

**T.C.**  
**KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**HARÇLARDA KARBON FİBER ORAN VE BOYUTLARININ**  
**ELEKTRİKSEL İLETKENLİĞE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**HACER UZUNALIOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DR. ÖĞR. ÜYESİ ADEM AHISKALI**

**HAZİRAN-2021**

**KASTAMONU**



## TAAHHÜTNAME

*Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.*

**Hacer UZUNALIOĞLU**

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## HARÇLARDA KARBON FİBER ORAN VE BOYUTLARININ ELEKTRİKSEL İLETKENLİĞE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

HACER UZUNALIOĞLU

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN:DR. ÖĞR. ÜYESİ ADEM AHISKALI

EŞ DANIŞMAN: PROF. DR. SALİH YAZICIOĞLU

Bu çalışmada harçlarda karbon fiber oran ve boyutlarının elektriksel iletkenliğe etkisi araştırılmıştır. Karbon fiber boyut ve oranının elektriksel iletkenliğe etkilerinin araştırılması amacıyla numunelere farklı boyutlarda %0,5 , %1, %3 oranlarında karbon fiber eklenmiştir. CEM I 42.5 R tipi çimentoya F sınıfı; uçucu külsüz, %10, %20 ve C sınıfı; uçucu külsüz, %10, %20 numuneler karbon fibersiz, 5mm ve 10mm boyutlarında karbon fiberli olmak üzere 33 farklı seri hazırlanmıştır. Taze harç numuneler üzerinde yayılma tablası deneyi yapılarak yayılma değerleri 22-23 cm olacak şekilde belirlenmiştir. Karbon fiberin harç içerisinde homojen olarak dağılımını sağlamak amacıyla ince malzemenin %0,1 oranında viskozite düzenleyici katkı kullanılmıştır. Her seri için hata payını azaltmak adına 3'er adet numune hazırlanmıştır. 7, 28 ve 56 günlük kür sürelerini tamamlayan numunelerin etüv kurusu ve doğal nemli durumlarına elektriksel iletkenlik, basınç ve çekme dayanımları deneyleri uygulanmıştır. Karbon fiber boyut ve oranının artması eğilme dayanımını arttırmıştır. Karbon fiberin elektriksel iletkenliği arttırdığı, zamana bağlı olarak iletkenliğin düştüğü, karbon fiber lif boyutları ve oranları arttıkça harç içerisinde boşluk etkisinden dolayı basınç dayanımını azaldığı gözlemlenirken uçucu kül oranının artışı ile ileri yaşlarda basınç dayanımlarında artış olmuştur. Numunelerin su emme oranları belirlenerek, elektriksel iletkenlik ilişkisi incelenmiştir. Numunelerin mikroyapısı ve karbon fiber dağılımının görülmesi için SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) kullanılarak incelenmiş ve karbon fiber dağılımının elektriksel iletkenlik değerlerini desteklediği görülmüştür. Çalışma, harçlarda karbon fiber lifinin boyut ve oran etkisini, C ve F sınıfı takviyeli harç numunelerinin mukayesesine olanak sağlamıştır.

**ANAHTAR KELİMELEER:**Karbon fiber, F sınıfı uçucu kül, C sınıfı uçucu kül, Elektriksel iletkenlik.

Haziran 2021, 68 Sayfa

## **ABSTRACT**

### **MSC THESIS**

#### **INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CARBON FIBER DIMENSIONS ON ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MORTAR**

**HACER UZUNALIOĞLU**

**KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING  
SUPERVISOR: DR. TEACH. MEMBER ADEM AHISKALI  
CO-SUPERVISOR: PROF. DR. SALİH YAZICIOĞLU**

This study was carried out on F and C class fly ash reinforced and carbon fiber added mortar samples as a replacement for CEM I 42,5 R cement. Class F and C Series with 10% and 20% fly ash as well as without fly ash were created separately. Fly ash series created to investigate the effects of the size and ratio of carbon fiber on electrical conductivity. They were produced without carbon fiber reinforcement, with carbon fiber reinforcement in 5mm and 10mm length, with 0.5%;1% and 3% ratios in 33 different combinations. The water / cement ratio was prepared to take the value of 22-23 cm in the Spreading Table Test. Degaset Visco L viscosity regulator was used at a ratio of 0.1-1% of the fine material in order to distribute the carbon fiber homogeneously in the mortar mixture. Three samples were prepared for each series in order to reduce the margin of error. Curing periods are determined as 7, 28 and 56 days. The electrical resistivity of the samples, which completed their curing period, was measured in the oven dry and natural humid conditions. By determining the water absorption rates of the samples, the electrical conductivity relation was examined. Compressive strength and bending tensile strength tests have been applied. Increasing the carbon fiber length and ratio increased tensile strength values in bending. It has been observed that carbon fiber increases the electrical conductivity of the mortar, however, the conductivity decreases with time. As the dimension and ratio of carbon fiber is increased, it was observed that the compressive strength decreased due to the void effect in the mortar, while the increase in the rate of F class fly ash also increased the compressive strength of the mortar. SEM (Scanning Electron Microscope) examination was performed to see the microstructure and carbon fiber distribution of the samples and it was seen that the carbon fiber distribution was in a way to support the electrical conductivity measurement. The study made it possible to compare the size and proportion effect of carbon fiber reinforced and added mortar samples according to class C and F.

**KEYWORDS:**Carbon fiber, F classFlyAsh, C class Fly Ash, Electrical Conductivity

June 2021, 68 Page

## TEŞEKKÜR

Tez konumun belirlenmesinde ve çalıŐmalarım esnasında bana yol gösteren değerli Tez DanıŐmanım Dr. Öğr. Üyesi Adem AHISKALI hocama ve her darboğazda bana ıŐık tutarak yön veren Prof. Dr. Salih YAZICIOğLU hocama ve yüksek lisans sürecinde bilimsel desteğini yapımda hissettiren Dr. Öğr. Üyesi Hakan AğLAR hocama saygılarımı sunar, teŐekkürü bir borç bilirim. Ayrıca yüksek lisans tezimin hazırlanması aşamasında maddi manevi desteğini esirgemeyen hayat arkadaŐım Evren UZUNALIOğLU'na, yorulduğum anlarda tüm sevimlilikleri ile yorgunluğumu unutturan ocuklarım Amine Erva Uzunaliolu ve Ahmet Emir Uzunaliolu'na, manevi desteği ile her zaman itici gücüm olan biricik annem Fatma ÖKSÜZ'e teŐekkürlerimi sunarım.

Hacer UZUNALIOğLU

Kastamonu, 2021

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>TEZONAYI .....</b>	<b>ii</b>
<b>TAAHHÜTNAME .....</b>	<b>iii</b>
<b>ÖZET.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>TEŞEKKÜR .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ .....</b>	<b>viii</b>
<b>GRAFİKLER DİZİNİ .....</b>	<b>ix</b>
<b>TABLolar DİZİNİ .....</b>	<b>xi</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....</b>	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Amaç ve Önem.....	3
<b>2. KURUMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ.....</b>	<b>5</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>11</b>
3.1 Çimento .....	11
3.2 Agrega .....	12
3.3 Karbon Fiber.....	13
3.4 Uçucu Kül.....	14
3.4.1 Uçucu Küllerin Sınıflandırılması.....	14
3.4.1.1 C sınıfı uçucu kül .....	15
3.4.1.2 F sınıfı uçucu kül.....	16
3.5 Su.....	16
3.6 Katkı Maddesi .....	17
3.7 Uygulama Yöntemleri .....	18
3.7.1 Elektriksel Özdirenç .....	21
3.7.2 Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi .....	22
3.7.3 Basınç Dayanımı Deneyi .....	23
3.7.4 Mikroyapının İncelenmesi .....	24
3.7.5 Su Emme.....	24
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>25</b>
4.1 Elektriksel Özellik Bulguları.....	25
4.2 Eğilmede Çekme Dayanımı Bulguları.....	33
4.3 Basınç Dayanımı Bulguları .....	36
4.4 SEM Görüntüleme Analizi Bulguları.....	40
4.5 Su Emme Bulguları .....	49
<b>5. TARTIŞMA .....</b>	<b>50</b>
5.1 Elektriksel Özdirenç Karşılaştırmaları .....	50
5.2 Eğilmede Çekme Dayanımı Karşılaştırmaları.....	54
5.3 Basınç Dayanımı Karşılaştırmaları.....	57
5.4 SEM Görüntüleme Analizi Karşılaştırmaları .....	60
5.5 Su Emme Karşılaştırmaları.....	60
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>62</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>64</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>68</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1 CEM I 42,5 R Portlant Çimentosu.....	11
Şekil 3.2 Cen Standart Kumu.....	13
Şekil 3.3 Karbon Fiber Lifler.....	14
Şekil 3.4 Soma Termik Santrali uçucu külü.....	16
Şekil 3.5 Çayırhan Termik Santrali uçucu külü.....	16
Şekil 3.6 Su.....	17
Şekil 3.7 Degaset Visco L Katkı maddesi.....	18
Şekil 3.8 Yayılma Tablası Deneyi.....	18
Şekil 3.9 Karışımın hazırlanma aşamaları.....	19
Şekil 3.10 Kür havuzundan alınmış numuneler.....	20
Şekil 3.11 Etüvde bekletilen ve tartımı yapılan numune örneği.....	20
Şekil 3.12 Fluke Marka ve Rcon Marka özdirenç ölçerler.....	22
Şekil 3.13 Özdirenç ölçümü yapılan numune örneği.....	22
Şekil 3.14 Eğilmede çekme dayanımı deney uygulaması.....	23
Şekil 3.15 Basınç dayanımı deney uygulaması.....	23
Şekil 4.1 F20+CF%3 5mm karbon fiberli numunenin SEM bulguları.....	40
Şekil 4.2 F20+CF%3 5mm karbon fiberli numunenin SEM bulguları.....	41
Şekil 4.3 F10+CF%15mm numunesinin SEM bulguları.....	42
Şekil 4.4 F10+CF%1 5mm numunesinin SEM bulguları.....	42
Şekil 4.5 F10+CF%0,510mm numunesinin SEM bulguları.....	43
Şekil 4.6 F10+CF%0,510mm numunesinin SEM bulguları.....	43
Şekil 4.7 KNT +CF%1 10mm numunesinin SEM bulguları.....	44
Şekil 4.8 KNT +CF%1 10mm numunesinin SEM bulguları.....	44
Şekil 4.9 F20+CF%110mm numunesinin SEM bulguları.....	45
Şekil 4.10 F20+CF%1 10mm numunesinin SEM bulguları.....	46
Şekil 4.11 C10+CF%0,5 10mm numunesinin SEM bulguları.....	47
Şekil 4.12 C10+CF%0,5 10mm numunesinin SEM bulguları.....	47
Şekil 4.13 C10+CF%35mm numunesinin SEM bulguları.....	48
Şekil 4.14 C10+CF%3 5mm numunesinin SEM bulguları.....	48

## GRAFİKLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Grafik 4.1 C sınıfı ve 5mm karbon fiber katkıli serinin kuru öz direnç ölçüm bulguları .....	26
Grafik 4.2 F sınıfı ve 5mm karbon fiber katkıli serinin kuru öz direnç ölçüm bulguları .....	27
Grafik 4.3 C sınıfı ve 10mm karbon fiber katkıli serinin kuru öz direnç ölçüm bulguları .....	28
Grafik 4.4 F sınıfı ve 10mm karbon fiber katkıli serinin kuru öz direnç ölçüm bulguları .....	29
Grafik 4.5 C sınıfı ve 5mm karbon fiber katkıli serinin doğal nemli öz direnç ölçüm bulguları.....	30
Grafik 4.6 F sınıfı ve 5mm karbon fiber katkıli serinin doğal nemli öz direnç ölçüm bulguları.....	31
Grafik 4.7 C sınıfı ve 10mm karbon fiber katkıli serinin doğal nemli öz direnç ölçüm bulguları.....	32
Grafik 4.8 F sınıfı ve 10mm karbon fiber katkıli serinin doğal nemli öz direnç ölçüm bulguları.....	33
Grafik 4.9 C sınıfı ve 5mm karbon fiber katkıli serinin çekme dayanımı bulguları.....	34
Grafik 4.10 F sınıfı ve 5mm karbon fiber katkıli serinin çekme dayanımı bulguları.....	34
Grafik 4.11 C sınıfı ve 10mm karbon fiber katkıli serilerin çekme dayanımı bulguları.....	35
Grafik 4.12 F sınıfı ve 10mm karbon fiber katkıli serilerin çekme dayanımı bulguları.....	36
Grafik 4.13 C Sınıfı ve 5 mm karbon fiber katkıli serilerin Basınç Dayanımı Bulguları .....	37
Grafik 4.14 F Sınıfı ve 5 mm karbon fiber katkıli serilerin Basınç Dayanımı Bulguları .....	38
Grafik 4.15 C Sınıfı ve 10 mm karbon fiber katkıli serilerin Basınç Dayanımı Bulguları .....	39
Grafik 4.16 F Sınıfı ve 10 mm karbon fiber katkıli serilerin Basınç Dayanımı Bulguları .....	39
Grafik 4.17 F ve C sınıfı uçucu küllü numunelerin su emme bulguları.....	49
Grafik 5.1 F ve C sınıfı 5mm CF + uçucu küllü numunelerin Kuru Elektriksel Öz direnç Karşılaştırmaları.....	50
Grafik 5.2 F ve C sınıfı 5mm CF + uçucu küllü numunelerin Nemli Elektriksel Öz direnç Karşılaştırmaları .....	51
Grafik 5.3 F ve C sınıfı 10mm CF + uçucu küllü numunelerin Kuru Elektriksel Öz direnç Karşılaştırmaları.....	52
Grafik 5.4 F ve C sınıfı 10mm CF + uçucu küllü numunelerin Nemli Elektriksel Öz direnç Karşılaştırmaları .....	53
Grafik 5.5 F ve C sınıfı 5mm CF + uçucu küllü numunelerin Çekme Dayanımı Bulgularının Karşılaştırmaları.....	55

Grafik 5.6 F ve C sınıfı 10mm CF + uçucu küllü numunelerin Çekme Dayanımı Bulgularının Karşılaştırmaları.....	56
Grafik 5.7 F ve C sınıfı 5mm CF + uçucu küllü numunelerin Basınç Dayanımı Bulgularının Karşılaştırmaları .....	58
Grafik 5.8 F ve C sınıfı 10mm CF + uçucu küllü numunelerin Basınç Dayanımı Bulgularının Karşılaştırmaları .....	58

## TABLolar DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Tablo 3.1 Çimentonun Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri.....	12
Tablo 3.2 CEN Standart Kumu Granülometrisi.....	13
Tablo 3.3 Karbon Lifinin Teknik Özellikleri.....	14
Tablo 3.4 C ve F Sınıfı Uçucu Külün Kimyasal Özellikleri.....	15
Tablo 3.5 Degaset Visco L Teknik Özellikleri.....	17
Tablo 3.6 Harç Karışım Oranları. (kg/m <sup>3</sup> ).....	19

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

<b>ASTM</b>	:American Societyfor Testingand Materials
<b>PÇ</b>	:Portland Çimento
<b>TS</b>	:Türk Standartları
<b>TSE</b>	:Türk Standartları Enstitüsü
<b>SEM</b>	:Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>FRP</b>	:Fiber Takviyeli Polimer
<b>CFRP</b>	:Karbon Elyaf Takviyeli Polimer
<b>GFRP</b>	:Cam Lifleri İle Güçlendirilmiş Polimer
<b>KYB</b>	:Kendiliğinden Yerleşen Beton
<b>TÇMB</b>	:Türkiye Çimento Sanayicileri Birliği

### Kısaltmalar

<b>C</b>	:Soma Uçucu Külü
<b>F</b>	:Çayırhan Uçucu Külü
<b>CF</b>	:Karbon Fiber
<b>KNT0</b>	:Uçucu külsüz ve karbon fiber katkısız baz numune.
<b>KNT+ F10</b>	:%10 F sınıfı uçucu küllü karbon fiber katkısız numune.
<b>KNT +F20</b>	:%20 F sınıfı uçucu küllü karbon fiber katkısız numune.
<b>KNT + CF%0,5</b>	:Uçucu külsüz %0,5 karbon fiber katkılı numune.
<b>KNT+ CF%1</b>	:Uçucu külsüz %1 karbon fiber katkılı numune.
<b>KNT+CF%3</b>	:Uçucu külsüz %3 karbon fiber katkılı numune.
<b>F10+CF%0,5</b>	:%10 F sınıfı uçucu küllü ve %0,5 karbon fiber katkılı numune.
<b>F10+CF%1</b>	:%10 F sınıfı uçucu küllü ve %1 karbon fiber katkılı numune.
<b>F10+CF%3</b>	:%10 F sınıfı uçucu küllü ve %3 karbon fiber katkılı numune.
<b>F20+CF%0,5</b>	:%20 F sınıfı uçucu küllü ve %0,5 karbon fiber katkılı numune.
<b>F20+CF%1</b>	:%20 F sınıfı uçucu küllü ve %1 karbon fiber katkılı numune.
<b>F20+CF%3</b>	:%20 F sınıfı uçucu küllü ve %3 karbon fiber katkılı numune.
<b>KNT+ C10</b>	:%10 C sınıfı uçucu küllü karbon fiber katkısız numune.
<b>KNT + C20</b>	:%20 C sınıfı uçucu küllü karbon fiber katkısız numune.
<b>C10+CF%0,5</b>	:%10 C sınıfı uçucu küllü ve %0,5 karbon fiber katkılı numune.
<b>C10+CF%1</b>	:%10 C sınıfı uçucu küllü ve %1 karbon fiber katkılı numune.
<b>C10+CF%3</b>	:%10 C sınıfı uçucu küllü ve %3 karbon fiber katkılı numune.
<b>C20+CF%0,5</b>	:%20 C sınıfı uçucu küllü ve %0,5 karbon fiber katkılı numune.
<b>C20+CF%1</b>	:%20 C sınıfı uçucu küllü ve %1 karbon fiber katkılı numune.
<b>C20+CF%3</b>	:%20 C sınıfı uçucu küllü ve %3 karbon fiber katkılı numune.

## 1. GİRİŞ

İnsanoğlu varlığından günümüze kadar yapıları; kullanım amaçları, malzeme türleri, uygulama yöntemleri vb. sürekli geliştirmiştir. Yıllar boyunca inşaat sektöründe taşıyıcı eleman olarak en çok kullanılan malzeme beton olmuştur. Betonu oluşturan ham maddeler doğada bol miktarda bulunmasına rağmen yapı teknolojilerindeki ilerleme ile betondan beklentiler günden güne artmaktadır. Beklentilere cevap vermek adına beton ve harç numuneler üzerinde çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Bu amaçla beton içerisine birçok materyal eklenerek maliyetinin azaltılması, zayıf yönlerinin güçlendirilmesi vb araştırmalar yapılmıştır. Yapılarda kullanılan elemanların geliştirilmesi amacıyla birçok materyal, yapı elemanları içeriği ile kombine edilmiştir. Çağlar vd (2021) çalışmalarında tarımsal bir atık olan pirinç kabuğu külünün harman tuğlası ile kullanımının çevresel ve ekonomik kazanç sağlanacağını belirtmektedirler. Özellikle endüstriyel atıkların beton karışımlarında kullanılmasına yönelik araştırmalar görölmektedir. Bu endüstriyel atıklar ciddi bir çevresel kirlilik sorunu olmanın yanı sıra bertaraf edilmesi safhasında ekonomik ve çevresel sorunlar oluşturmaktadır. Bu nedenle birçok atık içeriğine bakılmaksızın ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır. Ancak atık malzemelerin de bir değere sahiptir ve atıklar katma değeri yüksek ürünlerin elde edilmesinde kullanılabilir (Kaya ve Turan 2004).

Değerli atıklardan biri olan uçucu kül, kömürle çalışan termik elektrik santrallerinden elde edilen bir atık türüdür. Termik santrallerde elektrik üretimi sırasında üç grup kömür atığı oluşur; ilki toprak ve kaya karışımından oluşan maden atığıdır. İkincisi kömür yıkama ve kırma aşamasında çıkan sıvı atıktır ve üçüncüsü kömürün yakılması sonrası arta kalan uçucu küldür. Türkiye’de termik santrallerden elde edilen uçucu kül genellikle çimento fabrikalarına hammadde olarak değerlendirilmektedir (HEAL, 2018). 2016 yılında termik santrallerde 19,5 milyon ton atık oluşmuştur. Toplam atıkların %87,8’ini kül ve cüruf atıktır (TÜİK, 2017). Termik santrallerden çıkan atığın bertaraf ve geri kazanım yöntemlerine bakıldığında ise toplam atığın yaklaşık %83’ü kül dağına/kül barajına veya düzenli depolama tesislerine gönderilen, yaklaşık %17’si lisanslı tesislere gönderilen veya taş ocaklarına geri doldurulan atıklardır. Ülkemizdeki enerji ihtiyacı göz önüne alınarak bu oranın gelecekte artacağı öngörülmektedir.

Her endüstriyel atık gibi uçucu külden de yararlanmak için çeşitli araştırmalar yapılmış ve yaygın olarak çimento ve betonda katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Yapılan araştırmalar gösteriyor ki mineral karışımlardan olan uçucu kül betonun dayanıklılık karakteristikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Dolch ve Diamont, 1995).

Günümüzde gelişen dünya ile birlikte yapı teknolojilerinde de özellikli betonlar yapılmaya başlanmıştır. Günümüz teknolojik materyallerinin betonda kullanımı sonuçları merak uyandırmaktadır. Betonda atık malzemelerin kullanılması ile ekonomiklik, çevrenin korunması gibi amaçların yanı sıra nanoteknolojik materyaller ile enerji tasarrufu, kullanım sürelerinin belirlenmesi ve gerekli durumda kullanım ömrünü tamamlayan yapıların kolaylıkla geri dönüştürülmesi vb. hedeflenmektedir.

Uzun yıllardır farklı tipteki yapılar için kullanılan beton, yapıya uygulanan basınç gerilmelerine karşı dayanım göstermesine rağmen çekme gerilmelerine karşı dayanıklı bir malzeme olmaması betonun zayıf yönlerinden biridir. Bu zayıf yönü iyileştirmek için birçok araştırma yapılmıştır. Betondaki çatlama gözlemek ve bu çatlakların daha fazla ilerlemesini önlemek için büyük bir talep olmuş ve bu talepten hareketle akıllı beton ortaya çıkmıştır (Demirel, 2006). Akıllı Beton, yapı sektöründe kullanılabilecek şekilde tasarlanmış bir akıllı malzeme olup, betonu izleme ihtiyacından hareketle ortaya çıkmıştır. SUNY (State University of New York) /Buffalo profesörlerinden Chung tarafından keşfedilip, geliştirilmiş ve patenti alınmıştır. Chung (1993)'a göre akıllı beton, mikroskobik kısa karbon fiberle güçlendirilmiş betondur. Beton deforme olduğunda ya da gerildiğinde, fiber ile çimento matrisi arasındaki temas etkilenir. Ayrıca, hacimsel elektrik öz direnci de etkilenir. Elektrik direncindeki değişimin ölçülmesi yoluyla oluşan deformasyonlar belirlenebilir. Yani fay hatları üzerinde bulunan yapılarda oluşan yapısal çatlaklar büyük boyutlara ulaşmadan akıllı beton kullanarak tespit edilmiş olur. Bu kabiliyet, deprem etkilerini takip etme ve yapının iç şartlarını izlemekte kullanılabilir.

Yeryüzündeki kırılmalarla meydana gelen fay hatları, Alp-Himalaya (Akdeniz) Deprem Kuşağı üzerinde yer alan Türkiye'de ülke topraklarının yaklaşık yarısı 1. Derece deprem bölgesi olması nedeniyle her dönem yıkıcı depremleri tetiklemektedir (Şahin, 2020). Doğan (2020)'a göre Türkiye deprem bölgeleri haritası esas alındığında

ülke topraklarının %96'sının farklı oranlarda deprem tehlikesine sahip bölgeler içerisinde yer aldığı ve nüfusun %98'inin bu bölgelerde yaşadığı görülmektedir. Bu bağlamda Türkiye'de meydana gelen doğal afetlerden en etkili olan, depremdir. Deprem kuşağında yer alan ülkemiz için can ve mal kaybının azaltılması ve önlenmesine olanak sağlayabilir.

Demirel (2006)'e göre betonun içindeki karbon fiber, betonun özellikle çekme ve eğilme dayanımını da arttırarak, çatlakların hızlı bir şekilde yayılmaması için çatlamları da kontrol eder. Klasik betonun akıllı beton olarak adlandırılabilmesi için çevreden gelen uyarılara özelliklerini veya şeklini değiştirerek cevap vermesi gerekmektedir. Deprem gibi çok büyük dinamik zorlanmalar, yapılar için çevre tarafından oluşturulmuş bir uyarı tipidir ve yapı bu uyarılara elektriksel iletkenliğini değiştirerek cevap verir. Chung and Chen, (1993) yaptıkları deneysel çalışmada bu çeşit zorlanmalarda fiber içermeyen betonlardan herhangi bir tepki alınmadığını bildirmektedir. Özellikle mikroskop ile görüntüleme tekniklerindeki gelişmeler betonun iç yapısının ve hasar mekanizmalarının daha iyi anlaşılmasını, takviye materyallerin dağılımının görülmesini sağlamış ve bu sayede de etkin malzemelerin geliştirilmesine ve mevcut malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesine olanak sağlamıştır.

## **1.1 Amaç ve Önem**

Bu çalışma ile yapılan literatür taramaları sonucunda birçok özelliği araştırılmış olan karbon fiberin diğer çalışmalardan farklı olarak harç numunelerine F ve C sınıfı uçucu kül takviyesi ile tek ve kombinasyonlu karışımlar oluşturulmuştur. Elde edilen numunelerde karbon fiberin 'boyut ve oran etkisinin elektriksel iletkenliğini' belirlemek ve tüm numunelerin elektriksel iletkenlik değerleri ile basınç, eğilmede çekme dayanımlarına ilişkin etkileşim tabloları oluşturulmak istenmektedir. Karbon fiberin dağılımı SEM görüntüleri ile incelenerek elektriksel iletkenlikle uyumlu bir dağılım görülmesi amaçlanmıştır. Günümüz teknolojisinin parlayan yıldızı olan karbon fiberin harçlarda katkılarının incelenmesi, bilinmeyen yönlerinin tespit edilmesi ile akıllı beton kullanımının uzun vadede elde edilen verilerle yapılardaki

deformasyonların ve güvenli kullanım sürelerinin belirlenmesi sonucunda kaçınılmaz olan deprem vb. afetlere karşı can ve mal kaybının önlenmesi hedeflenmektedir.

## 2. KURUMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ

İnşaat sektöründe, dayanımından ve kullanım süresinden dolayı en çok kullanılan malzeme beton ve bunun içerisinde portland çimentolu ürünler olmuştur. Günümüzde yapı teknolojilerindeki gelişmeler ile beton kalitesi çok yüksek değerlere ulaşmıştır. Su/çimento oranının kimyasal katkıları kullanılarak düşürülmesi sonucunda beton santrallerinde  $100 \text{ N/mm}^2$  'ye kadar basınç dayanımlı, yüksek performanslı betonlar rutin bir şekilde üretilmektedir. (Pekmezci, 2006) Günümüz yaşam koşulları gereği yüksek performans gerektiren çok katlı yapılar yaygın olarak kullanılmaktadır. Karbon fiber takviyeli kompozitler sahip oldukları rijitlik ve dayanım/ağırlık oranlarından dolayı yüksek performans gerektiren yapısal uygulamaların kullanımına yaygın olarak rastlanmaktadır. Bu malzemelerin mekanik özellikleri ile sönümlenme kabiliyeti önem arz etmektedir. Buna bağlı olarak nano partiküllerin gelişiminde partikül katkı polimerik kompozitlerin üretimi artmış ve mekanik özellikleri, titreşim özellikleri, termal özellikleri, elektriksel iletkenlikleri gibi bir çok alanda yapılan çalışmalar görülmektedir.

Betonun zayıf özelliklerinin iyileştirilmesi ve güçlendirilmesi için beton içerisine değişik malzemeler katılarak teknik özellikleri geliştirilmek istenmiştir (Topçu vd. 2005). Bu amaçla çelik lif donatılı betonlara ilk olarak 60'lı yılların başında geliştirilmiştir ve günümüzde lif tipleri üzerinde tasarım ve hesap metodları hala çalışılmaktadır. Topçu (2006) araştırmasında çelik lifleri kullanmış ve beton numunelerde kullanılacak çelik lif ölçüsünün lifin geometrik şekline ve lif ile beton matris arasındaki kenetlenme dağılımına bağlı olduğunu ve çelik liflerin taze beton kıvamında önemli derecede azalmaya yol açtığını belirtmiştir.

Kim 2019 yılında yaptığı çalışmada demet tipi poliamid elyaf takviyeli çimentolu kompozit ve çengel çelik elyaf takviyeli çimentolu kompozit numuneleri; şekil değiştirme hızı, kırılma davranışı, mekanik bağlanma kuvvetindeki değişimleri, sıkıştırma ve çekme gerilme oranı açısından incelemiştir.

Pekmezci ve Atahan (2014) araştırmalarında uçucu kül içermeyen karışımlarda %2,5 oranında nano  $SiO_2$  kullanımının erken yaş dayanımı üzerinde önemli bir etki göstermediğini söylemişlerdir. Ancak, aynı miktarda nano  $SiO_2$ , uçucu kül içeren harçlarda kullanıldığında, farklı oranlarda etkiler gösterdiğini belirlemişlerdir. Erken yaşlardaki dayanım kayıplarını %20 oranında uçucu küllü karışımlarda bir miktarda olsa önleyebilmişlerdir.

Demirel ve Yazıcıoğlu, 2007 yılındaki çalışmalarında karbon fiber takviyeli hafif betonun sıcaklığı sezebilme kabiliyeti ve mineral katkının Seebeck etkisi üzerindeki tesirini incelemiştir. Karbon fiber takviyeli betonun Seebeck etkisinden dolayı, sıcaklığı sezebileceğini ve bu yeteneği verenin karbon fiber olduğunu belirtmişlerdir.

Balaguru ve Chong (2006), beton ve çimentoda nanoteknoloji konusunda araştırma yapan bilim insanları daha çok hidrasyon reaksiyonuna ve nanopartiküllerin beton özellikleri üzerindeki etkilerine yoğunlaşmış olduğunu söylemektedir.

Şimşek vd. (2005) yapmış oldukları bir araştırmada, çelik fiber katkısının betonun eğilme dayanımını arttırdığını, silis dumanının ise çelik fiberli betonda aderansı arttırıcı etki yaptığını belirlemişlerdir.

Reza vd. (2004), karbon fiber ile takviye edilmiş harcın çekme dayanımının fiber takviyesiz harçtan üç kat daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca aynı çalışmada, karbon fiber takviyeli betonun kırılma mekaniği çalışmalarında da kullanılabileceğine vurgu yapmışlardır.

Shi ve Chung (1999), araştırmalarında akıllı betonun yollarda kullanımı ile araçların nerede olduğu, hızı ve ağırlığının belirlenebileceğini ve elektriksel değişimleri değerlendirerek hem lastikteki yükün hem de dönme hızının kontrol edilebileceğini belirlemişlerdir.

Banthia vd. (2003), karbon fiber ve çelik fiber olmak üzere iki çeşit mikro fiber kullanarak; bunlar arasındaki farklılıkları gözlemlemiş ve deney sonuçlarında tek başına karbon fiber, çelik fibere göre daha az iletken olmasına rağmen; karbon fiber

takviyeli çimento harcının çelik fiber takviyeli çimento harcından daha fazla iletken olduğu verisine ulaşmışlardır. Karbon fiberlerin çelik fiberlere göre kompozit içerisinde daha homojen dağıldığı tespiti ile kompozit için kullanılan fiberin yüksek iletkenlikte olmasından daha çok, kompozit içerisindeki boyut ve dağılımının önemi vurgulanmıştır.

Brown and Sanchez (2012) araştırmalarında “karbon nanofiberlerin, çimento esaslı kompozitlerin durabilitesini iyileştirmektedir” bilgisini vermektedir. Yapılan literatür taramasında devrimsel nitelikteki karbon nanotüpler de karbon nanofiberlerden kompozitler üretmek için kullanılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Betona karbon nanofiber katan Galao vd. (2012) araştırmalarında betonun ısını yükseltmek amacıyla sertleşmiş betona elektrik akımı uygulamış ve nanofiberlerin bu amaçla kullanılabilmesini belirtmişlerdir.

Irene ve Zonglin (2012), binaların yapısal özelliklerinin izlenmesi için nanopartiküler kullanarak, sürekli izlemeye olanak veren sensörler kullanmıştır. Çimento esaslı piezoelektriksensörlerin beton ile yüksek uyum gösterdiğini, yapısal açıdan sorunsuz ve yaygın olarak kullanılabilmesini belirtmektedirler.

Dehghanpour (2019) çalışmasında karbon fiberi atık lastiklerden elde edilen nano karbon siyahı ile birlikte kullanarak maliyetin azaltılması hedeflenmiştir. Bunun için farklı miktarlarda nano karbon siyahı, karbon fiber ve çelik fiber içeren karışımlardan oluşan numunelerin elektriksel direnç, mekaniksel ve çarpma özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Sonuçlara göre üç farklı yöntem ile ölçülen direnç değerleri arasında doğrusal, ve direnç değerleri ile mekaniksel dayanımları ve çarpma enerjisi aralarında doğrusal olmayan bir bağlantı olduğu tesbit edilmiştir.

Ustabaş vd. (2020) çalışmalarında yapılarda karbon fiber takviyeli kumaşlar (CFRP) gibi çeşitli kompozitlerin sargı etkisi ile basınç dayanımlarını ve davranışları incelenmiştir. Tek katlı ve iki katlı CFRP sarılarak güçlendirilen numunelerin deformasyon sonuçlarının literatür verileri ile örtüştüğü görülmüştür.

Dündar ve arkadaşlarının araştırmasında farklı lif çeşitleri kullanılarak üretilen betonların fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Lif oranındaki artış ile su

emme ve porozite değerlerinde artış ve bazalt lifi kullanılan numunelerde karbon lifi kullanılan betonlara oranla daha yüksek ultrases geçiş hızı olduğu izlenmiştir. Mekanik dayanım deneylerinde bazalt lifinin karbondan fazla direnç gösterdiği görülmüştür.

Nasery vd. (2020) alışma kapsamında; sonlu eleman modeli, beton plastikleşme hasar modeli yardımıyla oluşturulmuş farklı dayanıma sahip beton numunelere, farklı oranda fiber ilave edilmesinin, beton basınç dayanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada Abaqus/Standart sonlu eleman programı kullanarak numuneler analiz edilmiş ve deneysel veriler ile karşılaştırılarak sonlu eleman programı doğrulanmıştır.

Dehghanpour (2019)'un çalışmasında havalimanı pistlerinde kullanılmak amacıyla üretilen elektriksel iletken betonlarda atık lastiklerden proliz yöntemi ile elde edilen nano karbon siyahı ve kesme işlemlerinden elde edilen atık tel erezyonun değerlendirilmesine yönelik numuneler oluşturulmuştur. Farklı karışım oranlarına sahip nano karbon siyahı, karbon fiber ve tel erezyon içeren numunelerin elektriksel ve mekaniksel özellikleri geliştirdiği belirtilmiştir.

Çeçen (2019) alışmasında, demiryollarında istenen ve önerilen yüksek taşıma kapasitesine, karbon-fiber donatıları, öngerilmesiz vaziyette kullanarak ulaşmanın mümkün olup olmadığının belirlemek adına numuneler üretilmiştir. İlgili literatür ve standartlara göre güncelde kullanılan materyallerden daha küçük kesit alanlı numunelerde dahi daha iyi neticeler elde edilmiştir.

Demircioğlu ve Teomete (2020) 28 günlük kür süreleri olan nano boyutta tufalin beton örneklerinde direnci ve birim şekil değiştirme eş zamanlı olarak kaydetmişlerdir. Çalışmalarda elektriksel direnç değişimi ile birim şekil değiştirme arasında güçlü doğrusal ilişki tespit ettiklerini ve bunun kendi birim şekil değiştirmesini ve hasarını ölçen akıllı betonun geliştirilmesinde önemli bir adım olduğunu belirtmişlerdir.

Sarıbıyık (2017), Elyaf Takviyeli Polimer (FRP) kompozitler kullanarak standart silindir boyutlarda üretilen betonların güçlendirilmesinde elyaf turu, sargı katman sayısı ve farklı tur elyafın hibrit olarak kullanımının etkileri araştırmıştır. Sargı katmanı

sayısı arttığında betonun basınç dayanımı ve deformasyon kabiliyetinin arttığı ve hibrit güçlendirmenin tekil güçlendirmeye göre daha etkili olduğu ortaya koymuştur.

Ünal (2018)'da yanal deformasyonları FRP ile sınırlandırılmış betonların mekanik davranışlarını belirlemek istemiştir. CFRP (Karbon Lifleriyle Güçlendirilmiş Polimer) ve GFRP (Cam Lifleriyle Güçlendirilmiş Polimer) olmak üzere iki farklı sargı malzeme ile tek kat ve iki kat olmak üzere iki farklı sargı kalınlığı üzerinde çalışmıştır. Test sonucu olarak gerilme – şekil değiştirme ilişkisini gösteren grafikler hazırlamıştır.

Kaplan vd. (2017), CEM II A-B/W tipi çimento üretiminde kullanılan çimento kimyasallarının taze ve sertleşmiş harç özelliklerine etkisi araştırmışlardır. Çalışmalarında dört farklı çimento kimyasalı ve mineral katkı olarak ta uçucu kül kullanmışlardır. Çimento kimyasallarının kullanılması ve uçucu külün klinker ile birlikte öğütülmesi ile sürdürülebilirlik açısından çimento sektörüne katkı sağladığını ve özellikle %20 oranında uçucu kül kullanılması durumunda mekanik özellikleri yüksek çimentolar elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Öz (2014), kendiliğinden yerleşen betonda uçucu kül ve hibrid lifin etkileri üzerine bir çalışma yapmıştır. Karışımlarda uçucu kül ve çelik lif miktarı arttıkça basınç dayanımına paralel olarak eğilme dayanımında ve yarmada çekme dayanımının da artışlar gözlemlendiğini belirtmektedir.

Uygunoğlu ve Şimşek (2019)'da harçların mekanik ve fiziksel özellikleri ile elektriksel özelliklerini incelemişlerdir. Nano ölçekte grafen oksit içeren numunelerin basınç dayanımları, yarmada çekme dayanımları ve noktasal yükleme dayanımlarını belirlemişlerdir. İçerikteki grafen oksidin yapısal özelliğine paralel olarak elektriksel iletkenlik değerlerini ve %0,5 oranındaki karışımının basınç dayanımını arttırdığını belirlemişlerdir.

Korkut vd. (2017), kendiliğinden yerleşen betona çelik ve sentetik lifler katmışlardır. Numunelerin taze ve sertleşmiş özelliklerini incelemişler ve lif oranı arttıkça KYB'nin işlenebilirlik özelliğinin olumsuz etkilendiğini, yarmada ve eğilme dayanımlarında ise artış olduğunu belirlemişlerdir.

Kozak (2013), çalışmasında elik lifli betonların kullanım alanlarını araştırmış. Betonun eğilme dayanımını ve enerji yutma kapasitesini arttırdığını tespit etmiştir. Bu özelliği ile depreme dayanıklılık istenen yapıların inşasında, endüstri yapılarında, liman ve havaalanı kaplamalarında vb. kullanıma uygun olabileceğini belirtmektedir.

Akbaş (2017), ponza ve zeolit karışımlı numuneler oluşturmuş ve beton nemliliğinin, basınç dayanımı, ultra ses hızı ve yüzey sertlik değerlerini incelemiştir. Kullanılan ponza ve zeolit yüksek su içeriğinin izlenen özelliklere etkisini belirlemiş bununla birlikte ultrases geçiş hızı ve dayanımda artış tespit ettiğini belirtmektedir.

Boğa 2017'de yaptığı çalışmasında elikhane cürufu ve karbon lifli harçların mekanik ve elektriksel iletkenlik özelliklerini araştırmıştır. elikhane cürufunun yüksek oranda kullanılması ile mekanik özelliklerini iyileştiğini ve yine elikhane cürufu ve karbon lifinin birlikte kullanımında elektriksel iletkenlik özelliğinin geliştiğini bildirmektedir.

Demirel (2006), çalışmasında betonun elektrik iletkenliğinde meydana gelen değişimlerin tümü akıllılık olarak adlandırılan deformasyon ve hasarı sezme yeteneğini oluşturmaktadır demektedir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada su, CEM I 42,5 R çimento, Cen Standart Kumu karışımına 5 ve 10 mm boyutlarında karbon fiber çimentonun ağırlık olarak %0,5;%1;%3 oranlarında eklenmiştir. Çimentoya ikame olarak %10 ve %20 oranlarında F ve C sınıfı uçucu kül kombinasyonlu ve takviyesiz olmak üzere 33 tip numune oluşturulmuştur. Hata payını azaltmak adına her seri için 3'er adet, 4x4x16 cm ebatlarında numune hazırlanarak, 7,28 ve 56 günlük kür sürelerini tamamlayan numunelerin etüv kurusu ve doğal nemli durumlarına elektriksel iletkenlik, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Su emme değerleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda pik değerli numunelere SEM görüntüleme analizi yapılmıştır.

#### 3.1 Çimento

Çalışmada TS EN 197-1 ile uyumlu, tane yoğunluğu  $3,15 \text{ g/cm}^3$  ve özgül yüzeyi  $3740 \text{ cm}^2/\text{g}$  olan ve Şekil 3.1'de görülen CEM I 42.5 R Portland çimentosu özel bir çimento firmasının Ankara şubesinden temin edilmiştir. Tablo 3.1'de CEM I 42,5 R Portland Çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.1 CEM I 42,5 R Portland Çimentosu

Tablo 3.1 Çimentonun Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri.

Kimyasal Özellikler			Fiziksel Özellikler		
Bileşenler	CEM I 42.5R	TS EN 197-1	Özellikler	Değer	TS EN 197-1
CaO	63,93		Priz Başlama	141	≥60
SiO <sub>3</sub>	19,49	C+S≥%50	Priz Bitiş	202	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,36	-	Yoğunluk (g/ cm <sup>3</sup> )	3,15	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,40	-	Blaine İnceliği cm <sup>3</sup> /g)	3866	-
MgO	1,67	Lim. ≤ %5	32μ Elekte Kalan	7,7	-
Na <sub>2</sub> O	0,27	-	90μ Elekte Kalan	0,1	-
K <sub>2</sub> O	0,67	-	Toplam Hacim Genleşmesi	1	≤ 10 mm
KızdırmaKaybı	2,91	≤ %5	Genleşme	-	-
Çözülme Kalıntı	0,32	≤ %5	2 GünlükDayanım	28,1	≥ 20,0 Mpa
Kükürt Trioxide	28,1	≥ 20,0 Mpa	7 GünlükDayanım	45,7	-
Klorür (Cl- )	0,0089	≤ % 0,1	GünlükDayanım	56,8	≥ 42,5 Mpa ≤62,5 MPa

### 3.2 Agregası

Harç numunelerinin hazırlanmasında TS EN 196-1 uygun Cen Standart Kumu kullanılmıştır. Bağlı yoğunluk 2,60-2,65 g/cm<sup>3</sup> 'tür. Şekil 3.2'de görülen Cen Standart Kumu özel bir beton santralinin Trakya şubesinden temin edilmiştir. Tablo 3.2'de Cen Standart Kumu granülometrisi verilmiştir.



Şekil 3.2 Cen Standart Kumu

Tablo 3.2 CEN Standart Kumu Granülometrisi

Göz Açıklığı (mm)	Kümülatif kalan (%)
2,00	0
1,6	7 ± 5
1	33 ± 5
0,5	67 ± 5
0,16	87 ± 5
0,08	99 ± 1
2	0

### 3.3 Karbon Fiber

Teknoloji ürünü olan karbon elyaf, diğer adıyla karbon fiber ipliksi ve hafif yapılı bir maddedir. Katran, naylon ve orlondan oluşuyor olması, kullanım alanlarını arttırmaktadır (Anonim). Bununla beraber uzun ömürlü olması nedeniyle de tercih sebebidir. Karbon elyafın yoğunluğu çeliğe oranla düşüktür. Bu da karbon elyafı yüksek ağırlık oranı gerektiren uygulamalar için eşsiz bir malzeme yapmaktadır. Günümüzde uçaklarda, roket sistemlerinde, uydularda, yarış arabalarının iskelet sisteminde yaygın olarak kullanılan karbon fiber malzeme, çelik malzemedен 4,5 kat daha hafif olup 3 kat daha dayanıklıdır. Airbus, Boeing gibi önde gelen havacılık firmaları da uçakların imalatının yanı sıra inşaat sektörü de karbon elyaf teknolojisini

yaygın olarak kullanılmaktadır. Halihazırda dünyada sadece 40 bin ton üretilen büyük öneme sahip karbon elyafın Türkiye’de de üretimi başlamıştır. Bu Çalışmada kullanılan ve Şekil 3.3’te verilen karbon fiber lifler, Yalova iline ait özel bir firmadan temin edilmiştir. Tablo 3.3’te karbon lifinin teknik özellikleri görülmektedir.



Şekil 3.3 Karbon Fiber Lifler

Tablo 3.3 Karbon Lifinin Teknik Özellikleri.

Özellik	Değer
Yoğunluk	1,82 gr/cm <sup>3</sup>
Filament Çapı	15± 3 µm
Elastisite Modülü	230GP
Elektrik Direnci	1,6 x 10 <sup>-5</sup> Ωm
Kopmada Uzama	%1,5
Çekme Dayanımı	3,43 GPa

### 3.4 Uçucu Kül

Uçucu kül, kömürle çalışan termik elektrik santrallerinden elde edilen bir atık türüdür. Türkiye’deki santrallerde yıllık ortalama 13 milyon kadar uçucu kül üretimi yapılmakla birlikte enerji ihtiyacı göz önüne alınarak bu oranın gelecekte artacağı tahmin edilmektedir. Her endüstriyel atık gibi uçucu külden de yararlanmak için çeşitli araştırmalar yapılmış ve yaygın olarak çimento betonda katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (TÇMB, 2009).

#### 3.4.1 Uçucu Küllerin Sınıflandırılması

Uçucu küllerin sınıflandırılmasında, kimyasal bileşen yüzdesine göre esas olarak ASTM C 618 ve TS EN 197-1 standartları baz alınmaktadır. ASTM C 618 standardına

göre uçucu küller F ve C sınıflarına ayrılırlar. TS EN 197-1'e göre sınıflandırmada uçucu küller silissi V sınıfı ve kalkersi W sınıfı olmak üzere ikiye ayrılırlar (TÇMB, 1996). Bu çalışmada ASTM C 618' e göre F ve C sınıfı uçucu küller kullanılmıştır. Tablo 3.4'te kullanılan uçucu küllerin kimyasal özellikleri görülmektedir.

Tablo 3.4 C ve F Sınıfı Uçucu Külün Kimyasal Özellikleri.

UçucuKül	C Sınıfı (Soma)	F Sınıfı (Çayırhan)
SiO <sub>2</sub>	42,82	50,98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,82	13,11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,57	9,74
S+A+F	68,21	73,83
CaO	23,45	11,82
MgO	1,74	3,91
SO <sub>3</sub>	1,47	3,94
K <sub>2</sub> O	1,31	1,91
Na <sub>2</sub> O	0,32	2,71
KK	2,75	0,86
Cl	0,010	0,014

#### 3.4.1.1 C sınıfı uçucu kül

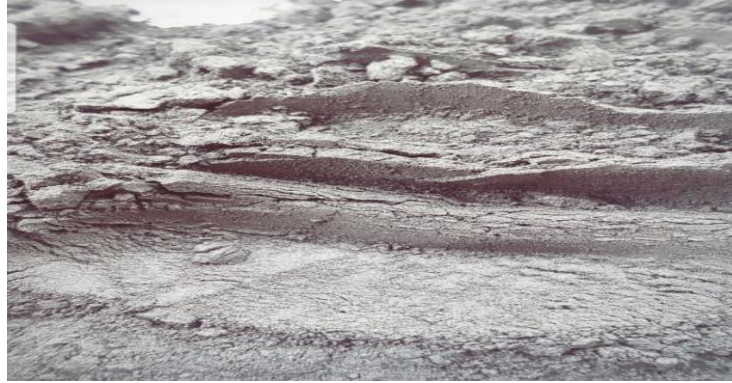
C sınıfı uçucu küller, linyit veya yarı-bitümlü kömürden üretilen ve toplam SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı %50'den fazla olan küllerdir ve puzolanik özelliğin yanısıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler, CaO> %10 olduğu için bu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılırlar. Harç numunelerde C sınıfı olarak Şekil 3.4'te görülen Soma Termik Santrali uçucu külü kullanılmıştır. Özgül ağırlığı 2,41g/cm<sup>3</sup>, 90µm elek bakiyesi (%) 33;7;45µm elek bakiyesi (%) 52,6'tir (TÇMB, 1996).



Şekil 3.4 Soma Termik Santrali uçucu külü

#### 3.4.1.2 F sınıfı uçucu kül

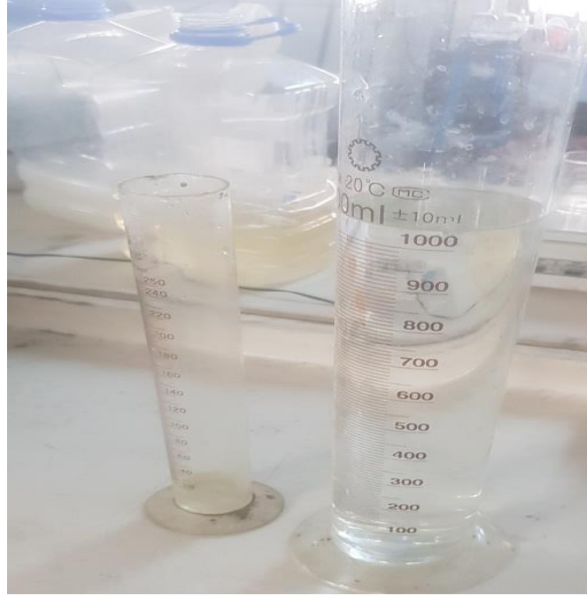
F sınıfı uçucu küller, bitümlü kömürden üretilen ve toplam  $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$  yüzdesi %70'den fazla olan uçucu küllerdir ve puzolanik özelliğe sahiptir, CaO yüzdesi %10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da bilinmektedir. Harç numunelerde F sınıfı olarak Şekil 3.5'te görülen Çayırhan Termik Santrali uçucu külü kullanılmıştır. Özgül ağırlığı  $2,36\text{g}/\text{cm}^3$ , 90 $\mu\text{m}$  elek bakiyesi (%) 6, 7, 45 $\mu\text{m}$  elek bakiyesi (%) 24,5'tir (TÇMB, 1996).



Şekil 3.5 Çayırhan Termik Santrali uçucu külü

### 3.5 Su

Tüm karışımlarda su/çimento oranı TS EN 12350-5'e göre Yayılma Tablası Deneyinde 220mm-230mm aralığında kalacak şekilde belirlenmiştir. Deneylerde Yenimahalle / Ankara şehir şebeke suyu kullanılmıştır.



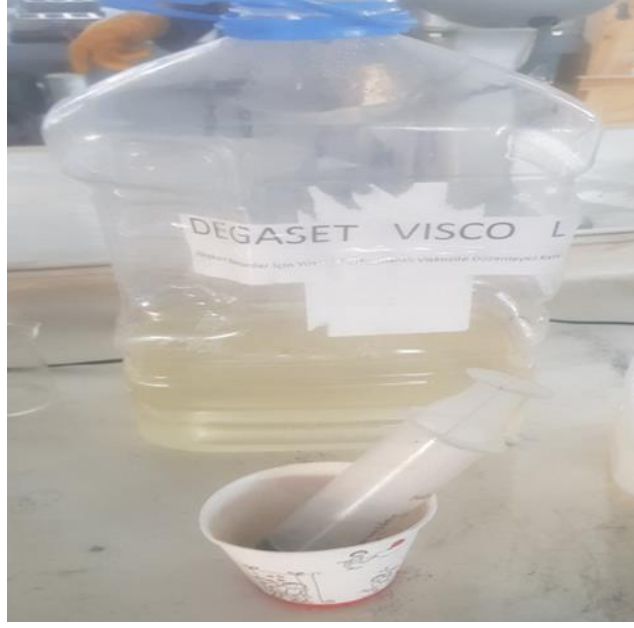
Şekil 3.6 Su

### 3.6 Katkı Maddesi

Yapılan literatür araştırmasında karbon fiberin karışım materyallerinden düşük yoğunlukta olması nedeniyle ayrıştığı bilgisine dayanarak viskozite düzenleyici katkı maddesi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan Degaset Visco L marka kullanılmıştır. Tablo 3.5'te teknik özellikleri verilen katkı maddesi Ankara ilinde faaliyet gösteren özel bir firmadan temin edilmiştir. Betonda akışkanlık, geçiş özelliği ve ayrışma direnci arasındaki doğru dengeyi sağlar ve karışım içerisinde viskozite seviyesini ayarlar. Ayrıca, selüloz esaslı sulu bir çözeltilidir.

Tablo 3.5 Degaset Visco L Teknik Özellikleri.

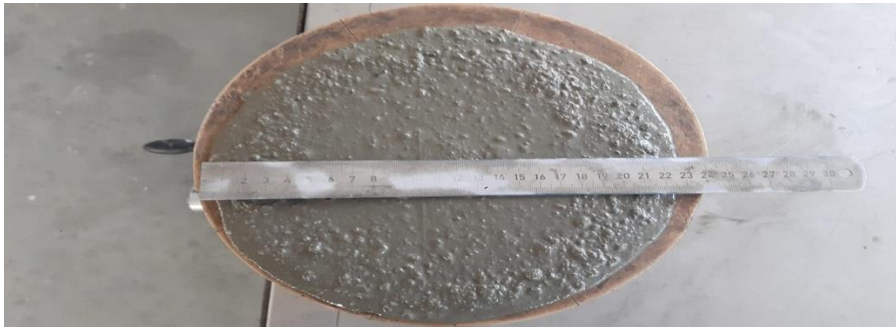
Özellik	Değer
Yoğunluk	$0,98 \pm 0,02 \text{ gr/cm}^3$
Ph	6-9
Klor İçeriği%	<0,1
Renk	Açık sarı
Alkali Miktarı %	<5



Şekil 3.7 Degaset Visco L Katkı maddesi

### 3.7 Uygulama Yöntemleri

Bu çalışma betonun heterojenliğini azaltmak adına harç numuneler oluşturularak yapılmıştır. Bağlayıcı olarak CEM I 42.5 R Portland çimentosu, agrega olarak Cen Standart Kumu, mineral katkı olarak çimentoya ikame %10 ve %20 oranlarında C ve F sınıfı uçucu kül, elektriksel iletkenliğin sağlanması için %0,5;1;3 oranlarında karbon fiber kullanılmıştır. Karbon fiberin harç içerisinde homojen dağılımının sağlanması amacıyla Degaset Visco L katkı maddesi kullanılmıştır. Katkı maddesi dozajı çimentonun ağırlıkça %0,1-1,0 arasında kalacak şekilde kullanılmış ve su/çimento oranı Şekil 3.8’de de görülen, yayılma tablası deneyinde 22-23 cm aralığında kalacak şekilde belirlenmiştir.



Şekil 3.8 Yayılma Tablası Deneyi

Tablo 3.6’da harç karışım oranları görülmektedir. Birinci kontrol numuneleri karbon fiber katkısız ve uçucu külsüz, çimentonun ağırlıkça %0,5;1;3 karbon fiber katkılı olarak hazırlanmıştır. İkinci kontrol numuneleri ise çimentoya ağırlıkça ikame olarak %10, 20 oranlarında, ayrı ayrı F ve C sınıfı uçucu küllü olarak oluşturulmuştur. Üçüncü kontrol numunelerinde ayrı ayrı F ve C sınıfı %10, %20 uçucu küllü tüm serilere çimentonun ağırlıkça %0,5;1;3 oranlarında karbon fiber ve çimentonun ağırlıkça %0,1- 1,0 oranında katkı maddeli olarak hazırlanmıştır.

Tablo 3.6 Harç Karışım Oranları. (kg/m<sup>3</sup>)

Numune	Çimento	Kum	Uçucu Kül	Karbon Fiber	Su	Katkı
KNT 0	450	1350	0	0	225	0
KNT+CF%0,5	450	1350	0	2,25	225	0,45
KNT+CF% 1	450	1350	0	4,5	225	0,45
KNT +CF%3	450	1350	0	13,5	225	0,45
C-F%10	405	1350	45	0	235	0
C-F%10+CF%0,5	405	1330	45	2,25	235	0,45
C-F%10+CF%1	405	1330	45	4,5	235	0,45
C-F%10+CF%3	405	1330	45	13,5	235	0,45
C-F%20	360	1330	90	0	245	0
C-F%20+CF%0,5	360	1310	90	2,25	245	0,45
C-F%20+CF%1	360	1310	90	4,5	245	0,45
C-F%20+CF%3	360	1310	90	13,5	245	0,45



Şekil 3.9 Karışımın hazırlanma aşamaları

Materyaller, harç karıştırıcısı ile 1 dakika kuru olarak, karışım suyu ilave edildikten sonra ise 3 dakika karıştırılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar kalıp yağı ile yağlanmış 4x4x16 cm boyutlu prizmatik kalıplara sıkışmayı sağlayacak şekilde üç aşamada doldurulmuştur. Şekil 3.9’da numunelerin hazırlanma aşamaları görülmektedir. Her seri 3’er adet olacak şekilde 33 farklı seri, karışım oranı hazırlanmıştır. Numuneler 24 saat sonra kalıptan alınmış ve 7, 28, 56 günlük sürede kür havuzunda bekletilmiştir. Şekil 3.10’da kür havuzundan alınmış numuneler görülmektedir.



Şekil 3.10 Kür havuzundan alınmış numuneler

Kür sürelerini tamamlamış numunelerin nemli olarak tartımları yapılmış ve elektriksel özdirenç ölçümü yapıldıktan sonra Şekil 3.11’de görülen ve  $100 \pm 5$  °C olan etüvde 24 saat bekletilmiştir.



Şekil 3.11 Etüvde bekletilen ve tartımı yapılan numune örneği

Etüvden alınan nem koşullarından bağımsız numuneler oda sıcaklığına geldikten sonra tartılmış ve elektriksel özdirenç ölçümü yapılmıştır. Özdirenç ölçümleri tamamlanan numuneler eğilmede çekme ve basınç dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur.

Elektriksel özdirenç, eğilmede çekme ve basınç dayanımı deneyleri ile elektriksel direnç ölçümlerinde pik değerlere yakın olan numunelerin SEM analizleri yapılmıştır.

### 3.7.1 Elektriksel Özdirenç

Özdirenç; birim uzunluk ve kesit alana sahip bir iletkenin elektrik akımına karşı ne ölçüde direnç gösterdiğinin tanımlanmış bir ölçüsüdür. Özdirenç iletkenin geometrik ölçülerinden bağımsız bir büyüklük olup, sadece iletkenin yapıldığı maddenin özellikleriyle ilgilidir. Elektriksel özdirenç tekniklerinin arkasındaki ana fikir, betonun mikro yapısının iletkenlik özelliklerini ölçmektir. Betonun elektriksel direnci, betonun bir elektrik alanına maruz kaldığında iyonların transferine dayanma yeteneği olarak tanımlanabilir. Elektriksel özdirenç ölçümü, beton malzemeleri test etmek için tahribatsız bir yaklaşım sağlar, bu da onu çeşitli kalite kontrol projeleri, durum değerlendirme amaçları ve araştırma programları için uygun hale getirir (Giatec Scientific). Deneyde Şekil 3.12’de görülen Fluke ve Rcon markalarında iki farklı özdirenç ölçer kullanılmış ve değerler karşılaştırılmıştır. Rcon marka elektriksel özdirenç ölçer alternatif bir akım kaynağına bağlı, ıslak süngerli iki paralel elektrot plakasının arasına sertleşmiş harç numunesi yerleştirilerek ölçüm yapılır. Fluke marka elektriksel özdirenç ölçer akım kaynağına bağlı uçlar bakır levha, ıslak sünger ikilisinin arasına sertleşmiş harç numunesinin yerleştirilmesi ile okuma yapılır. Şekil 3.13’te elektriksel özdirenç ölçümü yapılan numune görülmektedir. Elektriksel özdirenç ölçümü, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Beton Laboratuvarı’nda yapılmıştır. Deneyden önce 1  $\Omega$ ·m değere sahip iletken tel ile ölçüm yapılmış ve doğruluğu teyit edilmiştir. Bu uygulama değişken zamanlarda tekrarlanarak ölçümün hata payı azaltılmaya çalışılmıştır. Elektriksel özellik olarak 7, 28 ve 56 günlük nemli ve etüv kurusu haldeki her numune için üçer seri olacak şekilde ASTM C 1760 (2012) standardına uygun olarak yapılmıştır. Her deney için üç numune üzerinde elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.12 Fluke Marka ve Rcon Marka özdirenç ölçerler



Şekil 3.13 Özdirenç ölçümü yapılan numune örneği

### 3.7.2 Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi

Eğilmede çekme dayanımı deneyi, malzemenin mukavemeti hakkında bilgi sahibi olmak malzemenin eğilme karşısında mekanik özelliklerini belirlemek ve tasarım verilerini incelemek için kullanılan bir yöntemdir. Eğilmede çekme dayanımı deneyi, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Beton Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Numunelerden alınan deney verileri 7,28 ve 56 günlük olarak ve her numune için üçer seri olacak şekilde Şekil 3.14'te görüldüğü gibi TS EN 12390-5 standardına göre, numune ortadan yüklenerek, eğilmede çekme dayanımı tayini yapılmıştır. Elde edilen verilerin ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.14 Eğilmede çekme dayanımı deney uygulaması

### 3.7.3 Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç Dayanımı Deneyi betonun tasarım aşamasında öngörülen beton sınıfının ve dayanımının sağlanıp sağlanmadığının kontrolü için yapılmaktadır. Basınç dayanımı deneyi, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Beton Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Numunelerden alınan deney verileri 7,28 ve 56 günlük olarak ve her numune için üçer seri olarak Şekil 3.15'te görüldüğü üzere TS EN 12390-4 standardına göre, basınç dayanımı tayini yapılmıştır. Elde edilen verilerin ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.15 Basınç dayanımı deney uygulaması

#### 3.7.4 Mikroyapının İncelenmesi

Betonun dayanıklılığı büyük ölçüde gözenek ağı boyutu ve ara bağlantılar gibi mikro yapısının özelliklerine bağlıdır. Harç numunelerin mikro yapısını ve karbon fiberin numune içerisindeki dağılımını görmek için mikroyapısı SEM (Scanning Electron Microscope), ile incelenmiştir. SEM veya taramalı elektron mikroskobu odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntü elde eden bir elektron mikroskobu tipidir. Uygulama dayanım deneyleri ile elektriksel direnç ölçümlerinde pik değerli ve pik değerlere yakın olan numunelerle Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Malzeme Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

#### 3.7.5 Su Emme

Su emme oranı, malzeme tarafından emilen su ağırlığının, malzemenin kuru ağırlığına oranı olarak tanımlanmaktadır. Betonun elektriksel direnci, su emme ile yakından ilişkilidir. Numune ölçümleri, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Beton Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Numuneler doğal nemli ve etüv kurusu halde 7,28 ve 56 günlük olarak ve her numune için üçer seri olacak şekilde tartılmıştır. Elde edilen verilerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

## 4. BULGULAR

### 4.1 Elektriksel Özellik Bulguları

Elektriksel özdirenç hesaplamalarında;

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (4.1)$$

formülasyonu kullanılmıştır.

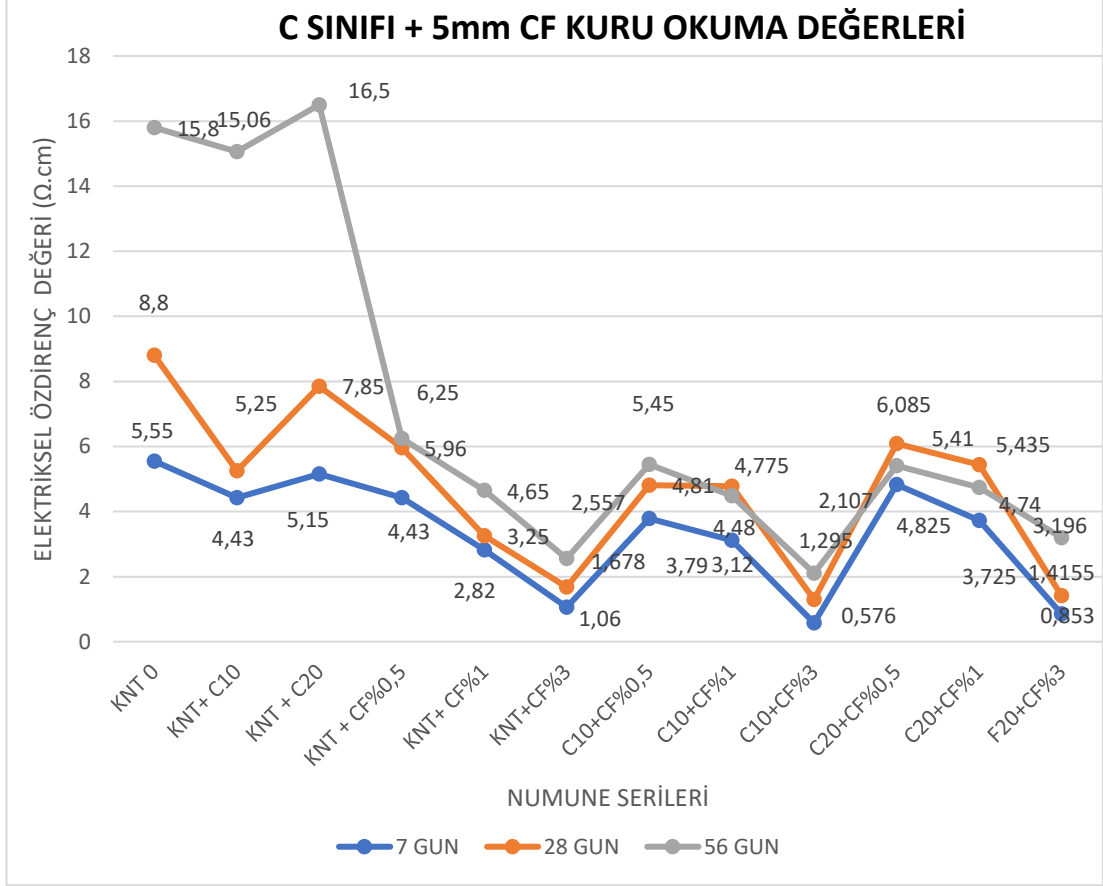
R= Direnç (ohm)

$\rho$  = Özdirenç (ro)

L= Numunenin boyu (cm)

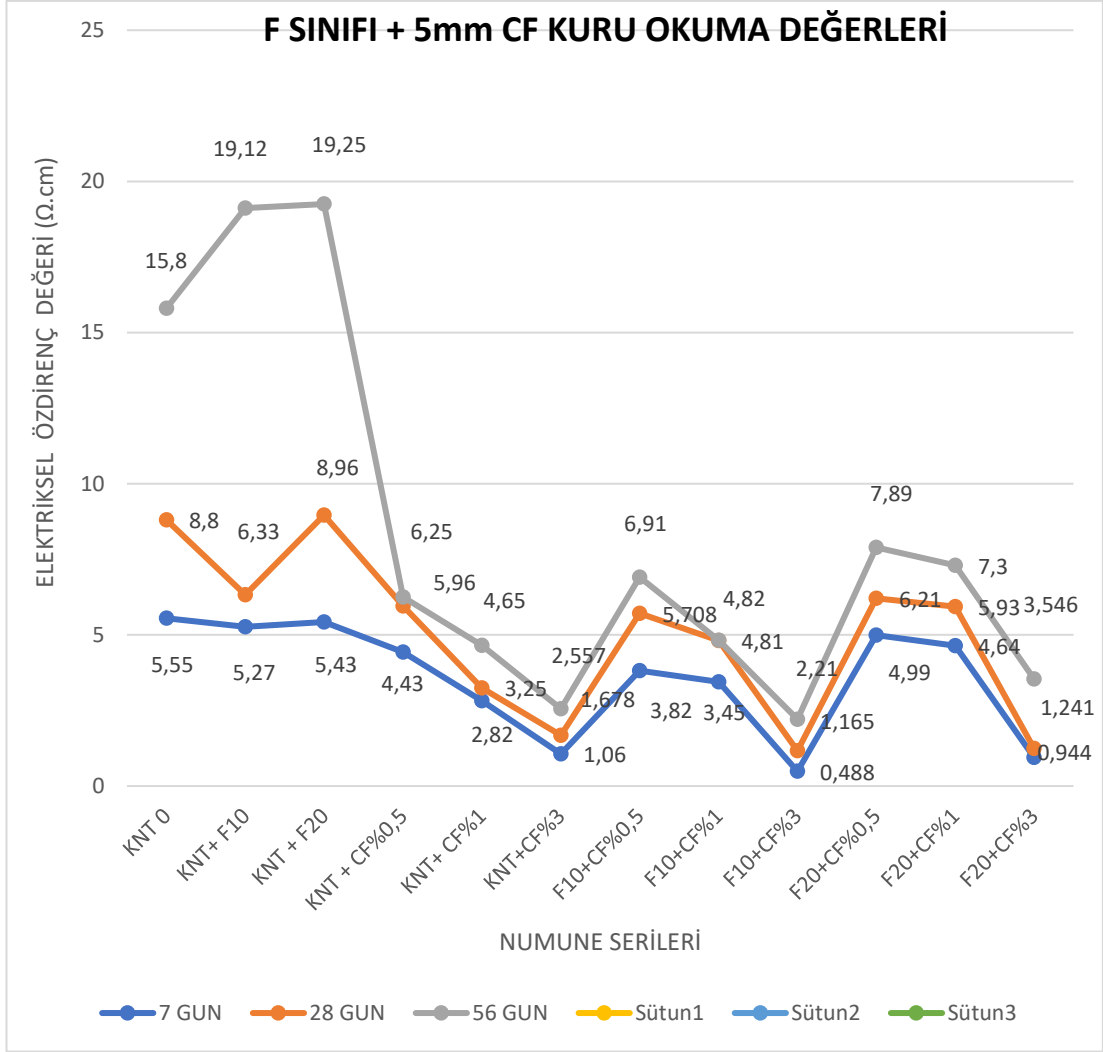
A= Numunenin yüzey alanı (cm<sup>2</sup>)

C sınıfı uçucu kül takviyeli, 5mm boyutundaki karbon fiber katkılı numunelerde etüv kurusu durumlarına yapılan elektriksel özdirenç ölçümüne göre karbon fibersiz numunelerde %10 C sınıfı uçucu küllü seri %20 C sınıfı uçucu küllü seriye kıyasla daha iletken olduğu görülmektedir. Grafik 4.1’de görüldüğü üzere karışımda çimentonun ağırlıkça %3’ü oranında kullanılan karbon fiber iletkenliği arttırmaktadır. %10 oranında uçucu küllü ve karbon fiber katkılı karışımların %20 oranında uçucu küllü ve karbon fiberli karışımlara oranla daha iletken olduğu izlenmiştir. Uçucu küllü serilerle uçucu külsüz seriler karşılaştırıldığında %0,5 ve %1 oranında karbon fiber içeren serilerde uçucu kül kullanımı iletkenliği azaltırken %3 karbon fiberli serilerin değerleri birbirine çok yakın seyretmektedir. C sınıfı ve 5mm karbon fiber katkılı serinin etüv kurusu özdirenç ölçüm bulgularına göre 7 ve 28 günlük seriler de en iyi iletkenliğin C10+CF%3 numunesinde izlenmiştir.



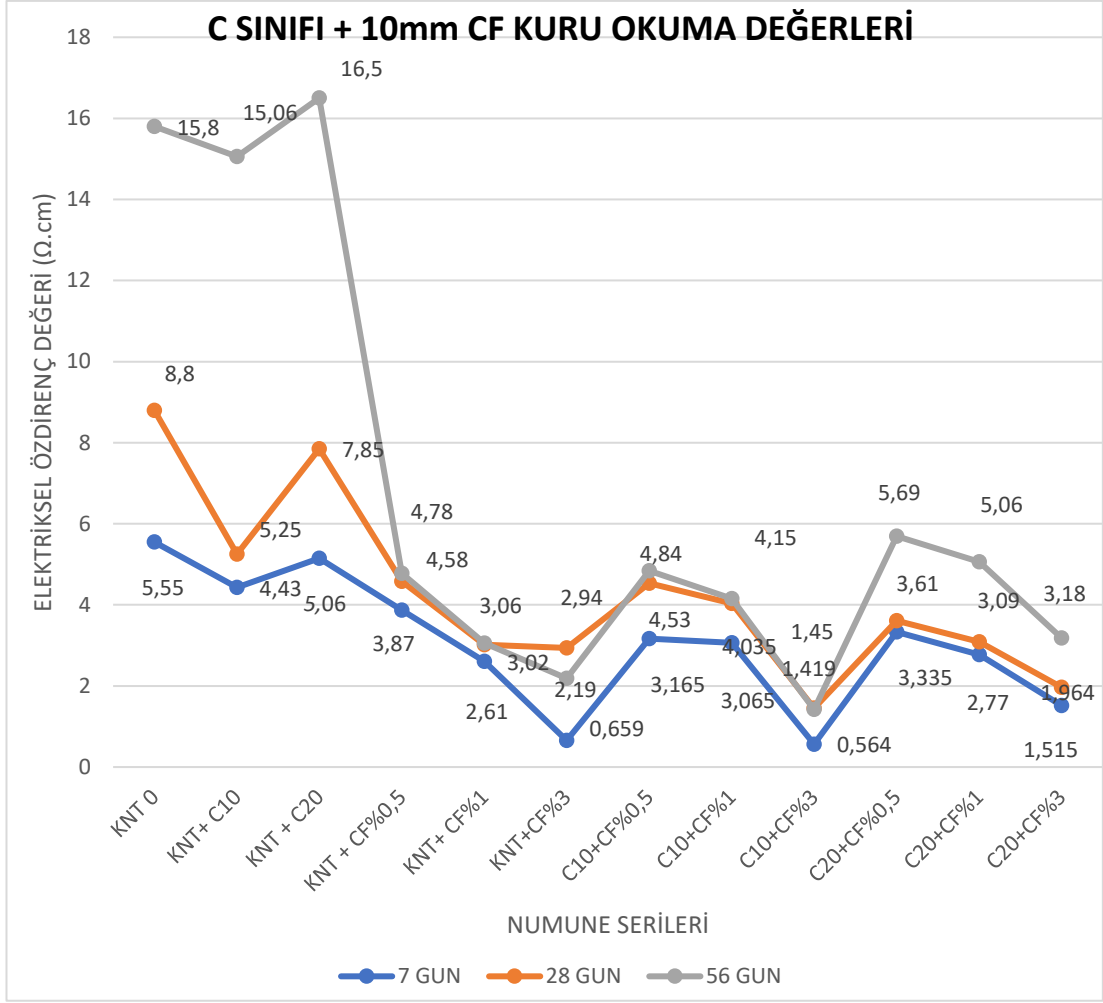
Grafik 4.1 C sınıfı ve 5mm karbon fiber katkılı serinin kuru öz direnç ölçüm bulguları

F sınıfı uçucu kül takviyeli, 5mm boyutundaki karbon fiber katkılı numunelerin etüv kurusu durumlarına yapılan elektriksel öz direnç ölçümüne göre karbon fibersiz numunelerde %10 F sınıfı uçucu küllü seri %20 F sınıfı uçucu küllü seriye kıyasla daha iletkenidir. Grafik 4.2’de görüldüğü üzere karışımda çimentonun ağırlıkça %3’ü oranında kullanılan karbon fiber iletkenliği arttırmaktadır. %10 ve %20 oranında uçucu küllü ve karbon fiber katkılı karışımların iletkenlik değerlerinin birbirine yakın olduğu izlenmiştir. F sınıfı ve 5mm karbon fiberli serinin etüv kurusu öz direnç ölçüm bulgularına göre en iyi iletkenliğin F10+CF%3 numunesinde izlenmiştir.



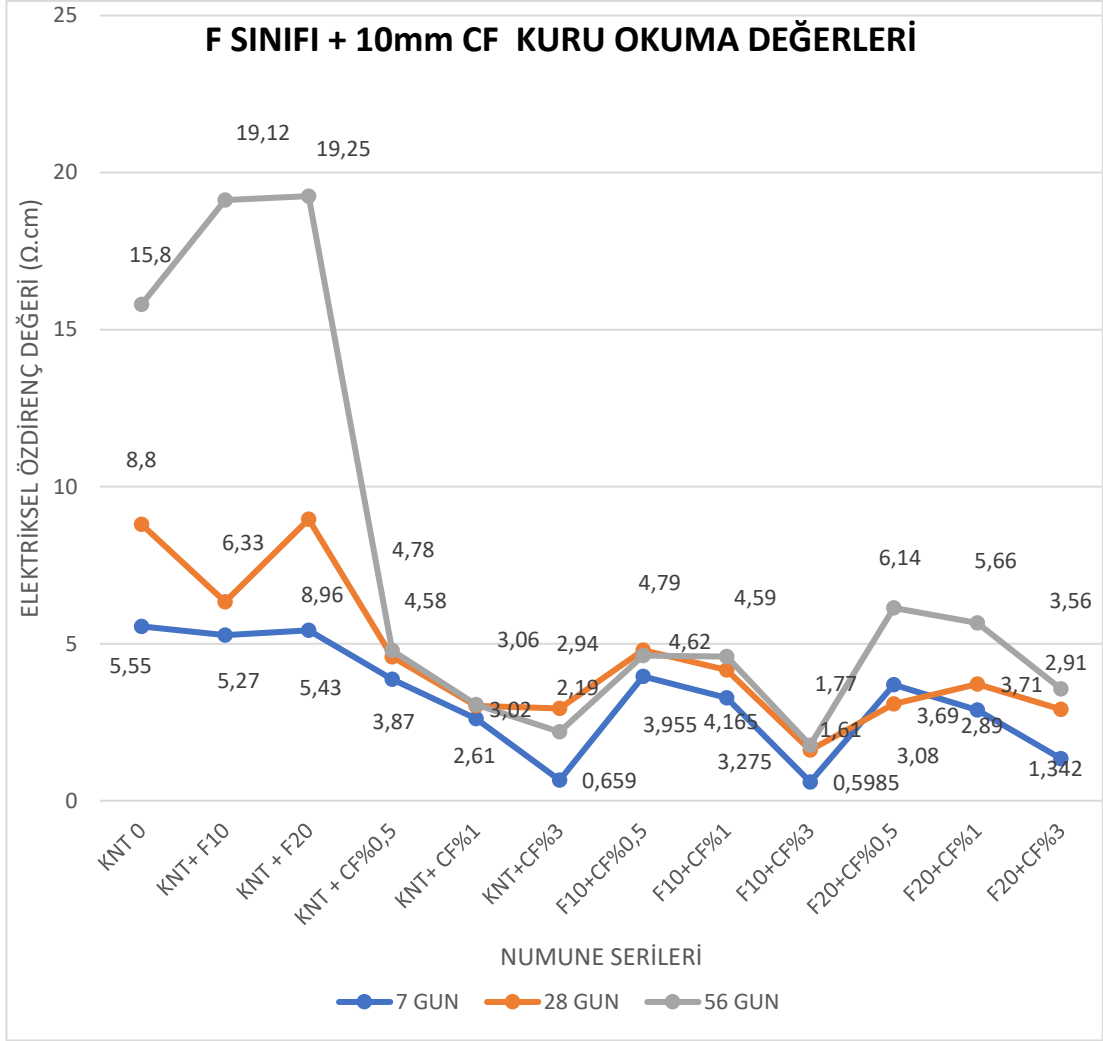
Grafik 4.2 F sınıfı ve 5mm karbon fiber katkılı serinin kuru öz direnç ölçüm bulguları

C sınıfı uçucu kül takviyeli, 10mm boyutundaki karbon fiberli numunelerin etüv kurusu durumlarına yapılan elektriksel öz direnç ölçümüne göre karbon fibersiz numunelerde %10 C sınıfı uçucu küllü seri %20 C sınıfı uçucu küllü seriye kıyasla daha iletkenidir. Grafik 4.3’de görüldüğü üzere karışımda çimentonun ağırlıkça %3’ü oranında kullanılan karbon fiber tüm serilerde iletkenliği arttırmaktadır. C sınıfı ve 5mm karbon fiberli serinin etüv kurusu öz direnç ölçüm bulgularına göre 7, 28 ve 56 günlük seriler de en iyi iletkenliğin C10+CF%3 numunesinde izlenmiştir.



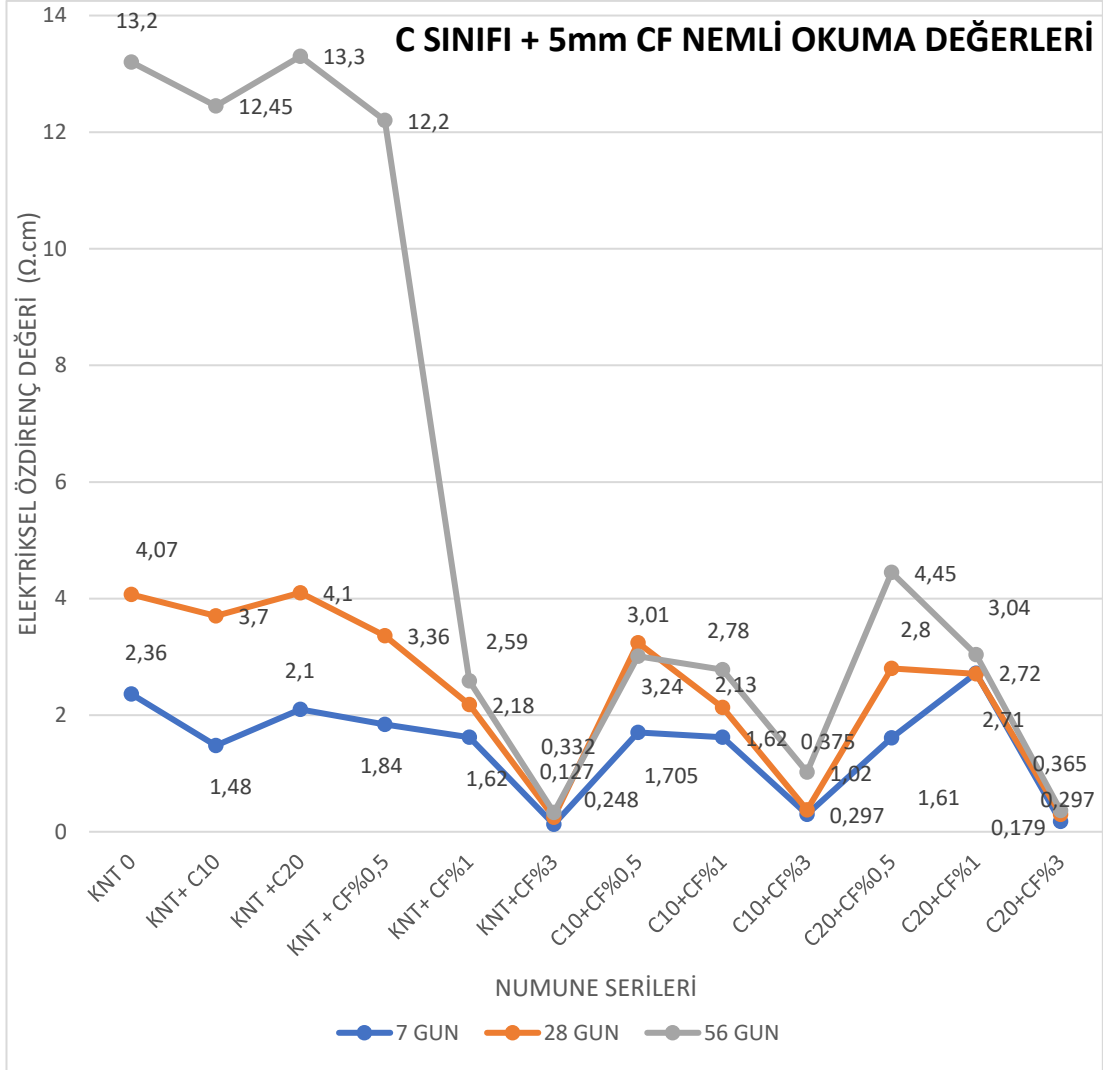
Grafik 4.3 C sınıfı ve 10mm karbon fiber katkılı serinin kuru öz direnç ölçüm bulguları

F sınıfı uçucu kül takviyeli, 10mm boyutundaki karbon fiber katkılı numunelerin etüv kuru durumlarına yapılan elektriksel öz direnç ölçümüne göre karbon fibersiz numunelerde %10 F sınıfı uçucu küllü seri %20 F sınıfı uçucu küllü seriye kıyasla daha iletkenidir. Grafik 4.4'de görüldüğü üzere karışımda çimentonun ağırlıkça %3'ü oranında kullanılan karbon fiber tüm serilerde iletkenliği arttırmaktadır. Karbon fiber katkılı ve uçucu küllü serilerde %10 uçucu kül oranlı seri %20 uçucu kül oranlı seriye kıyasla daha iletkenidir. Uçucu külsüz ve karbon fiberli seriler uçucu küllü ve karbon fiberli serilere kıyasla daha iletkenidir. F sınıfı ve 10mm karbon fiberli serinin etüv kuru öz direnç ölçüm bulgularına göre 7, 28 ve 56 günlük seriler de en iyi iletkenliğin KNT+CF%3 ve F10+CF%3 numunelerinde izlenmiştir.



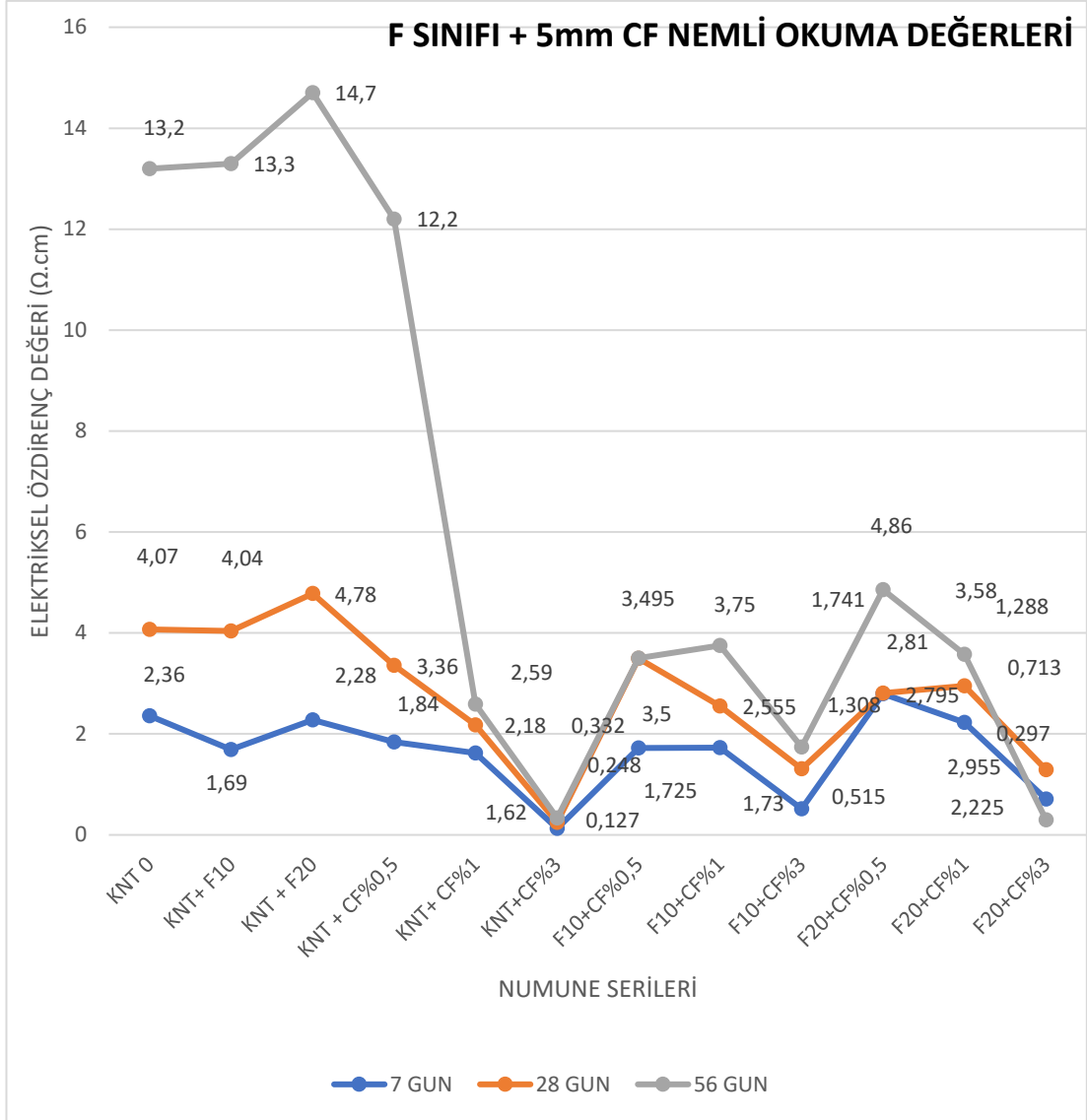
Grafik 4.4 F sınıfı ve 10mm karbon fiber katkıli serinin kuru öz direnç ölçüm bulguları.

C sınıfı uçucu kül takviyeli, 5mm boyutundaki karbon fiber katkıli numunelerin doğal nemli durumlarına yapılan elektriksel öz direnç ölçümüne göre uçucu külsüz serilerde kontrol numunesine kıyasla karbon fiber oranı arttıkça iletkenlik artmaktadır. Grafik 4.5’de görüldüğü üzere karışımda çimentonun ağırlıkça %3’ü oranında kullanılan karbon fiber tüm serilerde iletkenliği arttırmaktadır. Karbon fiber katkıli ve uçucu küllü serilerde %10 uçucu kül oranlı seri %20 uçucu kül oranlı seriye kıyasla daha iletkenidir. C sınıfı ve 5mm karbon fiberli serinin doğal nemli öz direnç ölçüm bulgularına göre 7 ve 28 günlük serilerde KNT+CF%3 ve C20+CF%3 numunelerinde izlenmiştir.



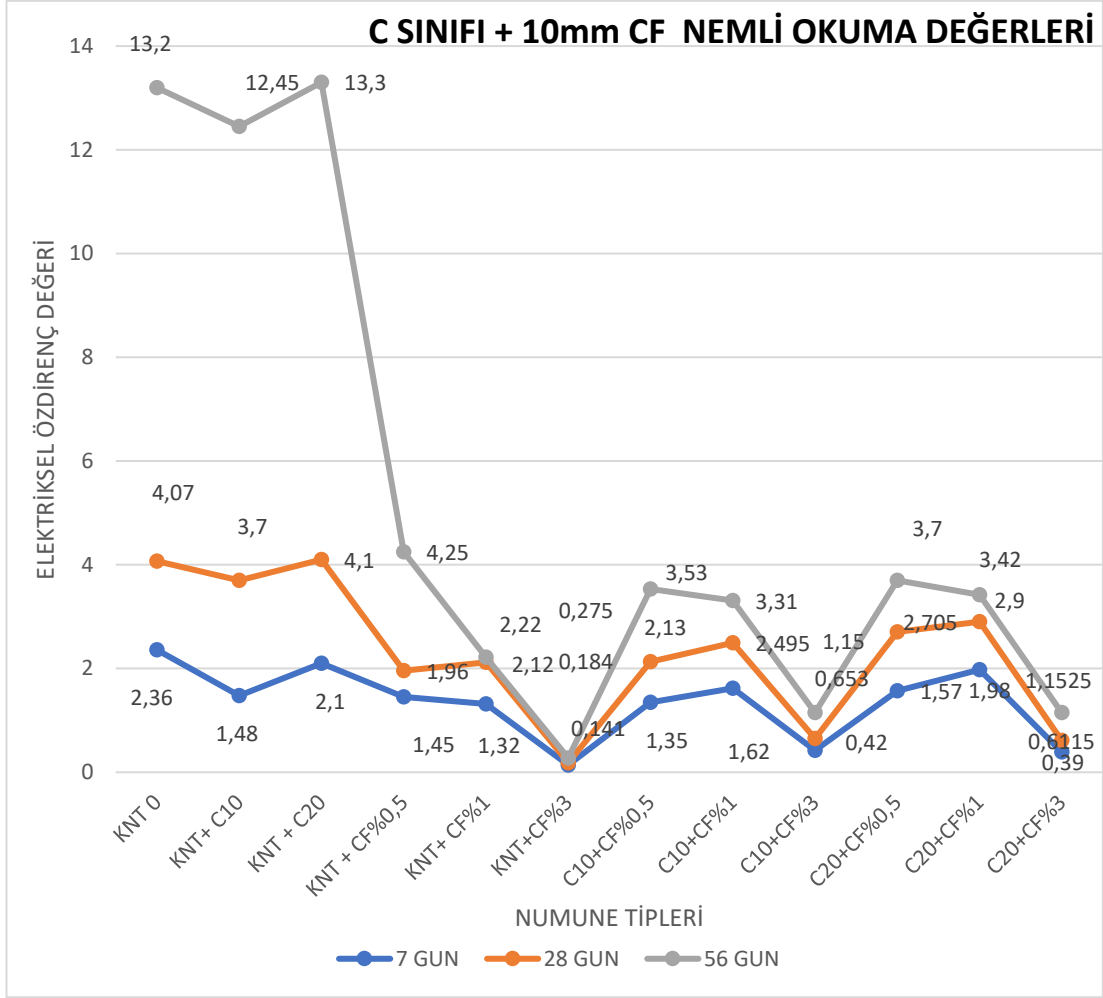
Grafik 4.5 C sınıfı ve 5mm karbon fiber katkılı serinin doğal nemli öz direnç ölçüm bulguları.

F sınıfı uçucu kül takviyeli, 5mm boyutundaki karbon fiber katkılı numunelerin doğal nemli durumlarına yapılan elektriksel öz direnç ölçümüne göre kontrol numunesine kıyasla karbon fiber oranı arttıkça iletkenlik artmıştır. Grafik 4.6'de görüldüğü üzere karışımda çimentonun ağırlıkça %3'ü oranında kullanılan karbon fiber tüm serilerde iletkenliği arttırmaktadır. Karbon fiber katkılı ve uçucu küllü serilerde %10 uçucu küllü serilerin %20 uçucu küllü serilere kıyasla daha iletken olduğu izlenmiştir. F sınıfı ve 5mm karbon fiberli serinin doğal nemli öz direnç ölçüm bulgularına göre 7, 28 ve 56 günlük serilerde en iyi iletkenlik KNT+CF%3 numunesinde izlenmiştir.



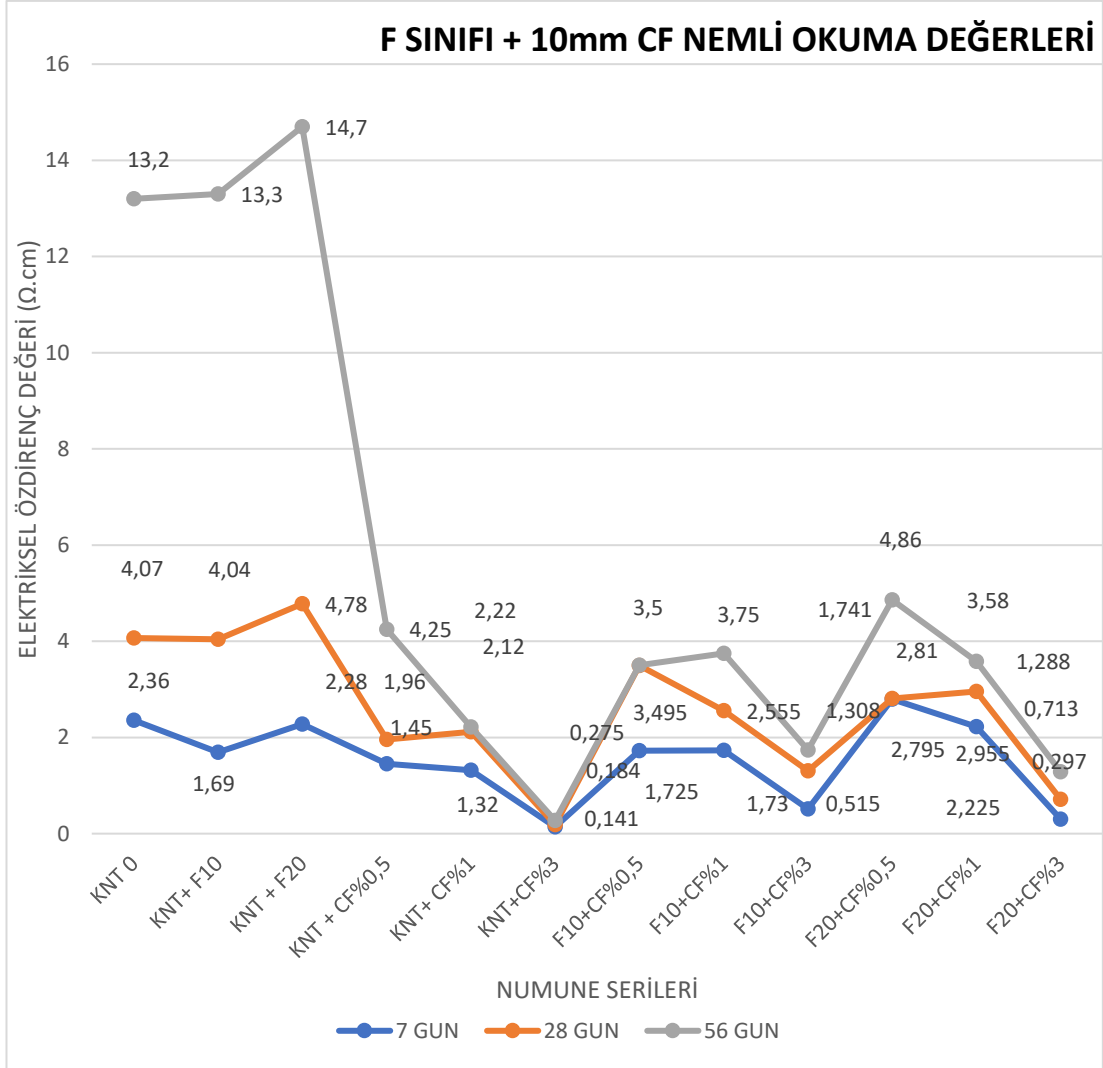
Grafik 4.6 F sınıfı ve 5mm karbon fiber katkılı serinin doğal nemli özdirenç ölçüm bulguları

C sınıfı uçucu kül takviyeli, 10mm boyutundaki karbon fiber katkılı numunelerin doğal nemli durumlarına yapılan elektriksel özdirenç ölçümüne göre kontrol numunesine kıyasla karbon fiber oranı arttıkça iletkenlik artmıştır. Grafik 4.7’de görüldüğü üzere karışımda çimentonun ağırlıkça %3’ü oranında kullanılan karbon fiber tüm serilerde iletkenliği arttırmaktadır. Karbon fiber katkılı ve uçucu küllü serilerde %10 ve %20 C sınıfı uçucu küllü serilerde birbirine yakın iletkenlik değeri görülmüştür. C sınıfı ve 10mm karbon fiber katkılı serinin doğal nemli özdirenç ölçüm bulgularına göre 7, 28 ve 56 günlük serilerde en iyi iletkenlik KNT+CF%3 numunesinde izlenmiştir.



Grafik 4.7 C sınıfı ve 10mm karbonfiber katkılı serinin doğal nemli özdirenç ölçüm bulguları

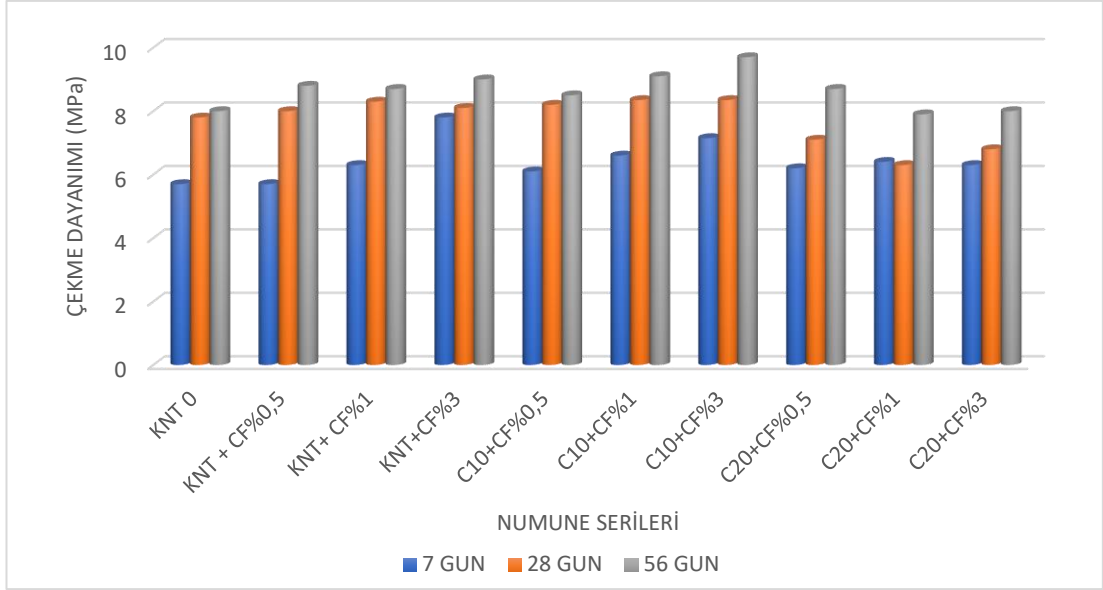
F sınıfı uçucu kül takviyeli, 10mm boyutundaki karbon fiber katkılı numunelerin doğal nemli durumlarına yapılan elektriksel özdirenç ölçümüne göre kontrol numunesine kıyasla karbon fiber oranı arttıkça iletkenlik artmıştır. Grafik 4.8’de görüldüğü üzere karışımda çimentonun ağırlıkça %3’ü oranında kullanılan karbon fiber tüm serilerde iletkenliği arttırmaktadır. Karbon fiber katkılı ve uçucu küllü serilerde %10 F sınıfı uçucu küllü seriler %20 F sınıfı uçucu küllü serilere kıyasla daha iletken olası ile birlikte yakın değerler göstermektedir. F sınıfı ve 10mm karbon fiber katkılı serinin doğal nemli özdirenç ölçüm bulgularına göre 7, 28 ve 56 günlük serilerde en iyi iletkenlik KNT+CF%3 numunesinde izlenmiştir.



Grafik 4.8 F sınıfı ve 10mm karbon fiber katkıli serinin doğal nemli özdirenç ölçüm bulguları.

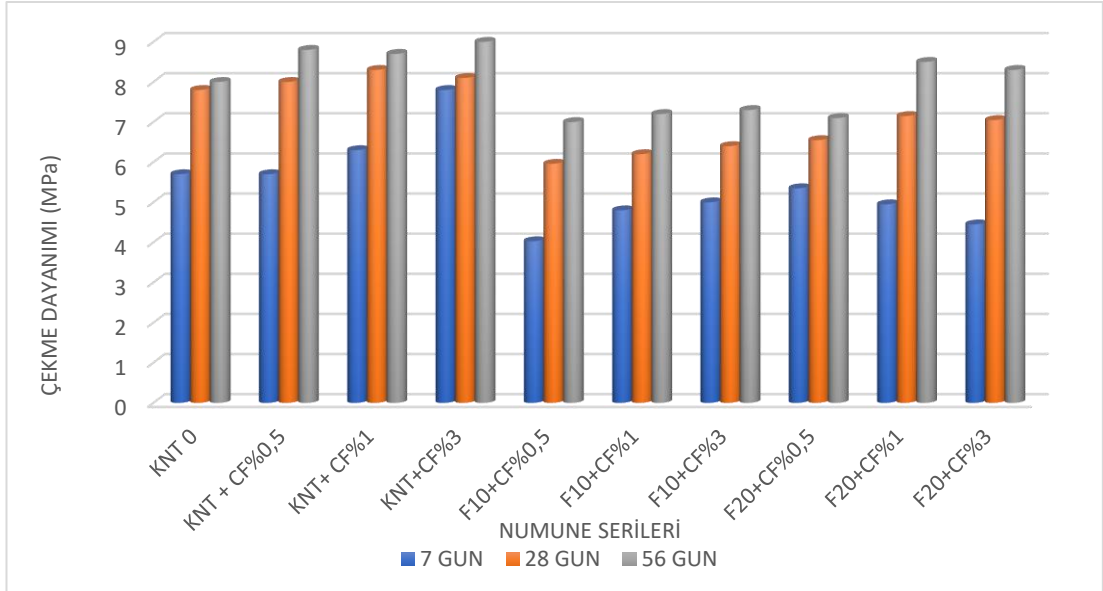
#### 4.2 Eğilmede Çekme Dayanımı Bulguları

5mm karbon fiber katkıli uçucu külsüz serilerde karbon fiber oranı arttıkça eğilmede çekme dayanımında artış olduğu görülmüştür. C sınıfı %10 oranlı uçucu kül takviyeli numunede referans numunesine ve %20 oranlı C sınıfı uçucu kül takviyeli serilere kıyasla yüksek çekme dayanımı göstermiştir. Tablo 4.1'de görüldüğü üzere 7 günlük serilerde en yüksek değer KNT+CF%3 numunelerinden elde edilmiştir. 28 ve 56 günlük serilerde ise C10+CF%3 numunesinde görülmüştür. Karbon fiber katkıli ve uçucu küllü serilerde %10 uçucu kül takviyeli seriler %20 uçucu kül takviyeli serilere kıyasla daha yüksek çekme dayanımı sağlamıştır.



Grafik 4.9 C sınıfı ve 5mm karbon fiber katkılı serinin çekme dayanımı bulguları.

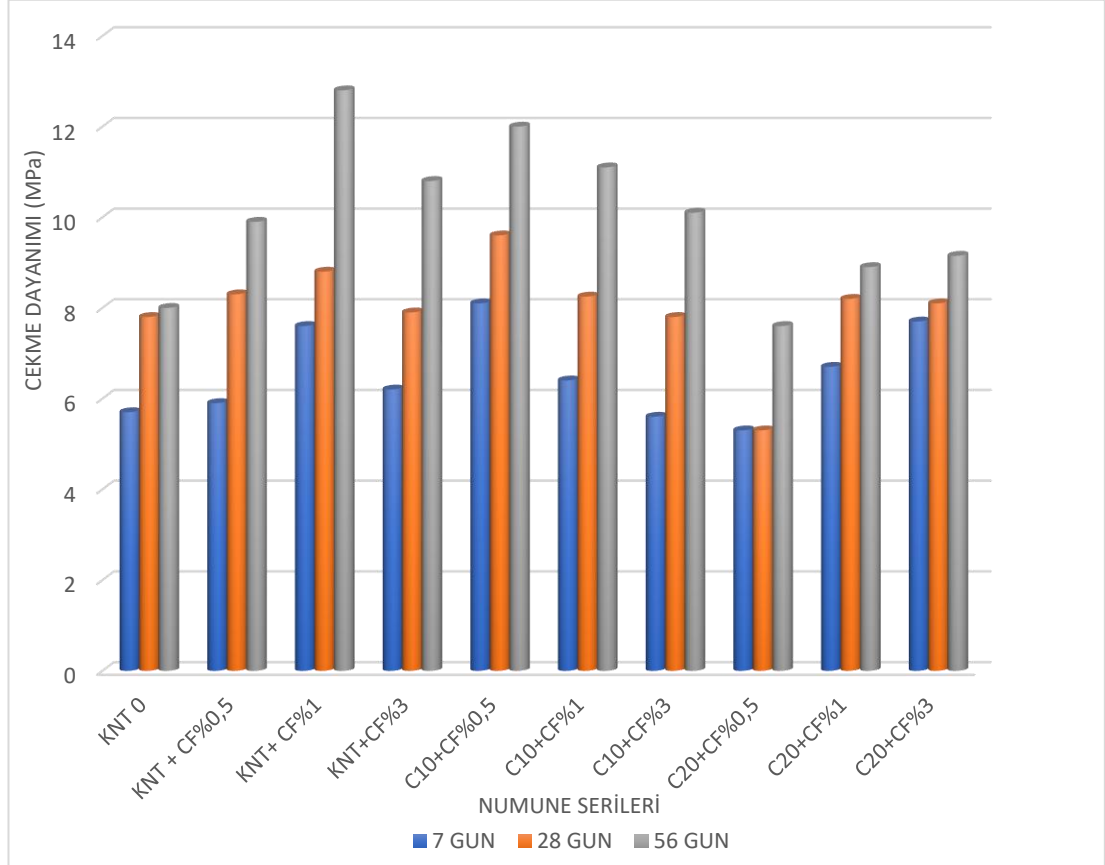
5mm karbon fiber katkılı uçucu külsüz serilerde karbon fiber oranı arttıkça çekme dayanımında artış olduğu görülmüştür. Ayrıca 7, 28 ve 56 günlük serilerde en yüksek değer KNT+CF%3 numunesinde izlenmiştir Grafik 4.10'a göre uçucu küllü serilerde zamana bağlı olarak çekme dayanımında azalma olduğu izlenmektedir. Uçucu kül artışı zamana bağlı olarak çekme dayanımını olumlu etkilemektedir.



Grafik 4.10 F sınıfı ve 5mm karbon fiber katkılı serinin çekme dayanımı bulguları

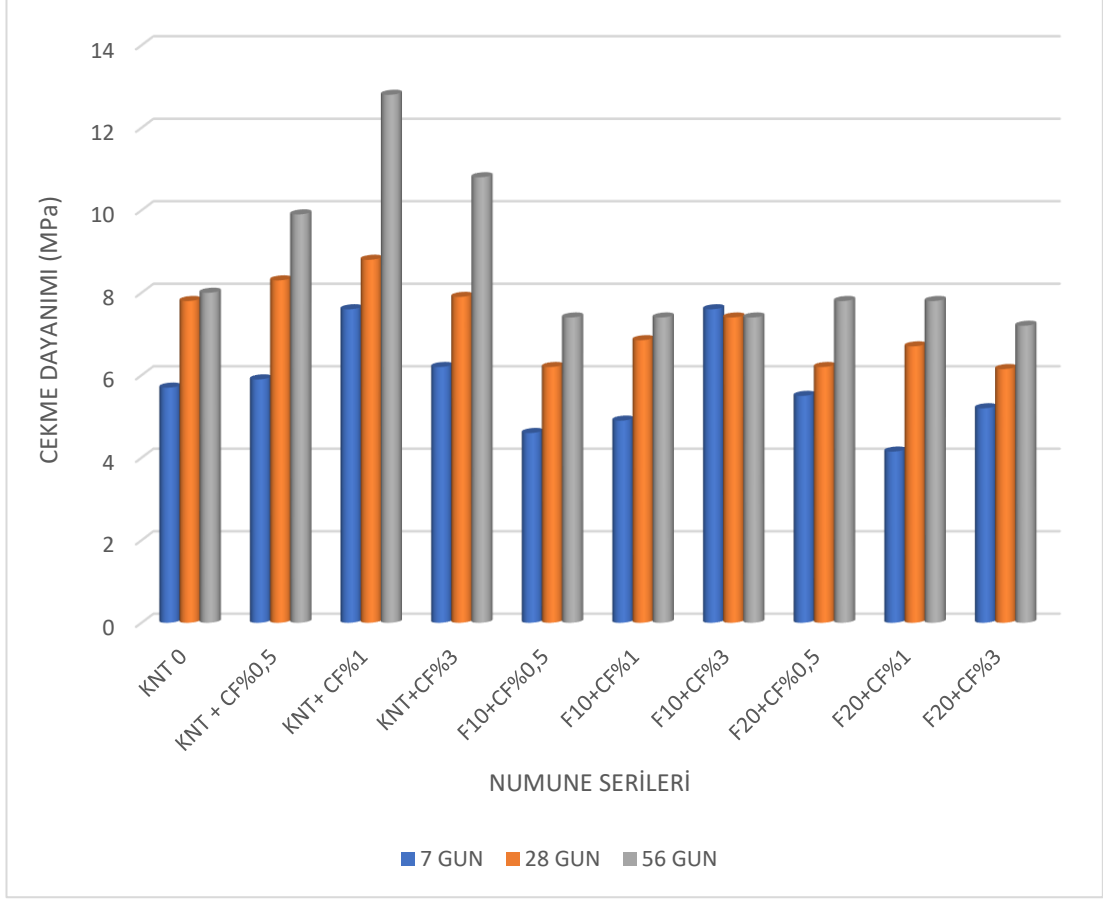
10mm karbon fiber katkılı uçucu külsüz serilerde karbon fiber oranı arttıkça çekme dayanımı artmıştır. Yine uçucu külsüz karbon fiber katkılı numuneler %10 ve %20

uçucu kül takviyeli ve karbon fiber katkıli serilere kıyasla daha yüksek çekme dayanımı göstermiştir. Grafik 4.11'e verilen 56 günlük serilerin tümünde artış görülmektedir ve en yüksek değer KNT+ CF%1 numunesinde, 7 ve 28 günlük serilerde ise C10+CF0,5 numunesinde izlenmektedir.



Grafik 4.11 C sınıfı ve 10mm karbon fiber katkıli serilerin çekme dayanımı bulguları.

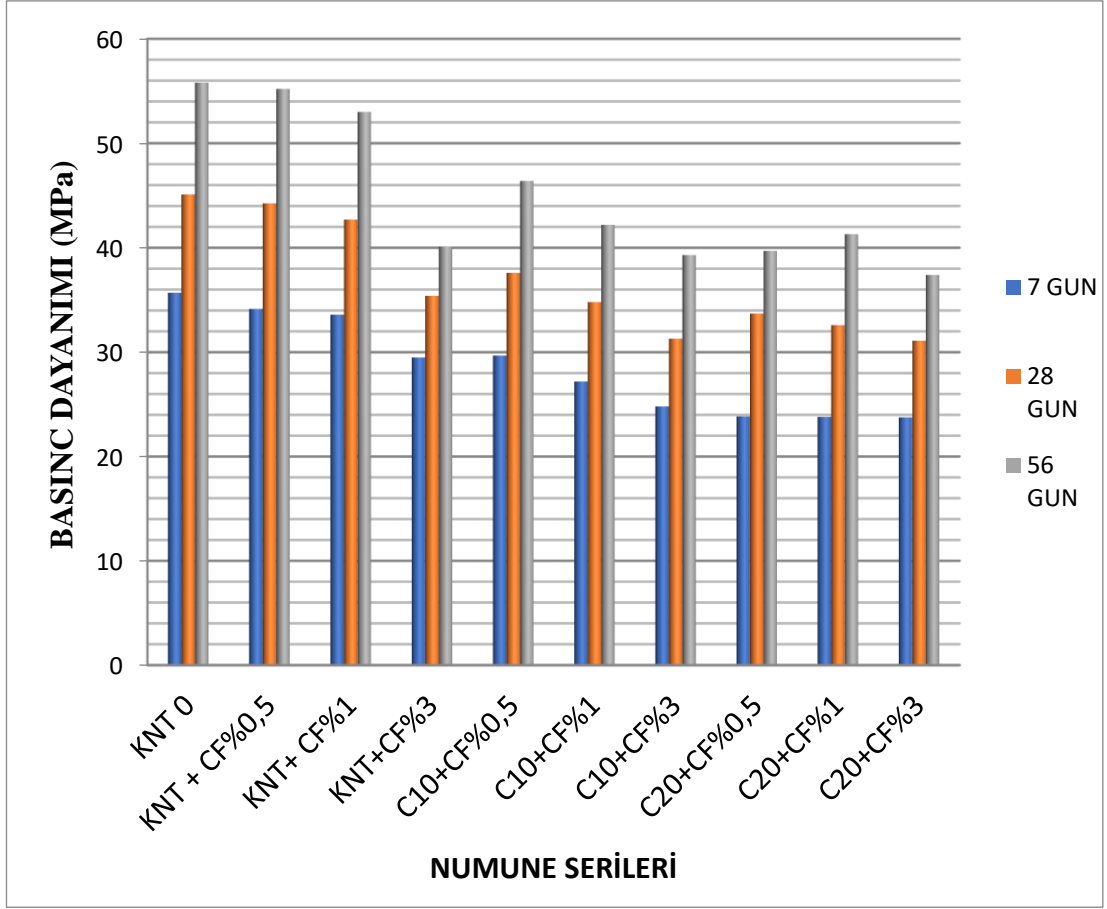
10mm karbon fiber katkıli uçucu külsüz serilerde kontrol numunesine kıyasla karbon fiber oranı arttıkça eğilmede çekme dayanımında artış izlenmiştir. En yüksek değer KNT+CF%1 numunesinde görülmüştür. Grafik 4.12'de verilen eğilmede çekme dayanımı değerlerinde F sınıfı uçucu kül takviyeli ve karbon fiber katkıli serilerde F10+CF%3 hariç tüm seriler kontrol numunesine kıyasla düşük dayanım göstermiştir. Bununla birlikte 56 günlük kür süreli serilerin eğilmede çekme dayanım verileri kontrol numunesinin değerlerine yakın olduğu görülmektedir.



Grafik 4.12 F sınıfı ve 10mm karbon fiber katkıli serilerin çekme dayanımı bulguları.

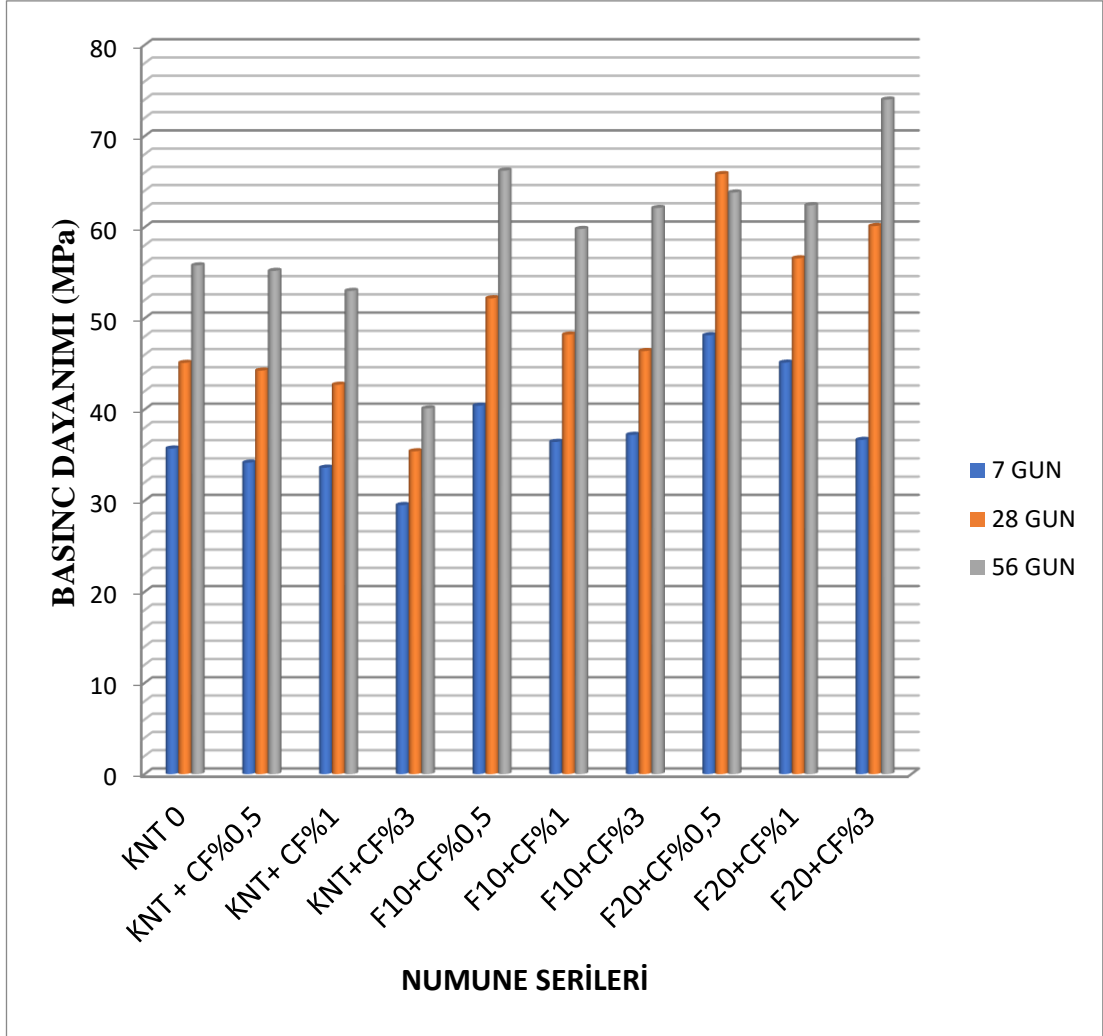
### 4.3 Basınç Dayanımı Bulguları

C sınıfı uçucu kül takviyeli ve 5 mm karbon fiber katkıli seriler kontrol numunesine kıyasla düşük basınç dayanımı göstermiştir. Uçucu küllü ve karbon fiber katkıli tüm serilerde 7, 28 ve 56 günlük en yüksek basınç dayanımı C10+CF%0,5 numunesinde görülmüştür. Grafik 4.13'e göre uçucu külsüz serilerde karbon fiber oranı arttıkça basınç dayanımında düşüş olduğu görülmektedir. Uçucu kül takviyeli ve karbon fiber katkıli serilerin uzun vadede basınç dayanımı bulguları birbirine yakın değerlere sahiptir.



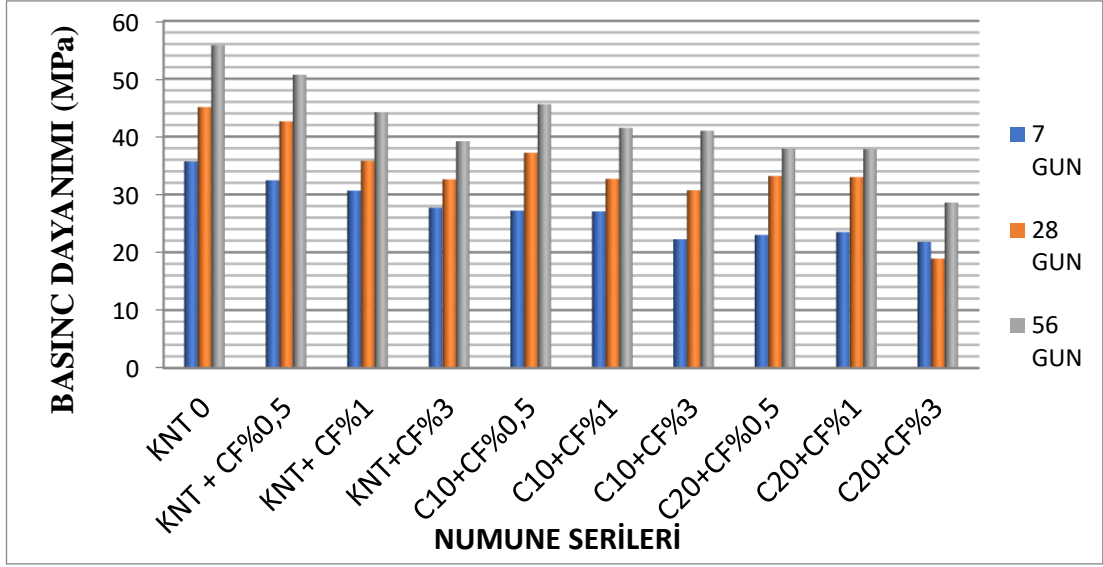
Grafik 4.13 C Sınıfı ve 5 mm karbon fiber katkıli serilerin Basınc Dayanımı Bulguları

F sınıfı uçucu kül takviyeli ve 5 mm karbon fiber katkıli serilerde %20 uçucu kül ve karbon fiber karışimli numuneler %10 uçucu küllü serilere kıyasla yüksek basınç dayanımı göstermiştir. Uçucu küllü ve karbon fiber katkıli tüm seriler kontrol numunesine kıyasla yüksek dayanım göstermiştir. 7 ve 28günlük en yüksek basınç dayanımı F20+CF%0,5 numunesinde görülmektedir. Grafik 4.14'e göre uçucu küllü serilerde zamana ve uçucu kül oranına bağlı olarak basınç dayanımı değerlerinde artış olduğu görülmektedir.



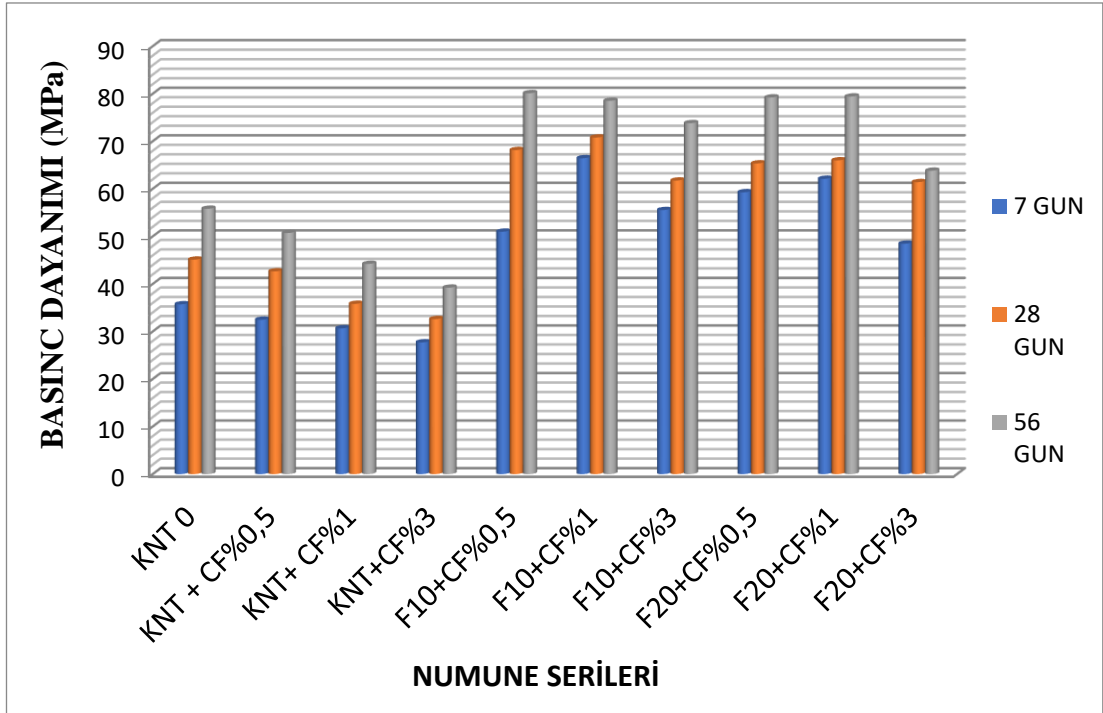
Grafik 4.14 F Sınıfı ve 5 mm karbon fiber katkıli serilerin Basınc Dayanımı Bulguları

C sınıfı uçucu kül takviyeli ve 10 mm karbon fiber katkıli tüm serilerin basınç dayanımlarında kontrol numunesine kıyasla düşük veriler olduğu görülmektedir. %20 uçucu kül ve karbon fiber karışimli numuneler %10 uçucu küllü serilere kıyasla daha düşük basınç dayanımı göstermiştir. 28 günlük serilere kıyasla kontrol numunesi en yüksek basınç dayanımına sahiptir. Grafik 4.15’de basınç dayanımında karbon fiber artışı ile paralel bir şekilde düşüş olduğu görülmektedir.



Grafik 4.15 C Sınıfı ve 10 mm karbon fiber katkıli serilerin Basınc Dayanımı Bulguları

Uçucu küllü ve karbon fiber katkıli tüm seriler kontrol numunesine kıyasla yüksek basınç dayanımı göstermiştir. Grafik 4.16 da verilen uçucu külsüz karbon fiber katkıli serilerde karbon fiber oranı artışı ile ters orantılı olarak bir düşüş izlenmektedir. Yine uçucu kül takviyeli ve karbon fiber katkıli serilerde karbon fiber oranı arttıkça basınç dayanımında azalma olduğu görülmektedir.

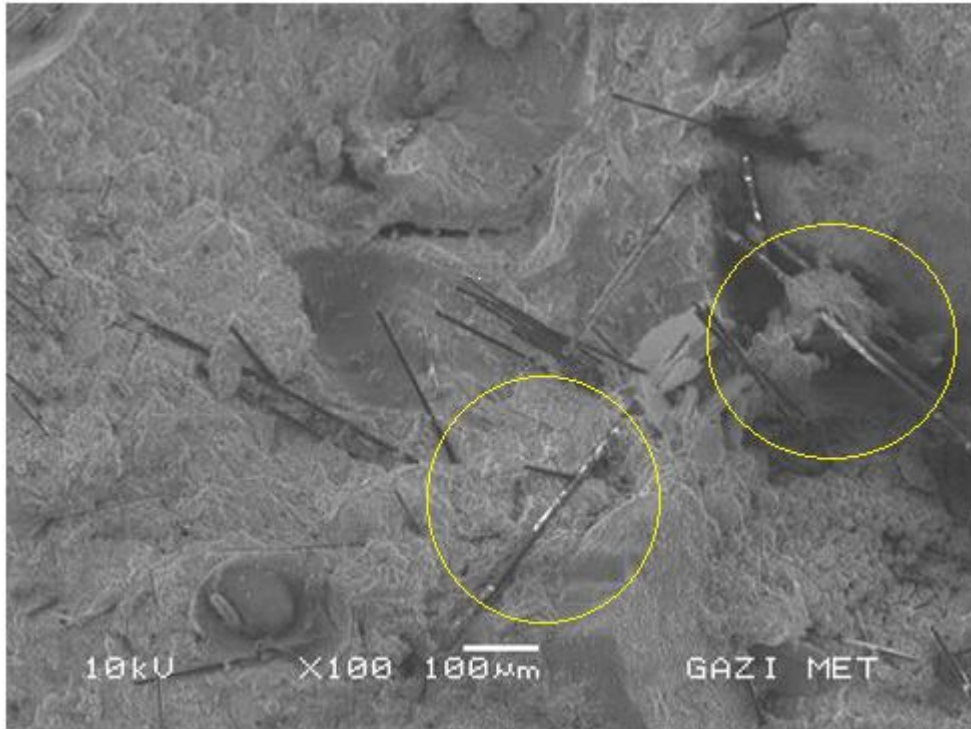


Grafik 4.16 F Sınıfı ve 10 mm karbon fiber katkıli serilerin Basınc Dayanımı Bulguları

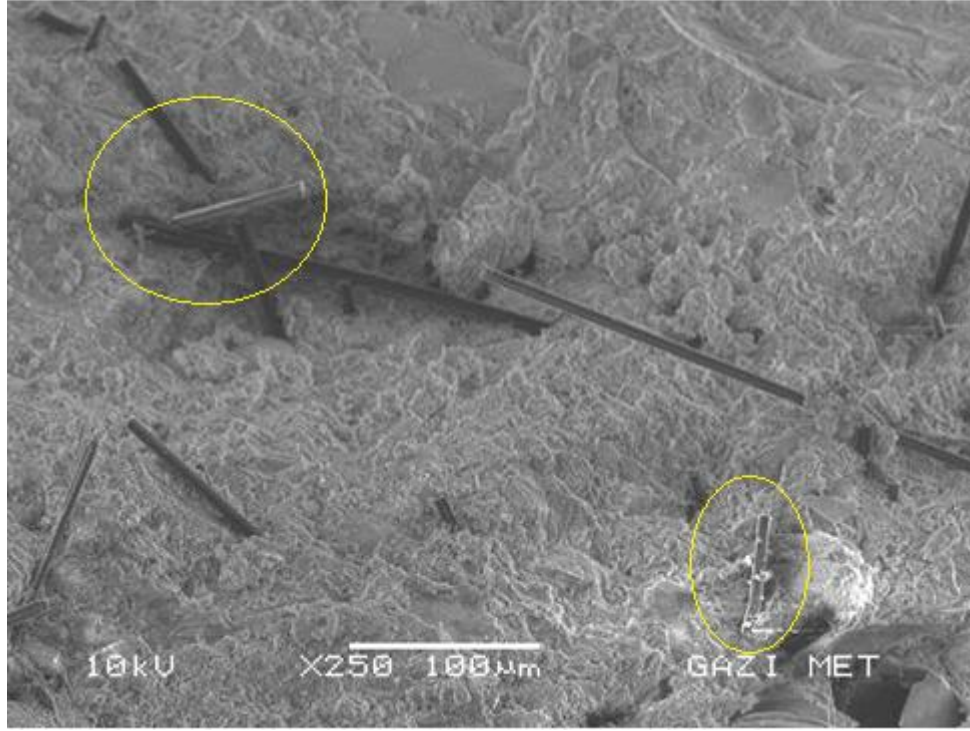
#### 4.4 SEM Görüntüleme Analizi Bulguları

Şekil 4.1’de F20+CF%3 5mm karbon fiber katkıli numunenin eğilmede çekme dayanımında kırılması ile elde edilen bir parçanın SEM görüntüsü izlenmektedir. Şekil 4.2’de F20+CF%3 5mm karbon fiber katkıli numunenin basınç dayanımı deneyinde kırılması ile elde edilen bir parçasının SEM görüntüsü izlenmektedir. Karbon fiberlerin homojen dağılımı ve her iki görüntüde de net olarak izlenmektedir. Halka içine alınmış kısımlarda sıyrılmış fiberin yüzeyinde görülen kalıntı harç içeriğinde adhezyonun sağlandığını göstermektedir.

Chen ve Chung (1993) çalışmalarında, fiber yüzeyinin temizliğine dair, fiber yüzeyi ile matris arasındaki temas direncinin yüzeydeki temizlikle paralel olduğunu belirtmektedirler. Elektriksel özdirenç değeri ve dayanım deneyleri ile paralel bir dağılım ve kenetlenme olduğu bu görüntü ile tespit edilmiştir.

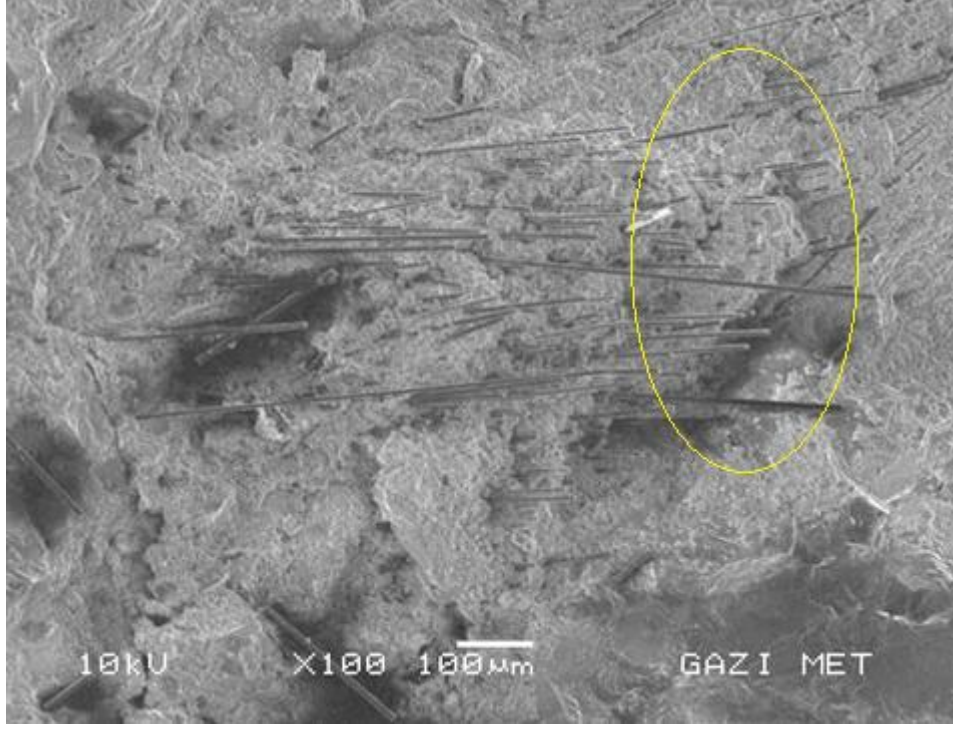


Şekil 4.1 F20+CF%3 5mm karbon fiberli numunenin SEM bulguları



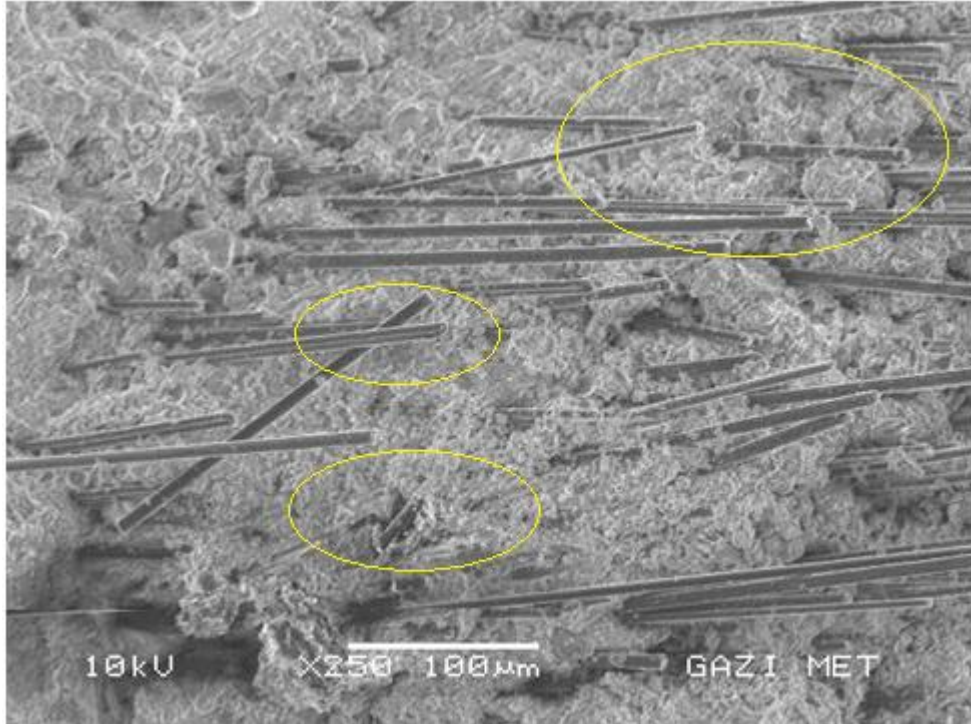
Şekil 4.2 F20+CF%3 5mm karbon fiberli numunenin SEM bulguları

Şekil 4.3'te F10+CF% 1 5mm karbon fiber katkıli numunenin eğilmede çekme dayanımında kırılması ile elde edilen bir parçanın SEM görüntüsü izlenmektedir. Şekil 4.4'te F10+CF%1 5mm karbon fiber katkıli numunenin basınç dayanımı deneyinde kırılması ile elde edilen bir parçasının SEM görüntüsü izlenmektedir. Halka içerisinde kırılmalar net olarak izlenmektedir.



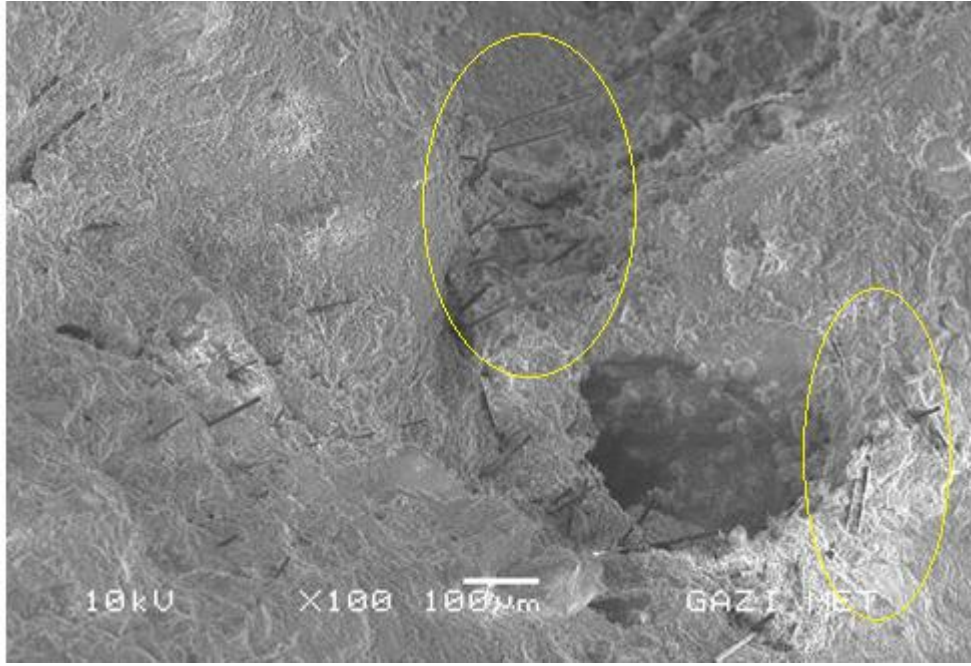
Şekil 4.3 F10+CF%15mm numunesinin SEM bulguları

Halka içine alınmış kısımlarda sıyrılmış fiberin yüzeyinde görülen kalıntı harç içerisinde adhezyonun sağlandığını göstermektedir.

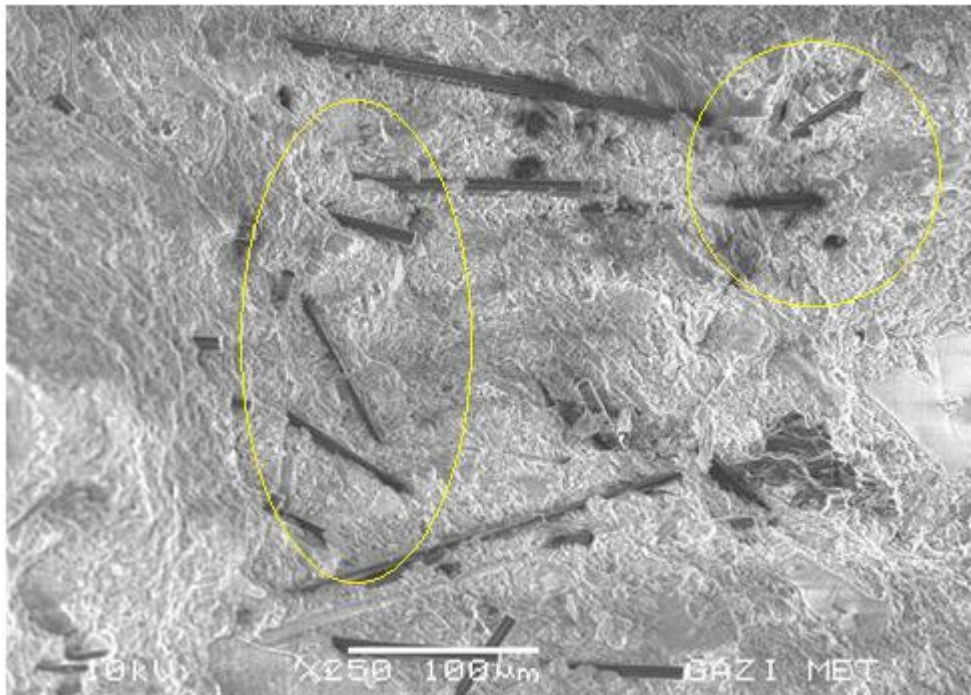


Şekil 4.4 F10+CF%1 5mm numunesinin SEM bulguları

Şekil 4.5'te F10+CF%0,5 10mm karbon fiber katkılı numunenin eğilmede çekme dayanımında kırılması ile elde edilen bir parçanın SEM görüntüsü izlenmektedir. Şekil 4.6'da F10+CF%0,510mm karbon fiber katkılı numunenin basınç dayanımı deneyinde kırılması ile elde edilen bir parçasının SEM görüntüsü izlenmektedir. Kırılmalar net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.5 F10+CF%0,510mm numunesinin SEM bulguları

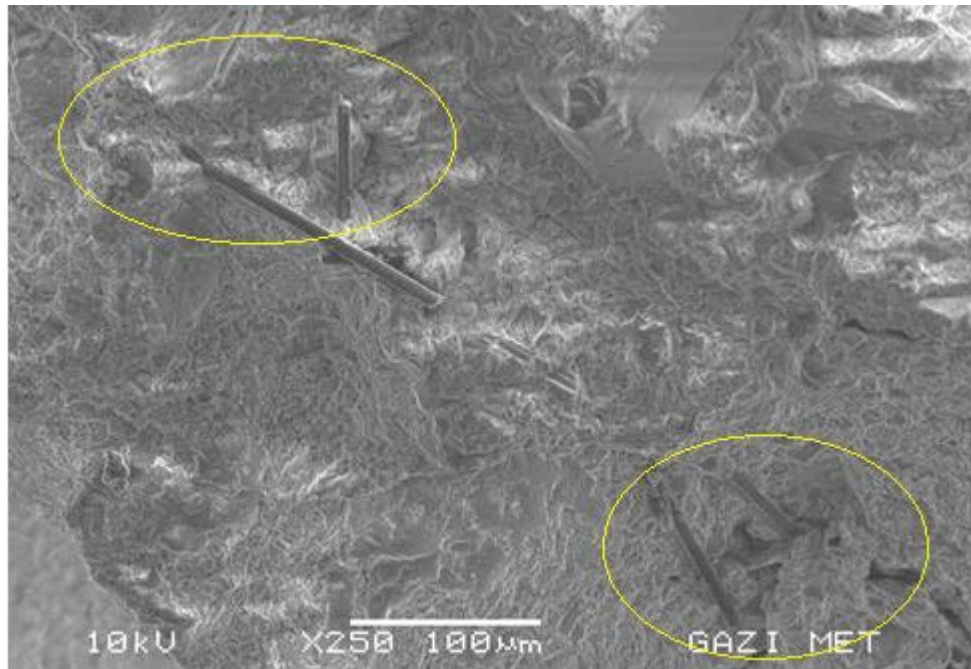


Şekil 4.6 F10+CF%0,510mm numunesinin SEM bulguları

Şekil 4.7'de KNT +CF%1 10mm karbon fiber katkıli numunenin eğilmede çekme dayanımında kırılması ile elde edilen bir parçanın SEM görüntüsü izlenmektedir. Şekil 4.8'de KNT +CF%1 10mm karbon fiber katkıli numunenin basınç dayanımı deneyinde kırılması ile elde edilen bir parçasının SEM görüntüsü izlenmektedir. Kırılmalar ve sıyrılmalar net bir şekilde görülmektedir.



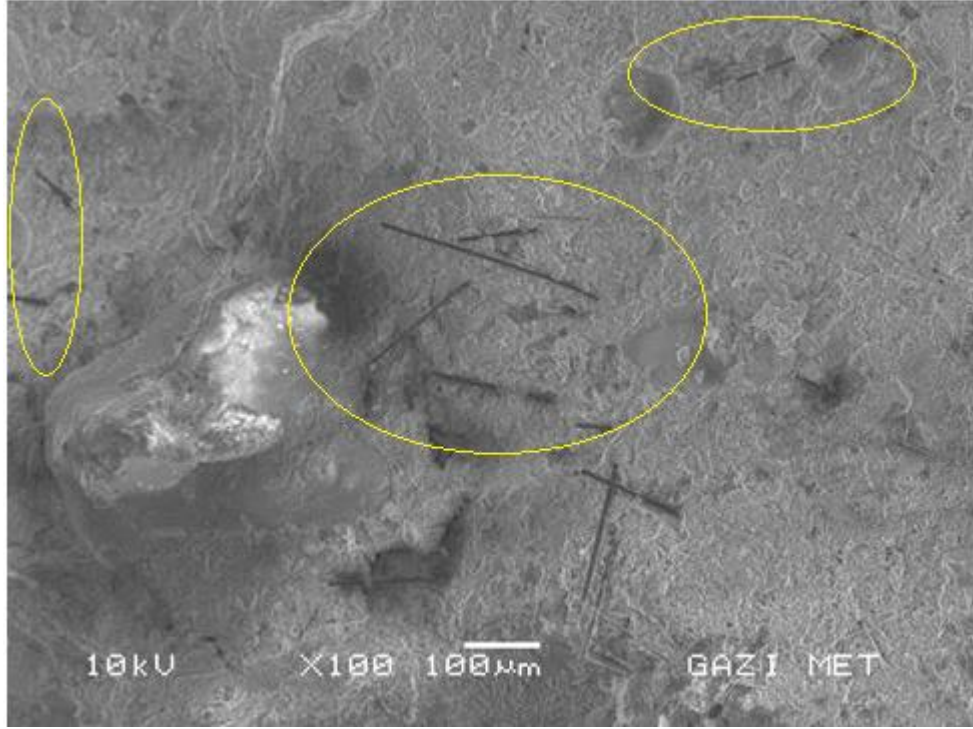
Şekil 4.7 KNT +CF%1 10mm numunesinin SEM bulguları



Şekil 4.8 KNT +CF%1 10mm numunesinin SEM bulguları

Şekil 4.9'da F20+CF%1 10mm karbon fiber katkılı numunenin eğilmede çekme dayanımında kırılması ile elde edilen bir parçanın SEM görüntüsü izlenmektedir.

Şekil 4.10'da F20+CF%1 10mm karbon fiber katkılı numunenin basınç dayanımı deneyinde kırılması ile elde edilen bir parçasının SEM görüntüsü izlenmektedir. Homojen dağılım, kırılmalar ve sıyrılmalar net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.9 F20+CF%110mm numunesinin SEM bulguları

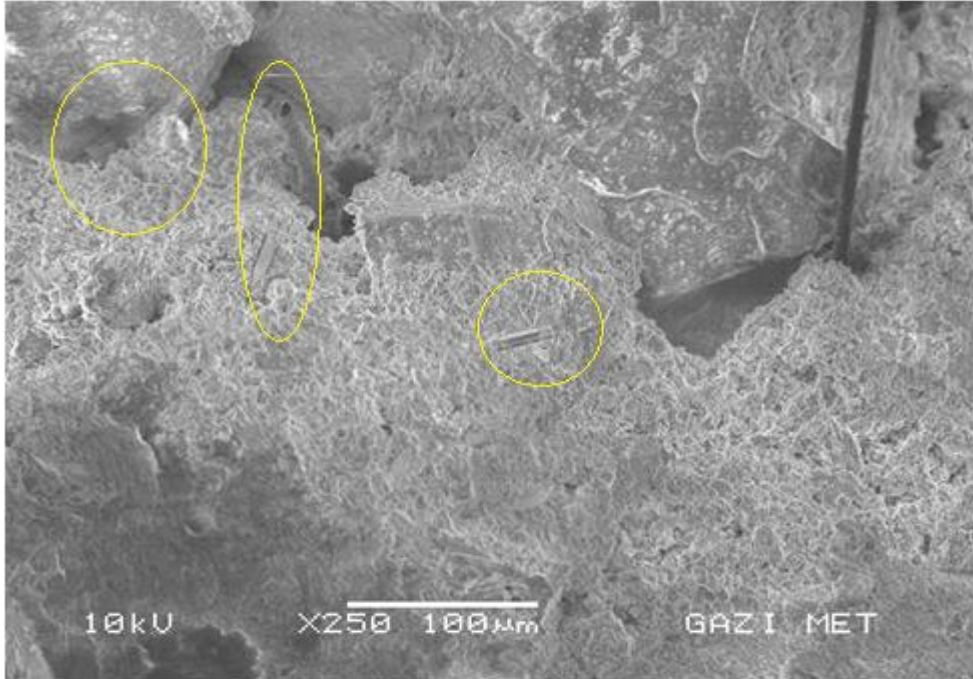


Şekil 4.10 F20+CF%1 10mm numunesinin SEM bulguları

Şekil 4.11’de C10+CF%0,5 10mm karbon fiber katkıli numunenin eğilmede çekme dayanımında kırılması ile elde edilen bir parçanın SEM görüntüsü izlenmektedir. Şekil 4.12’de C10+CF%0,5 10mm karbon fiber katkıli numunenin basınç dayanımı deneyinde kırılması ile elde edilen bir parçasının SEM görüntüsü izlenmektedir. Kırılmalar ve sıyrılmalar net bir şekilde görülmektedir.



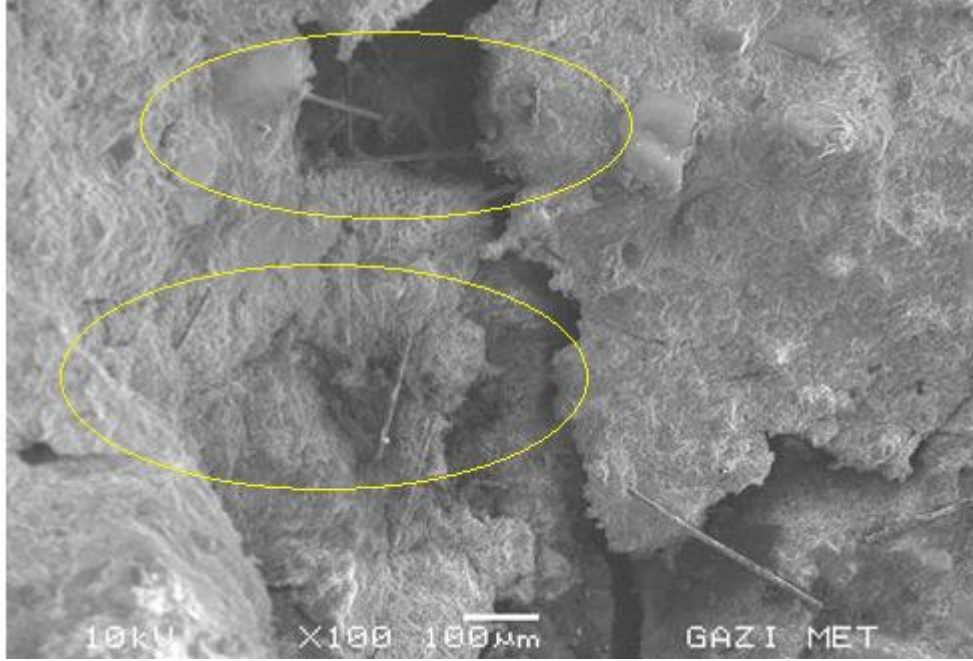
Şekil 4.11 C10+CF%0,5 10mm numunesinin SEM bulguları



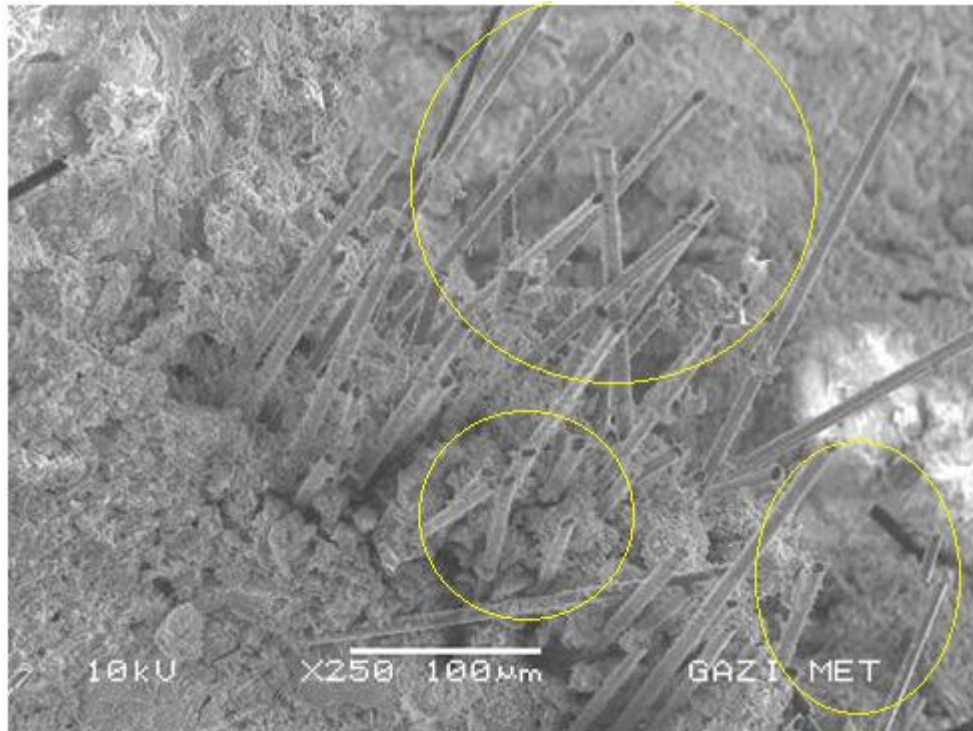
Şekil 4.12 C10+CF%0,5 10mm numunesinin SEM bulguları

Şekil 4.13'te C10+CF%3 5mm karbon fiber katkılı numunenin eğilmede çekme dayanımında kırılması ile elde edilen bir parçanın SEM görüntüsü izlenmektedir. Sıyrılmalar net bir şekilde görülmektedir.

Şekil 4.14'te C10+CF%3 5mm karbon fiber katkıli numunenin basınç dayanımı deneyinde kırılması ile elde edilen bir parçasının SEM görüntüsü izlenmektedir. Kırılmada oluşan sıyrılma ve liflerdeki kopma uç kısımlarda net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.13 C10+CF%35mm numunesinin SEM bulguları



Şekil 4.14 C10+CF%3 5mm numunesinin SEM bulguları

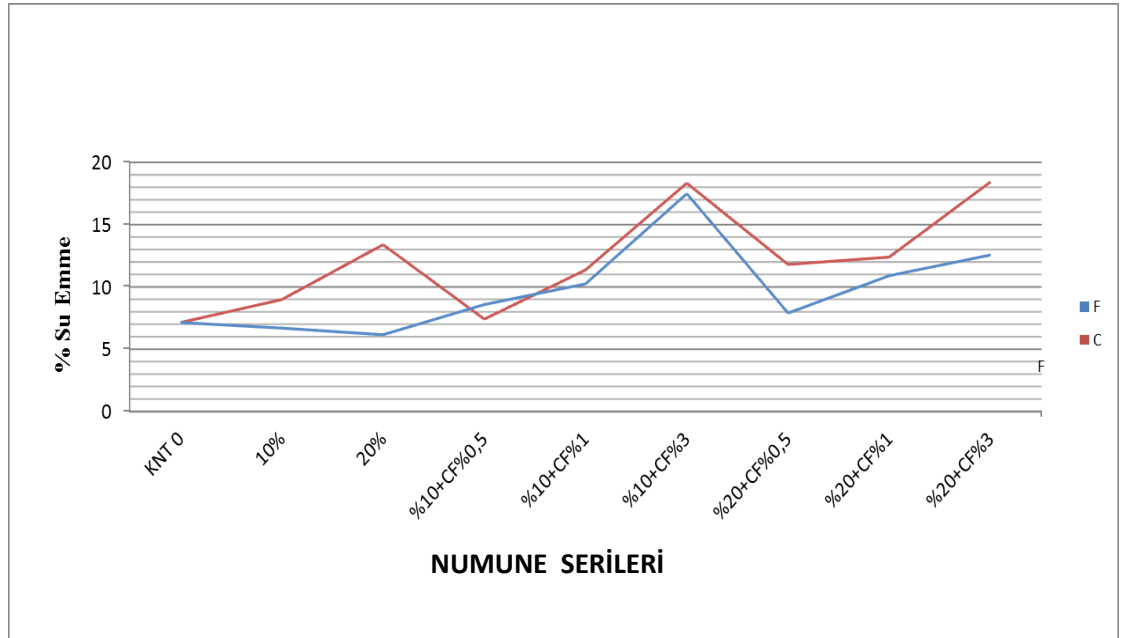
#### 4.5 Su Emme Bulguları

Malzemenin suya doymuş ağırlığı ( $G_2$ ) ile kuru ağırlığı ( $G_1$ ) arasındaki farkın kuru ağırlığına oranının yüzde olarak ifade edilen değeri malzemenin ağırlıkça su emme yüzdesini ( $S_a$ ) vermektedir. Hesaplamalarda

$$S_a(\%) = \frac{G_2 - G_1}{G_1} \quad (4.2)$$

formülasyonu kullanılmıştır.

Karbon fiber katkısız uçucu küllü serilerin kontrol numunesine kıyasla su emme yüzde değerleri daha yüksektir. Grafik 4.9'a göre kontrol numunesine kıyasla, C sınıfı uçucu küllü karışımların C10+CF%0,5 numunesi dışında tüm serileri yüksek su emme oranına sahiptir. Karbon fiber katkısız numunelerden C sınıfı uçucu kül serilerinin yüzde su emme oranları F sınıfı serilere kıyasla daha yüksektir. Kontrol numunesine kıyasla karbon fiber oranındaki artışa paralel şekilde yüzde su emme oranı artışı tespit edilmiştir.

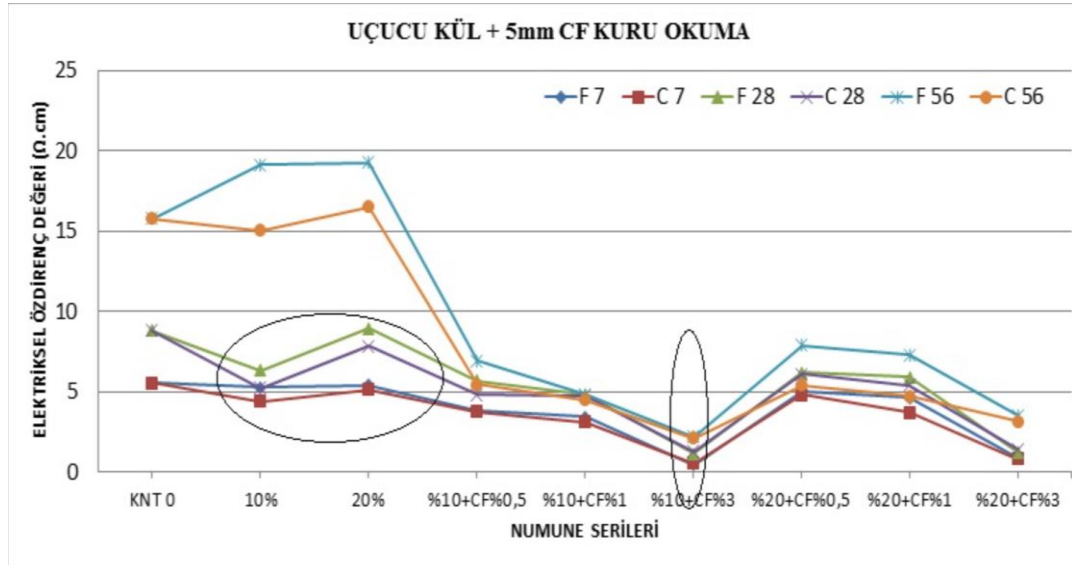


Grafik 4.17 F ve C sınıfı uçucu küllü numunelerin su emme bulguları

## 5. TARTIŞMA

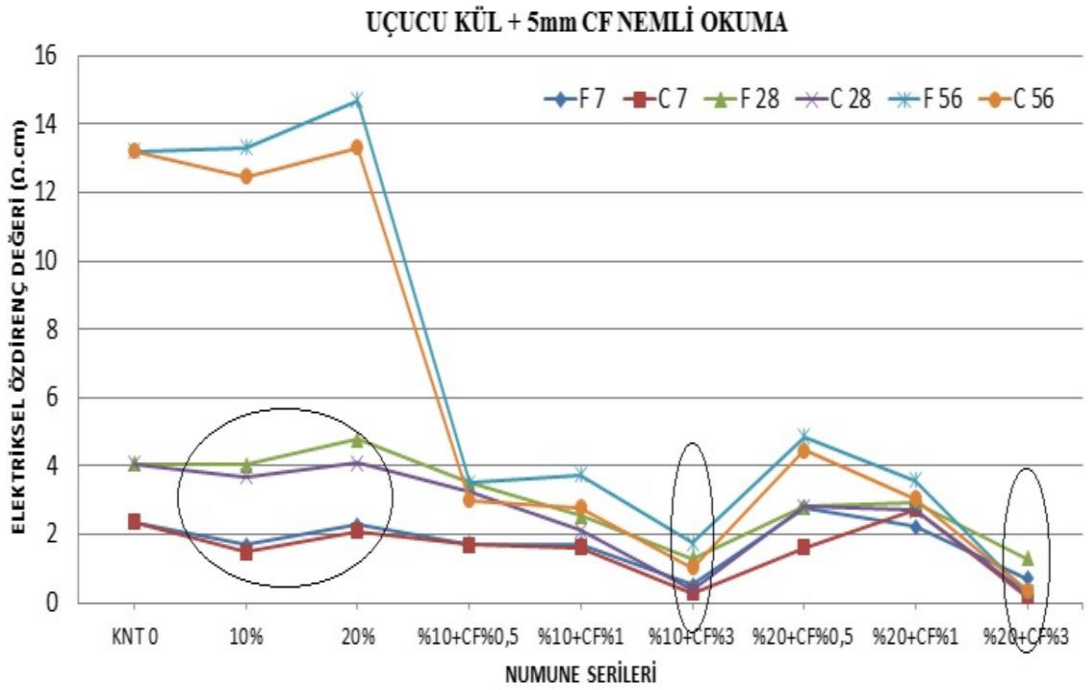
### 5.1 Elektriksel Özdirenç Karşılaştırmaları

Grafik 5.1’de 5mm boyutlu karbon fiber katkı ve uçucu küllü serilerin 7,28,56 günlük etüv kurusu haldeki elektriksel özdirenç ölçüm bulguları görülmektedir. Kontrol numunesine bakıldığında zamana bağlı olarak iletkenliğin azaldığı, kontrol numunesine uçucu küllün eklenmesi ile %10 oranlı uçucu kül takviyeli serilerde erken dönemde iletkenlik artışı görülmektedir. Karbon fiberi ve uçucu küllü kombinasyonlarda %10 uçucu küllü seriler %20 uçucu küllü ve kontrol serilerine kıyasla daha iletken olduğu tespit edilmiştir. En iyi iletkenlik değeri %3 karbon fiber ve %10 -%20 uçucu küllü serilerde kaydedilmiştir. Karbon fiber kombinasyonlu C sınıfı uçucu kül seriler, F sınıfı uçucu küllü serilere kıyasla daha iletkendir.



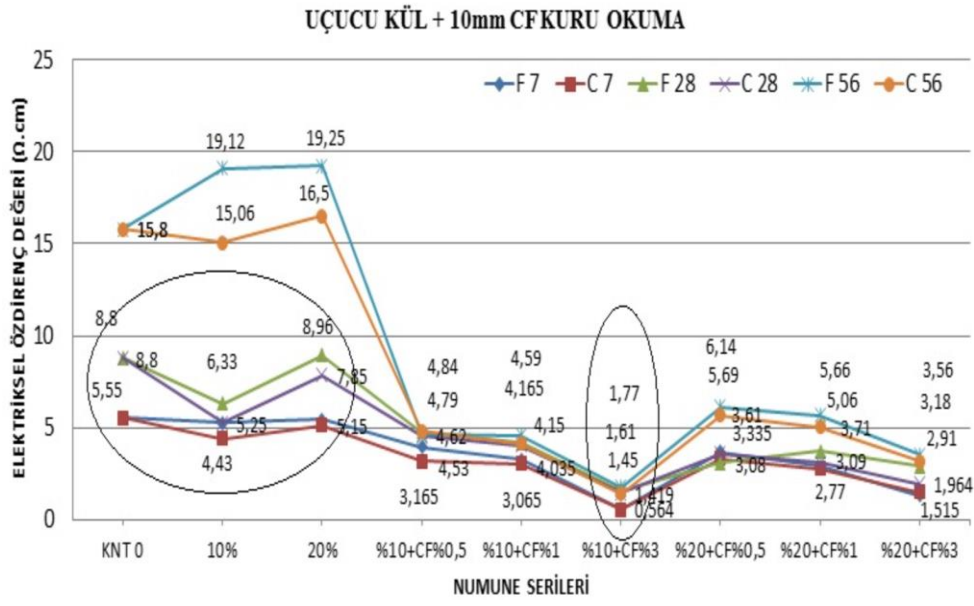
Grafik 5.1 F ve C sınıfı 5mm CF + uçucu küllü numunelerin Kuru Elektriksel Özdirenç Karşılaştırmaları

Grafik 5.2’de 5mm boyutlu karbon fiber ve uçucu küllü serilerin 7,28,56 günlük doğal nemli haldeki elektriksel özdirenç ölçüm bulguları görülmektedir. Karbon fibersiz uçucu küllü kombinasyonların 7,28 ve 56 günlük bulgularında ciddi farklar görülmemiştir. Uçucu küllü ve karbon fiberli kombinasyonlarda C sınıfı seriler kontrol ve F sınıfı serilere kıyasla daha iletken olduğu tespit edilmiştir. C10+CF%3 ve C20+CF%3 numunelerinde en iyi değerler kaydedilmiştir.



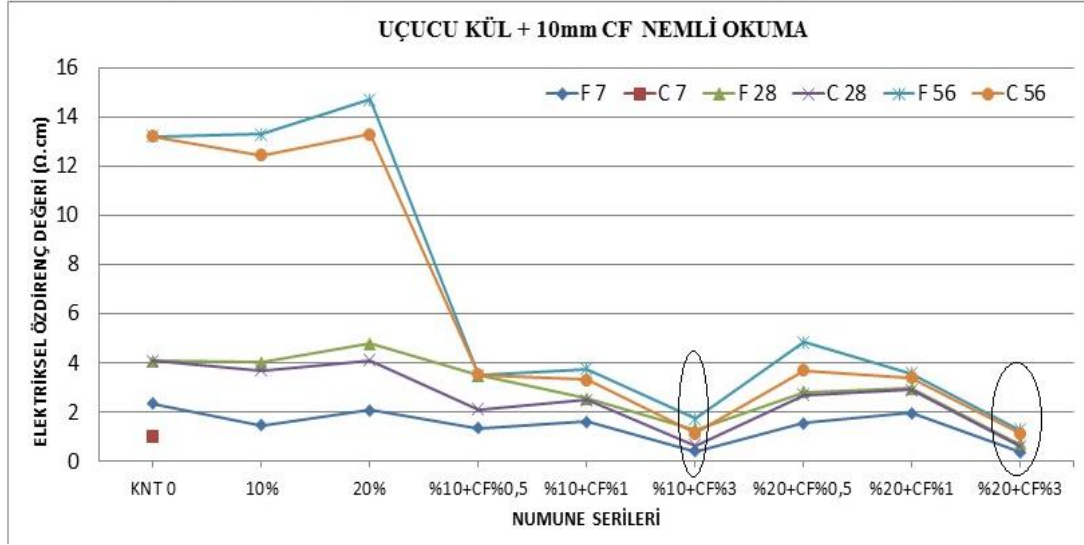
Grafik 5.2 F ve C sınıfı 5mm CF + uçucu küllü numunelerin Nemli Elektriksel Özdirenç Karşılaştırmaları

Grafik 5.3'te 10mm boyutlu karbon fiber ve uçucu küllü serilerin 7, 28, 56 günlük etüv kurusu haldeki elektriksel özdirenç ölçüm bulguları görülmektedir. Karbon fiber katkısız %10 uçucu küllü kombinasyonlarda C sınıfı serinin F seriden daha iletken olduğu, %10 uçucu küllü serilerde karbon fiber oranı arttıkça iletkenliğinde artışı kaydedilmiştir. %20 uçucu küllü ve karbon fiber katkılı numunelerde en iyi iletkenliği %3 karbon fiber kombinasyonlu seriler göstermiştir buna rağmen %10 uçucu kül ve karbon fiber katkılı numuneler %20 oranlılara göre daha iletkendir. En iyi bulgular C10+CF%3 ve F10+CF%3 numunelerinden elde edilmiştir



Grafik 5.3 F ve C sınıfı 10mm CF + uçucu küllü numunelerin Kuru Elektriksel Özdirenç Karşılaştırmaları

Grafik 5.4’te 10mm boyutlu karbon fiber ve uçucu küllü serilerin 7,28,56 günlük doğal nemli haldeki elektriksel özdirenç ölçüm bulguları görülmektedir. %10 uçucu kül ve %20 uçucu küllü serilerde %1 karbon fiber kombinasyonlu serilerde iletkenlik yakın değerler aldığı kaydedilmiştir. C10+CF%3 ile F10+CF%3 numuneleri birbirine çok yakın ve iyi iletkenlik değerleri gösterirken C20+CF%3 numunesinde en iyi iletkenlik değerini tespit edilmiştir.



Grafik 5.4 F ve C sınıfı 10mm CF + uçucu küllü numunelerin Nemli Elektriksel Özdirenç Karşılaştırmaları

Bulgular göre;

5mm ve 10 mm boyutundaki karbon fiber katkılı ve etüv kurusu numunelerde elektriksel özdirenç ölçümüne göre karbon fiber katkısız kombinasyonların %10 C sınıfı Soma uçucu küllü serileri, %20 C sınıfı Soma uçucu küllü seriye kıyasla daha iletken olduğu gözlemlenmiştir.

5mm ve 10 mm boyutundaki karbon fiber katkılı ve etüv kurusu numunelerde elektriksel özdirenç ölçümüne göre karbon fiber katkısız kombinasyonların %10 F sınıfı Çayırhan uçucu küllü serileri, %20 F sınıfı Çayırhan uçucu küllü seriye kıyasla daha iletkenidir.

5mm ve 10mm boyutundaki karbon fiber katkılı ve doğal nemli numunelerde elektriksel özdirenç ölçümüne göre uçucu külsüz serilerde kontrol numunesine kıyasla karbon fiber oranı arttıkça iletkenlik artmaktadır.

5mm boyutunda %3 karbon fiber katkılı ve uçucu külsüz doğal nemli numuneler kontrol numunesine kıyasla elektriksel özdirenç 7 günlük %85, 28 günlük %96, 56 günlük %98 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

10mm boyutunda %3 karbon fiber katkılı ve uçucu külsüz doğal nemli numuneler kontrol numunesine kıyasla elektriksel öz direnç 7 günlük %96, 28 günlük %81, 56 günlük %97 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

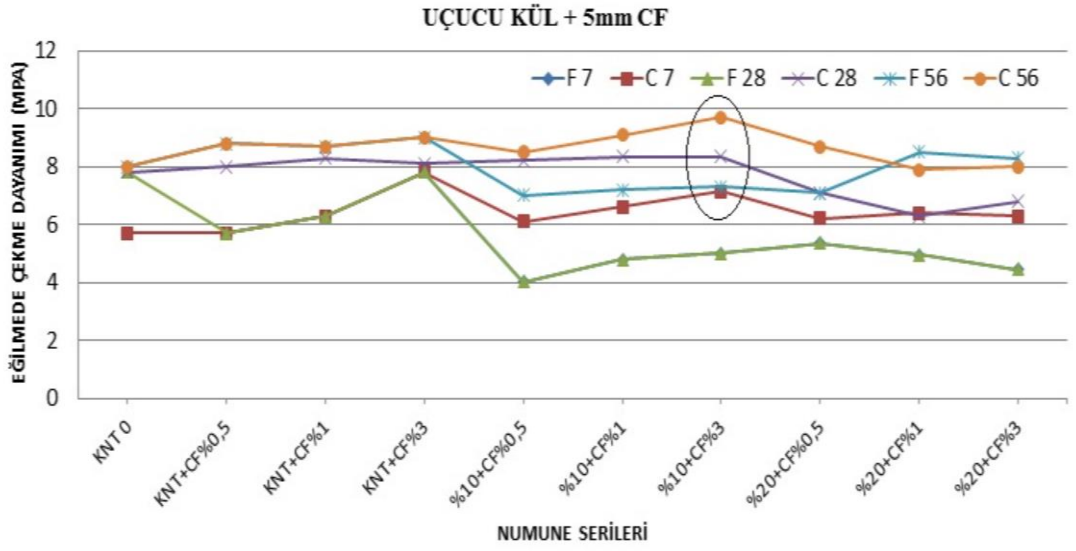
Karbon fiber katkısız %10 uçucu küllü kombinasyonlarda C sınıfı Soma uçucu küllü serinin F sınıfı Çayırhan uçucu küllü seriden daha iletken olduğu, %10 uçucu küllü serilerde karbon fiber oranı arttıkça iletkenliğinde arttığı tespit edilmiştir.

%20 uçucu küllü ve karbon fiber katkılı numunelerde en iyi iletkenliği %3 karbon fiber kombinasyonlu seriler göstermiştir buna rağmen %10 uçucu kül ve karbon fiber karışımli numuneler %20 oranlılara göre daha iletkendir.

Toplanan veriler göstermektedir ki %10 C sınıfı Soma uçucu küllü ve %3 karbon fiber katkılı seriler boyuta bakılmaksızın iletkenlik değerini olumlu etkilemektedir.

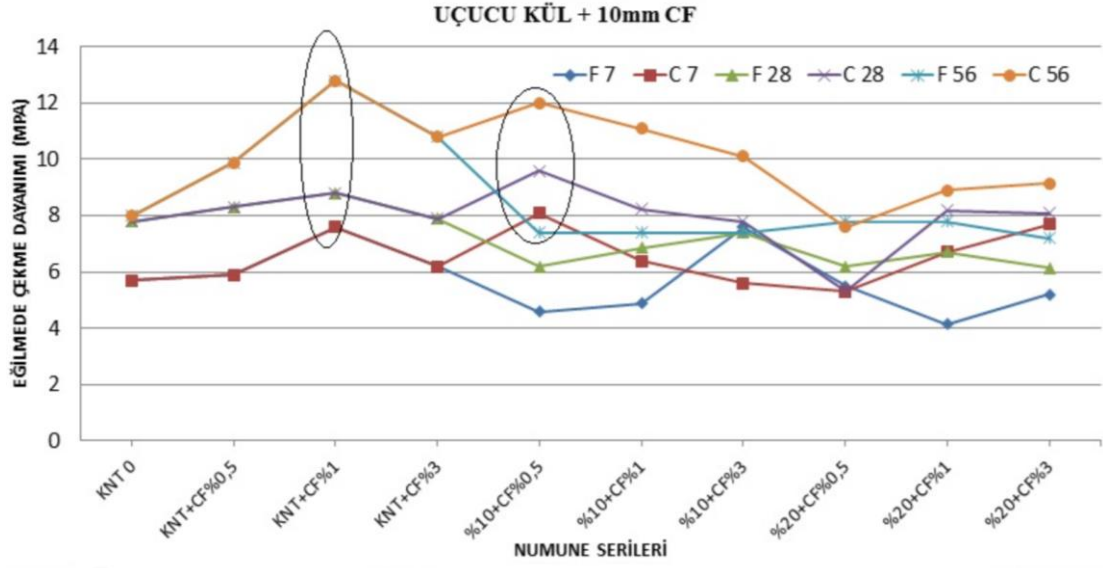
## **5.2 Eğilmede Çekme Dayanımı Karşılaştırmaları**

Grafik 5.5'te 5mm boyutlu karbon fiber ve uçucu küllü serilerin 7, 28, 56 günlük çekme dayanımı ölçüm değerleri görülmektedir. Uçucu külsüz karbon fiber katkılı serilere bakıldığında %0,5 karbon fiber katkılı seride kontrol numunesine kıyasla ciddi bir değişim yokken, 56 günlük okumalarda kontrol numunesine kıyasla artış olduğu görülmüştür. Uçucu küllü ve karbon fiber katkılı kombinasyonlarda 28 günlük okumalarda eğilmede çekme dayanımında azalmalar izlenirken, 56 günlük okumalarda %20 uçucu küllü ve %0,5 karbon fiber katkılı seri hariç ciddi artışlar izlenmiştir. Eğilmede çekme dayanımında en iyi değeri C10+CF%3 numunesi göstermiştir.



Grafik 5.5 F ve C sınıfı 5mm CF + uçucu küllü numunelerin Çekme Dayanımı Bulgularının Karşılaştırmaları

Grafik 5.6'da 10mm boyutlu karbon fiber ve uçucu küllü serilerin 7,28,56 günlük eğilmede çekme dayanımı ölçüm değerleri görülmektedir. C sınıfı uçucu kül ve karbon fiber katkılı serilerin kontrol numunesine ve F sınıfı uçucu kül ve karbon fiber katkılı serilere kıyasla daha yüksek çekme dayanımı gösterdiği görülmektedir. En yüksek çekme dayanımı değerleri KNT+CF%1 numunesinde izlenmiştir. %20 oranında uçucu küllü ve %0,5 karbon fiber takviyeli seriler kontrol numune yakın değerler göstermiştir. Uçucu külsüz serilerde yedi günlük okumalarda kontrol numunesine kıyasla ciddi farklar görülmezken, 56 günlük okumalarda çekme dayanımı değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir.



Grafik 5.6 F ve C sınıfı 10mm CF + uçucu küllü numunelerin Çekme Dayanımı Bulgularının Karşılaştırmaları

Bulgulara göre;

Karbon fiber boyutunun ve oranının artması çekme dayanımını olumlu yönde etkilemektedir. Uçucu kül kullanımı uzun vade de dayanımı arttırmakla birlikte yüze oranı arttıkça çekme dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Birbirlerine kıyasla C sınıfı uçucu küllü kombinasyonlar F sınıfı uçucu küllü kombinasyonlardan yüksek çekme dayanımı göstermektedir.

Kontrol numunesine kıyasla uçucu külsüz %3 oranlı 5 mm boyutlu karbon fiber katkılı serilerde eğilmede çekme dayanımı değeri 7 günlük kırımlarda yaklaşık %36, 28 günlük kırımlarda yaklaşık %4, 56 günlük kırımlarda yaklaşık %12,5 oranında artış olduğu görülmüştür.

Kontrol numunesine kıyasla uçucu külsüz %3 oranlı 10 mm boyutlu karbon fiber katkılı serilerde çekme dayanımı değeri 7 günlük kırımlarda yaklaşık %9, 28 günlük kırımlarda yaklaşık %2, 56 günlük kırımlarda yaklaşık %35 oranında artış olduğu görülmüştür. %3 oranlı 5mm boyutlu karbon fiberli harçlar 10mm boyutlu karbon fiberli harçlara göre daha iletkendir.

Genel olarak C sınıfı Soma uçucu kül ve karbon fiber kombinasyonlu seriler F sınıfı Çayırhan uçucu kül ve karbon fiber kombinasyonlu serilere kıyasla daha yüksek çekme dayanımı verileri göstermiştir. Karbon fiber karışımı serilerde en yüksek çekme dayanımı %3 oranlı serilerde tespit edilmiştir.

Kontrol numunesine 10mm boyutunda %1 karbon fiber oranlı kombinasyon çekme dayanımı ve elektriksel iletkenlik değerinde serisinde en yüksek verilere sahiptir. Bu sonuç karbon fiberin çekme dayanımını arttırdığı ve buna paralel elektriksel iletkenliği olumlu etkilediği tespit edilmiştir.

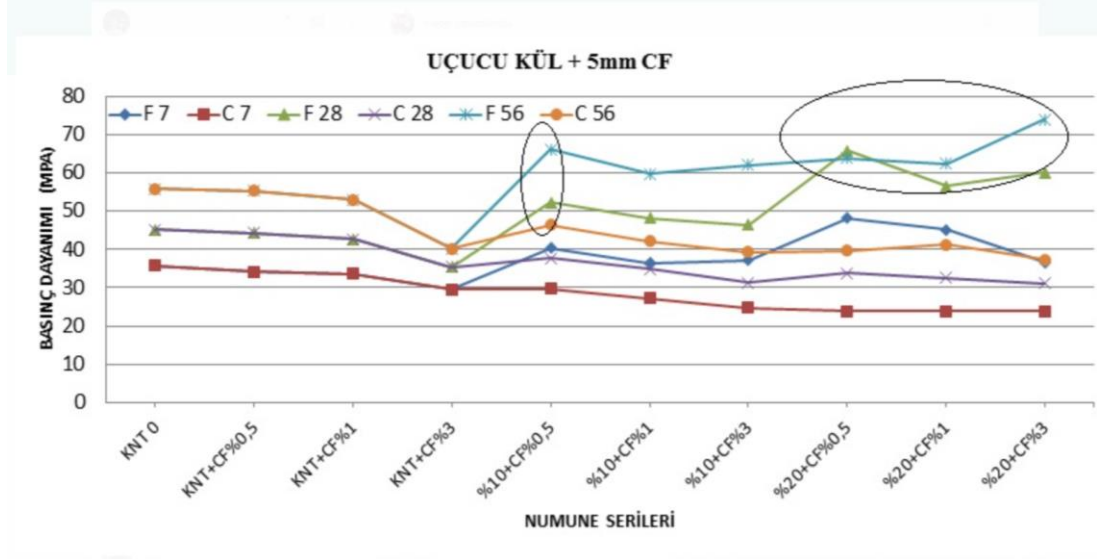
C sınıfı %10 oranlı uçucu küllü ve 5mm boyutlu %3 karbon fiber oranlı kombinasyon kendi serisinde yüksek çekme dayanımı ve iletkenlik verileri göstermektedir. C sınıfı %10 oranlı uçucu küllü ve 10mm boyutlu %3 karbon fiber oranlı kombinasyon kendi serisinde yüksek çekme dayanımı ve iletkenlik verileri göstermektedir.

10mm boyutlu seriler, 5mm karbon fiber katkılı serilerden daha yüksek çekme dayanımı göstermiştir.

Uçucu külsüz karbon fiber katkılı seriler, F sınıfı Çayırhan uçucu küllü ve karbon fiber katkılı serilere kıyasla daha yüksek çekme dayanımı göstermiştir.

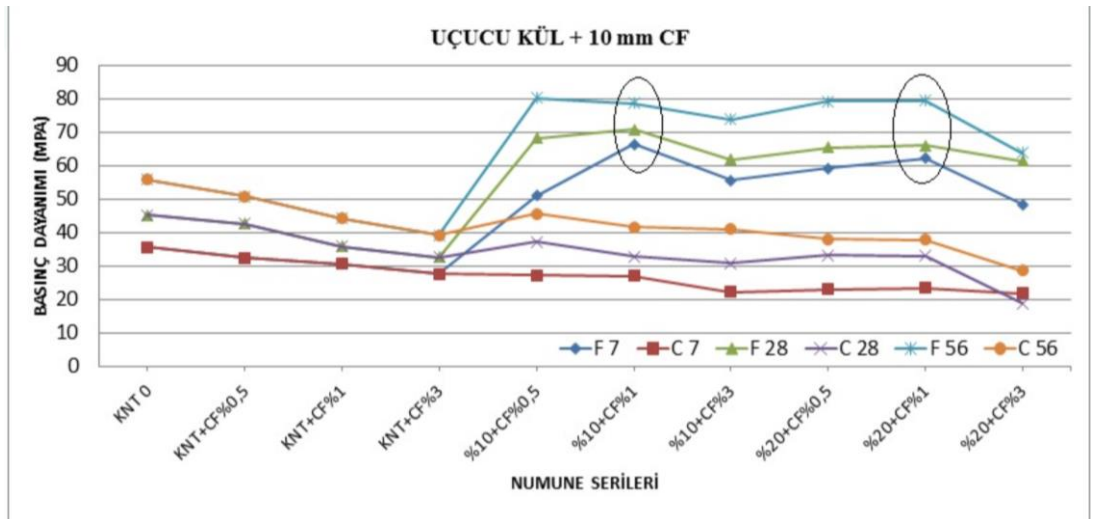
### **5.3 Basınç Dayanımı Karşılaştırmaları**

Grafik 5.7'de 5mm boyutlu karbon fiber ve uçucu küllü serilerin 7, 28, 56 günlük basınç dayanımı ölçüm değerleri görülmektedir. Uçucu külsüz serilerde karbon fiber oranı arttıkça numunelerin basınç dayanımında düşüş olduğu görülmüştür. Kontrol numunesine ve diğer kombinasyonlu serilere kıyasla en yüksek basınç dayanımı değeri F20+CF%3 numunesinde görülmüştür. F sınıfı uçucu küllü seriler C sınıfı uçucu küllü serilere kıyasla daha yüksek basınç dayanımı sağlamıştır. Bu veri F sınıfının puzolanik özelliği ve mikro yapısı ile uyumludur.



Grafik 5.7 F ve C sınıfı 5mm CF + uçucu küllü numunelerin Basınç Dayanımı Bulgularının Karşılaştırmaları

Grafik 5.8'de 10mm boyutlu karbon fiber ve uçucu küllü serilerin 7,28,56 günlük basınç dayanımı ölçüm değerleri görülmektedir. F sınıfı ve karbon fiber kombinasyonlu seriler C sınıfı karbon fiber katkılı ve kontrol numunesine kıyasla daha yüksek basınç dayanımı göstermiştir. En yüksek basınç dayanımı F20+CF%1 numunelerinde tespit edilmiştir. Tüm serilerde karbon fiber oranındaki artış basınç dayanımlarında düşüşe neden olmaktadır.



Grafik 5.8 F ve C sınıfı 10mm CF + uçucu küllü numunelerin Basınç Dayanımı Bulgularının Karşılaştırmaları

Bulgulara göre;

%10 oranlı F sınıfı Çayırhan uçucu kül takviyeli harçlarda basınç dayanımı değeri 7 günlük kırımlarda yaklaşık %4, 28 günlük kırımlarda yaklaşık %7, 56 günlük kırımlarda yaklaşık %2 oranında artış olduğu görülmüştür.

%20 oranlı F sınıfı Çayırhan uçucu kül takviyeli harçlarda basınç dayanımı değeri 7 günlük kırımlarda yaklaşık %4,3;28 günlük kırımlarda yaklaşık %12, 56 günlük kırımlarda yaklaşık %6 oranında artış olduğu görülmüştür.

%20 F sınıfı Çayırhan uçucu kül takviyeli karbon fiber karışımı numuneler %10 uçucu küllü serilere kıyasla yüksek basınç dayanımı göstermiştir. Uçucu küllü ve karbon fiber karışımı tüm seriler kontrol numunesine kıyasla yüksek dayanım göstermiştir. Bu sonuç, uçucu külün zamana bağlı olarak dayanımındaki artışı ile doğru bağlantılıdır.

Yüzde yirmi oranlı F sınıfı uçucu küllü ve 5mm boyutlu %3 karbon fiber oranlı kombinasyon kendi serisinde en iletken numunedir. F sınıfı %20 oranlı uçucu küllü ve 10mm boyutlu %1 karbon fiber oranlı kombinasyon kendi serisinde en yüksek basınç dayanımlı numunedir. F sınıfı %10 uçucu küllü ve 5mm boyutlu %1 karbon fiber oranlı kombinasyon basınç dayanımı pik değerinde olan numunedir. Yine %10 F sınıfı uçucu küllü ve 10mm boyutlu %0,5 karbon fiber oranlı kombinasyon basınç dayanımı pik değerinde olan numunedir. F sınıfı uçucu kül karbon fiber kombinasyonlarının basınç değerini olumlu yönde etkilediği söylenebilir.

%20 C sınıfı Soma uçucu küllü ve karbon fiber karışımı numuneler, %10 uçucu küllü serilere kıyasla düşük basınç dayanımı görülmüştür. En iyi veri %32 artış ile 10 mm boyutlu %0,5 oranlı seride görülmüştür.

5 ve 10 mm boyutlu karbon fiber katkılı F sınıfı Çayırhan uçucu küllü seriler C sınıfı Soma uçucu küllü serilere kıyasla daha yüksek basınç dayanımı sağlamıştır.

Uçucu kül kombinasyonları zamana bağlı olarak basınç dayanımını olumlu etkilemektedir. Kontrol numunesine ve C sınıfı Soma uçucu küllü kombinasyonlara kıyasla F sınıfı Çayırhan uçucu külü kombinasyonlar göre yüksek basınç dayanımı göstermektedir. F sınıfının C sınıfı uçucu küle oranla daha yüksek reaktif silisli

küllerden oluşması sonucunda daha homojen olmasının basınç dayanımının yüksek olması ile ilişkilendirilebilir.

Karbon fiber boyutunun artması basınç dayanımını olumlu yönde etkilerken, karbon fiber oranının artması basınç dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Uçucu kül kombinasyonları zamana bağlı olarak basınç dayanımını olumlu etkilemektedir. Kontrol numunesine kıyasla F sınıfı uçucu külü kombinasyonlar C sınıfı uçucu küllü kombinasyonlardan ve kontrol numunesinden yüksek basınç dayanımı göstermektedir.

#### **5.4 SEM Görüntüleme Analizi Karşılaştırmaları**

Yapılan deneylerin sonuçları incelediğinde açıkça görülmektedir ki, %10 C sınıfı uçucu küllü ve %3 karbon fiber katkılı seriler, boyutuna bakılmaksızın iletkenlik ve çekme dayanımı değerlerini olumlu etkilemektedir. SEM analizi verilerinde karbon fiberin homojen dağılması, bu tespiti desteklemektedir.

SEM görüntüleri ile karbon fiberin homojen dağılımı amacıyla katkı maddesi kullanmanın doğru bir tercih olduğu görülmektedir.

#### **5.5 Su Emme Karşılaştırmaları**

Veriler gösteriyor ki numunelerde karbon fiber oranı arttıkça yüzde su emme değeri de artmaktadır. Aynı oranda 10mm boyutlu karbon fiber içeren seriler 5mm boyutlu karbon fiber içeren serilere kıyasla daha yüksek yüzde su emme değerine sahiptir.

Yüzde su emme değerinin fazla olması numuneleri olumsuz etkilemektedir.

Yüzde su emme verileri ile basınç dayanımı karşılaştırıldığında karbon fiber harç içerisinde boşluklara neden olmakta ve bu boşluklar aynı doğrultuda basınç dayanımında düşüşe neden olmaktadır.

C sınıfı uçucu küllü serilerde F sınıfı uçucu küllü serilere kıyasla daha yüksek yüzde su emme verileri görülmektedir.

Kontrol numunesine kıyasla F sınıfı Çayırhan ve C sınıfı Soma uçucu küllü serilerde yüzde su emme oranında artış olduğu tespit edilmiştir. Kontrol numunesine kıyasla karbon fiber katkısız %10 C sınıfı uçucu küllü seride %25 oranında, %20 C sınıfı seride ise %87 oranında artış olduğu görülmüştür.

Karbon fiber katkısız numunelerden C sınıfı Soma uçucu kül serilerinin yüzde su emme oranları F sınıfı Çayırhan serilere kıyasla daha yüksektir. Bu sonuç Soma uçucu külünün Çayırhan uçucu külünden daha ince yapılı ve reaktif kireç miktarının fazlalığından kaynaklanmaktadır.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, harçlarda karbon fiber oran ve boyutlarının elektriksel iletkenliğe ve dayanıma etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sırasında elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

1. C sınıfı Soma uçucu küllü seriler F sınıfı Çayırhan uçucu küllü serilere kıyasla daha iletkendir.
2. Kontrol numunesine kıyasla, zamana bağlı olarak tüm serilerde elektriksel iletkenliğin azaldığı görülmektedir.
3. Tüm serilerde doğal nemli haldeki elektriksel iletkenlik değerleri, etüv kurusu haldeki elektriksel iletkenlik değerlerinden daha yüksektir.
4. Literatürde karbon fiberin beton ve harç numunelerinde eğilmede çekme dayanımını arttırdığı belirtilmektedir. Uçucu külsüz serilerde karbon fiber oranı arttıkça eğilmede çekme dayanımında artış olduğu görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen bulgular şimdiye kadar yapılan yayınlardaki bulgular ile uyumludur.
5. Karbon fiber boyutunun artması basınç dayanımını olumlu yönde etkilerken, karbon fiber oranının artması basınç dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir.
6. % Su emme verileri ile basınç dayanımı karşılaştırıldığında karbon fiber harç içerisinde boşluklara neden olmakta ve bu boşluklar aynı doğrultuda basınç dayanımını olumsuz etkilemektedir.
7. Basınç dayanımı ile elektriksel özdirenç arasında doğru oranlı bir ilişki vardır.
8. Çekme dayanımı ile elektriksel özdirenç arasında ters oranlı bir ilişki vardır.
9. Karbon fiber oranı artışı çekme dayanımına iyileştirmektedir. SEM analizi verilerinde karbon fiberin homojen dağılması bu tespiti desteklemektedir.

10. Bu çalışma karbon fiberin mineral katkı olarak kullanılan uçucu kül takviyeli harçlarda elektriksel iletkenliği arttırdığını göstermiştir.
11. Gıda, mekanik ve savunma sanayin de geniş yer bulan karbon fiberin inşaat sektöründe de etkin fayda sağlayabileceği görülmüş olup yapı malzemeleri arasında hızla yerini alması olasıdır.
12. Elektriksel iletkenlik değerlerinde artış ve izlenebilme kabiliyeti ile akıllı beton hedeflenen yapılarda uçucu kül takviyeli harçlarda karbon fiberin verimlilik sağlayabileceği görülmüştür.
13. Uçucu kül ile karbon fiberin birlikte kullanımını diğer karbon içeren materyallere göre hem daha ekonomik olduğu görülmüştür. Ayrıca mineral katkı ile kullanılan karbon fiberin yaygınlaşması, çevre kirliliği oranını da azaltacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Altaş, E. 2017, Beton Nemliliğinin, Basınç Dayanımı, Ultrases Hızı ve Yüzey Sertlik Değerleri Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman Üniversitesi.
- ASTM C 1760 Standard Test Method for Bulk Electrical Conductivity of Hardened Concrete (Withdrawn 2021)
- ASTM C 618, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, American Society for Testing and Materials, 2008.
- Balaguru, P., Chong, K., 2006, "Nanotechnology and Concrete: Research Opportunities", Proceedings of ACI Session on Nanotechnology of Concrete.
- Banthia, N., Djeridane, S., Pigeon, M., Electrical Resistivity Of Carbon And Steel Micro- Fiber Reinforced Cements and Concrete Research Volume 22, Issue 5, September 1992, online 2003
- Boğa, A.R., 2017, Harçların Mekanik ve Elektriksel İletkenlik Özelliklerine Karbon Lifi ve Çelik Hane Cürufu Kullanımının Etkisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10.5578/fmbd.66301.
- Brown, L., Sanchez, F., "Durability of Carbon Nano fiber/Cement Composites in Aggressive Environments", 2012. 4th International Symposium on Nanotechnology in Constrh.
- Chen, P. & Chung, D.D.L., (1993), Carbon Fiber Reinforced Concrete as an Electrical Contact Material for Smart Structures, Smart Mater.
- Chen, P. & Chung, D.D.L., (1993), Carbon Fiber Reinforced Concrete as an Electrical Contact Material for Smart Structures, Smart Mater.
- Chen, P. & Chung, D.D.L., (1993), Concrete Reinforced with up to 0.2 vol % of Short Carbon Fibres, Composites.
- Chung, D.D.L. & Chen, P., (1993), Carbon Fiber Reinforced Concrete For Smart Structures Capable of Non-Destructive Flaw Detection, Smart Mater.
- Çağlar, A. , Çağlar, H., Ahıskalı, A., Çimen, S., (2021), "The Effect Of Rice Husk Ash On Thermal Properties Of Blend Brick" Mas 14. International European Conference On Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences . March 26-28, 2021. Széchenyi Istvan University, Hungary.
- Çeçen, F., 2019. Karbon-Fiber Donatıyla Öngerilmemiş Monoblok Demiryolu Beton Traversi Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi.
- Dehghanpour, H., 2019, Elektriksel İletken Betonlarda Piroliz Yöntemi İle Elde Edilen Nano Karbon Siyahının Değerlendirilmesi. Mayıs 2019. Sakarya Üniversitesi.

- Dehghanpour, H., Eylül, 2019. Havalimanı Pistlerinde Donmayı Egellemek Amacıyla Elektrotermal Özelliklere Sahip Betonların Üretimi ve İncelenmesi. Doktora Tezi. Sakarya Üniversitesi.
- Demircioğlu, E. , Teomete, E. 2020. Nano Boyutta Tufin Betonun Ekeltriksel Direnç – Birim Şekil Değişirme İlişkisine Etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Demirel, B., 2006. Akıllı Hafif Betonun Gerilme Ve Sıcaklık Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat üniversitesi.
- Demirel, B., Yazıcıoğlu, S., 2007, Uçucu Külün Karbon Fiber Takviyeli Hafif Betonun Seebeck Katsayısına Etkisi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2007.
- Doğan, C. 2020. Hareketli Mekân Tasarımındaki Ergonomik Faktörlerin Deprem Bölgesi Konutlarına Uygulanması. Mimarlık ve Yaşam Dergisi Journal of Architecture and Life 5(2), 2020, (615-626) ISSN: 2564-6109 DOI: 10.26835/my.803977
- Dolch, W.L.,Diamond, S., “Durability of concrete”, 1995. Part 39 of Civil Engineering Handbook, Editor-in-chief, W.F. Chen. Boca Raton: CRC.
- Dündar, B., Çınar, E., Peşin, S., 2020. Bazalt ve Karbon Lif Takviyeli Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. GÜFBED/GUSTIJ (2020) 10 (4): 1039-1048
- Erdoğan, T.Y., (2003), Beton, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- Galao, O.,Gomis, J., Zornoza, E., Baeza, F.J., Garces, P., “HeatingFunction of CarbonNanofibreCementPastes”, 2012. 4th International SymposiumonNanotechnology in Construction.
- Giatec Scientific, www.giatec.ca
- HEAL. 2018. Linyit kömürü: sağlık etkileri ve sağlık sektöründen tavsiyeler. HEAL: <https://www.env-health.org/wp-content/uploads/2018/12/HEAL-Lignite-Briefing-TRweb.pdf> adresinden alınmıştır
- Irene, Y. Y. C. Zonglin, L. “Influence of Nanoparticles on the Properties of 0-3 Cement-Based Piezoelectric Composites”,2012. 4th International Symposium on Nanotechnology in Construction.
- Kaplan, G., Öztürk, A.U., Yıldız, S.A., Demircan, R. K., (2017) Öğütme Kolaylaştırıcı ve Dayanım Arttırıcı Katkıların Kalkersi Uçucu Kül Katkılı Çimentolarda Kullanımı. Hazır Beton Kongresi Bildirileri. Nisan 2017. İstanbul.
- Kaya, G., Turan, S., 2004, “Yüksek Fırın Curufunun Seramik Sektöründe Katma Değeri Yüksek Ürünlerin Eldesinde Değerlendirilmesi”, Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt: 45, Sayı: 536, Eylül 2004.

- Kim, H., Kim, G., Lee, S., Son, M., Choe, G., & Nam, J. 2019. Strain Rate Effects On The Compressive And Tensile Behavior Of Bundle-Type Polyamide Fiber-Reinforced Cementitious Composites. *Composites Part B: Engineering*.
- Korkut, F., Türkmenoğlu, Z.F., Taymuş, R.B., Güler, S. 2017. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 6, Sayı 2, (2017).
- Kozak, M. 2013, Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması. *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 375, 26-35, Süleyman Demirel Teknik Bilimler Yüksekokulu.
- Nasery, M. M., Ağcakoca, E., Yaman, Z., 2020. Lif Katkılı Betonlarda Fiber Oranının Basınç Dayanımına Etkisinin Deneysel ve Nümerik İncelenmesi. *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi* 7(2).
- Öz, A. 2014. Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Yerleşen Hibrid Lifli Betonların Bazı Özelliklerinin Araştırılması. *Doktora Tezi. Atatürk Üniversitesi*.
- Pekmezci, B. Y., Atahan. H. N., 2014, Kimyasal ve Nano Katkılar: Betonda Kullanımı ve Beton Performansına Etkileri. *Hazır Beton Kongresi, Mayıs – Haziran*.
- Pekmezci, B.Y., Yüksek Performanslı Çimentolu Ürünlerin Otojenrötre Özellikleri, 206. *Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Reza, F., Yamamuro, J.A., Batson, G.B., 2004, Electrical Resistance Change in Compact Tension Specimens of Carbon Fiber Cement Composites, *Cem. Concr. Comp.*, 26.
- Sarıbıyık, A. 2017. Betonların Güçlendirilmesinde FRP Kompozitlerin Hibrit Olarak Kullanımının Etkisi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. Doi10.16984/tafenbilder. 343562
- Shi ve Chung, Shi, Z.Q. and Chung, D.D.L., 1999, Carbon Fiber Reinforced Concrete for Traffic Monitoring and Weighing in Motion, *Cem. Concr. Res.*, 29.
- Şenol, C. 2020. Türkiye’de Depremlerin Yerleşme ve Demografik Yapı Üzerindeki Etkileri (1927-2020). *USBAD Uluslararası Sosyal Bilimler Akademi Dergisi*.
- Şimşek O., Erdal M., Sancak E., 2005, Silis Dumanının Çelik Lifli Betonun Eğilme Dayanımına Etkisi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 2005.
- TÇMB/AR-GE/Y96.1 Türkiye Çimento-Beton Araştırmacı Envanteri (1996)
- TÇMB/AR-GE/Y96.2 Türkiye Çimento-Beton Ekipman Envanteri (1996)
- TÇMB/AR-GE/Y97.1 Türkiye Çimentoları, prEN 197 Çimentoları ve Avrupa Ülkelerinde İç Satış İstatistikleri (Türkiye’deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması Ve Özellikleri TÇMB / AR-GE / Y03.03 Temmuz 2009, ANKARA.
- TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Dünya Çevre Günü Türkiye Raporu, Haziran 2019.

- Topçu, İ. B., Boğa, A. R., 2005, “Uçucu Kül ve Çelik Liflerin Beton ve Beton Borularda Kullanımı”, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt XVIII, Sayı 2
- Topçu, İ.B., Beton Teknolojisi, Uğur Ofset A.Ş., Haziran 2006, Eskişehir.
- TS EN 12350-5, Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 5: Yayılma Tablası Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2010,
- TS EN 12390-4 Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3 : Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini
- TS EN 12390-5 Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 4 : Deney Numunelerinde Eğilmede Çekme Dayanımının Tayini
- TS EN 196-1 TS EN 196-1 Çimento Deney Metotları- Bölüm 1: Dayanım Tayini, TSE, (2002).
- TS EN 197-1/Mart 2002. Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri.
- TS EN 197-1/Mart 2002. Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri.
- TÜİK. (2017, Aralık 18). Haber Bültenleri-Termik Santral Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri. Mayıs 20, 2019 tarihinde TÜİK: <http://tuik.gov.tr/OncekiHBArama.do> adresinden alındı.
- Türkiye’deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması Ve Özellikleri TÇMB / AR-GE / Y03.03 Temmuz 2009, ANKARA.
- USTABAŞ. İ., GÜRBÜZ, A., KURT, Z., DEŞİK, F. 2020. Betonda CFRP Sargı Uygulamasının Deneysel ve Analitik Olarak Karşılaştırılması. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi.
- Uygunoğlu, T., Şimşek, B. 2019. Grafen Oksit Katkılı Harçların Mekanik, Fiziksel ve Elektriksel Özelliklerinin Araştırılması. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 7(1), 196 – 204, 2019e-ISSN: 1308-6693
- Ünal, İ. 2018. Yanal Deformasyonları Karbon Elyaf Kumaş ve Cam Elyaf Kumaş İle Sınırlanmış Betonların Yük Altındaki Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Bozok Üniversitesi.
- Yang, X. And Chung, D.D.L., (1992), Latex-Modified Cement Mortar Reinforced by Short Carbon Fibres, Composites.