.3.2. Islanma-Kuruma Etkisine Dayanıklılık

Zararlı su ve/veya havanın betonda oluşturduğu ve kimyasal sebeplere dayanan betondaki korozyon hasarı, fiziksel etkenler sonucu daha büyük boyutlara ulaşır. Islanma kuruma etkisi betonun kimyasal korozyonunu şiddetlendiren bir faktör olmaktadır. Zararlı suların betona etkisi üç ana grupta toplanabilir;

I grup korozyon, betonun yıkanmasıdır. Düşük karbonat sertlikli suların beton öğelerinden bazılarını çözmesi ve yıkayarak, beton kütlelerinden uzaklaştırması şeklinde

meydana gelir. Beton, boşluklu ve suyun çözme yeteneği yüksekse, bu korozyon iç bölgelere doğru ilerleyebilir. Tatlı su oranı nispeten yüksek bölgelerdeki deniz yapılarında bu korozyona rastlanmaktadır. Puzolanlı çimentoların bu tür korozyona daha dayanıklı olmaları serbest kireçlerinin düşük olması nedeniyle mümkündür.

II. grup korozyon, kimyasal tepkimeler sonucu betonun çözülmesidir. Çimentonun esas öğeleri ile kimyasal reaksiyona giren ve kimyasal maddeler taşıyan suların yaptığı bir korozyon türüdür. Korozyon ürünü ya yıkanır veya ayrık bir amorf kütle oluşturur. Asitli suların, (asit karbonik vb.)  $Mg^{+2}$  iyonu içeren suların hasarları bu tür korozyona örnektir. Bu korozyon, dolu ve iyi sıkıştırılmış betonlarda da meydana gelebilir. Su basınç gradyanının varlığı, diğer bir deyişle tek yanlı ıslanan betonlarda bu korozyon daha şiddetli biçimde görülmektedir. Korozyon ürünlerinin bazılarında tıkama mekanizması gelişebilir, bu durumda korozyon durur veya gecikir.

III. grup korozyon, çözünürlüğü düşük tuzların beton boşluklarında kristalleşmesi ve yapıyı katı fazda genişleterek patlatmasıdır. Beton teknolojisinde geniş biçimde incelenen sülfat problemi bu korozyon grubuna girer. Beton boşlukları içine süzülen  $SO_4^{2-}$  anyonları, serbest kireçle birleşerek alçı taşına ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) dönüşür, oluşan bu kristal katı cisim, çeperlere basınç yaparak tahribata yol açar. İkinci aşamada çimentonun trikalsiyum alüminatı ( $C_3A$ ) ile birleşen alçı taşı etrenjit'e (Candlot tuzu,  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ ) dönüşür. Bu kez hacim artışı daha büyüktür. Alçı taşında molar hacim artışı  $41cm^3$  mertebesinde, etrenjitte  $254 cm^3$  mertebesinde (Celik, 2005).

Islanma kuruma ve tuzların kristalizasyon basınç etkileri, sıçrama ve gelgit bölgesinde, dalgaların ve su içinde yüzen cisimlerin aşındırıcı etkisi ile birlikte kendisini göstermektedir. Ayrıca kapiler yolla emilen deniz suyunun atmosfere açık bölgelerde buharlaşması da benzer etkiyi ortaya çıkarır. Bir yüzü ıslak diğer yüzü kuru olan iskele, rıhtım gibi yapılarda bu sebeple oluşan hasarlara daha sık rastlanmaktadır. Batic ve diğ. (2000), tarafından yapılan çalışmada, sülfat etkisine maruz bırakılan beton numuneler ıslanma kuruma, donma çözülme ve sürekli olmak üzere doygun çözeltilde yıpratıcı ortamda bekletilmiş ve hasar ölçüm deneyleri yapılmıştır. Buna göre en az hasar doygun çözeltilde bekletilen numunelerde, en fazla hasar ıslanma kuruma etkisine bırakılan numunelerde görülmüştür. Puzolanlı çimentolarla üretilen ve mukavemetleri yeterli düzeyde olan betonlarda kılcal su emme değerleri önemli ölçüde azalacağından özellikle

ıslanma kuruma etkisine maruz betonlarda olumlu yönde tesir etmesi beklenmektedir. Tekrarlı ıslanma kuruma ve aşınma sonucu önce ince agregaların beton kütesinden ayrılmaya başladığı, açığa çıkan kaba agregaların da zamanla yok olduğu ve daha fazla çimento hamuru bağlayıcı matrisinin zamanla bu etkilere açık hale geldiği görülür. Bu durumda, su emmesi düşük agregaların seçilmesi gerekmektedir (Celik, 2005).

#### **2.3.4. Dayanım ve Dayanıklılık ile Elastisite ve Tokluk İlişkisi**

ASTM C 1018 (1997), raporunda eğilme deneyi ile elde edilen yük-sehim eğrisi altındaki alandan yola çıkarak üretilen numunenin tokluk parametresi ve eğilme performansı değerlendirilmiştir. Tokluk veya enerji yutma kapasitesi yük-sehim eğrisinin altında kalan alan olup, yapı elemanlarının enerji yutma özelliklerini göstermekte kullanılır. Tokluk indisi değerinin düşük oluşu, çatlama sonrası dayanımdaki hasarın büyük, enerji yutma yeteneğinin ise az olduğunu göstermektedir.

Siddique ve Naik (2004) çalışması derleme niteliğinde olup, konu hakkındaki pekçok yayını taramıştır. Tokluk ve darbe dayanımı başlığında, Tantala ve diğ., (1996) çalışmasına atıfta bulunarak iri agrega yerine %5 ve %10 oranında lastik katılmış betona ait tokluk değerinin referans numuneye göre yüksek olduğu, bununla birlikte %10 katkılı betona ait tokluğun %5 katkılı betona göre düşük olduğu, bunun nedeninin numunenin daha düşük basınç dayanımına sahip olması olarak belirtilmiştir. Donma-çözülme dayanımı başlığında, atık lastiğin eklenmesi ile Savaş ve diğ. (1996), Paine ve diğ. (2002) çalışmalarında donma-çözölmeye karşı performansın katkısız referans numuneye göre belirgin üstün olduğunu, gösterilen performansın hava sürüklenmiş beton kadar başarılı olduğunu vurgulanmıştır. Sonuç olarak, atık katkılı betonun yüksek dayanım gerektirmeyen yerlerde, düşük yoğunluğu, yüksek darbe ve titreşim sönümlenme özelliği, yüksek tokluk dayanımı, esnekliği ve ses yalıtım özellikleri sebebiyle tercih edilecek hususları ortaya konmuştur.

Eldin ve Senouci (1993) çalışmasında betonda iri agrega yerine farklı yüzdelerde kırılmış lastik ikamesi ile çekme gerilmesinde %50, basınç dayanımında ise %15 seviyesinde azalmalar görüldüğü, ancak malzemenin enerji yutabilme özelliği sebebiyle gevrek kırılma yapmadığını belirtmiştir. Khatip ve Bayomy (1999) çalışması, Eldin (1993) çalışmasına paralel olup kendi deneysel çalışması ile bu makaledeki veriler

karşılaştırılmış, yapılan çalışma sonucunda atık lastiğin betona agrega olarak katılma yüzdesi ile elde edilecek basınç dayanımı arasında amprik bir bağıntı kurulmuştur. Sonuç olarak yazarlar %20'nin üzerinde lastik atığın betona katılmamasını tavsiye etmişlerdir.

Benazzouk ve diğ., (2007) çalışmasında, lastik içeriğinin arttıkça şekil değiştirme kapasitesinin arttığını, lastiğin tokluğu geliştirdiğini belirtmiştir. Deney programında kapilarite testi yapılmış olup kapilarite ile durabilite arasında ters orantı olduğu belirtilmiştir. Yapılan deneylerde hacimce lastik kullanım yüzdesi arttıkça basınç dayanımı ve elastisite modülünde azalma belirlenmiştir. Gerilme-şekil değiştirme diyagramının incelenmesi ile lastik kullanım yüzdesi arttıkça elastisite modülü değeri azalmakta ve malzeme daha az kırılğan özellik göstermektedir. Kapilarite deneyi ile elde edilen geçirgenlik katsayılarının değerlendirmesinde katkısız betona ait değer  $0,193 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^{1/2}$  iken katkı yüzdesinin artışı ile bu değer giderek azalmış ve  $0,037 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^{1/2}$  değerine inmiştir. Daha az geçirgenlik dayanıklılık anlamında daha iyi malzemeye işaret etmektedir.

Uygunoğlu ve Topçu (2010) çalışmasında, kendiliğinden yerleşen çimento harçlarında ince agrega yerine %0 ile %50 arasında 5 farklı oranda kırılmış lastik içeren harç numuneleri üzerinde çeşitli deneyler yapılmıştır. Beton harcına katılan atık lastiğin katkı yüzdesinin %50 olması halinde elastisite modülünde %47-68 arasında azalma olduğu belirtilmiştir.

Emiroğlu ve diğ., (2009) çalışmasında, lastik agregalı betonlarda elastisite modülünün TSE, ACI, BSI ve CEB tarafından önerilen amprik formüller ile deneysel sonuçlar birlikte değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmada eğilme dayanımı sırasında sehimler ölçülerek elastisite modülü hesaplanmıştır.

Elastisite modülünün hesaplanmasında; TSE tarafından (2.6) numaralı, ACI tarafından (2.7) numaralı, BSI tarafından (2.8) numaralı ve CEB tarafından (2.9) numaralı amprik denklemler önerilmiştir.

$$E=14000+3250.\sigma^{1/2} \quad (2.6)$$

$$E=0.043.\omega^{3/2}.\sigma^{1/2} \quad (2.7)$$

$$E=9100.\sigma^{1/3} \quad (2.8)$$

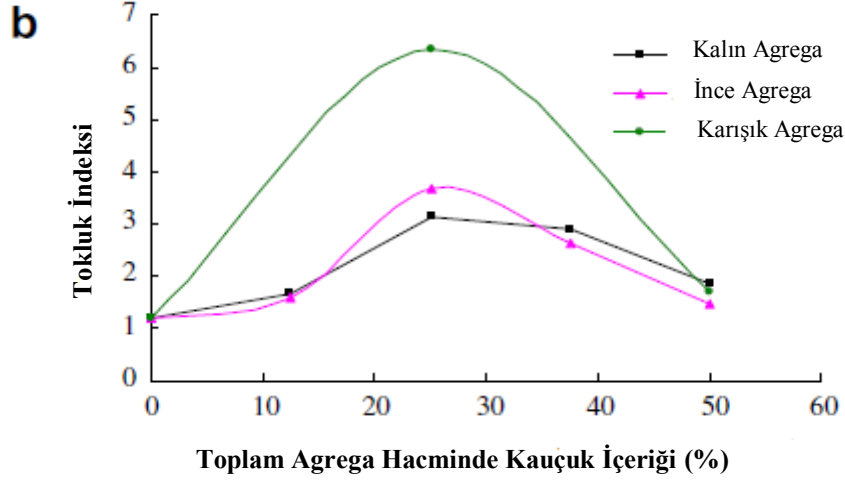
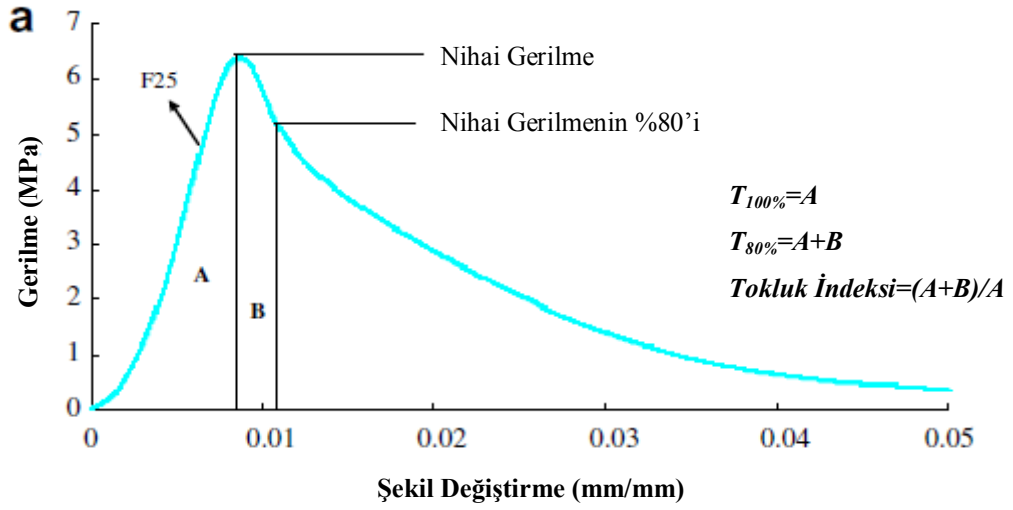
$$E=9500.(\sigma+8)^{1/3} \quad (2.9)$$

Burada;

E=Elastisite modülü (MPa),  $\omega$ =Birim ağırlık ( $\text{kg/m}^3$ ),  $\sigma$ =Basınç dayanımı (MPa)'nı göstermektedir.

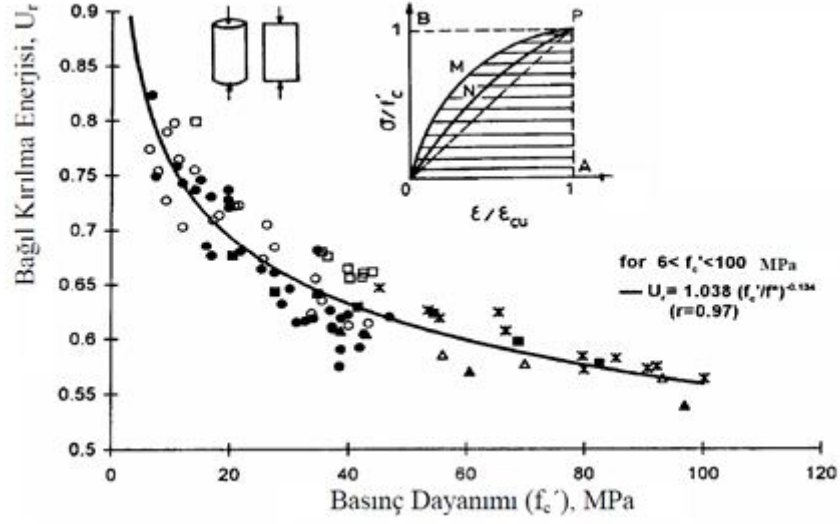
Lastik içeriğinin artışı ile amprik formüllerle deneysel veriler arası ilişkinin azaldığı, ACI tarafından önerilen formülün deneysel sonuçlara en yakın değerleri verdiği belirtilmiştir. Konuya gevreklik indeksi dahil edilerek statik ve dinamik elastisite modülünün incelendiği Zheng ve diğ. (2008) çalışması amprik formül olarak deneysel sonuca en yakın değerlerin ACI tarafından önerilen formül olduğunu belirtmiştir.

Khaloo vd. (2008) çalışmasında, lastik içeren betonun tokluğu; gerilme-deformasyon eğrisinde en üst nokta ile nihai gerilmenin %80'ine rastlayan nokta arasındaki alan hesaplanarak belirlenmiştir. Tokluk değeri; gerilmenin başlangıcından %80'ine kadar olan gerilme-deformasyon eğrisi altındaki alanın, gerilmenin en üst noktasına kadar olan gerilme-deformasyon eğrisi altındaki alana oranı olarak tanımlanmıştır. Şekil 2.1.a, söz konusu alanların her birini (A ve B) göstermektedir. Dayanım seviyesindeki azalmalar, nihai gerilme faktörü % 80 (nihai gerilmenin %80'i) seçilerek sınırlandırılmıştır. Böylece, tokluk indeksi ( $T_i$ ),  $T_i=T_{80\%}/T_{100\%}$  olarak ifade edilir. Farklı kauçuk yoğunlukları ve farklı karışımlar için Tokluk indeksleri Şekil 2.1.b'de sunulmuştur. Atık lastik içeren betonda, normal betona göre daha büyük tokluk elde edilmiştir. Tokluk indekslerini maksimum yapan lastik yoğunluğu, toplam agrega hacminin %25'i kadardır. %25'in ötesindeki kauçuk yoğunluğunda tokluk indeksleri azalmaktadır.



Şekil 2.1: (a) Tokluk indeksi değerlendirilmesi, (b) değişik kauçuk içerik oranlarına ait Tokluk indeks değerleri (Khaloo ve diğ., 2008)

Taşdemir ve Bayramov (2002) çalışmasında, yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışlarını araştırmışlardır. Basınç altında enerji yutma kapasitesine ait çalışma ile gerilme-şekil değiştirme verileri olmaksızın yutulan bağıl enerji ( $U_r$ )'nin hesabına yönelik ampirik formül önerilmiştir.



Şekil 2.2: Basınç altında enerji yutma kapasitesi (Taşdemir ve Bayramov, 2002)

Böylece normalize edilmiş eğriye dayanarak, yutulan bağıl enerji ( $U_r$ ) aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$U_r = \frac{\int_0^{\epsilon_u} \sigma(\epsilon).d\epsilon}{f'_c \cdot \epsilon_u} \quad (2.6)$$

$$U_r = 1,038 \left( \frac{f'_c}{f^*} \right)^{-0,134} \quad (2.7)$$

burada  $f^* = 1$  MPa'dır. Denklem (2.7) ile gösterilen bağıntıda, korelasyon katsayısının  $r=0.97$  seviyesinde olduğu ve denklemde basınç dayanımlarının 6 MPa'dan 100 MPa'a kadar olan bir aralık için geçerli olduğu, Taşdemir ve Bayramov (2002) tarafından belirtilmiştir.

## 2.4. ÇİMENTO HARÇLARINDA MİKROYAPI ÖZELLİKLERİ

Hidratasyon süreleri boyunca iç yapıda meydana gelen değişimler CSH jellerinin oluşumu, etrenjit oluşumu, hidrate olmuş bölgeler gözlemlenir. Ayrıca karşılaştırılması muhtemel farklı yapılar görüntüler taranarak incelenir. Böylece planlanan reaksiyonların gerçekleşip gerçekleşmediği, yapıların oluşup oluşmadığı hakkında bilgi sahibi olunur.

Turki ve diğ. (2009) çalışmasında, ince agrega yerine hacimce ikame edilen atık lastik %0-50 yüzdesinde katılarak mikroyapı özellikleri SEM ve XRD analizleri ile incelenmiştir. Harç yapısına ait porozite ve hidratasyon ürünleri bu analizler ile değerlendirilmiştir. SEM analizleri ile kimyasal içeriğin nitelik (qualitative) analizi, kimyasal içeriğin miktarsal analizi için XRD analizi yapılmıştır. Mikroyapı SEM analizi incelemelerinde çimento matrisi ile atık malzeme arası açıklığı ( $\mu\text{m}$  seviyesinde) ile atık yüzdesi arasında doğru orantı bulunduğu belirtilmiştir. XRD analizlerinde Ca ve Si piklerinde yoğunluk olduğu bunun malzeme içeriği gözönüne alındığında kendilerini şaşırtmadığını belirtmiştir.

## 2.5. ÇİMENTO HARÇLARINDA MİNERALojİK ÖZELLİKLERİ

Çimento harcı numunelerindeki mineralojik özellikleri ve değişkenlikleri belirleyebilmek için XRD analizlerinden yararlanılmaktadır. Bu konuda Ubbriaco ve Calabrese (1998) çalışmasında, 4x4x16 cm boyutlarındaki çimento harcı örneklerine uçucu kül eklenmesi ile iç yapılarındaki değişiklik araştırılmış, XRD analizinde d:7.58 angström noktasına karşılık gelen kısımda kendini gösteren değişikliğin DTA/TG analizi ile elde edilen veriyi doğruladığı, DTA/TG analizi ve XRD araştırmaları ile çimento hamuruna ait hidratasyon sürecinin tanımlanabileceği belirtilmiştir. Dorum ve diğ. (2009) ve (2010) çalışmasında, portland çimentosu ve uçucu kül katkılı çimento hamuru üzerinde 2, 7, ve 28 günlük kür süreleri sonunda ileri analiz yöntemleri uygulanmıştır. XRD analizlerinde piklerin tanımladığı yapıların değişimi üzerinden faz gelişimi ve yapının değişimi üzerine incelemeler yapılmıştır. FT-IR ile hidratasyon gelişiminin incelenmesinde piklerin değeri ve şiddetleri göz önünde tutulmuş ve ileri analiz yöntemlerinden, termal analizlerden elde edilen sonuçların, XRD ve FT-IR analizlerinden elde edilen bulgularla uyumlu olarak geliştiğini göstermiştir.



## 2.6. ÇİMENTO HARÇLARINDA DTA-TGA-TG ÖZELLİKLERİ

Çimento numunelerinde sıcaklıktan kaynaklanan kütle kayıplarının belirlenmesi ve oluşan hidrasyon ürünlerinin ileri analizler ile tanımlanabilmesi için DTA-TGA-TG analizlerinden faydalanılmaktadır. Vedalakshmi ve diğ. (2003) çalışmasında, dayanımı artırmak için kullanılan katkı maddelerinin beton iç yapısında oluşturduğu etkiyi açıklamak amacıyla sahip olduğunu, DTA-TG analizi sonucu hidrasyon süresinin artışı ile  $\text{Ca(OH)}_2$  miktarının azaldığı belirtilmiştir. Ubbriaco ve Calabrese (1998) çalışmasında, 4x4x16cm boyutlarındaki çimento harcı örneklerine uçucu kül eklenmesi ile iç yapılarındaki değişiklik araştırılmış, DTA/TG analizi sonucunda endotermik reaksiyon etkisi olarak  $100^\circ\text{C}$ 'de etrenjit ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot32\text{H}_2\text{O}$ ) hidrasyonu ve  $700^\circ\text{C}$ 'de dekarbonasyonun olduğu belirtilmektedir. Endotermik etki sebebiyle DTA eğrisinde  $165^\circ\text{C}$ 'de kendini gösteren hidrokarboalüminat, XRD analizinde kendini gösterdiği ve DTA-TG ve XRD araştırmaları ile çimento hamuruna ait hidrasyon sürecinin tanımlanabileceği belirtilmiştir. Dorum ve diğ. (2010) çalışmasında, hidrasyona uğrayan çimento hamurunun yaklaşık  $100^\circ\text{C}$ 'de kapiler boşluklardaki suyun dehidrasyonu ve  $100\text{-}200^\circ\text{C}$ 'lerdeki endotermik etkiler, C-S-H jellerinin farklı aşamalarda dehidrasyonu olarak geliştiği,  $478$  ve  $498^\circ\text{C}$  sıcaklık aralığında ise  $\text{Ca(OH)}_2$  (CH)'nin dehidrasyonunun geliştiği belirtilmiştir.  $\text{CaCO}_3$ 'ün dekarbonasyonu  $757$  ve  $773^\circ\text{C}$  aralığında gelişmiş, TG analiz sonuçlarından elde edilen kütle kayıplarının, hidrasyon günlerindeki farklılığa ve katkılara göre olduğu belirtilmiştir. Böylece DTA-TG analizlerinden elde edilen sonuçların, XRD ve FT-IR analizlerinden elde edilen bulgularla uyumlu olarak geliştiğini belirtmiştir.

## 2.7. ÇİMENTO HARÇLARINDA FTIR ÖZELLİKLERİ

Çimento numunelerinin hidrasyon reaksiyonlarından sonra oluşan bağ yapılarının aydınlatılabilmesine yardımcı olması amacıyla FTIR analizlerinden faydalanılmaktadır. Hidalgo ve Petit (2007) çalışmasında, çimento harçlarına mineral katkı ilavesinin CSH jellerindeki kalsiyum oranının düşmesine neden olduğu belirtilmiştir. Dorum ve diğ. (2010) çalışmasında, FTIR ile hidrasyon gelişiminin incelenmesinde piklerin değeri ve şiddetleri göz önünde tutulmuştur. FTIR grafiklerinde,  $3606\text{-}3642\text{ cm}^{-1}$  bölgesi, C-S-H'nin kalsiyum hidroksit bağlarını, bağlanmış ve absorbe edilmiş suyun varlığını göstermekte olduğunu, yapıya tutunmamış suyun  $3400\text{-}3421$  ve  $1606\text{-}1642\text{ cm}^{-1}$ ,

karbonat fazlarının 1391-1413, 846-868 ve 635-703  $\text{cm}^{-1}$ , sülfat fazlarının 1110-1113  $\text{cm}^{-1}$  bölgelerinde görülmekte olduğunu belirtmiştir. Bunun yanı sıra hidrate olmamış kalsiyum silikatların (CS), 412-443 ve 481- 506  $\text{cm}^{-1}$  ve hidrate olmuş CS'lerin, 906-961  $\text{cm}^{-1}$  bölgelerinde görülmekte olduğu, 2800-3700  $\text{cm}^{-1}$  bölgesindeki geniş absorpsiyon bandının  $\text{CaCO}_3$ 'ün varlığını göstermekte olduğunu ve hidratasyon süresi arttıkça bu bandın zayıflamakta olduğunu belirtmiştir. 800-1100  $\text{cm}^{-1}$  bölgesindeki ana pikin yanlarındaki pikin  $\text{C}_2\text{S}$ 'in varlığını gösterdiğini ve bu piklerin hidratasyon süresi ilerledikçe azalması çimento hamurunun sertleştiğini göstermekte olduğunu belirtmiş ve çimento hamurundaki CH piklerinin PÇ'ye göre tüm yaşlarda azaldığı ve bu durumun da XRD sonuçları ile uyum sağladığını belirterek ileri analizler yöntemlerinin birbiri ile ilişkisine vurgu yapmıştır.

### **3. MALZEME VE YÖNTEM**

#### **3.1. KULLANILAN MALZEMELER**

Deney numunesi olarak üretilen beton harçları TS EN 196-1 esaslarına göre Rilem Kumu, su ve çimentodan oluşmaktadır. Tez çalışmasında ilave olarak atık lastik ve kazınmış asfalt çimento yerine ikame edilmiş olup kullanılan malzemelere ait bilgiler aşağıdaki gibidir:

##### **3.1.1. Portland Çimentosu**

Deneyisel çalışmaların hepsinde, TS EN 197-1 standartlarına uygun, Set Çimento A.Ş. Trakya Pınarhisar tesislerinde üretilen, CEM II/AL-LL 42.5 N Portland Kalkerli Çimento kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılan CEM II/A-LL 42,5 N, Portland Kalkerli çimento bileşiği TS EN 197-1 kapsamında tanımlanan 27 adet çimento grubundan biridir. Çimentonun içeriği %80-94 aralığında klinker ve %6-20 aralığında kalker (kireçtaşı) (LL (toplam organik karbon içeriği kütlece %0,20 yi aşmadığı anlamına gelmektedir)) içermektedir.

Deneylerde kullanılan CEM II/A-LL 42,5 N, Portland Kalkerli çimentonun TS EN 197-1 kapsamında tanımlanan basınç dayanımı değerleri (MPa);

2 günlük>10,0

28 günlük>42,5 ve <62,5

Priz başlama süresi (dk) >60 olarak verilmiştir. (TS EN 197-1, 2002)

##### **3.1.2. Atık Lastik**

İSFALT A.Ş. den temin edilen elenmiş atık lastik kullanılmıştır. Atık lastiğe ait fiziksel özelliklere ait deneyler yapılamamıştır. Elementel analize ait sonuçlar Tablo 3.1’de sunulmuştur.

### 3.1.3. Kazınmış Asfalt

İSFALT A.Ş. den temin edilen elenmiş atık kullanılmıştır. Kazınmış asfalta kimyasal özelliklerini gösteren tablo, Tablo 3.1’de sunulmuştur. Kimyasal analizlerin yapıldığı XRF Cihazı Thermo Elektron Corp. marka, Sequential XRF-Advant XP model olup, XRF, kompleks numunelerin analizinde iyi bir performans ve esneklik sağlamaktadır. Hafif elementler kolay ve net bir şekilde tespit edilmektedir. Set Çimento Ambarlı tesislerinde bulunan XRF cihazı numunelerin kimyasal analizinde kullanılmıştır.

Tablo 3.1 : Kullanılan atıkların kimyasal analizleri

Num. Adı	% K.Kayıbı	% SiO <sub>2</sub>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% CaO	% MgO	% SO <sub>3</sub>	% K <sub>2</sub> O	% Na <sub>2</sub> O
Kazınmış Asfalt	36,64	13,1	3,41	1,45	39,45	3,27	0,02	1,13	0,46
Atık Lastik	C:%75.38		H:%6.5,		N:%0.62				



Şekil 3.1: XRF Cihazı

### 3.1.4. Kum

Deneysel çalışmalarda Set Çimento A.Ş.’den temin edilen ve TS EN 196-1 de granülometri dağılımı ve özelliği belirtilmiş, paketlenmiş halde bulunan, standart RILEM kumu kullanılmıştır.

### 3.2. KARIŞIM ORANLARI VE ÇİMENTO HARÇ ÜRETİMİ

Deneylede kullanılan atık lastik dört farklı elek aralığına sahip malzemedir. Bu aralıklar Tablo 3.2.'de sunulmuştur.

Tablo 3.2. Atık lastik ve kazınmış asfalt boyutları

Atık lastik				Kazınmış asfalt		
A	B	C	D	E	F	G
0-0.075mm	0.075-0.18	0.18-0.425	0.425-2mm	40 no elek üstü	80 no elek üstü	200 no elek üstü

#### 3.2.1 Kullanılan Karışım Oranları

Kullanılan atıklar herbir tane boyutu için ağırlıkça %5, %10 ve %15 olarak çimentoya katılmıştır ve numuneler No 1'den No: 26 ya kadar sıralanmıştır ve sonuçlar Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3 : Çimento numunelerinin karışım oranları

Numune no (#)	Numune içeriği
1	Çimento (referans)
2	%5 A
3	%5 B
4	%5 C
5	%5 D
6	%5 E
7	%5 F
8	%5 G
9	%10 A
10	%10 B
11	%10 C
12	%10 D
13	%10 E
14	%10 F
15	%10 G
16	%15 A
17	%15 B
18	%15 C
19	%15 D
20	%15 E
21	%15 F
22	%15 G
23	%10 D + %20 G
24	%10 C + %20 G
25	%10 A + %20 E
26	%10 B + %20 F

Tablo 3.4 : Kullanılan katkıli çimentoların kimyasal analizleri

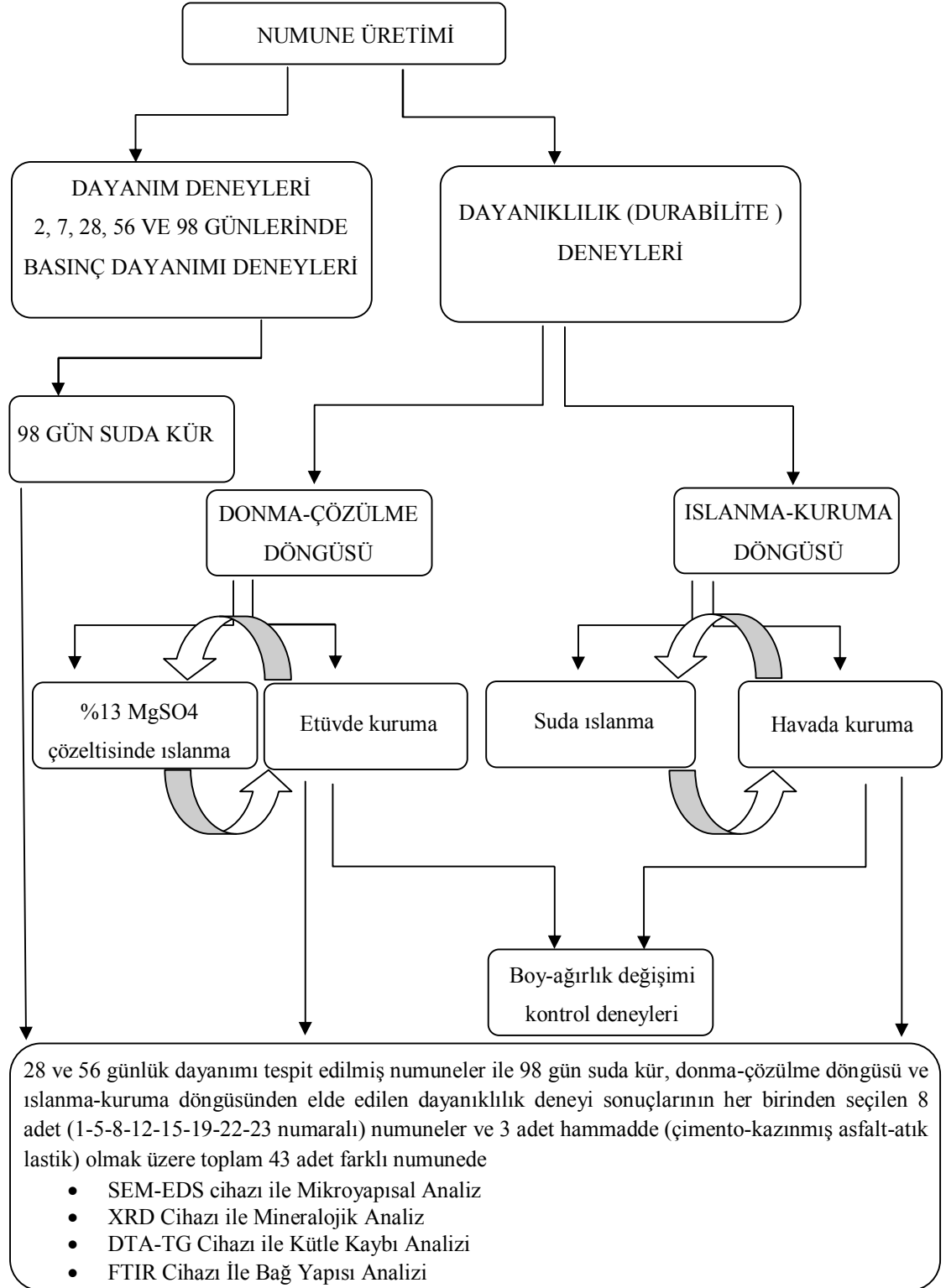
Numune. Adı	% K.Kaybı	% SiO <sub>2</sub>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% CaO	% MgO	% SO <sub>3</sub>	% K <sub>2</sub> O	% Na <sub>2</sub> O
1	8,38	17,53	4,73	2,08	61,87	1,16	3,42	0,75	0,35
2	12,1	17,01	4,58	2,1	60,34	1,12	0,1	0,76	0,38
3	12,37	16,9	4,52	2,02	60,08	1,09	0,08	0,76	0,37
4	12,3	16,98	4,53	2,03	60,14	1,1	0,3	0,76	0,38
5	12,56	16,79	4,49	2,01	60,19	1,08	0,03	0,76	0,37
6	10,44	16,8	4,53	1,99	60,84	1,35	3,07	0,74	0,33
7	9,83	17,16	4,55	2,04	60,99	1,24	3,12	0,75	0,39
8	9,8	17,19	4,58	2,04	60,87	1,25	3,3	0,76	0,32
9	15,83	16,31	4,29	2,1	57,27	1,06	0	0,76	0,45
10	16,3	15,82	4,15	1,95	56,11	1,02	0	0,74	0,47
11	16,44	16,09	4,21	1,91	57	1,03	0	0,76	0,41
12	16,39	16,09	4,24	1,93	57,25	1,03	0,01	0,76	0,48
13	11,42	16,56	4,42	1,96	60,26	1,32	2,77	0,76	0,31
14	11,43	17,38	4,55	1,99	59,15	1,37	2,49	0,77	0,33
15	11,24	17,02	4,52	2,02	59,83	1,35	2,79	0,77	0,32
16	19,52	15,41	4,03	2,03	53,83	1	0	0,75	0,44
17	19,92	15,78	4,1	1,81	54,06	1	0,01	0,75	0,56
18	20,1	15,74	4,12	1,85	54,01	1,02	0,11	0,75	0,57
19	19,56	15,37	4	1,79	53,99	0,98	0,01	0,74	0,53
20	13,18	16,12	4,31	1,92	59,61	1,38	2,21	0,75	0,38
21	12,78	16,72	4,4	1,97	58,94	1,42	2,48	0,77	0,39
22	12,67	16,84	4,5	1,97	58,53	1,46	2,85	0,78	0,4
23	22,27	17,79	4,65	1,88	58,04	1,72	0,12	0,91	0,6
24	21,99	15,34	4,01	1,83	52,26	1,47	0	0,81	0,52
25	21,89	14,73	3,78	1,8	53,55	1,41	0,04	0,74	0,47
26	22,29	15,31	3,9	1,77	52,49	1,44	0	0,8	0,51

Tablo 3.3.'de karışım oranları verilen çimentoların kimyasal analizleri Tablo 3.4.'de sunulmuştur.

### 3.2.2 Çimento Harç Üretimi

Çimento harçları üretiminde TS EN 196-1 standardına göre, ağırlıkça kum/çimento/su oranı 3/1/0.5 olacak şekilde hazırlanmıştır. Buna göre; 1350 gr standart kum, 225 gr su, 450 gr(çimento+atık katkı) kullanılmıştır. Atık katkı ilerideki bölümlerde dikkat çekileceği üzere agrega yerine değil, çimento yerine ikame edilmiştir.

### 3.3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR



Şekil 3.2 : Deney Programı

### 3.3.1. Fiziksel Deneyler

#### 3.3.1.1. Yoğunluk

Çimento numunlerinin yoğunluk tayini için Set çimento Ambarlı tesislerinde bulunan AccuPyc 1330 piknometre cihazı kullanılarak tayin edilmiştir. Cihaz birim hacimde yer değiştiren gaz hacmi karşılığı

Prensibe göre katı haldeki numune içerisinden gaz geçirmek sureti ile bu gazın yer değiştirmesini ölçerek numunenin yoğunluğunu hesaplamak ilkesi ile çalışır kullanılan gazın ideal gaz olduğu kabul edilebilir. Helyum gazının kullanılması önerilmekle beraber azot gazı da kullanılabilir.



Şekil 3.3 : Elektronik Piknometre cihazı

#### 3.3.1.2. İncelik (Blaine)

Katkılı çimento numunelerinin incelik (Blaine Deneyi) TS EN 196-6 standartına göre “hava geçirgenlik metodu” ile yapılmıştır. İncelik deneyi Set çimento Ambarlı tesislerinde bulunan Blaine cihazı kullanılarak yapılmıştır.

Yöntem, prensip olarak belirlenmiş boyut ve porozitedeki sıkıştırılmış bir çimento yatağından sabit hava miktarının geçtiği sürenin gözlenmesiyle özgül yüzeyin ölçülmesidir. Deneyden önce özgül ağırlığın belirlenmesi gereklidir.





Şekil 3.4 : Otomatik Blaine cihazı

#### 3.3.1.3. Priz süresi tayini (Vicat)

Set çimento Ambarlı tesislerinde bulunan otomatik Vicat cihazları kullanılarak katkı çimento hamurlarının priz başlangıç ve sonlanma süreleri tespit edilmiştir.

Vicat aleti ile priz süresi tayini ve çimento hamurunun normal kıvamda olabilmesi için ne kadar su içermesi gerektiği belirlenir. Priz süresi tayini deneyi 10dk aralıklarla tekrarlanır. Cihaza ait batma iğnesi ile taban plakası arasındaki mesafe  $4 \pm 1$  mm. oluncaya kadar geçen süre priz başlangıç süresi olarak kaydedilir. Priz sonu süresi tayini için ilk okumanın ardından iğnenin ilk 0.05 mm kadar battığı an arasındaki süre ölçülür.

#### 3.3.1.4. Lazer granülometrisi ile tane boyut dağılımı

Katkılı çimento numunelerinin tane dağılımlarının ölçülmesinde Set Çimento Ambarlı tesislerinde bulunan Malvern marka Mastersizer cihazı kullanılmıştır. Cihazın çalışma prensibi, sabit dalga boyunda bir lazer kullanılarak kırılım (saçılım) açısının tane boyutu ile ters orantılı olması esasına dayanmaktadır. Bu cihaz yardımı ile  $1 \mu\text{m}$ - $2000 \mu\text{m}$  arasındaki tane dağılımı sınıflandırılmıştır. Cihaz, ortam içerisinde ışığın tanede kırılımını ve geçirgenliğini dikkate almaktadır.



Şekil 3.5 Lazer granülometrisi cihazı

### 3.3.2. Dayanım ve Dayanıklılık Deneyleri

#### 3.3.2.1. Basınç dayanımı deney serileri

Çimento harcı numunelerinin, deney programında 2, 7, 28, 56 ve 98 gün olarak tespit edilen kür süreleri sonunda basınç dayanım testleri yapılmıştır. Basınç dayanımının belirlenmesinde Set çimento Ambarlı tesislerinde bulunan ve sn de 5 kgf artış ile ölçüm yapan ve numunenin kırıldığı anda çalışmasını otomatik olarak durduran cihaz kullanılmıştır. Cihaz durduktan sonra ekranda donan görüntüden basınç dayanım sonucu okunabilmektedir. Çimentoların basınç dayanımlarının nasıl belirleneceği ve uygunluk koşulları TS EN 196-1 standardında belirtilmiştir.



Şekil 3.6 Basınç dayanım cihazı

### 3.3.2.2. Eğilme dayanımı deney serileri

Çimento harcı numunelerinin, 98 günlük kür süreleri sonunda eğilme dayanım testleri yapılmıştır. Eğilme dayanımının belirlenmesinde Set çimento Ambarlı tesislerinde bulunan ve sn de 5 kgf artış ile ölçüm yapan cihaz kullanılmıştır. Çimentoların basınç dayanımlarının nasıl belirleneceği ve uygunluk koşulları TS EN 12390-5 Beton, Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini standardında belirtilmiştir.



Şekil 3.7 Eğilme dayanımı ölçüm cihazı

### 3.3.2.3. Dayanıklılık deney serilerinde $MgSO_4$ Çözeltisi Yöntemi ile Donma-çözülme

Katkılı çimento numuneleri donma-çözülme deneyi için %13 (ağırlıkça) magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) içeren çözelti kullanılmıştır. Deneyler TS EN 1367-2 standardına göre yapılmıştır. Numuneler bu çözelti içerisinde bir hafta bekletildikten sonra çıkarılarak bir hafta da 105 °C'de etüv içerisinde tutulmuştur. Bir hafta çözelti içinde, bir hafta etüvde geçen süre bir çevrim olarak alınmıştır ve bu çevrim 5 defa tekrarlanmıştır.

### 3.3.2.4. Dayanıklılık deney serilerinde ıslanma-kuruma

Katkılı çimento numuneleri ıslanma-kuruma deneyi için kür tankında bir hafta bekletildikten sonra çıkarılarak bir hafta da laboratuvar ortamında havada kurutulmuştur. Bir hafta kür tankında, bir hafta havada geçen süre bir çevrim olarak alınmıştır ve bu çevrim 5 defa tekrarlanmıştır.

### 3.3.2.5. Dayanıklılık deney serilerinde ağırlık değişimi

Yukarıda anlatılan donma-çözülme ve ıslanma-kuruma deneylerinin her bir çevrimi sonunda her kür süresi için numunelerin ağırlık değişimleri ölçülmüştür. Çevrimden çıkan numune

$$W_D = (W_t - W_0) / W_0 \times 100 \quad (3.1)$$

$W_D$ =Ağırlık değişimi (%)  $W_t$ =t süredeli ağırlık (gr)  $W_0$ =Başlangıçtaki ağırlık (gr)

### 3.3.2.6. Dayanıklılık deney serilerinde boy değişimi

Yukarıda anlatılan donma-çözülme ve ıslanma-kuruma deneylerinin her bir çevrimi sonunda her kür süresi için numunelerin boy değişimleri ölçülmüştür.

$$l_D = (l_t - l_0) / l_0 \quad (3.2)$$

$l_D$ =Boy değişimi ( $\mu$ /mm),  $l_t$ =t süredeki boy (mm),  $l_0$ =Başlangıçtaki boy (mm)

### 3.3.2.7. Dayanım ve dayanıklılık deney serilerinde kılcallık

Bu deney hava boşluğu olan gözenekli malzemenin kapiler su emme miktarının saptanması amacıyla TS 4045'e uygun olarak yapılmıştır. Kapiler su emme, suyun bir malzemedeki mevcut kılcal boru şeklindeki boşluklarda basınç vb bir dış kuvvet olmadan yükselmesidir. Malzemelerin su emme miktarı, hazırlanan deney numunesi kısmen suya daldırıldıktan sonra kütlelerinde meydana gelen artışların tespit edilmesiyle hesaplanmıştır. İlk önce deney numuneleri kuru ağırlıklarının tespiti için 24 saat 105°C'de etüve yerleştirilmiştir.

Ağırlık artışlarının tespiti için her bir deney numunesi, alt yüzeyi 0.5cm suyla temas edecek şekilde hazırlanan düzenekte 2, 4, 8, 30, 60, 120, 240 ve 1440 dk süre sonlarında temas yüzeyinden (cm<sup>2</sup>) emilen su miktarı gr cinsinden ölçülmüştür. Her bir numunenin kuru ağırlık ile belirtilen ölçüm zamanları arasındaki fark hesap edilmiştir.

### 3.3.2.8. Dayanım ve dayanıklılık deney serilerinde elastisite modülü ve tokluk analizi

Elastisite modülünün hesaplanmasında deneysel sonuçlardan elde edilen verilere en yakın değerlerin denklem (2.7) tarafından elde edildiği ilgili literatür çalışmalarında önerilmektedir. Hesaplamalarda, ACI raporunda yer alan (2.7) numaralı denklem

kullanılmıştır. Numunelerin tokluk değerlerinin hesaplanmasında, denklem (2.9) kullanılmıştır.

### 3.3.3. SEM-EDS Cihazı ile Mikroyapısal Analiz

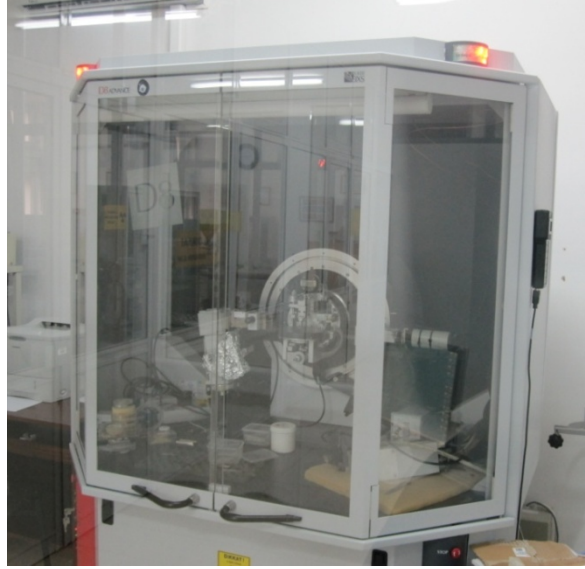


Şekil 3.8 SEM-EDS Cihazı

Kullanılan malzemelerin iç yapı görüntülerini tespit etmek ve elde edilen bu görüntüler üzerinden EDS aparatı kullanılarak malzemelerin elementel analizi yapılmıştır. Kullanılan taramalı elektron mikroskobu Zeiss marka, Supra 50 V modeldir. Bu deneyler Anadolu Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü Elektron Mikroskobu Laboratuvarında yapılmıştır. Numune hazırlama aşamasında deney yapılacak harç numunesinin homojen dağılım gösteren kısımlarından numune alınmasına dikkat edilmiştir. Numune elektron saçımında yansıma olmaması amacı ile altın paladyum kaplanmıştır. Kaplama vakum altında elektroliz esasına dayanmaktadır. Kaplanan numune elektro mikroskobuna yerleşime hazır hale getirilmiştir.

### 3.3.4. XRD Cihazı ile Mineralojik Analiz

X ışınları kırınım yöntemi kristalin malzemelerin karakterizasyonunda kullanılan temel tekniklerden biridir. Numune üzerine gönderilen x-ışınları farklı açılarda Bragg kanununa göre ( $n\lambda = 2d\sin\theta$ ) malzemedeki düzlemler tarafından kırınımına uğratılır. Bu yöntemle elde edilen sonuçlar her bir faz için parmak izi niteliğinde olup, malzeme içerisinde bulunan fazların tanımlanmasında kullanılır. Uygun paket programların kullanılmasıyla kantitatif olarak mineralojik analiz yapılabilmektedir. Bu deneyler Anadolu Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü XRD Laboratuvarında yapılmıştır. Numunelerin analizleri Bruker marka, D8 Advance modeli cihazda yapılmıştır.

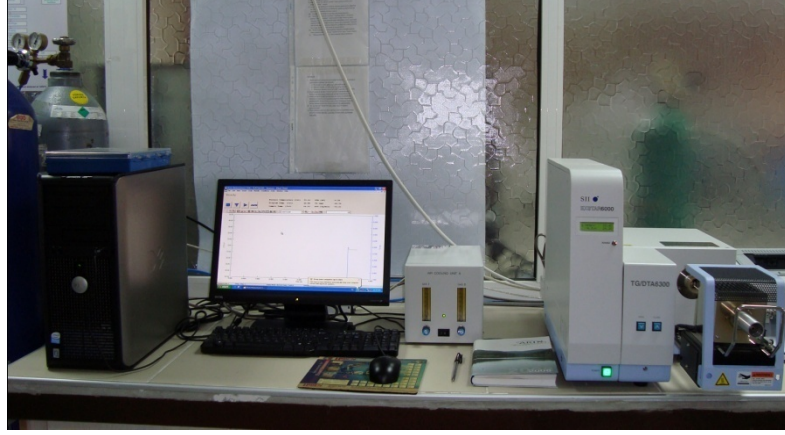


Şekil 3.9 XRD Analizi Cihazı

### 3.3.5. DTA-TG Cihazı ile Kütle Kaybı Analizi

Analizler, İstanbul Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü, Proses ve Reaktör Tasarımı Ana Bilim Dalı Laboratuvarı'nda, Seiko marka, Exstar 6000 TG/DTA 6300 modeli cihaz ile yapılmıştır. Diferansiyel termal analiz tekniği, numune ve referans madde arasındaki sıcaklık farkını, uygulanan sıcaklığın fonksiyonu olarak incelemektedir. Genelde, sıcaklık programı uygulanırken, numunenin sıcaklığı zamanla doğrusal olarak artacak şekilde, numune ve referans maddesi ısıtılır. Numune ve referans madde sıcaklığı arasındaki fark izlenerek numune sıcaklığına karşı grafiğe

alınır. DTA/TG analizleri yardımıyla minerallerdeki dönüşümler, erime, bozunma, su kaybı gibi özellikler belirlenir.



Şekil 3.10 DTA-TG Analizi Cihazı

### 3.3.6. FTIR Cihazı İle Bağ Yapısı Analizi

FTIR Spektrum Cihazı bileşiklerin bağ yapıları hakkında bilgi verir. Bütün bileşiklerin IR spektrumu birbirinden farklıdır. IR bölgesi elektromanyetik spektrumun görünür bölgesi ile mikro dalga bölgesi arasında yer alır. Bu bölge 4000-450  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyu arasındadır. Analizler, İstanbul Üniversitesi İleri Analizler Laboratuvarı'nda Perkin Elmer Precisely marka, Spectrum One model Fourier transform infrared spektroskopy cihazı kullanılarak yapılmıştır. Numuneler KBr ile toz haline getirilerek ve belli bir ölçüde preslenerek analize hazır hale getirilir.



Şekil 3.11 FTIR Analizi Cihazı

## 4. BULGULAR

### 4.1. FİZİKSEL DENEY SONUÇLARI

#### 4.1.1. Yoğunluk

En yüksek yoğunluk değerine ( $3.16 \text{ gr/cm}^3$ ) sahip karışım 8 numaralı numune olan %5 G katkısı içeren karışımdır. En düşük yoğunluk değeri ise ( $2.47 \text{ gr/cm}^3$ ) 19 numaralı numune olan %15 D katkısı içeren karışımdır. Referans numunesinden elde edilen yoğunluk değeri ise ( $3.02 \text{ gr/cm}^3$ ) bu iki değer arasındadır. Kazınmış asfalt içeren G katkı yüzdesi arttıkça yoğunluk değeri azalmaktadır. Sonuçlar Tablo 4.1.'de verilmiştir.

#### 4.1.2. İncelik (Blaine)

En yüksek incelik değerine ( $4634 \text{ cm}^2/\text{gr}$ ) sahip karışım 8 numaralı numune olan %5 G katkısı içeren karışımdır. En düşük incelik değeri ise ( $3013 \text{ cm}^2/\text{gr}$ ) 26 numaralı numune olan %10 B+ %20 F katkısı içeren karışımdır. Referans numunesinden elde edilen yoğunluk değeri ise ( $4435 \text{ cm}^2/\text{gr}$ ) bu iki değer arasındadır. Sonuçlar Tablo 4.1.'de verilmiştir.

#### 4.1.3. Priz süresi tayini (Vicat)

En erken priz başlama süresi 180dk ile 14 numaralı numunedir. Aynı numune en erken priz sonlanma süresi (250dk.) ile de diğer numuneler arasından ayrılmaktadır. 14 numaralı numune %10 F katkısı içeren numunedir. En geç priz başlangıç süresi 270 dk ile 23 numaralı numunedir. Aynı numune 430 dk priz sonlanma süresi ile yine en geç priz sonlanma süresine sahiptir. 23 numaralı numune %10 D + %20 G katkısı içermektedir. Sonuçlar Tablo 4.1.'de verilmiştir.



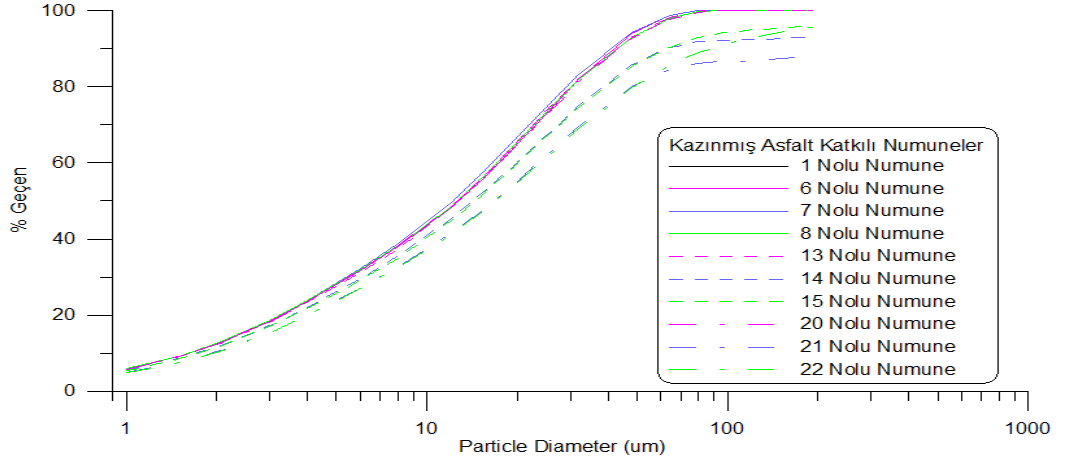
Tablo 4.1 : Çimento Hamurlarının Fiziksel Özellikleri

Numune Adı	% Su	Yayımla	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /gr)	Priz Süresi (dk.)	
					Baş.	Son.
1	32,3	139	3,02	4435	210	300
2	33,8	128	2,84	4221	240	350
3	31,8	130	2,82	4244	230	350
4	31,8	131	2,82	4216	220	340
5	31,5	134	2,82	4271	220	320
6	31,3	130	2,99	4226	190	270
7	31,3	131	2,95	4111	210	300
8	31,5	134	3,16	4634	220	310
9	33	115	2,66	4024	250	350
10	30,8	120	2,64	3989	210	350
11	30,8	116	2,64	4014	220	320
12	29,5	122	2,64	4082	240	320
13	28,8	133	2,96	3873	200	270
14	29,5	132	2,96	4080	180	250
15	31	132	2,96	4157	220	290
16	33,5	105	2,51	3749	280	390
17	30,3	103	2,5	3650	230	320
18	30,3	111	2,49	3715	250	360
19	30	112	2,47	3737	260	390
20	27	129	2,93	3793	180	260
21	28,3	128	2,93	3851	190	260
22	30	128	2,93	3937	180	260
23	29,5	111	2,56	3369	270	430
24	28,8	107	2,57	3322	230	330
25	28	109	2,58	3081	240	330
26	26,5	106	2,57	3013	230	320

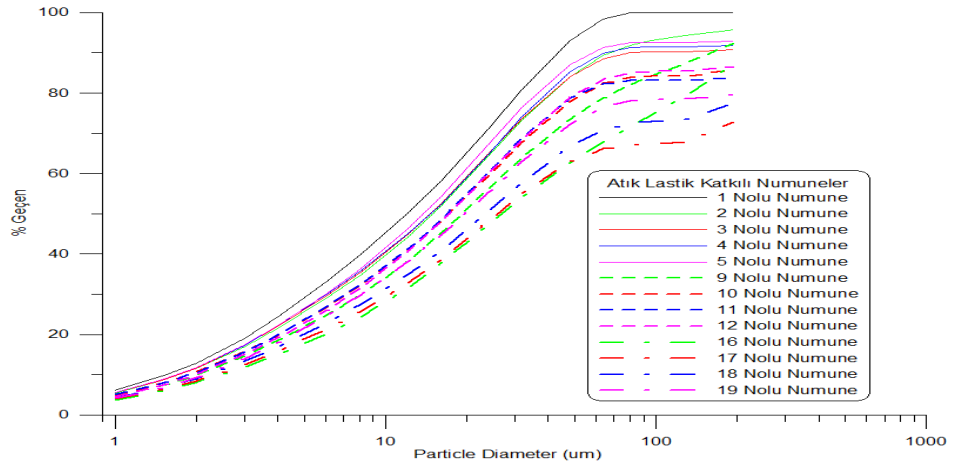
#### 4.1.4. Lazer granülometrisi ile tane boyut dağılımı

Lazer granülometri sonucuna ait tablo EK-1’de, grafikler ise Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3’de sunulmuştur.

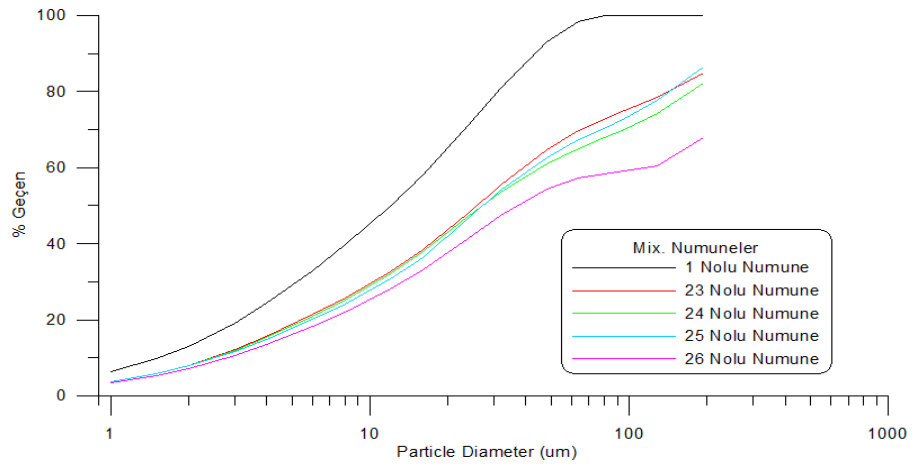
Kazınmış asfalta ait gradasyon grafiğinde, 14, 15, 21 ve 22 numaralı karışımlara ait eğriler diğerlerinden nispeten kalın malzeme içeriğine sahiptir. Geri kalan karışımlara ait gradasyon eğrilerinin tamamının çakıştığı Şekil 4.1’de görülmektedir. Şekil 4.2’de en ince malzeme gradasyonuna 1 numaralı referans numunenin sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.3’de ise karışım numuneleri verilmiştir. Bu grupta en ince tane boyut dağılımına 1 numaralı referans numune sahip iken en kalın gradasyon 26 numaralı numuneye ait olmaktadır.



Şekil 4.1 Kazınmış asfalt katkı numunelerinin tane boyut dağılımı



Şekil 4.2 Atık lastik katkı numunelerinin tane boyut dağılımı

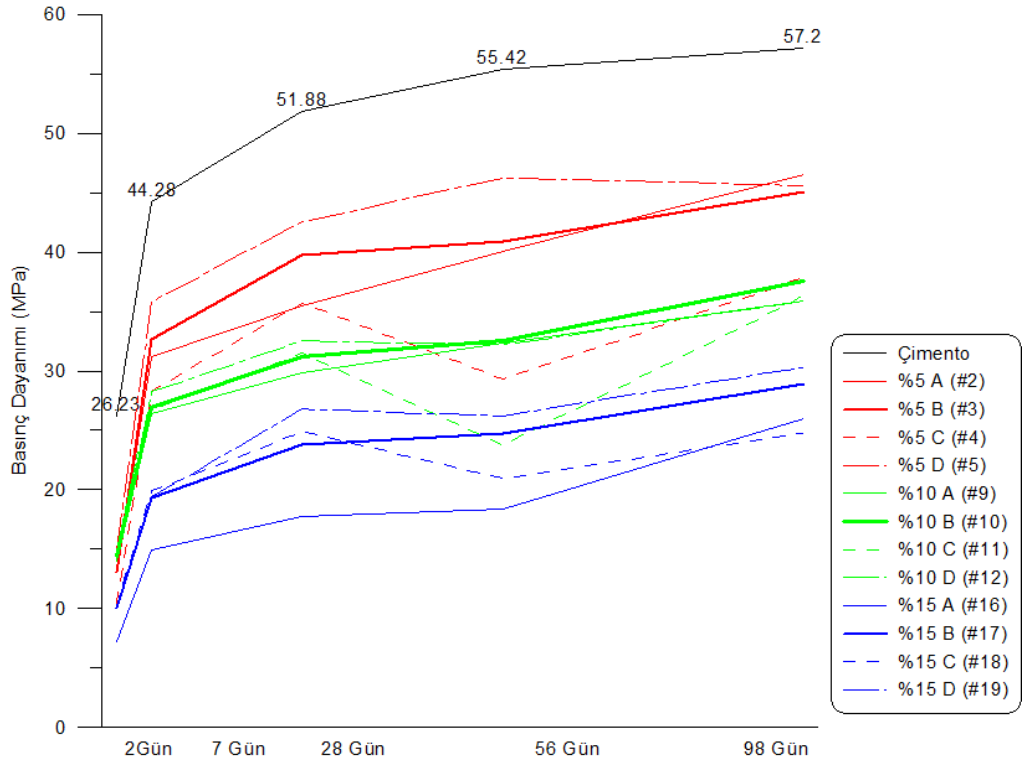


Şekil 4.3 Karma atık içeren numunelerinin tane boyut dağılımı

## 4.2. DAYANIM VE DAYANIKLILIK DENEY SONUÇLARI

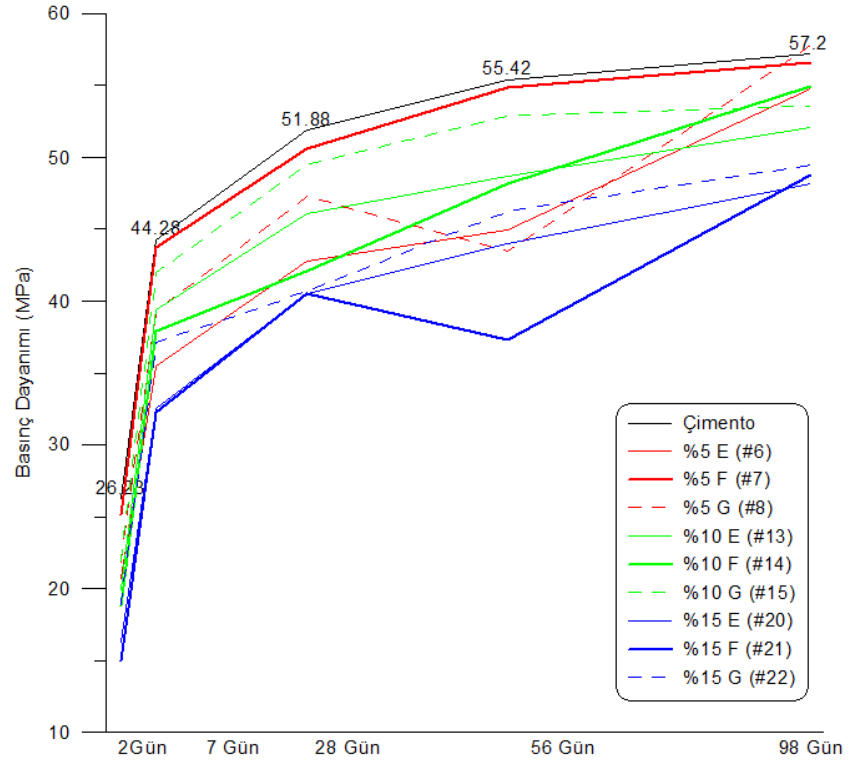
### 4.2.1. Basınç ve Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları

2, 7, 28, 56 ve 98 günlük kür süreleri sonunda deney sonucu elde edilen basınç dayanımı değerleri MPa cinsinden EK-1’de verilmiştir. X serisi 98 günlük normal kür koşullarında muamele edilen numuneyi temsil etmektedir. Bütün kür süreleri içinde en yüksek basınç dayanımı 98 günlük suda kür koşullarında sağlanmaktadır. En yüksek basınç dayanımı 8 numaralı karışıma ait olan sonuçtur (57.71 MPa). Bu değer referans numune basınç dayanımı değerine eşittir. En düşük dayanım değeri ise 25 numaralı numuneye aittir (24.23 MPa).



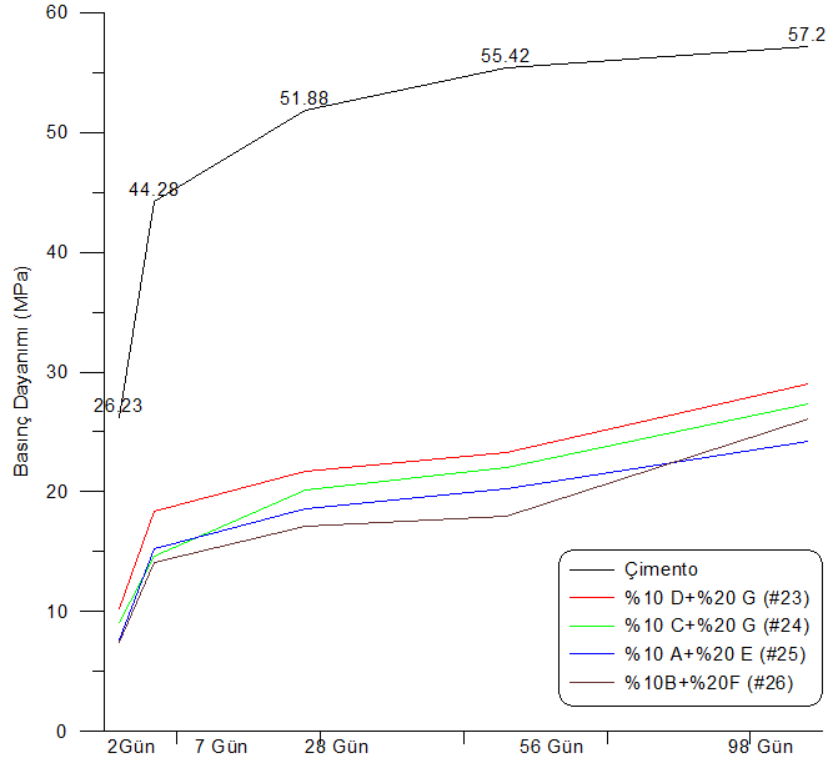
Şekil 4.4 Atık Lastik katkıli numunelerin basınç dayanım grafiği

Bütün kür süreleri için atık lastik katkıli bütün karışımlardan elde edilen basınç dayanım sonuçları referans numune sonucuna göre daha düşük dayanım değerleri vermiştir. Katkı yüzdesi arttıkça basınç dayanımlarında doğrusal bir azalma söz konusu olmuştur. Atık lastik ile ilgili literatür çalışmalarında numune boyutu büyüdükçe daha yüksek basınç dayanımı sonuçlarına ulaşıldığı görülmüştür (Yılmaz ve Değirmenci, 2009).



Şekil 4.5. Kazınmış asfalt katkılı numunelerin basınç dayanım grafiği

Bütün kür süreleri için kazınmış asfalt katkılı bütün karışımlardan elde edilen basınç dayanım sonuçları referans numune sonucuna göre daha düşük dayanım değerleri vermiştir. Katkı yüzdesi arttıkça basınç dayanımlarında bir azalma söz konusu olmuştur. Kazınmış asfalt katkılı numunelerden elde edilen basınç dayanımları sonuçları atık lastik katkılı numunelere göre daha yüksektir. Kazınmış asfalt boyutu düştükçe %10 ve %15 katkılı numuneler için basınç dayanımları artmaktadır. Ancak %5 katkılı numune için en ince tane boyutuna sahip 8 numaralı numunenin basınç dayanımları 98 gün hariç 7 numaralı numuneye göre düşük çıkmıştır. 7 numaralı numune referans çimento basınç dayanımı açısından en istikrarlı numunedir.



Şekil 4.6. Karma atık içeren numunelerin basınç dayanım grafiği

Karma atık içeren numunelerin basınç dayanım sonuçları referans numuneye göre yaklaşık olarak %50'nin üzerinde basınç dayanımında azalma göstermiştir. Numuneler kendi içlerinde atıkların tanecik boyutu dağılımı gözönüne alındığında tutarlı sonuçlar vermiştir.

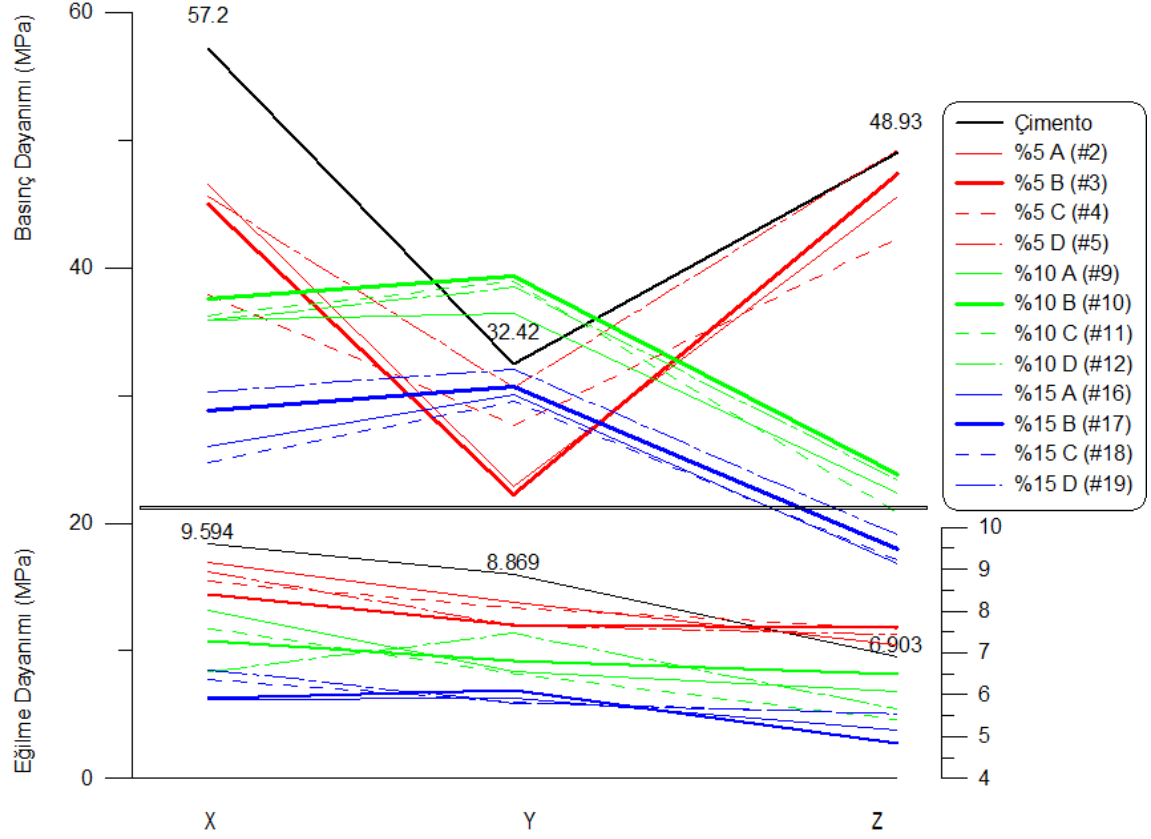
#### 4.2.2. Dayanıklılık Deney Sonuçları

Atık lastik, kazınmış asfalt ve karma numunelere ait dayanıklılık deneyleri sonrası basınç ve eğilme dayanım grafikleri Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9'da sırasıyla sunulmuştur. 98 günlük kür koşullarında gerçekleştirilen dayanıklılık deneylerine ait yorumlar aşağıdaki başlıklar halinde sunulmuştur.

##### 4.2.2.1 Donma-çözülme ve Islanma-Kuruma deney Sonuçları

Y serisindeki en yüksek basınç dayanımına 8 numaralı karışım (58.38 MPa), en düşük dayanım değeri ise 3 numaralı karışım (22.28 MPa) sahiptir.

Z serisindeki en yüksek basınç dayanımına sahip karışım 5 numaralı karışımdır (49.19 MPa), en düşük dayanım değeri ise 16 numaralı karışımdır (16.79 MPa).

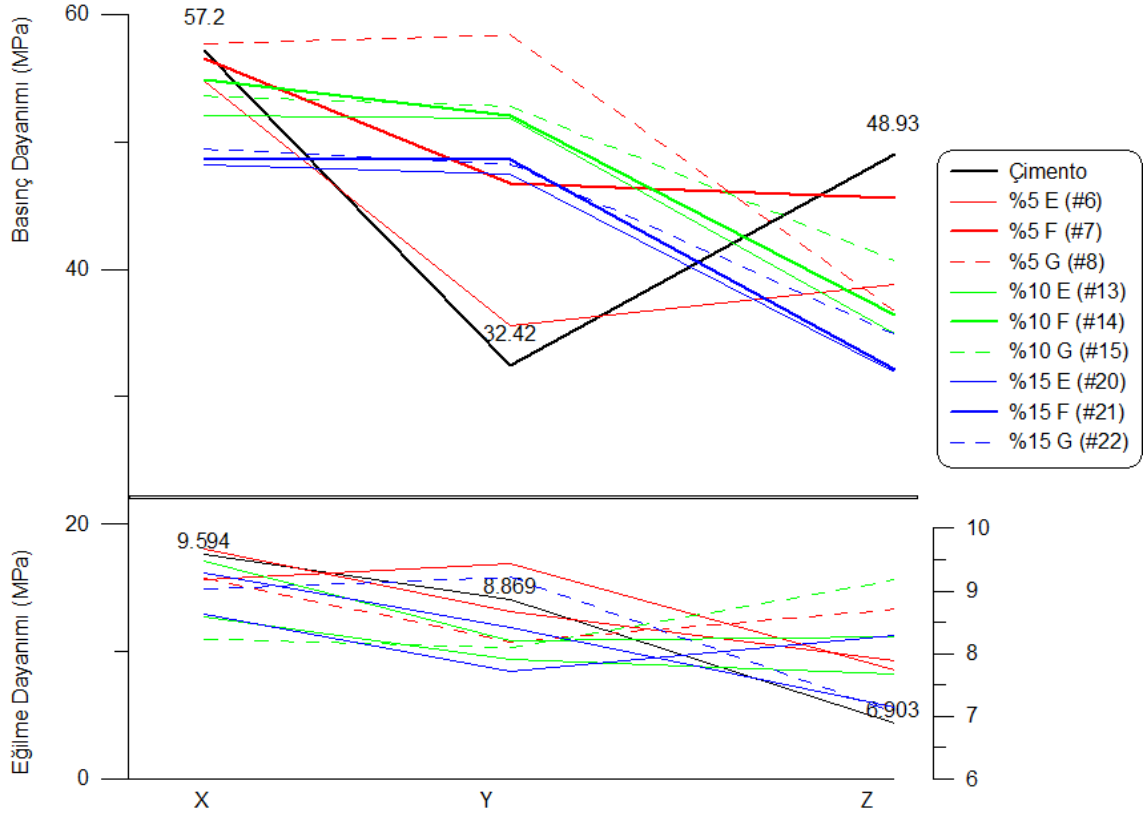


Şekil 4.7. Atık lastik katkıli numunelerin dayanıklılık deneyleri sonrası basınç ve eğilme dayanım grafiği

Atık lastik katkıli numuneler için, katkı içermeyen referans numune en düşük basınç dayanımını magnezyum sülfat ortamındaki kür sonucu üretilen numunelerde vermektedir. Bütün kür koşulları için referans numuneye en yakın eğilim %5 katkı içeren numunelerden elde edilmiştir. Bu numuneler de tıpkı referans numune gibi suda kür edilen numunelere göre önemli oranda düşük dayanım sonuçları vermiştir. %5 katkı içeren numuneler için; ıslanma-kuruma numunelerinden elde edilen sonuçlar suda kür edilen numunelerden elde edilen sonuçlara çok yakındır. %10 ve %15 katkı içeren Y serisi numuneler, X serisi numunelerine göre daha yüksek dayanım sonuçları vermiştir. %5 katkıli numunelerde ise önemli oranda azalma gözlenmektedir.

Atık lastik katkıli numuneler için katkı oranı arttıkça numunelerin eğilme dayanımları azalmaktadır. En yüksek eğilme dayanımı değerine referans çimento ulaşmıştır. Atık

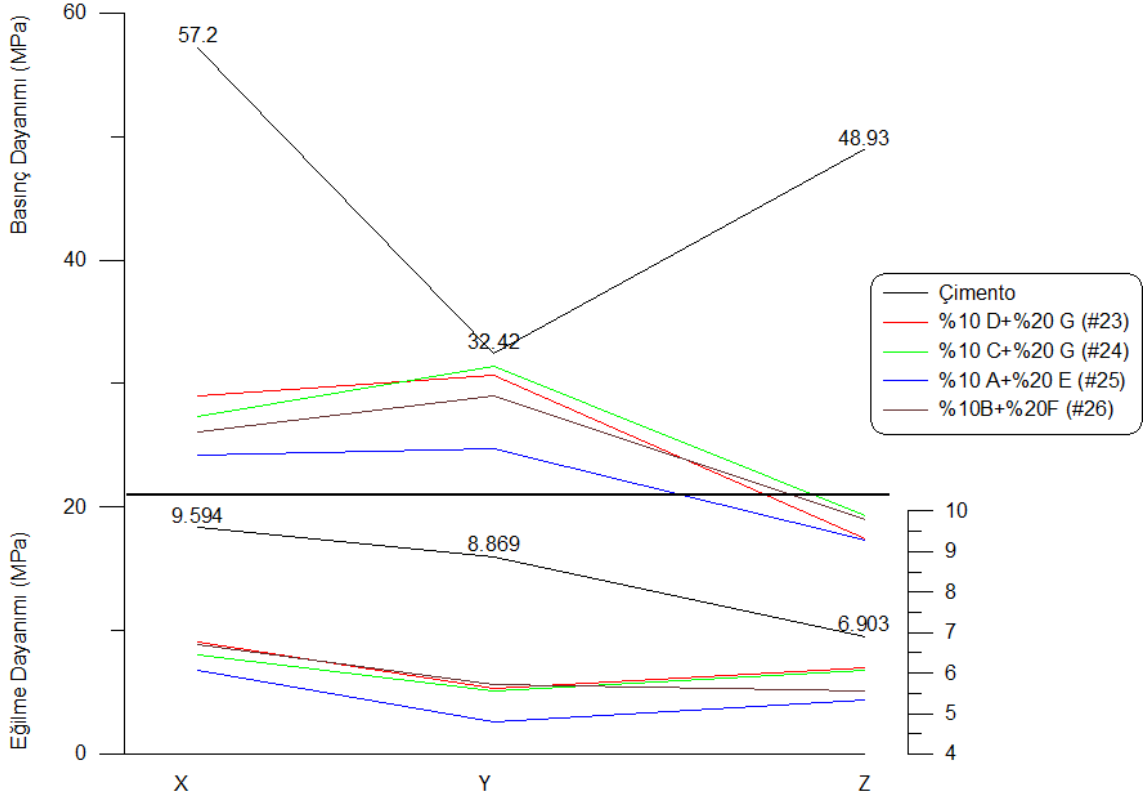
lastik katkıli numunelerin eğilme dayanımlarının referans numuneden daha düşük olmasının nedenini çimento hamuru ile atık lastik arasındaki zayıf bağ oluşumu ile ilişkilendirmektedir (Ganjian ve diğ, 2009).



Şekil 4.8. Kazınmış asfalt katkıli numunelerin dayanıklılık deneyleri sonrası basınç ve eğilme dayanım grafiği

Kazınmış asfalt katkıli bütün numunelerin magnezyum sülfat ortamında üretilen numunelerin dayanım değerlerinden daha yüksektir. Islanma-kuruma dayanıklılık deneyi sonucu elde edilen numunelerin dayanım sonuçları referans numune değerlerinin altında kalmıştır. Magnezyum sülfat dayanıklılık deneylerinden elde edilen dayanım sonuçlarında en yüksek değer 8 numaralı numune olan %5 G katkıli numuneye aittir. %5 katkı için tane boyutu arttıkça dayanım azalmaktadır. %10 katkıli numuneler ise bütün dayanıklılık süreçleri için kendi aralarında birbirlerine çok yakın dayanım sonuçları vermektedir. %15 katkıli numuneler de %10 katkıli numuneler ile aynı eğilimde ve yakın dayanım sonuçları vermektedir.

Kazınmış asfalt katkılı numuneler için eğilme dayanım sonuçları incelendiğinde sonuçların bütün numuneler için birbirine çok yakın sonuçlar vermiş olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.9. Karma numunelerin dayanıklılık deneyleri sonrası basınç ve eğilme dayanım grafiği

Karma numunelerde bütün dayanıklılık deneyleri için elde edilen sonuçlar referans numune dayanım değerinin altında kalmıştır. Magnezyum sülfat ortamında dayanıklılık deneyi yapılan numunelerde yapılan basınç dayanımı değerleri diğer dayanıklılık deney sonuçlarından daha yüksek dayanım değerleri vermektedir. Eğilme dayanım değerleri ise referans numuneye göre bariz biçimde düşüktür. Mineral katkının, numunelerin magnezyum sülfat direncini artırdığına dair çalışmalar mevcuttur.

#### 4.2.2.2. Ağırlık değişimi deneyi Sonuçları

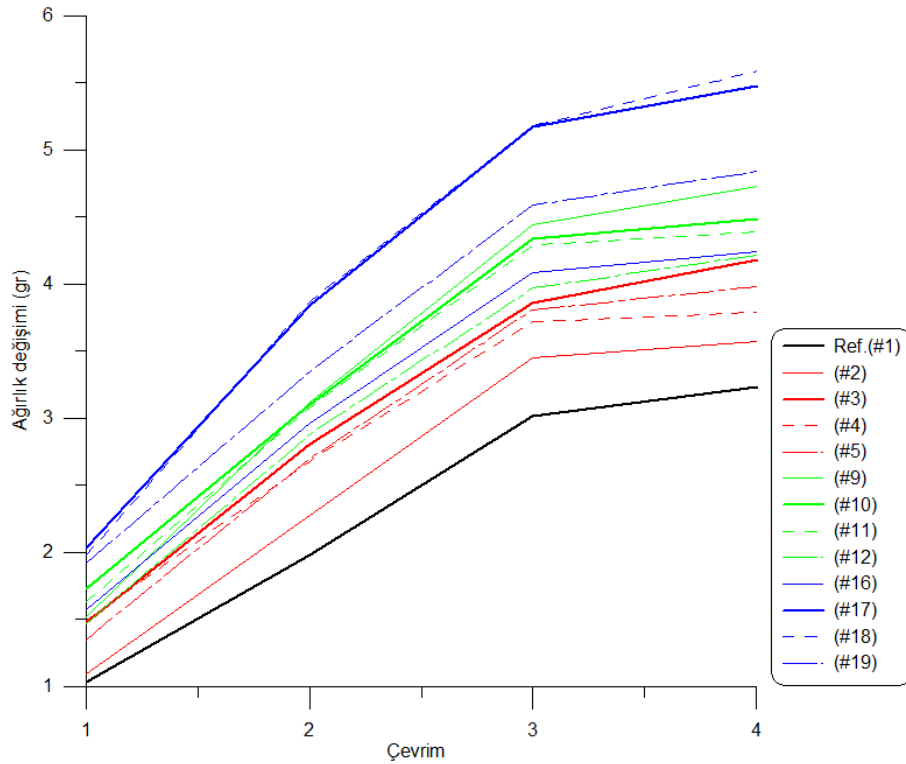
Dayanıklılık deneyleri sonucunda üretilen numunelerin ağırlık değişimi sonuçları her bir çevrim için Y ve Z Serisi numuneler üzerinde yapılmıştır. Numunelere ait ağırlık değişimleri kaydedilerek, deney okuma sonuçları EK-1'de verilmiştir ve deney verilerinden oluşturulan grafikler aşağıda sunulmuştur.



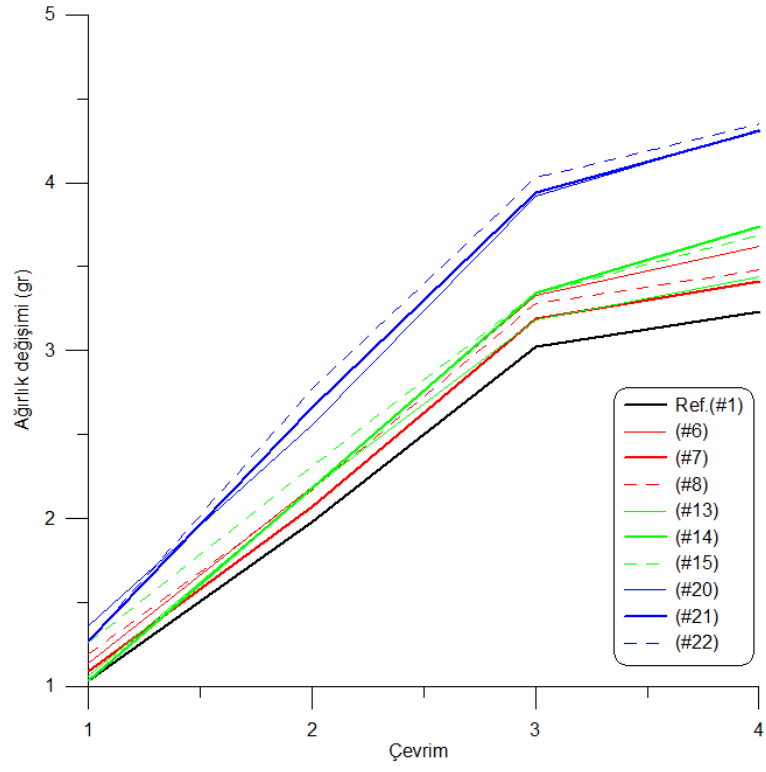
Y serisindeki numunelerin tamamına ait ağırlık değişimi referans numunenin üzerinde kalmıştır, yani daha fazla su emme eğilimi göstermişlerdir. Çünkü atık lastiklerin mineral katkı kadar boşluk doldurma yetenekleri yoktur. Atık lastik polimerik bir malzemedir ve inorganik malzeme olan çimento harcı ile aderansı düşüktür. Oysa kazınmış asfalt mineral kökenli bir malzemedir, değişik tane boyutlarında ve gradasyonda olduğu için boşluk doldurma yeteneği yüksektir. Dolayısı ile daha az su çeker ve ağırlık değişiminin daha az olduğu Şekil 4.10'dan anlaşılmaktadır.

Y Serisi için; Magnezyum sülfat, etkisini 6 aylık bir süreçten sonra yıkım etkisine başlamaktadır. Dolayısı ile incelediğimiz süreç içinde bu durum henüz kendini göstermemiştir. Yani ağırlık kaybında bir düşüş gözlenmemekle birlikte, Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12'den görüleceği üzere, 3. çevrimden sonra ağırlık artış hızı azalmaktadır.

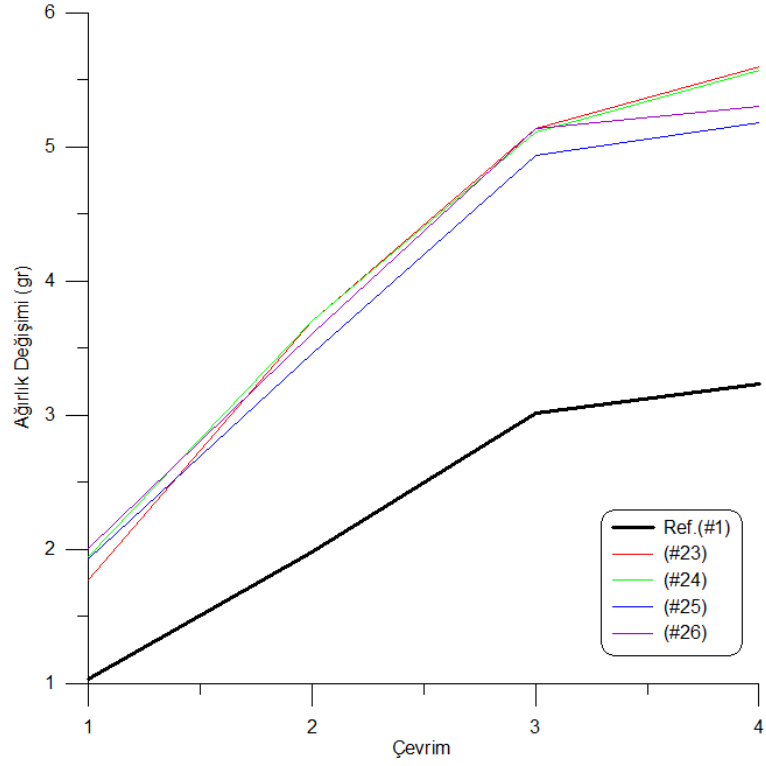
Z Serisi için ise; ağırlık kaybı kendisini 3. çevrim sonunda göstermiştir. hidrasyon sonucunda oluşan ürünlerin suda çözünmesi nedeniyle ağırlık kaybı yaşanmıştır ve bu kayıp Şekil 4.13, 4.14 ve 4.15'dan izleneceği üzere Y serisine göre daha hızlı olmuştur.



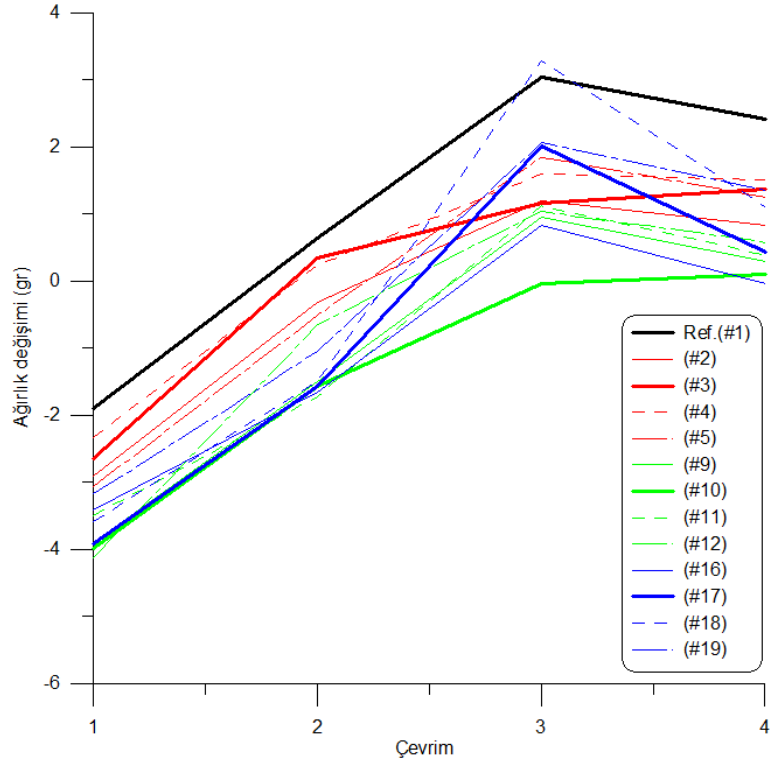
Şekil 4.10 Y Serisi atık lastik katkılı numunelerin dayanıklılık deneyi kapsamında ağırlık değişimi deney sonuçları



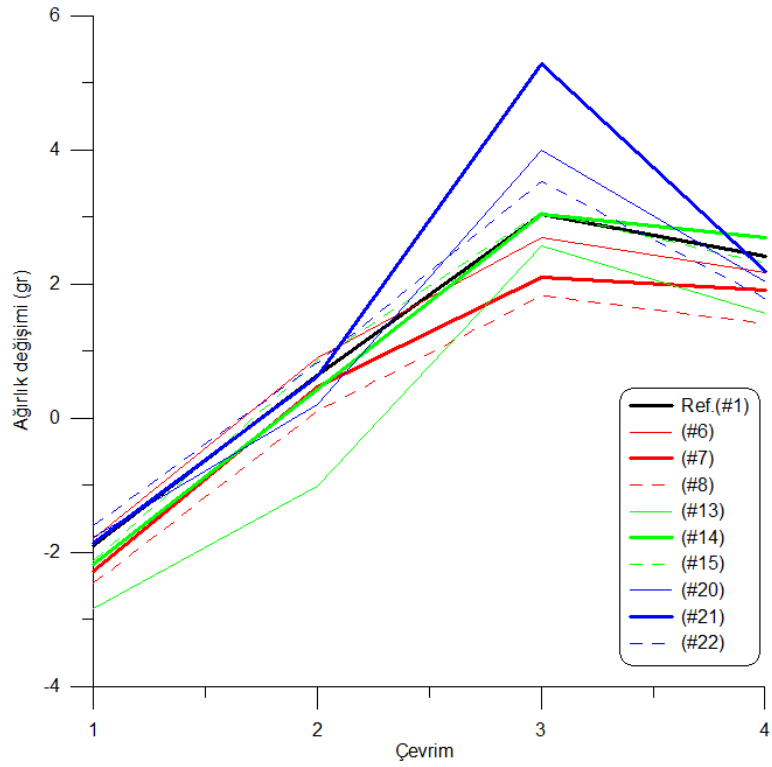
Şekil 4.11 Y Serisi kazınmış asfalt katkılı numunelerin dayanıklılık deneyi kapsamında ağırlık değişimi deney sonuçları



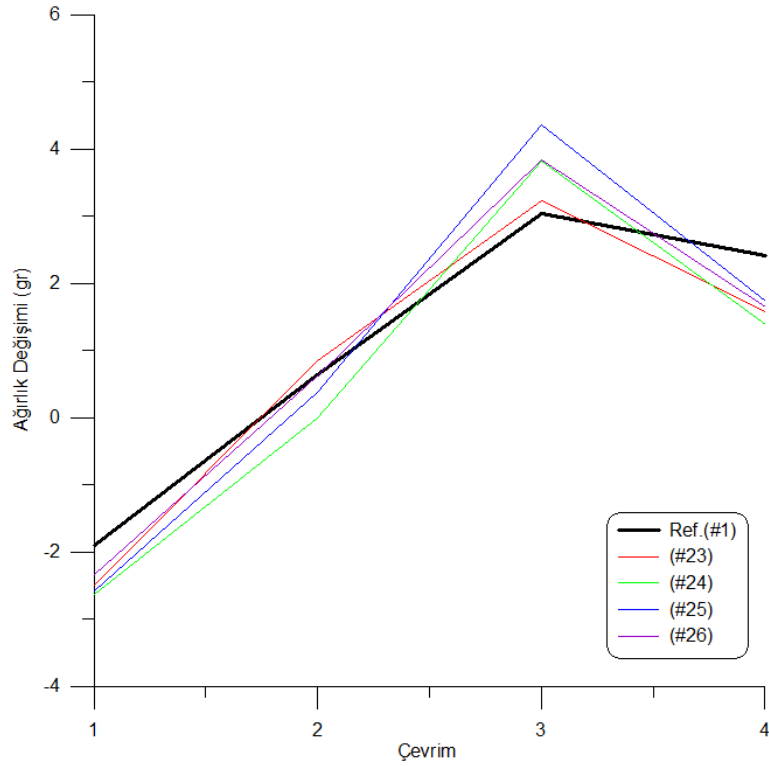
Şekil 4.12 Y Serisi karma atık içeren numunelerin dayanıklılık deneyi kapsamında ağırlık değişimi deney sonuçları



Şekil 4.13 Z Serisi Atık lastik katkıli numunelerin dayanıklılık deneyi kapsamında ağırlık değişimi deney sonuçları



Şekil 4.14 Z Serisi kazınmış asfalt katkıli numunelerin dayanıklılık deneyi kapsamında ağırlık değişimi deney sonuçları



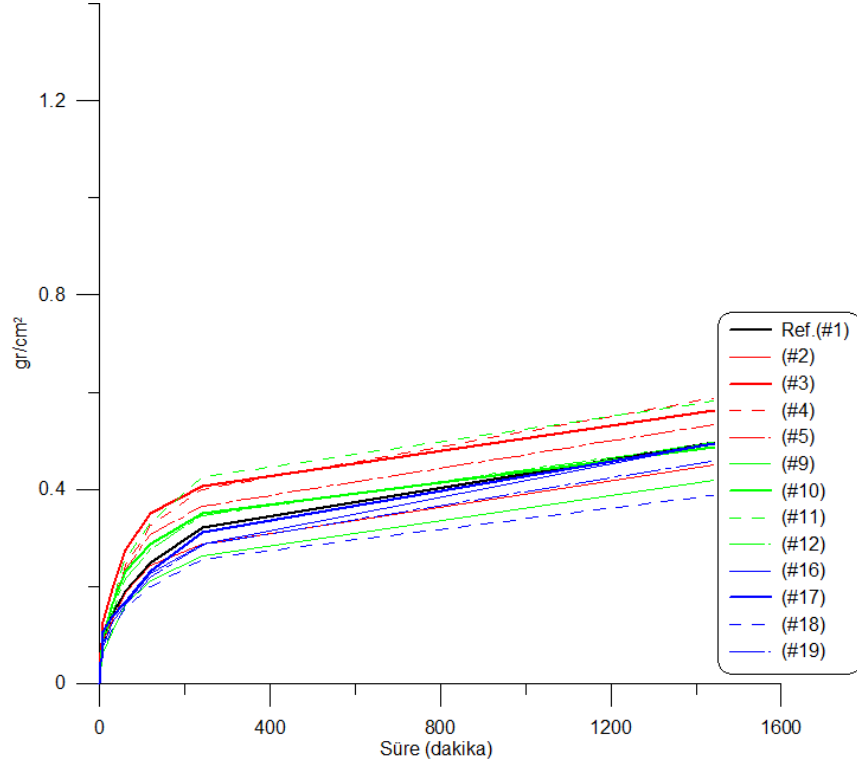
Şekil 4.15 Z Serisi karma atık içeren numunelerin dayanıklılık deneyi kapsamında ağırlık değişimi deney sonuçları

#### 4.2.2.3. Boy değişimi deneyi Sonuçları

Dayanıklılık deneyi çevrimleri Y ve Z Serisi numuneler üzerinde yapılmış olup, numunelere ait boy değişimleri kaydedilmiş, deney okuma sonuçları EK-1'de verilmiştir. Ölçümler 4x4x16cm lik harç numuneleri üzerinden yapılmıştır. Sonuçların çoğu stabil olmayan değerler vermiştir.

#### 4.2.3. Kılcallık deneyi Sonuçları

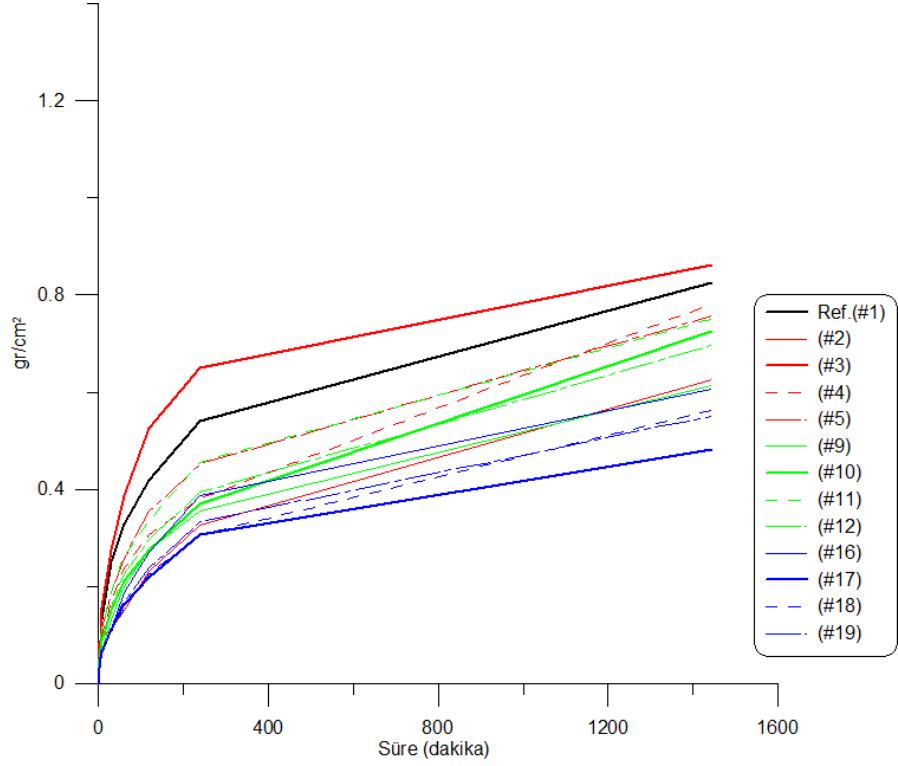
Kılcallık deney sonuçları 28, 56 ve 98 günlük X, Y, Z Serisi numuneler üzerinde yapılmış, deney okuma sonuçları EK-1'de verilmiş olup deney verilerinden oluşturulan grafikler aşağıda sunulmuştur.



Şekil 4.16 28 gün kür süreli atık lastik katkıli numuneler kılcallık deney sonuçları

Atık lastik katkıli numunelerden elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir:

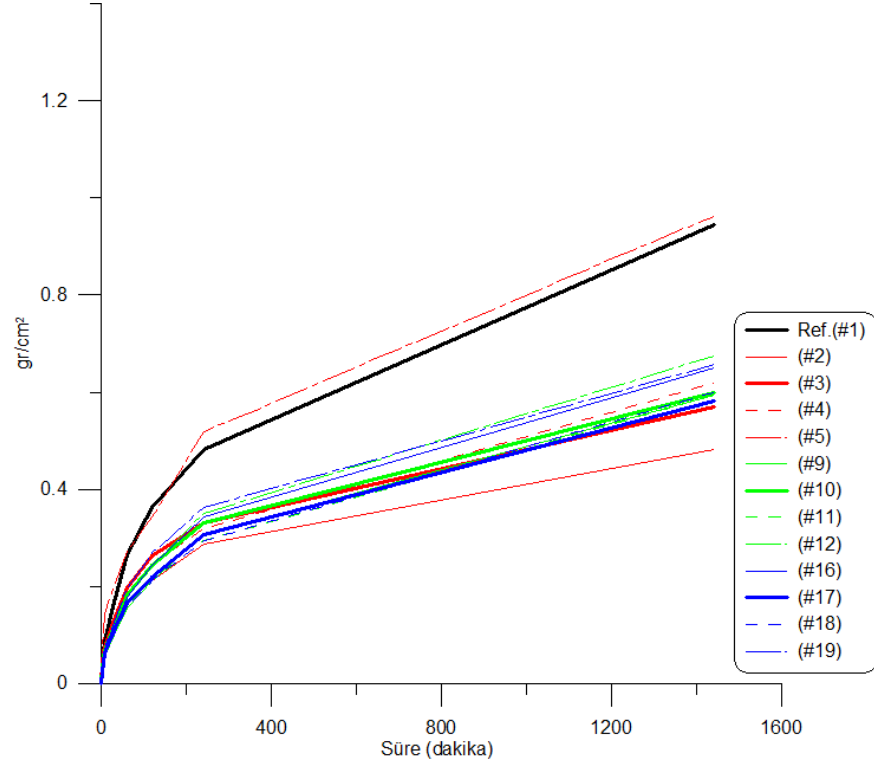
28 gün sonundaki kılcallık değerlerine ait eğriler Şekil 4.16'da sunulmuştur. Grafik değerlendirildiğinde; genel anlamda %5 ve %10 katkı içeren numunelere ait eğriler referans eğrinin üzerinde sonuç vermektedir. Burada %5 katkıli 2 numaralı numune ve %10 katkıli 9 numaralı numune bu durumun dışındadır. %15 katkıli numunelerin tamamı ise referans eğrinin altında sonuç vermiştir. Atık lastik katkısında katkı oranı arttıkça numunelerin su emme eğilimi azalmaktadır.



Şekil 4.17 56 gün kür süreli atık lastik katkıli numuneler kılcallık deney sonuçları

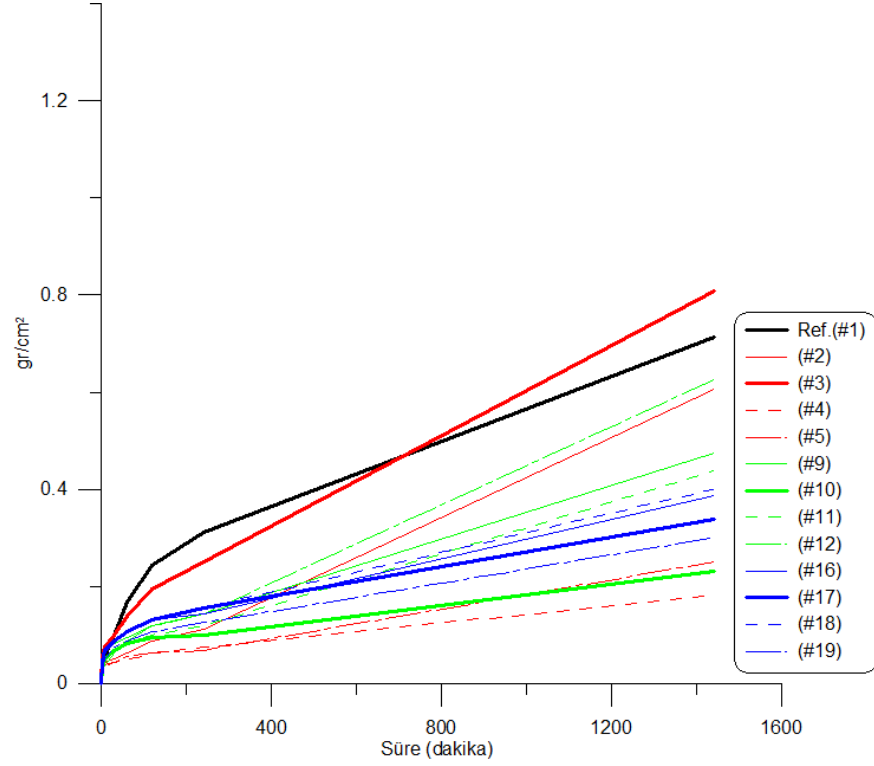
Atık lastik katkıli numunelerden elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir:

56. gün sonundaki kılcallık değerlerine ait eğriler Şekil 4.17'deki gibidir. Grafik göz önünde bulundurulduğunda; genel anlamda bütün katkı oranları için katkıli numunelere ait eğriler referans eğrinin altında sonuç vermektedir. Yani 28. güne kıyasla katkıli numuneler referans numuneden daha az su emme eğilimi göstermiştir. Sadece 3 numaralı numune bunun dışındadır.



Şekil 4.18 X Serisi atık lastik katkıli numuneler kılcallık deney sonuçları

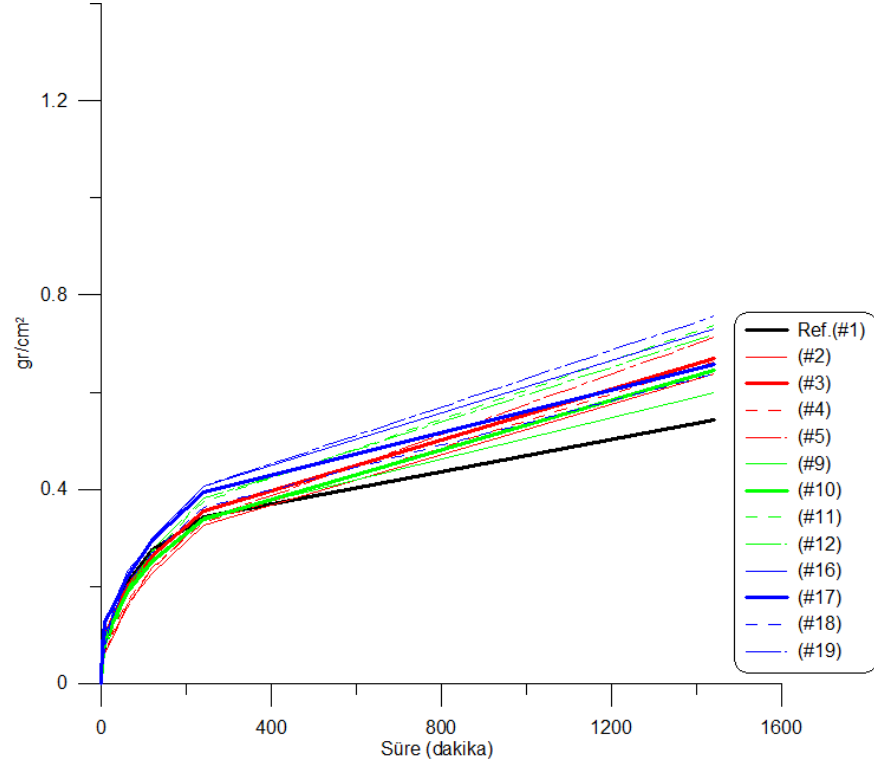
98. gün sonundaki kılcallık değerlerine ait eğriler Şekil 4.18'dedir. Grafik göz önünde bulundurulduğunda; genel anlamda bütün katkı oranları için katkıli numunelere ait eğriler referans eğrinin oldukça altında sonuç vermektedir. Yani 28.ve 56. güne kıyasla katkıli numuneler referans numuneden gitgide daha az su emme eğilimi göstermiştir. Sadece 4 numaralı numune bunun dışındadır.



Şekil 4.19 Y Serisi atık lastik katkılı numuneler kılcallık deney sonuçları

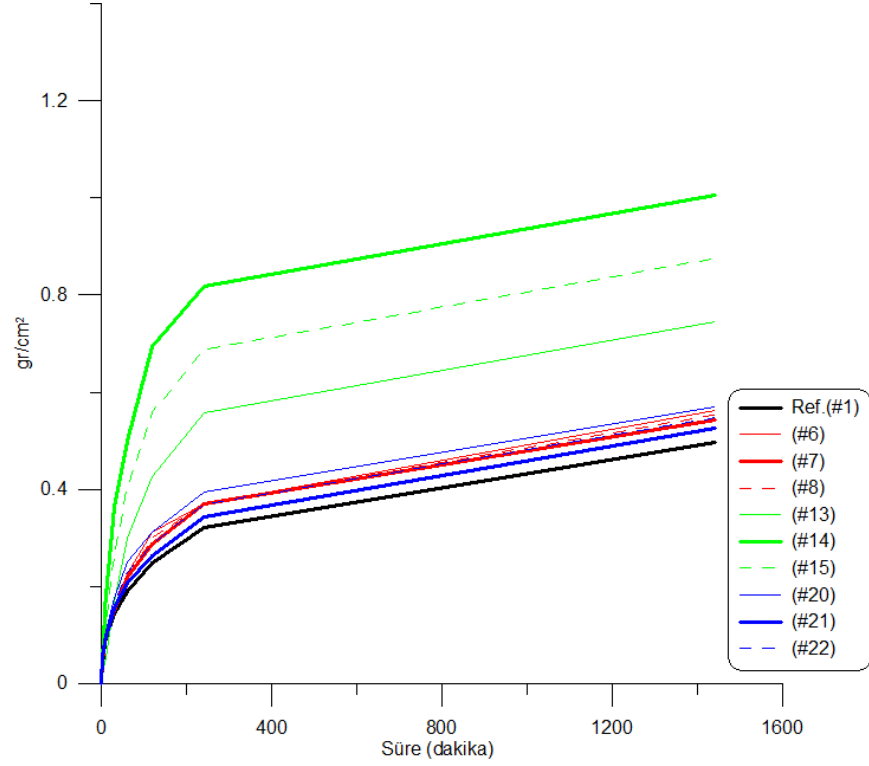
Y Serisine ait magnezyum sülfat ortamında dayanıklılık deneyleri yapılmış olan numuneler üzerinde yapılan kılcallık deney sonuçları Şekil 4.19'daki gibi olup; bütün katkı oranları için katkılı numunelere ait eğriler referans eğrinin altında sonuç vermektedir. Yani 28., 56. ve 98. günlere kıyasla referans eğrinin altında bulunan katkılı numunelere ait eğriler düzgün bir dağılım sergilememektedir.





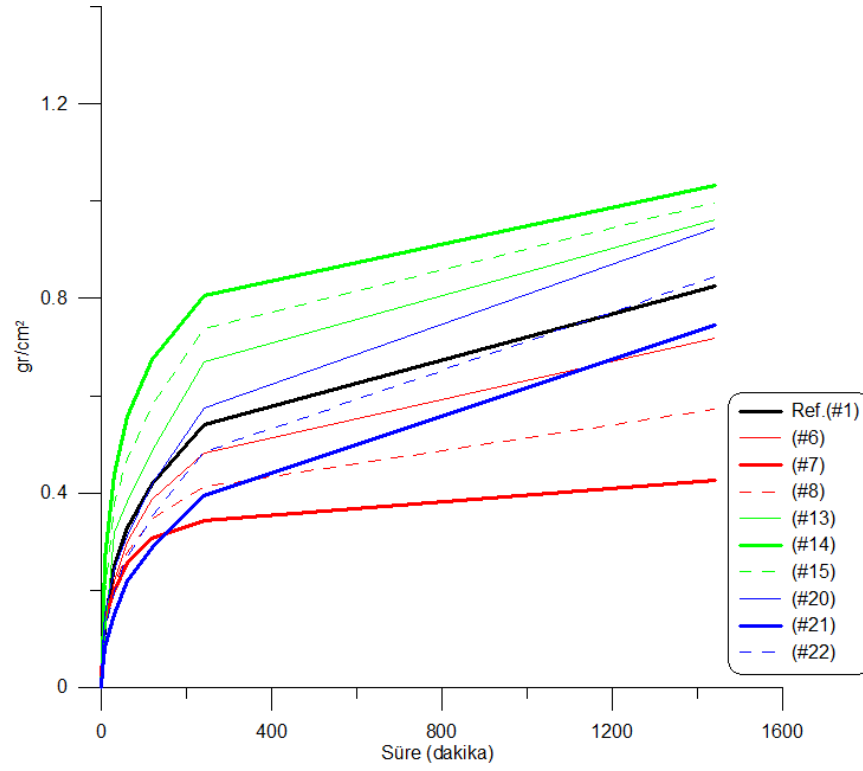
Şekil 4.20 Z Serisi atık lastik katkılı numuneler kılcallık deney sonuçları

Z Serisine ait ıslanma-kuruma dayanıklılık deneyleri yapılmış olan numuneler üzerinde yapılan kılcallık deney sonuçları Şekil 4.20’de olup, bütün katkı oranları için katkıli numunelere ait eğriler referans eğrinin üzerinde sonuç vermektedir.



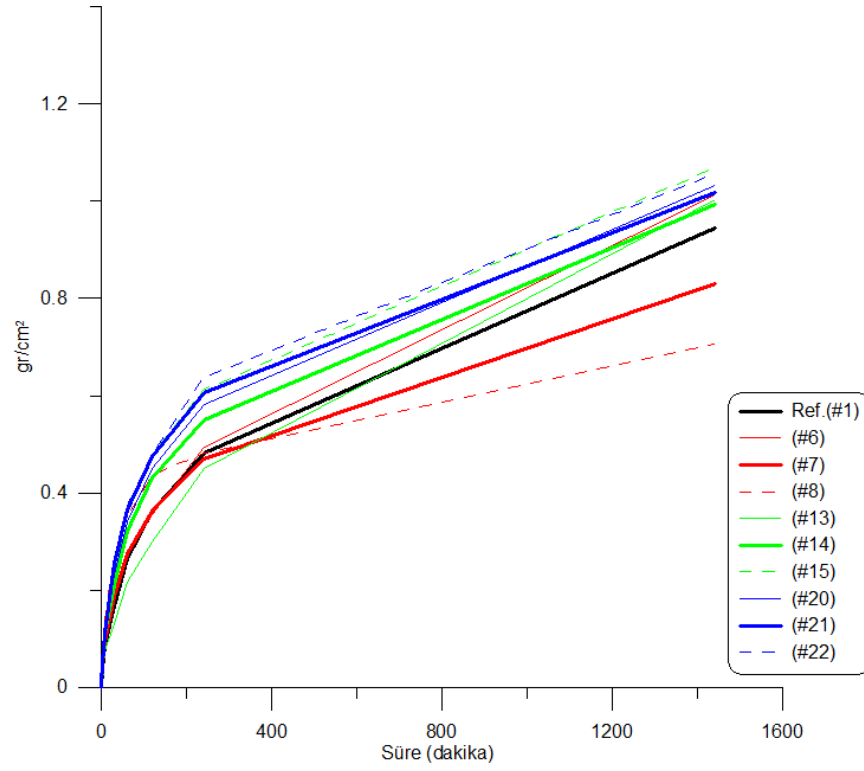
Şekil 4.21 28 gün kür sureli kazınmış asfalt katkıli numuneler kılcallık deney sonuçları

Kazınmış asfalt katkıli numunelerden elde edilen grafik Şekil 4.21’de verilmiştir. 28 gün sonundaki kılcallık değerlerine ait eğriler göz önünde bulundurulduğunda; katkı içeren numunelere ait eğrilerin tamamı referans eğrinin üzerinde sonuç vermektedir. Burada dikkat çekici olan en fazla su emme oranının %10 katkıli numunelerden elde edilmiş olmasıdır.



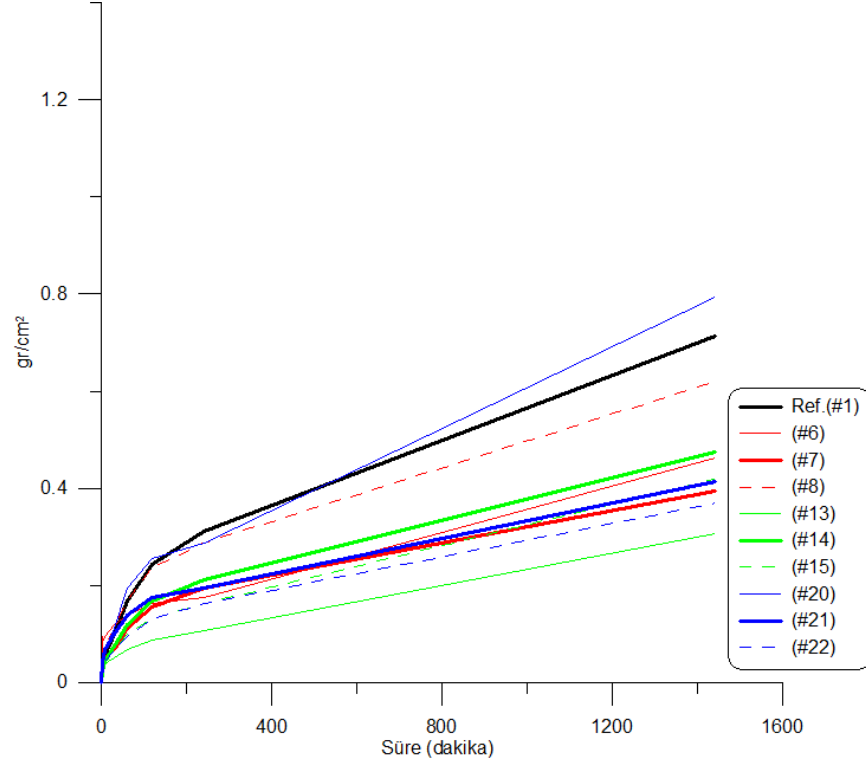
Şekil 4.22 56 gün kür süreli kazınmış asfalt katkılı numuneler kılcallık deney sonuçları

56. gün sonundaki kılcallık değerlerine ait eğriler şekil 4.22’de grafik haline getirilmiş olup; genel anlamda %10 katkı içeren numunelere ait eğrilerin tamamı referans eğrinin üzerinde sonuç vermektedir. %5 katkılı numunelerin tamamı ise referans eğrinin altında sonuç vermektedir. %15 katkılı numuneler ise düzensiz bir dağılım sergilemektedir.



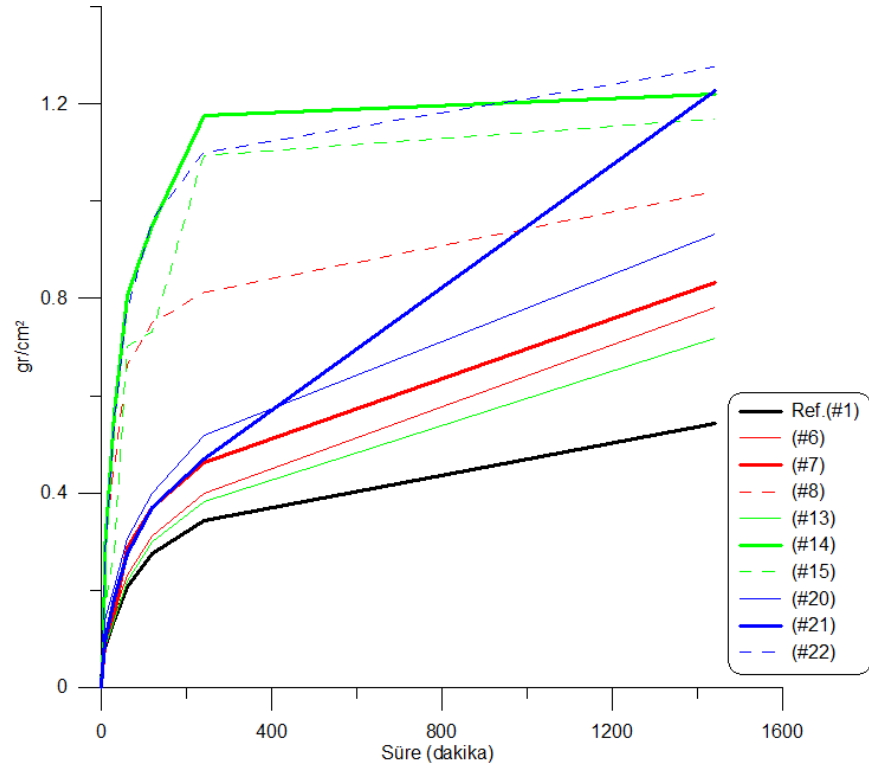
Şekil 4.23 X Serisi kazınmış asfalt katkılı numuneler kılcallık deney sonuçları

98. gün sonundaki kılcallık değerlerine ait eğriler Şekil 4.23'de grafik haline getirilmiş olup; %10 ve %15 katkı içeren numunelere ait eğrilerin tamamı referans eğrinin üzerinde sonuç vermektedir. %5 katkılı numunelere ait eğriler ise 6 numaralı numune haricinde referans numunenin altında kalmaktadır.



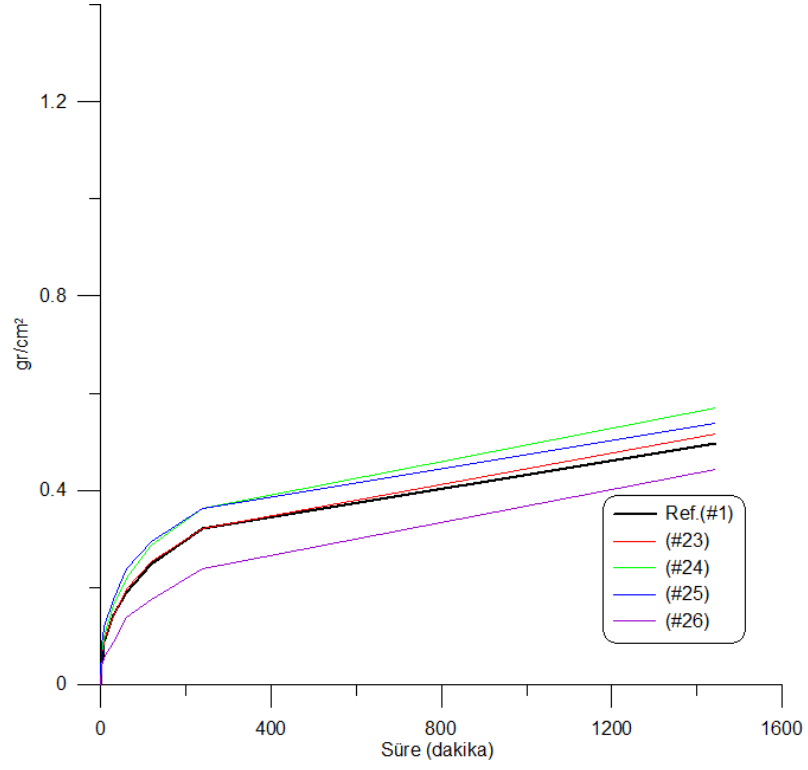
Şekil 4.24 Y Serisi kazınmış asfalt katkıli numuneler kılcallık deney sonuçları

Y Serisine ait magnezyum sülfat ortamında dayanıklılık deneyleri yapılmış olan numuneler üzerinde yapılan kılcallık deney sonuçlarına ait grafik Şekil 4.24'de sunulmuş olup; bütün katkıli numunelere ait eğrilerin tamamı referans eğrinin altında sonuç vermektedir. 20 numaralı numune bu sonucun biraz dışında kalmaktadır. Bünyeye giren su miktarı ile katkı yüzdesi arasında doğrusal bir ilişki bulunamamıştır.



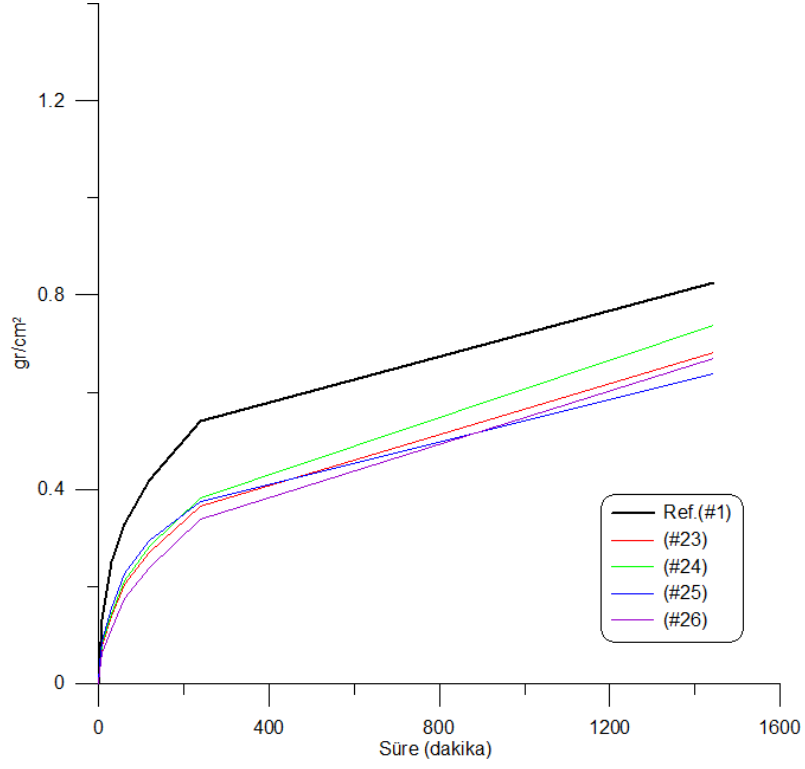
Şekil 4.25 Z Serisi kazınmış asfalt katkılı numuneler kılcallık deney sonuçları

Z Serisine ait numuneler üzerinde yapılan kılcallık deney sonuçlarında; bütün katkılı numunelere ait eğrilerin tamamı referans eğrinin üzerinde sonuç vermektedir. Bünyeye giren su miktarı ile katkı yüzdesi arasında doğrusal bir ilişki bulunamamıştır.



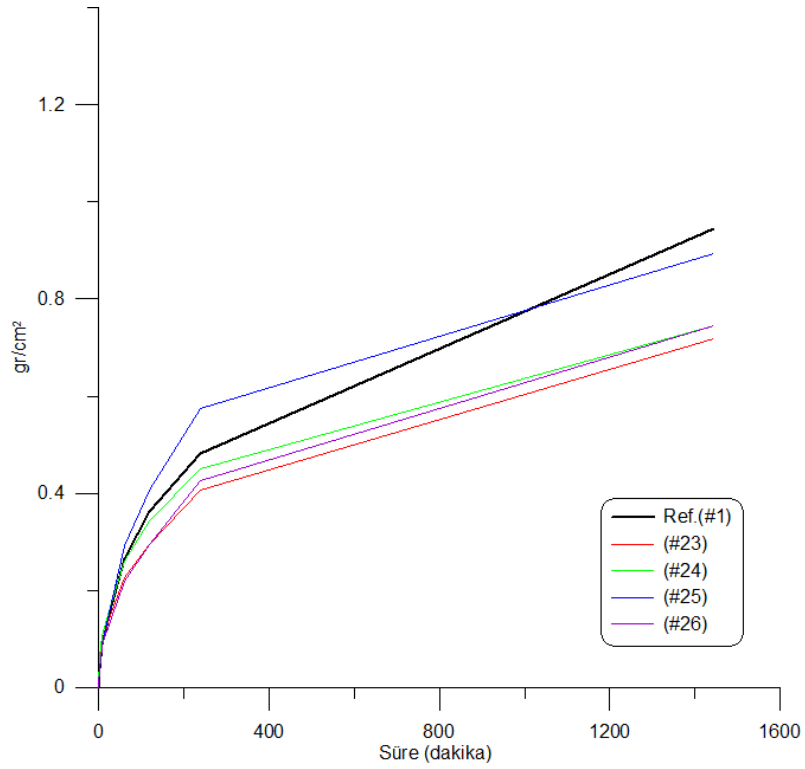
Şekil 4.26 28 gün kür süreli karma numuneler kılcallık deney sonuçları

Karma katkı içeren numunelerden elde edilen bulgular Şekil 4.26'da grafik haline getirilmiş olup; 28 gün sonundaki kılcallık değerlerine ait eğriler göz önünde bulundurulduğunda; 26 numaralı numune dışındaki eğriler referans eğrinin üzerinde sonuç vermektedir.



Şekil 4.27 56 gün kür süreli karma numuneler kılcallık deney sonuçları

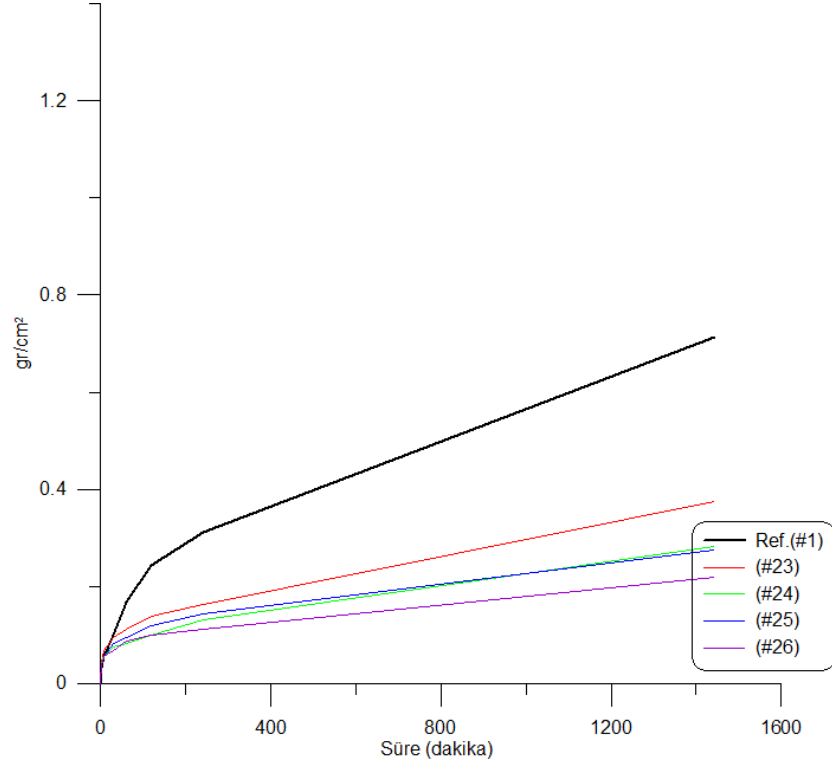
56. gün sonundaki kılcallık değerlerine ait eğriler göz önünde bulundurulduğunda; katkıli numunelerin tamamının referans eğrinin altında sonuç verdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.28 X Serisi karma numuneler kılcallık deney sonuçları

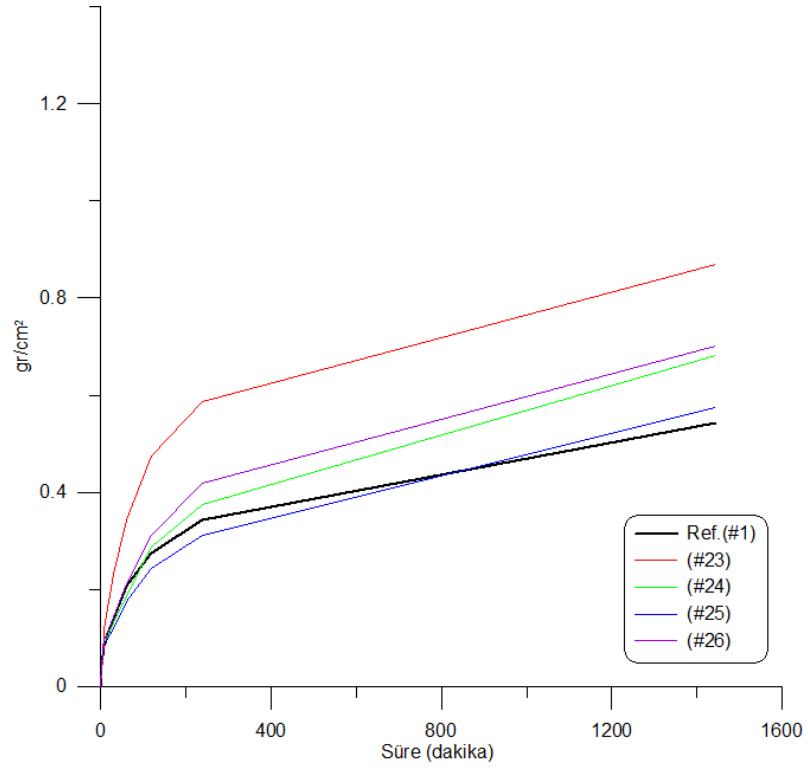


98. gün sonundaki kılcallık değerlerine ait eğriler Şekil 4.28’de verilmiş olup; katkıli numunelerin tamamının referans eğrinin altında sonuç verdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.29 Y Serisi karma numuneler kılcallık deney sonuçları

Y serisine ait kılcallık eğrileri Şekil 4.29’da grafik haline getirilmiş olup; katkıli numunelerin tamamının referans eğrinin altında sonuç verdiği anlaşılmaktadır.



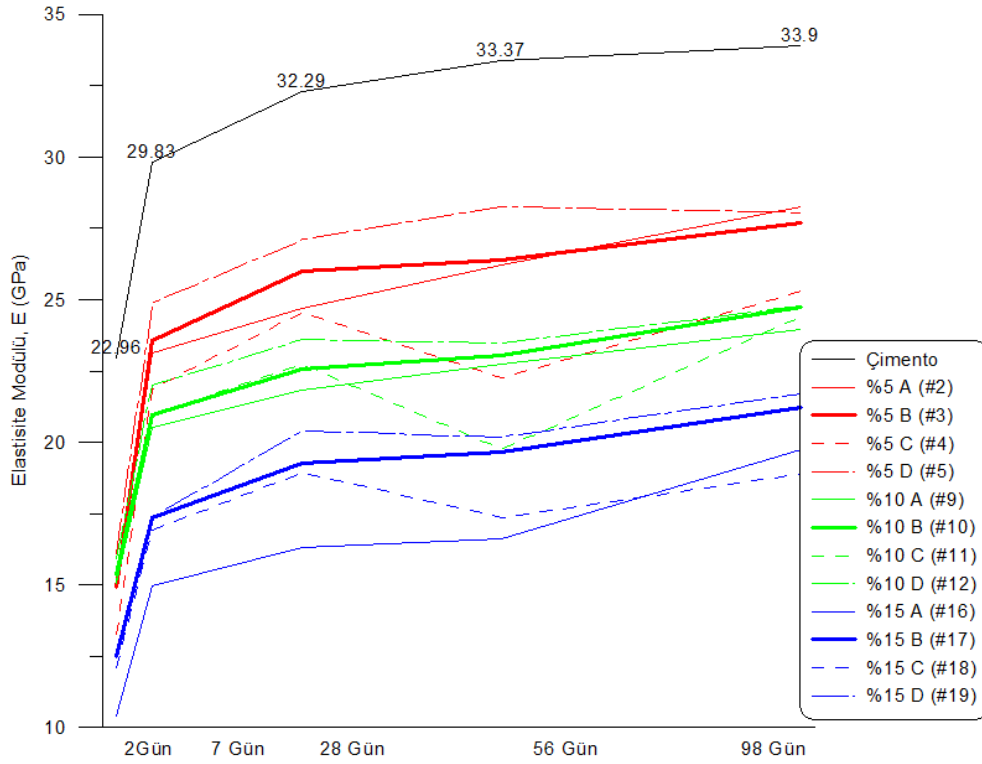
Şekil 4.30 Z Serisi karma numuneler kılcallık deney sonuçları

Z serisine ait kılcallık eğrileri incelendiğinde; katkıli numunelerin tamamının referans eğrinin üzerinde sonuç verdiği anlaşılmaktadır.

#### 4.2.4. Elastisite ve Tokluk Sonuçları

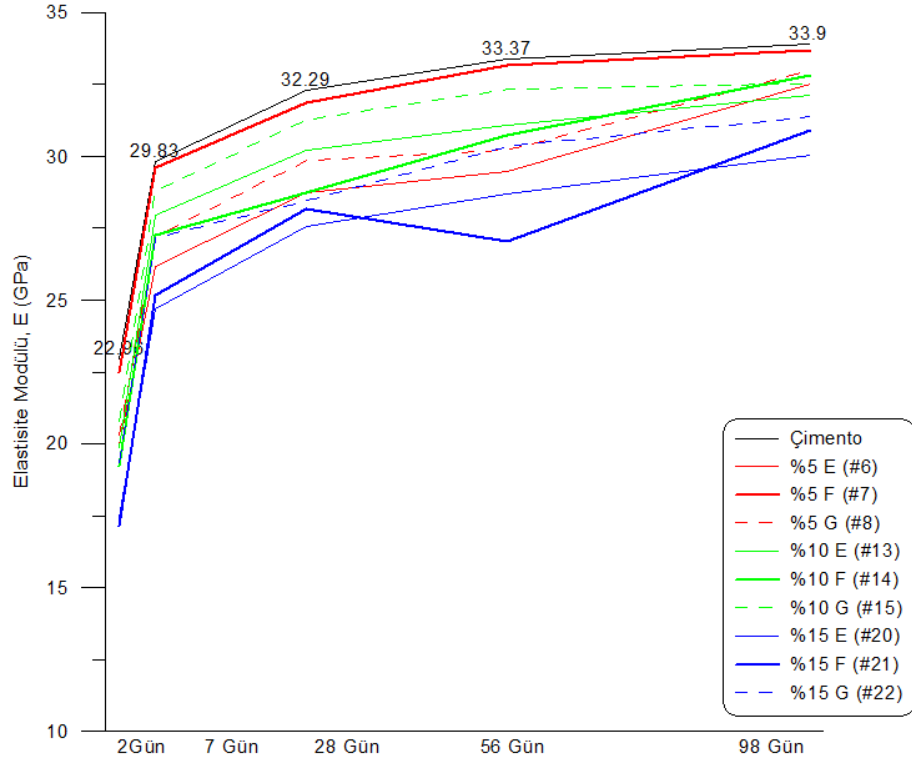
##### 4.2.4.1. Elastisite Analizi

Basınç dayanımı sonuçlarına ait deneylerin yapıldığı 2, 7, 28, 56 ve 98. günlerde ve dayanıklılık deney serileri olan 98 günlük X, Y ve Z serisi basınç dayanımından yola çıkılarak elastisite modülü değerleri denklem 2.7 uyarınca hesap edilmiş, sonuçları her kısmın altında yorumlanmıştır.



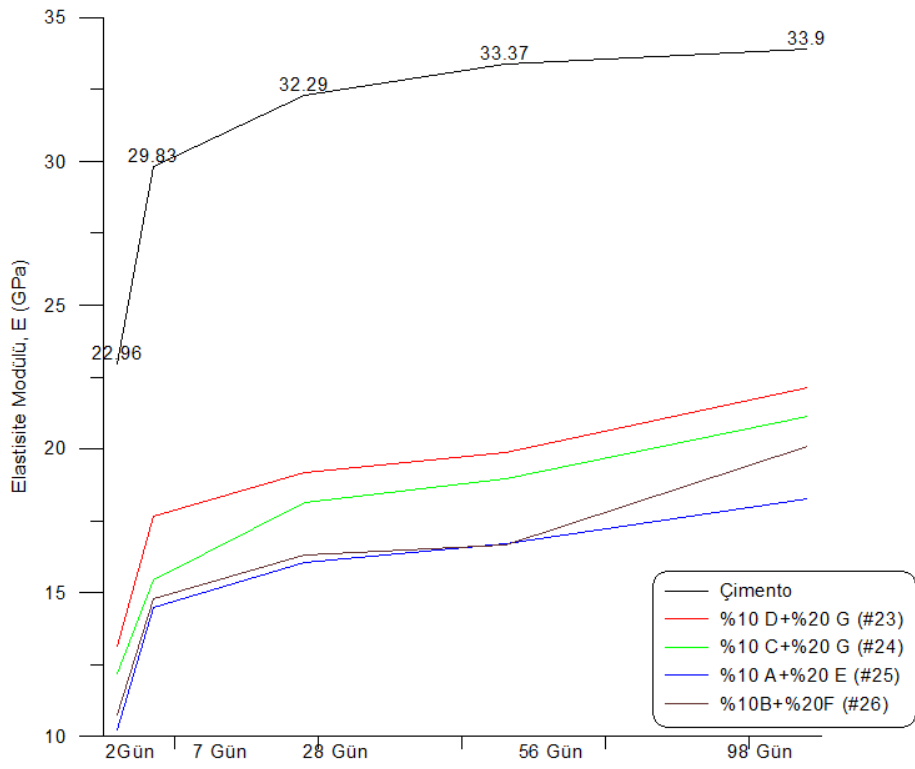
Şekil 4.31 Atık lastik katkılı numunelerin tüm kür sürelerindeki elastisite modülü değişimi

Atık lastiğin eklenmesi ile katkı içeren numunelere ait elastisite modüllerinin katkı içermeyen referans numuneye göre daha düşük elastisite modülüne sahip oldukları görülmektedir. Katkı yüzdesinin artışı ile elastisite modülündeki azalma arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir.



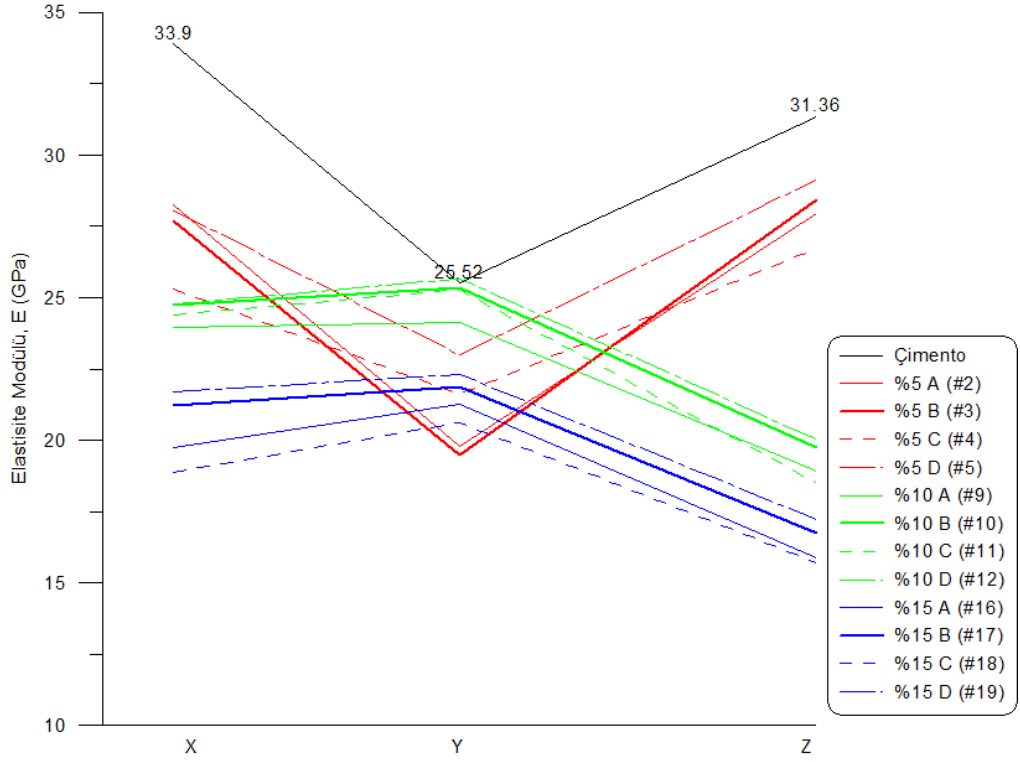
Şekil 4.32 Kazınmış asfalt katkılı numunelerin tüm kür sürelerindeki elastisite modülü değişimi

Kazınmış asfaltın eklenmesi ile elde edilen beton harcı numuneleri üzerinde elastisite modülünün hesaplanması sonucu katkı numunelerin, katkı içermeyen referans numuneye göre daha düşük elastisite modülüne sahip oldukları, elastisite modülündeki azalmanın atık lastik katkılı örneklerde olduğu gibi atık yüzdesi ile ilişkili olduğu ancak elastisite modülündeki azalmanın atık lastik katkılı numunelere kıyasla çok daha düşük seviyelerde kaldığı söylenebilir.



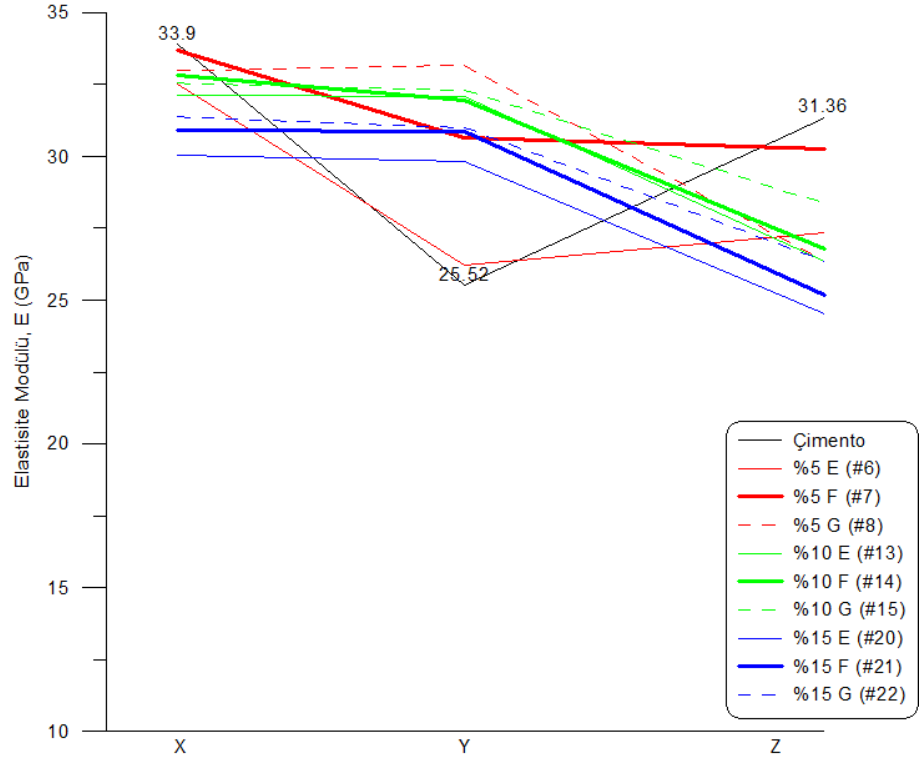
Şekil 4.33 Karma numunelerin tüm kür sürelerindeki elastisite modülü değişimi

Karma atık (atık lastik-kazınmış asfalt) içeren numunelere ait elastisite modüllerinin hesabında %30 seviyesinde atık içeren numunelerin elastisite modüllerinde yüksek seviyede bir düşüş gözlenmektedir.



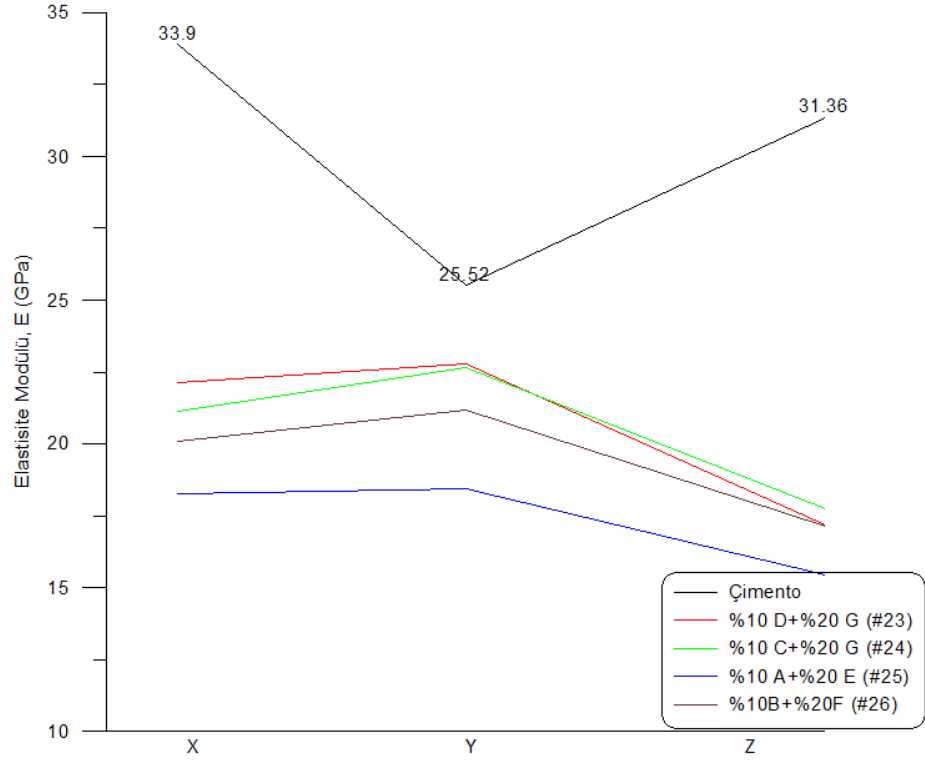
Şekil 4.34 Atık lastik katkıli numuneler dayanıklılık serisi elastisite modülü değışimi

Dayanıklılık deneyleri sonrasında elde edilen elastisite modüllerinin değerlendirilmesi ile atık lastik içeren numunelerin tümünde elastisite modülünde azalma bulunmaktadır. %5 katkı içeren numunelerin katkı içermeyen referans numune ile eş davranış göstermesi dikkat çekicidir. Referans ve %5 atık lastik katkıli numuneler, magnezyum sülfat içeren ortamda yapılan donma-çözülme deneyi sonrası hesaplanan elastisite modülü değerleri, suda kür ve ıslanma-kuruma kür koşullarına göre daha düşük değerler vermektedir. %10 ve %15 katkıli numunelerde bu durum tam tersine dönmektedir. Bu durumda sülfata karşı direncin %10 ve üzeri katkı oranı ile geliştiğini söylemek mümkündür.



Şekil 4.35 Kazınmış asfalt katkılı numuneler dayanıklılık serisi elastisite modülü değişimi

Kazınmış asfalt katkılı numunelerin dayanıklılık süreci sonrası yapılan elastisite modülü hesaplarında suda kür (X serisi) ve ıslanma-kuruma (Z serisi) deneylerine ait elastisite modülü değerleri referans numuneye göre daha düşük değerde iken sülfatlı ortama ait elastisite modülü değerleri referans numuneye göre daha yüksektir.

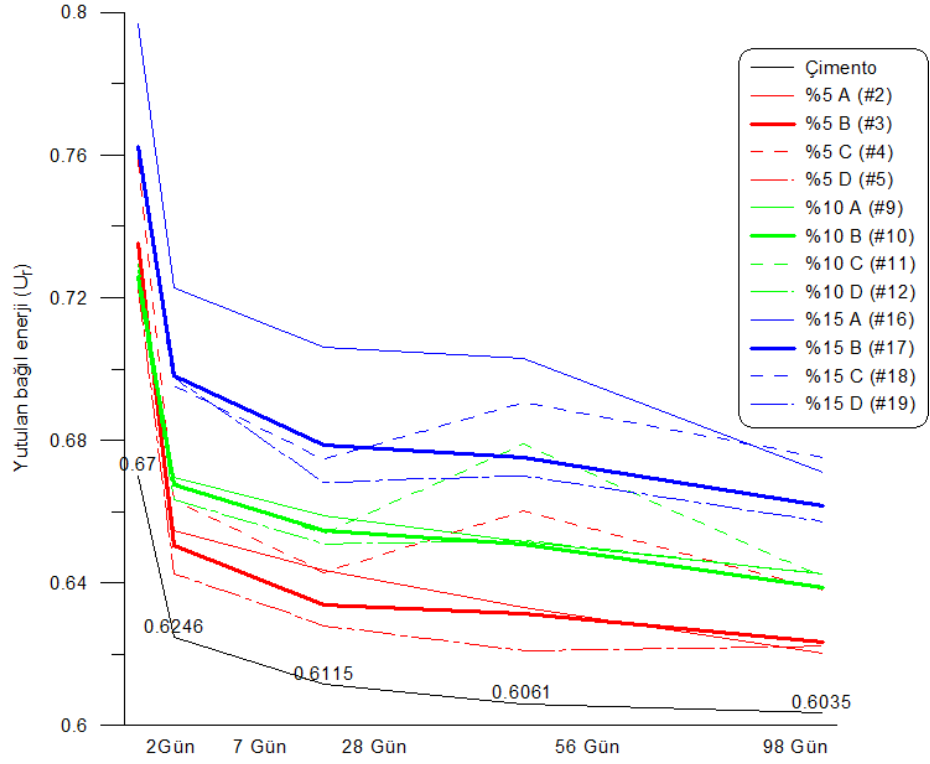


Şekil 4.36 Karma numuneler dayanıklılık serisi elastisite modülü değişimi

Karma atık içeren numunelerin elastisite modülleri referans numuneye göre daha düşük değerdedir. Burada dikkat çeken konu, sülfatlı ortamdaki numunelere ait elastisite modüllerinin diğer ortam değerlerine göre daha yüksek olmasıdır.

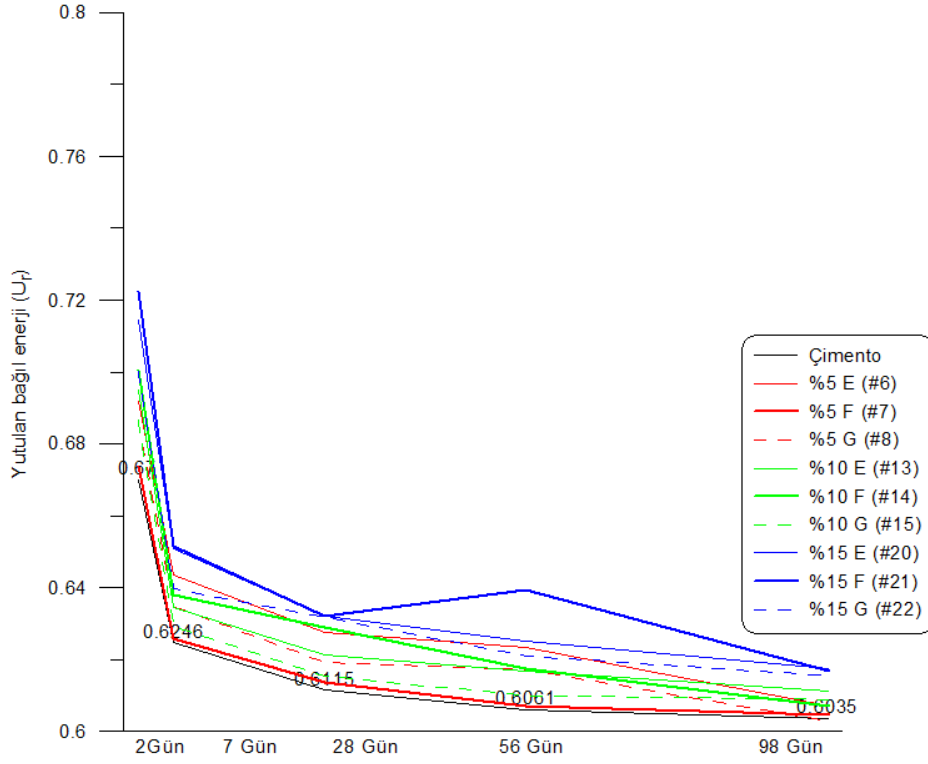


#### 4.2.4.2. Tokluk Analizi



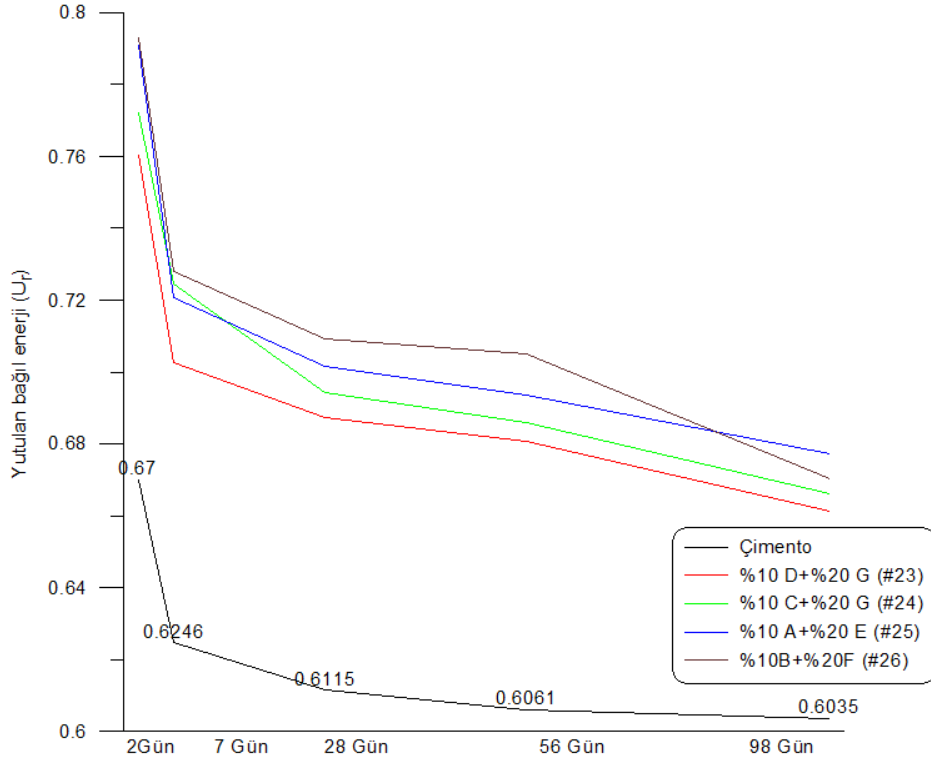
Şekil 4.37 Atık lastik katkılı numuneler yutulan bağıl enerji (Tokluk) değerleri

Atık lastik içeren numunelere ait tokluk değerleri hesaplanmış, atık lastik içeren bütün numunelerin katkı içermeyen referans numuneye göre daha yüksek tokluk değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Tokluğun gelişimi atık katkı içeriğinin artışı ile paraleldir.



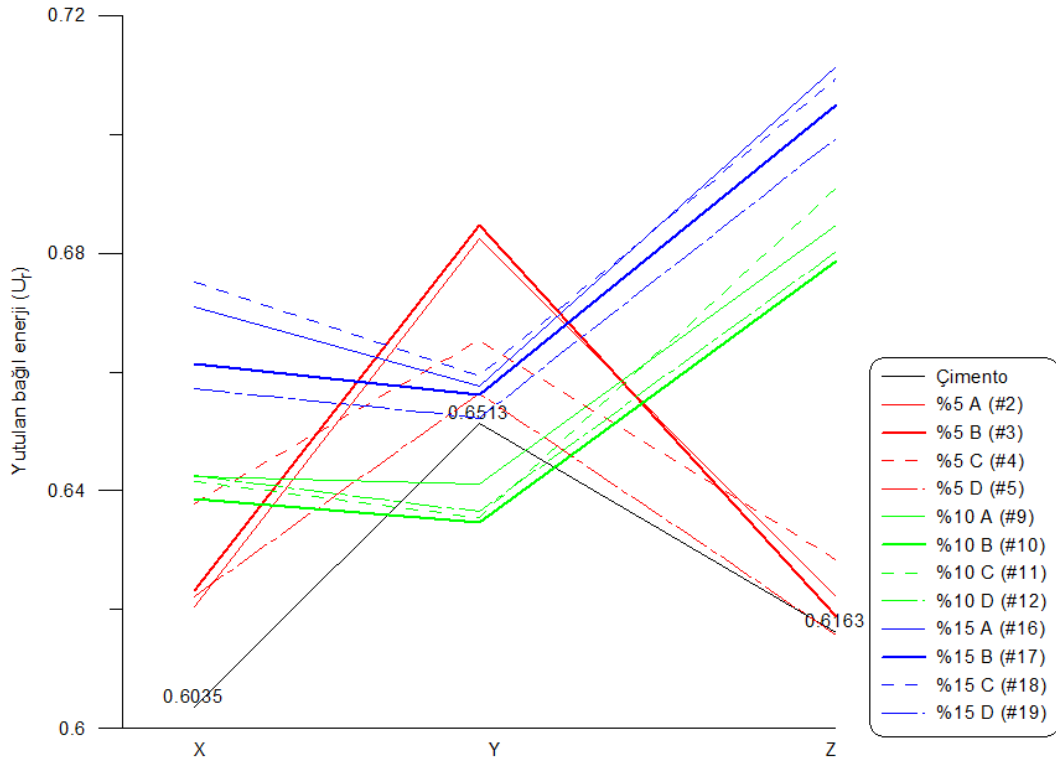
Şekil 4.38 Kazınmış asfalt katkılı numuneler yutulan bağıl enerji (Tokluk) değerleri

Kazınmış asfalt katkılı numunelerin tokluk değerleri elastisite modülü değerlerinde olduğu gibi katkı içermeyen referans numuneye çok yakın değerler vermektedir. Değerler referans numuneye yakın fakat beklendiği gibi daha yüksek değerler vermektedir, belirtilen bu durum literatür ile uyumludur (Siddique, Naik, 2004). Katkı yüzdesi ile yutulan enerji arasındaki doğrusal ilişki bu grafikte de sürmektedir.



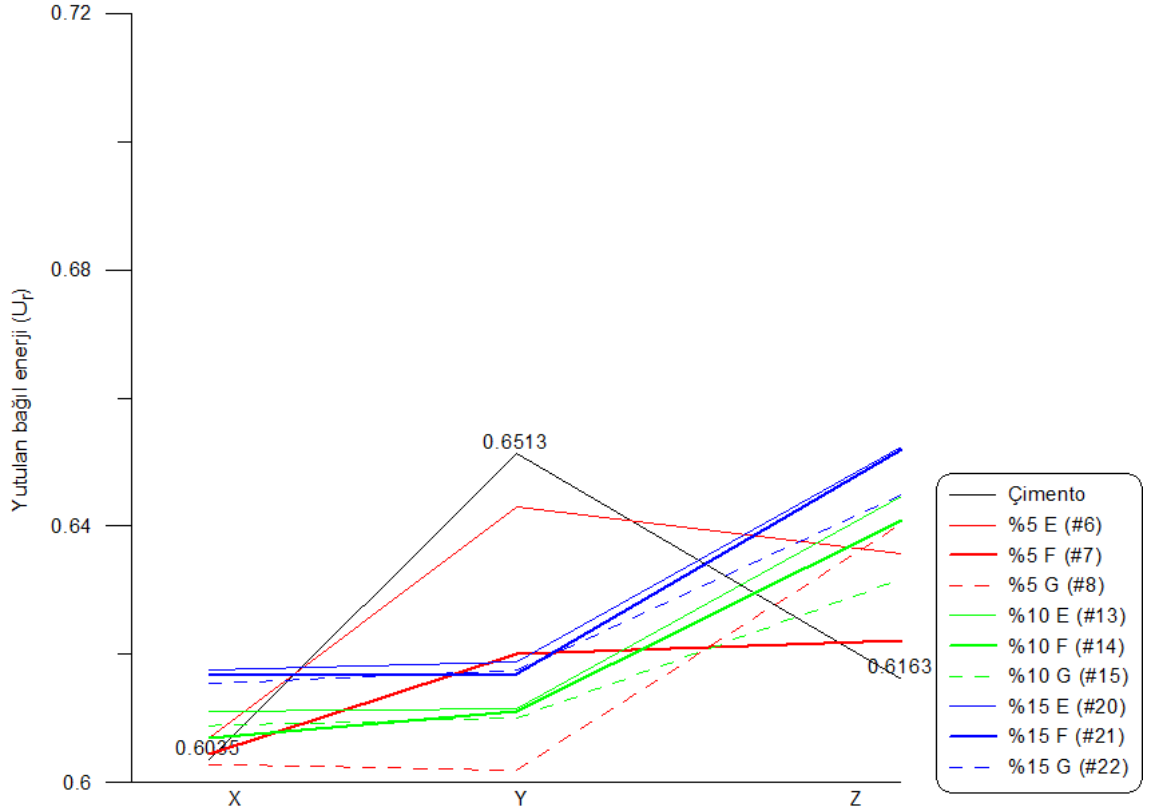
Şekil 4.39 Karma numuneler yutulmuş bağıl enerji (Tokluk) değerleri

Karma atık içeren numunelere ait tokluk değerleri, %15 atık lastik içeren numunelere ait tokluk değer ve davranışına benzerdir.



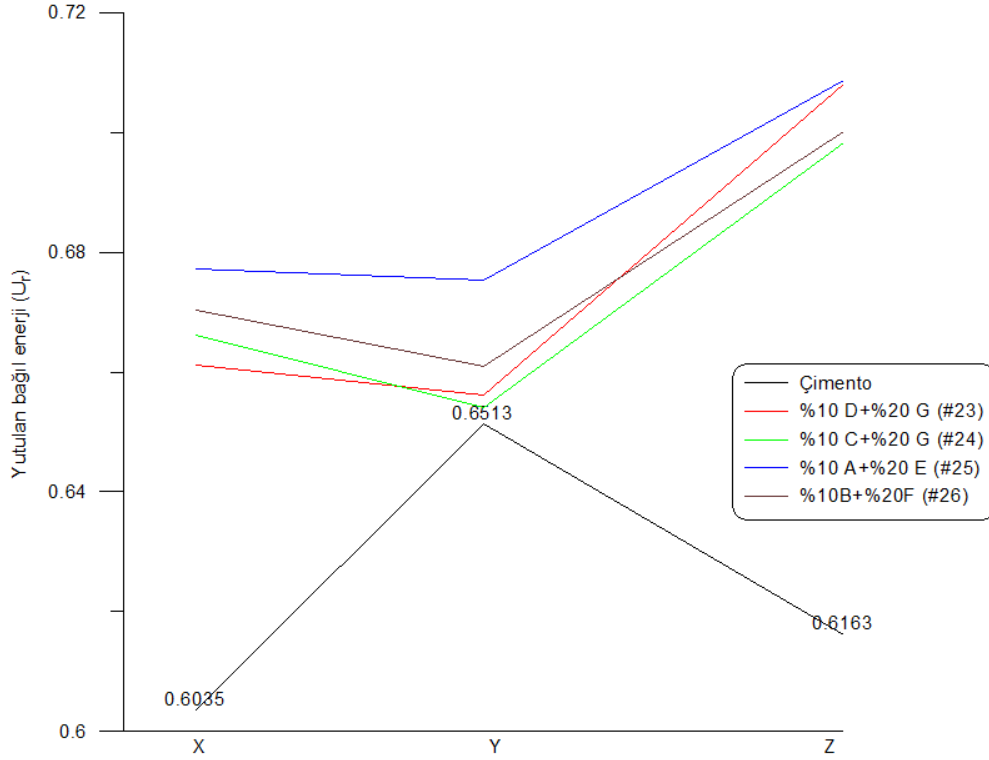
Şekil 4.40 Atık lastik katkı numuneler dayanıklılık serisi yutulmuş bağıl enerji (Tokluk) değerleri

Atık lastik numunelerin tokluk değerlerinin incelenmesinde elastisite modülü değerlerinde görülen %5 atık lastik içeren numunelerin sülfat içeren ortamda referans numune ile benzer davranış göstermiş olması dikkate değerdir. Buna karşın sülfatlı ortam dışındaki bütün kür koşullarında ve bütün numunelerde tokluk değeri referans numuneden daha yüksektir.



Şekil 4.41 Kazınmış asfalt katkılı numuneler dayanıklılık serisi yutulmuş bağıl enerji (Tokluk) değerleri

Kazınmış asfalt içeren numunelerin sülfatlı ortamdaki tokluk değerleri referans numuneden daha düşük değerlere sahiptir. Bu durumun literatürde belirtilen basınç dayanımı ile tokluk değeri arasındaki ters orantı ile açıklamak mümkündür (Siddique ve Naik, 2004).



Şekil 4.42 Karma numuneler dayanıklılık serisi yutulmuş bağıl enerji (Tokluk) değerleri

Karma atık içeren numunelere ait tokluk değerlerinin incelenmesi ile bütün kür koşullarında ve bütün numunelerde tokluk değeri referans numuneden daha yüksektir. Sülfatlı ortamda referans numuneye ait tokluk değeri diğer kür koşullarına göre daha düşük değer vermesine karşın, karma atık içeren numunelerin sülfatlı ortamdaki tokluk değerleri diğer kür koşullarından daha yüksektir. Bu durum numunelerin sülfatlı ortamdaki direncini doğrulamaktadır.

### 4.3. SEM-EDS CİHAZI İLE MİKROYAPISAL ANALİZ SONUÇLARI

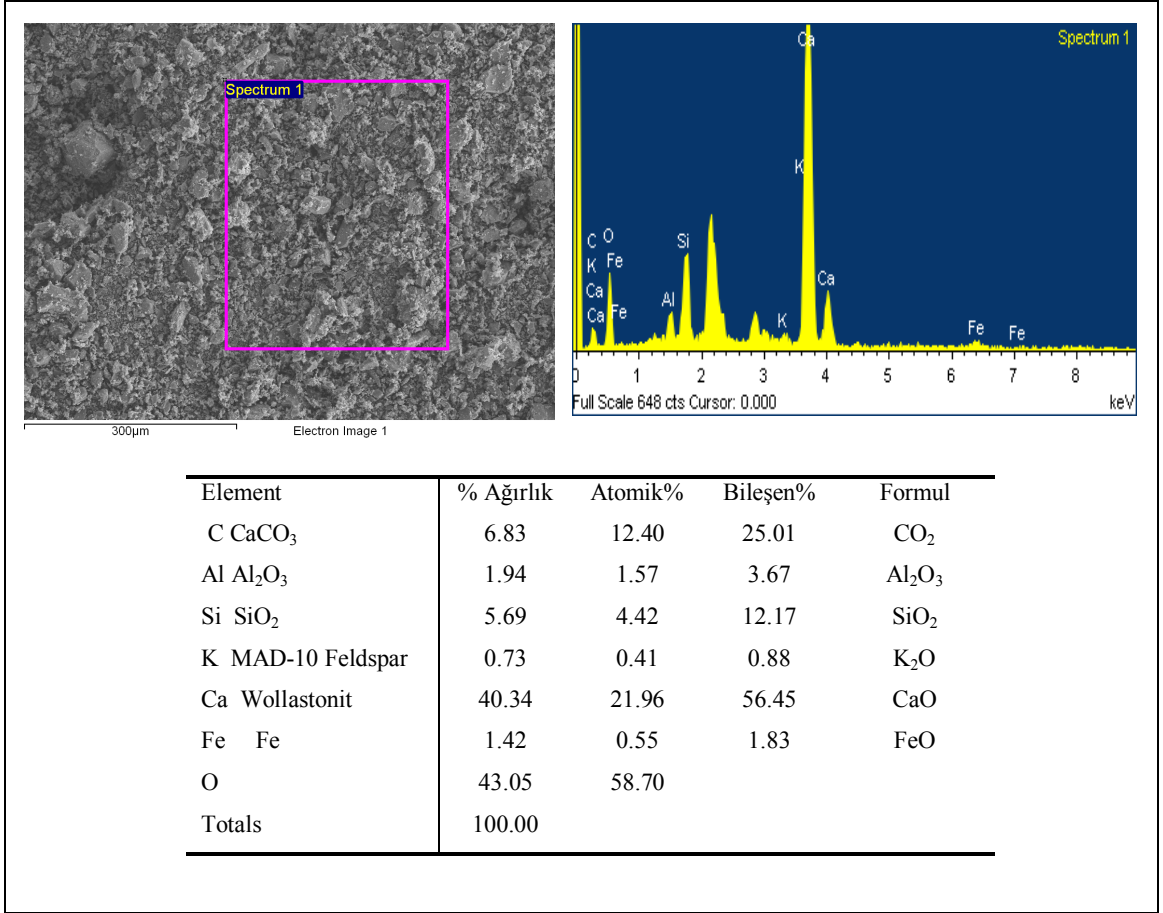
Mikroyapı analizlerinde kullanılan, çimento, atık lastik ve kazınmış asfaltın SEM-EDS görüntüleri 150x ile 2000x arası büyütmede çekilmiştir. Katkılı çimento harçlarının ise seçilen 1-5-8-12-15-19-22 ve 23 numaralı numunelerde SEM-EDS görüntüleri alınmıştır. Seçilen bu numuneler ayrıca XRD, DTA-TG ve FTIR analizlerinde de kullanılmıştır. Numune seçiminde; katkı içermeyen çimento harç numunesi (referans numune), 3 karışım atık lastik, 3 karışım kazınmış asfalt ve bir karışım da karma katkı içeren numuneler kullanılmıştır. Bu numuneler basınç dayanım özellikleri baz alınarak

seçilmiştir. Atık lastik için D katkısı kullanılmıştır. D katkısı atık lastik katkısı içeren harçlardan elde edilen basınç dayanım sonuçlarında genel olarak en yüksek mukavemet değeri vermiştir. Kazınmış asfalt için G grubu tane aralığı içeren karışımlar seçilmiştir ve yine bu grup, kendi grubu içinde en yüksek mukavemet değerleri vermektedir. Karma numunede ise D ve G grubu katkı içeren karışım seçilmiştir. Seçilen bu numunelerin kantitatif elementel analizleri de yapılmıştır. Bunun için aletin EDS aparatı kullanılmıştır. Analiz sırasında numunelerden örnek alınırken numunenin temsili olmasına özen gösterilmiştir. Görüntüler 150X ve 500X büyütme kullanılarak alınmıştır. Basınç dayanım sonuçlarından adı geçen örneklerin 28, 56 günlük sonuçları ile dayanıklılık deneylerinden suda şahit, ıslanma-kuruma ve donma-çözülme deneylerinden elde edilen 98 günlük numunelerin mikroyapı ve elementel analiz sonuçları sunulmuştur.

#### **4.3.1. Kullanılan Ham malzemelere ait SEM-EDS Analiz Sonuçları**

Çimento numunesine ait mikroyapı görüntülerinde 150x büyütmede homojene yakın bir dağılım söz konusu iken 2000x büyütmede yapı içindeki küresel ve küresel olmayan yapılar belirgin hale gelmektedir (EK-2). EDS analizinde çimento içindeki en yüksek yüzdeye sahip bileşen kalsiyumun en yüksek piki verdiği ayrıca farklı noktalarda pik verdiği görülmektedir. Bu sonuç kimyasal analiz sonuçları ile örtüşmektedir.

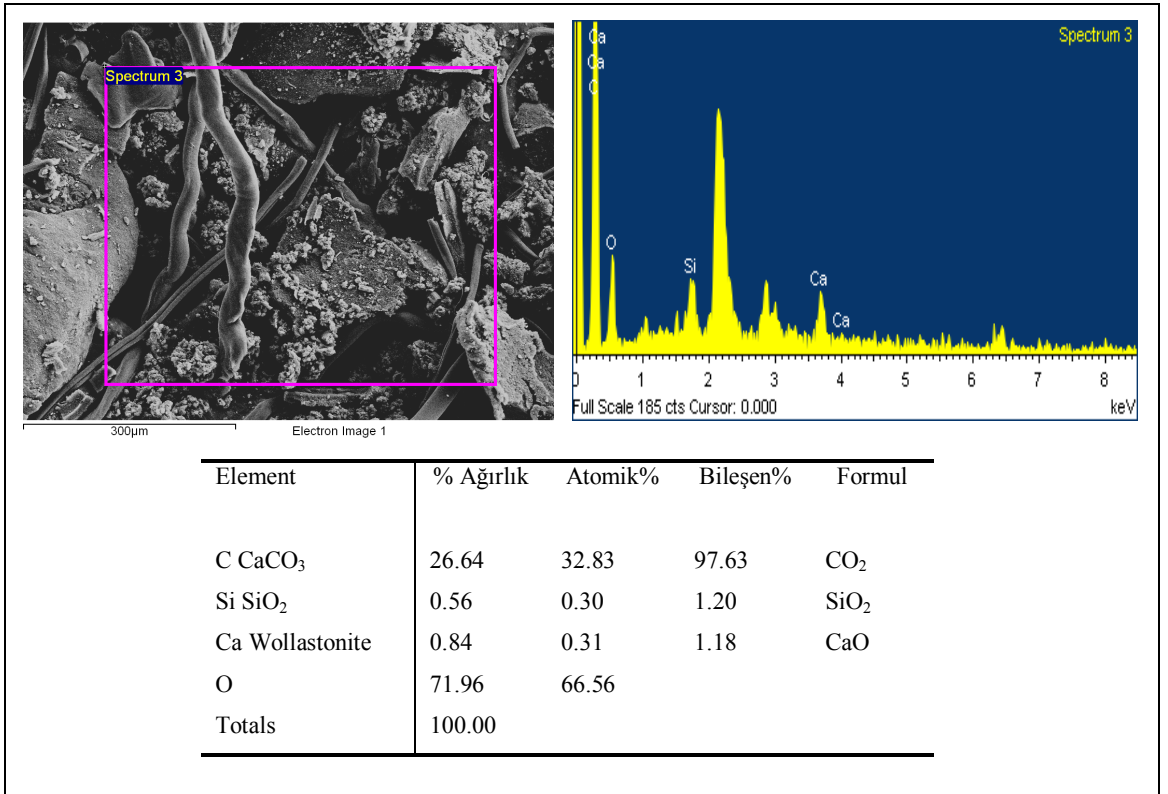
### Çimento numunesi SEM-EDS Analizi sonuçları



Şekil 4.43 Çimento numunesi SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi

### Atık lastik SEM-EDS Analizi sonuçları

Atık lastik numunesine ait mikroyapı görüntülerinde 150x büyütmede homojene yakın bir dağılım söz konusu iken 2000x büyütmede yapı içindeki küresel ve küresel olmayan yapılar belirgin hale gelmektedir. EDS analizine ait mikroyapı görüntüsünde değişik yapılar mevcuttur. Lifli gruplar dışında düzensiz boyutlardaki atık lastik göze çarpmaktadır. Bu sonuç kimyasal analiz ve EDS sonuçları ile örtüşmektedir.

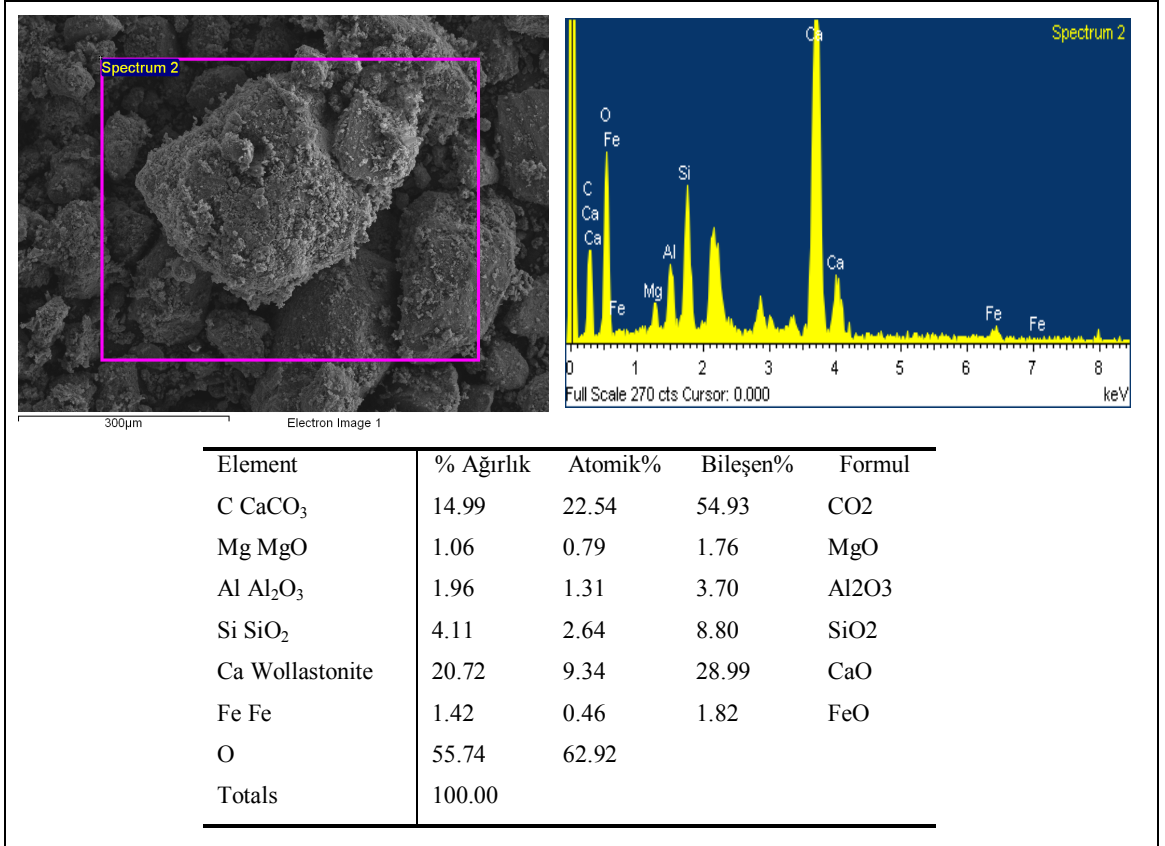


Şekil 4.44 Atık Lastik SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



### Kazınmış asfalt SEM-EDS Analizi sonuçları

Kazınmış asfalt numunesine ait mikroyapı görüntülerinde kendi içinde homojene yakın bir dağılım söz konusudur. EDS analizine ait mikroyapı görüntüsünde yapının genel anlamda kalker yüzdesi yüksek bir malzeme olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum kimyasal analiz ile de orantılıdır.



Şekil 4.45 Kazınmış asfalt SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi

### **4.3.2. 28 günlük harç numunelerine ait SEM-EDS Analiz Sonuçları**

#### *4.3.2.1. Atık lastik katkılı numuneler*

5, 12, 19 numaralı numuneler sırasıyla %5, %10 ve %15 yüzdelere sahiptir. EDS ye ait olan mikroyapı görüntüleri Şekil 4.46, 4.47 ve 4.48'de verilmiş olup, düz gri alanların kuvars yapısına ait olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Kalsiyum silikat yapısı her üç karışım oranı için de EDS analizlerinden tespit edilmiştir. Görüntülerde CSH jellerinin oluşumunu gözlemlemek mümkün olmamıştır.

SEM-EDS analiz sonuçlarından elde edilen sonuçlar fiziksel açıdan incelendiğinde Burdaki tek farklılık 5 ve 12 numaralara ait olan SEM-EDS analiz sonuçlarında ortaya çıkmaktadır. 5 numaralı örneğin EDS analiz sonuçlarına ait SEM görüntüsünde büyük bir çatlak varlığı göze çarpmaktadır. Numune alımı sırasında bu çatlak oluşumu muhtemeldir. Ancak, EK-2'deki 5 numaraya ait SEM görüntüsünde çatlak oluşumu gözlenmemiştir. Bunun yanında homojen bir yapı göze çarpmıştır, ayrıca basınç dayanımı açısından en yakın numune olan 12 numaralı örneğin EK-2'deki görüntüsünde çatlak oluşumu gözlenmemiş olmasına rağmen hava kabarcıklı bir yapı söz konusudur. Bu durum 12 numaralı örneğin mukavemetinin düşük olmasının nedenlerinden biridir. 19 numaralı numunede ise hem hava kabarcıklı hem de çatlak oluşumu içeren bir yapı söz konusudur ve bu durum mukavete fazladan olumsuz olarak yansımıştır.

#### 4.3.2.2. Kazınmış asfalt katkılı numuneler

%10 katkılı 15 numaralı numunedeki boşluk oranı %5 ve %15 katkılı numunelere göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bu durum basınç dayanımı sonuçlarına da yansımıştır. (%5 için 47,27MPa, %10 için 49,52, %15 için 40,70). EDS analizlerine ait olan SEM görüntüleri (Şekil 4.49, 4.50 ve 4.51) ile EK-2'deki SEM görüntüleri incelendiğinde en boşluksuz yapı sırasıyla 8 15 numaralı numunelerde ortaya çıkmıştır. Bu durum basınç dayanımına doğru orantılı olarak yansımıştır.

#### 4.3.2.3. Karma numuneler

Şekil 4.52'deki SEM-EDS analizi verileri ve EK-2'deki SEM görüntüleri incelendiğinde boşluklu, düzensiz ve homojen olmayan görüntüler mevcuttur. Bunlar mukavemet düşüşünü açıklamak için yeterli özelliklerdir.

### 4.3.3. 56 günlük SEM-EDS Analiz Sonuçları

#### 4.3.3.1 Atık Lastik katkılı numuneler

56 günlük SEM-EDS analiz sonuçlarına ait elde edilen bulgular Şekil 4.53, 4.54 ve 4.55'de sunulmuş olup; %10 katkı içeren 12 numaralı örnekten alınan EDS sonucu dikkatle incelendiğinde bu bölgede hidrasyon olayının neredeyse hiç olmadığı anlaşılmaktadır. Çünkü silikat yapısı oluşmamıştır. EK-2'de numunelere ait görüntüler incelendiğinde katkı oranı arttıkça yapıda düzensizliğin arttığı anlaşılmaktadır. Bu durum ile basınç dayanımı arasında doğrusal bir bağ kurulabilmektedir.

#### 4.3.3.2 Kazınmış asfalt katkılı numuneler

Kazınmış asfalta ait olan 8, 15 ve 22 numaralı örneklere ait bulgular Şekil 4.56, 4.57 ve 4.58'de sunulmuş olup; EDS analiz yapılan bölgelerdeki SEM görüntüleri incelendiğinde %10 katkılı 15 numaralı numunenin diğerlerine göre daha sıkı ve daha az boşluklu bir yapıya sahip olduğu anlaşılmaktadır.

#### 4.3.3.3 Karma numuneler

23 nolu numuneye ait SEM-EDS analizi görüntüleri Şekil 4.59'da verilmiş olup ayrıca EK-3'deki SEM görüntüleri incelendiğinde katkı oranı yüksek bir numune olduğu için düzensiz bir yapıya sahip olduğu açıkça anlaşılmaktadır.

### 4.3.4. 98 günlük X Serisi SEM-EDS Analiz Sonuçları

#### 4.3.4.1 Atık Lastik katkılı numuneler

EDS analizine ait SEM görüntüleri Şekil 4.60, 4.61 ve 4.62'de verilmiş olup, incelendiğinde en düşük basınç dayanımına en düzensiz ve hava boşlukları olan 19 numaralı numunenin sahip olduğu görülmektedir. 12 numaralı numunede 19 numaradaki kadar düzensiz yapılar gözlenmese de 5 numaradaki yapıya kıyasla oldukça boşlukludur.

#### 4.3.4.2 Kazınmış asfalt katkılı numuneler

Kazınmış asfalta ait olan 8, 15 ve 22 numaralı örneklere ait bulgular Şekil 4.63, 4.64 ve 4.65'de verilmiş olup; 8 numaralı numune (%5 katkılı) en yüksek basınç dayanımını vermiştir (58 MPa). Numunenin boşluksuz ve düzenli bir yapı görüntüsüne sahip olduğu, SEM-EDS ve EK 1 deki SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır. %10 katkılı 15 numaralı numune 8 numaralı numuneye göre nispeten katmanlıdır (54 MPa). %15 katkılı 22 numaralı örnekte ise diğerlerine göre nispeten düzensiz ve boşluklu bir yapı görülmektedir.

#### 4.3.4.3 Karma numuneler

23 nolu numuneye ait SEM-EDS analizi Şekil 4.66'da verilmiş olup EK 1 deki SEM görüntüleri ile birlikte incelendiğinde katkı oranı yüksek bir numune olduğu için düzensiz bir yapıya sahip olduğu açıkça anlaşılmaktadır.

#### 4.3.5. 98 günlük Y Serisi (Donma-Çözülme) SEM-EDS Analiz Sonuçları

Donma-çözülme serisine ait numunelerin dış yüzeylerinde beyaz bir oluşum gelişmiştir. Bunun nedeni Brusit ( $Mg(OH)_2$ ) oluşumundan kaynaklanmaktadır. Ancak gözle muayenede; basınç dayanımı ölçülen numune içinde brusit oluşumuna rastlanılmamıştır. İç yapı görüntülerinde brusit oluşumuna rastlanılabilmesi için en az altı aylık bir sürenin geçmesi gerekmektedir.

##### 4.3.5.1 Atık Lastik katkılı numuneler

98 günlük SEM-EDS analiz sonuçları Şekil 4.67, 4.68 ve 4.69'da verilmiş olup; elde edilen bulgularda 5, 12, 19 numaralı numuneler için; Ca oranları ile basınç dayanımları arasında doğrusal bir orantı kurmak mümkün olamamıştır. EDS analizine ait SEM görüntüleri incelendiğinde numuneler benzer özellikler göstermektedir basınç dayanımları sırasıyla 31, 39, 32 MPa.

##### 4.3.5.2 Kazınmış asfalt katkılı numuneler

Kazınmış asfalta ait olan 8, 15 ve 22 numaralı örneklere ait analiz sonuçları Şekil 4.70, 4.71 ve 4.72'de verilmiş olup elde edilen bulgularda; 8 ve 15 numaralı numunelere ait SEM-EDS görüntülerindeki yapıların birbirine çok yakın olduğu, sıkı iç yapı görüntülerinin hakim olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum basınç dayanımlarına da yansımıştır. 22 numaralı numunede ise oldukça boşluklu bir yapı göze çarpmaktadır. Ayrıca numunelerin EK-3'deki SEM görüntüleri incelendiğinde en az boşluk veren, sıkı yapı görüntüsü 8 numaralı numuneden 22 numaralı numuneye doğru azalmaktadır. Bu sonuç basınç dayanımlarına da orantılı olarak yansımıştır (#8-58, #15-53, #22-48 MPa).

##### 4.3.5.3 Karma numuneler

23 nolu numuneye ait SEM-EDS analizi Şekil 4.73'de olup EK-3'deki SEM görüntüleri de incelendiğinde katkı oranı yüksek bir numune olduğu için boşluklu ve düzensiz bir yapıya sahip olduğu açıkça anlaşılmaktadır. Bu durum basınç dayanımına da yansımıştır (31 MPa).

#### 4.3.6. 98 günlük Z Serisi SEM-EDS Analiz Sonuçları

##### 4.3.6.1 Atık Lastik katkılı numuneler

SEM-EDS analiz sonuçları Şekil 4.74, 4.75 ve 4.76'de verilmiş olup, EK-3'deki SEM görüntüleri de incelendiğinde en düşük basınç dayanımına en düzensiz ve hava

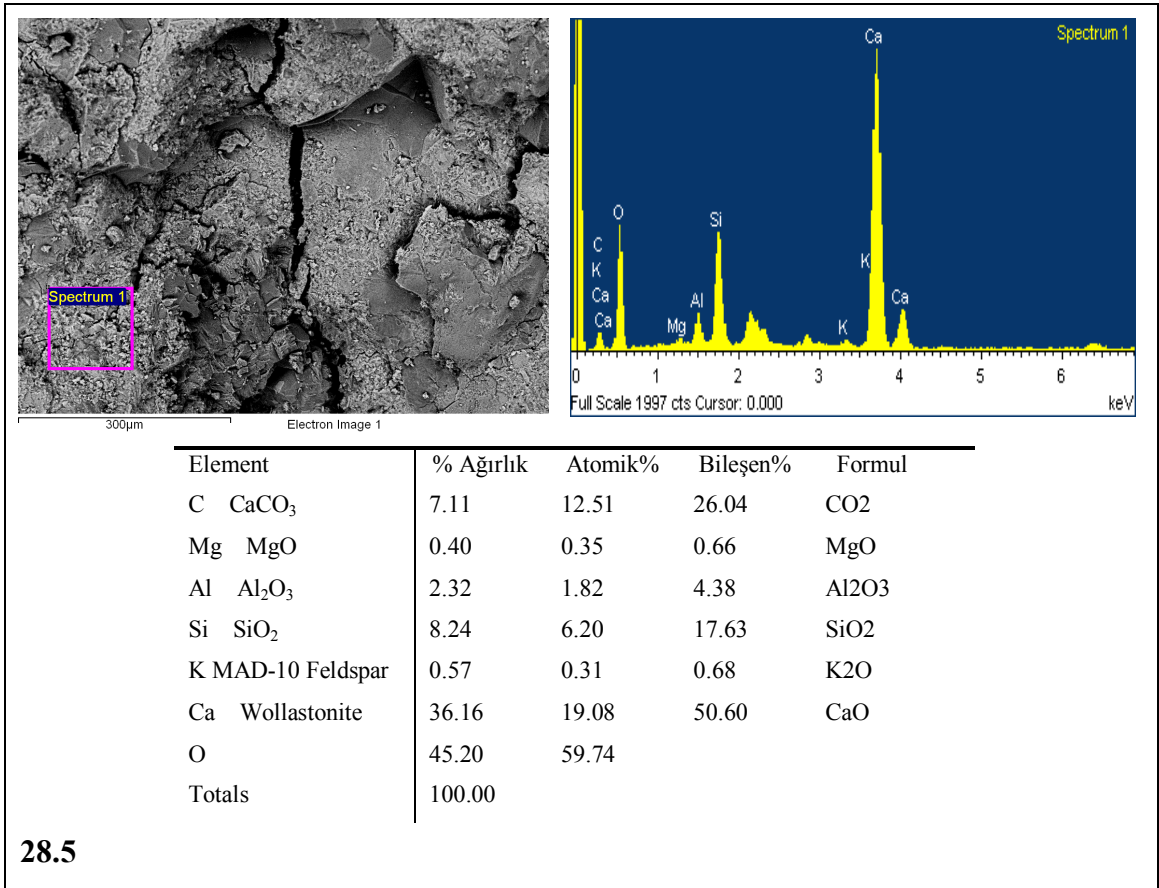
boşlukları olan 19 numaralı numunenin sahip olduğu görülmektedir. 12 numaralı numunede 19 numarada izlenen ölçüde düzensiz yapılar gözlenmemiştir, 5 numaralı numunenin yapısı ise oldukça düzenli ve boşluksuzdur.

#### 4.3.6.2 Kazınmış asfalt katkıli numuneler

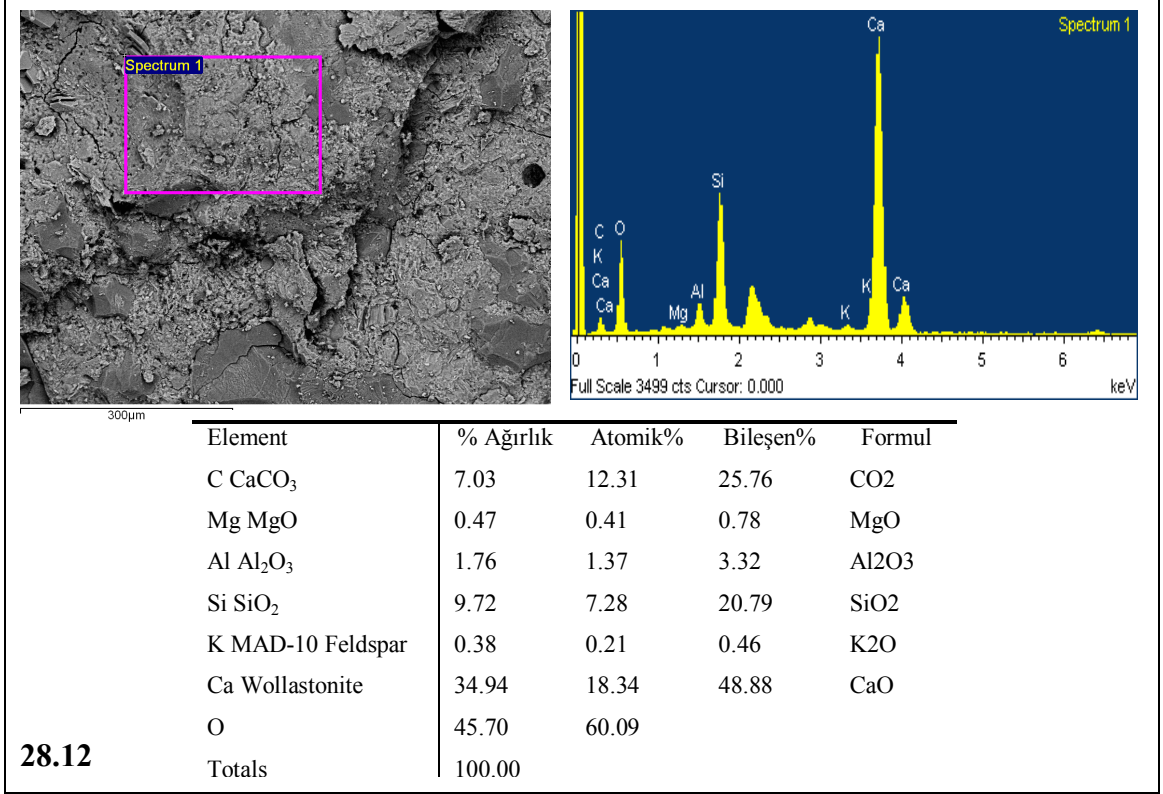
Numunelerin SEM-EDS görüntüleri Şekil 4.77, 4.78 ve 4.79'da olup EK-3'deki SEM görüntüleri incelendiğinde yapıların birbirine çok benzer olduğu anlaşılmaktadır. Aralarında belirgin farklılıklar bulunmamaktadır.

#### 4.3.6.3 Karma numuneler

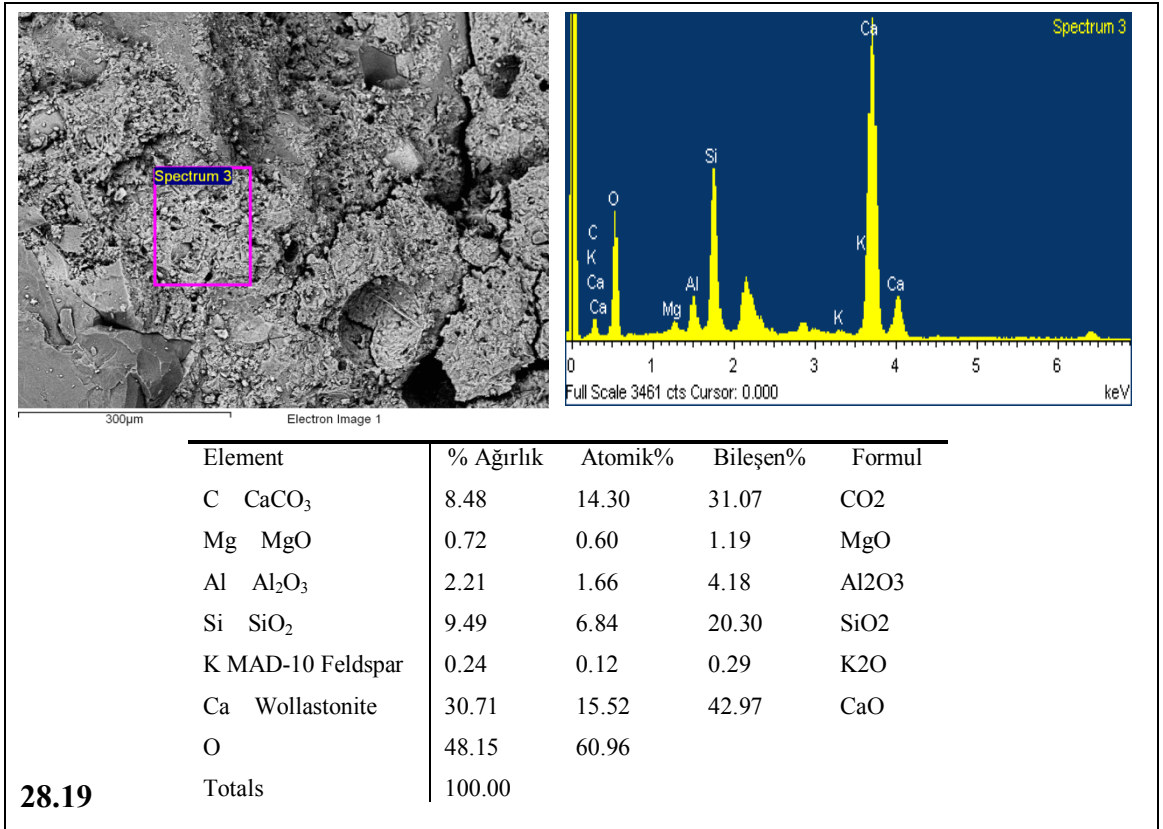
23 nolu numuneye ait SEM-EDS görüntüleri Şekil 4.80'de verilmiştir. EK-3'deki SEM görüntüleri incelendiğinde katkı oranı yüksek bir numune olmasına rağmen sıkı bir yapı göstermiş, basınç dayanımı sonucu bu durumu desteklemiştir (31 MPa).



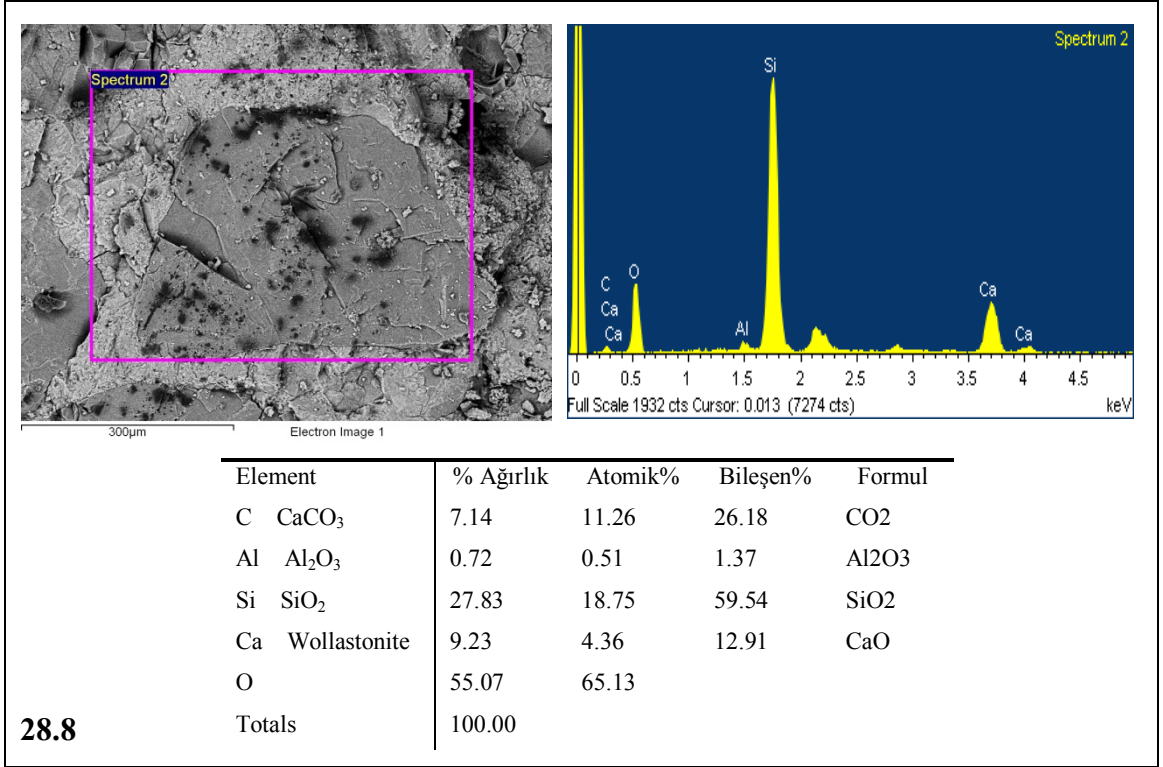
Şekil 4.46. 28 günlük 5 numaralı %5 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



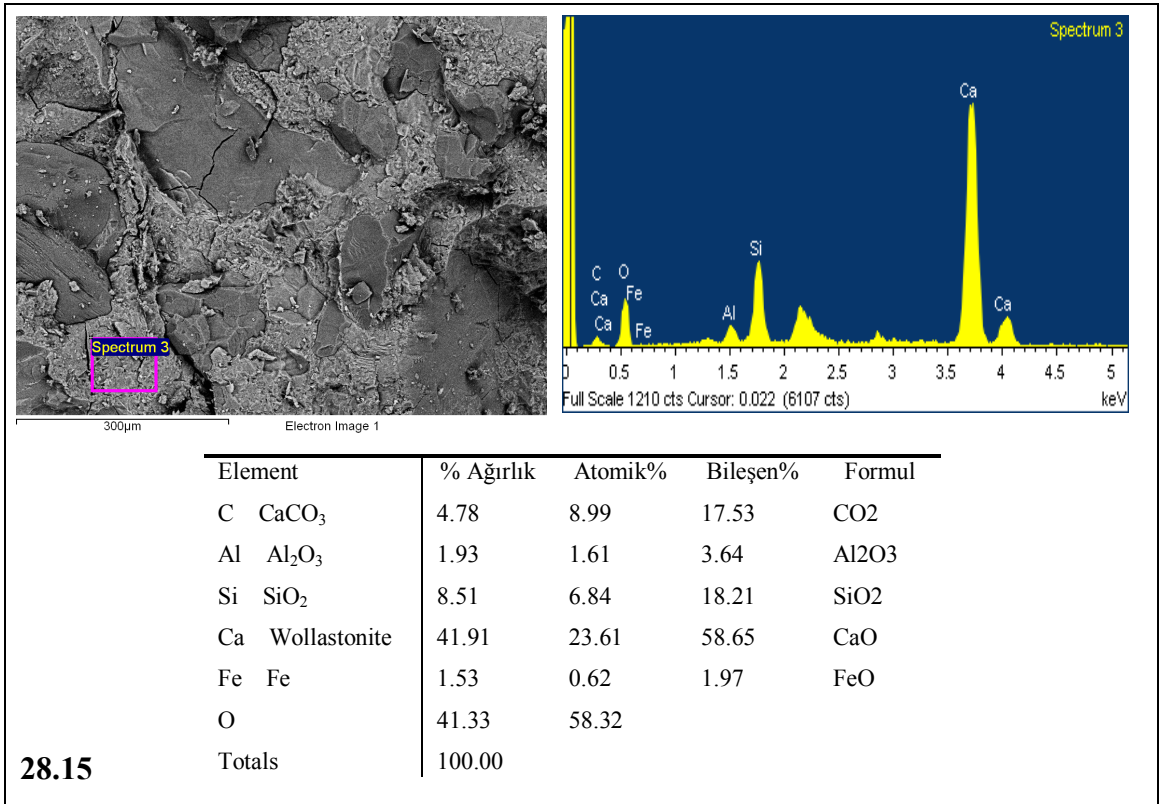
Şekil 4.47. 28 günlük 12 numaralı %10 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



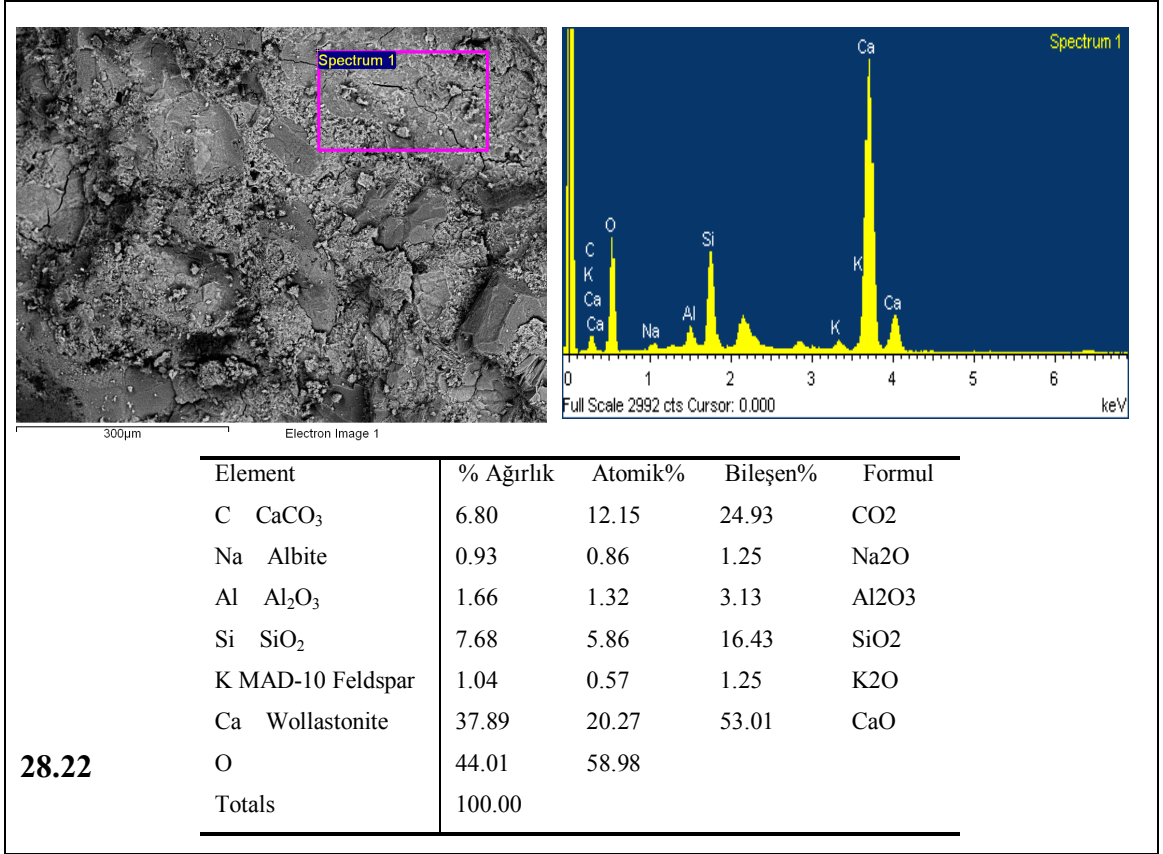
Şekil 4.48. 28 günlük 19 numaralı %15 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



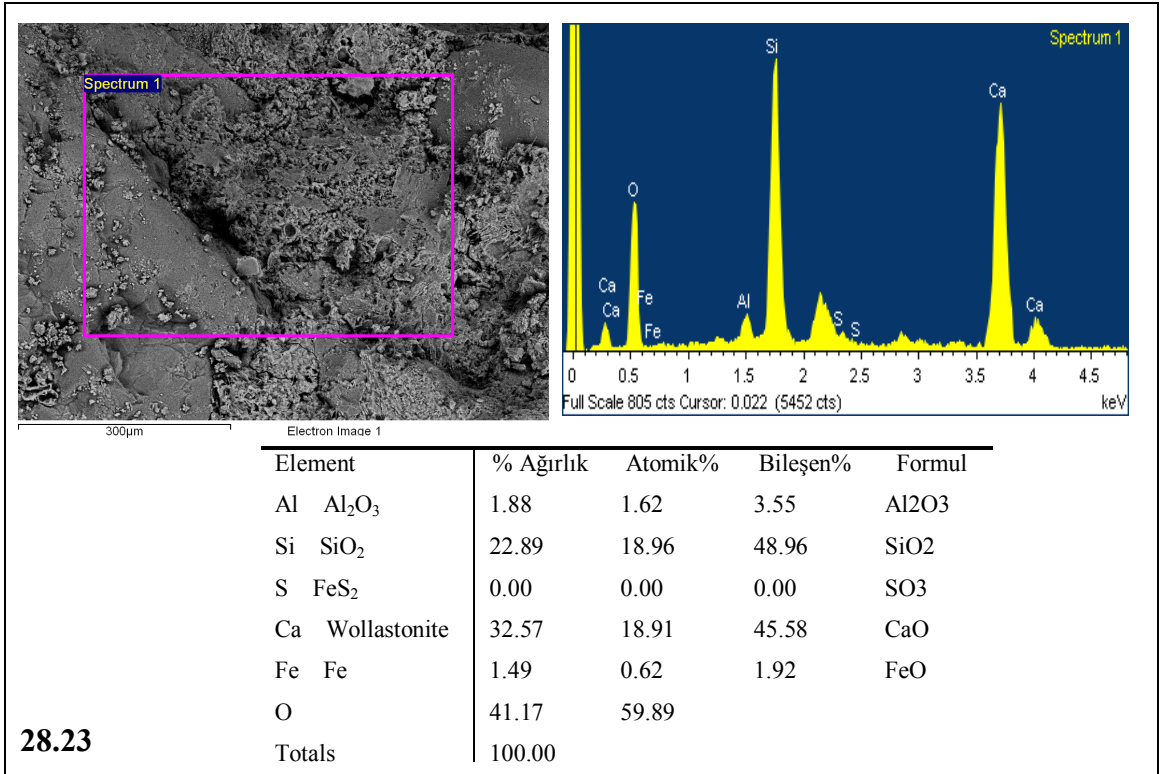
Şekil 4.49. 28 günlük 8 numaralı %5 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



Şekil 4.50. 28 günlük 15 numaralı %10 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi

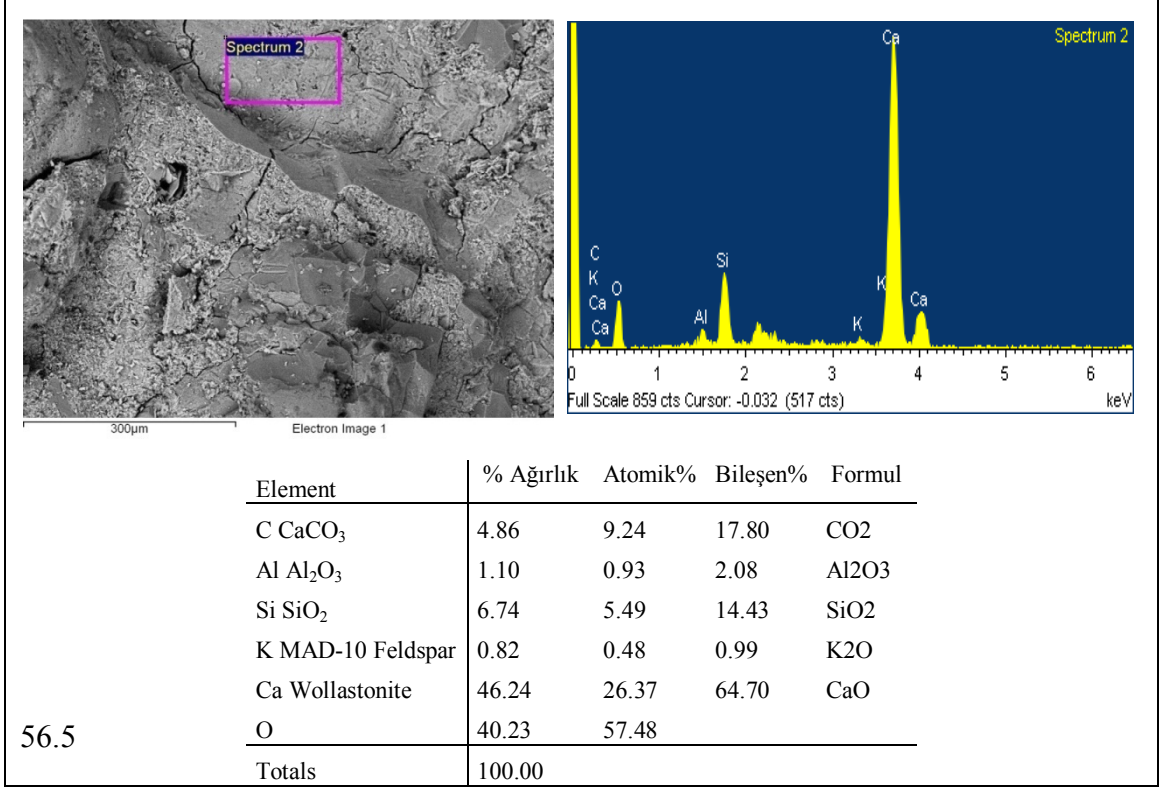


Şekil 4.51. 28 günlük 22 numaralı %15 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi

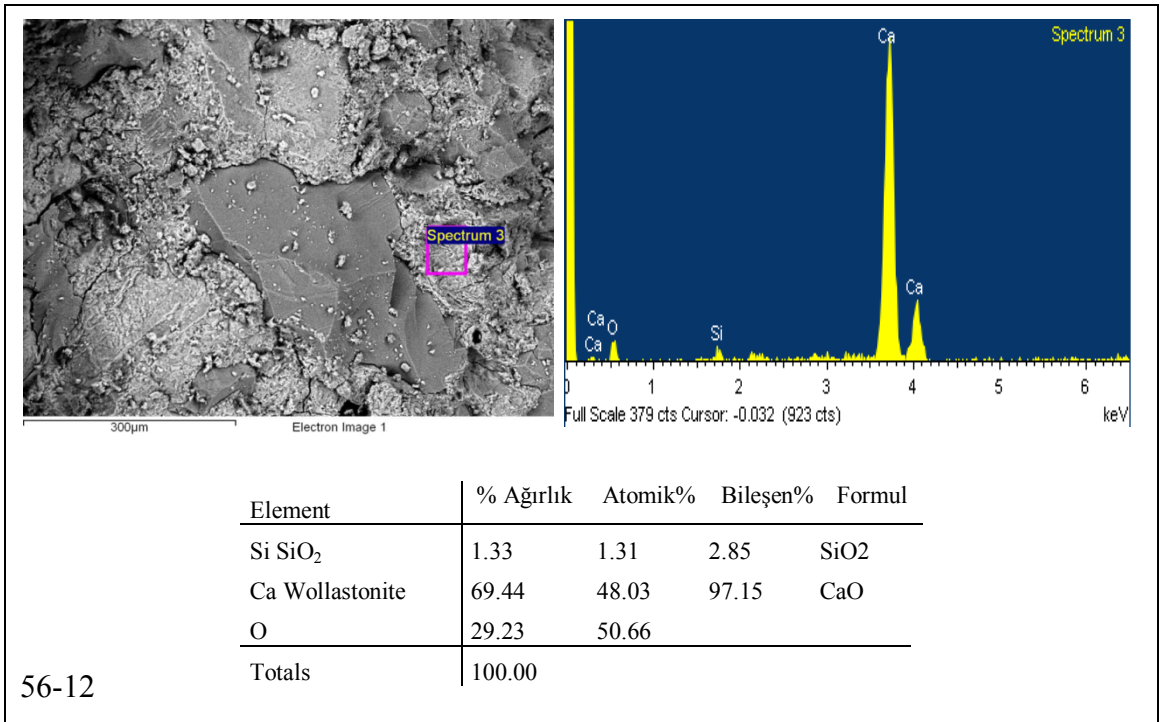


Şekil 4.52. 28 günlük 23 numaralı %20 oranında D + %10 Oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi

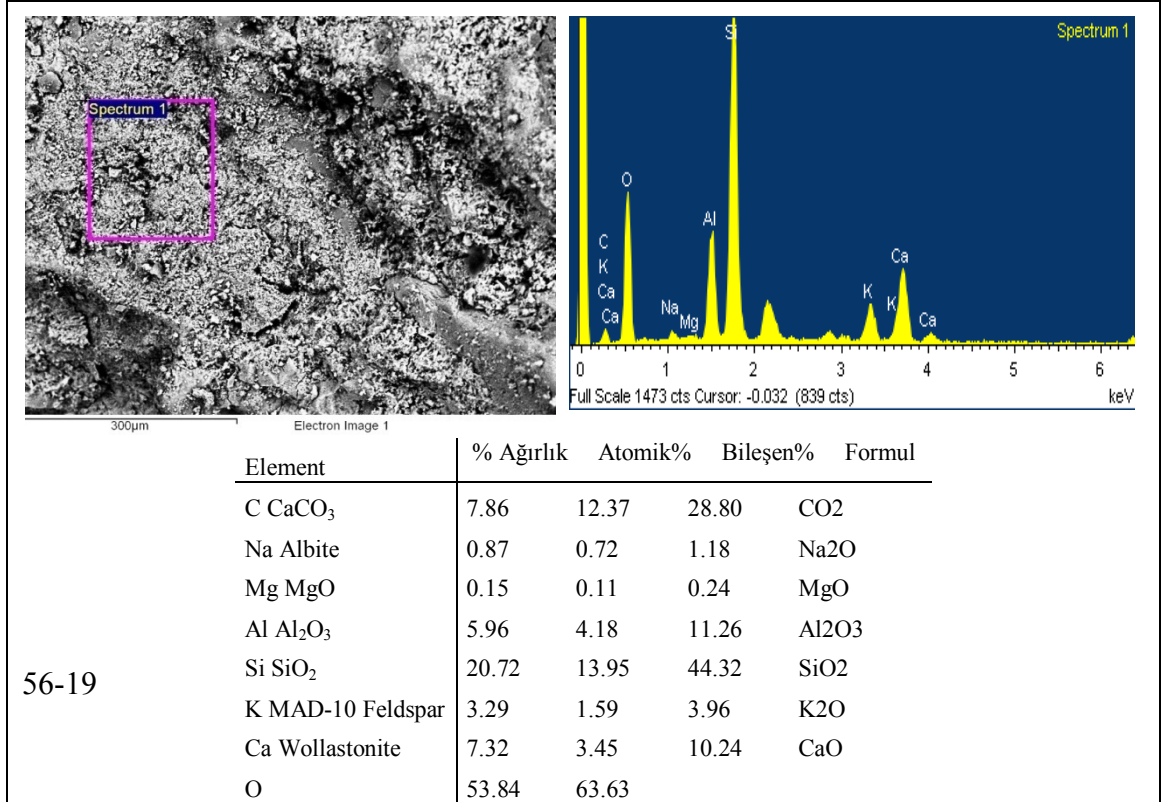




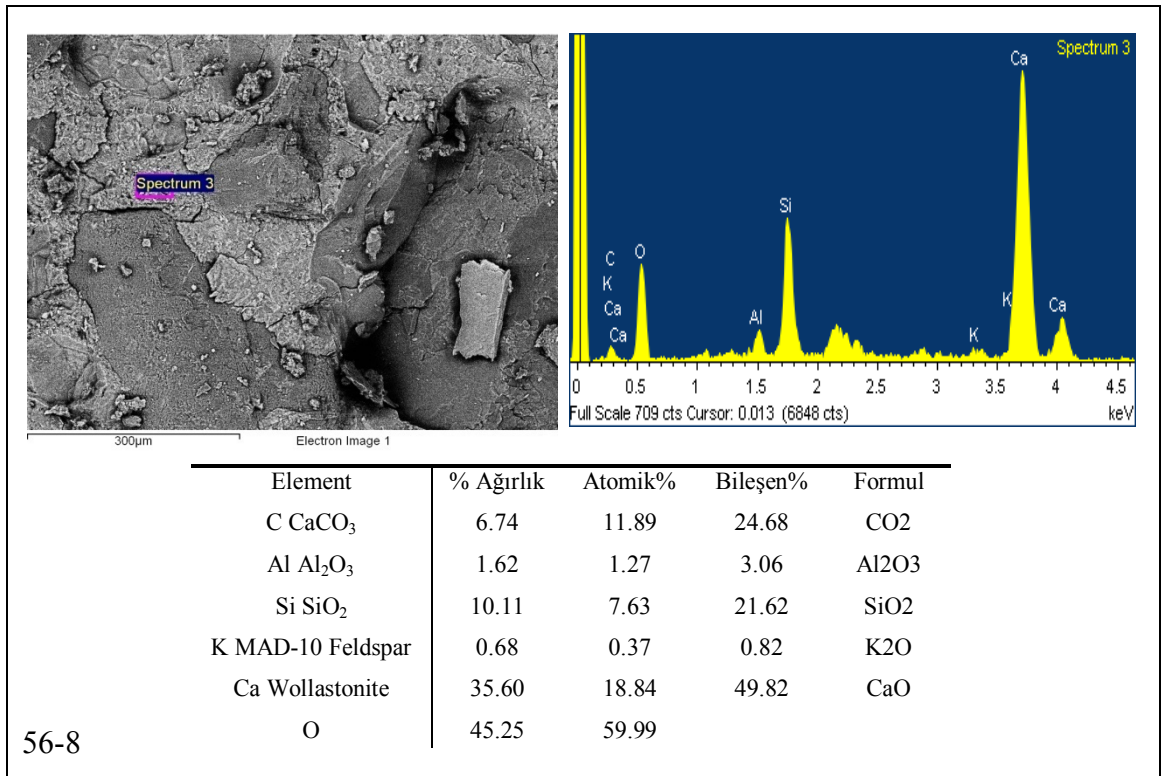
Şekil 4.53. 56 günlük 5 numaralı %5 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



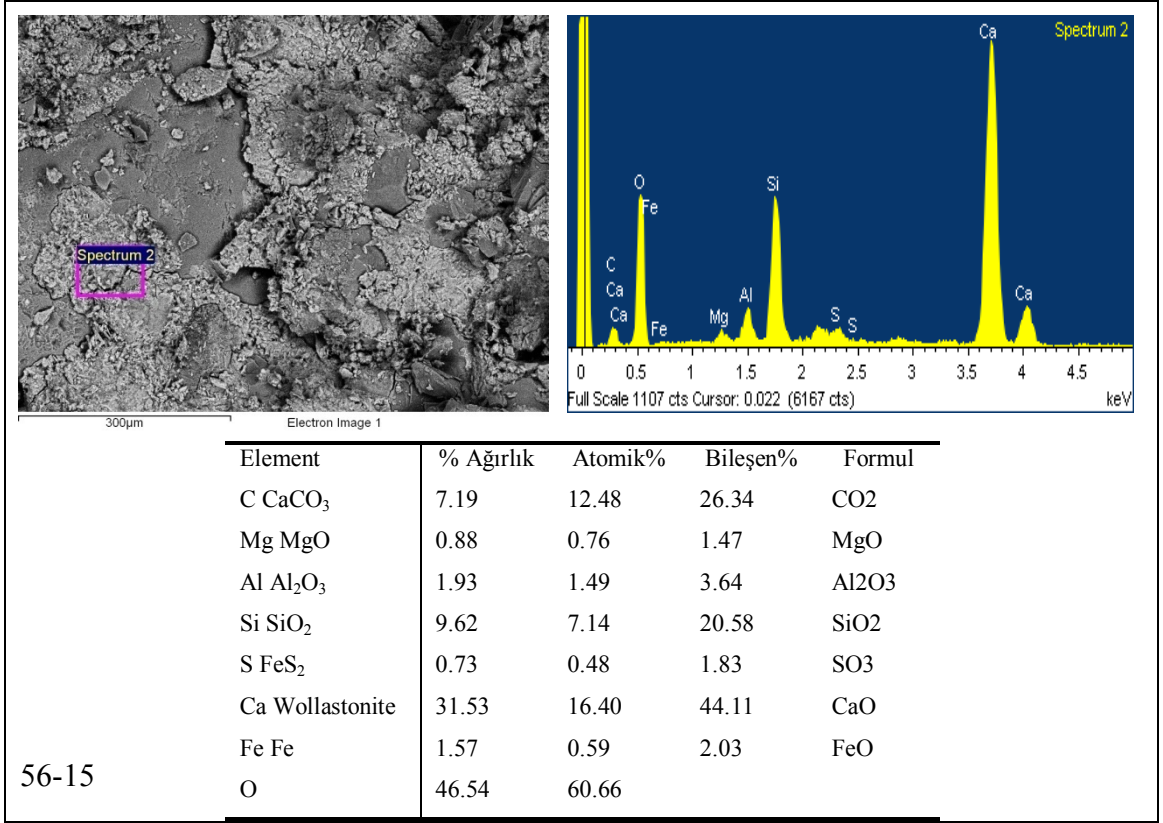
Şekil 4.54 56 günlük 12 numaralı %10 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



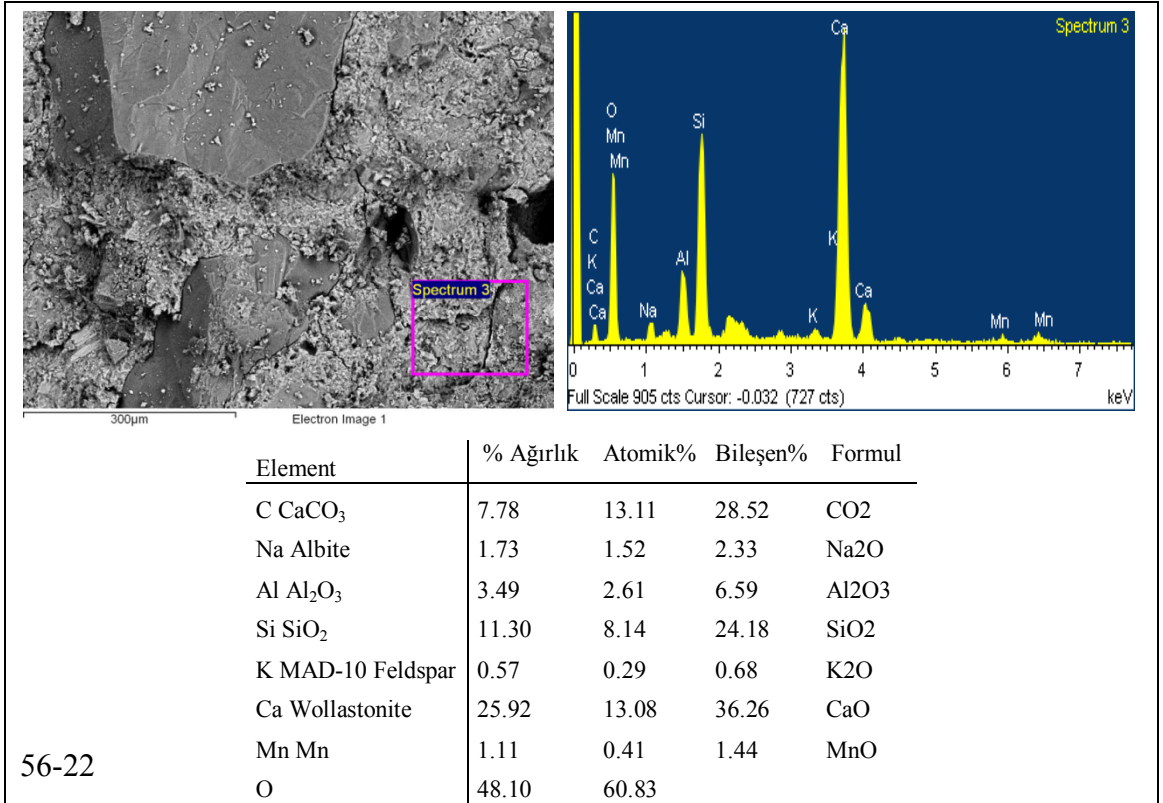
Şekil 4.55. 56 günlük 19 numaralı %15 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



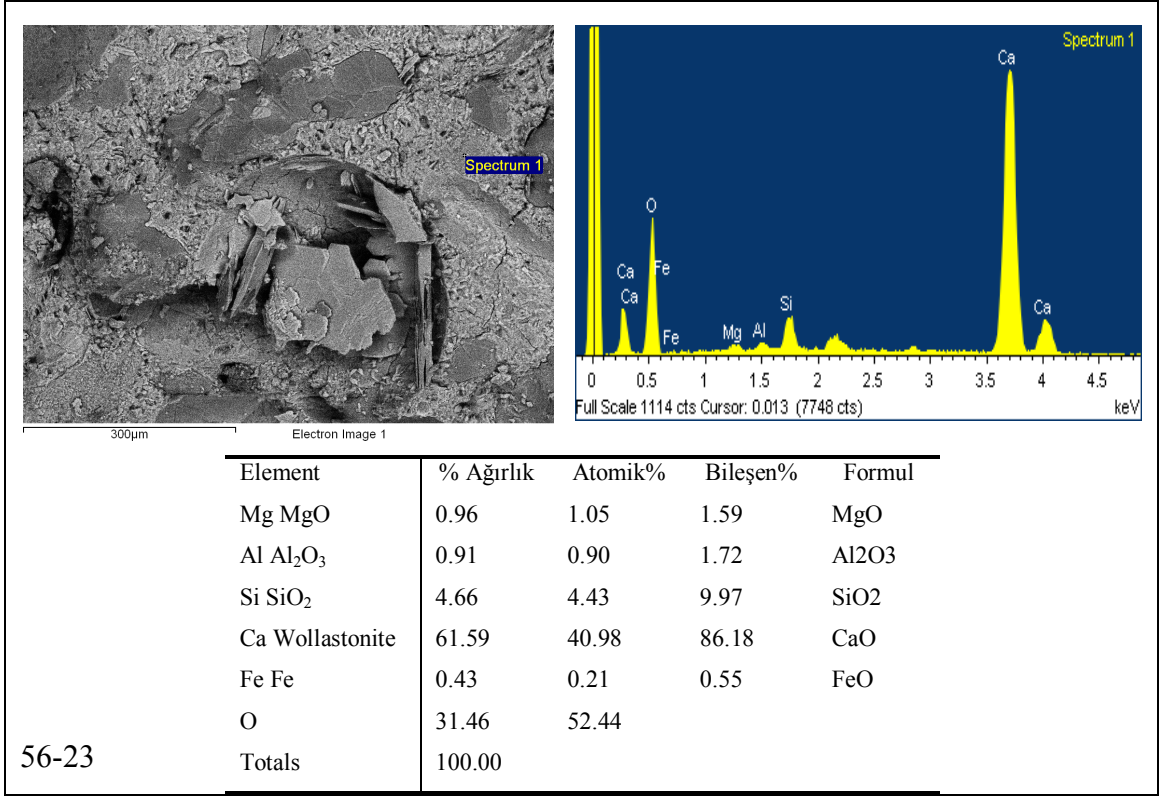
Şekil 4.56. 56 günlük 8 numaralı %5 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



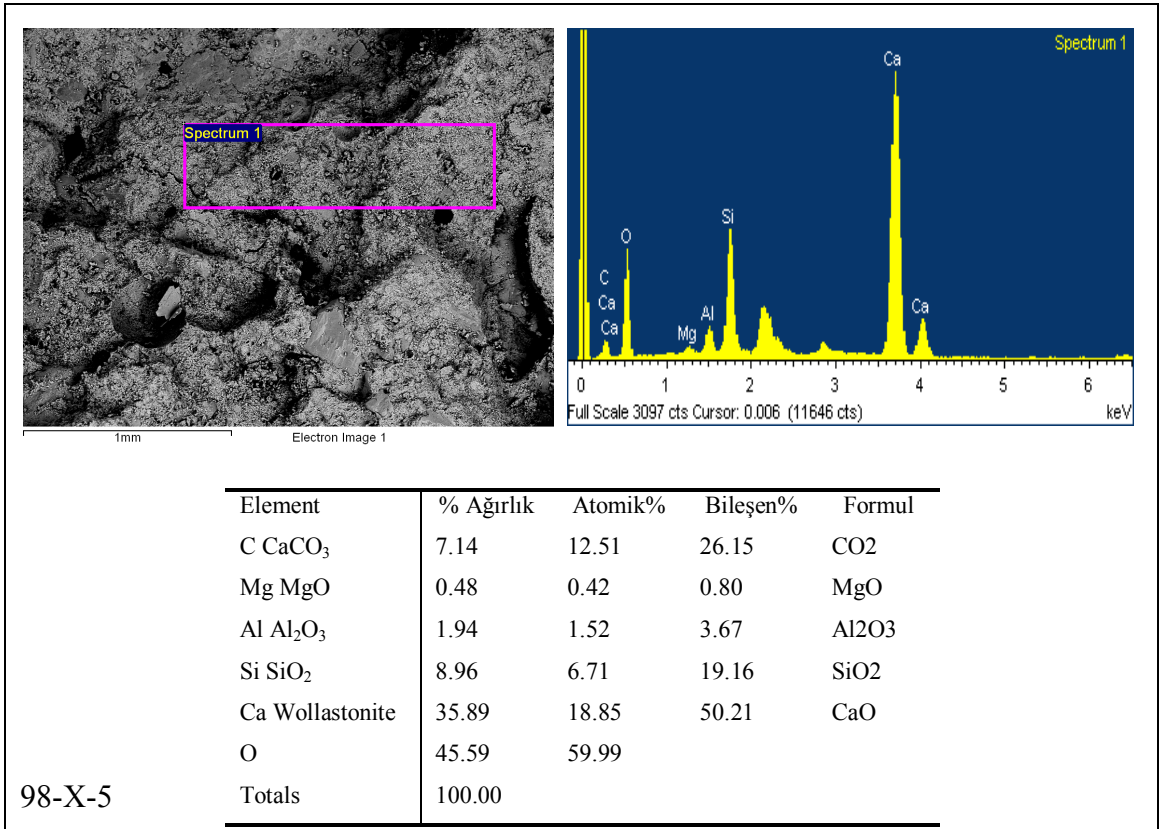
Şekil 4.57. 56 günlük 15 numaralı %10 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



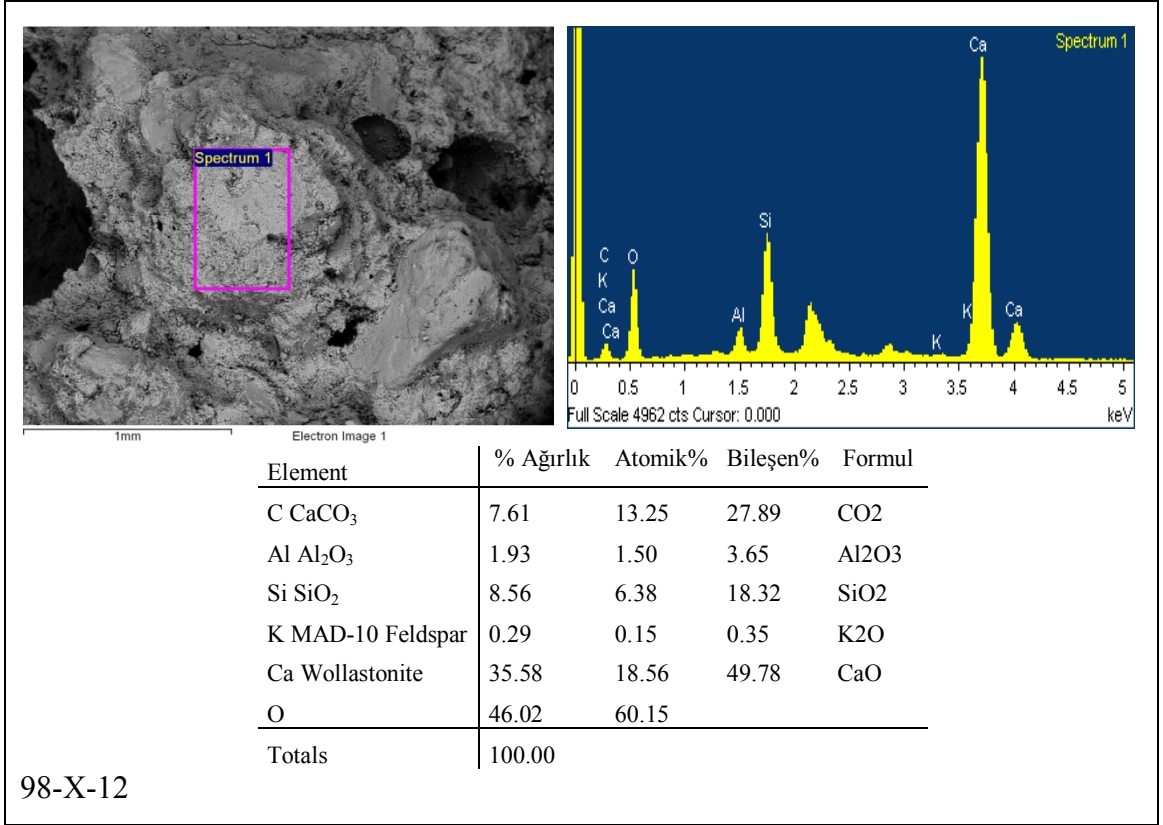
Şekil 4.58. 56 günlük 22 numaralı %15 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



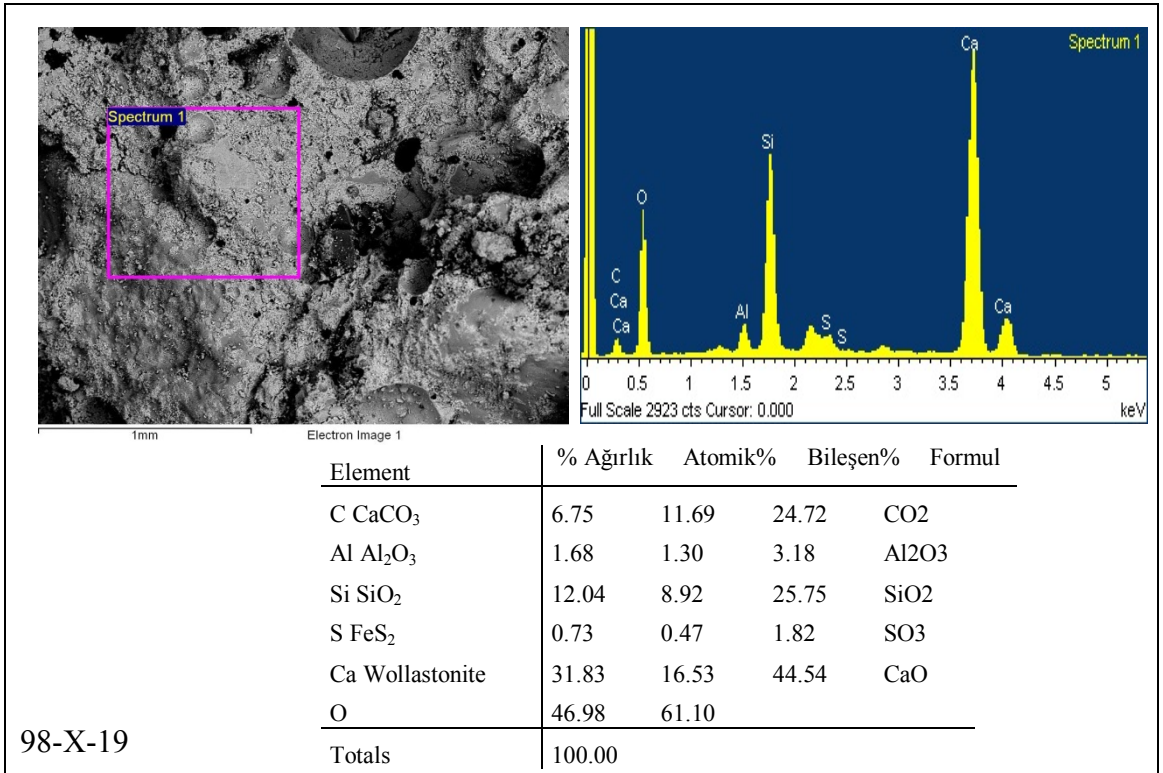
Şekil 4.59. 56 günlük 23 numaralı %20 oranında D + %10 Oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



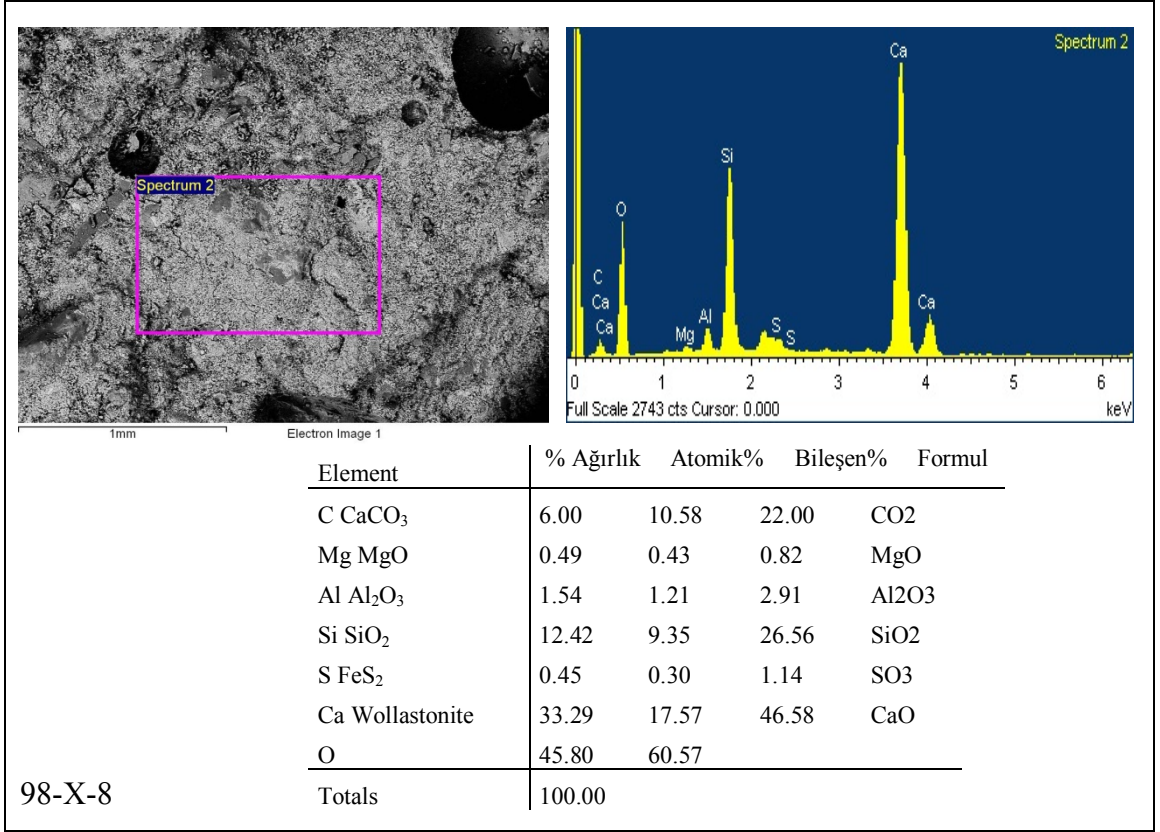
Şekil 4.60 X Serisi 5 numaralı %5 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



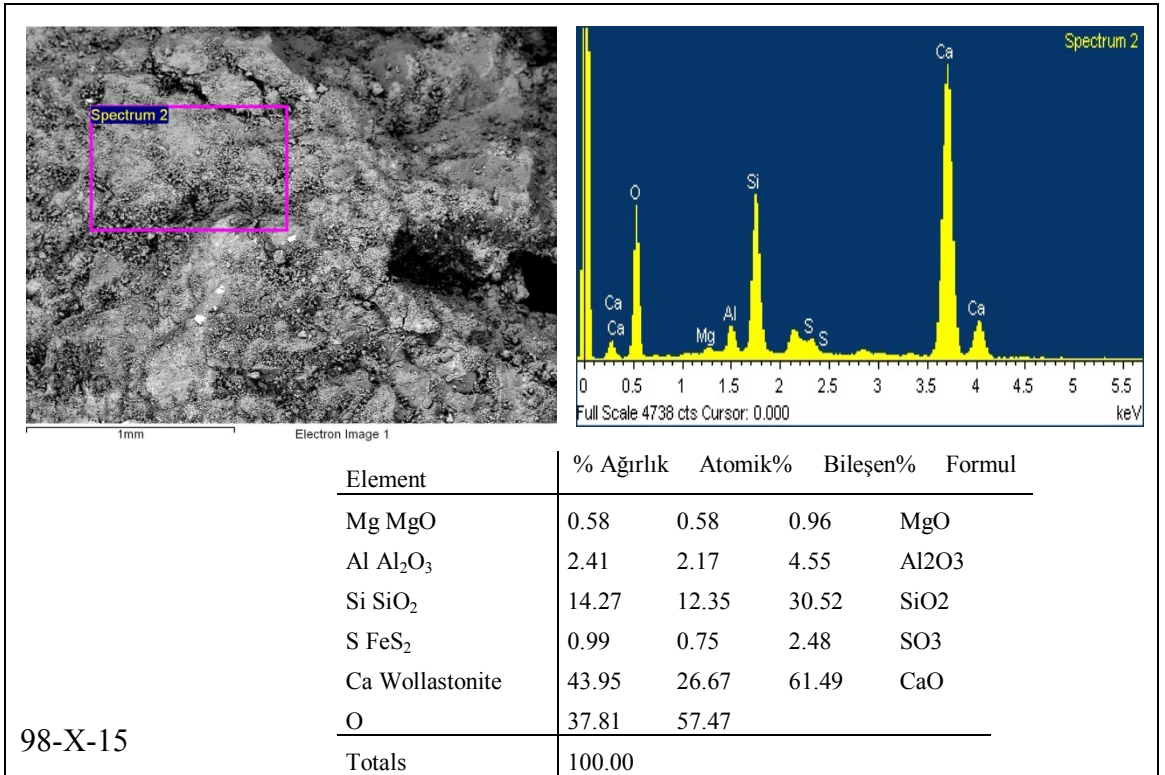
Şekil 4.61. X Serisi 12 numaralı %10 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



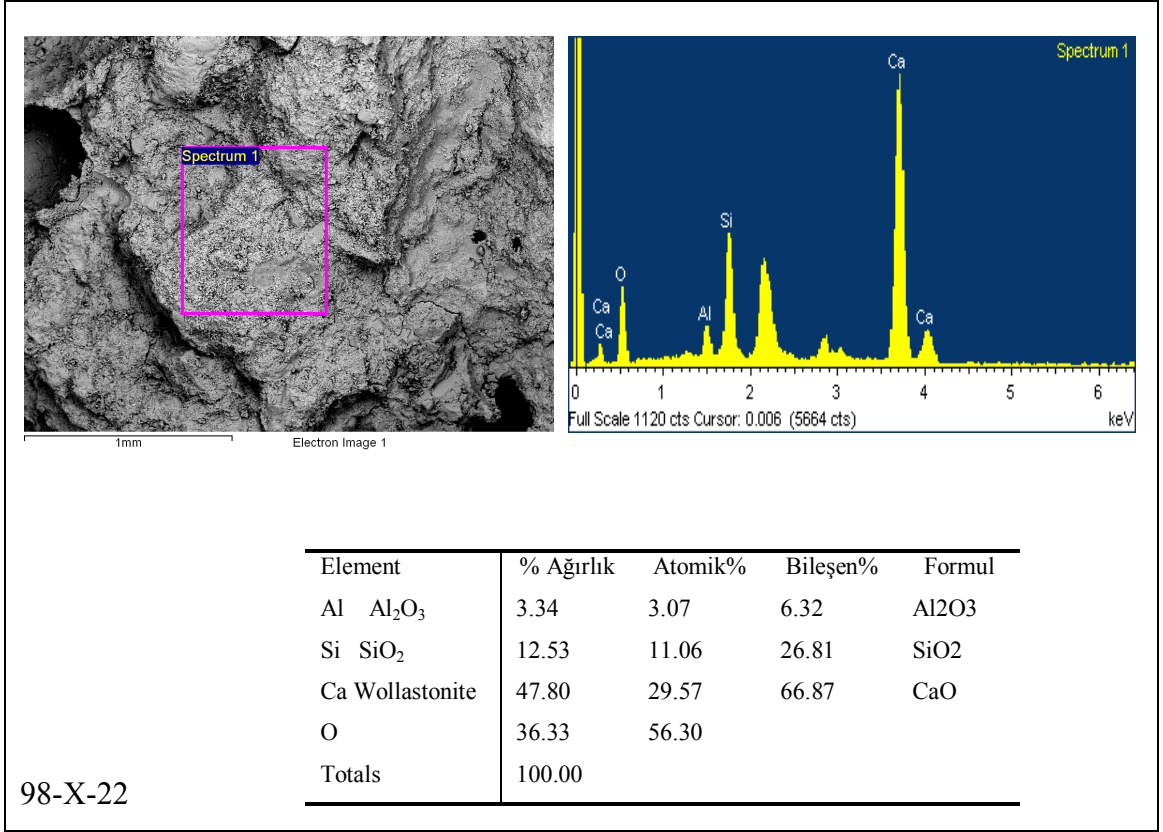
Şekil 4.62. X Serisi 19 numaralı %15 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



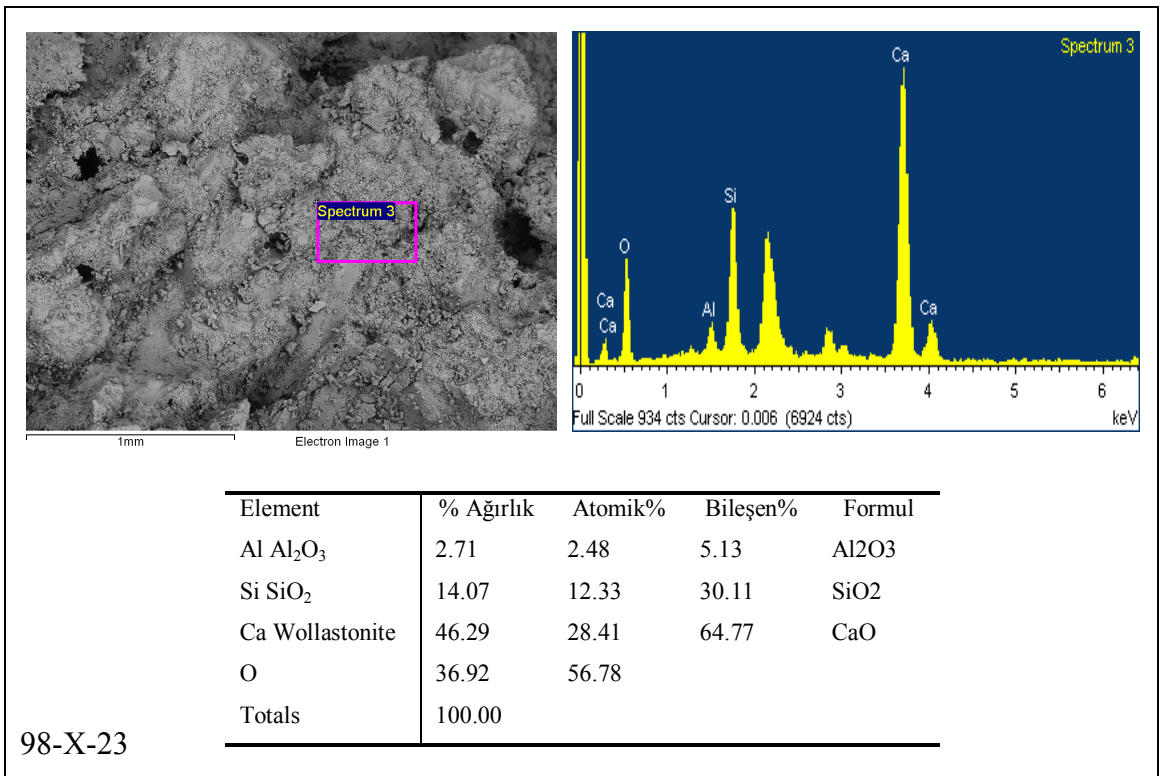
Şekil 4.63 X Serisi 8 numaralı %5 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



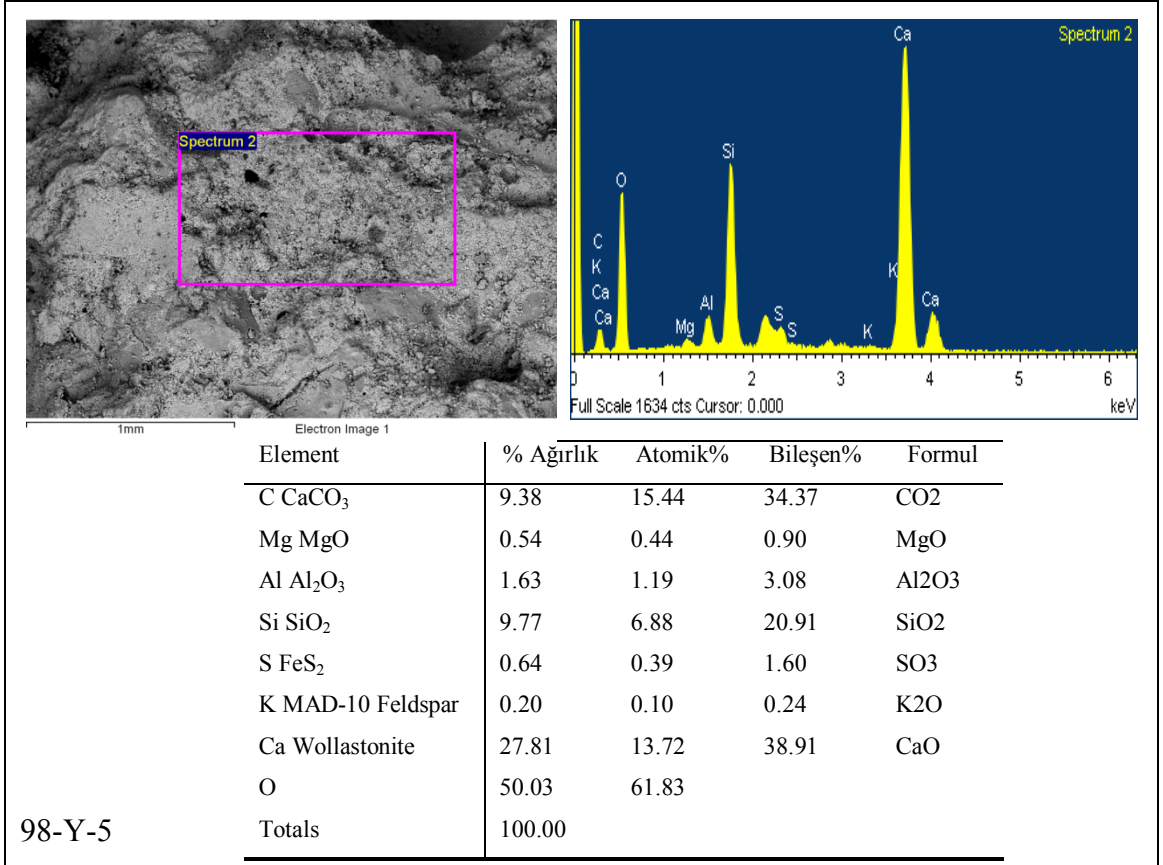
Şekil 4.64. X Serisi 15 numaralı %10 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



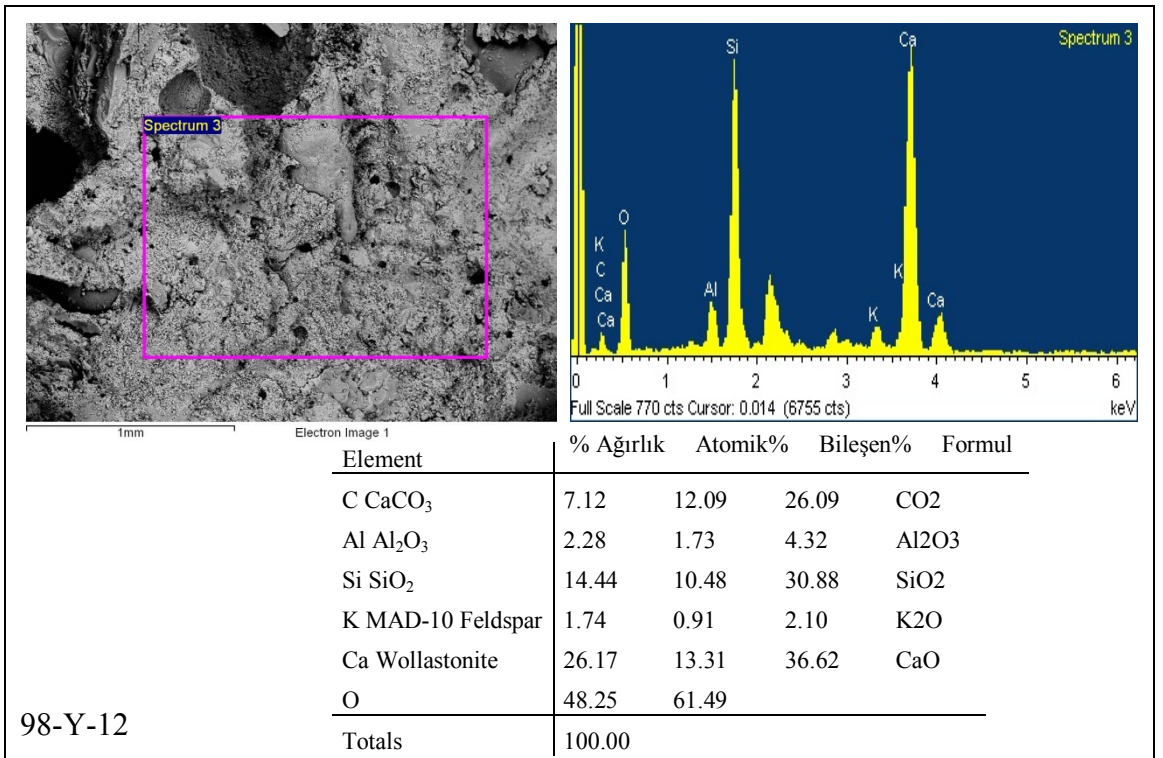
Şekil 4.65. X Serisi 22 numaralı %15 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



Şekil 4.66. X Serisi 23 numaralı %20 oranında D + %10 Oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi

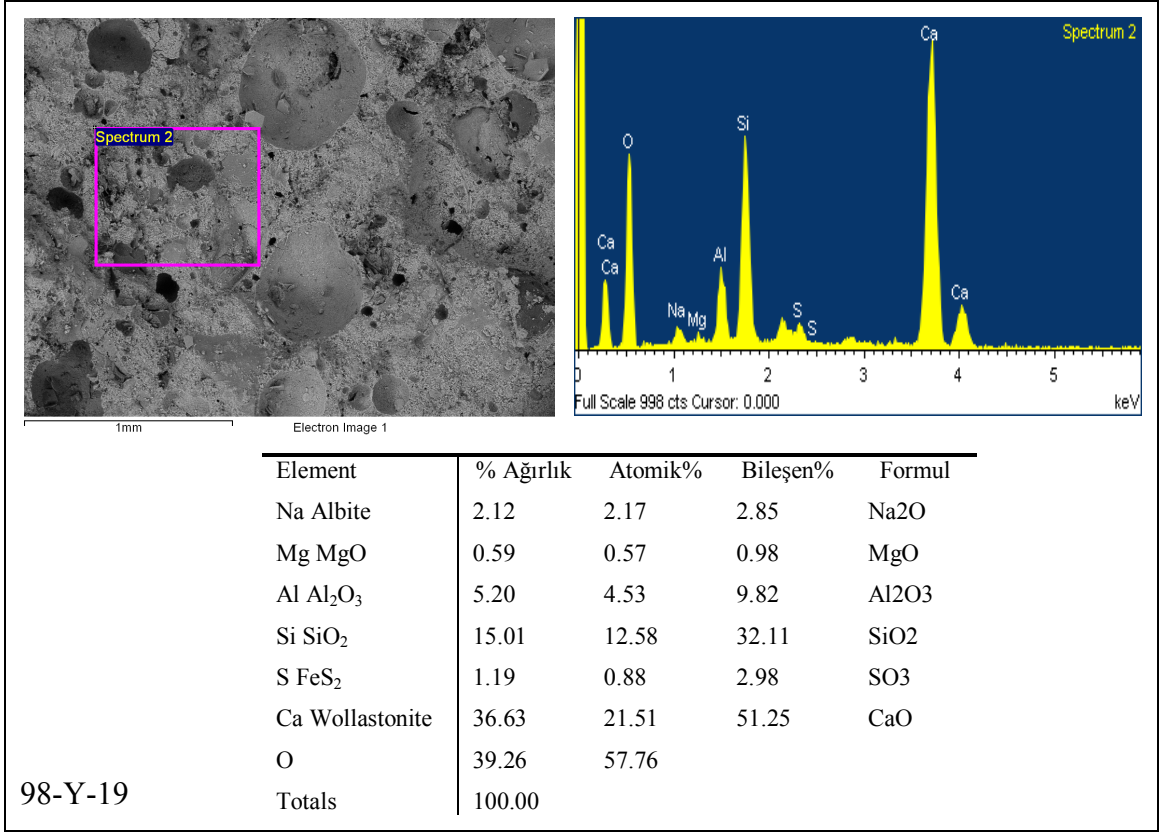


Şekil 4.67 Y Serisi 5 numaralı %5 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi

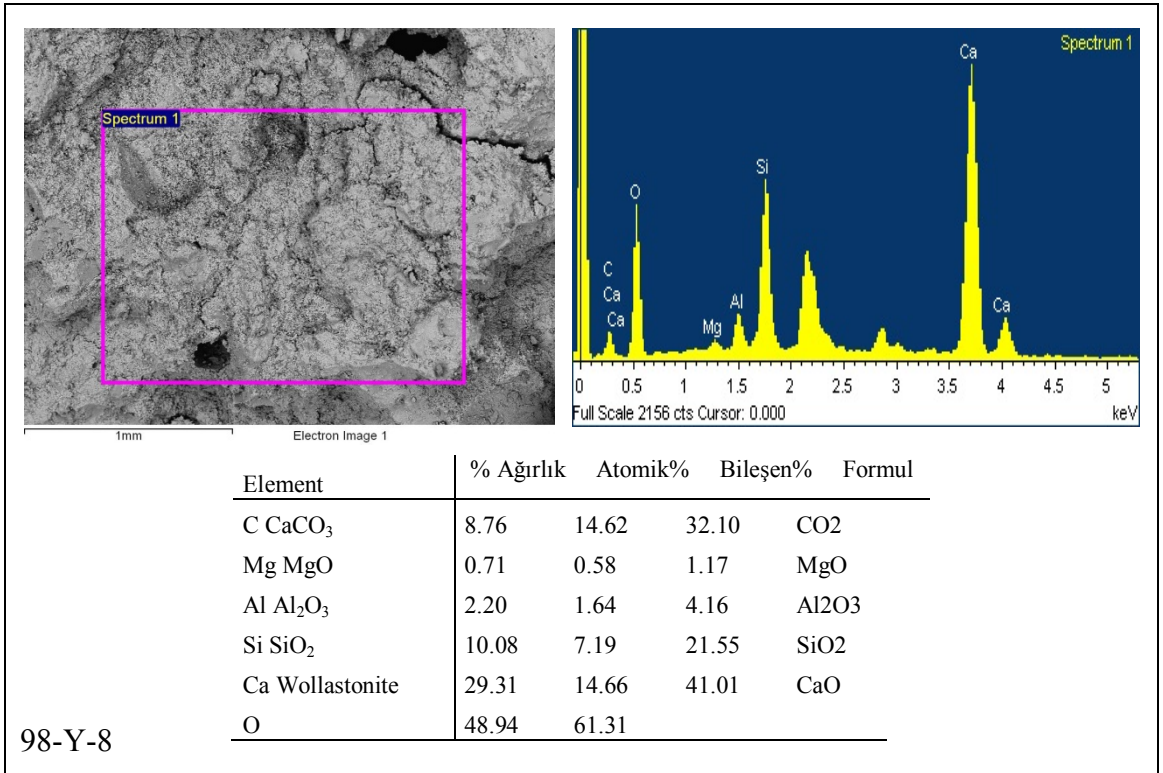


Şekil 4.68 Y Serisi 12 numaralı %10 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi

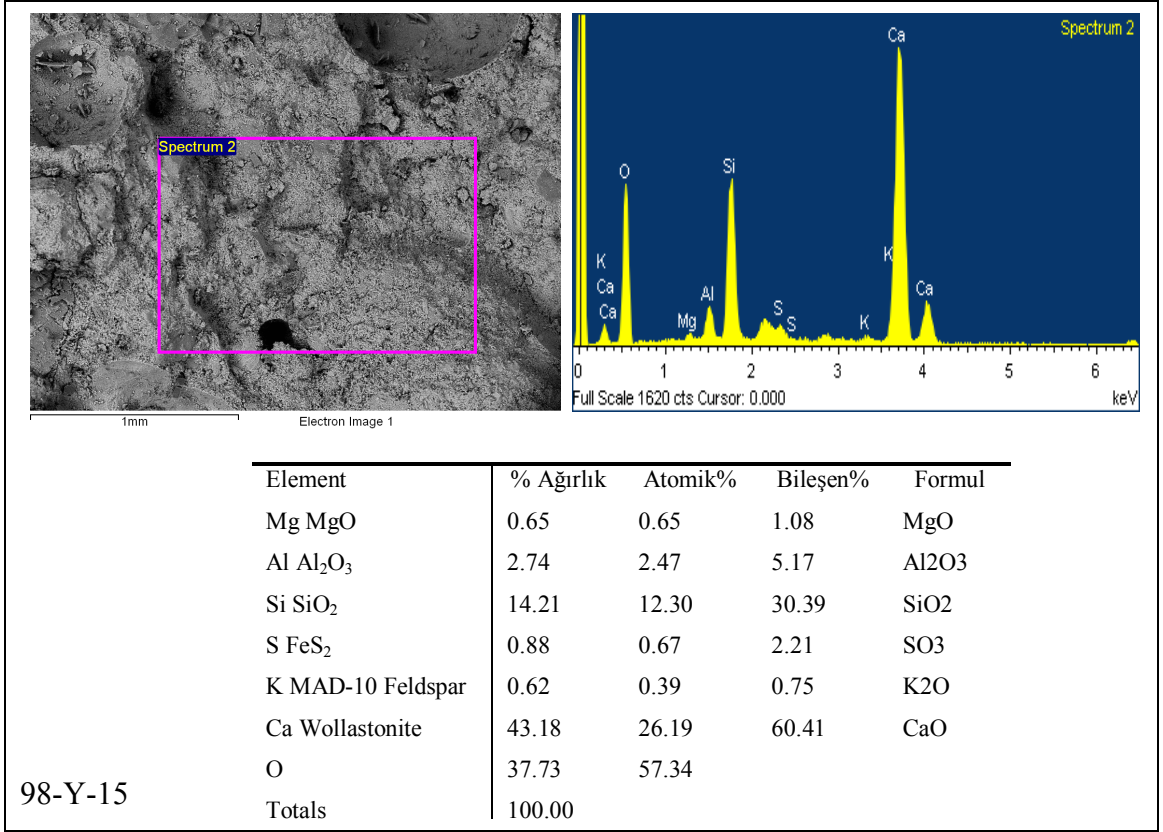




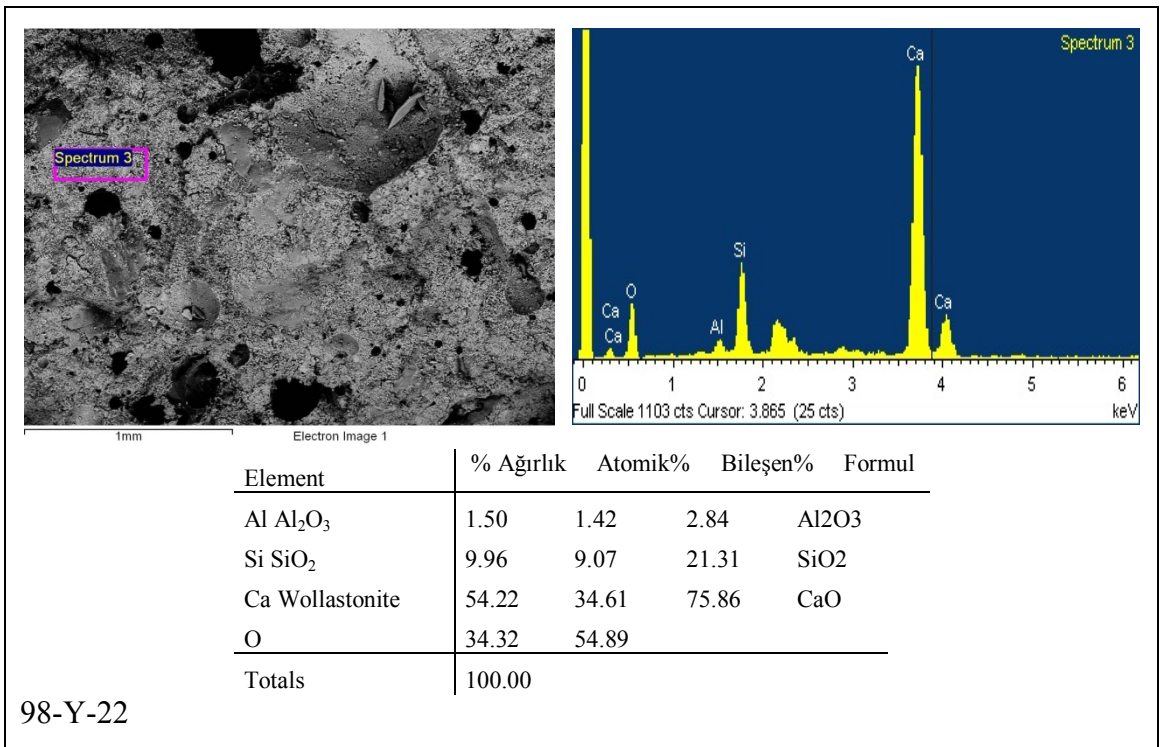
Şekil 4.69. Y Serisi 19 numaralı %15 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



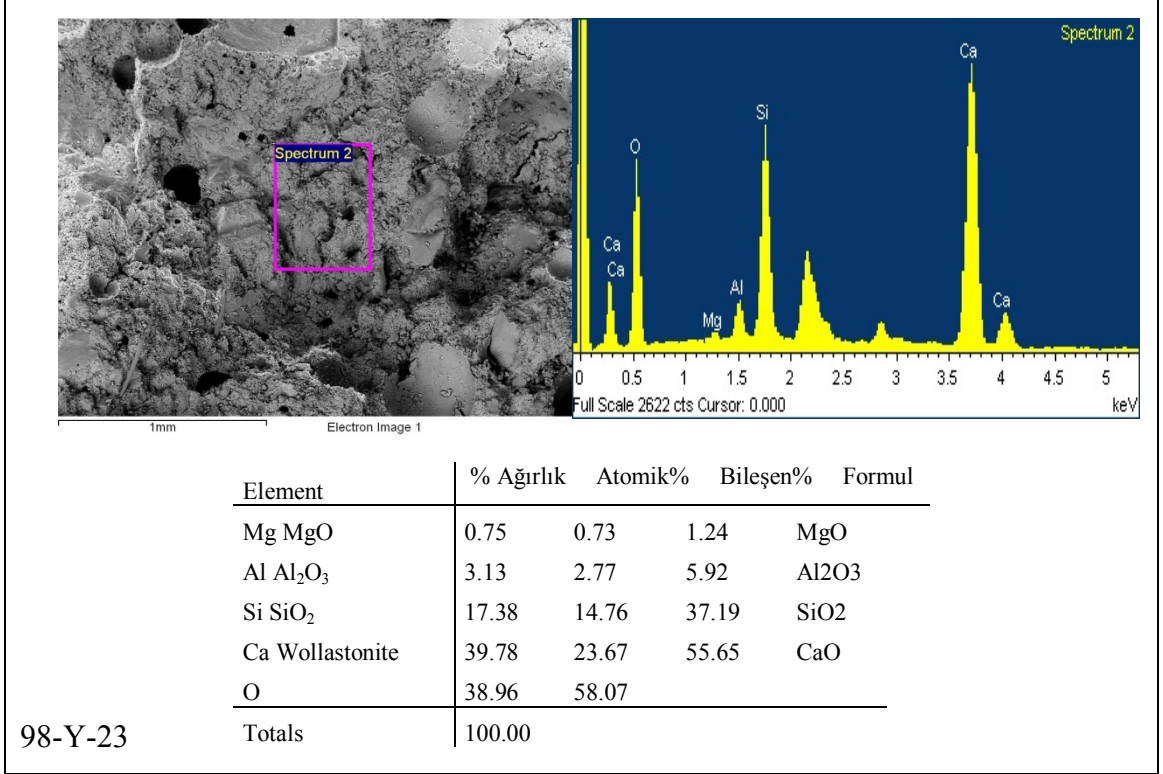
Şekil 4.70. Y Serisi 8 numaralı %5 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



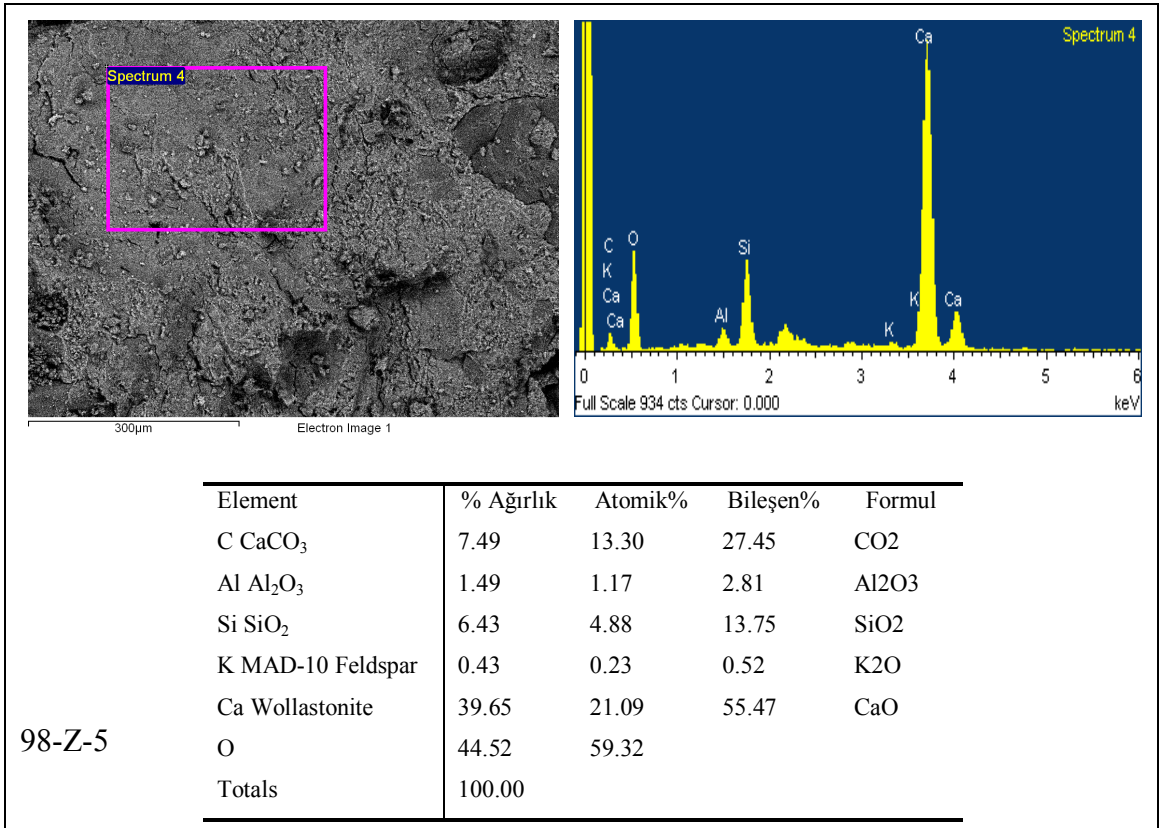
Şekil 4.71. Y Serisi 15 numaralı %10 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



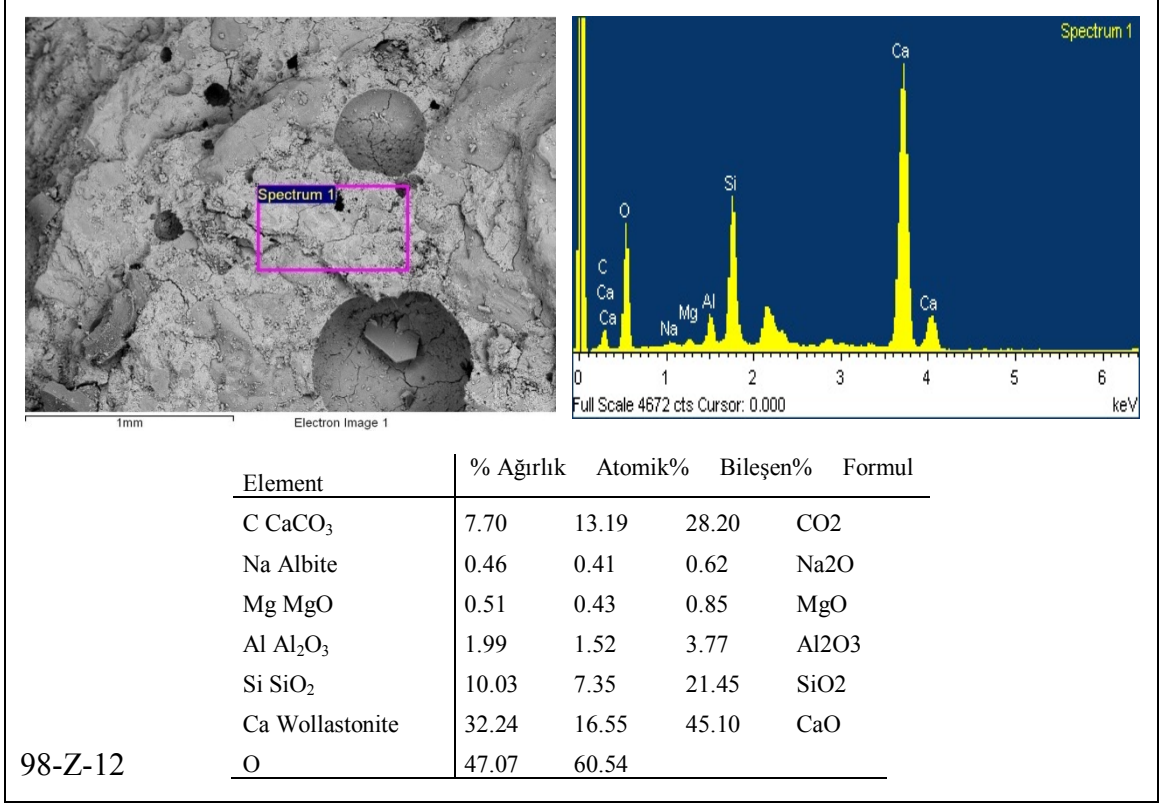
Şekil 4.72. Y Serisi 22 numaralı %15 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



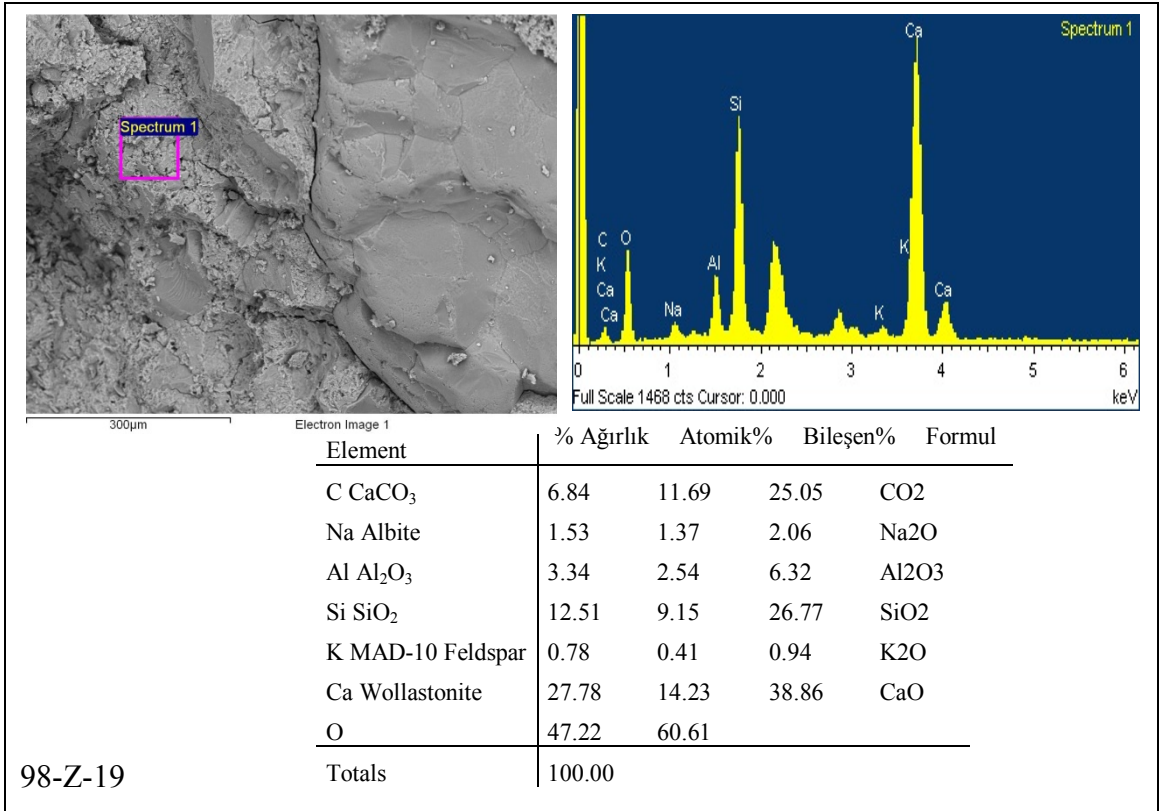
Şekil 4.73. Y Serisi 23 numaralı %20 oranında D + %10 Oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



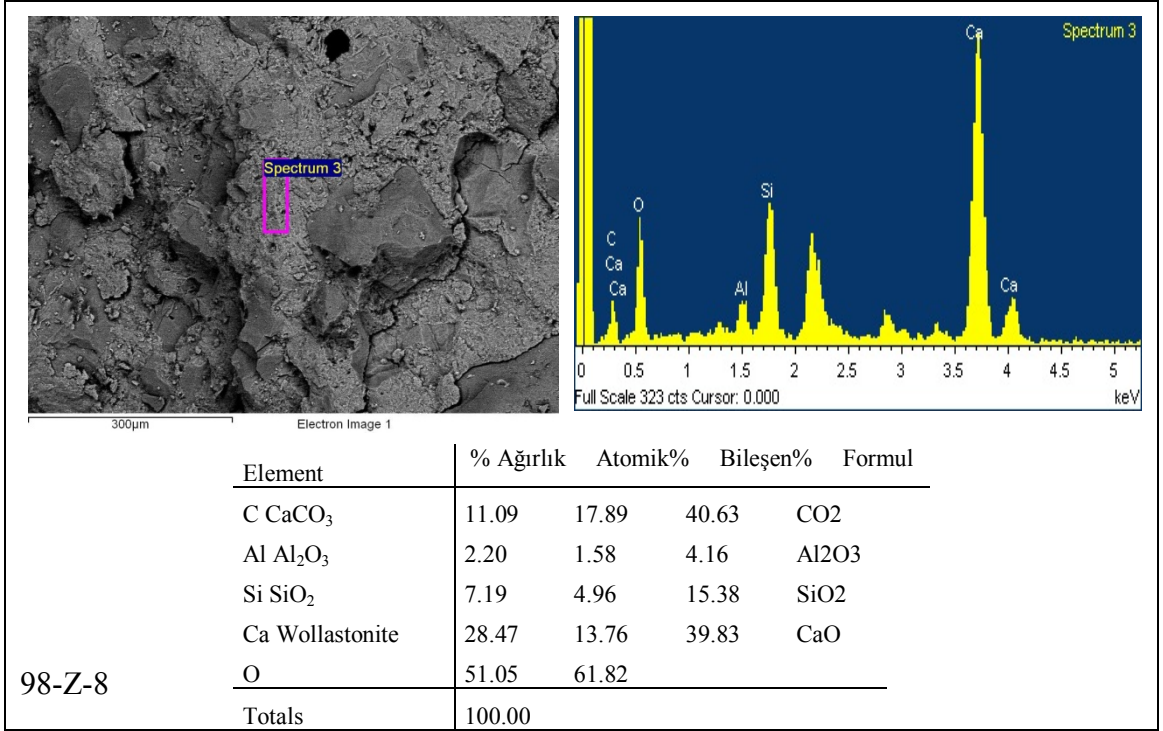
Şekil 4.74. Z Serisi 5 numaralı %5 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



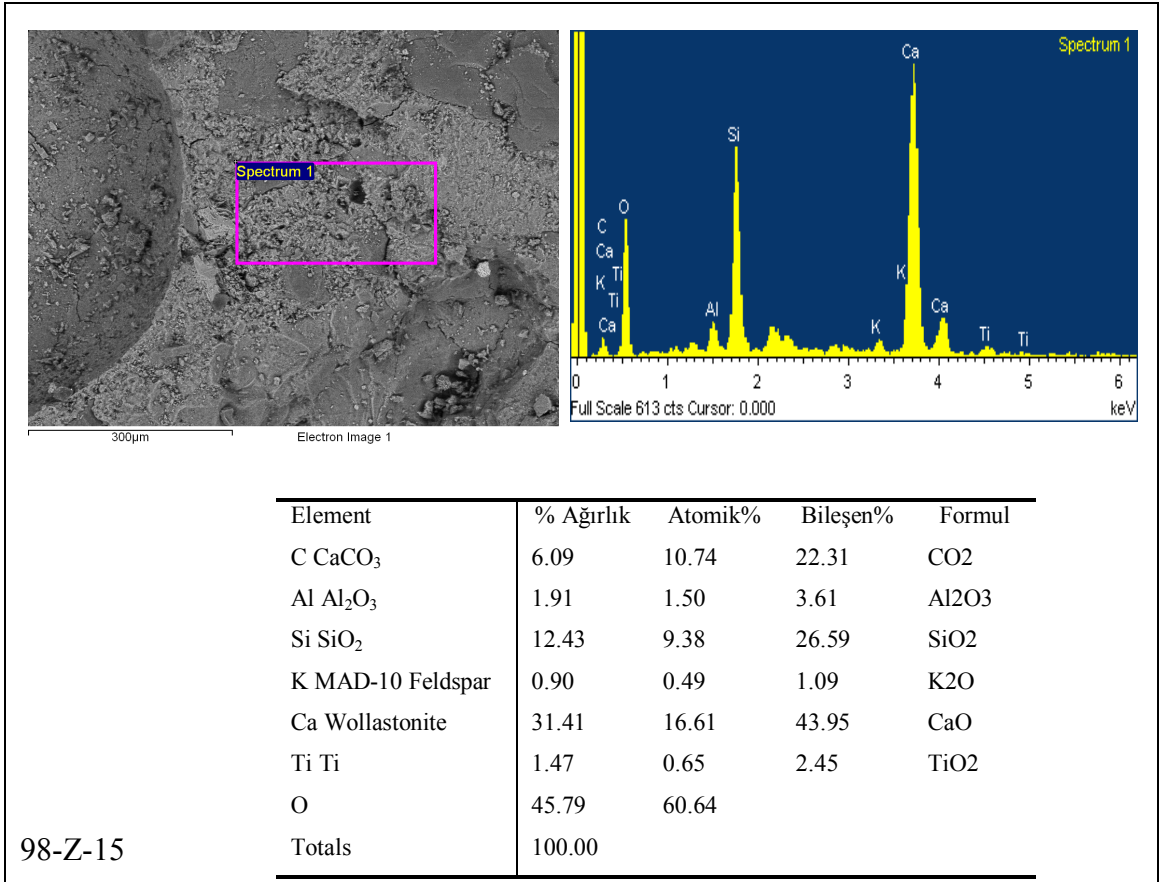
Şekil 4.75 Z Serisi 12 numaralı %10 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



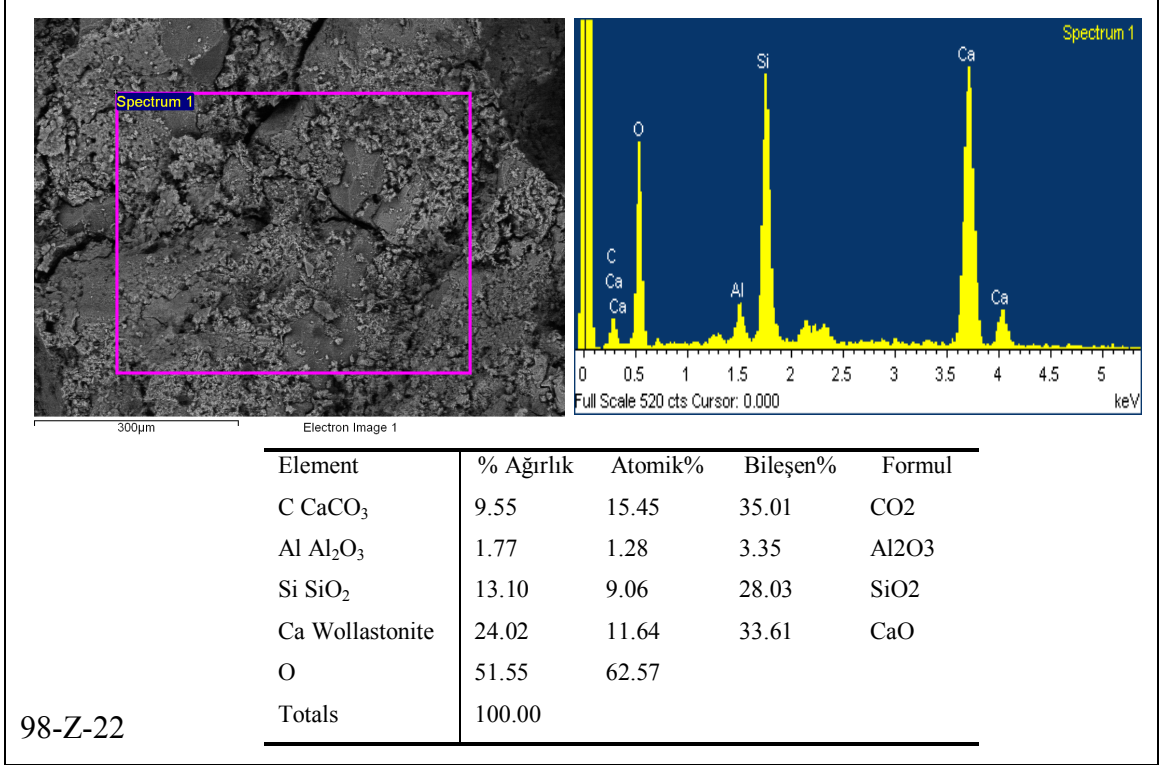
Şekil 4.76 Z Serisi 19 numaralı %15 oranında D Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



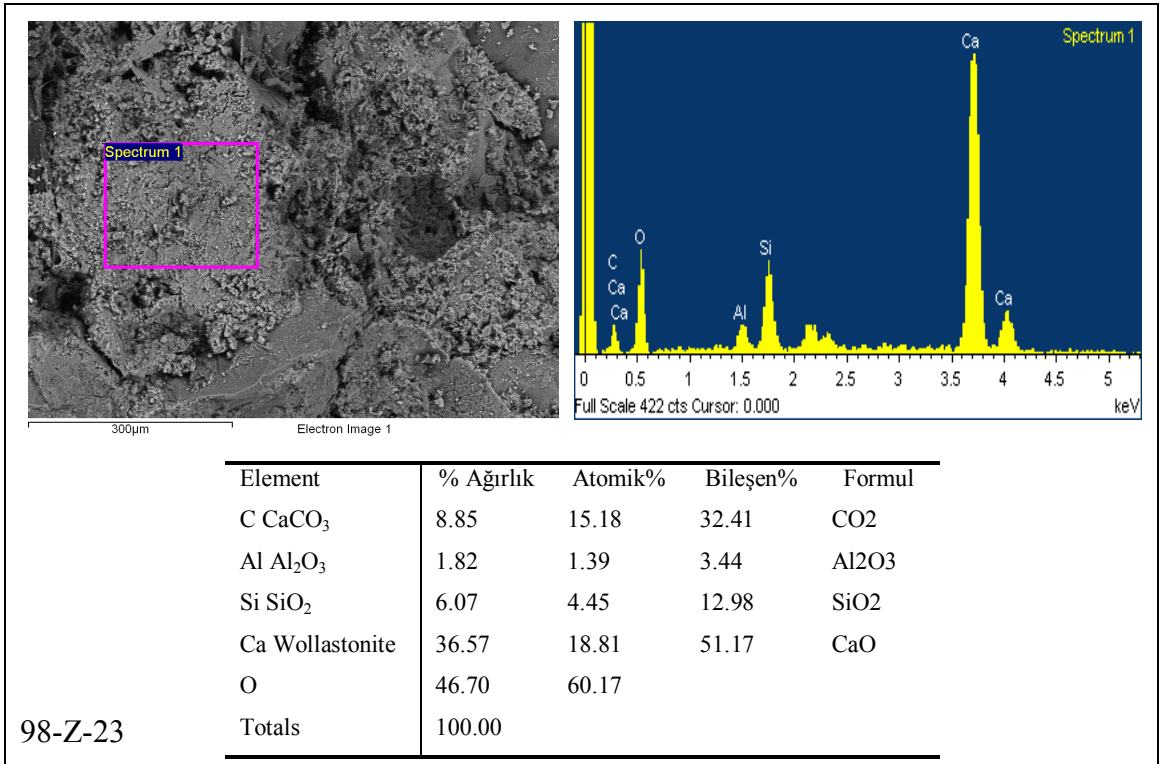
Şekil 4.77. Z Serisi 8 numaralı %5 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



Şekil 4.78. Z Serisi 15 numaralı %10 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi



Şekil 4.79. Z Serisi 22 numaralı %15 oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi

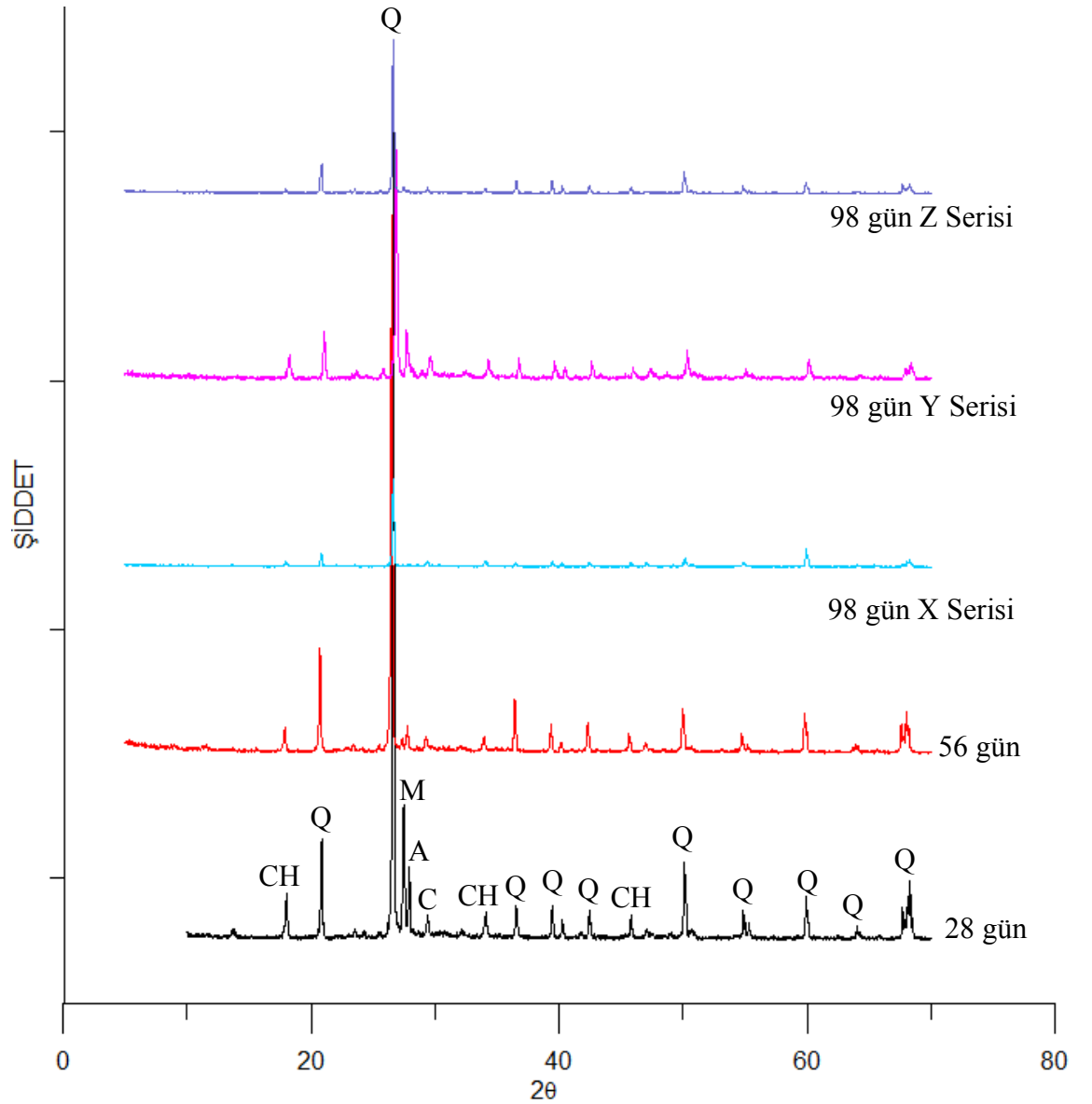


Şekil 4.80. Z Serisi 23 numaralı %20 oranında D + %10 Oranında G Katkısı içeren numuneye ait SEM görüntüsü, SEM-EDS analizi spektrumu ve Elementel analizi

#### 4.4. XRD CİHAZI İLE MİNERALOGİK ANALİZ SONUÇLARI

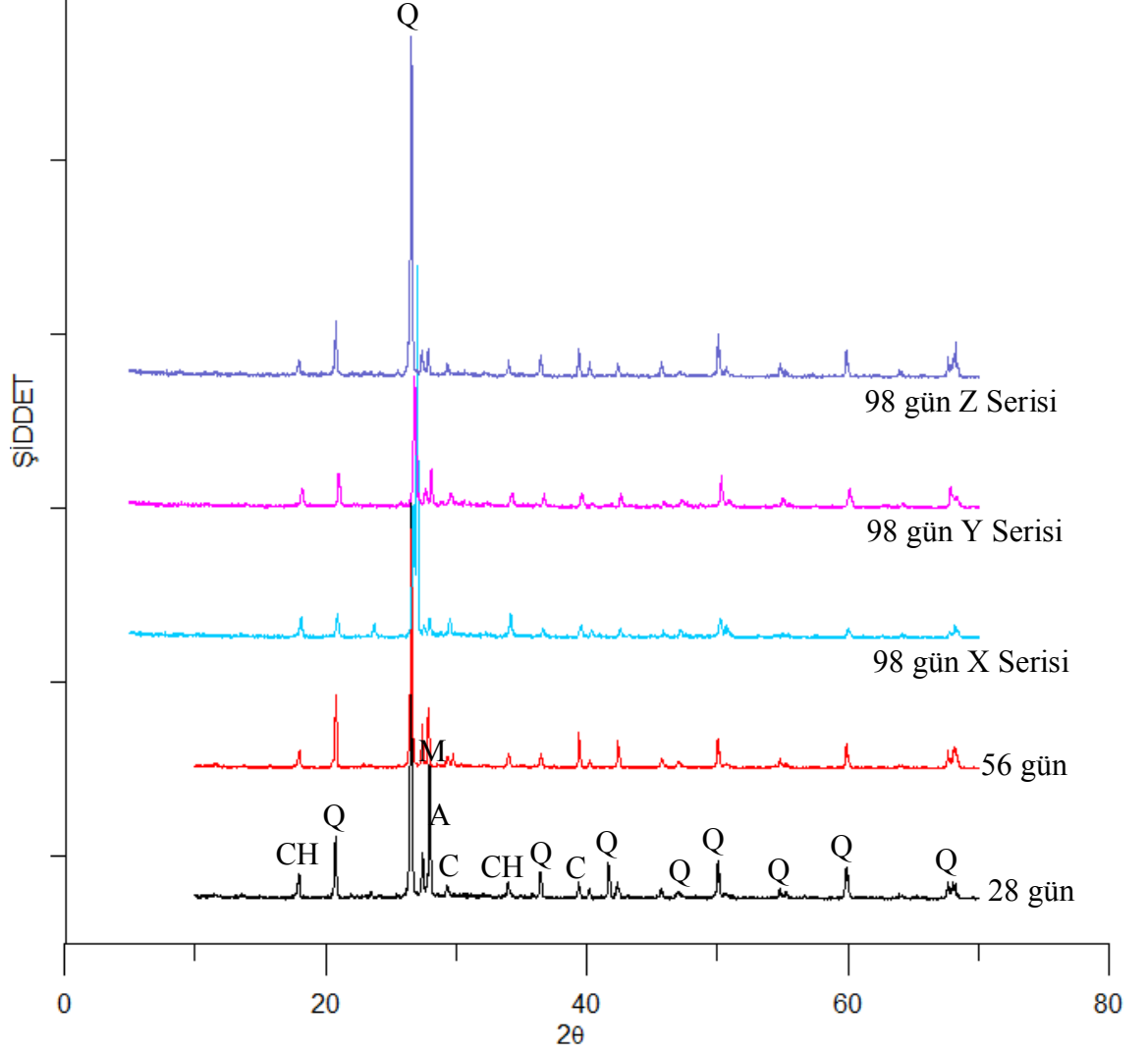
X Işını Toz Kırınım Cihazı kullanılarak, çimento, atık lastik ve kazınmış asfalt ve seçilen 8 adet katkı çimento harcı numunelerinin XRD analizleri yapılmıştır. Seçilen numuneler 1-5-8-12-15-19-22 ve 23 numaralı numunelerdir. Adı geçen örneklerin 28, 56 günlük sonuçları ile dayanıklılık deneylerinden suda şahit, ıslanma-kuruma ve donma-çözülme deneylerinden elde edilen 98 günlük numunelerin XRD analiz sonuçları elde edilmiştir.

##### 4.4.1. Kullanılan malzemeler



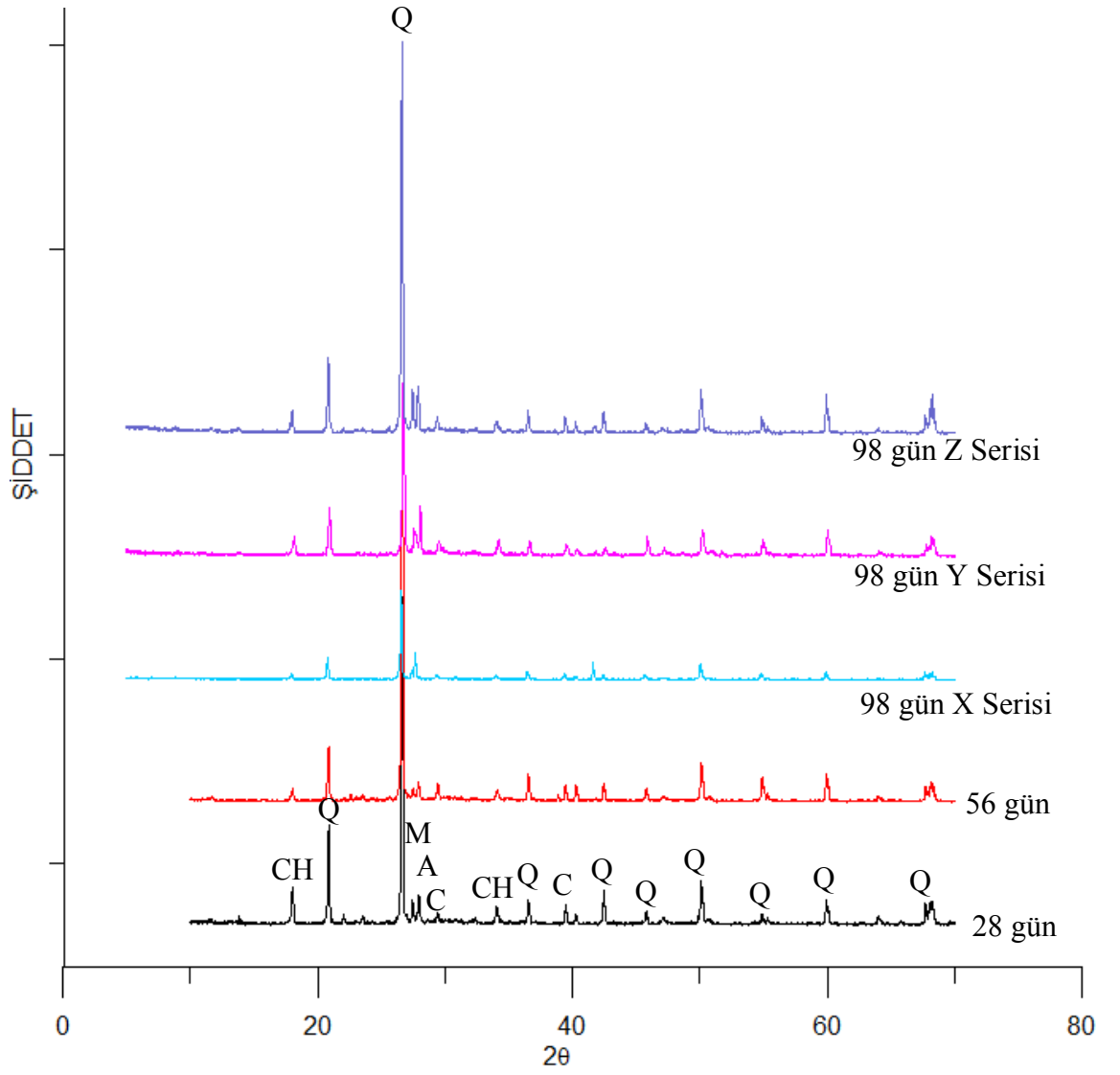
Şekil 4.81. 1 numaralı referans numuneye ait 28-56 günlük ve X-Y-Z Serisi XRD Analizleri

#### 4.4.2. Atık lastik katkıli numuneler XRD Analiz Sonuçları

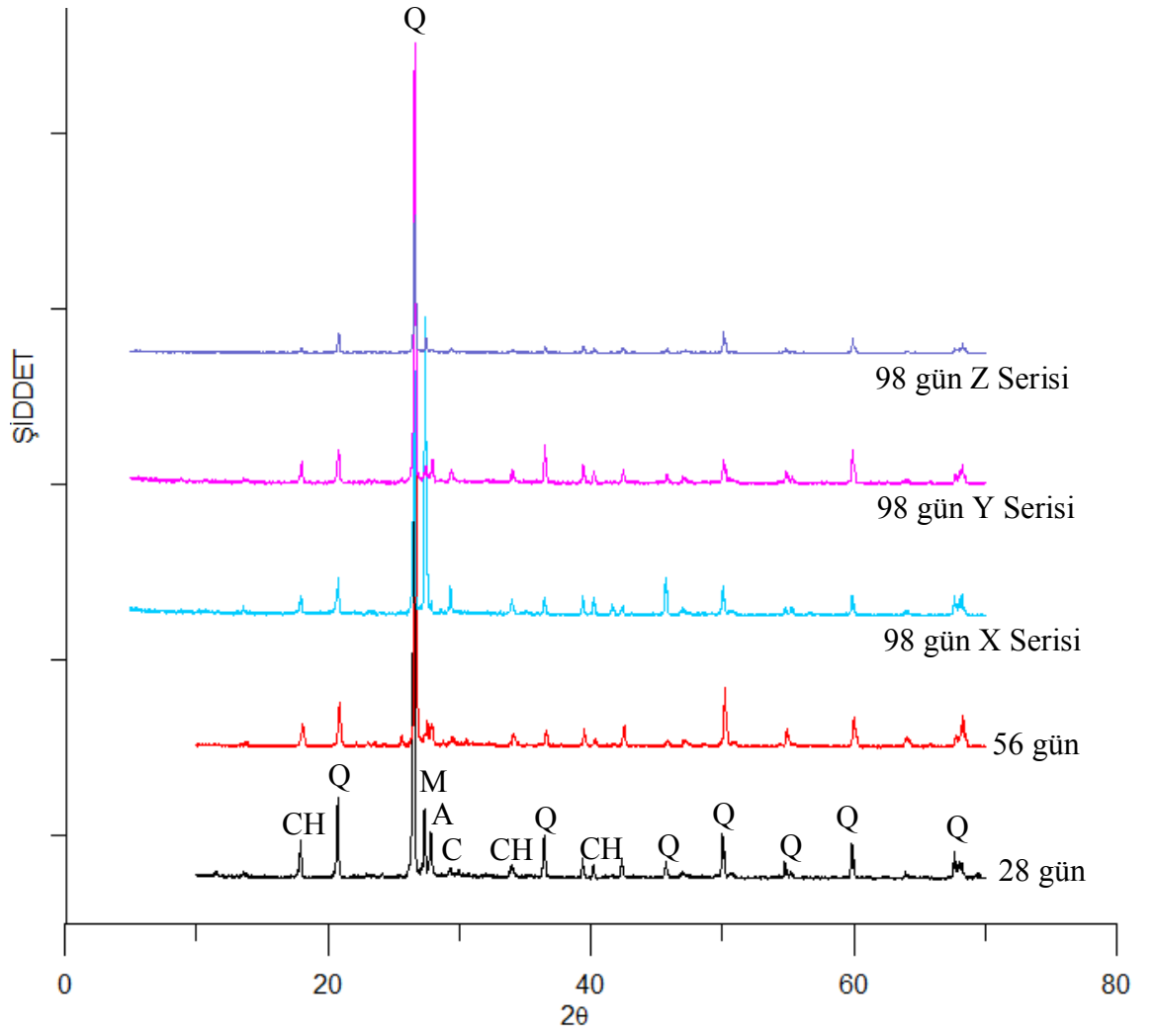


Şekil 4.82. 5 numaralı numuneye ait 28-56 günlük ve X-Y-Z Serisi XRD Analizleri



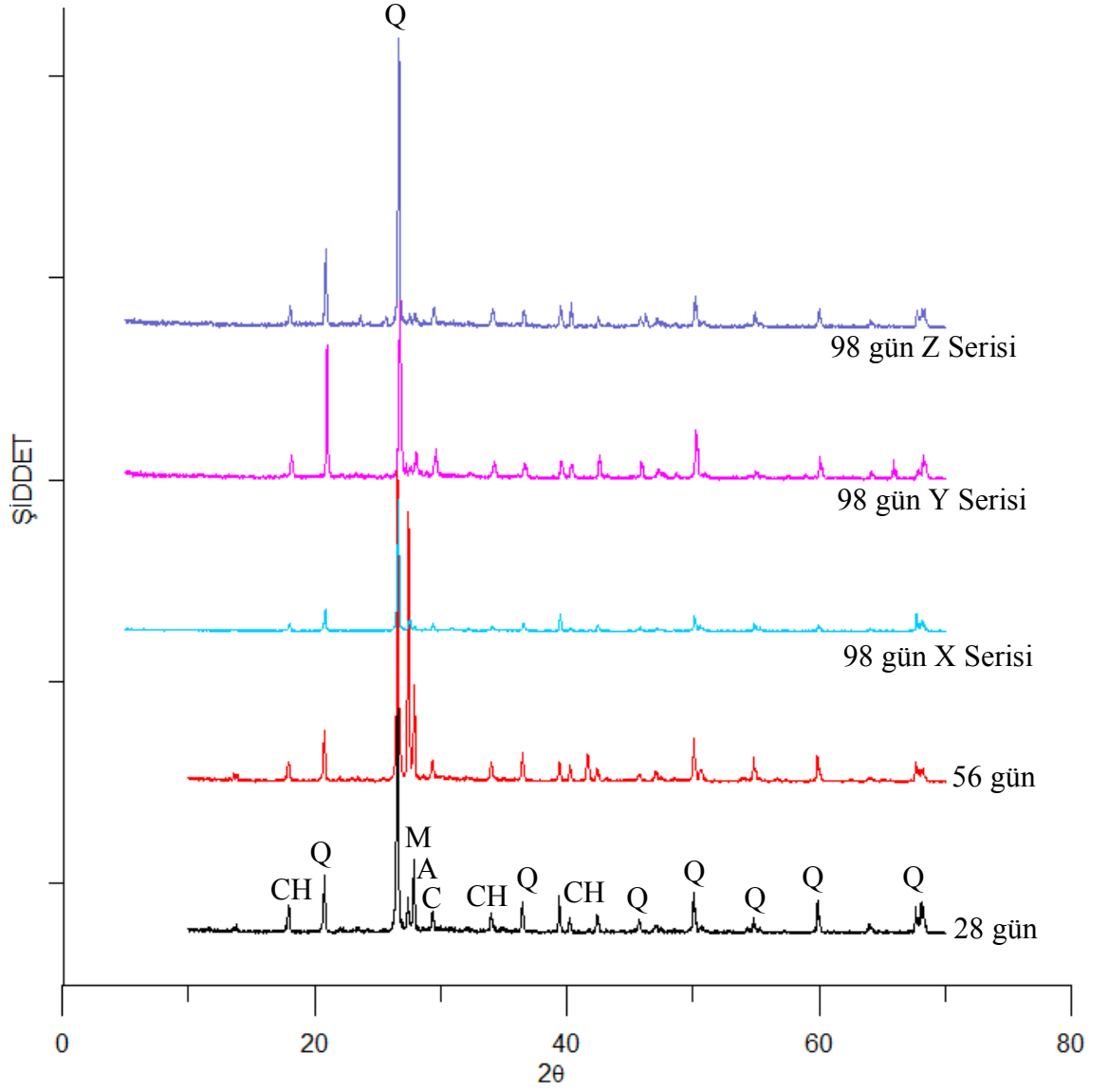


Şekil 4.83. 12 numaralı numuneye ait 28-56 günlük ve X-Y-Z Serisi XRD Analizleri

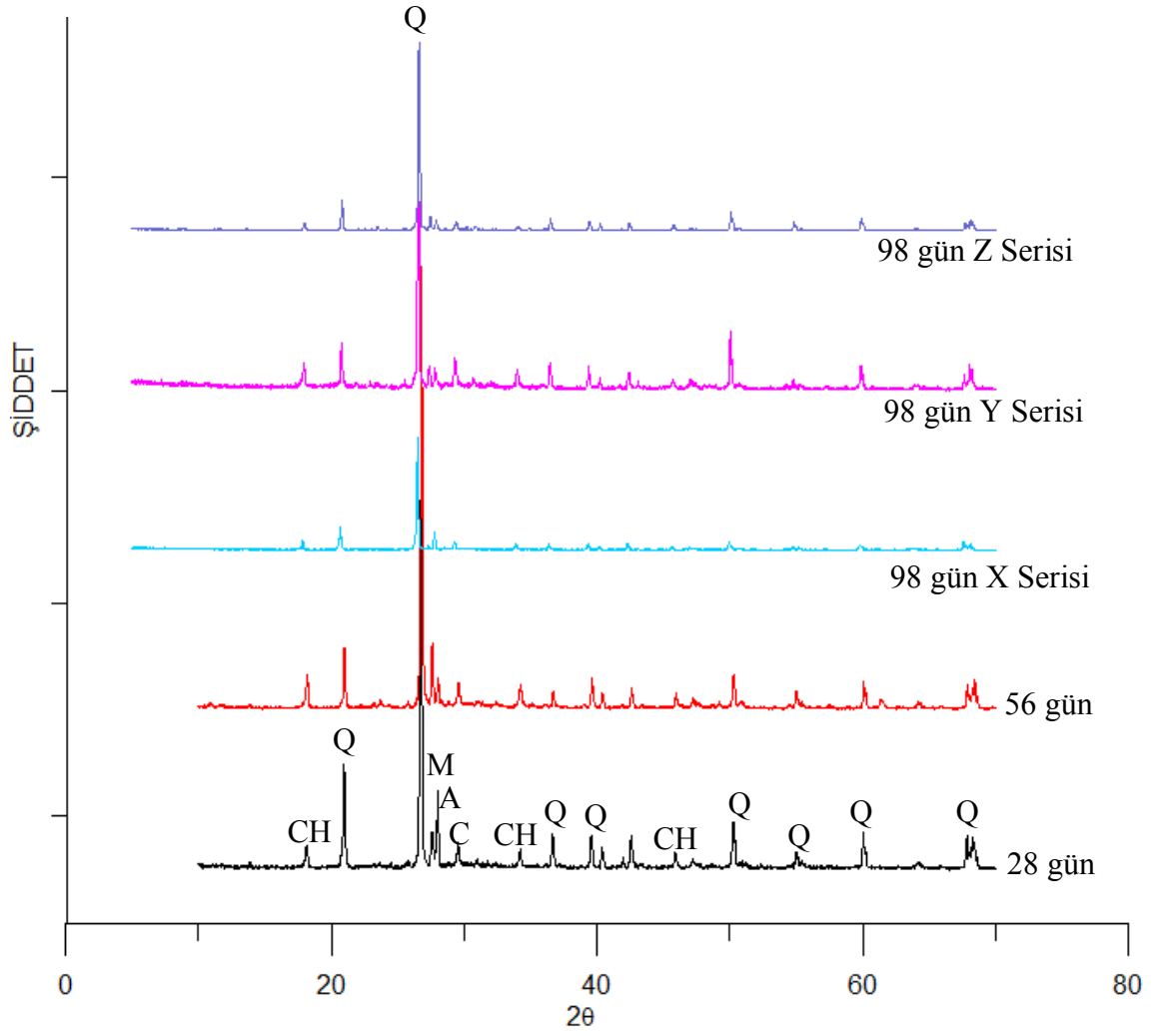


Şekil 4.84. 19 numaralı numuneye ait 28-56 günlük ve X-Y-Z Serisi XRD Analizleri

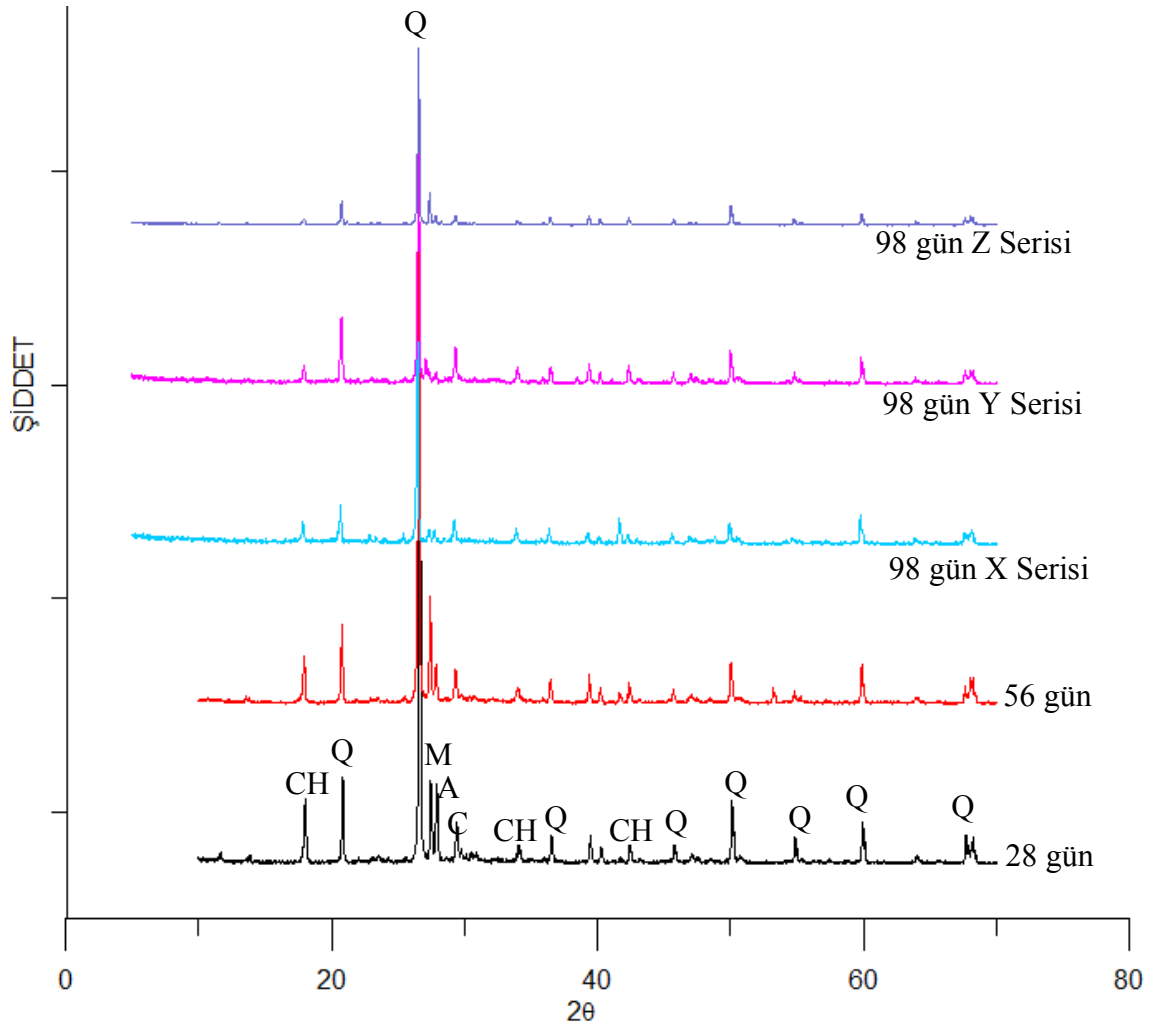
#### 4.4.3. Kazınmış asfalt katkı numuneler XRD Analiz Sonuçları



Şekil 4.85. 8 numaralı numuneye ait 28-56 günlük ve X-Y-Z Serisi XRD Analizleri

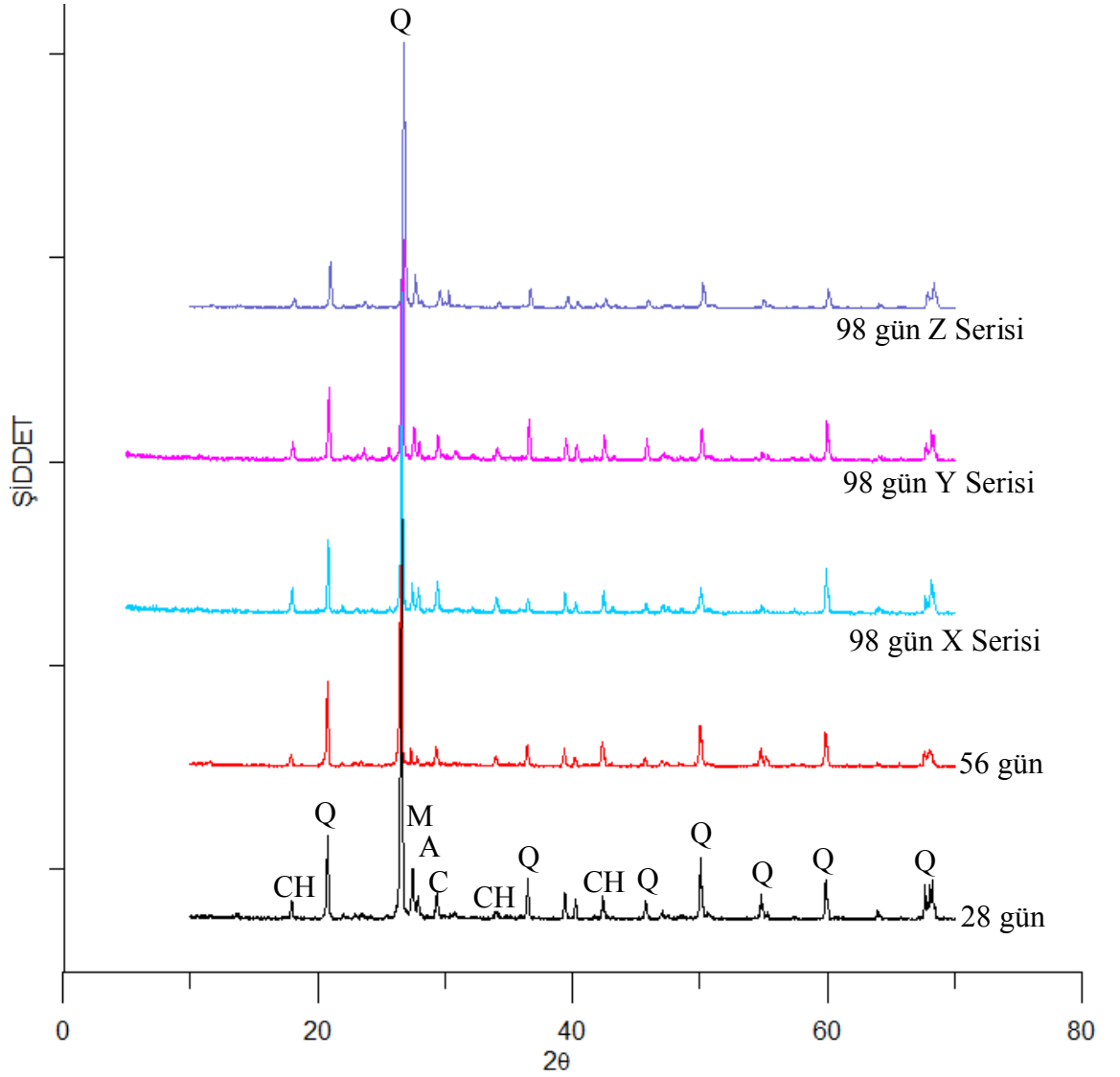


Şekil 4.86. 15 numaralı numuneye ait 28-56 günlük ve X-Y-Z Serisi XRD Analizleri



Şekil 4.87. 22 numaralı numuneye ait 28-56 günlük ve X-Y-Z Serisi XRD Analizleri

#### 4.4.4. Karma numunelere ait XRD Analiz Sonuçları



Şekil 4.88. 23 numaralı numuneye ait 28-56 günlük ve X-Y-Z Serisi XRD Analizleri

Atık lastik ve kazınmış asfalt katkılı numunelerden elde edilen sonuçlar numune bazında değerlendirildiğinde CH tüketimlerinin basınç dayanım sonuçları ile neredeyse tamamının uyumlu olduğu tespit edilmiştir yani CH tüketimi arttıkça numunelerin basınç dayanımları artmaktadır ve bu sonuçlar DTA-TG sonuçları ile de örtüşmektedir.

#### 4.5. DTA-TG CİHAZI İLE KÜTLE KAYBI ANALİZİ SONUÇLARI

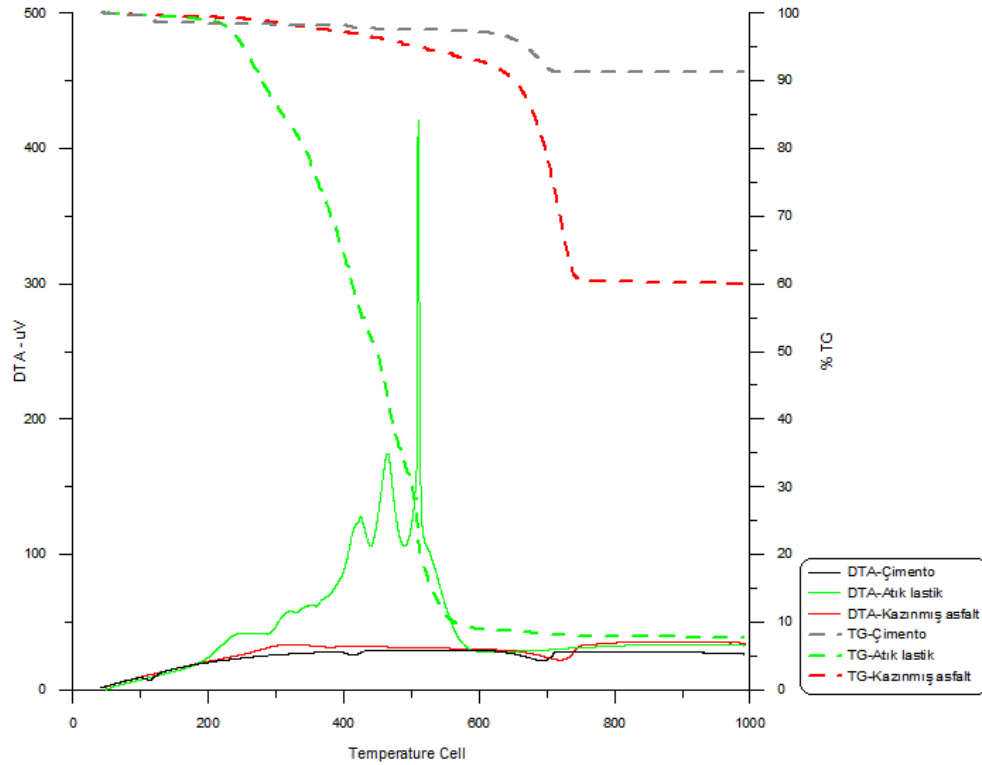
Hidratasyona tabi tutulmuş çimento hamurlarının yaklaşık 100°C’de kapiler boşluklardaki suyun dehidratasyonu ve 100-200°C’lerdeki endotermik etkiler, kalsiyum silikat hidrat (CSH) jellerinin farklı aşamalarındaki dehidratasyonu olarak gelişir.

Puzolanik reaksiyonlar nedeniyle CH kullanımının artması CSH’nin oluşumunun artması ile açıklanır. 100-150 °C aralığında CSH jeli, 150-220 °C gehlenit hidrat ( $C_2ASH_8$ ), 220-310 °C hidro garnet serisi ( $C_3AH_8$ ) 310-375 °C Friedel tuzu ve 450 °C’deki endotermik pikler CSH ve CH’nin oluşumu gerçekleşir.

400-500°C sıcaklık aralığında ise kalsiyum hidroksit (CH) dehidratasyonu gerçekleşir. 500-750°C aralığında ise kalsiyum karbonatın kalsinasyonu, alümina hidratların bozunması ve son olarak da CSH fazlarının bozunması olarak gelişir. Hidrate çimento minerallerinden yeni fazların oluşumu şeklinde açıklanır (Kumar S. ve diğ. 2008).

##### 4.5.1. Kullanılan malzemeler

Kullanılan malzemelere ait DTA-TG analiz sonuçları Şekil 4.89’da sunulmuştur.



Şekil 4.89. Ham numunelere ait DTA-TG Analizleri

#### 4.5.2. Bütün Kür Süreleri için DTA-TG Analiz Sonuçları

Şekil 4.90'dan görüldüğü gibi 28 günlük numunelere ait DTA-TG analiz sonuçlarında; CSH piklerinin dehidratasyonu 100-200<sup>0</sup>C aralığında gerçekleşmiştir. 400-500<sup>0</sup>C aralığında ise CH'nin dehidratasyonu gerçekleşmiştir. Katkılı çimento harçlarına mineral katkı ilavesi hidrasyon ürünlerinden CH miktarının azalmasına neden olur. Bu durum seyreltme etkisi ve CH'nin puzolanik reaksiyonlar nedeniyle tüketilmesine bağlanır. Katkılı çimento harç örneklerinin 28 günlük DTA sonuçları incelendiğinde, 8 ve 15 numaralı örneklerin CH dehidratasyon piklerinin referans numuneden daha küçük olduğu anlaşılmaktadır, 22 numaralı numunede ise bu durum tersine görünmektedir. Atık lastik katkı örnekleri olan 5, 12 ve 19 numaralı numune pik boyutları referans numune boyutlarının altındadır. 500-750 <sup>0</sup>C aralığında ise oluşması beklenen CSH, hidrate alüminat ve kalsiyum karbonat bozunmasına ait pikler elde edilmiştir.

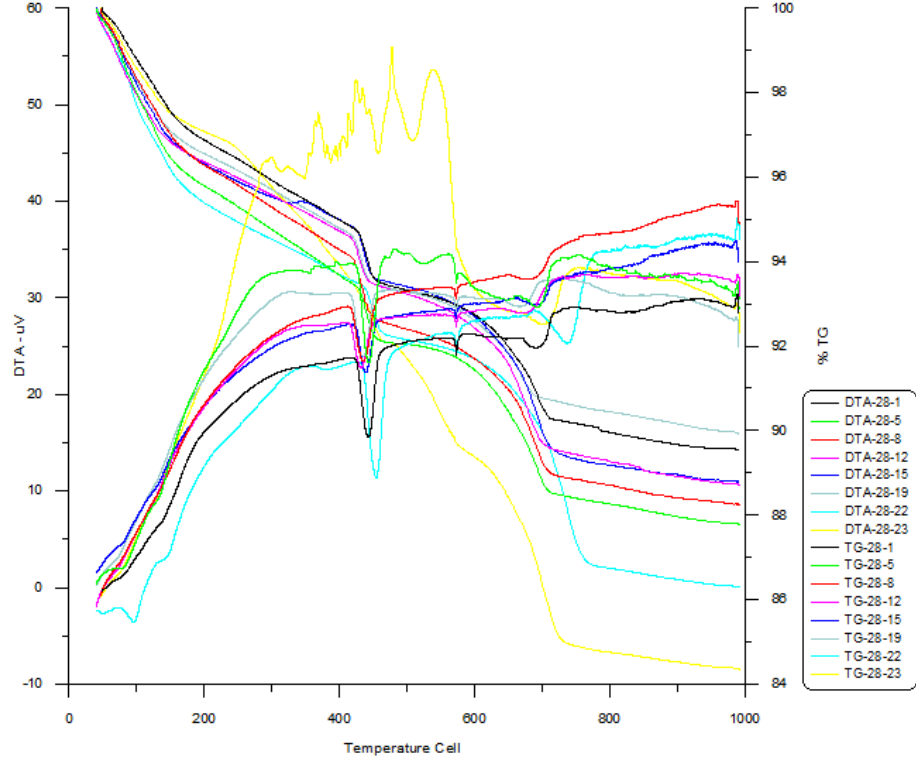
TG analizleri incelendiğinde en yüksek ağırlık kaybına 23 numaralı numunenin uğradığı görülmektedir. En az kütle kaybına 19 numaralı %15 D katkı numunenin sahip olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.85'de ise 56 günlük kür süresindeki durum 28 günlük sonuçlar kadar açık değildir. 98 günlük DTA-TG çalışmalarından elde edilen sonuçlar Şekil 4.88'de sunulmuştur. Bu çalışmalarda CH dehidratasyonu 400-600<sup>0</sup>C aralığında gerçekleşmiştir. Bu nedenle DTA-TG analizlerinden alınan ölçümler bu aralığı kapsamaktadır. Analizlerden elde edilen bulgular ışığında atık lastik katkı numunelerdeki kütle kayıplarının bütün kür süreleri için büyük çoğunluğunun kazınmış asfalt katkı numunelerden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçta atık lastik katkısının sıcaklık karşısındaki davranışının etkili olduğu açıktır.

Atık lastik katkı numunelerde 56 günlük CH dehidratasyonun 28 günlük kür sürelerindeki numunelere göre daha yüksek olduğu açıktır. X serisindeki numunelerde CH dehidratasyonunun azaldığı göze çarpmaktadır. Y serisindeki numunelerde dehidratasyon oldukça azalmıştır. Z serisinde de ciddi bir azalma mevcuttur.

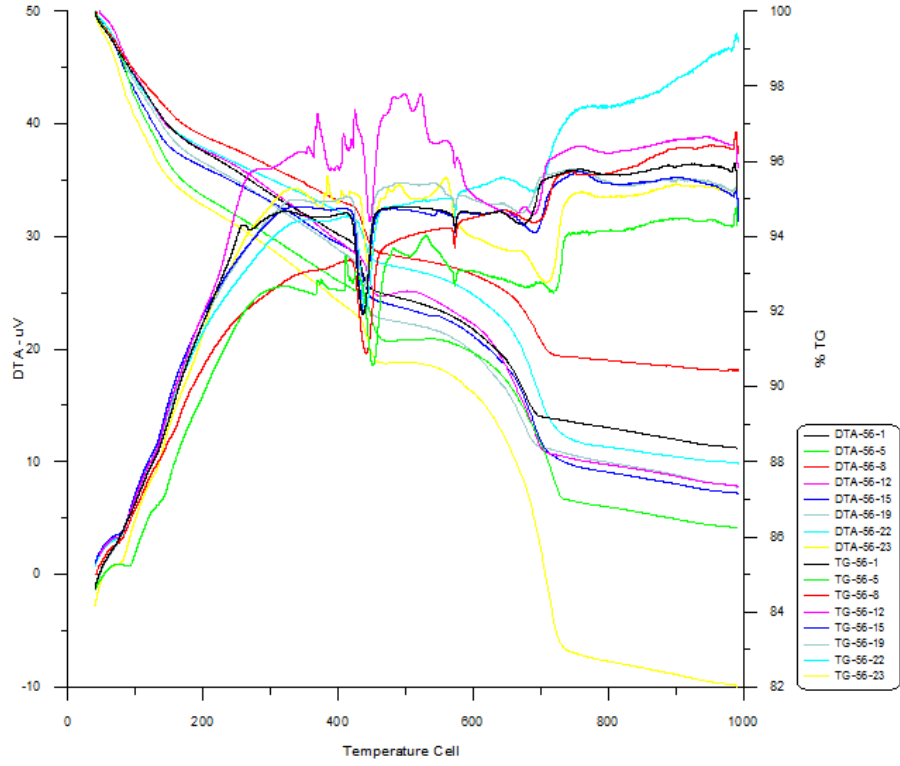
Kazınmış asfalt katkı numunelerde 28 ve 56 günlük kür sürelerindeki CH dehidratasyonunda ciddi bir farklılık gözlenmemiştir. X serisinde CH dehidratasyonunda düşüş vardır. Y serisi katkı numuneler için bu düşüş hızlanmıştır. Z



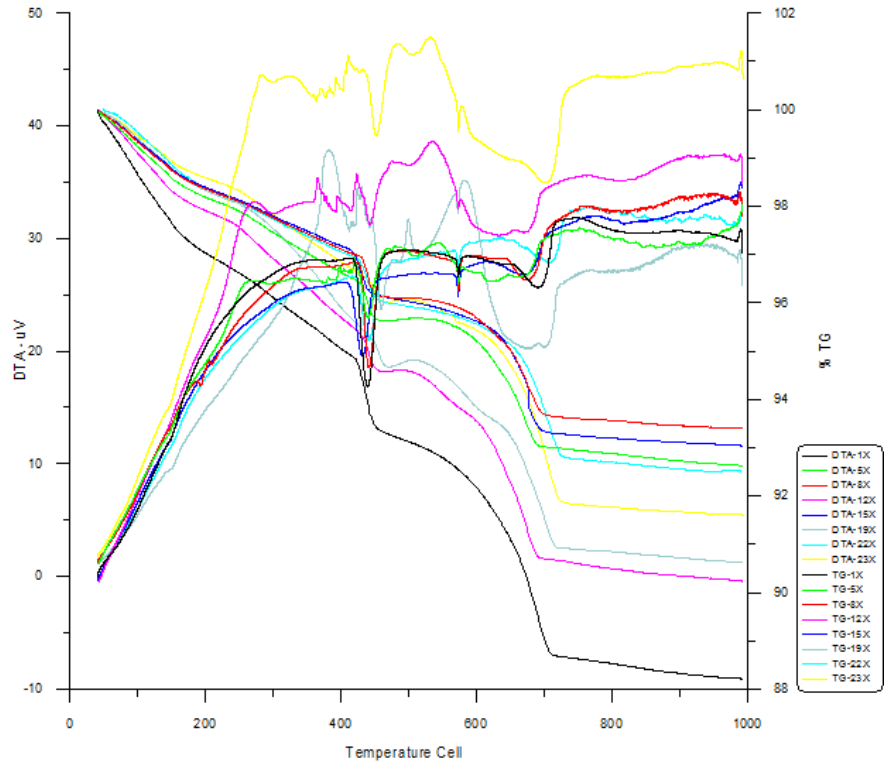
serisi için bu hızlanma devam etmiştir. Genel anlamda basınç mukavemeti yüksek olan numunelerin CH dehidratasyonları yüksektir.



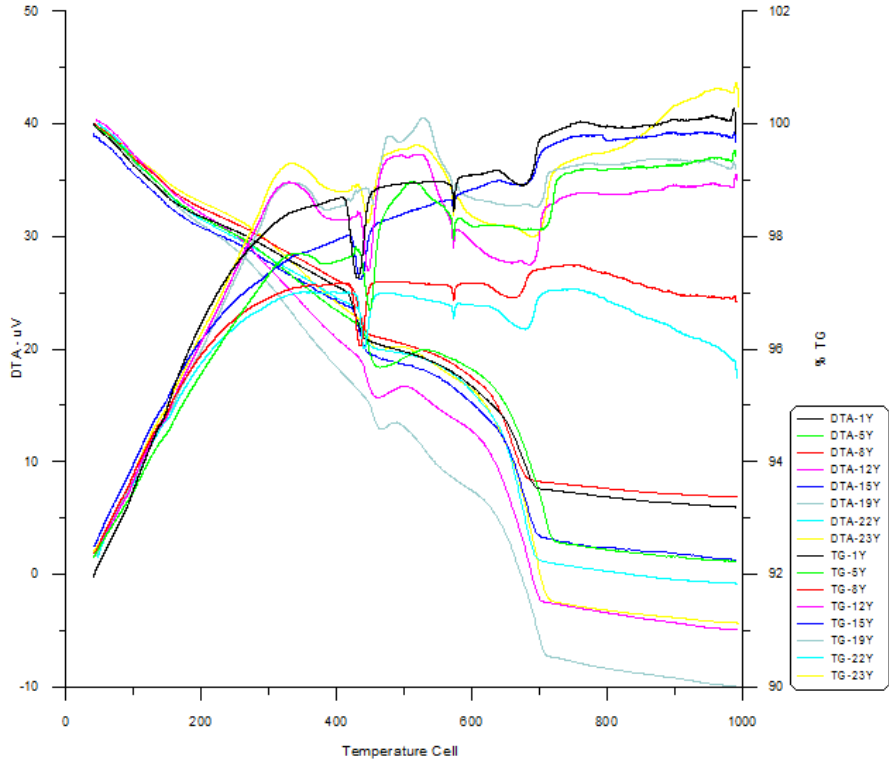
Şekil 4.90. 28 günlük numunelere ait DTA-TG Analizleri



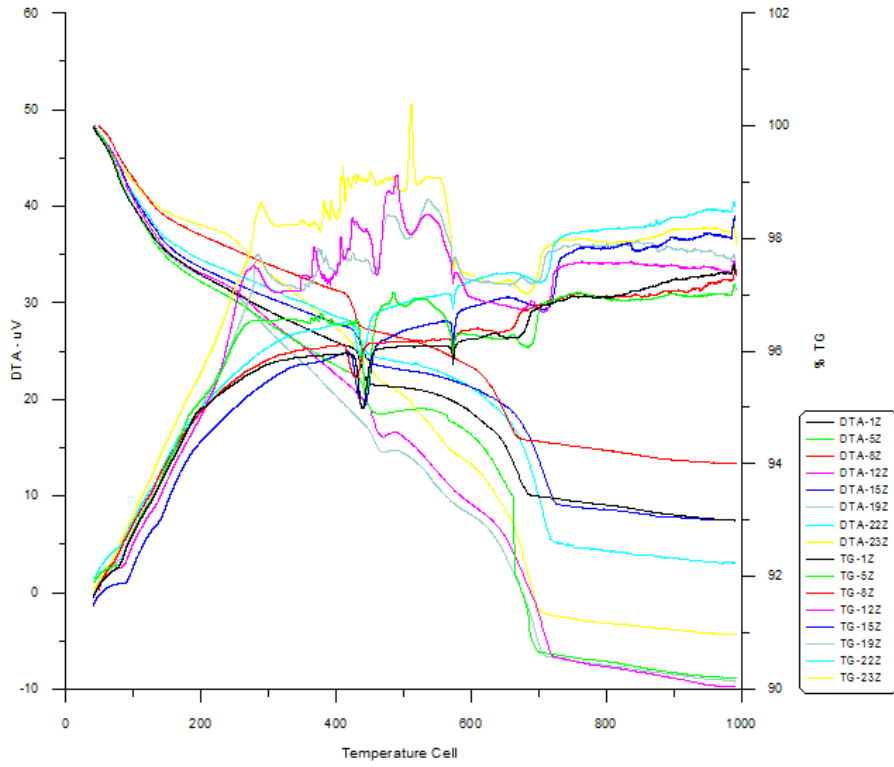
Şekil 4.91. 56 günlük numnelere ait DTA-TG Analizleri



Şekil 4.92. 98 günlük X Serisi numnelere ait DTA-TG Analizleri



Şekil 4.93. 98 günlük Y Serisi numunelere ait DTA-TG Analizleri



Şekil 4.94. 98 günlük Z Serisi numunelere ait DTA-TG Analizleri

#### 4.6. FTIR CİHAZI İLE BAĞ YAPISI ANALİZİ SONUÇLARI

FTIR spektroskopisinde atomal titreşimler  $400-1600\text{ cm}^{-1}$ , moleküler titreşimler ise  $1600-4000\text{ cm}^{-1}$  bölgesinde ortaya çıkmaktadır. Çimentonun FTIR analizi sonucunda 449, 517, 656, 897, 1080, 1140, 1418, 1615, 3399 ve  $3615\text{ cm}^{-1}$  dalga sayılarında titreşim pikleri görülmektedir. Si-O ile birlikte bulunan Al-O bağları 449, 517 ve  $1080\text{ cm}^{-1}$  simetrik titreşim piki vermektedir. Yapılarındaki Si-O bağları  $897\text{ cm}^{-1}$  dalga sayısında simetrik titreşimler şeklindedir. Portland Çimentosu'nda alçıyı gösteren kükürt-oksijen bağları (S-O) 656, 1140 ve  $1615\text{ cm}^{-1}$  de görülmektedir.  $\text{CO}_3^{2-}$  ise  $1418\text{ cm}^{-1}$  de görülmektedir. Yapısındaki su iyonları ve moleküllerine ait titreşim pikleri 3399 ve  $3615\text{ cm}^{-1}$  dalga sayılarında bulunmaktadır (Dorum A. ve diğ. 2009). FTIR pikleri bileşik bazında incelendiğinde; karakteristik etrenjit bantları  $1100$  ve  $610\text{ cm}^{-1}$  görünür. Bununla birlikte bu bölgede bulunan Si-O streçing bantları etrenjitin sülfatına engel olabilmektedir.  $1110-1130\text{ cm}^{-1}$  bölgesinde bulunan bantlar CSH jellerinin varlığına işaret edebilir ki burada da etrenjit ana bandı ile çakışabilir. Kalsit karakteristik bantları 2514, 1798, 1421, 874 ve  $713\text{ cm}^{-1}$  yakınlarında görülmektedir. Kuartz pikleri 459, 525, 619, 646,  $693\text{ cm}^{-1}$  civarında görülmektedir. CSH'deki su kayıpları ise  $3450, 3650\text{ cm}^{-1}$  aralığında ortaya çıkmaktadır.

Numunelerin FTIR ile hidrasyon gelişimi incelendiğinde piklerin yeri ve şiddetleri göz önünde bulundurulmuştur. Çalışmamızda FTIR piklerine ait bulgular aşağıdaki şekildedir.  $3640\text{ cm}^{-1}$  civarındaki pikler CSH'nin su kaybından kaynaklı piklerdir.  $1460-1420\text{ cm}^{-1}$  civarındaki pikler  $\text{CaCO}_3$  'e ait piklerdir.  $1090-1150\text{ cm}^{-1}$  civarındaki pikler sülfat kökenli piklerdir.  $800-1000\text{ cm}^{-1}$  civarındaki pikler kuvars (Si-O) bağları ve Al-O bağları varlığına işaret eder.  $868\text{ cm}^{-1}$  civarındaki pikler hidrate olmamış  $\text{C}_2\text{S}$ 'in varlığına işaret eder.  $875\text{ cm}^{-1}$  civarındaki pikler karbonat,  $650-500\text{ cm}^{-1}$  civarındaki pikler ise silikat ve alümina silikat varlığına işaret eder. Ayrıca  $462\text{ cm}^{-1}$  civarındaki pikler de yine silikat yapısına ait pikleri ifade eder. Pik şiddetleri ve genişlikleri kullanılan atık maddelerin miktarına ve kür sürelerine bağlı olarak büyük değişkenlik göstermektedir. Bazı pikler ve basınç dayanımları arasında direkt bir ilişki kurulabilir iken bazıları ise yorumlanamamıştır. Burada pikler ve hidrasyon gelişimleri arasındaki mantıklı ilişkileri kurabilmek için aşağıdaki bulgulardan yararlanılmıştır.

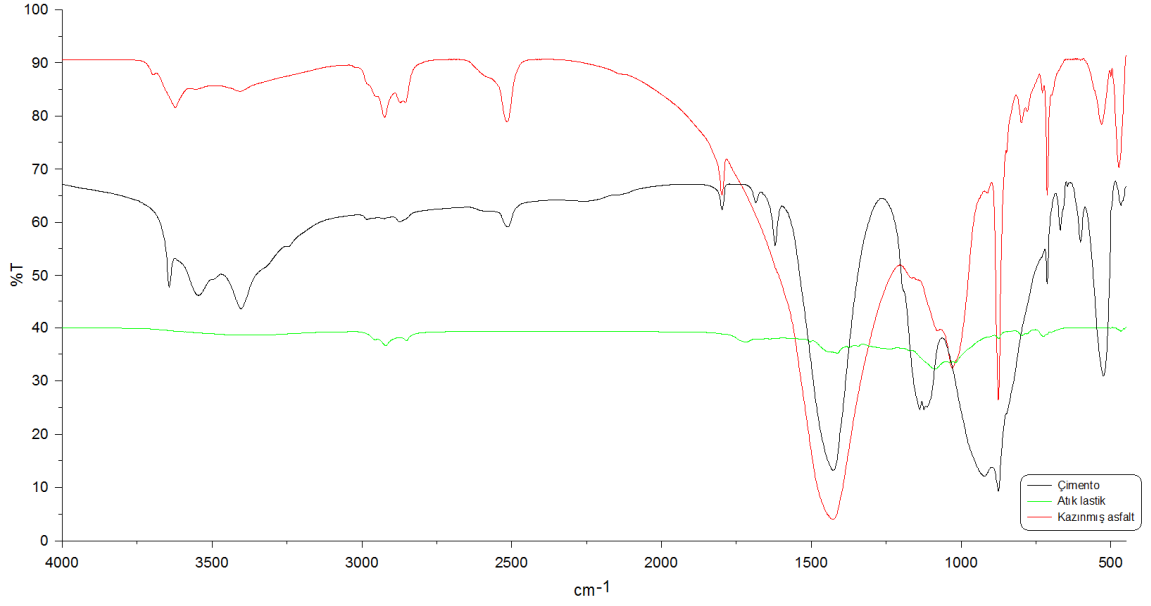
Atık lastik katkılı numuneler için  $3644 \text{ cm}^{-1}$  numaralı pik şiddeti ile 98 günlük basınç dayanımları arasında bir korelasyon mevcuttur. Numunelerin katkı oranı arttıkça pik şiddeti artmaktadır. Aynı oranda basınç dayanımları azalmaktadır (#5 için 46, #12 için 36, #19 için 30MPa).

Kazınmış asfalt katkılı numuneler için  $875 \text{ cm}^{-1}$  deki karbonat pikinin şiddeti dikkate alındığında; numunelerin 98 günlük basınç dayanımları ile aralarında bir bağlantının varlığı dikkat çekicidir. 8X numaralı numunenin adı geçen noktadaki karbonat piki için 28 ve 56 günlük pikler için pik şiddetleri hemen hemen aynı olup basınç dayanımları da birbirine çok yakındır (sırasıyla 47 ve 48 Mpa). 98 gün için bu pikin şiddetini diğerleriin neredeyse yarısı olduğu söylenebilir. Basınç dayanımı bu durumda 58MPa değerine yükselmiştir. Kısacası karbonat tüketimi en yoğun noktadadır. Dolayısı ile CSH piklerinin oluşum oranı da diğerlerine göre daha yüksektir.

Referans numune ise yukarıda bahsedilen kriterlerden hiçbirine uymamaktadır. Ancak 98 gün sonunda son derece belirgin düzgün ve anlaşılır pik vermiştir. Bütün numuneler içinde en düzgün piklere sahip numunedir.

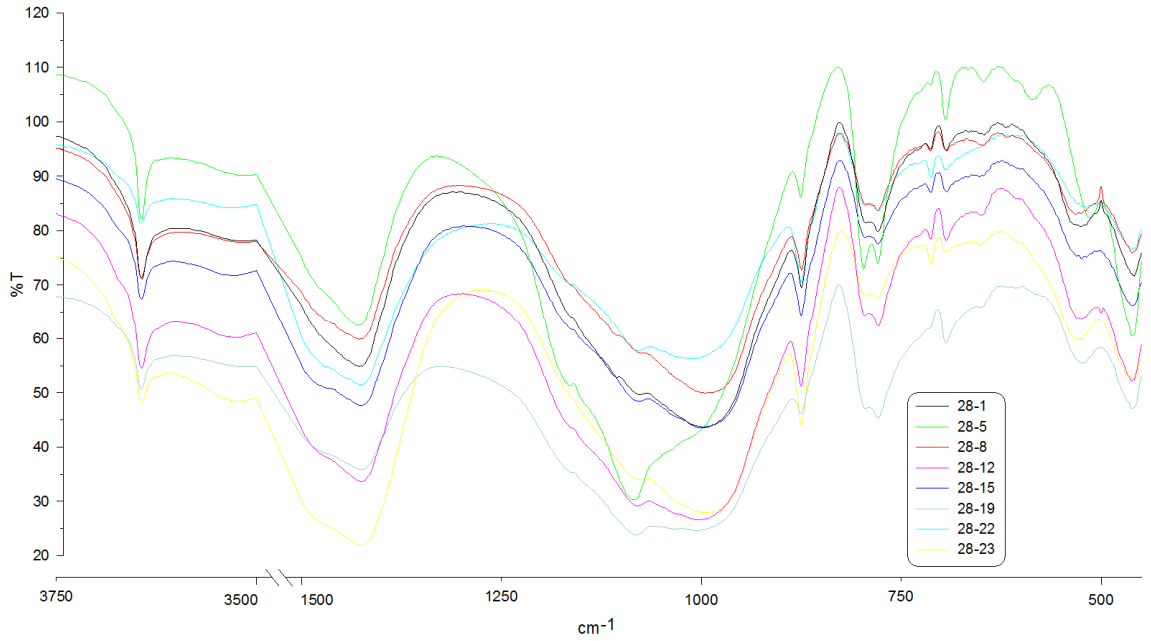
$995-1011 \text{ cm}^{-1}$  aralığına ait pikler kalsit kökenli karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) pikleridir.  $1110-1130 \text{ cm}^{-1}$  aralığında CSH'ye ait pikler mevcuttur.  $874 \text{ cm}^{-1}$  deki pikler larnit ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ) varlığını göstermektedir. Kuartz pikleri 779, 693, 646, 619, 525 ve  $459 \text{ cm}^{-1}$  civarında kendini göstermektedir.  $1427-1430 \text{ cm}^{-1}$  aralığında da kalsite ait pikler çalışma sonuçlarında mevcuttur.  $3484-3644 \text{ cm}^{-1}$  aralığındaki pikler CSH'nin su kaybından kaynaklanmaktadır. Sonuçlardan da anlaşılacağı gibi çalışma sonucu elde edilen bulgular yukarıda anlatılan pik değerleri ile uyumluluk göstermektedir. Çalışmada yapılan FTIR çalışmalarından elde edilen sonuçlar Şekil 4.95 ile Şekil 4.100 arasında verilmiştir.

#### 4.6.1. Kullanılan malzemelere ait FTIR Analiz Sonuçları

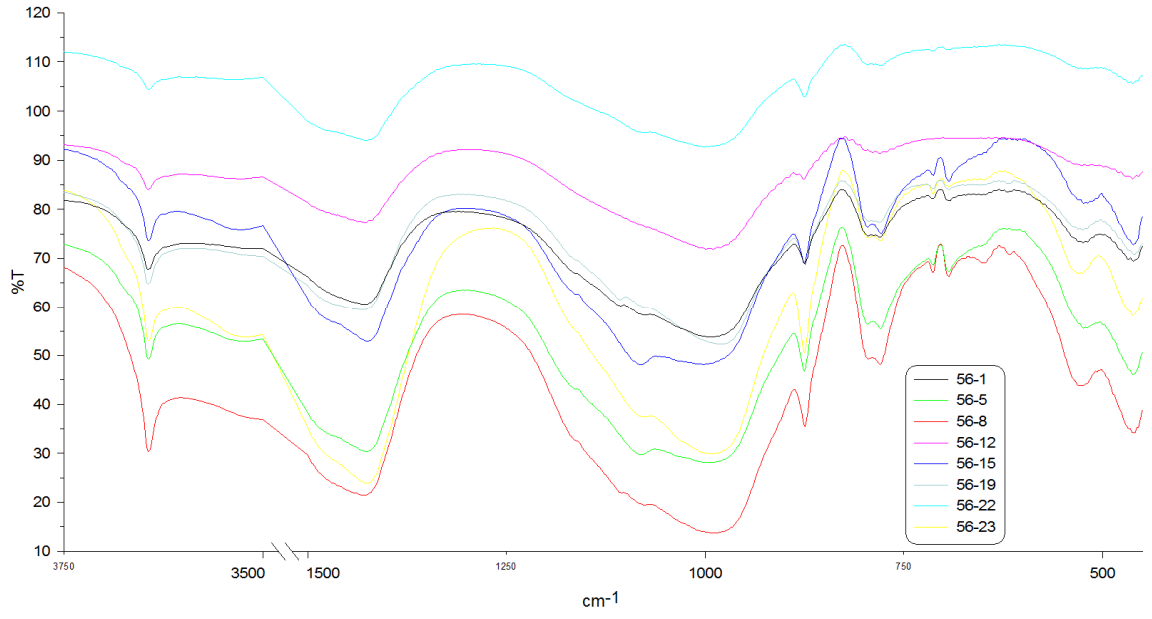


Şekil 4.95. Ham numunelere ait FTIR Analizleri

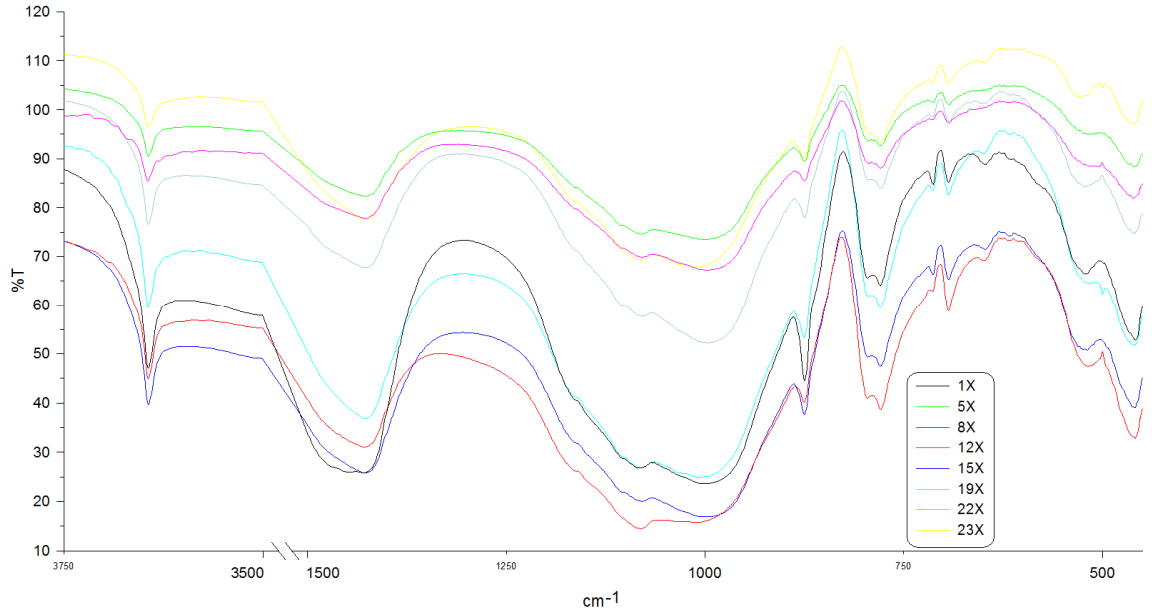
#### 4.6.2. Bütün kür süreleri için FTIR Analiz Sonuçları



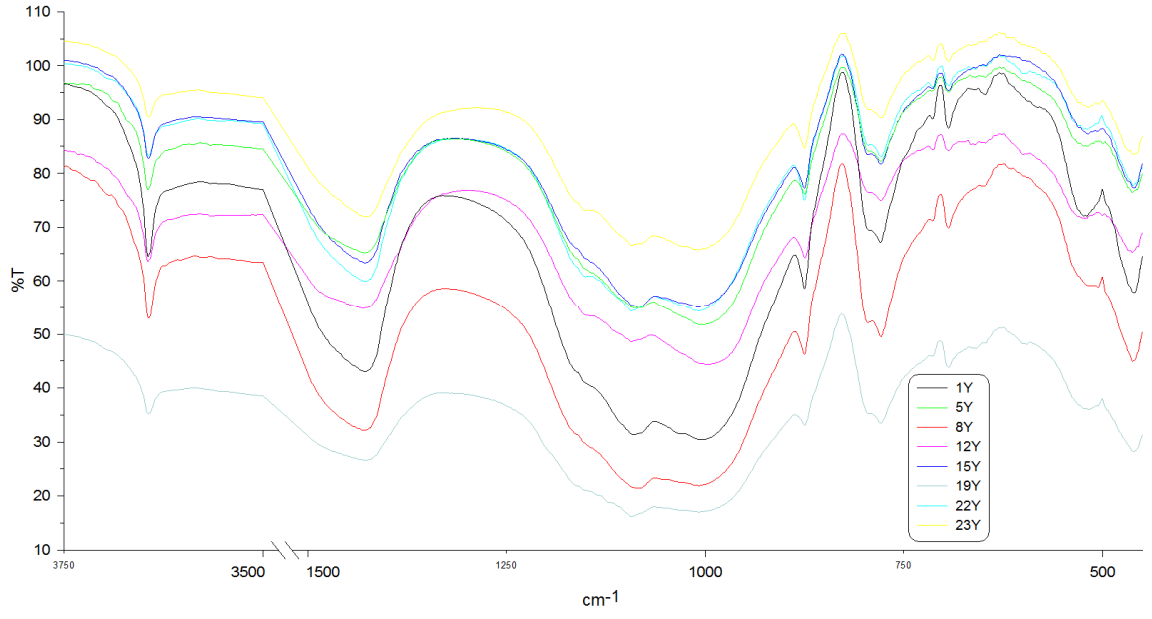
Şekil 4.96. 28 günlük numunelere ait FTIR Analizleri



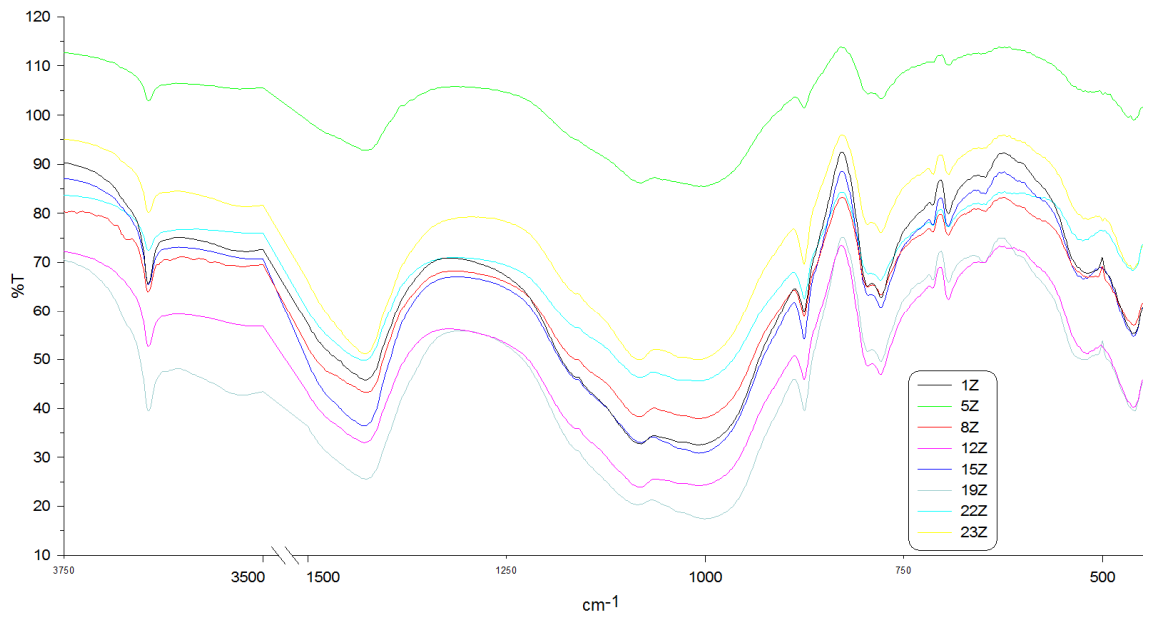
Şekil 4.97. 56 günlük numunelere ait FTIR Analizleri



Şekil 4.98. 98 günlük X Serisi Numunelere ait FTIR Analizleri



Şekil 4.99. 98 günlük Y Serisi Numunelere ait FTIR Analizleri



Şekil 4.100. 98 günlük Z Serisi Numunelere ait FTIR Analizleri



## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen bulguların değerlendirilmesi ile ulaşılan yorumlar aşağıda başlıklar halinde toplanmıştır.

### 5.1. Fiziksel ve Tane Boyut Dağılımı Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi:

- Atık lastik katkıli numunelerde katkı oranı arttıkça su ihtiyacı azalmaktadır. Kazınmış asfalt katkıli numunelerde de bu durum geçerlidir. Bu durum kendini yayılma deneyi sonuçlarında da göstermektedir.
- Her iki atık türü için çimentoya katılım oranı arttıkça karışımların yoğunlukları düşmektedir. En yüksek yoğunluğa katkı içermeyen referans numune sahiptir.
- Her iki atık türü için çimentoya katılım oranı arttıkça karışımların yüzey alanlarında düşüş gözlenmektedir. 7 ve 8 numaralı numuneler referans numune ile oldukça yakın yüzey alanına sahip olup bu durum 98 günlük basınç dayanımlarının da birbirine oldukça yakın sonuçlar vermiş olmasını desteklemektedir.
- Priz sürelerinin katkı içermeyen referans numune ile değerlendirilmesinde, genel anlamda, atık lastiğin katılması ile priz süreleri uzamış, kazınmış asfaltın eklenmesi ile priz süreleri kısalmıştır.
- Atık lastik katkıli numunelerin tane boyut dağılımları referans eğrinin altında kalmaktadır. Dolayısıyla bütün karışımların tane boyut dağılımları referans numuneden daha büyüktür.
- Kazınmış asfalt katkıli numunelerin tane boyut dağılımı referans eğriye atık lastik katkıli numunelerden daha yakındır. Dolayısı ile atık lastik numunelerinden daha ince tane boyut dağılımına sahiptir. Karma numuneler ise atık lastikten daha kalın bir dağılım sergilemektedir. Basınç dayanım sonuçları incelendiğinde ince boyuta sahip olan kazınmış asfalt katkıli çimento harcı numunelerinin diğerlerinden daha yüksek sonuçlar verdiği görülmektedir.

## 5.2. Mekanik Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

- Katkı oranları arttıkça bütün numuneler için basınç dayanımları azalmaktadır.
- Bütün kür süreleri için atık lastik katkılı numunelerin basınç dayanımları kazınmış asfalt katkılı numunelere göre daha düşük sonuçlar vermiştir.
- En yüksek basınç dayanımı sonuçlarına referans numune sahiptir. Ancak, 7 numaralı numune bütün kür süreleri için referans numuneye yakın değerler vermiştir.
- Karma atık içeren numunelerin basınç dayanım sonuçları atık lastik ve kazınmış asfalt katkılı numunelere göre oldukça düşük sonuçlar vermiştir.
- Dayanıklılık deneylerinden elde edilen sonuçlarda; atık lastik katkılı numuneler için; Y ve Z serisi numunelere ait bulgular göz önünde bulundurulduğunda Y serisindeki en yüksek basınç dayanımına 8 numaralı karışım (58.38 MPa), en düşük dayanım değerine ise 3 numaralı karışım (22.28 MPa) sahiptir. Z serisindeki en yüksek basınç dayanımına sahip karışım 5 numaralı karışımdır (49.19 MPa), en düşük dayanım değeri ise 16 numaralı karışıma aittir (16.79 MPa). Referans numune Y serisinde %10 katkılı numuneler ait değerler dışında bütün seriler için en yüksek basınç dayanım sonuçlarını vermiştir. %5 katkılı numuneler referans numunenin eğilimine yakın davranış gösteren tek gruptur. Katkı oranı arttıkça X ve Z serisinde basınç dayanımı değeri düşmektedir. Y serisi için farklı bir durum söz konusudur. %5 katkı içeren numune referans numune gibi kendisine ait X serisi değerlerinden düşük basınç dayanımı sonuçları verirken %10 ve 15 katkılı numuneler Y serisinde daha yüksek basınç dayanımı değerleri vermektedir, bu durum %10 ve %15 katkılı numunelerin sülfatlı ortama karşı dayanıklılığın geliştiğine işaret etmektedir. Bu çalışma için sülfata karşı dirençte en etkin katkı oranının %10 olduğu açıkça anlaşılmaktadır.
- Dayanıklılık deneylerinden elde edilen sonuçlarda; kazınmış asfalt katkılı numuneler için; X ve Y serisi numuneler birbirlerine oldukça yakın basınç dayanım sonuçları vermiştir. Y serisindeki en yüksek basınç dayanımı 8 numaralı numuneye aittir (58.38 MPa). Z serisindeki en yüksek basınç dayanım değeri referans numuneye aittir (48.93 MPa). %5 katkı oranı için kazınmış asfalt katkılı numuneler genel olarak diğer katkı oranlarına göre referans numune davranışına nispeten yakın davranış sergilemektedir. Kazınmış asfalt katkılı numuneler bütün serilerde

atık lastiğe oranla bütün serilerde daha yüksek basınç dayanımı sonuçları vermiştir. Kazınmış asfalt katkısına ait sülfat direncinin atık lastiğe oranla çok daha yüksek olduğu açıktır. Numunelerin Y serisindeki basınç dayanım sonuçlarının tamamı referans numunenin üzerindedir. Bu durum kazınmış asfalt sülfat direncinin hem referans numuneye hem de atık lastiğe oranla çok daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır.

- Dayanıklılık deneylerinden elde edilen sonuçlarda; karma numunelerin X, Y ve Z serilerindeki davranışı kazınmış asfalt davranışı ile aynıdır. Y serisinde en yüksek basınç dayanım değerleri elde edilmiştir. Z serisi en düşük basınç dayanım sonuçları vermiştir. Ayrıca bütün serilere ait basınç dayanım sonuçları referans numune değerinin altında sonuç vermiştir.
- Dayanıklılık deneylerinden elde edilen sonuçlarda; eğilme dayanımlarının bir arada değerlendirilmesi ile atık lastik katkılı numunelerin tamamının eğilme dayanım sonuçları referans numunenin altında kalmıştır. Kazınmış asfalt numunelerinin eğilme dayanımlarından daha yüksek sonuçlar vermiştir. Bu sonuçlar aynı zamanda referans numune değerleri ile çok yakındır. Karma numunelerin tamamının eğilme dayanımları referans numunenin altında kalmıştır.
- Ağırlık değişim sonuçları irdelendiğinde; bütün katkılı numuneler için Y serisinde 3. çevrimden sonra ağırlık artışı önemli oranda azalmaktadır. Bütün katkılı numuneler için ağırlık artışı referans numuneden daha yüksektir. Bütün katkılı numuneler için Z serisinde ağırlık değişimi 3. çevrimden sonra azalmaya yönelmiştir.
- Boy değişim sonuçları irdelendiğinde; 3 çevrimden sonra boy değişiminde önemli azalmaların olduğu gözlenmiştir. 3. çevrime kadar olan çevrim değerlerinde düzensizlikler olduğu anlaşılmaktadır.
- Kılcallık deney sonuçları irdelendiğinde; atık lastik için kür süresi arttıkça su emme miktarının arttığı anlaşılmaktadır. X serisinde nispi bir düşüş vardır. Y serisinde su emme oranı diğerlerine göre en az olan gruptur. Z serisi numuneleri birbirlerine çok yakın sonuçlar vermiştir ve bu sonuçlar X serisi ile oldukça yakındır. Kazınmış asfalt katkılı numunelerin atık lastik katkılı numunelere göre daha yüksek su emme kapasitesine sahip oldukları sonuçlardan anlaşılmaktadır. Kazınmış asfalt katkılı numuneler için kür süresi arttıkça su emme miktarının arttığı belirgindir. Y serisi atık lastikte olduğu gibi diğer kür koşullarına göre düşük sonuçlar vermiştir.

Z serisinin su emme miktarı bütün kür koşulları içinde en yüksek değerlere ulaşmıştır. Karma numuneler için; kür süresi arttıkça emilen su miktarı artmaktadır. Y serisinde önemli ölçüde azalma mevcut iken Z serisinde su emme miktarında yeniden artış gözlenmiştir.

- Elastisite modülü hesaplamalarında; atık lastik katkılı numuneler için katkı oranı arttıkça elastisite modülü değeri düşmektedir. Katkı içermeyen referans numune; bütün kür süreleri için en yüksek elastisite modülü değerlerini vermiştir. Kazınmış asfalt katkılı numunelerin elastisite modülü değerleri atık lastik değerlerine göre bütün kür süreleri için daha yüksektir. Atık lastikte olduğu gibi katkı oranı arttıkça elastisite modülü azalmaktadır. En düşük elastisite modülü değerlerini karma numuneler vermiştir. Elastisite modülünün dayanıklılık koşullarına ait hesaplamalarında atık lastik katkılı numunelerde bütün katkı oranları için, X, Y ve Z serilerinde; referans numune en yüksek elastisite modülü değerini vermektedir. Kazınmış asfalt katkılı numunelerde referans numune Y serisinde bütün numunelere oranla en düşük elastisite modülü değerleri vermiştir. Karma numuneler için referans numuneye ait elastisite modülü bütün dayanıklılık kür koşullarında en yüksek değere sahiptir. Karma numuneler kazınmış asfalt numunelerine benzer davranış sergilemektedirler.
- Tokluk değeri ile ilişkilendirilen, yutulan bağıl enerji ( $U_r$ ) hesaplamalarında; atık lastik katkılı numuneler için katkı oranı arttıkça  $U_r$  değeri artmakta, basınç dayanımları azalmaktadır. Katkı içermeyen referans numunenin  $U_r$  değerleri bütün kür süreleri için en düşük değerleri vermiştir. Kazınmış asfalt katkılı numunelerin  $U_r$  değerleri atık lastik değerlerine göre bütün kür süreleri için daha düşüktür. Atık lastikte olduğu gibi katkı oranı arttıkça  $U_r$  değeri artmaktadır. Ancak bu artış son derece düşüktür. Karma numuneler kazınmış asfalt katkılı numunelere yakın sonuçlar vermiştir.  $U_r$  değerinin dayanıklılık koşullarına ait hesaplamalarında atık lastik katkılı numunelerde Z serisi en yüksek  $U_r$  değerlerini vermektedir. Y serisi için %5 atık lastik katkılı numunelerin davranışı referans numune davranışı ile paralellik göstermektedir. %10 ve 15 atık lastik katkılı numuneler için katkı oranı arttıkça  $U_r$  değeri artmaktadır. Kazınmış asfalt katkılı numunelerin dayanıklılık koşullarında  $U_r$  değerlerinin, Y serisinde referans numuneden daha düşük, X ve Z serilerinde ise daha yüksek

olduğu anlaşılmaktadır. Karma numuneler dayanıklılık koşullarında bütün kür koşulları için; en yüksek  $U_r$  değerlerine sahiptir.

### 5.3. Mikroyapı Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

- Basınç dayanımı deneyi sonucu atık lastik içeren kırılmış numuneler üzerinde yapılan SEM-EDS analizlerinden elde edilen sonuçlar irdelendiğinde; atık lastik katkı oranı arttıkça yapılarda düzensizliğin arttığı anlaşılmaktadır. Yani, katkı oranı arttıkça basınç dayanımları düşmektedir. Katkı oranı arttıkça düzensizliklerin arttığı SEM fotoğraflarından anlaşılmaktadır. En sıkı mikroyapı görüntüleri 98 günlük numunelerde mevcuttur. Kür süresi arttıkça hidrate olmuş bölgeler artmaktadır. Dayanıklılık deneyi sonucu, atık lastik içeren kırılmış numuneler üzerinde yapılan SEM-EDS analizlerinden elde edilen sonuçlar irdelendiğinde; numunelerin benzer SEM görüntüleri verdiği ve basınç dayanımlarının birbirlerine çok yakın olduğu anlaşılmaktadır.
- Basınç dayanımı deneyi sonucu kazınmış asfalt içeren kırılmış numuneler üzerinde yapılan SEM-EDS analizlerinden elde edilen sonuçlar irdelendiğinde; kazınmış asfalt katkılı numuneler atık lastik numunelerin göre daha homojen bir görüntü sergilemektedir. En az boşluklu yapılar 98 günlük SEM görüntülerinde bulunmaktadır. Bu sonuçlar da basınç dayanımı değerlerine yansımıştır. Dayanıklılık deneyi sonucu, kazınmış asfalt içeren kırılmış numuneler üzerinde yapılan SEM-EDS analizlerinden elde edilen sonuçlar irdelendiğinde; Y serisinde katkı oranı arttıkça az boşluklu ve sıkı yapı görüntüsü yerini daha boşluklu bir yapıya bırakmaktadır. Z serisi numunelerde ise boşluklu yapılar göze çarpmaktadır.
- Basınç dayanımı deneyi sonucu kırılmış karma numuneler üzerinde yapılan SEM-EDS analizlerinden elde edilen sonuçlar irdelendiğinde; karma numunelere ait bütün kür koşulları için SEM görüntü sonuçları düzensiz, diğer numunelere göre oldukça boşluklu yapılar göze çarpmaktadır.
- XRD ile mineralojik analiz sonuçları irdelendiğinde; basınç dayanımlarını doğrudan etkileyen CH tüketimlerine ait sonuçlara ulaşılmıştır ve CH tüketimlerinin arttıkça basınç dayanımlarının arttığı sonuçlardan anlaşılmaktadır.

- DTA-TG analizinden atık lastik için elde edilen toplam kütle kayıpları bütün kür koşullarında diğer katkılı numunelere göre daha yüksektir. Atık lastik katkılı numunelerde CH dehidratasyonu 56 günlük kür koşullarında 28 günlük kür koşullarına göre daha yüksektir. X serisi numunelerde, CH dehidratasyonu azalmaktadır. Y serisi numunelerde, dehidratasyon oldukça azalmıştır. Z serisi numunelerde de, dehidratasyonda önemli bir azalma mevcuttur. Kazınmış asfalt katkılı numunelerde 28 ve 56 günlük kür süreleri için CH dehidratasyon sonuçlarında önemli bir fark yoktur. Dehidratasyon azalması sırasıyla Z, Y ve X serilerinde oluşmuştur. Genel anlamda basınç dayanımı yüksek olan numunelerin CH dehidratasyonları da yüksektir.
- FTIR analizlerinden elde edilen bulguların önemli bir kısmı 98 günlük basınç dayanım sonuçları ile uyumluluk göstermektedir. Atık lastik katkılı numuneler için katkı oranı arttıkça pik şiddeti artmakta, basınç dayanımları ise azalmaktadır. Kazınmış asfalt katkılı numuneler için karbonat pikinin şiddeti ile 98 günlük basınç dayanımları ile aralarında bir bağlantının varlığı tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- ACI 318-2005, 2005, *Building code requirements for reinforced concrete*, ACI Manual of concrete practice Part:3
- AIELLO, M.A., LEUZZI F., 2010, Waste tyre rubberized concrete: Properties at fresh and hardened state, *Waste Management*, 30, 1696-1704
- ASTM C 1018, 1997, Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete
- ASTM D 6270, 1988, Standard Practice of for Use Scrap Tires in Civil Engineering App., Annual Book of ASTM Standards, vol:11.04. West Conshohocken, PA
- BARADAN, B., YAZICI, H., ÜN, H., 2002, *Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)*, DEÜ, Müh. Fak. Yayını, No:298, 282 s.
- BATIC, O.R., MILANES, C.A., MAIZA, P. J., MARFIL S.A., 2000, Secondary Ettringite Formation in Concrete Subjected to Different Curing Conditions, *Cement and Concrete Research*, 30, 1407-1412
- BAZANT, Z.P., ZI, G., MEYER, C., 2000, Fracture Mechanics of ASR in Concretes with waste glass particles of different sizes, *Journal of Eng. Mechanics*, Vol. 126, No. 3, pp. 226-232
- British Standart Institute (BSI), 1972, *Code of practice for the structural use of concrete*, CP110, Part 1, London
- BENAZZOUK, A., DOUZANE, O., LANGLET, T., MEZREB, K., ROUCOULT, J.M., QUÉNEUDEEC, M., 2007, Physico-mechanical properties and water absorption of cement composite containing shredded rubber wastes, *Cement & Concrete Composites*, 29 732–740
- BEYÇİOĞLU, A., BAŞYİĞİT, C., SUBAŞI, S., 2008, Endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanımı ile geri kazanılması ve çevresel etkilerinin azaltılması, Çevre ve Sorunları sempozyumu, Kocaeli
- BIGNOZZI, M.C., SANDROLINI, F., 2004, *Recycling tyre rubber in building materials*, Proceeding of the International Conference: Sustainable Waste Management and Recycling: Used/Post-Consumer Tyres, Kingston University,
- BİNİCİ, H., AKSOĞAN, O., ÇAĞATAY, I.H., TOKYAY, M., 2007, The effect of particle sizes distribution on the the properties of blended cements incorporating BBBFS and natural pozzolan (NP), *Powder Tech*, vol 177, issue 3, pp 140-147
- ÇELİK, K., 2005, Uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve traşlı çimentolarla üretilen aynı mukavemet sınıfındaki harçların dayanım ve dayanıklılığının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü.

- CELİK, O., 2006, Lightweight concrete for pavement leveling using rubber particles from used tyres, *Yurtdışı bilimsel çalışma raporu*, Minho Üniversitesi, Portekiz
- CAO, W., 2007, Study on properties of recycled tire rubber modified asphalt mixtures using dry process, *Construction and Building Materials* 21, 1011–1015.
- Comitte Euro-International du Beton, 1978, *CEB-FIP Model code for concrete Structures*, Bulletin 124-125
- DORUM, A., KOÇAK, Y., YILMAZ, B., UÇAR, A., 2009, Yüksek Fırın Cürufunun Çimento Yüzey Özelliklerine Ve Hidratasyona Etkileri, Dumlupınar Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü Der. Sayı 19, ISSN-1302-3055
- DORUM, A., KOÇAK, Y., YILMAZ, B., UÇAR, A., 2010, Uçucu Kül Katkılı Çimento Hidratasyonuna Elektrokinetik Özelliklerin Etkisi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 25, No 3, 449-457
- ELDIN, N.N., SENOUCI, A.B., 1993, Rubber tires particles as concrete aggregate, *Journal of Materials in Civil Engineering* 5 (4), 478–496
- EMİROĞLU, M., YILDIZ, S., ÖZGAN, E., 2009, Lastik agregalı betonlarda elastisite modülünün deneysel ve teorik olarak incelenmesi, *J.Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, Vol 24, No 3, 469-476
- ERDOĞAN, T.Y., 2003, Beton, *ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayını*, s. 741, Ankara
- FATTUHI, N.I., CLARK, L.A., 1996, Cement-based materials containing shredded scrap truck tyre rubber, *Construction Building Materials*, 10 (4), 229–236
- GANJIAN, E., KHORAMI, M., MAGHSOUDI, A.A., 2009, Scrap-tyre-rubber replacement for aggregate and filler in concrete, *Construction and Building Materials*, 23 1828–1836
- GÖNÜLLÜ, M.T., 2004, Atık lastiklerin yönetimi, *Katı Atık geri dönüşüm teknolojileri semineri*, İstanbul Sanayi Odası, İSO-Odakule
- HIDALGO, A., PETIT, S., 2007, Microstructure characterization of leaching effects in cement pastes due to neutralization of their alkaline nature Part 1:Portland cement pastes, *Cement and Conc. Res.*, 37, pp. 63-70)
- JIN, W., MEYER, C., BAXTER, S., 2000, “Glascrete”-Concrete with glass aggregate , *ACI Materials Journal*, Vol. 97, No.2, pp. 208-213
- KAHYAOĞLU, H., YAZICI, B., ERBİL, M., 1999, Beton ve betonarme çeliğinin korozyonu, *Korozyon*, Cilt 11, Sayı 1-3, ss. 11-18
- KARAHAN, O. (2006), Liflerle güçlendirilmiş uçucu küllü betonların özellikleri, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bil. Ens. İnşaat Müh. Ana Bilim Dalı



- KHALOO, A.R., DEHESTANI, M., RAHMATABADI, P., 2008, Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire-rubber particles, *Waste Management*, 28 2472–2482
- KHATIP, Z.K., BAYOMY, F.M., 2000, Rubberized Portland cement concrete, *ASCE. Journal of materials in Civil Engineering*, 11 (3), 206–213
- MERINO, M., ASTORQUI, J.S.C., CORTINA, M.G., 2007, Viability analysis and constructive applications of lightened mortar, *Construction and Building Materials*, 21 1785–1791
- MEYER, C., 2009, The greening of the concrete industry, *Cement & Concrete Composites*, 31 601–605
- MINDESS, S., YOUNG, J.F., *Concrete*, Prentice-Hall, Incç., Engkewood Cliffs, New Jersey, 194 p, 1981
- OLIVARES, H.D., BARLUENGA, G., BOLLATI, M., WITOSZEK, B., 2002, Static and dynamic behaviour of recycled tyre rubber-filled concrete, *Cement and Concrete Research*, 32 1587–1596
- PAINE, K.A., ve diğ., 2002. Use of crumb rubber to achieve freeze thaw resisting concrete. In: Dhir, R.K. et al. (Ed.), *Proceedings of the International Conference on Concrete for Extreme Conditions*, University of Dundee, Scotland, UK, pp. 486–498
- PIERCE, C.E. ve BLACKWELL, M.C., 2003, Potential of scrap tire rubber as lightweight aggregate in flowable fill, *Waste Management*, 23 197–208
- POSTACIOĞLU, B., 1975, Yapı Malzemesi Problemleri, Çağlayan Kitapevi
- RAGHAVAN, D., HUYNH, H., FERRARIS, C.F., 1998, Workability, mechanical properties and chemical stability of a recycled tire rubber-filled cementitious composite, *Journal of Materials Science*, 33 (7), 1745–1752
- SANTHANAM, M., COHEN, M.D., OLEK, J., 2002, Mechanism of sulfate attack: A fresh look Part 1: Summary of experimental results, *Cement and concrete research*, 32 915-921
- SAVAS, B.Z., ve diğ., 1996. Freeze–thaw durability of concrete with ground waste tire rubber. *Transportation Research Record* No. 1574, Transportation Research Board, Washington, DC, pp. 80–88
- SEGRE, N., JOEKES, I., 2000, Use of tire rubber particles as addition to cement paste, *Cement and Concrete Research*, 30 (9), 1421–1425
- SIDDIQUE, R., NAIK, T.R., 2004, Properties of concrete containing scrap-tire rubber – an overview, *Waste Management*, 24, 563–569

- SNELSON, D.G., KINUTHIA, J.M., DAVIES, P.A., CHANG, S.-R., 2009, Sustainable construction: Composite use of tyres and ash in concrete, *Waste Management*, 29 360–367
- SOLA, Ö., ÖZYAZGAN, C., SAYIN, B., HASDEMİR, S., PORTAKAL, E., 2011, Utilization of Tyre and Asphalt Wastes as Cement Additive, *International Symposium on Environmental Science and Technology*, June 1-4, 2011, pp 909-913
- SOLA, Z., 2011, Geri Dönüşüm Tasarım ve Üretimi, *İsfalt A.Ş.*
- TANTALA, M.W., ve diğ., 1996. Quasi-elastic behavior of rubber included concrete. In: Ronald Mersky (Ed.), *Proceedings of the 12th International Conference on Solid Waste Technology and Management*, Philadelphia, PA
- TAŞDEMİR, M.A., BAYRAMOV, F., 2002, Yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı, *İTÜ Dergisi*, Cilt:1, Sayı:2, 124-144
- TOPÇU, İ.B., ŞENGEL, S., 2005, A statistical study on Ready-mixed concretes produced in Eskişehir after the 1999 earthquake, *Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 18, Sayı 1, ss 19-31
- TOPÇU, İ.B., 2006a, Beton Teknolojisi, *Uğur Ofset A.Ş.*, Haziran 2006
- TOPÇU, İ.B., 2006b, Yapı Malzemeleri ve Beton, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayını*, Eskişehir
- TOSUN, K., 2007, Farklı Çimento Tiplerinin Gecikmiş Etrenjit Oluşumu Üzerindeki Etkileri. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir,
- TOSUN, K., FELEKOĞLU, B., BARADAN, B., ALTUN, İ. A., 2009, Portland Kalkerli Çimento Bölüm II - Sülfat Dayanıklılığı, *İMO Teknik Dergi*, 4737-4757
- TURATSINZE, A., BONNETA, S., GRANJU, J.-L., 2005, Mechanical characterization of cement based mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tyres, *Building and Environment*, 40, 221–226
- TS 3655 Beton Agregalarında Dona Dayanıklılık Tayini, TSE, Ankara
- TS 500, 2000, Betonarme yapıların hesap ve yapım kuralları, TSE, Ankara
- TS EN 196-6, 2000, *Hava Geçirgenlik (Blaine) Metodu ile çimentonun inceliğinin belirlenmesi*, TSE, Ankara
- TS EN 197-1, 2002, Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler Ve Uygunluk Kriterleri, TSE, Ankara
- TS EN 197-2, 2002, Çimento-Bölüm 2: Uygunluk Değerlendirmesi, TSE, Ankara

- TURKI, M., BRETAGNE, E., ROUIS, M.J., QUENEUDE, M., 2009, Microstructure, physical and mechanical properties of mortar-rubber aggregates mixtures, *Construction and Building Materials*, 23 2715–2722
- Türkiye İnşaat Malzemeleri Sektör Görünüm Raporu, 2011, *Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği*, TOBB
- UBBRIACO, P., CALABRESE, D., 1998, Solidification and stabilization of cement paste containing fly ash from municipal solid waste, *Thermochimica Acta*, 321, 143-150
- USTABAŞ, İ., 2008, *Sülfat etkisine maruz mineral katkılı beton ve harçların performansının incelenmesi*, Doktora Tezi, KTÜ
- UYGUNOĞLU, T., TOPÇU, İ.B., 2010, The role of scrap rubber particles on the drying shrinkage and mechanical properties of self-consolidating mortars, *Construction and Building Materials*, 24 1141–1150
- UYSAL, M., SUMER, M., 2011, Performance of self-compacting concrete containing different mineral admixtures, *Cons. and building mat.*, Vol, 25, pp 4112-4120
- UZUNOĞLU, H., 2007, Çevreyi Tehdit Eden Tehlike: Atıklar, *Ar-Ge Sektörel Bülten*, İzmir Ticaret Odası,
- VEDALAKSHMI, R., RAJ, A. S., SRINIVASAN, S., GANESHBABU, K., 2003, Quantification of hydrated cement products of blended cements in low and medium strength concrete using TG and DTA technique, *Thermochimica Acta*, 407, 49–60
- WU, Z., NAIK, T.R., 2002, Properties of concrete produced from multicomponent blended cements, *Cement and concrete research*, 2150, 1-6
- YAKABOYLU, O., 2010, Atık lastik yönetimi ve atık lastik pirolizi model tesisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ
- YALÇINKAYA, Ç., 2009, Mineral katkılı kendiliğinden yerleşen betonun mekanik durabilite ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, DEÜ)
- YILMAZ, A., DEĞİRMENCİ, N., 2009, Possibility of using waste tire rubber and fly ash with Portland cement as construction materials, *Waste Management*, 29, 1541–1546
- ZHENG, L., HUO, S., YUAN, Y., 2008, Strength, modulus of elasticity, and brittleness index of rubberized concrete, *Journal of Materials in civil eng.*, Vol 20, No 11, 692-699

## EKLER

### EK-1

Ek-1.1. Lazer yöntemi ile katkılı toz çimento granülometri tablosu

%Geçen	1 µ	2 µ	4 µ	8 µ	16 µ	32 µ	64 µ	128 µ	192 µ
1	93,79	87,08	75,69	60,35	41,99	19,08	1,63	0,00	0,00
2	94,49	88,45	78,41	65,42	48,15	26,66	10,64	5,68	4,19
3	94,43	88,29	77,99	64,73	47,58	26,34	11,50	9,76	9,25
4	94,34	88,25	77,82	64,28	47,68	25,89	10,02	8,58	8,19
5	94,37	88,20	77,74	63,77	45,77	23,48	8,75	7,42	7,09
6	94,04	87,61	76,36	61,94	42,99	17,99	1,28	0,00	0,00
7	94,07	87,53	76,15	61,23	41,11	16,76	1,44	0,00	0,00
8	94,01	87,49	76,06	61,62	42,41	18,12	2,18	0,00	0,00
9	95,31	90,11	81,49	70,35	54,87	36,00	21,16	12,64	7,78
10	95,08	89,33	80,13	67,92	51,75	32,13	17,59	15,81	14,27
11	94,91	89,41	80,11	67,78	51,60	31,03	17,75	16,80	16,21
12	95,44	89,89	80,85	68,65	51,90	31,34	16,57	14,57	13,40
13	94,18	87,52	76,61	62,64	42,39	17,89	2,55	0,00	0,00
14	94,48	88,32	78,01	64,46	46,67	25,01	9,72	7,70	6,91
15	94,59	88,47	78,27	65,03	47,00	25,42	9,65	4,94	4,09
16	96,25	91,92	85,09	75,88	62,28	45,92	32,03	20,72	12,87
17	95,97	91,55	84,18	74,44	61,51	44,93	33,86	32,17	27,36
18	95,72	90,94	83,06	72,71	59,19	42,22	29,07	26,58	22,70
19	95,82	90,73	82,00	70,31	55,36	37,01	23,51	21,48	20,37
20	94,12	87,77	76,53	61,65	42,98	18,67	1,96	0,00	0,00
21	95,04	89,62	80,00	67,29	51,32	30,47	15,48	13,29	11,70
22	95,13	89,68	80,13	67,46	51,58	31,05	14,46	6,73	4,40
23	96,43	92,08	84,33	74,29	61,60	44,68	30,36	21,49	15,53
24	96,35	92,06	84,58	74,91	62,14	46,43	35,02	25,76	17,99
25	96,30	92,18	85,22	75,91	63,57	46,02	32,71	22,38	13,82
26	96,67	92,91	86,49	77,99	66,99	52,60	42,69	39,56	32,52

Ek-1.2. Tüm seri ve deney süreleri ait basınç dayanım tablosu (MPa)

	<b>2 gün</b>	<b>7 gün</b>	<b>28</b>	<b>56</b>	<b>98 X</b>	<b>98 Z</b>	<b>98 Y</b>
1	26,23	44,28	51,88	55,42	57,20	48,93	32,42
2	13,12	31,23	35,50	40,05	46,58	45,46	22,86
3	13,09	32,67	39,72	40,91	45,03	47,32	22,28
4	10,39	28,32	35,70	29,30	37,85	42,31	27,64
5	14,96	35,86	42,56	46,28	45,59	49,19	30,58
6	20,66	35,49	42,76	44,97	54,81	38,80	35,63
7	25,13	43,70	50,60	54,83	56,57	45,62	46,78
8	21,85	39,32	47,27	48,44	57,71	36,84	58,38
9	14,19	26,36	29,81	32,39	35,92	22,37	36,45
10	14,43	26,94	31,19	32,53	37,56	23,89	39,32
11	13,94	26,78	31,48	23,77	36,27	20,89	38,94
12	14,83	28,29	32,56	32,21	35,87	23,44	38,48
13	19,95	39,38	46,09	48,70	52,07	35,04	51,85
14	18,82	37,88	42,07	48,21	54,92	36,56	52,10
15	21,88	41,98	49,52	52,89	53,58	40,70	52,79
16	7,20	14,92	17,75	18,36	25,97	16,79	30,12
17	9,99	19,31	23,83	24,73	28,87	17,97	30,69
18	10,17	19,92	24,91	20,93	24,78	17,15	29,54
19	9,99	19,40	26,77	26,22	30,31	19,08	32,04
20	16,24	32,55	40,50	43,96	48,19	32,04	47,47
21	14,96	32,30	40,50	37,28	48,73	32,25	48,60
22	18,85	37,11	40,70	46,29	49,45	34,92	48,25
23	10,21	18,42	21,67	23,29	28,98	17,39	30,65
24	9,10	14,62	20,10	22,02	27,38	19,29	31,41
25	7,60	15,20	18,63	20,27	24,23	17,28	24,70
26	7,45	14,13	17,16	17,91	26,11	18,94	29,02

Ek-1.3. Dayanıklılık deneyleri, Y Serisi ağırlık ve boy değişimi tablosu

Y SERİSİ	1. ÇEVİRİM SONUCU		2. ÇEVİRİM SONUCU		3. ÇEVİRİM SONUCU		4. ÇEVİRİM SONUCU		5. ÇEVİRİM SONUCU	
	Ağırlık	BOY	Ağırlık	BOY	Ağırlık	BOY	Ağırlık	BOY	Ağırlık	BOY
1	539,78	161,82	540,81	161,76	541,76	161,73	542,80	161,67	543,01	161,64
2	508,07	160,55	509,16	160,52	510,35	160,47	511,52	160,42	511,64	160,41
3	515,85	162,38	517,33	162,36	518,66	162,37	519,71	162,43	520,03	162,36
4	520,83	161,54	522,32	161,50	523,51	161,54	524,55	161,46	524,62	161,51
5	515,88	160,24	517,23	160,51	518,58	160,59	519,69	160,37	519,86	160,44
6	526,59	161,00	527,73	161,04	528,78	160,93	529,92	161,14	530,21	161,04
7	529,19	161,06	530,28	161,06	531,26	160,85	532,38	160,95	532,60	160,83
8	522,19	160,01	523,38	160,13	524,36	160,03	525,47	160,09	525,67	160,00
9	489,10	160,98	490,62	160,97	492,22	161,07	493,54	160,99	493,83	161,02
10	499,72	161,72	501,45	161,70	502,82	161,77	504,06	161,77	504,21	161,62
11	493,20	159,97	494,83	159,96	496,28	159,94	497,49	159,97	497,59	159,97
12	494,75	160,26	496,22	160,24	497,63	160,58	498,72	160,18	498,97	160,17
13	517,48	160,33	518,54	160,42	519,66	160,43	520,66	160,37	520,92	160,35
14	523,41	161,18	524,44	161,00	525,59	161,04	526,75	161,02	527,15	160,96
15	531,66	160,52	532,92	160,55	533,97	160,46	535,00	160,58	535,35	160,57
16	471,82	160,56	473,39	160,59	474,78	160,66	475,91	160,58	476,06	160,58
17	473,00	159,76	475,03	159,80	476,84	159,89	478,17	159,78	478,48	159,79
18	488,76	161,44	490,74	161,44	492,63	161,49	493,94	161,47	494,35	161,55
19	479,58	160,88	481,50	160,64	482,93	160,89	484,17	160,71	484,42	160,62
20	529,92	162,08	531,28	162,05	532,48	162,08	533,84	161,94	534,24	162,07
21	534,73	161,01	536,00	161,08	537,39	161,02	538,67	160,96	539,04	160,95
22	536,13	161,07	537,40	161,15	538,90	161,25	540,16	161,17	540,48	161,03
23	502,41	160,96	504,18	160,93	506,11	160,81	507,55	160,81	508,01	160,72
24	492,51	160,98	494,46	161,15	496,21	160,94	497,62	160,87	498,08	160,95
25	482,41	161,41	484,34	161,35	485,87	161,34	487,35	161,38	487,59	161,35
26	492,22	161,43	494,23	161,26	495,83	161,16	497,36	161,46	497,52	161,41

Ek-1.4. Dayanıklılık deneyleri Z Serisi ağırlık ve boy değişimi tablosu

Z SERİSİ	1. ÇEVİRİM SONUCU		2. ÇEVİRİM SONUCU		3. ÇEVİRİM SONUCU		4. ÇEVİRİM SONUCU		5. ÇEVİRİM SONUCU	
	Ağırlık	BOY	Ağırlık	BOY	Ağırlık	BOY	Ağırlık	BOY	Ağırlık	BOY
1	577,00	162,32	575,11	161,88	577,64	161,88	580,04	162,04	579,41	161,87
2	545,92	160,24	543,02	160,19	545,61	160,22	547,11	160,09	546,76	160,19
3	547,36	160,99	544,72	160,94	547,71	161,03	548,52	161,09	548,74	161,06
4	563,79	161,27	561,46	161,23	564,03	161,30	565,39	161,27	565,30	161,26
5	547,65	160,46	544,59	160,24	547,14	160,71	549,50	160,40	548,90	160,41
6	579,80	161,51	578,01	161,18	580,70	161,54	582,49	161,54	581,98	161,18
7	565,56	161,07	563,28	160,69	566,03	160,90	567,67	160,95	567,47	160,81
8	563,15	160,33	560,69	160,24	563,26	160,29	564,98	160,35	564,56	160,25
9	522,49	161,08	518,59	161,08	521,00	161,11	523,45	161,03	522,79	160,97
10	529,86	161,42	525,87	161,31	528,30	161,23	529,83	161,33	529,96	161,23
11	528,28	159,97	524,79	159,89	526,56	159,94	529,40	159,95	528,67	159,96
12	524,51	160,71	520,39	160,41	523,86	160,53	525,55	160,59	525,09	160,89
13	553,57	160,45	550,73	160,39	552,56	160,33	556,15	160,37	555,14	160,40
14	574,49	163,04	572,32	162,99	574,93	163,14	577,54	163,07	577,19	162,80
15	572,33	160,57	570,21	160,35	573,19	160,42	575,40	160,65	574,64	160,42
16	504,59	161,26	501,18	161,07	502,94	161,04	505,42	160,94	504,55	161,03
17	501,19	160,19	497,28	160,41	499,62	160,23	503,20	160,18	501,63	160,41
18	515,96	161,62	512,38	161,52	514,47	161,45	519,25	161,61	517,07	161,48
19	509,41	160,75	506,24	160,70	508,36	160,72	511,47	160,71	510,76	160,80
20	571,82	161,43	570,04	161,21	572,03	161,52	575,81	161,49	573,87	161,51
21	563,33	160,16	561,47	160,10	563,96	160,25	568,61	160,26	565,54	160,19
22	567,83	160,98	566,23	160,82	568,66	160,92	571,36	160,88	569,62	160,84
23	523,29	160,56	520,80	160,41	524,14	160,39	526,53	160,34	524,87	160,36
24	524,89	160,99	522,26	160,82	524,89	160,88	528,71	160,85	526,30	160,86
25	513,37	162,36	510,80	162,20	513,75	162,35	517,73	162,27	515,13	162,24
26	512,95	160,56	510,62	160,47	513,57	160,83	516,80	160,90	514,62	160,85

Ek-1.5. Kılcallık deneyleri tabloları

<b>28 Günlük Kılcallık Deney Ölçümleri</b>									
#	Kuru Ağırlık	2 dk	4 dk	8 dk	30dk	60dk (1 sa)	120 dk (2 sa)	240 dk (4 sa)	1440 dk (24 sa)
1	241,0	241,7	241,9	242,4	243,3	244,0	245,0	246,1	248,9
2	252,9	253,8	254,0	254,3	255,0	255,9	256,8	257,5	260,1
3	274,6	275,6	275,9	276,6	277,7	279,0	280,2	281,1	283,6
4	258,7	259,5	259,7	260,2	261,3	262,6	263,9	265,1	268,1
5	262,1	263,0	263,2	263,7	264,7	265,8	267,0	267,9	270,6
6	267,7	268,8	268,9	269,3	270,1	271,3	272,7	273,6	276,7
7	253,7	254,5	254,7	255,3	256,1	257,2	258,3	259,6	262,4
8	260,7	261,7	261,8	262,3	263,1	264,3	265,5	266,6	269,6
9	236,5	237,0	237,1	237,5	238,2	239,1	239,9	240,7	243,2
10	233,6	234,2	234,7	235,1	236,2	237,3	238,2	239,2	241,4
11	264,5	265,0	265,2	266,0	267,2	268,6	269,8	271,3	273,8
12	244,9	245,4	245,7	246,2	247,2	248,3	249,3	250,4	252,8
13	270,5	271,0	271,1	271,1	273,2	275,3	277,3	279,4	282,4
14	280,9	281,8	282,2	283,4	286,7	288,9	292,0	294,0	297,0
15	275,7	276,4	276,7	277,3	280,0	282,1	284,7	286,7	289,7
16	225,4	226,0	226,2	226,6	227,4	228,0	229,0	230,0	233,3
17	235,3	236,0	236,1	237,0	237,5	238,0	239,0	240,3	243,2
18	230,8	231,4	231,6	231,9	232,6	233,3	234,0	234,9	237,0
19	230,5	231,1	231,3	231,8	232,5	233,1	234,0	235,1	237,8
20	253,9	254,7	254,9	255,5	256,7	257,9	258,9	260,2	263,0
21	256,0	256,9	257,1	257,4	258,5	259,3	260,2	261,5	264,4
22	255,0	255,8	256,0	256,5	257,6	258,6	259,6	260,9	263,7
23	269,1	270,1	270,2	270,6	271,4	272,3	273,1	274,2	277,4
24	280,5	281,6	281,7	282,1	283,1	284,0	285,1	286,3	289,6
25	262,7	264,1	264,2	264,6	265,5	266,5	267,4	268,5	271,3
26	264,1	264,7	264,8	265,0	265,5	266,3	266,9	267,9	271,2



<b>56 günlük Deney Ölçümleri</b>									
#	<b>Kuru Ağırlık</b>	<b>2 dk</b>	<b>4 dk</b>	<b>8 dk</b>	<b>30dk</b>	<b>60dk (1 sa)</b>	<b>120 dk (2 sa)</b>	<b>240 dk (4 sa)</b>	<b>1440 dk (24 sa)</b>
1	256,5	257,2	257,9	258,6	260,5	261,8	263,2	265,2	269,7
2	199,3	200,2	200,3	200,8	201,1	201,7	203,0	204,5	209,3
3	247,1	248,4	248,5	249,6	251,5	253,3	255,5	257,5	260,9
4	253,9	254,9	255,1	255,4	256,6	257,7	258,8	260,0	266,4
5	233,4	234,5	234,6	235,3	236,4	237,6	239,1	240,7	245,5
6	201,7	202,5	202,7	203,6	205,2	206,5	207,9	209,4	213,2
7	185,8	187,2	187,4	188,1	189,0	189,9	190,7	191,3	192,6
8	193,8	194,9	195,1	195,9	197,1	198,2	199,3	200,4	202,9
9	228,2	228,8	229,0	229,3	230,3	231,4	232,6	233,9	238,0
10	240,4	241,2	241,5	241,8	242,8	243,8	244,8	246,3	252,0
11	256,6	257,4	257,8	258,4	259,6	260,8	262,0	263,9	268,6
12	241,7	242,5	242,8	243,2	244,2	245,3	246,5	248,0	252,9
13	265,8	266,5	266,8	267,5	270,9	271,9	273,6	276,5	281,2
14	286,6	287,3	289,2	290,8	293,6	295,5	297,4	299,5	303,1
15	276,2	276,9	278,0	279,2	282,3	283,7	285,5	288,0	292,2
16	230,1	230,5	230,8	231,1	231,9	233,1	234,4	236,3	239,8
17	244,3	244,8	245,1	245,3	246,1	246,9	247,8	249,2	252,0
18	267,3	267,9	268,3	268,5	269,0	269,8	270,9	272,2	276,3
19	247,2	247,7	248,1	248,3	249,0	249,9	251,0	252,6	256,0
20	244,9	246,1	246,8	247,3	248,8	249,9	251,6	254,1	260,0
21	193,6	194,2	194,5	194,9	196,0	197,1	198,2	199,9	205,5
22	219,3	220,2	220,7	221,1	222,4	223,5	224,9	227,0	232,8
23	238,7	239,2	239,5	239,9	240,9	241,9	243,0	244,5	249,6
24	256,5	257,1	257,4	257,8	258,8	259,9	261,0	262,6	268,3
25	228,1	228,7	229,1	229,5	230,6	231,7	232,8	234,1	238,3
26	231,4	231,8	232,1	232,4	233,2	234,2	235,2	236,8	242,1

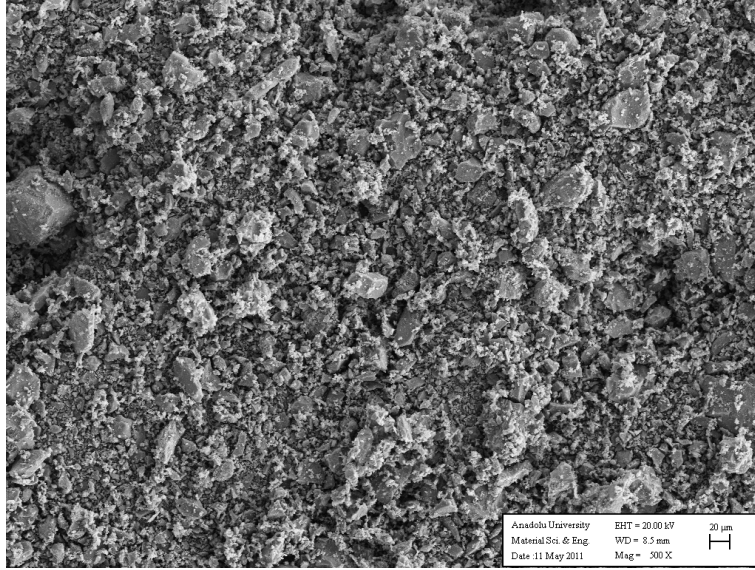
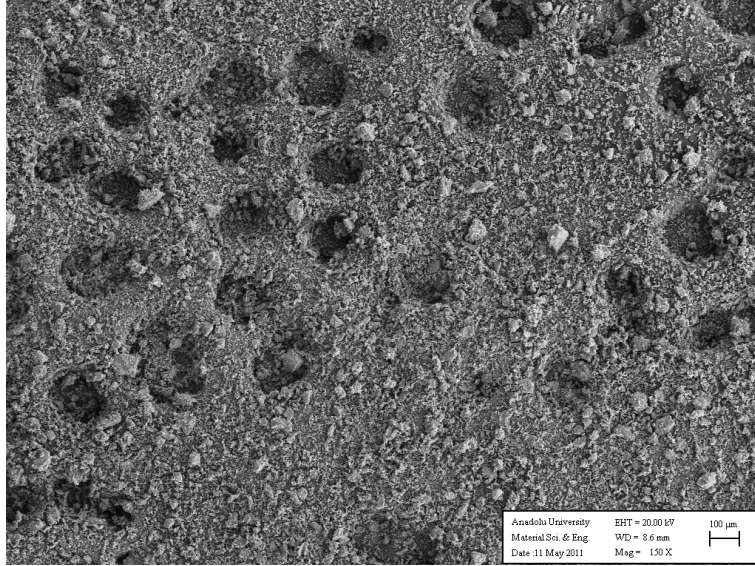
<b>X Serisi Kılcallık Deney Ölçümleri</b>									
#	<b>Kuru Ağırlık</b>	<b>2 dk</b>	<b>4 dk</b>	<b>8 dk</b>	<b>30dk</b>	<b>60dk (1 sa)</b>	<b>120 dk (2 sa)</b>	<b>240 dk (4 sa)</b>	<b>1440 dk (24 sa)</b>
1	287,2	287,8	288,2	288,6	289,9	291,5	293,0	294,9	302,3
2	189,0	189,6	189,8	190,0	190,6	191,5	192,4	193,6	196,7
3	248,0	248,7	249,0	249,2	250,1	251,2	252,2	253,3	257,1
4	246,5	247,2	247,5	247,7	248,4	249,4	250,4	251,6	256,4
5	281,4	282,5	282,9	283,7	284,6	285,8	286,9	289,7	296,8
6	250,7	251,5	251,9	252,4	253,6	255,0	256,4	258,6	266,9
7	194,3	195,1	195,4	195,8	197,3	198,7	200,1	201,8	207,6
8	194,7	195,7	196,2	196,9	199,0	200,4	201,7	202,4	206,0
9	242,0	242,4	242,6	242,9	243,6	244,5	245,4	246,9	251,5
10	240,1	240,6	240,9	241,2	242,0	243,0	244,0	245,4	249,7
11	234,3	234,8	235,0	235,3	236,0	236,9	237,7	239,0	243,8
12	243,0	243,6	243,9	244,2	244,9	245,9	246,9	248,6	253,8
13	257,2	257,8	258,1	258,4	259,3	260,7	262,0	264,4	273,2
14	253,5	254,3	254,7	255,3	256,9	258,7	260,4	262,3	269,4
15	282,4	283,4	283,7	284,4	286,1	288,1	290,1	292,2	299,5
16	233,7	234,2	234,4	234,7	235,5	236,6	237,6	239,2	244,1
17	238,8	239,2	239,5	239,8	240,6	241,5	242,3	243,7	248,1
18	249,6	250,0	250,3	250,5	251,2	252,1	253,0	254,3	259,2
19	224,5	225,1	225,4	225,7	226,5	227,7	228,8	230,3	235,0
20	282,6	283,6	283,9	284,6	286,3	288,1	289,8	291,9	299,1
21	279,1	280,0	280,3	280,9	283,2	285,0	286,7	288,8	295,4
22	274,4	275,4	275,8	276,5	278,6	280,4	282,1	284,6	291,3
23	257,3	258,1	258,5	258,8	259,8	260,9	262,0	263,8	268,8
24	252,4	253,4	253,7	254,1	255,2	256,6	257,9	259,6	264,3
25	255,3	255,9	256,2	256,7	258,1	260,0	261,8	264,5	269,6
26	242,6	243,3	243,5	244,0	244,9	246,1	247,3	249,4	254,5

<b>Y Serisi Kılcallık Deney Ölçümleri</b>									
#	<b>Kuru Ağırlık</b>	<b>2 dk</b>	<b>4 dk</b>	<b>8 dk</b>	<b>30dk</b>	<b>60dk (1 sa)</b>	<b>120 dk (2 sa)</b>	<b>240 dk (4 sa)</b>	<b>1440 dk (24 sa)</b>
1	276,8	277,3	277,5	277,7	278,4	279,5	280,7	281,8	288,2
2	276,3	276,8	276,9	277,0	277,1	277,3	277,7	278,1	286,0
3	274,2	275,1	275,2	275,4	275,8	276,4	277,3	278,2	287,1
4	255,0	255,5	255,5	255,6	255,7	255,8	256,0	256,2	257,9
5	274,7	275,2	275,2	275,3	275,4	275,6	275,7	275,8	278,7
6	279,7	281,2	281,1	281,2	281,6	281,9	282,3	282,5	287,1
7	281,4	281,9	282,1	282,2	282,5	283,2	283,9	284,5	287,7
8	272,5	273,1	273,5	273,7	274,3	275,2	276,3	277,1	282,4
9	237,9	238,5	238,7	238,9	239,2	239,4	239,8	240,2	245,5
10	256,7	257,2	257,3	257,5	257,8	258,0	258,2	258,3	260,4
11	253,4	253,8	253,9	254,0	254,4	254,7	255,0	255,3	260,4
12	265,3	265,8	265,9	266,1	266,5	266,7	267,2	267,6	275,3
13	281,0	281,3	281,4	281,6	281,8	282,1	282,4	282,7	285,9
14	197,5	197,9	198,0	198,2	198,7	199,4	200,2	200,9	205,1
15	260,6	261,0	261,1	261,3	261,7	262,2	262,7	263,2	267,3
16	223,6	224,2	224,3	224,6	224,9	225,3	225,7	225,9	229,8
17	241,7	242,4	242,6	242,8	243,1	243,4	243,8	244,2	247,1
18	266,7	267,4	267,6	267,8	268,1	268,4	268,8	269,2	273,1
19	261,9	262,3	262,5	262,7	263,1	263,3	263,6	263,9	266,7
20	271,8	272,3	272,7	272,9	273,6	274,9	275,9	276,4	284,5
21	284,0	284,7	284,8	285,1	285,6	286,2	286,8	287,1	290,6
22	258,6	259,0	259,1	259,3	259,7	260,1	260,7	261,2	264,5
23	263,1	263,8	264,0	264,2	264,6	264,9	265,3	265,7	269,1
24	254,5	255,1	255,3	255,4	255,7	255,8	256,1	256,6	259,0
25	256,1	256,7	256,8	257,0	257,4	257,6	258,0	258,4	260,5
26	251,4	252,0	252,1	252,3	252,5	252,8	253,0	253,2	254,9

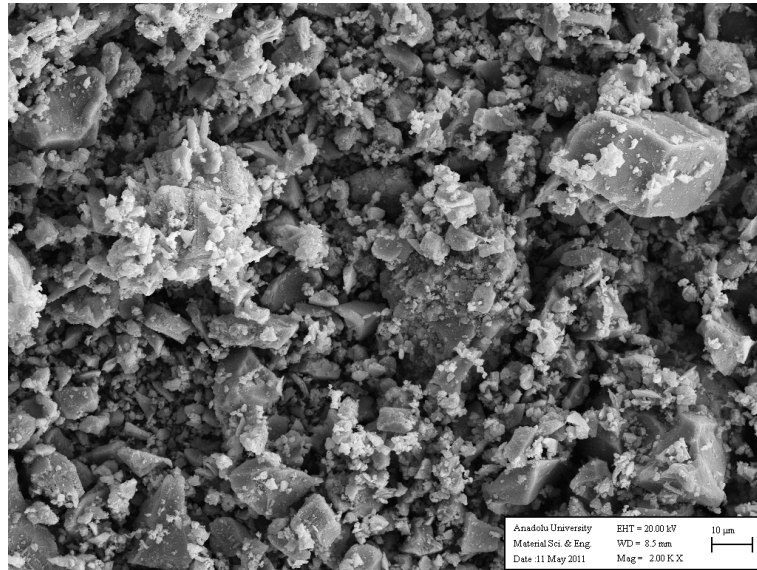
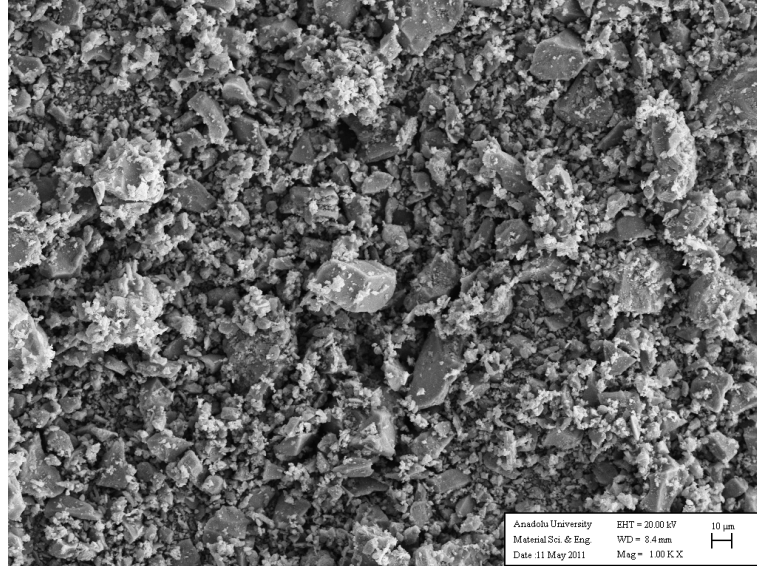
<b>Z Serisi Kılcallık Deney Ölçümleri</b>									
#	<b>Kuru Ağırlık</b>	<b>2 dk</b>	<b>4 dk</b>	<b>8 dk</b>	<b>30dk</b>	<b>60dk (1 sa)</b>	<b>120 dk (2 sa)</b>	<b>240 dk (4 sa)</b>	<b>1440 dk (24 sa)</b>
1	272,4	273,2	273,4	273,7	274,6	275,7	276,8	277,9	281,1
2	267,3	267,7	268,0	268,3	268,9	269,9	270,9	272,5	277,5
3	259,3	260,0	260,3	260,8	261,6	262,5	263,5	265,0	270,0
4	242,4	243,0	243,2	243,6	244,2	245,1	246,2	247,7	253,0
5	254,5	254,9	255,1	255,5	256,2	257,0	258,3	259,9	265,9
6	307,2	307,8	308,2	308,7	309,7	310,9	312,2	313,6	319,7
7	284,5	285,1	285,4	285,9	286,9	289,1	290,4	291,9	297,8
8	266,2	268,1	269,3	270,7	273,5	276,8	278,2	279,2	282,5
9	266,6	267,6	267,9	268,2	268,8	269,7	270,7	272,1	276,2
10	252,2	252,9	253,2	253,6	254,3	255,2	256,2	257,6	262,5
11	265,8	266,4	266,7	266,9	267,7	268,8	270,1	271,8	277,6
12	269,7	270,2	270,5	270,9	271,7	272,8	274,1	275,8	281,2
13	271,4	272,0	272,3	272,7	273,6	274,9	276,2	277,5	282,9
14	267,8	268,5	269,2	272,3	276,8	280,7	283,0	286,6	287,3
15	251,2	251,8	252,7	253,8	255,7	262,4	262,9	268,7	269,9
16	237,1	237,6	238,0	238,7	239,4	240,6	241,9	243,6	248,8
17	213,4	214,7	214,9	215,4	216,0	216,9	218,1	219,7	223,9
18	243,9	244,6	244,9	245,4	246,4	247,2	248,2	249,7	254,1
19	239,4	239,9	240,2	240,6	241,9	243,1	244,1	245,9	251,5
20	255,4	256,4	256,7	257,6	258,7	260,3	261,8	263,7	270,3
21	274,8	275,4	275,8	276,3	277,7	279,2	280,7	282,3	294,4
22	271,3	272,6	273,5	275,6	280,1	283,7	286,7	288,9	291,7
23	250,6	251,1	251,5	252,5	254,3	256,1	258,2	260,0	264,5
24	238,0	238,6	239,0	239,4	240,1	241,0	242,6	244,0	248,9
25	235,3	236,0	236,3	236,7	237,2	238,1	239,2	240,3	244,5
26	239,6	240,3	240,7	241,1	241,9	243,0	244,6	246,3	250,8

**EK-2**

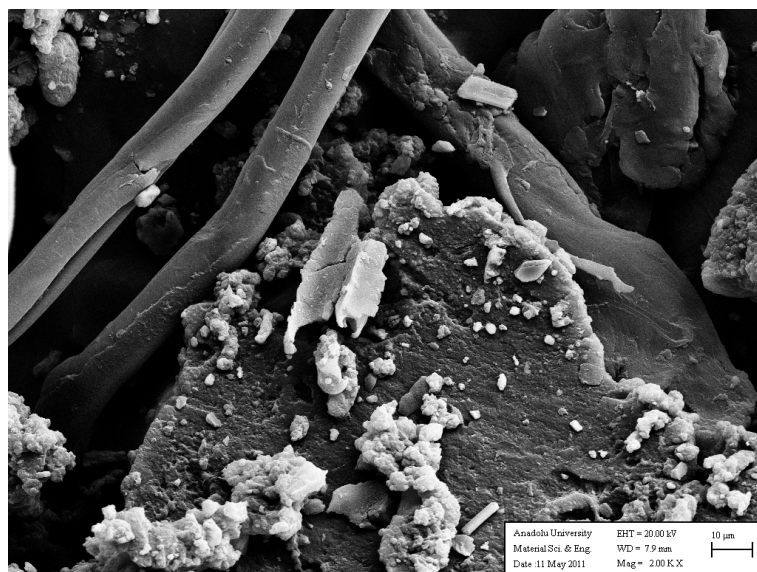
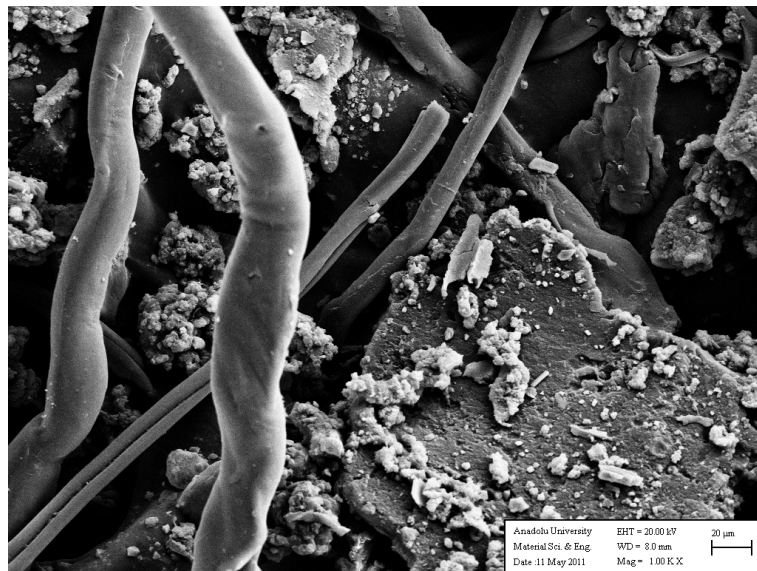
## Ek-2.1. Ham numuneler SEM Görüntüleri



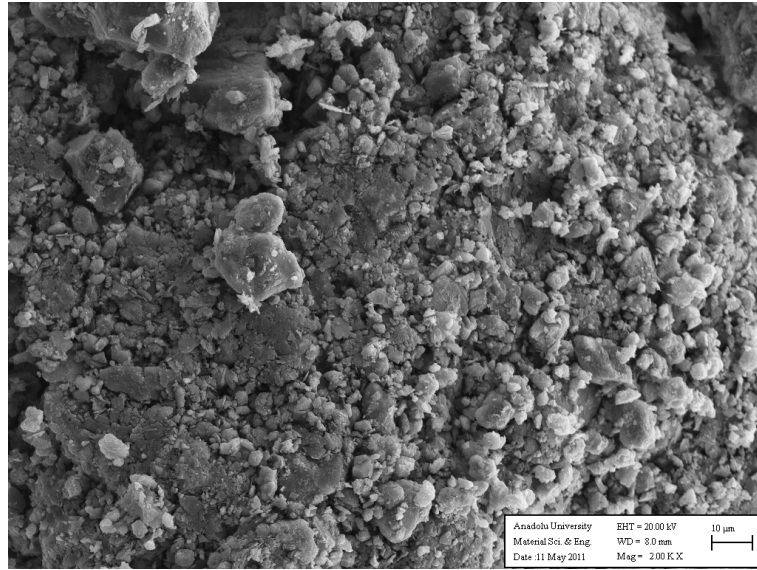
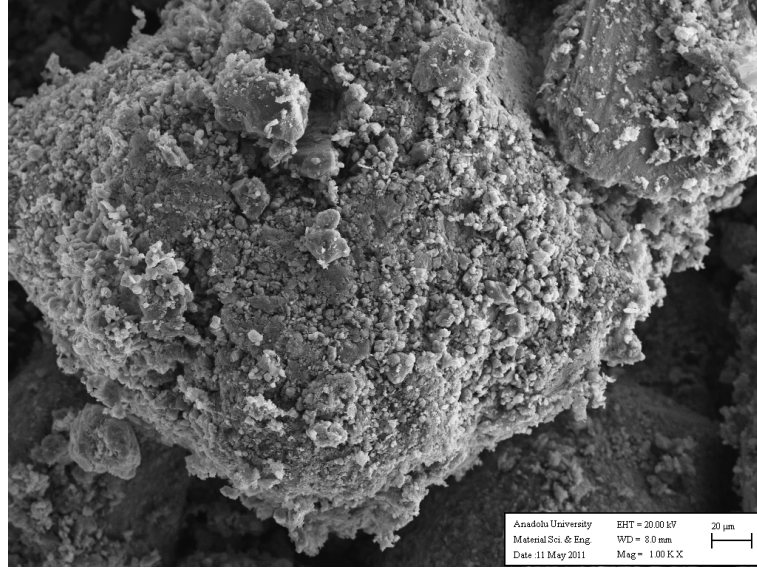
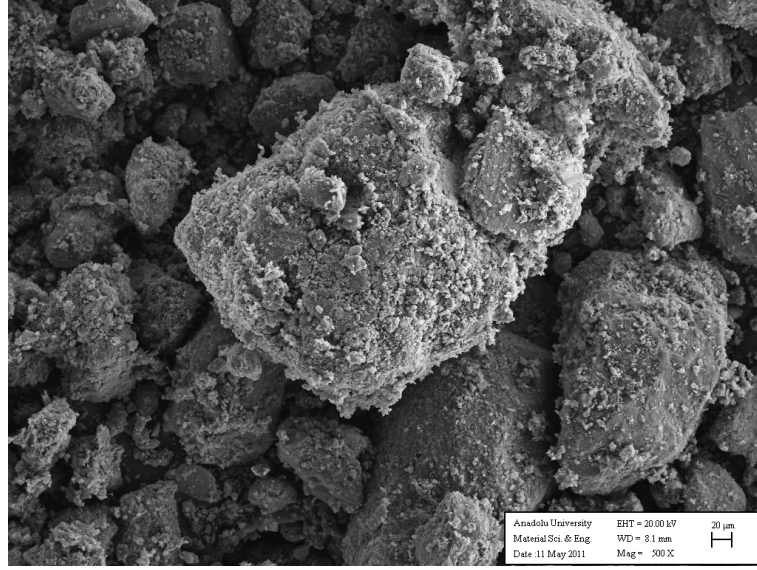
Çimento



Çimento



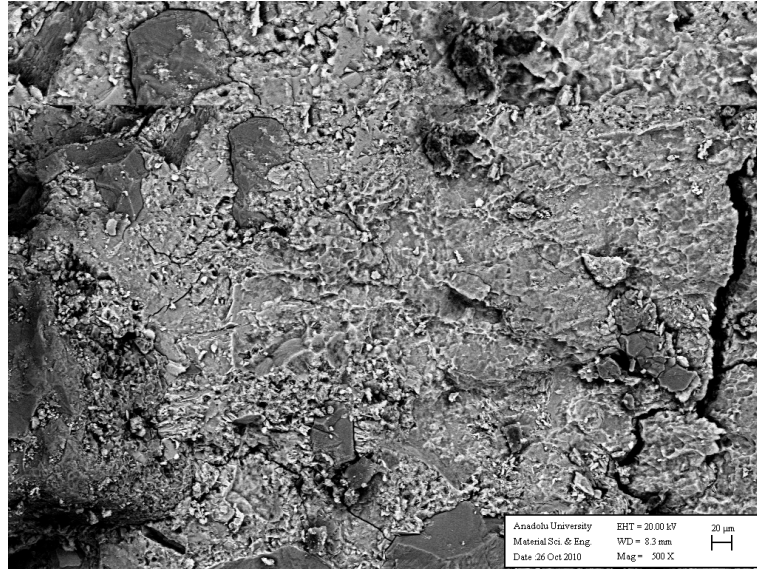
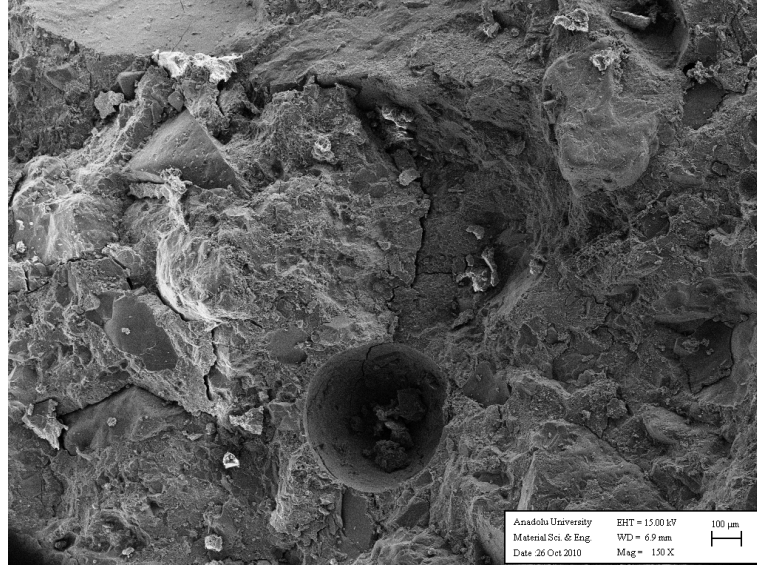
Atık Lastik



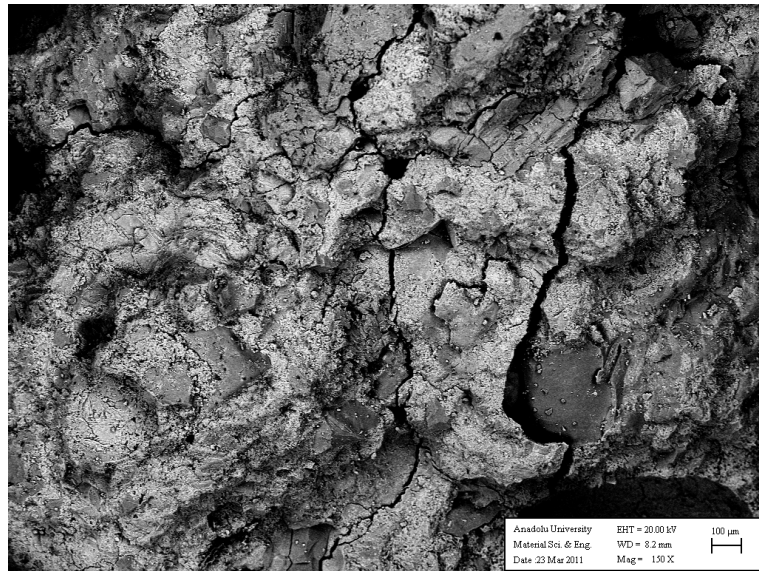
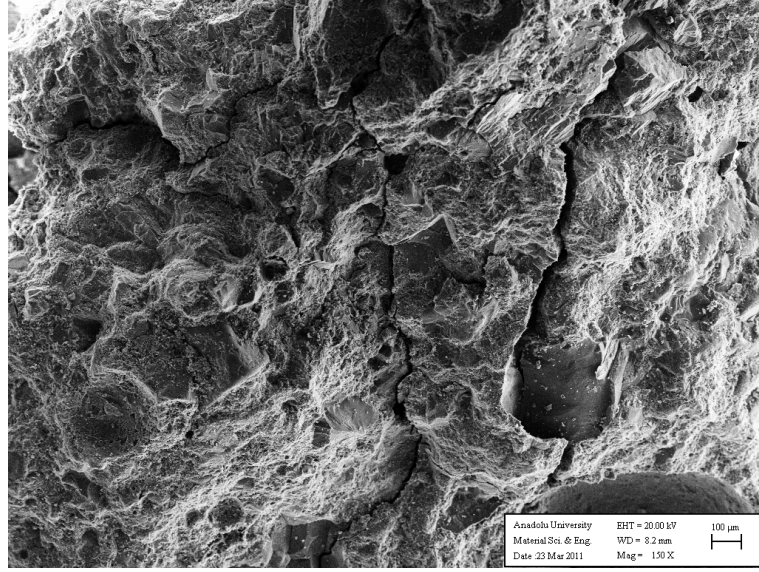
Kazınmış Asfalt



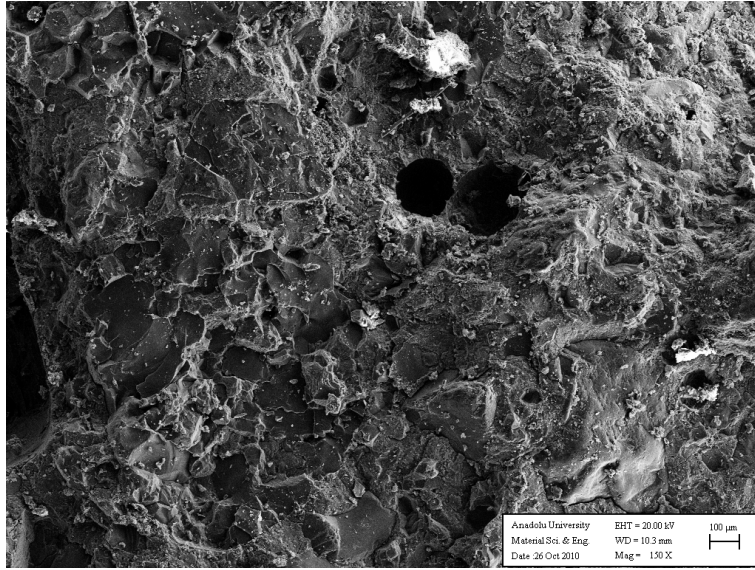
## Ek-2.2. 28 günlük numuneler SEM Görüntüleri



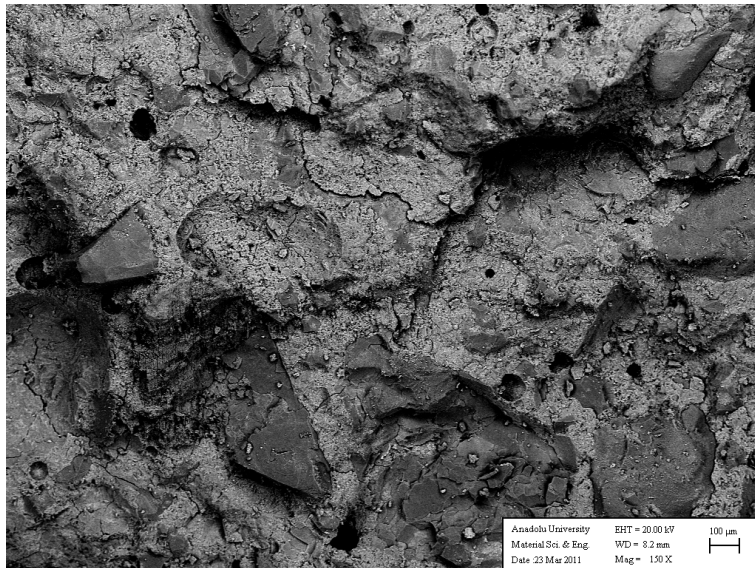
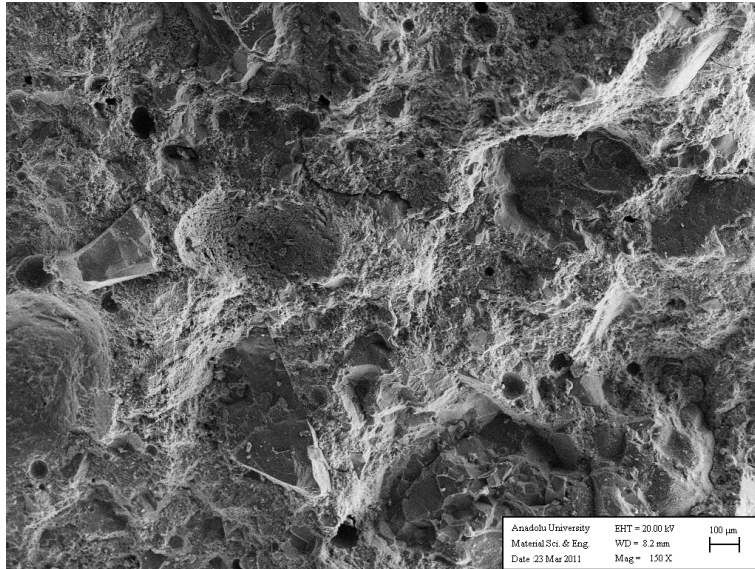
1 nolu numune



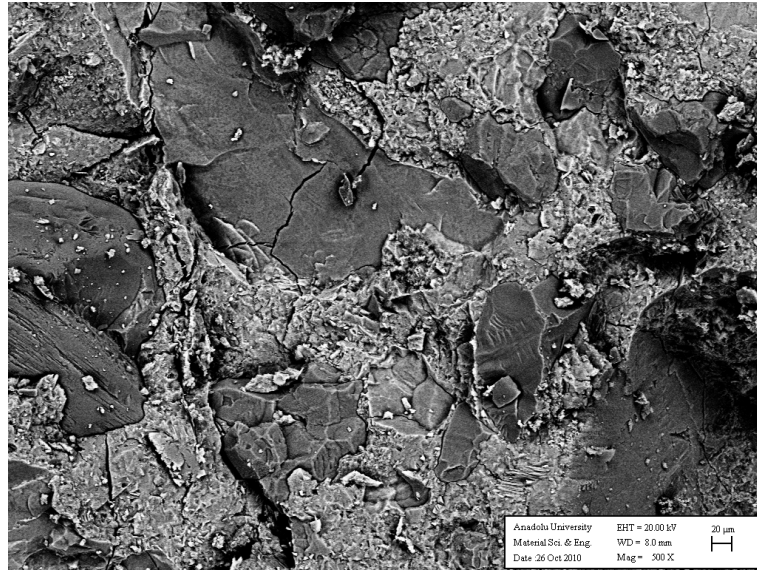
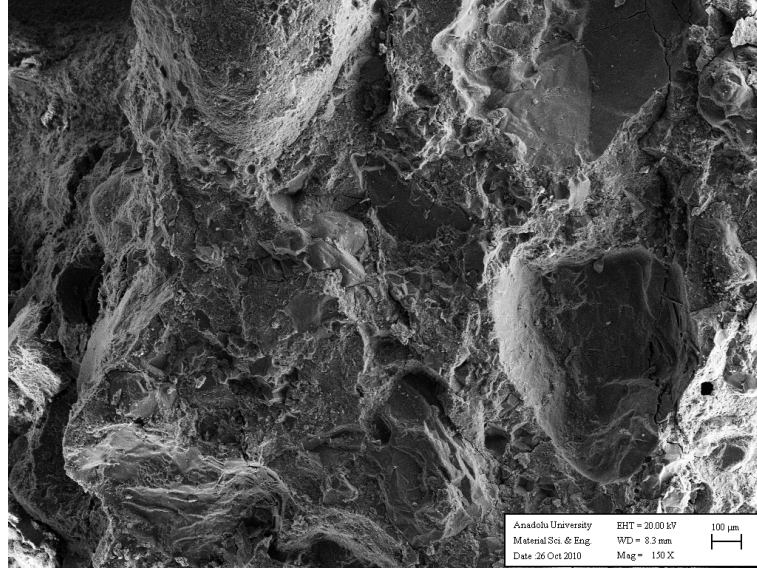
5 nolu numune



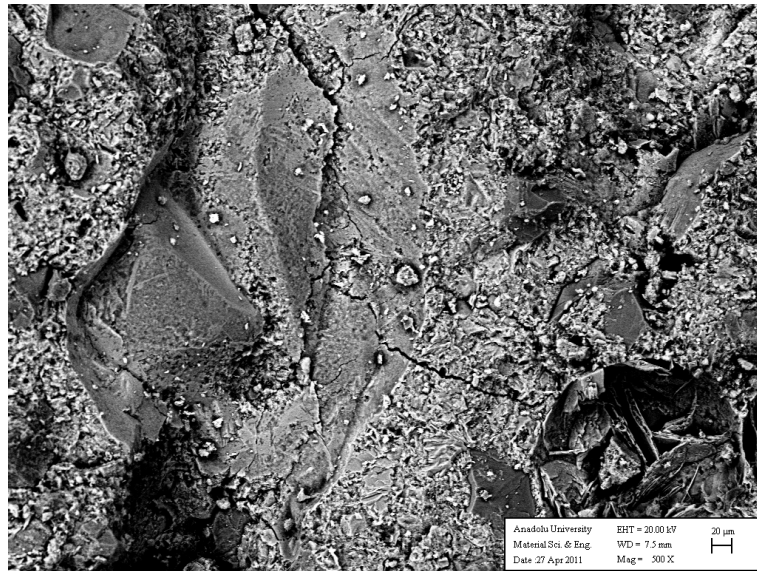
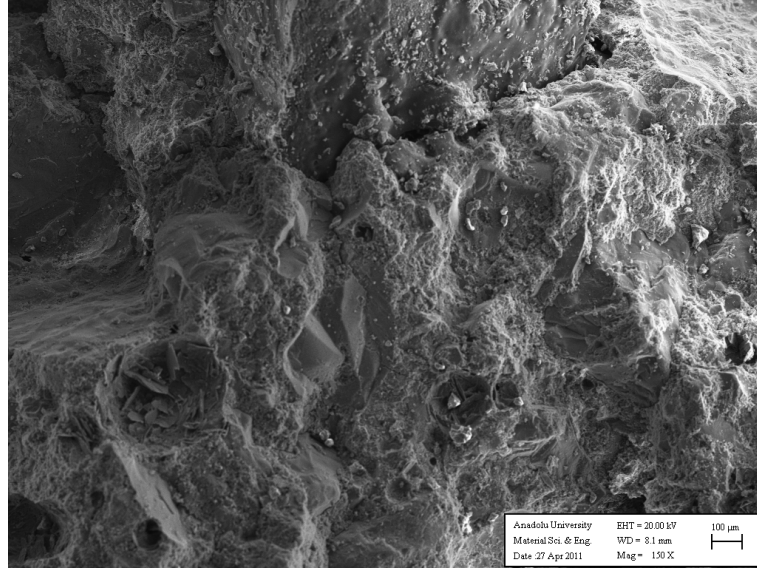
8 nolu numune



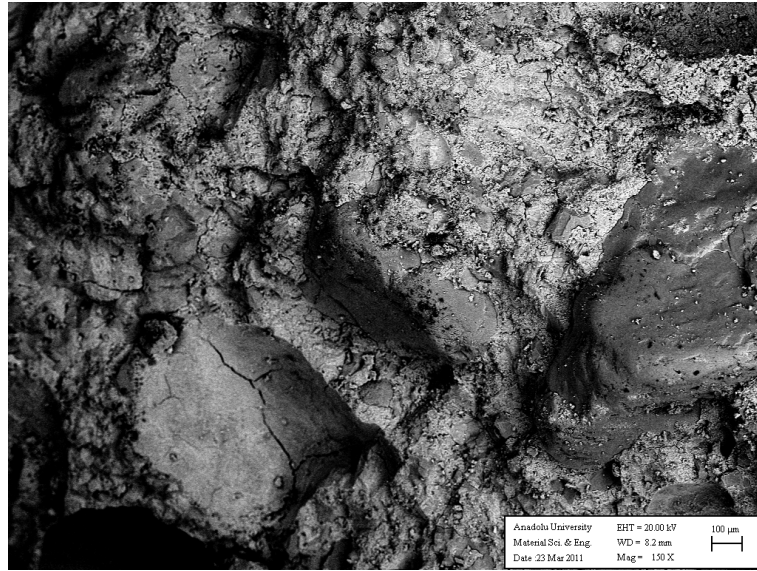
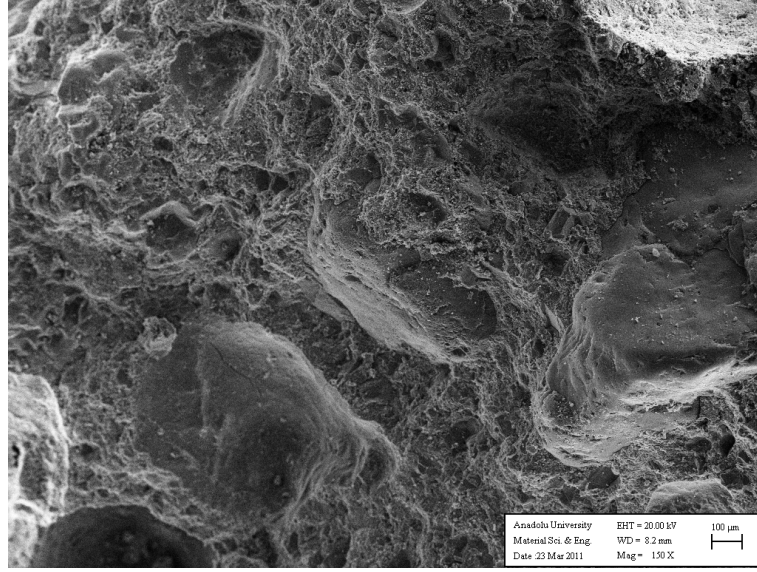
12 nolu numune



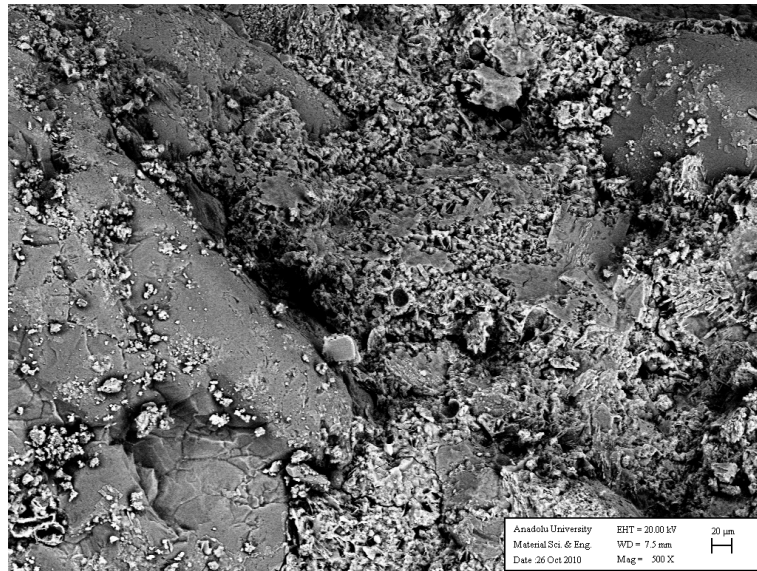
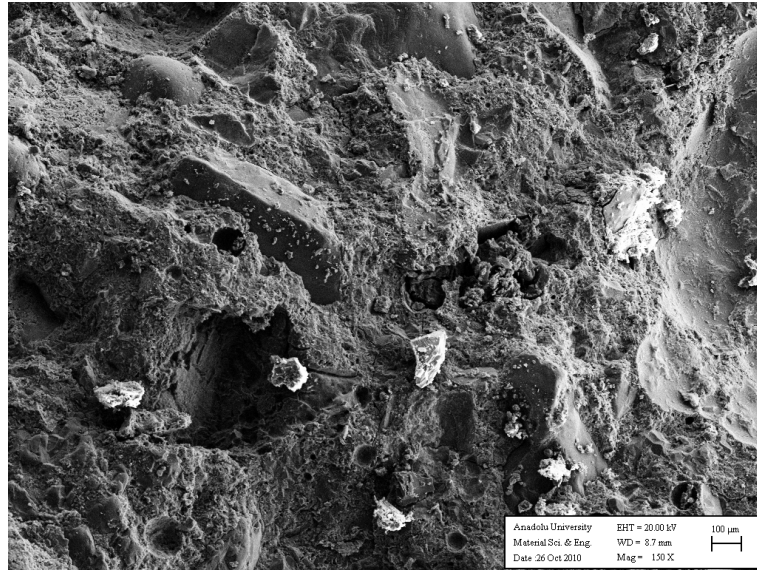
15 nolu numune



19 nolu numune

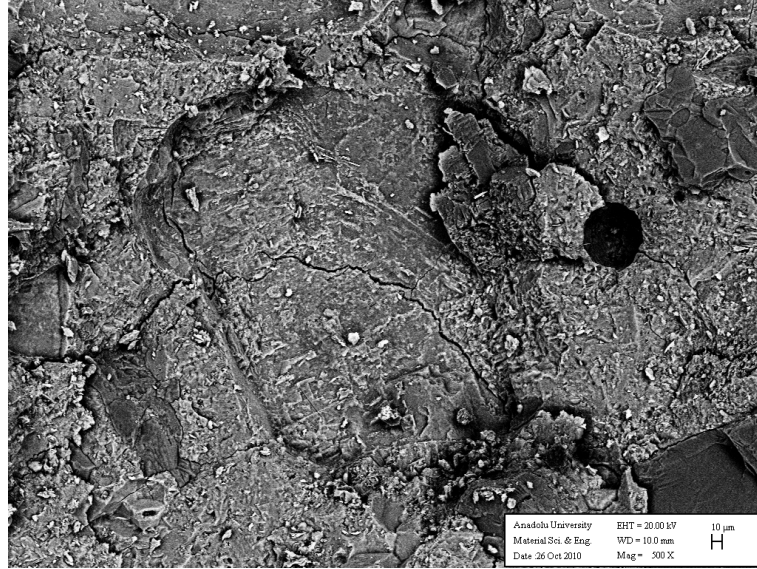
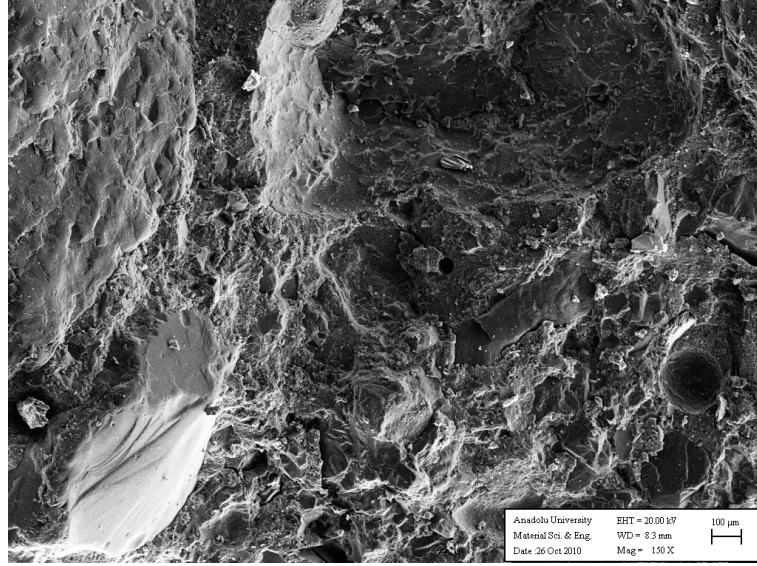


22 nolu numune



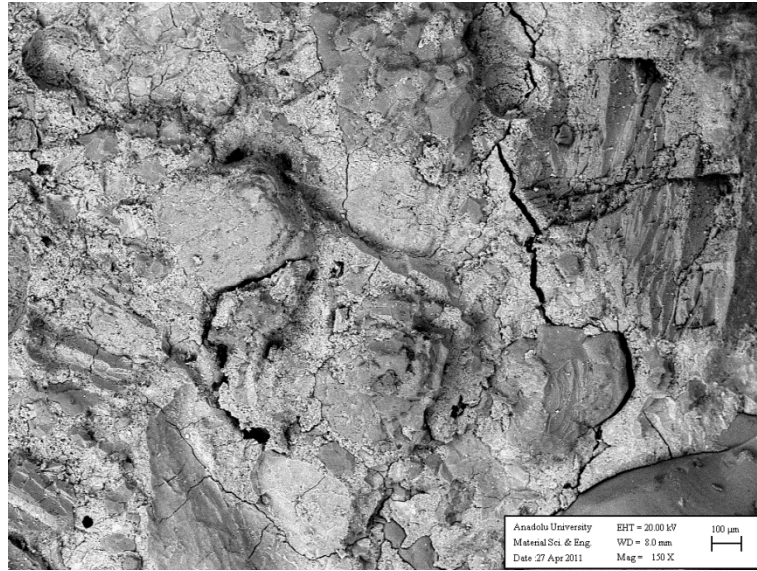
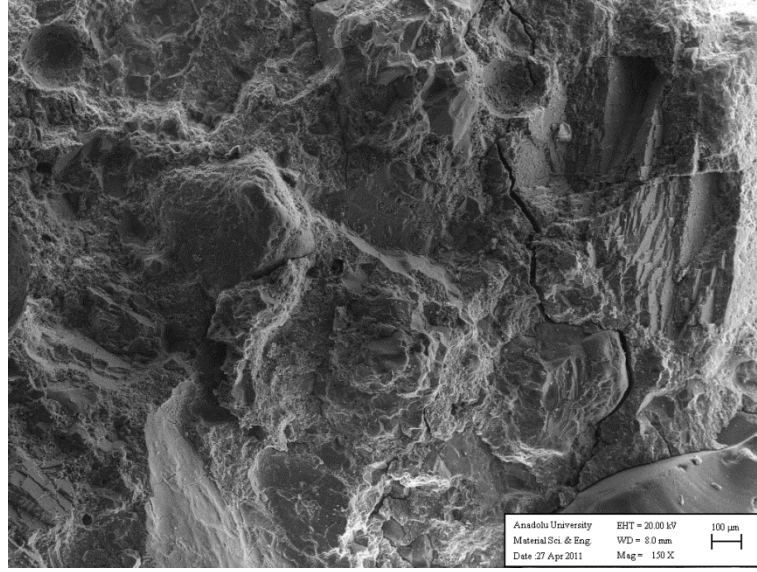
23 nolu numune

## Ek-2.3. 56 günlük numuneler SEM Görüntüleri

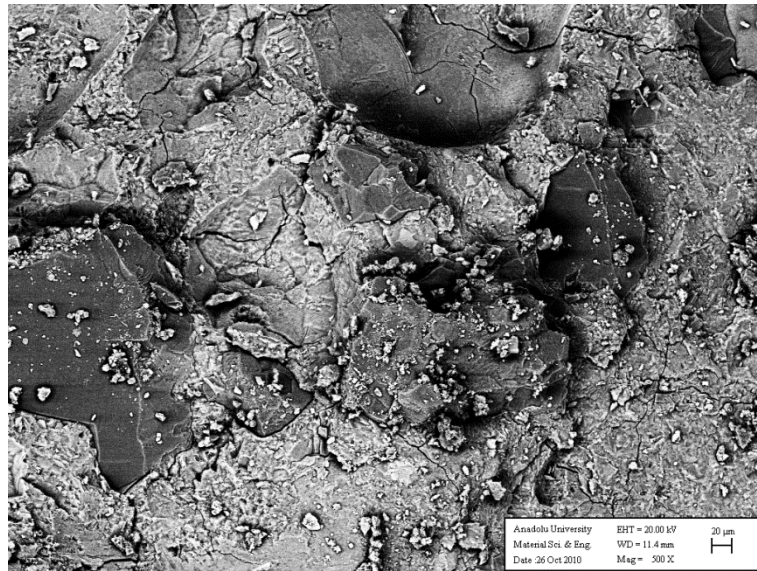
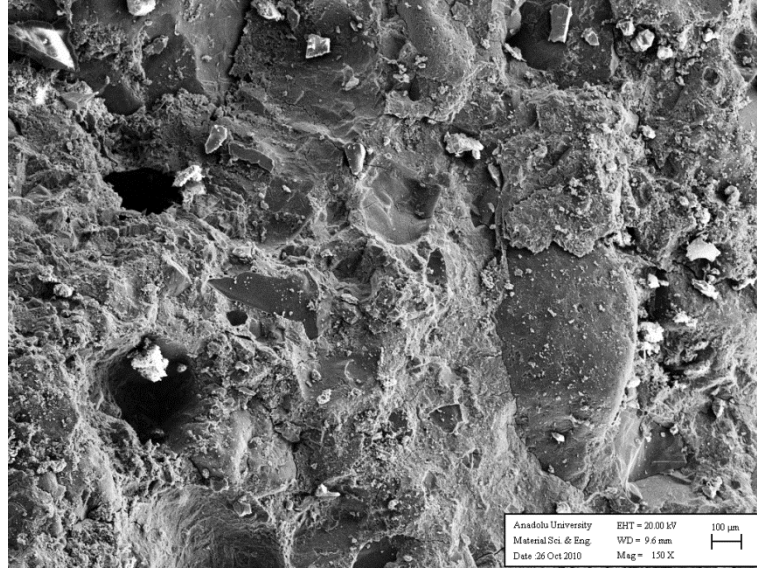


1 nolu numune

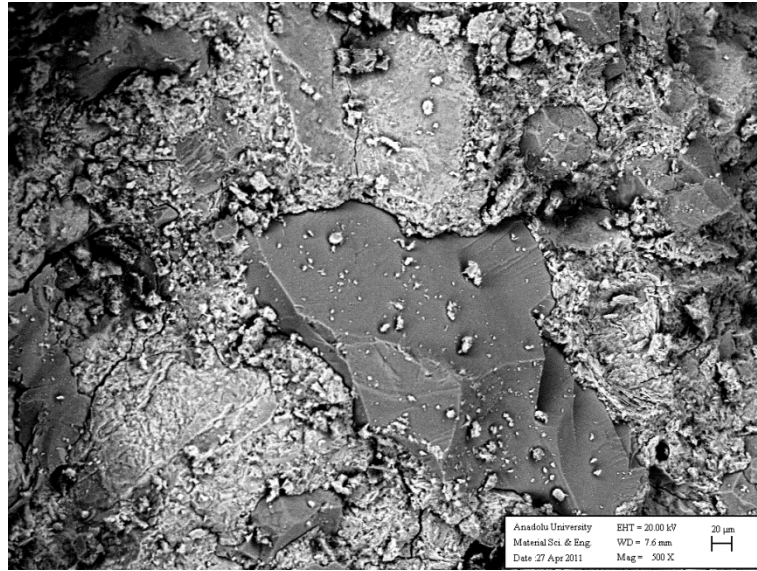
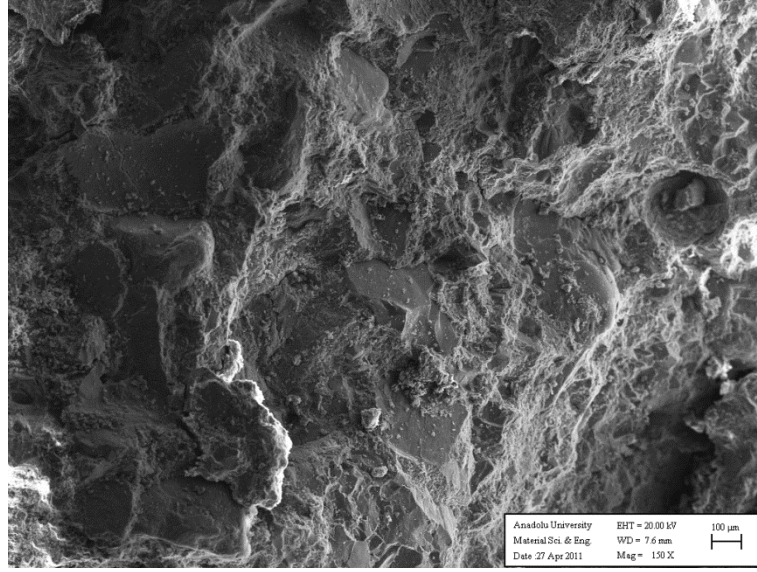




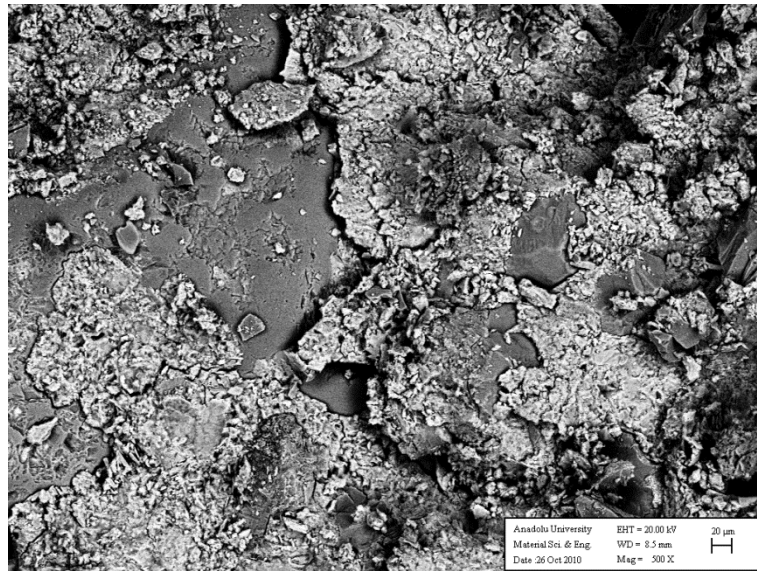
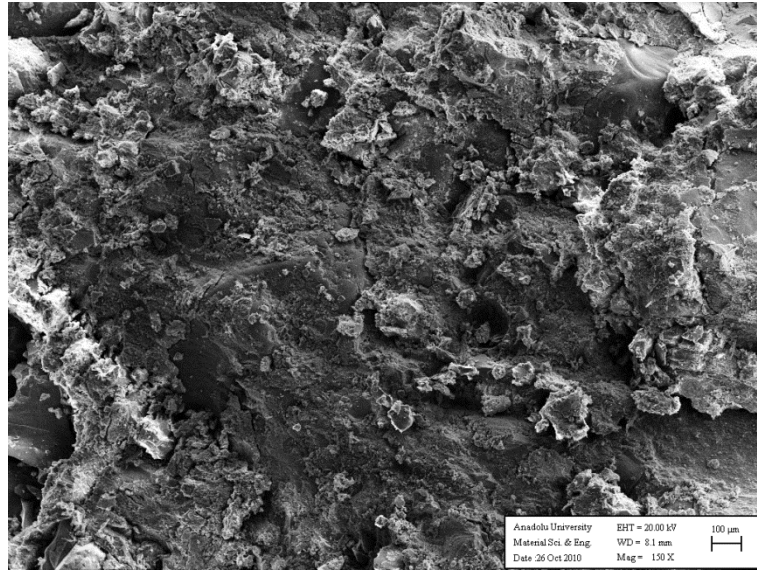
5 nolu numune



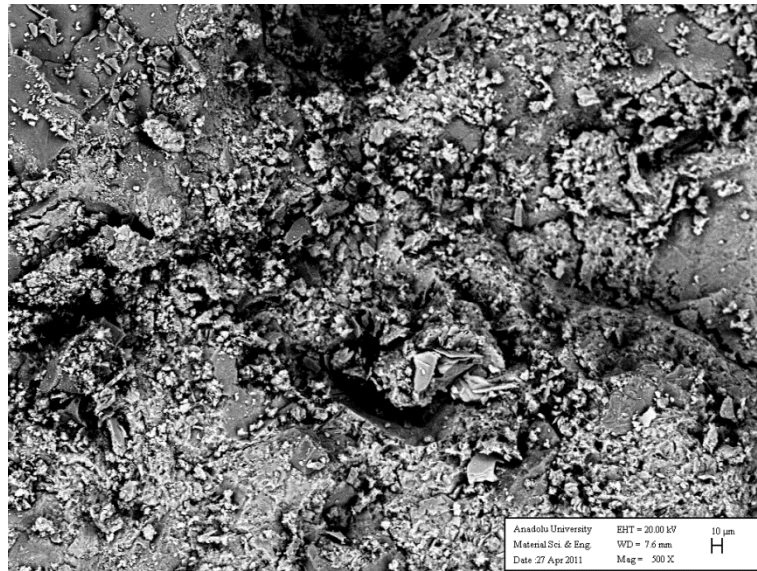
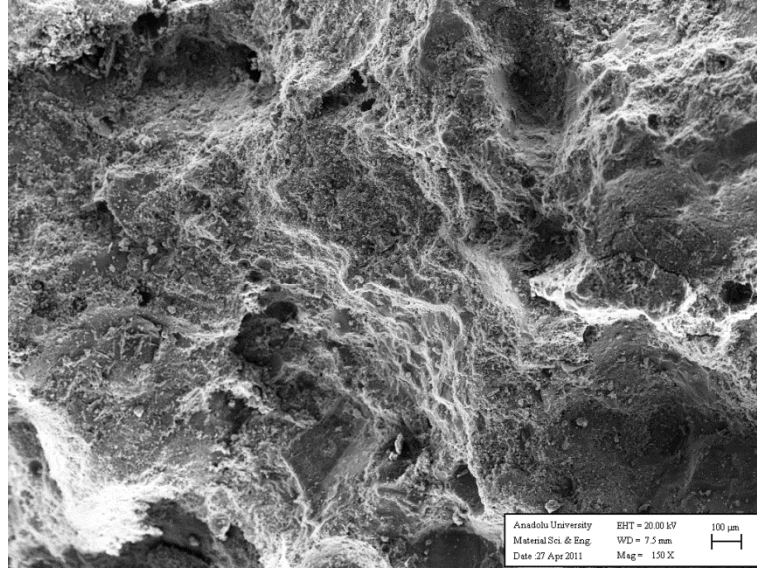
8 nolu numune



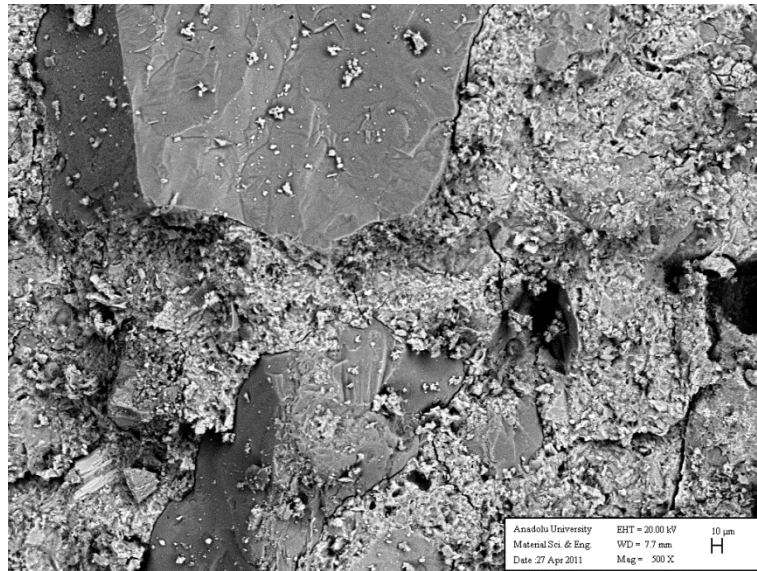
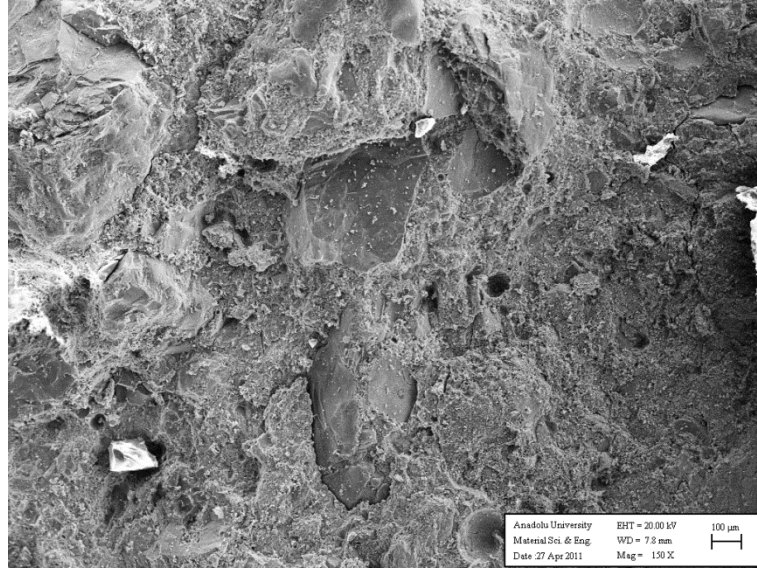
12 nolu numune



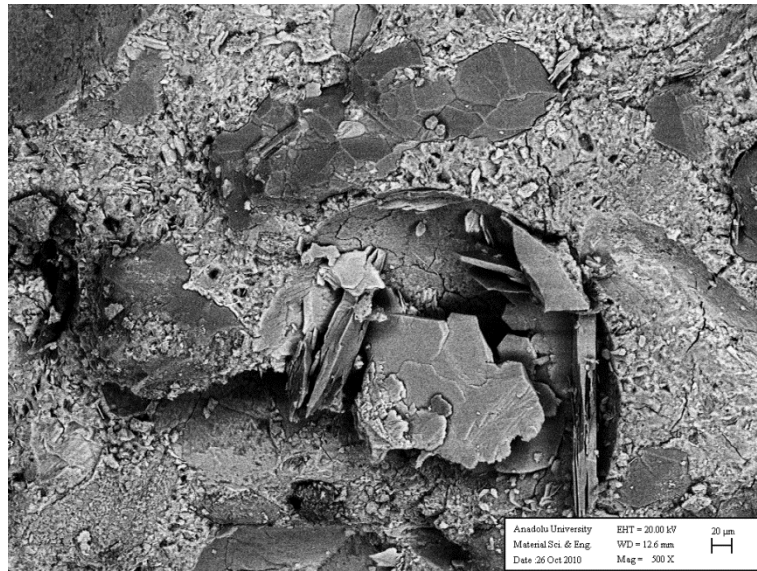
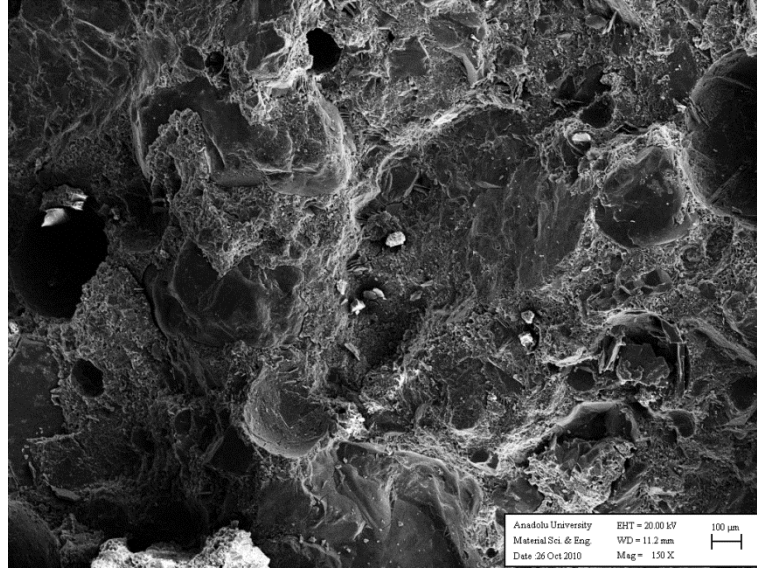
15 nolu numune



19 nolu numune

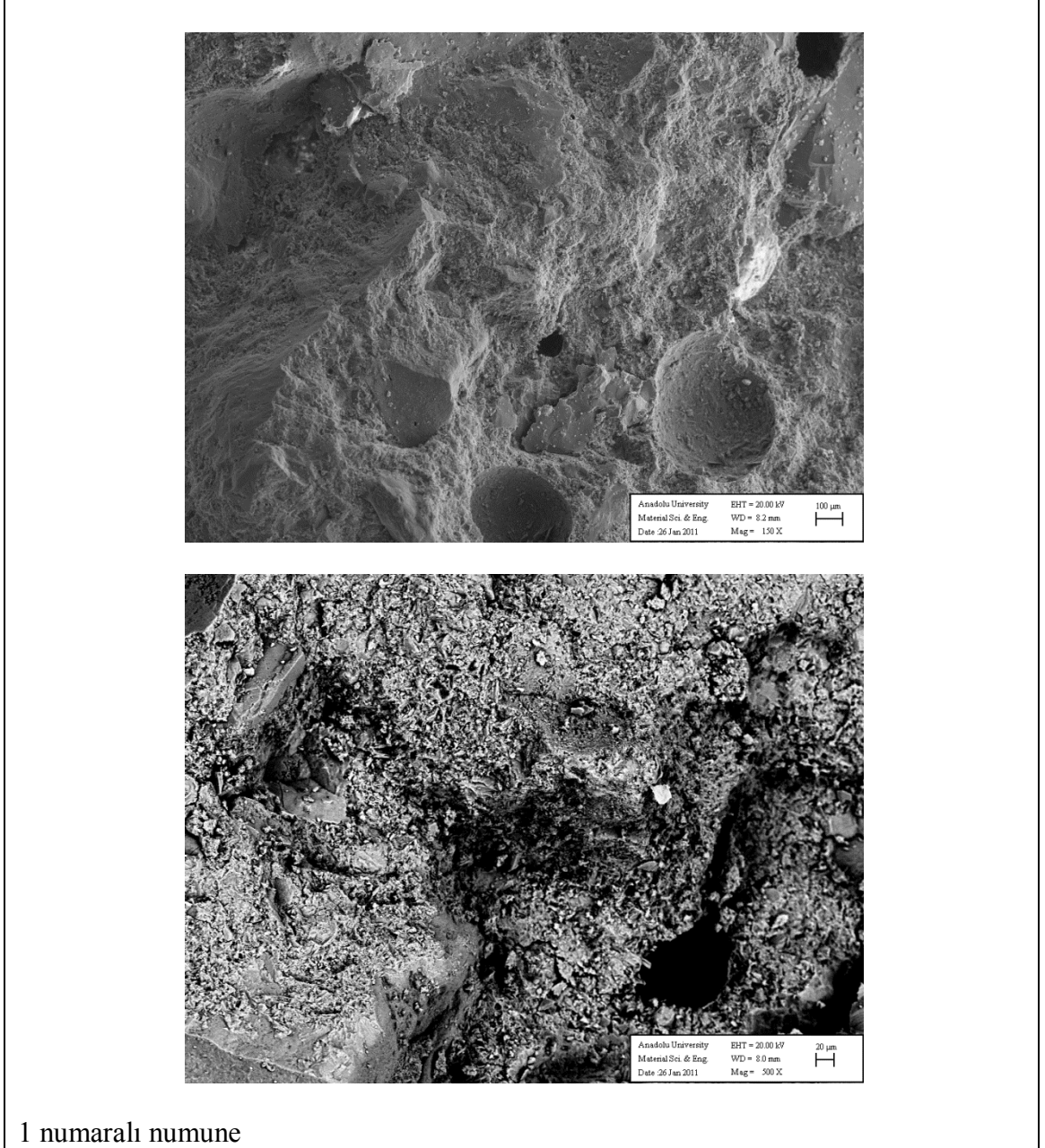


22 nolu numune

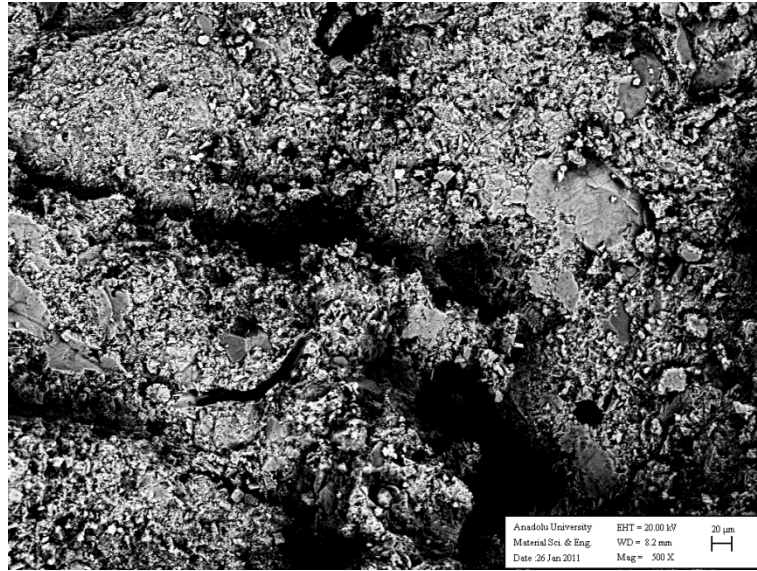
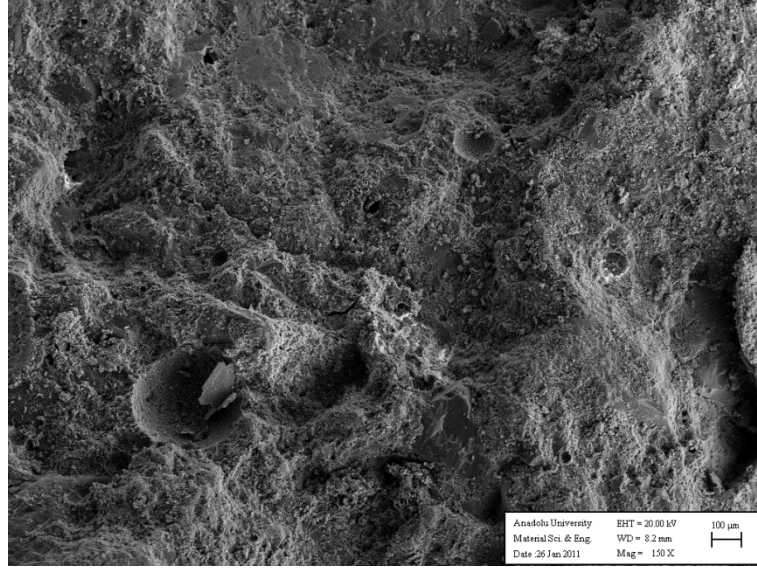


23 nolu numune

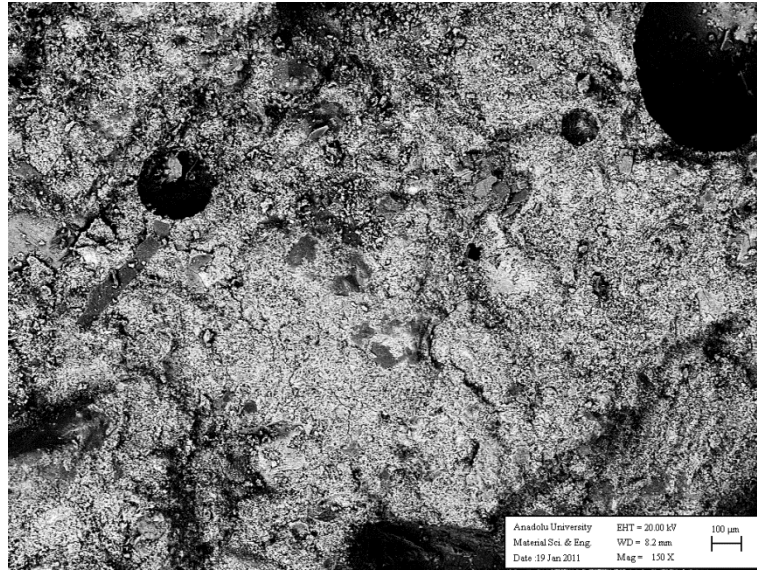
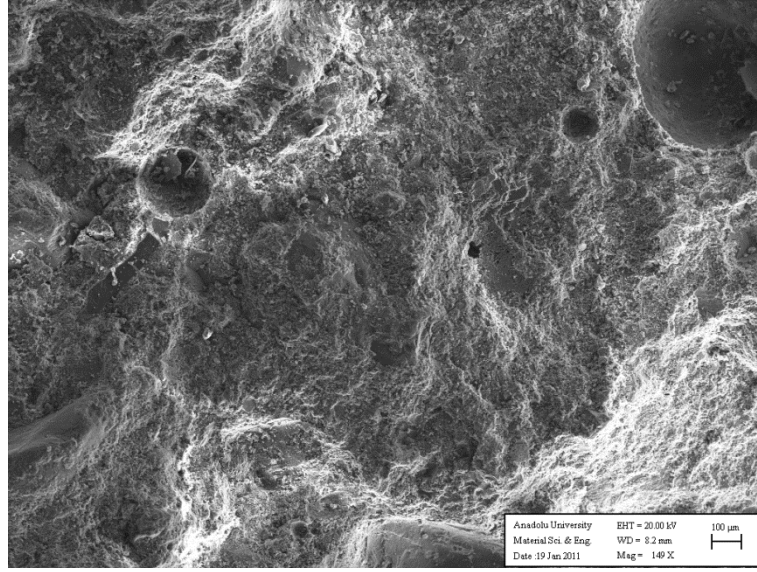
## Ek-2.4. X Serisi numuneler SEM Görüntüleri



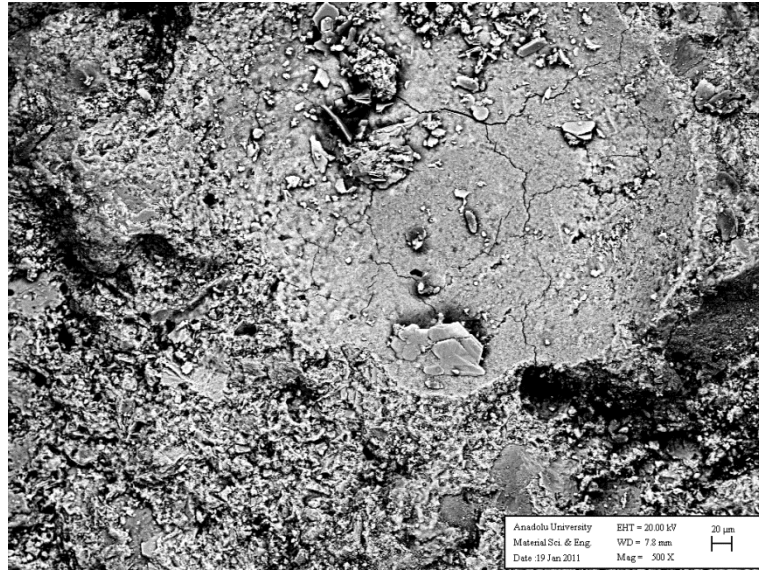
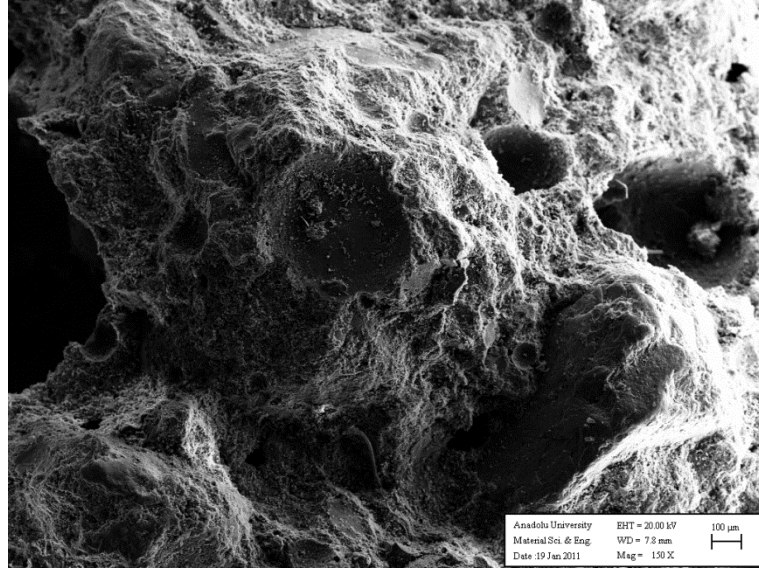




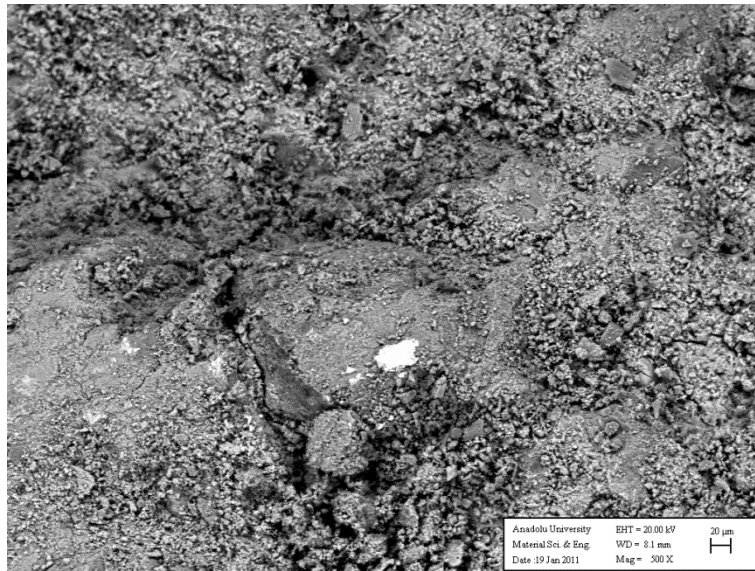
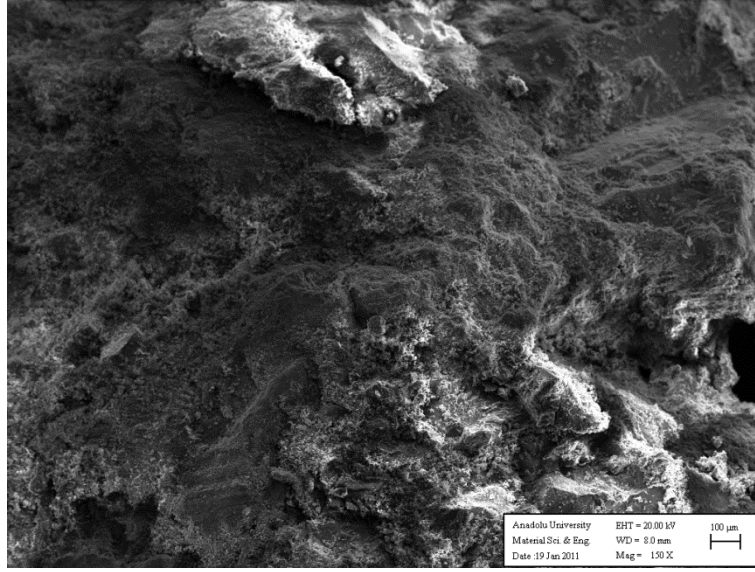
5 numaralı numune



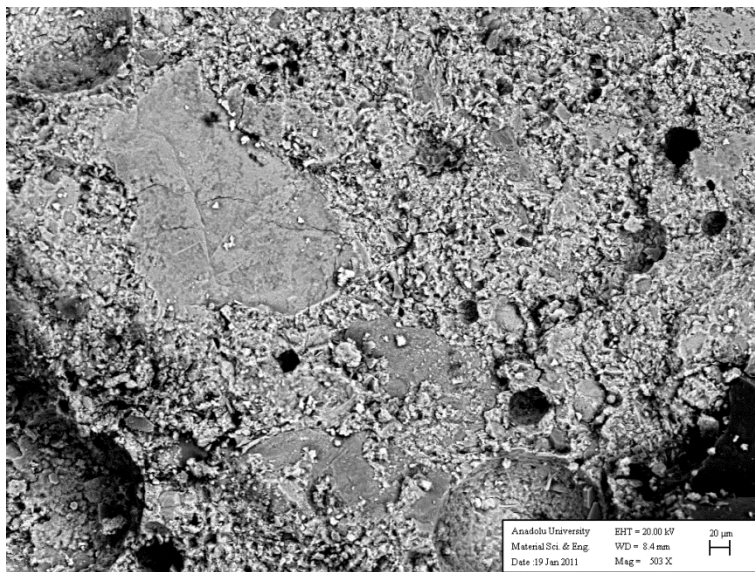
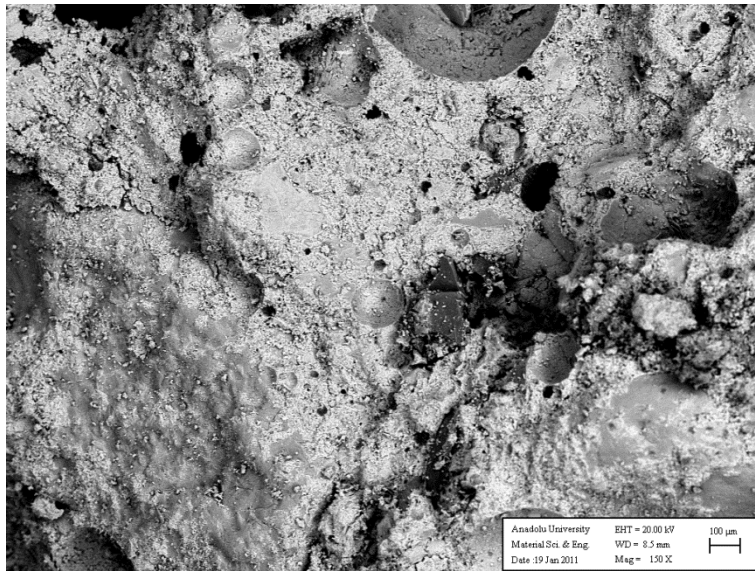
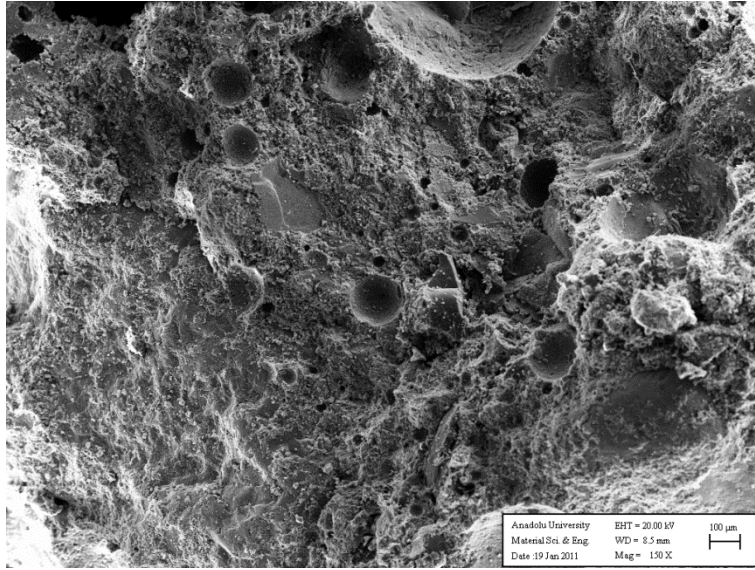
8 numaralı numune



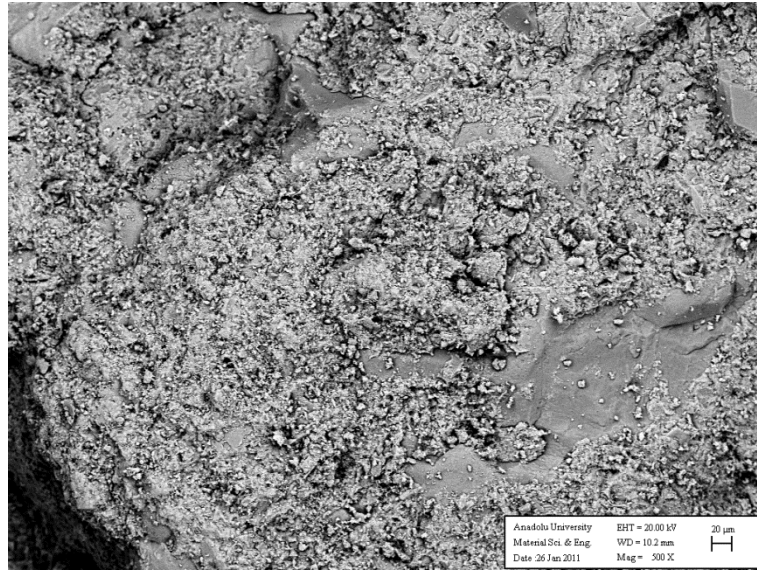
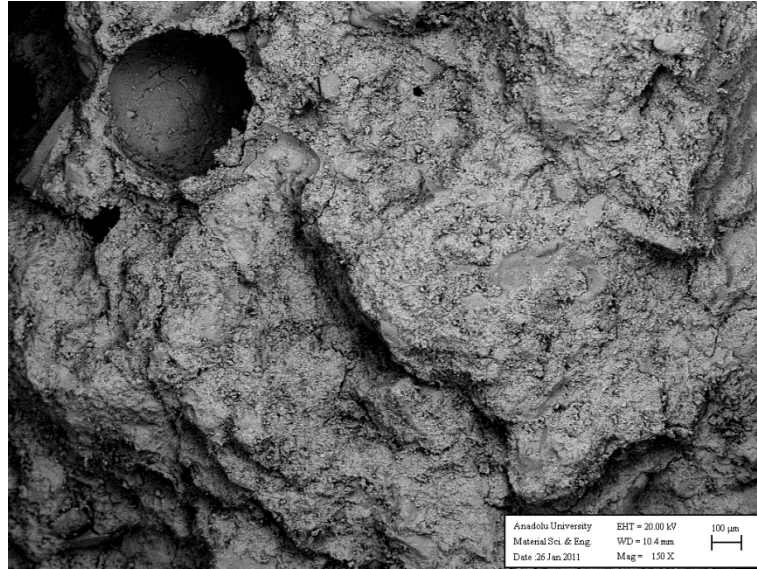
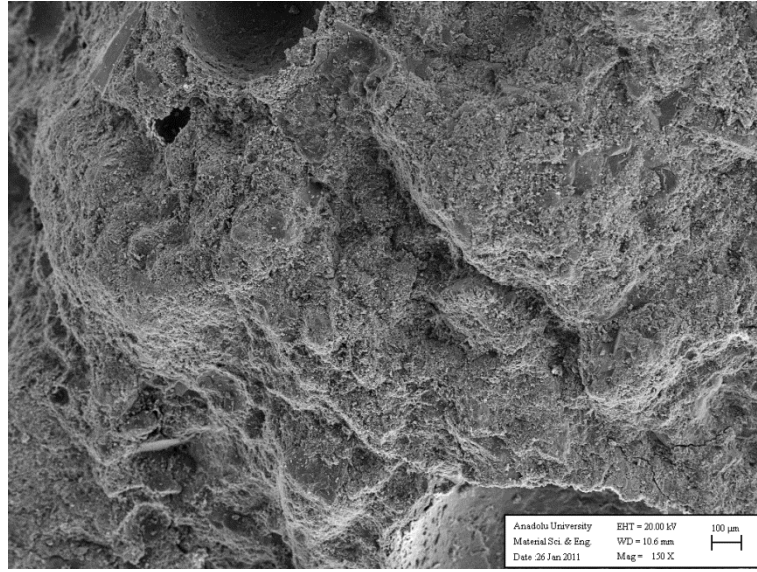
12 numaralı numune



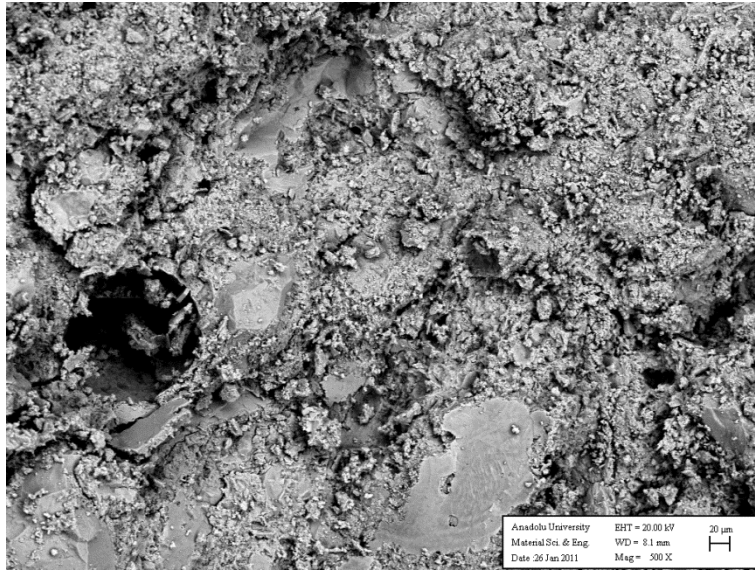
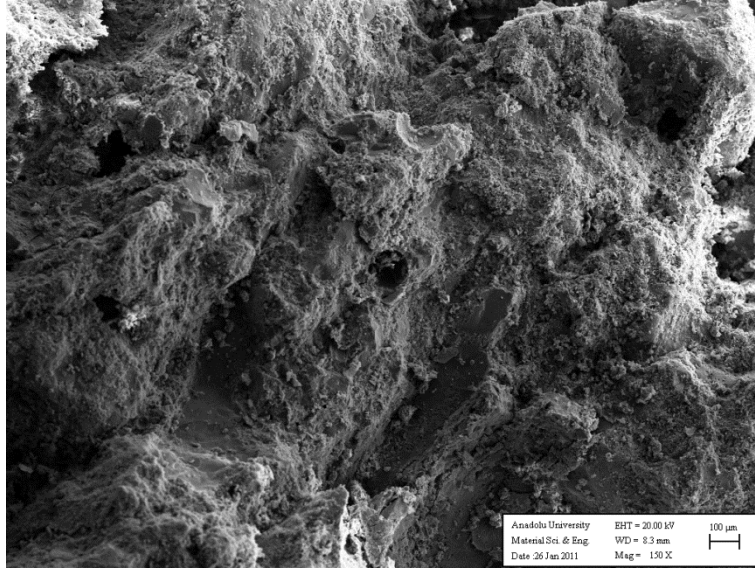
15 numaralı numune



19 numaralı numune

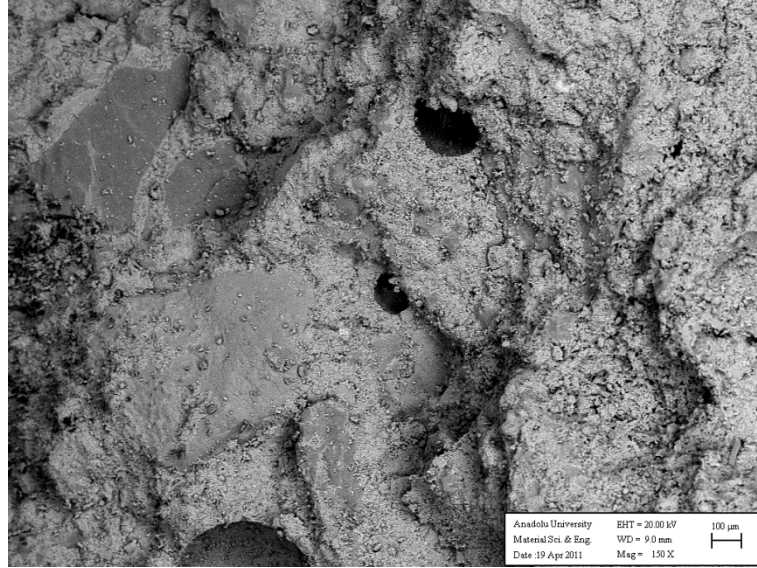
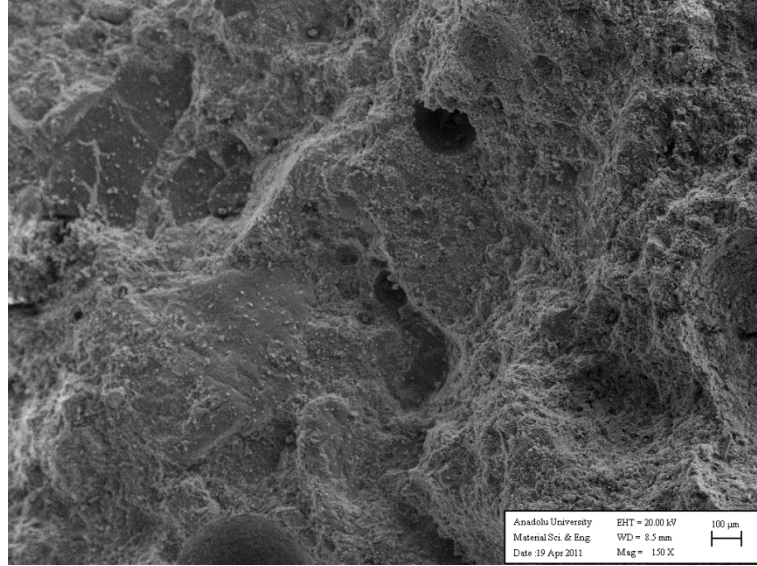


22 numaralı numune



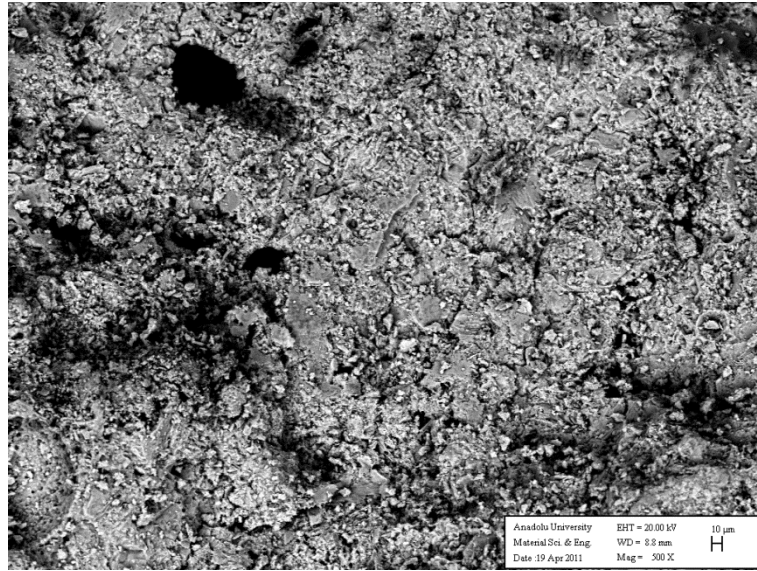
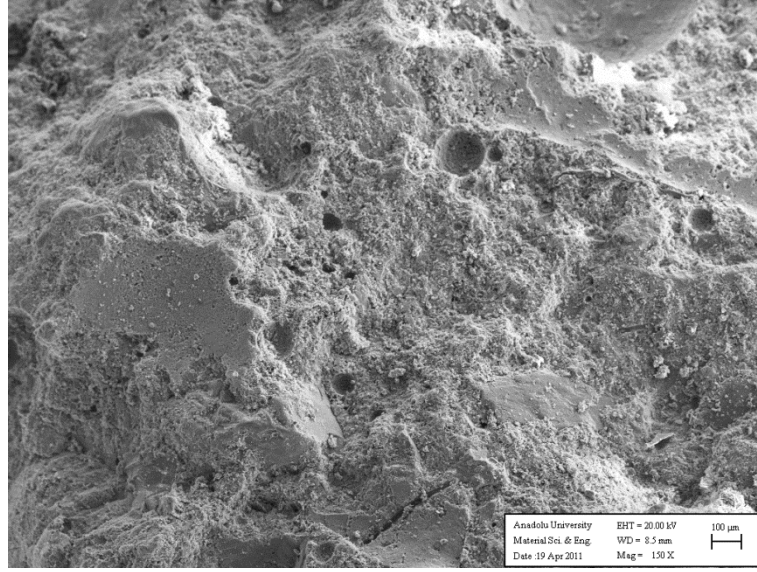
23 numaralı numune

## Ek-2.5. Y Serisi numuneler SEM Görüntüleri

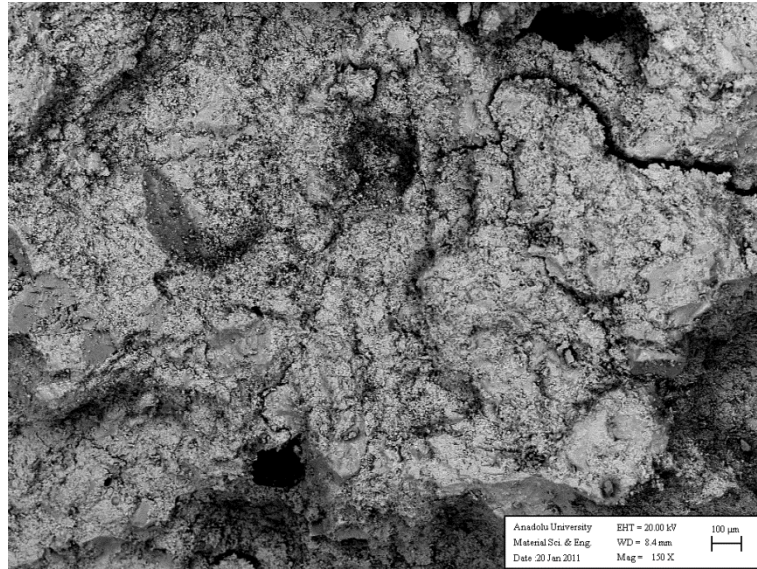
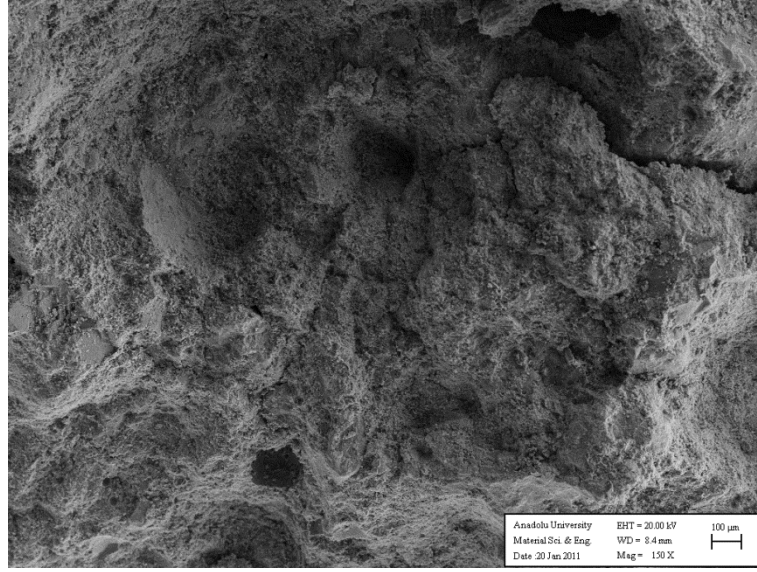


1 numaralı numune

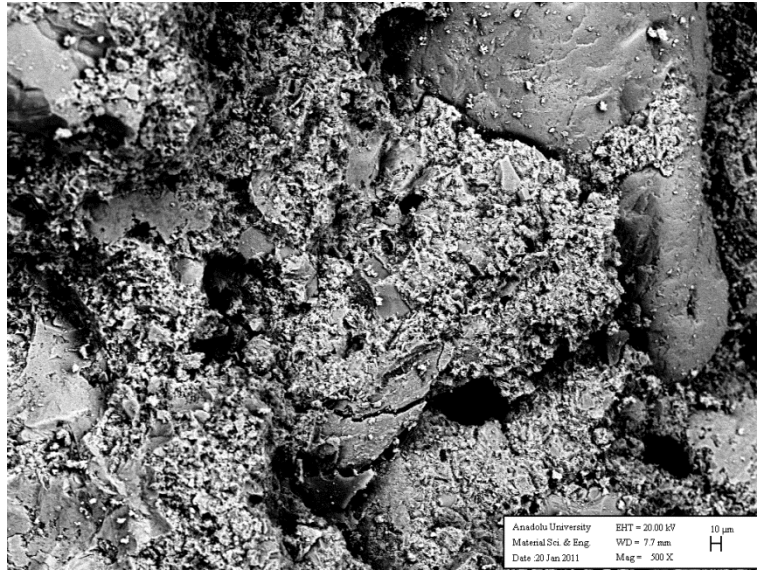
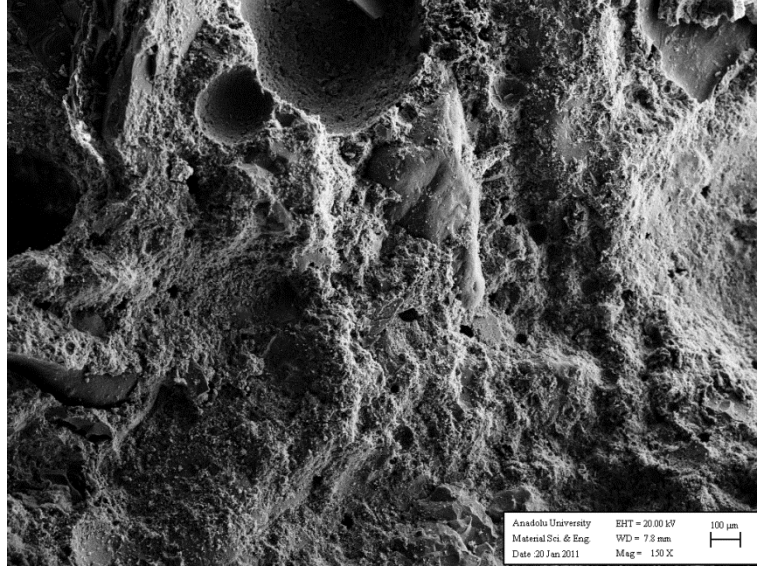




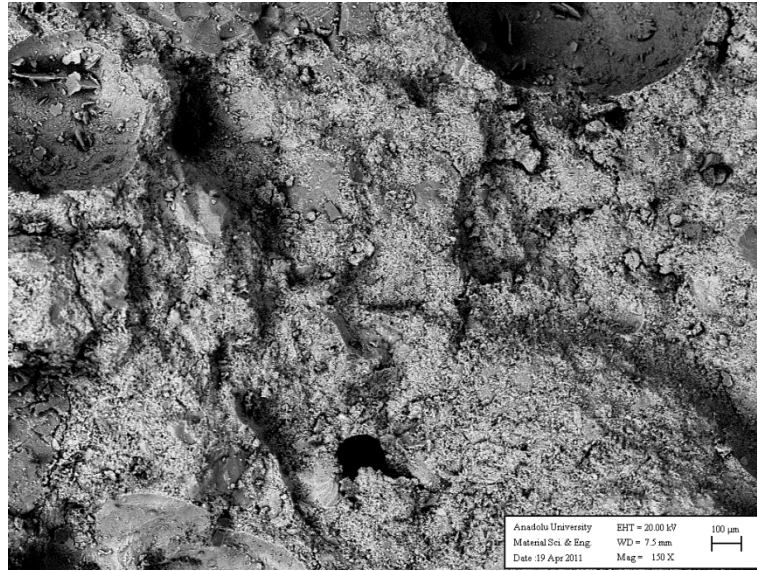
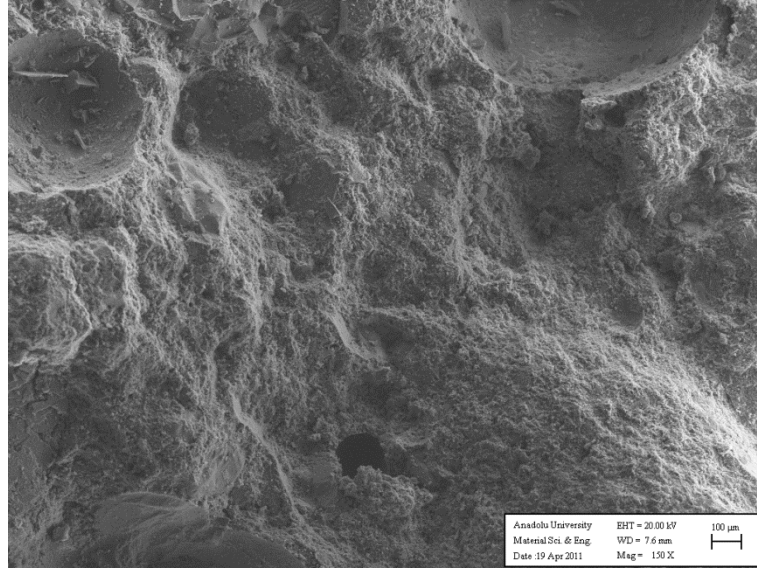
5 numaralı numune



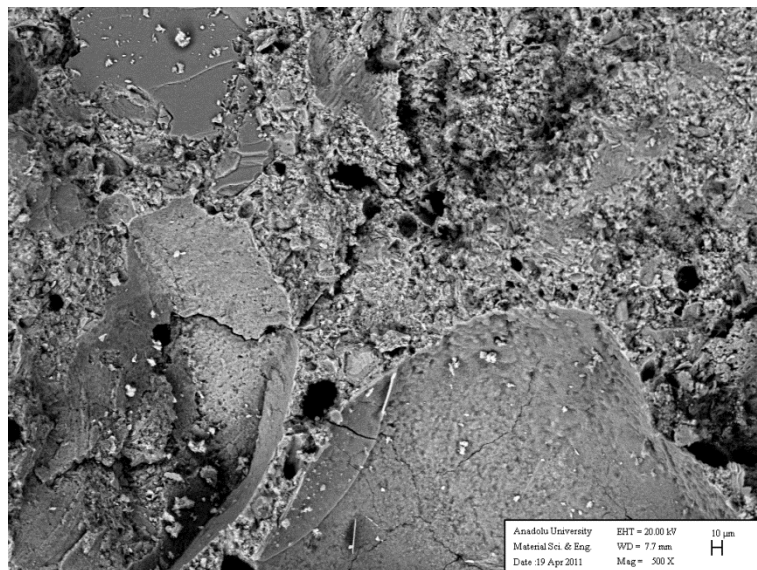
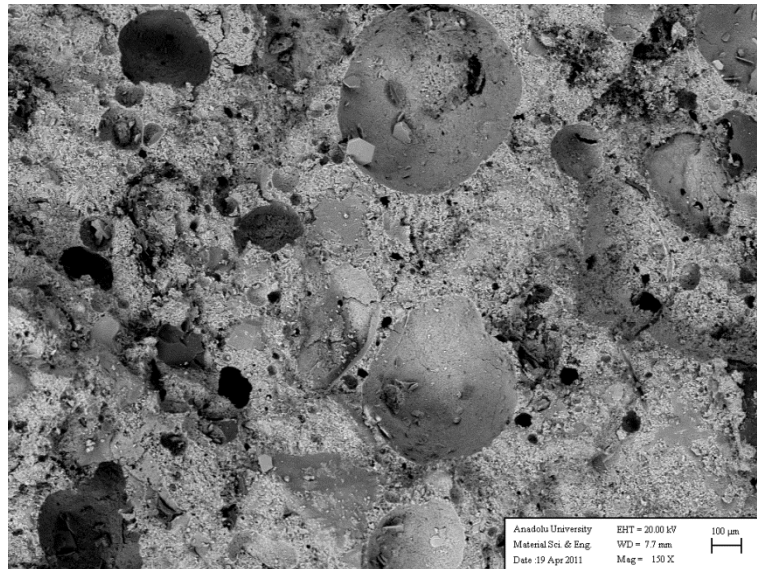
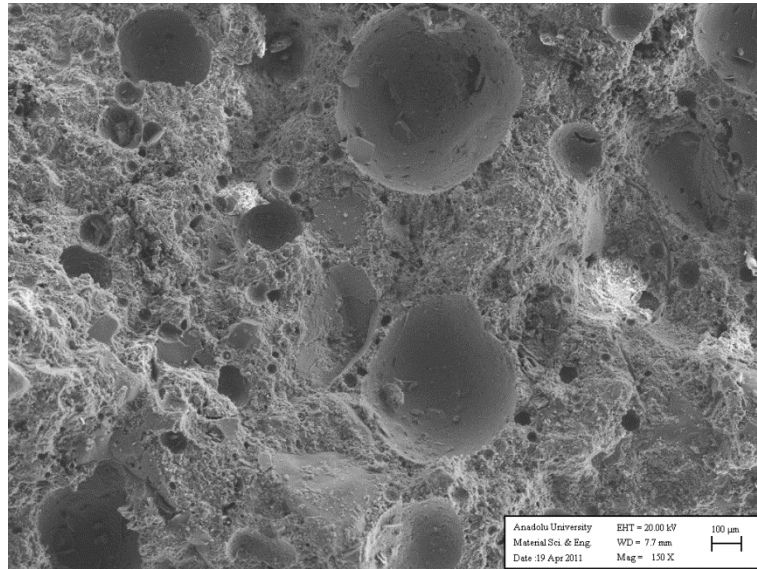
8 numaralı numune



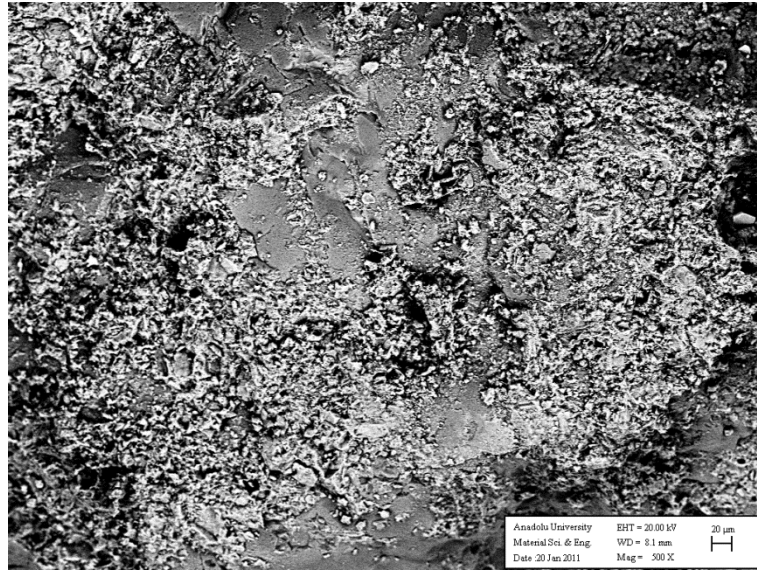
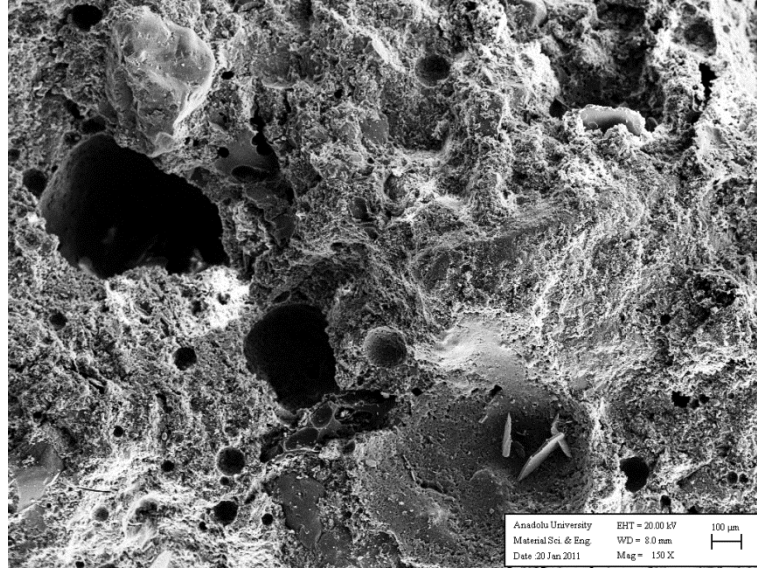
12 numaralı numune



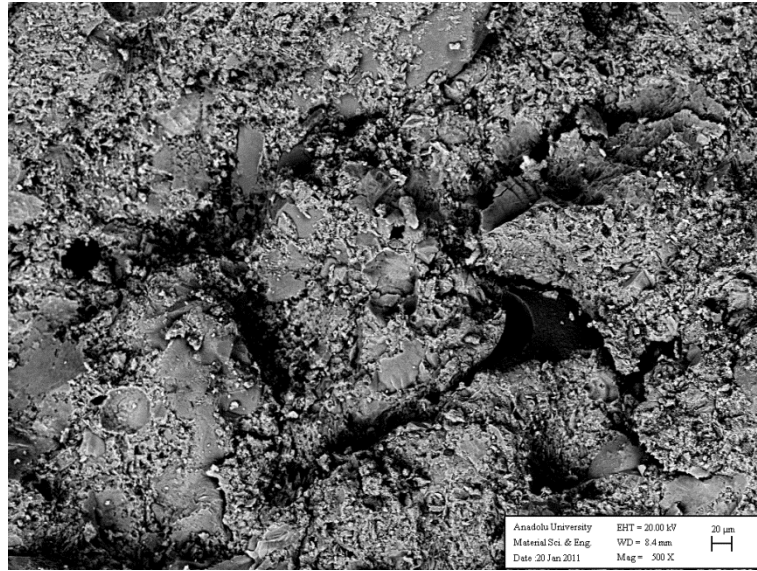
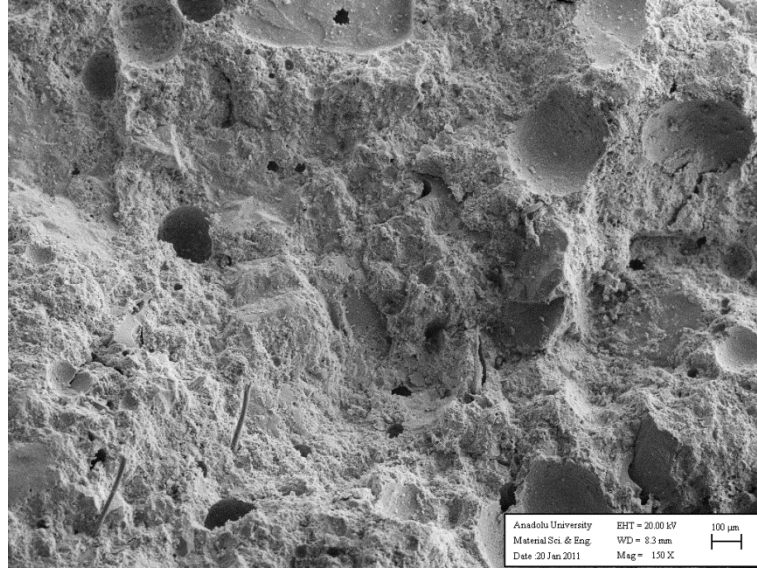
15 numaralı numune



19 numaralı numune

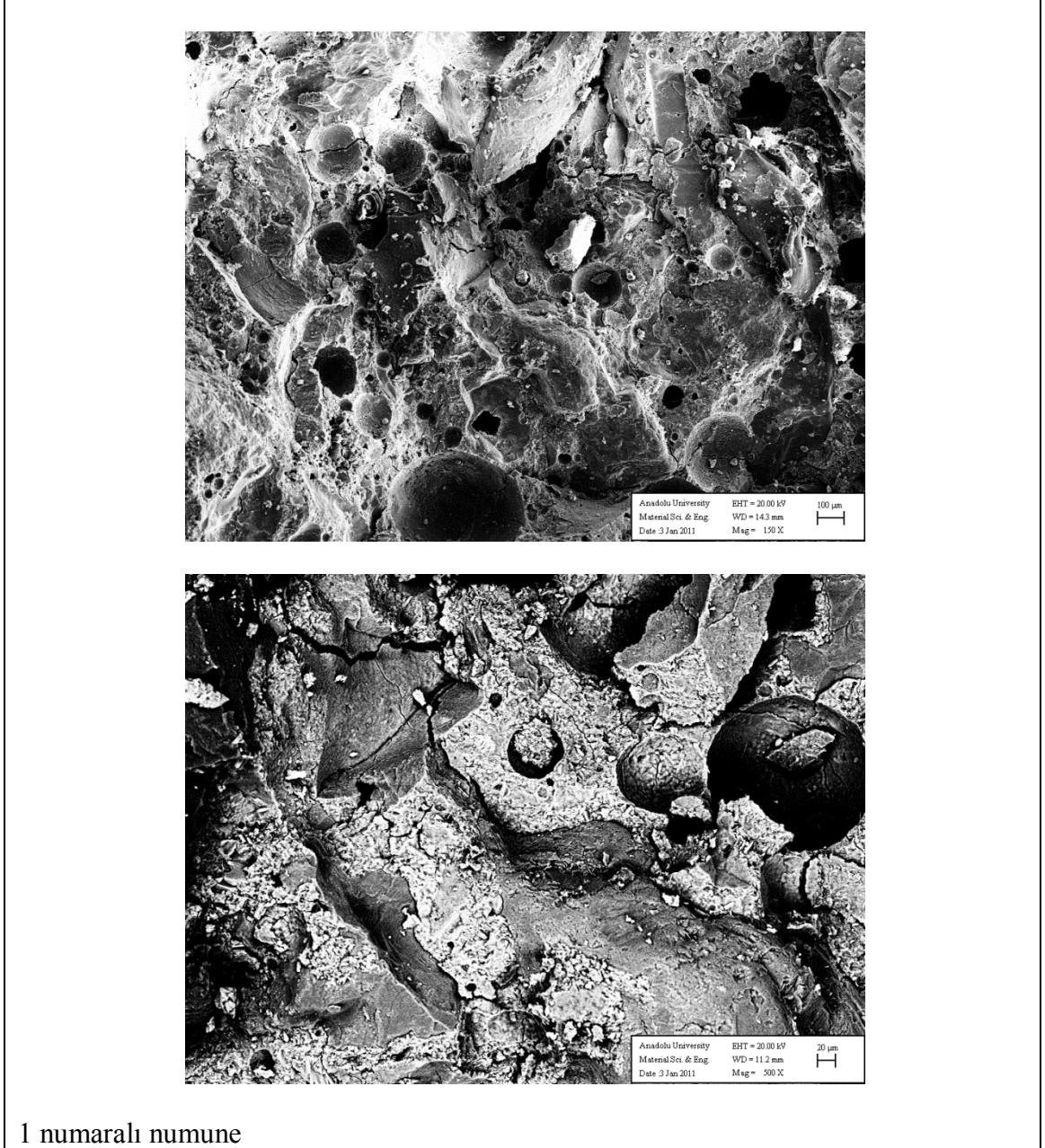


22 numaralı numune



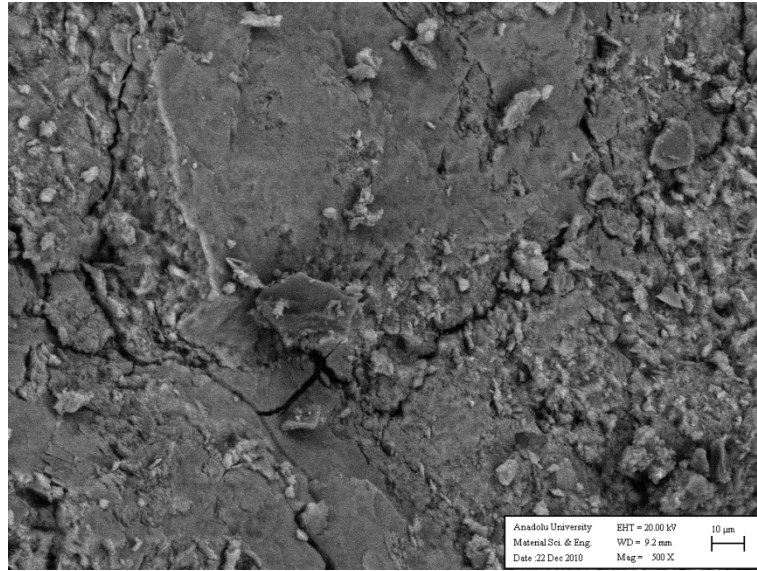
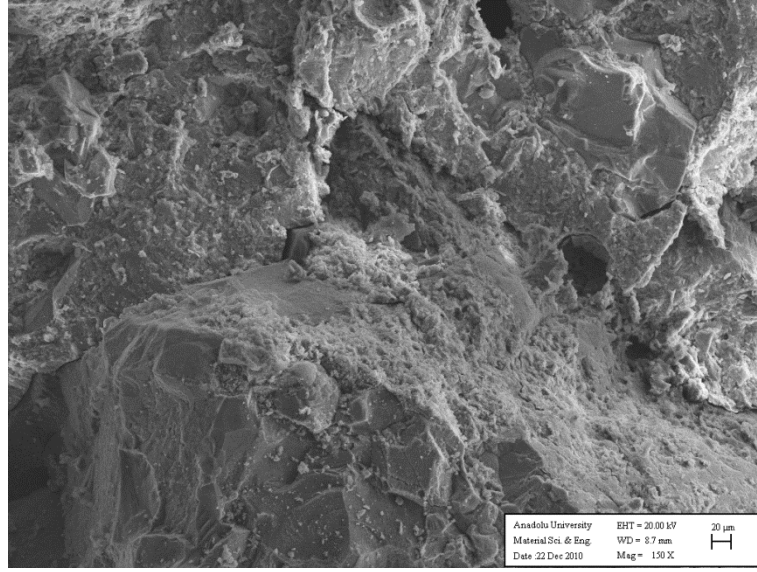
23 numaralı numune

## Ek-2.6. Z Serisi numuneler SEM Görüntüleri

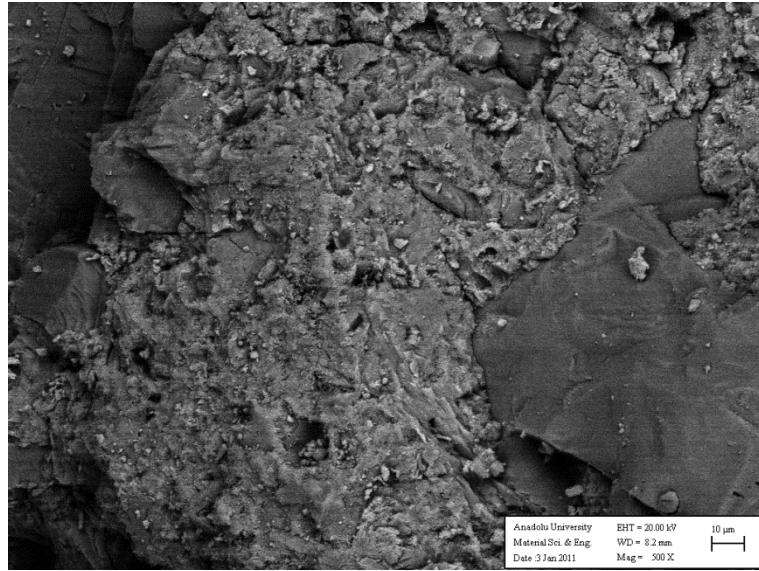
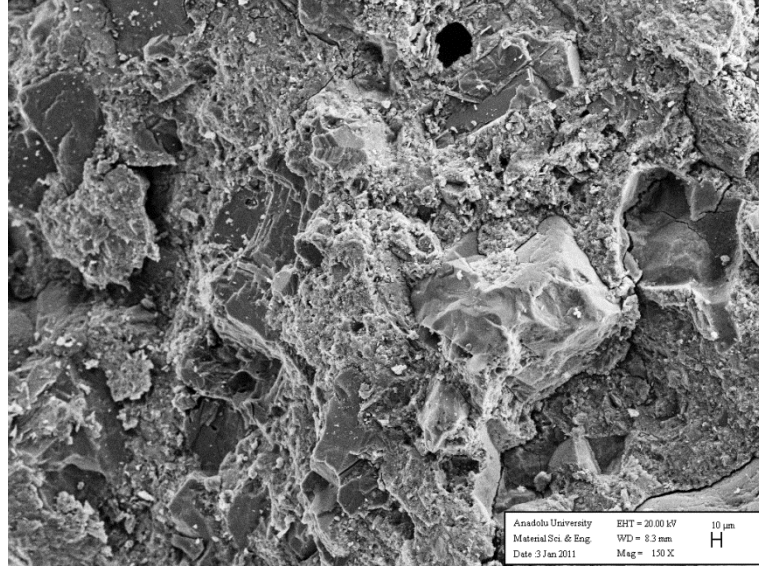


1 numaralı numune

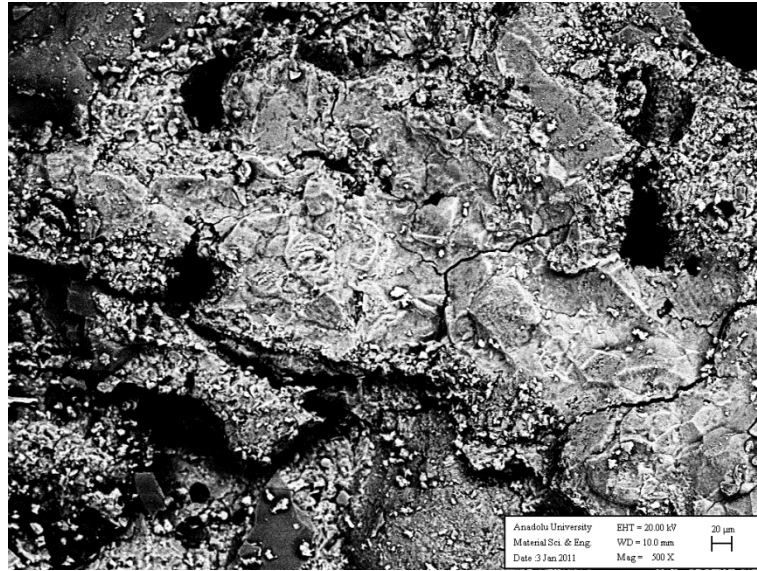
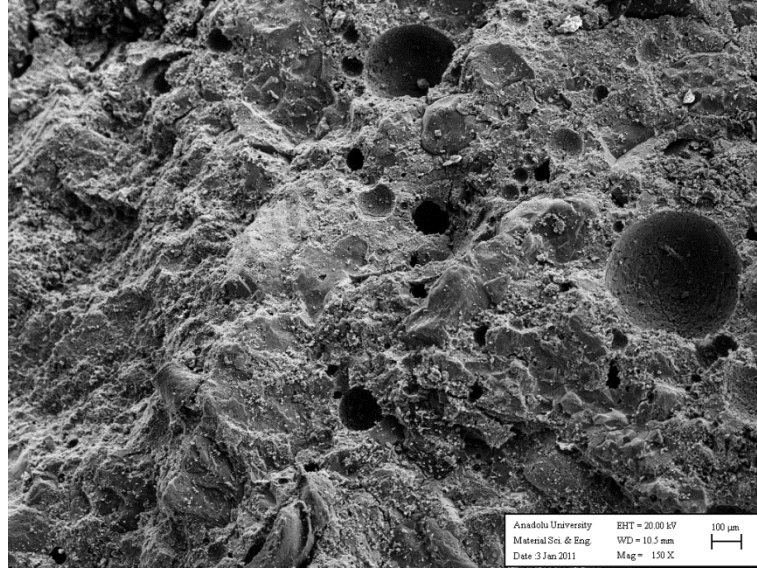




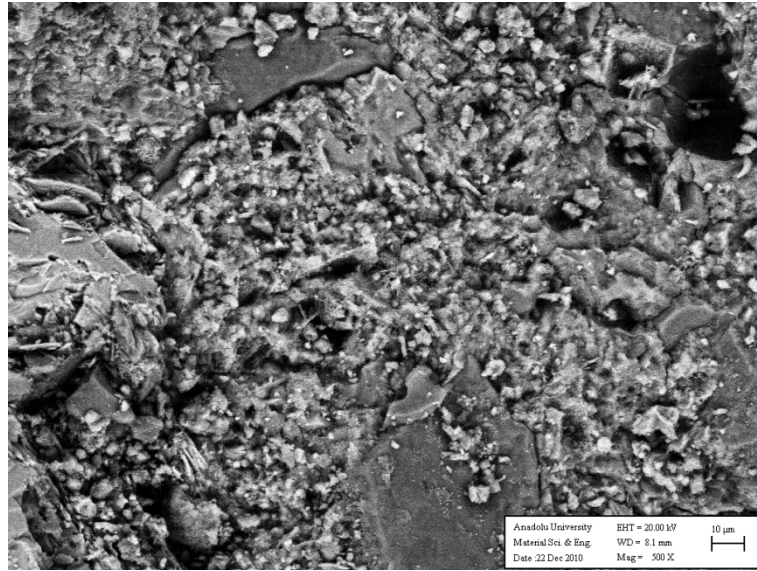
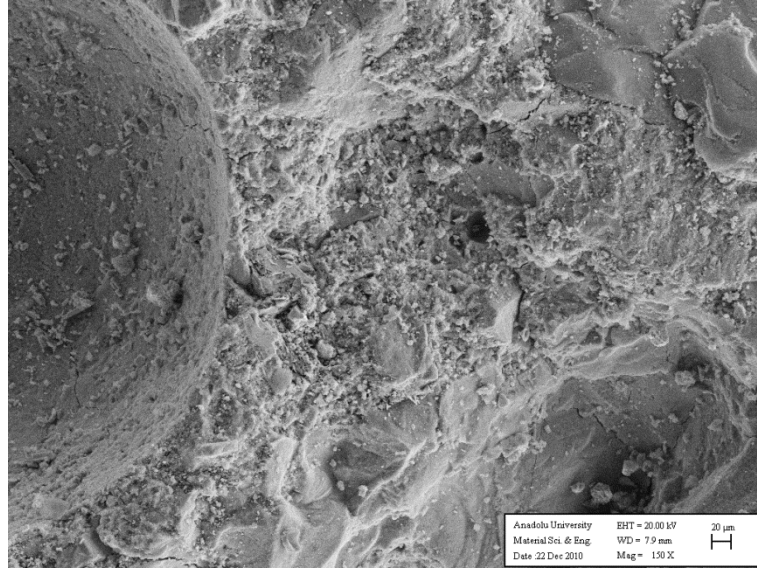
5 numaralı numune



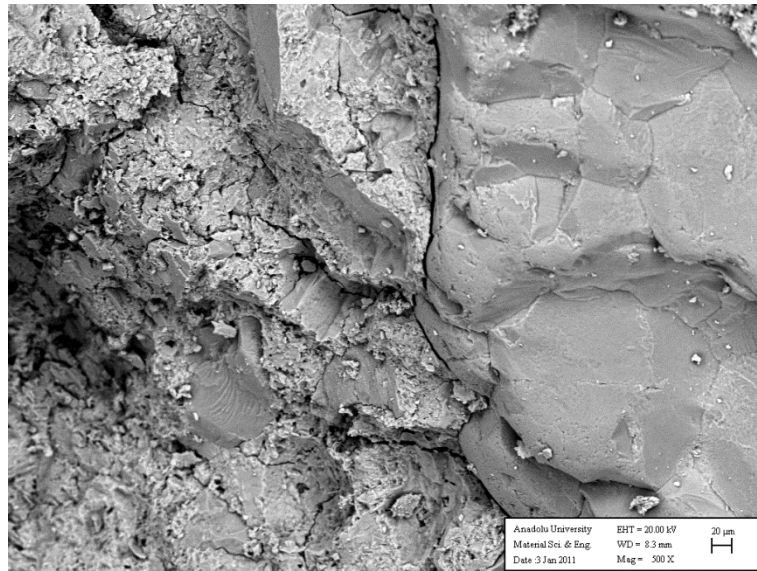
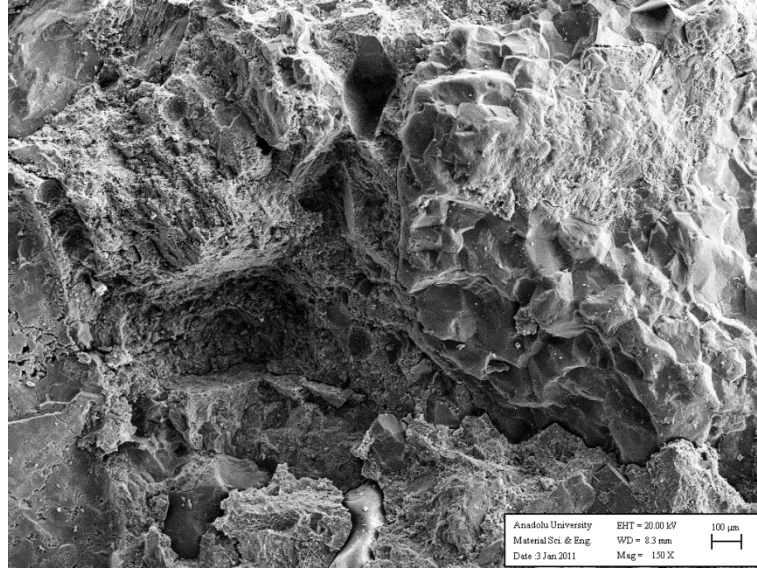
8 numaralı numune



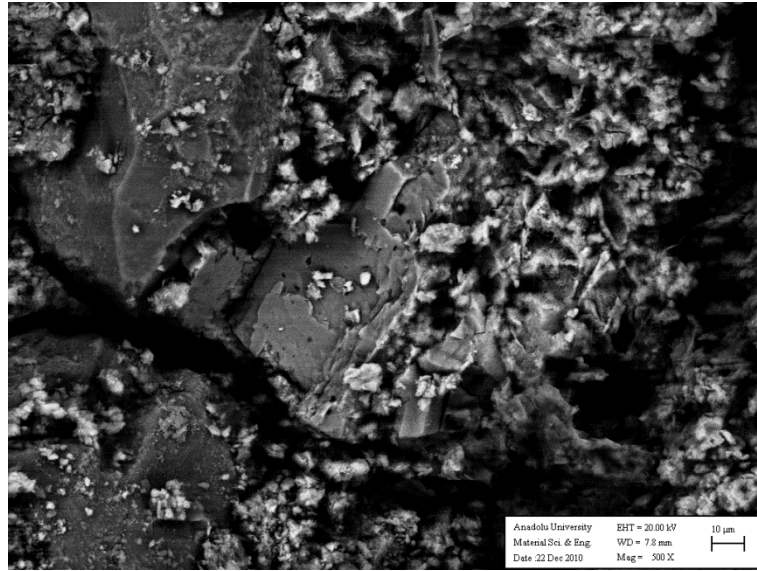
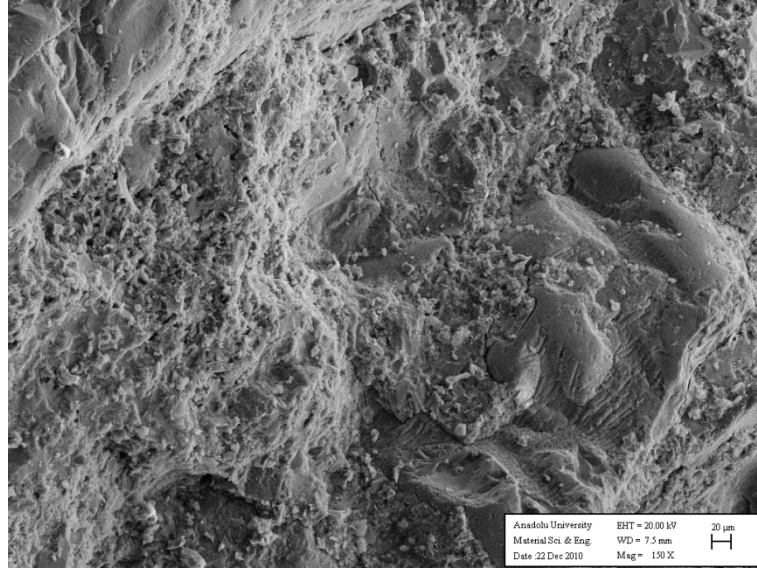
12 numaralı numune



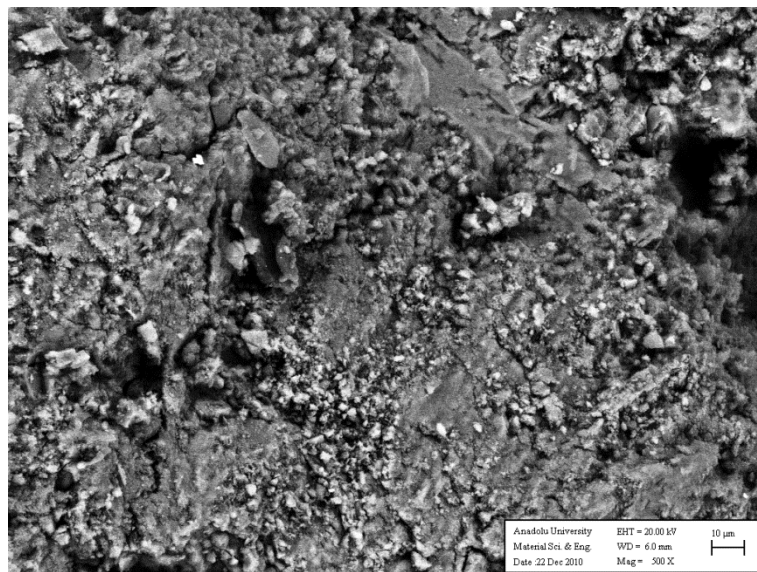
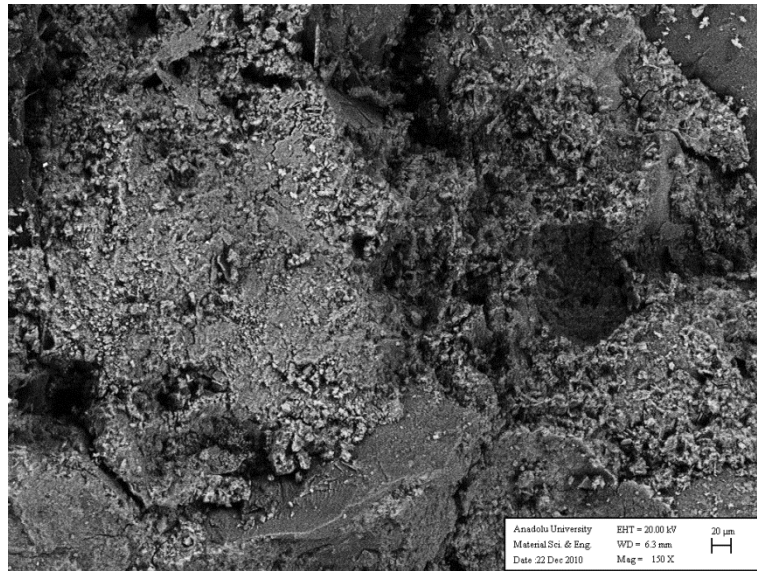
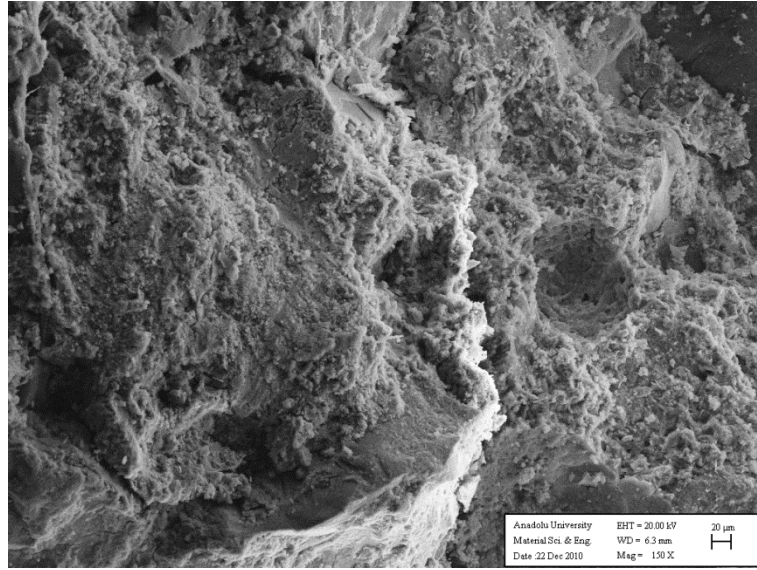
15 numaralı numune



19 numaralı numune



22 numaralı numune



23 numaralı numune

## **ÖZGEÇMİŞ**

1975 yılında Gaziantep’de doğan yazar, İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü 1998 yılında bölüm birincisi olarak tamamladı. Aynı yıl İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 1 yıl süre ile özel sektörde çalışan yazar 1999 yılında İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlayarak askerlik görevini yapmak üzere ayrıldığı 2008 yılına kadar bu görevini sürdürdü. Şu an İstanbul Üniversitesi bünyesinde mühendis ünvanıyla çalışmaya devam etmektedir. Evlidir ve Deniz isminde 1 yaşında kızı bulunmaktadır.