



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI TÜR KARBON ESASLI MALZEMELERİN ÇİMENTO BAĞLAYICILI KOMPOZİTLERİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

Oğuzhan ÖZTÜRK

YÜKSEK LİSANS

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalını

Haziran-2015

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

FARKLI TÜR KARBON ESASLI MALZEMELERİN ÇİMENTO BAĞLAYICILI KOMPOZİTLERİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

Oğuzhan ÖZTÜRK

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Arife AKIN
Yrd. Danışman: Doç. Dr. Mustafa ŞAHMARAN

2015, 65 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Hicran AÇIKEL
Yrd. Doç. Dr. Arife AKIN
Yrd. Doç. Dr. Günnur YAVUZ

Hızlı gelişen ekonomilere sahip ülkelerde inşaat sektörü ekonominin en temel parçalarından birini oluşturmaktadır. Bu nedenle beton ekonomik gelişmenin önde gelen unsurlarındandır. Bugüne kadar pek çok araştırmacı tarafından geleneksel betonun yapısal ve performans özellikleri üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Son yıllarda yapısal ve performans özelliklerinin yanı sıra beton gibi çimento esaslı malzemelerin yapısal olmayan bazı özelliklere de aynı anda sahip olabilmesi için bir takım çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu çalışmaların arasında en önemli konulardan birisi yapısal sağlık izleme araştırmalarıdır.

Genel anlamda, bünyesinde herhangi bir sensör bulunmadan yapısal malzemelerin direk olarak sensör amacı ile kullanılması durumu kendiliğinden algılama olarak tanımlanmaktadır. Böylece, entegre sistemlere gerek kalmadan yapısal/malzeme sağlık izlemesi rahatlıkla yapılabilmektedir. Olası yapısal hasarlar veya deformasyonlar çimento bağlayıcılı kompozitlerin sahip olduğu piezo-dirençli özellikleri sayesinde belirlenebilmektedir. Piezo-direnç özelliğini sağlamak için çimento bağlayıcılı kompozitlerin üretimi sırasında karbon esaslı tanecikler, lifler, filamentler vb. yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerden karbon nano tüpler (KNT) ve karbon nano lifler (KNL) çimento bağlayıcılı kompozitlerin elektriksel özellikleri açısından çok iyi sonuçlar göstermektedir.

Bu çalışmada, karbon lif (KL) ve karbon nanotüplerin (KNT) çimento bağlayıcılı kompozitlerin elektriksel özellikleri üzerine etkileri, 1, 7, 28, 60, 90 ve 180 günlük ölçümlerle incelenmiştir. Çalışmalarda, nano-karbon ürünlerin çimento bağlayıcılı kompozitler içerisine ilavesi sırasında farklı karışım metotları en iyi deney sonuçlarını elde etmek amacıyla araştırılmıştır. Elektriksel ölçümlerin belirlenmesinin yanında mekanik testler uygulanarak çimento bağlayıcılı kompozitlerin piezo-dirençli özellikleri saptanmıştır. Çalışma sonuçları, farklı tür karbon esaslı malzemelerin çimento bağlayıcılı kompozitlerin elektriksel özellikleri üzerine etkilerinin, büyük ölçekli yapı sistemlerinde oluşan hasarların tutarlı bir şekilde algılamasında önemli bir basamak olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Çok fonksiyonlu çimento bağlayıcılı kompozitler, yapısal/malzeme sağlık izleme, kendiliğinden algılama, elektriksel özellikler, farklı tür karbon esaslı malzemeler.

ABSTRACT

MS. THESIS

EFFECTS OF DIFFERENT TYPES OF CARBON BASED MATERIALS ON ELECTRICAL PROPERTIES OF CEMENTITIOUS COMPOSİTES

Oğuzhan ÖZTÜRK

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY

THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN CIVIL ENGINEERING

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Arife AKIN
Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa ŞAHMARAN
2015, 65 Pages

Jury
Assoc. Prof. Dr. Hicran AÇIKEL
Asst. Prof. Dr. Arife AKIN
Asst. Prof. Dr. Günnur YAVUZ

Construction industry constitutes backbone of the economy in rapid growing countries. For this reason, concrete is one of the leading factors of economic development. Up to now, numerous studies have been conducted on structural and performance properties of conventional concrete by researchers. In addition to the structural and performance properties, some additional research works were started to be performed recently to equip cementitious composites such as concrete with non-structural properties. Among these studies, one of the significant topic is structural health monitoring researches.

In general, structural materials that do not consist of any sensor but used for sensor purpose is called self-sensing materials. Thanks to self-sensing capability of concrete therefore, structural/materials health monitoring can easily be made without being in need of any integrated systems. Potential structural damages or deformations can be determined owing to piezo-resistivity characteristics of cementitious composites. To provide piezo-resistive charactarestics, carbon based particles, fibers, filaments etc. are widely used during fabricating of cementitious composites. Carbon based nano materials such as carbon nanotubes (CNT) and carbon nano fibers (CNF) exhibits promising results considering electrical properties of cementitious composites.

In this study, effects of carbon fibers (CF) and carbon nanotubes (CNT) on the electrical properties of cementitious composites were investigated at curing ages of 1, 7, 28, 60, 90, 180 days measurements. In experiments, while supplementing nano-carbon products into the cementitious composites, different mixing methods were examined aiming to obtain best test results. Additionally, not only electrical measurements were conducted but also piezo-resistive characteristics of cementitious composites were determined by mechanical tests. Results indicates that effects of different types of carbon based materials on electrical properties of cementitious composites can be used as a crucial step for sensing damages that occurs in large-scale structural systems in a consistent way.

Keywords: Multifunctional cementitious composites, structural/materials health monitoring, self-sensing, electrical properties, different types of carbon based materials.

ÖNSÖZ

Sayın danışmanım Yrd. Doç. Dr. Arife AKIN'a vermiş olduğu rehberlik ve destekleri için minnettar olduğumu ifade etmek isterim.

Çalışmalarımın yürütülmesinde büyük emeği olan ve her aşamada kıymetli fikirlerini benden esirgemeyen Gazi Üniversitesi Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Mustafa ŞAHMARAN'a saygılarımı sunarım.

Ayrıca çalışmalarım esnasında manevi desteğini sürekli olarak hissettiğim aileme sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Oğuzhan ÖZTÜRK
KONYA-2015

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vii**

İÇİNDEKİLER ..... **viii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **5**

3. ÇOK FONKSİYONLU ÇİMENTO BAĞLAYICILI KOMPOZİTLERİN TASARIMINDA KULLANILAN MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ **10**

3.1. Çalışmada Kullanılan Farklı Tür Karbon Esaslı Malzemeler 14
3.1.1 Çalışmalarda Kullanılan Karbon Liflerin Özellikleri 15
3.1.2 Çalışmalarda Kullanılan Karbon Nanotüplerin Özellikleri 19
3.2 Nano Karbon Ürünlerinin Matris İçerisine Katılması 23
3.3 Çalışmalar sırasında kullanılacak elektriksel veri toplama: 24
3.4. Deneysel program 25
3.5 Karışım metotları ve en iyi karışım metodunun araştırılması 26
3.6 Tasarlanan Çok fonksiyonlu Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Yükler Altında Piezo-Dirençli Özelliklerinin Belirlenmesi 32

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **33**

4.1.Karbon Nanotüp Takviyeli Olarak Hazırlanan Kompozitlerin Elektriksel Direnç Deneylerinin Sonuçları 33
4.2 Karbon Lif Takviyeli (6 mm) Olarak Hazırlanan Kompozitlerin Elektriksel Direnç Deneylerinin Sonuçları 37
4.3 Karbon Lif Takviyeli (12 mm) Olarak Hazırlanan Kompozitlerin Elektriksel Direnç Deneylerinin Sonuçları 41
4.4 Tasarlanan Çok fonksiyonlu Çimento Esaslı Kompozitlerin Kendiliğinden Algılama Kabiliyetleri 45
4.4.1 KL Takviyeli Çimento Bağlayıcılı Kompozitlerin Elektriksel Direnç Değerleri 49

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **55**

KAYNAKLAR **57**

ÖZGEÇMİŞ **59**

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Ω: Elektriksel Direnç
A: Alan
Z: Empedans
L: Uzunluk
μm: Mikrometre

Kısaltmalar

KL: Karbon Lif
KNT: Karbon Nanotüp
EMI: Electromechanical Impedance (Elektromekanik Empedans)
GPa: Giga Pascal
ÇDKNT: Çok Duvarlı Karbon nanotüpler
TDKNT: Tek Duvarlı Karbon nanotüpler
SEM: Scanning Elektron Microscobe (Taramalı Elektron Mikroskobu)
YSİ: Yapısal Sağlık İzleme
TPa: Tera Pascal

1. GİRİŞ

Tüm dünyada ülkeler, sürdürülebilirliği olmayan kalkınma problemlerini çözmek için çaba sarf etmektedir. Gelişen ve hızlı büyüyen ekonomilere sahip ülkelerde bu çabalar daha açık görülebilmektedir. Genellikle, hızlı büyüyen ekonomilerde otoyollar, havaalanları, köprüler, yer altı toplu taşıma sistemleri, barajlar, atık su arıtma tesisleri, deniz yapıları ve bina formatlarında gelişen altyapılar, ticareti destekleyen ve dış yatırımı teşvik eden unsurlardır. Bu sebeple, beton, ekonomik gelişmenin temel taşlarından biri olarak kabul edilebilir. Betonun ve üretiminde kullanılan ana bileşenlerden çimentonun üretimi sırasında çevreye vermiş oldukları zararlara rağmen özellikle gelişmekte olan ülkelerin inşaat sektörlerindeki canlanmalarla birlikte, küresel olarak betona rağbet önemli ölçüde artmış ve mevcut durumda dünyada en geniş çapta kullanılan inşaat malzemesi olmuştur. Çok yaygın olarak farklı amaçlarda kullanılmasından dolayı özellikle geleneksel betonun yapısal ve performans özelliklerinden dayanım, süneklik, tokluk, darbe dayanımı, çevresel etkenlere karşı dayanıklılık gibi özellikleri geniş çerçevede daha önce pek çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır.

Yapılar üzerlerine uygulanan gerilme, şekil değiştirme ve çevresel etkenler gibi nedenlerden dolayı sürekli olarak deformasyona veya hasara uğramaktadırlar. Bu tip yapılarda meydana gelebilecek deformasyonların seviyelerinin veya hasarların olası en erken sürede belirlenmesi çok kritik bir öneme sahiptir. Bu nedenle yapıların sağlık veya mevcut durumunu değerlendirmek için geçmişte bir takım yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden birim şekil değiştirme ölçer, fiber optik sensör, akustik sensör, piezoelektrik seramik sensörler gibi sensörlerin yapıların hasar durumlarını öğrenmede kullanıldığı bilinmektedir. Ancak sensör tabanlı yapısal/malzeme sağlık izleme yöntemlerinin önündeki en önemli engel olarak büyük ölçekli yapı sistemlerine yerleştirilebilecek güvenilir, kolay yerleştirilebilir, uygun maliyetli ve aşırı çevresel şartlara dayanıklı sensörlerin olmamasıdır. Ayrıca mevcut entegre sistemler, yapılar ve malzeme için birçok önemli özelliği hassasiyetli bir biçimde izleyememektedir. Bu tür sensörlerin düşük durabilite, yüksek maliyet, kısa kullanım ömürleri ve beton yapılarla uyum sorunları gibi olumsuz yönleri bulunmaktadır. Bunun yanında bu tip sensörler yapılarda sadece yerleştirildikleri sınırlı bölgelerden ölçüm almakta olup, tüm yapı sistemini tarayamamaktadır. Ayrıca yapıların içerisine gömülen sensörler, yerleştirildikleri bölgelerin genellikle mekanik özelliklerinde belirli ölçüde kayıplar

meydana getirmektedir. Özet olarak, yapıların mevcut durumlarının sürekli ve doğru bir şekilde izlenmesi için tüm yapıya yayılmış güvenilir ve ekonomik bir sensör sistemine ihtiyaç duyulmaktadır.

Kamusal binaların mevcut yapısal sağlık durumlarının belirlenmesi ve altyapıların hizmet vermemesine neden olabilecek olumsuz durumların yapılarda herhangi bir tehlike arz etmeden öğrenilmesi çok önemlidir. İnşaat yapılarının mevcut durumlarını kontrol ederek yapısal sağlıklarını izlemek için birkaç yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlardan bazıları aşağıdaki teknolojileri kullanmaktadır (Karbhari and Ansari, 2009) ;

Piezoelektrik İmpedans Transformatörleri: Elektromekanik empedans tekniği (EMI, Electromechanical Impedance) ile kurşun zirkonat titanat (PZT, Lead Zirconate Titantate) empedans transformatörleri kullanılarak çeşitli mühendislik yapılarının yapısal sağlık izlemelerinde (YSİ) başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Bu teknikte, PZT transformatörleri yan yana aktüatörler ve sensörler olarak yer alıp, ultrasonik titreşimlerle (genel olarak 10 kHz'den 100' kHz'e kadar aralıkta) yapının karakteristik durumunu belirleyerek yapı hakkında bilgi sahibi olunmasını sağlamaktadır. Maliyet olarak uygun ve hasarın yüksek hassasiyette tespit edilmesi, EMI tekniğinin son yıllarda çok geniş bir biçimde ele alınmasına neden olmuştur.

Kablosuz sensörler ve ağlar: Kablosuz algılayıcılar, kendi bilgi işlem kabiliyetleri ile hasar izleme uygulamalarında kullanılabilmektedir.

Manyetoelastik gerilme sensörü: Ferromanyetik malzemelerin manyetik özelliklerinin gerilme seviyesi ile değiştiği bilinmektedir. Bir mühendislik uygulaması olarak manyetoelastik gerilme sensörü inşaat altyapılarında oluşan gerilmeleri takip etmede kullanılmaktadır.

Titreşim tabanlı hasar tespit teknikleri: Dinamik testler ve titreşim tabanlı hasar tespit yöntemleri yapıların sağlık durumlarını izlemede kullanılmaktadır. Hasarsız belirleme yöntemleri (Non-destructive evaluation, NDE) tekniği yapının o an ki durumunu titreşim karakteristiği üzerinden hesaplayarak belirlemektedir. Hasarsız bir şekilde yapının sağlık izlemesinin yapılması aşağıdaki parametreleri içermektedir:

- Modal parametrelerin alınması için dinamik test yapılması (doğal frekanslar, şekil tipleri, sönümleme özellikleri) ya da diğer özelliklerin tespiti (yapının geçmişi, yapısal titreşimleri)

- Yapıda hasarı bulmak ve hasarın olduğu yer ile hasarın seviyesini tespit etmek için hasar tespit algoritması oluşturmak.

Fiber optik sensörler: Çok eski zamanlardan beri insanlık hafif ve kullanılması mümkün olan bütün malzemelerle ilgilenmiştir. Fiber optiklerin ortaya çıkışı, bilim insanlarının ışığı bir yerden başka bir yere transfer etmek amacıyla yönlendirmesine, kırmasına ve yayması çalışmalarında kullanılmasına kadar eskiye giderek 19. yüzyıl ortalarına kadar dayanmaktadır. Günümüzde optik fiberler, medikal ve algılama uygulamaları kadar telekomünikasyon uygulamalarında da geniş bir biçimde kullanılmaktadır. Yapısal mühendislikte optik fiberlerin geometrik şekillerinden dolayı, şekil değiştirmeye karşı algılama özelliğinin ve diğer önemli parametrelerin yapısal sağlık izleme uygulamalarına uyumlu olduğu bilinmektedir. Ancak optik fiberlerin büyük yapısal uygulamalarda kullanılması kısıtlıdır çünkü yerleştirme esnasında optik fiberlerin oldukça kolay hasar alması ve inşaat esnasında ya da rutin servis ömrü süresince büyük yapısal eleman ve malzemelerle uyum sorunları bulunmaktadır. Bu nedenle sensör uygulamaları iki tane temel kriteri sağlamak zorundadır;

-Uygulamanın amacına gerekli olan parametreleri algılamak,

-Yapının içerisindeki hasarı algılarken optik fiberin hasar görmesini engellemek.

Çimento bağlayıcılı kompozitlerin yapısal ve performans özellikleri ile yukarıda bahsedilen fonksiyonel özellikleri de (yapısal sağlık izleme) aynı anda sergilemesi durumunda, bu tür malzemeler "çok fonksiyonlu malzemeler" olarak tanımlanmaktadır. Genel anlamda, bünyesinde herhangi bir sensör bulunmadan yapısal malzemelerin direk olarak sensör amacı ile kullanılması durumu da ''kendiliğinden algılama'' olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla, entegre sistemlere gerek kalmadan kendiliğinden algılama özelliği sayesinde yapının yapısal/malzeme sağlık izlemesi rahatlıkla yapılabilmektedir. Bir başka deyişle, kendiliğinden algılama (piezo-dirençlilik) elektriksel olarak iletken karbon esaslı malzemelerle takviyelenmiş çimento esaslı malzemelerin gerilme ve şekil değiştirme değişikliklerinin algılanmasıdır (Shei Wen ve Chung, 2002). Çimento esaslı malzemelerde deformasyon ve gerilme oluştuğunda, karbon tanecikleri ve matris arasındaki iletken durum değişmektedir ve bu durum çimento esaslı malzemelerin elektriksel direnç özelliklerini etkilemektedir. Şekil değiştirme, gerilme, çatlak ve hasarlar elektriksel direnç hesaplamaları yöntemi ile tespit edilebilmektedir. (Azhari, 2008).

Kendiliğinden algılama kabiliyeti edinebilmek için çimento bağlayıcılı kompozitlerin içerisine üretimi sırasında katkı olarak ilave edilebilen karbon esaslı malzemeler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan karbon esaslı

malzemelere örnek olarak karbon nano tüp, karbon siyahı, grafit ve karbon lifleri verilebilir.

Bu tezde kendiliğinden algılama çalışmalarının temeli olarak farklı tür karbon esaslı malzemelerin çimento bağlayıcılı kompozitlerin elektriksel özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Elektriksel özelliklerin yanında mekanik testlerde yapılarak kompozitlerin piezo-dirençli karakteristikleri saptanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Wen ve Chung (2000), yaptıkları çalışmada, karbon lif takviyeli çimento harçlarının direnç hesaplamaları sırasında elektrik polarizasyonu probleminin olduğunu belirtmişlerdir. Daha fazla kristal halde bulunan karbon liflerin çimento hamuruna takviyesi ile bu etki azaltılmıştır. Lif içeriği artışı ya da lateks yerine silis dumanı kullanımının kristalize liflerin kompozitteki iletkenliği arttırdığı bulunmuştur. Ancak bu durum polarizasyonu voltaj yoğunlaşması, değiştirme etkisi ve yüzey-örnek ara yüzey kusurları gibi nedenlerle arttırmıştır. Sonraki yapılan deneylerde bu durum ortadan kalkmıştır.

Wen ve Chung (2006), kendi hasarını algılayabilen karbon lif takviyeli çimento numunelerinin basınç deneyi altında gösterdiği özellik sayesinde elektriksel direnç testi yapmışlardır. Yaptıkları çalışmalarında direnç artışı %10 ile %30 arasında oluştuğunda bu durumun ana hasarı göstermiş olduğu savunulmuştur. Elastik bölgede kalan küçük hasarlar ise direnç artışında %1 ile %7 değerleri arasında değişiklik göstermiştir. Çalışma sonuçları kendi hasarını algılama yeteneğinin temelinde mikro çatlaklara köprü vazifesi gören liflerin kırılmasının yattığını ortaya koymuştur.

Sanchez (2009), çalışmasında, karbon liflerin çimento kompozitlerdeki kullanımını farklı şekillerde numune hazırlayarak araştırmıştır. Yüzey işlemi için nitrik asit ve dağılım sağlamak için aseton kullanmıştır. Bu işlemlerin, karbon nano liflerin çimento numunelerinde dağılımını iyileştirdiği tespit edilmiştir. Çalışmada, karbon nano lifler, numunenin dayanımında önemli bir artış sağlamasa da, kompozitin başka mekanik davranışlarını değiştirmiştir.

Li ve ark (2011), yapmış olduğu çalışmada nano malzeme tabanlı çok fonksiyonlu oluşturulan betonun kendini algılama ve yüksek mekanik özellikler sebebiyle altyapıların güvenliğini sağlama noktasında etkili olduğunu belirtmişlerdir. Nano karbon siyahının uygun konsantrasyon ile betona eklenmesiyle piezo-dirençli olarak alınan sonuçlar nano-betonun kendini algılama özelliğini sağlamıştır. Farklı yükleme tiplerinin etkileri nano-betonun piezo-direnç özelliğinde deneysel olarak çalışılmıştır. Nano-betonun farklı yükleme ve çevresel koşullar altında ki gerilme ölçülerini tahmin etmek için teorik bir model oluşturulmuştur. Direnç hesaplaması

sırasında polarizasyonun olumsuz etkisini engellemek için nem etkisi ve su gibi olumsuz metotlar da oluşturulmaya çalışılmıştır.

Han ve ark (2011), araştırmalarında, nanoteknolojinin beklentilerini ve malzeme dünyasını kontrol etmede insanlığın vizyonunu değiştirdiğini ve değiştirmeye de devam ettiğini belirtmişlerdir. Bu gelişmelerin inşaat sektörünü ve inşaat malzemelerini de kesin olarak değiştireceği görülmüştür. Karbon nano tüpler nano takviyeli malzemeler içerisinde en yararlı olanıdır. Küçük hacmi, düşük yoğunluğu ve benzersiz fiziksel ve kimyasal özellikleri ile akıllı ve çok fonksiyonlu çimento bağlayıcılı kompozitlere katkıda bulunmaktadır. Bu çalışmada, son gelişmeler ve karbon nano tüplerin çimento bağlayıcılı kompozitlerde, kullanım metotları ile mekanik özellikleri, elektrik, piezo-direnç özellikleri, termal iletkenlikleri ve yapısal uygulama potansiyelleri ile göz önüne alınmıştır. Çok fonksiyonlu ve akıllı karbon nano tüp takviyeli çimento bağlayıcılı kompozitlerin gelecekteki karşılaşacağı sorunlara ve uygulamalara ayrıca değinilmiştir.

Dong ve diğerleri (2011), bu çalışmalarında, inşaat mühendisliğindeki uygulamalara yeni bir bakış getirebilecek mekanik sensör görevi sağlayan, çimento malzemesine piezo-elektrik seramik eklemiştir. Bu sensör belirli bir yapının anlık bilgisini sağlamakta ve gerçek zamanlı olarak yapısal sağlığını izleyebilmektedir. Bu durum özellikle beton yapıları için yerinde hesaplamalarda ideal bir tespit biçimidir. Böylece piezo-elektrik seramik ve çimento esaslı malzemenin yüksek mekanik özelliklerinin birleştirilerek deneysel verilerle doğrusal bir mekanik-elektrik ilişki durumu bulunmuştur. Çimento esaslı piezo elektrik seramik kompozitlerinin inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılabilecek önemli bir potansiyel olduğu ortaya konulmuştur.

Melo ve ark (2012), çalışmalarında, nano ölçekteki partiküllerin kullanımının birçok farklı malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirdiğini vurgulamıştır. Portland çimentolu bağlayıcılı kompozitlerde, mekanik özelliklerden çekme gerilmesi yönünden performans artmıştır. Çimento içeriğinin sırası ile 0.30, 0.50 ve 0.75'i oranlarında fiziksel olarak eklenmiş karbon nano tüplerin numuneler içerisine eklenerek mekanik özelliklerini tespit etmek amaçlanmıştır. İki kimyasal katkı ile –polikarboksil ve melamin formaldehit- modifiye edilerek kullanılmıştır. Araştırılan mekanik özellikler

basınç, çekme mukavemetleri ve elastik modüldür. SEM ve BET analizleri mikro yapı için test edilmiştir. Belirli yüzey alanı ve piknometri sonuçlarına göre ayrıca bilgisayar programı mikro yapıyı analiz etmede kullanılmıştır. Test sonuçları çimento oranının %0.30'u oranda karbon nano tüp takviyeli ve modifiye edilmiş polikarboksil su azaltıcı kullanımının en iyi performanslı kompozitleri verdiğini ortaya koymuştur.

Lin ve ark (2011), yapmış oldukları çalışmalarında, tasarlanmış çimento esaslı kompozitlerin bugüne kadar ki gelişimi ile birlikte hedeflenen çekme gerilmesini ve kendini algılayabilme yeteneğini araştırmışlardır. Çalışmada, tasarlanmış çimento esaslı kompozit üzerine uygulanan yük ile gerilme altında şekil değiştiren ve yüksek performans gösteren lif takviyeli bir kompozit olduğu üzerinde durulmuştur. Az miktarda karbon siyahının tasarlanmış çimento esaslı kompozite katkısı ile kendini algılayabilme yeteneği başarılı bir şekilde oluşturulmuştur. Bu durum piezo-direnç davranışı sağlamakla beraber numuneyi çekme gerilmesi altında da iyileştirmiştir. Tasarlanmış çimento esaslı kompozitin çekme gerilmesi altındaki hali, çekme kapasitesi ve yük kapasitesiyle beraber kırılma şekilleri de ayrıca irdelenmiştir.

Tian ve Hu (2012), yaptıkları araştırmada, iletken betonun elektriksel iletkenliği testi için özel bir yönetmelik veya standart olmamasına rağmen, iletken betonun inşaat sektöründe ve diğer alanlarda uygulanabilirliği açısından çok önemli olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışmada deney numunesini hazırlanması sırasında elektriksel özelliklerin belirlenebilmesi için farklı test metotları incelenmiştir. İletken betonun elektriksel özelliğini araştırırken ve analiz esnasında yazarlar numune boyutları ve iletken beton ile ilgili tespitler yapmıştır.

Konsta-Gdoutos ve Aza (2013), yapmış oldukları çalışmalarında, çimento bağlayıcılı kompozitlerin içine dağılmış karbon nano tüp ve karbon nano lifler takviyeleriyle kompozitlerin kendini algılayabilme özelliklerini araştırmıştır. Çalışmada su/çimento oranı 0.3 olup kompozit içerisinde homojen olarak dağıtılmış karbon nano tüpler ve karbon nano lifler sırası ile çimento miktarının %0.1 ile %0.3 oranında kullanılmıştır. Deney neticesinde çimento bağlayıcılı kompozitlerin elektrik direnci belirlenmiştir. Ayrıca çalışma sonunda elde edilen kompozitlerin elektriksel iletkenlik durumları ile malzemenin akıllı özelliklerinin belirlenmesinin yanı sıra nano parçacıkların matrikse dağılma derecesi ve direnç değerleri arasında da bir korelasyon

sağlanabileceği düşünülmüştür. Fazla kullanılan karbon nano tüpler ve karbon nano liflerin elektrik direncini azalttığı tespit edilmiştir. Çimento ağırlığının %0.1'i oranında karbon nano tüp içeren kompozitlerin daha iyi elektriksel özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte çalışma sonucunda tekrarlı basınç deneyi altında iletkenlik deneyleri ile seçilen nano kompozitlerin piezo direnç özellikleri hakkında bir fikir elde edilmiştir. Netice itibariyle çimento ağırlığının %0.1'i miktarında karbon nano tüp ve karbon nano lif içeren kompozitlerin yük altındayken direnç değişimindeki artış, malzemenin kendiliğinden algılama durumu için belirleyici olduğu vurgulanmıştır.

Park ve ark. (2011) çalışmalarında karbon nano tüp takviyeli çimento kompozitlerinde, karışım oranlarının piezo-direnç üzerine etkilerini amaçlamıştır. Karbon nano tüp/çimento kompozitlerinin temel mühendislik özelliklerini araştırmak için basınç dayanımları test edilmiştir. Farklı su/bağlayıcı oranları ve karbon nano tüp içerikleri olan çimento numunelerinin tekrarlı yükler altında elektriksel direnç değişimi izlenmiştir.

Han ve ark. (2011), yapmış oldukları çalışmada kendini algılayabilen betonu, entegre edilmiş halde, yapıştırılmış ya da uzaktan sensör gibi yardımcı araçlar bulunmaksızın kendini izleyebilen yapısal malzeme olarak tanımlamaktadırlar. Anlık olarak kendiliğinden algılayan kompozitin gerilme, çatlak, ve hasar durumları izlenebilmektedir. Çalışmada, yapısal sağlık izlemesi ve tespiti için ek sensörlere ihtiyaç duyan geleneksel yapı malzemelerine kıyasla, anlık olarak kendini algılayabilen beton yüksek hassasiyet, iyi mekanik özellik, doğal uygunluk, uzun ömürlülük, kolay bakım ve uygulaması ile daha avantajlı olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar anlık olarak kendini algılayabilen çimento bağlayıcılı kompozitlerin yapısal sağlık izleme, trafik tespiti, sınır/askeri güvenlik için kullanılabileceğini belirtmektedirler. Ayrıca bu çalışma içerisinde kendini algılayabilen çimento bağlayıcılı kompozitlerin sistamatik olarak bu zamana kadar araştırma gelişimlerinden, kompozisyonları, üretim metodları, algılama test metotları, genel mekanizmaları ve yapısal uygulamaları da incelenmiştir.

Han ve ark (2014), Yapmış olduğu bir başka çalışmasında, yapısal malzeme olarak çimento bağlayıcılı malzemeleri yarı-kırılgan ve çatlamaya açık malzemeler olduğunu belirtmiştir. Araştırmada nano malzemelerin kompozit etkileri ve mükemmel mekanik özellikleri sayesinde çimento bağlayıcılı kompozitlerin mekanik özelliklerini,

dayanıklılığını ve fonksiyonel özelliklerini iyileştirdiği bulunmuştur. Bu çalışmada karbon nano lifler, karbon nano tüpler ve nano grafit gibi nano karbon malzemelerin son yıllardaki üretimleri ve özellikleri ile beraber yapısal uygulamaları üzerinde durulmuştur. Nano karbon malzemelerin çimento bağlayıcılı kompozitlerle olan geliştirme/değiştirme mekanizmalarına da ayrıca değinilmiştir.

Ranade ve ark (2014), çalışmalarında, tasarlanmış çimento kompozitlerinin çekme gerilmesinde süneklilikleri ve hasar toleranslarının bilindiğini vurgulamışlardır. Ayrıca çalışmada, yapısal sağlık izlemesi için, çimento bağlayıcılı kompozitin uygulanan mekanik çekme gerilmesine ve oluşan mekanik hasara gösterdiği elektriksel direncin bir kontrol sistemi olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma analitik olduğu kadar deneysel olarak da desteklenmiştir. Tasarlanmış çimento esaslı kompozitin elektriksel iletkenliğe olan tepkisi çekme gerilmesi altında test edilmiştir. Bu amaçla iki adet tasarlanmış çimento esaslı kompozit, elektrik-mekanik özellikleri ve farklı kırılma çizgileri özellikleri açısından karşılaştırılmıştır.

Sharma (2014), yapmış olduğu araştırmada, karbon nano tüplerin yüksek performanslı çimento bağlayıcılı kompozitler için üst düzey mekanik özellikler sağladığından söz etmiştir. Bu makalede CVD (Chemical Vapor Deposition-Kimyasal buhar biriktirme) tekniği sentezi ile modifiye edilmiş karbon nano tüplerin çimento bağlayıcılı kompozitlerde takviye olarak kullanılması üzerinde çalışılmıştır. Sürfaktan yardımıyla ultrasonik enerji kullanılarak nano tüplerin etkili bir şekilde suda dağılımları başarılmıştır. 7, 14, 28 günlük karbon nano tüp takviyeli numuneler mekanik performanslarını hesaplamak amacı ile test edilmişlerdir. Sonuçlar karbon nano tüp takviyeli çimento bağlayıcılı kompozit ve karbon siyahı kullanılan çimento bağlayıcılı kompozitler ile karşılaştırılmıştır. Mikro yapı ve faz kompozisyonları SEM ve XRD ile karakterize edilmiştir. %0.5 karbon lif takviyesi çimento bağlayıcılı kompozitlerde dayanım açısından %17'lik bir artış sağlamıştır. %0.25 karbon nano tüp takviyesi ise dayanımı %37 arttırmıştır. En düşük artış karbon siyahı takviyeli çimento bağlayıcılı kompozitlerde tespit edilmiştir.

3. ÇOK FONKSİYONLU ÇİMENTO BAĞLAYICILI KOMPOZİTLERİN TASARIMINDA KULLANILAN MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ

Bu tezde çok fonksiyonlu çimento bağlayıcılı kompozitlerin tasarımında belirli karışım reçeteleri dikkate alınarak nano filamentlerin matrise farklı şekillerde ilave edilmesi sonucunda kompozitin elektriksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Bunun yanında nano filament içermeyen karışımlara göre farklı şekilde nano filament ilave edilmiş karışımlarda ne tür değişiklikler olduğunu gözlemlenmiştir. Çalışmalar kapsamında yapılacak basınç dayanımı gibi standart deneysel çalışmalar ilgili ASTM (American Society for Testing and Materials) standardı gereklerine göre yerine getirilmiştir. Çalışma esnasında referans olarak alınan matris (karbon esaslı malzemesiz kompozit) karışımı Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Tipik matris karışım tasarımı (tüm bileşenlerin ağırlıkça oranları)

Çimento	Su	Kum	Mineral Katkı	SA*
1.00	0.58	0.80	1.20	-

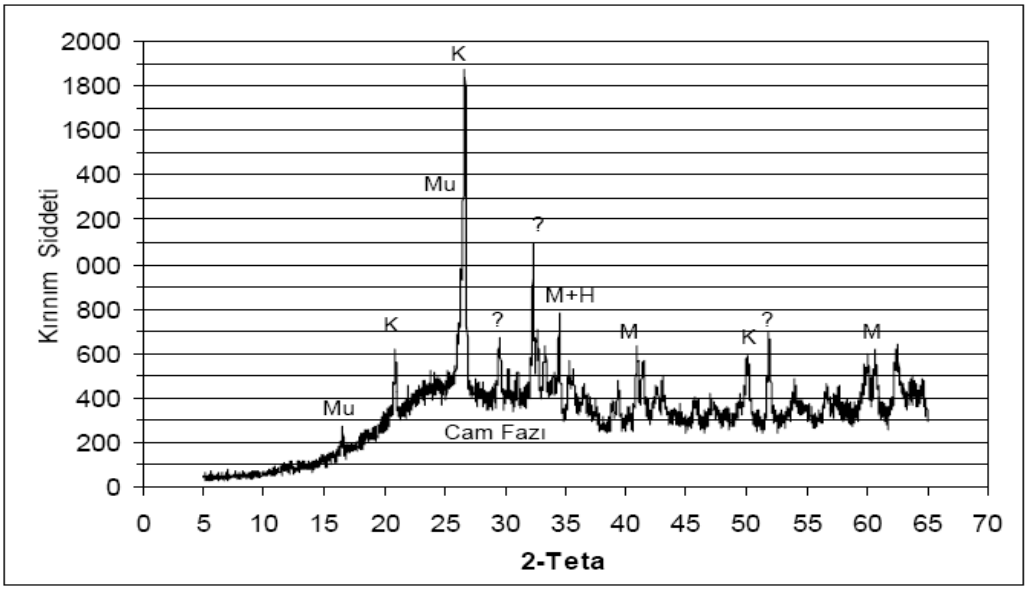
*: SA = Süper akışkanlaştırıcı; karşım sırasında işlenebilirliğe göre karar verilecektir.

Çalışma kapsamında yürütülen deneysel çalışmalarda Adana Çimento Sanayi tarafından üretilen standart CEM I 42.5R tipli portland çimentosu (PÇ) kullanılmıştır. CEM I 42.5R tipli portland çimentosunun özgül ağırlığı 3.06 olup, Blaine özgül yüzeyi 3250 cm^2/gr'dır. ASTM C618 standardına göre uçucu küller F ve C sınıflarına ayrılırlar. F sınıfına, bitümlü kömürden üretilen ve toplam SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3 yüzdesi %70'den fazla olan uçucu küller girmektedir. Aynı zamanda bu tip küllerde CaO yüzdesi %10'un altında olduğu için düşük kireçli uçucu kül olarak adlandırılırlar. F sınıfı uçucu küller puzolanik özelliği sahiptirler. C sınıfı uçucu küller ise linyit veya yarı-bitümlü kömürden üretilen ve toplam SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3 yüzdesi %50'den fazla olan küllerdir. Aynı zamanda, C sınıfı uçucu küllerde CaO yüzdesi %10'un üstünde olduğu için bu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılır. C sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğin yanısıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler. Bu çalışmada kullanılmak üzere F sınıfı uçucu kül olarak, taş kömürü yakılarak enerji elde edilmekte olan Sugözü Termik santralinden, Adana ÇimSA Hazır Beton aracılığıyla temin edilen uçucu kül kullanılmıştır. Sugözü uçucu külünün özgül ağırlığı 2.31, Blaine özgül yüzeyi ise 2900

cm^2/gr'dır. Sugözü uçucu külünün mineralojik kompozisyonları XRD (X-Ray Diffraction, X-Işını Kırınımı) metoduyla tespit edilmiş olup X-Işını kırım desenleri, tanımlanmış fazlarla birlikte Şekil 3.1'de verilmiştir. Çok fonksiyonlu çimento bağlayıcılı kompozitlerin üretiminde kullanılan kum, ülkemiz kaynaklarından elde edilmiş olup ortalama tane büyüklüğü yaklaşık 400 μm olan ince kuvars kumudur. Kırma kuvars kumunun özgül ağırlığı 2.60 ve su emme kapasitesi %0.3'dür. Çalışma esnasında kullanılan Portland çimentosu, uçucu kül ve kuvarsın kimyasal özellikleri Çizelge 3.2' de verilmiştir.

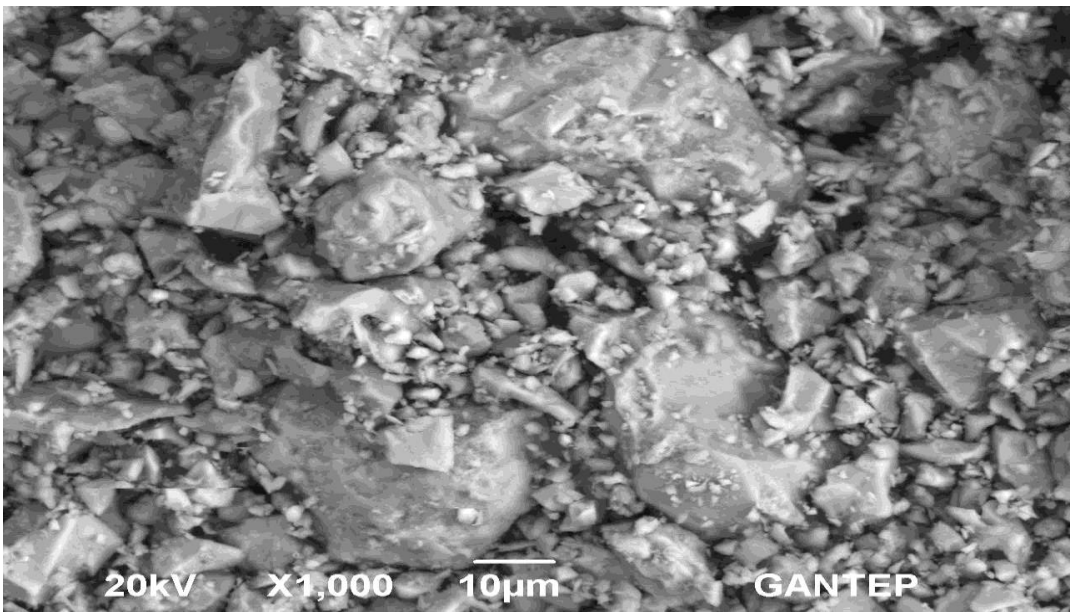
Çizelge 3.2. Portland çimentosu, uçucu kül ve kuvarsın kimyasal özellikleri

Kimyasal Kompozisyon	Çimento	Uçucu Kül (Su gözü)	Kuvars
CaO (%)	61.43	1.64	34.48
SiO_2 (%)	20.77	56.22	38.40
Al_2O_3 (%)	5.55	25.34	10.96
Fe_2O_3 (%)	3.35	7.65	0.81
MgO (%)	2.49	1.80	7.14
SO_3 (%)	2.49	0.32	1.48
K_2O (%)	0.77	1.88	0.86
Na_2O (%)	0.19	1.13	0.18
Kızdırma Kaybı (%)	2.20	2.10	3.00
$SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$	29.37	89.21	50.17

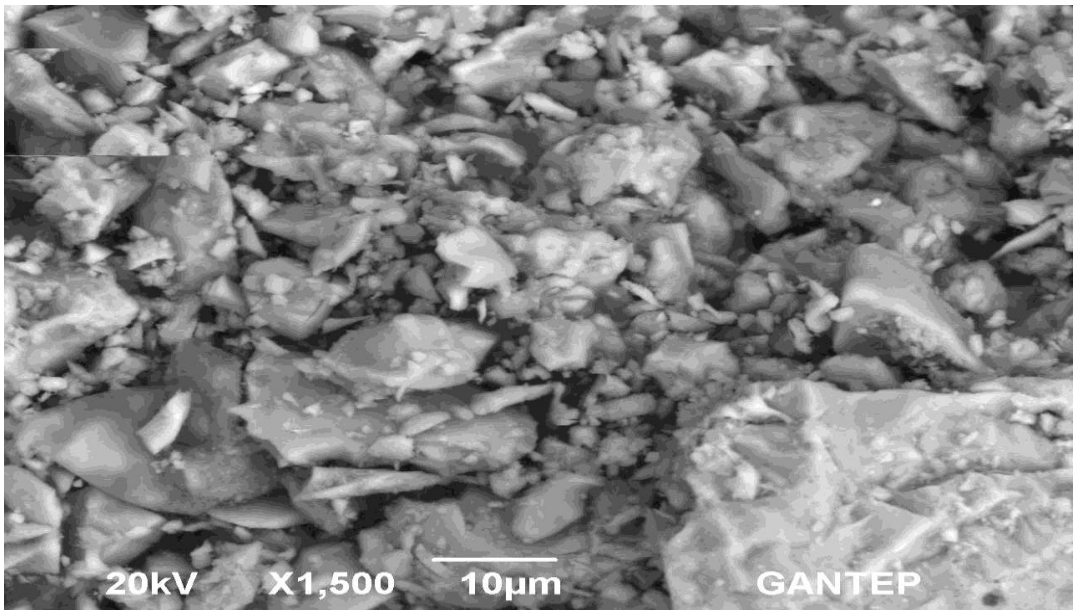


Şekil 3.1. Sugözü uçucu külünün XRD deseni ve tanımlanmış fazları (K: Kuvars, M: Mullit, H:Hematit)

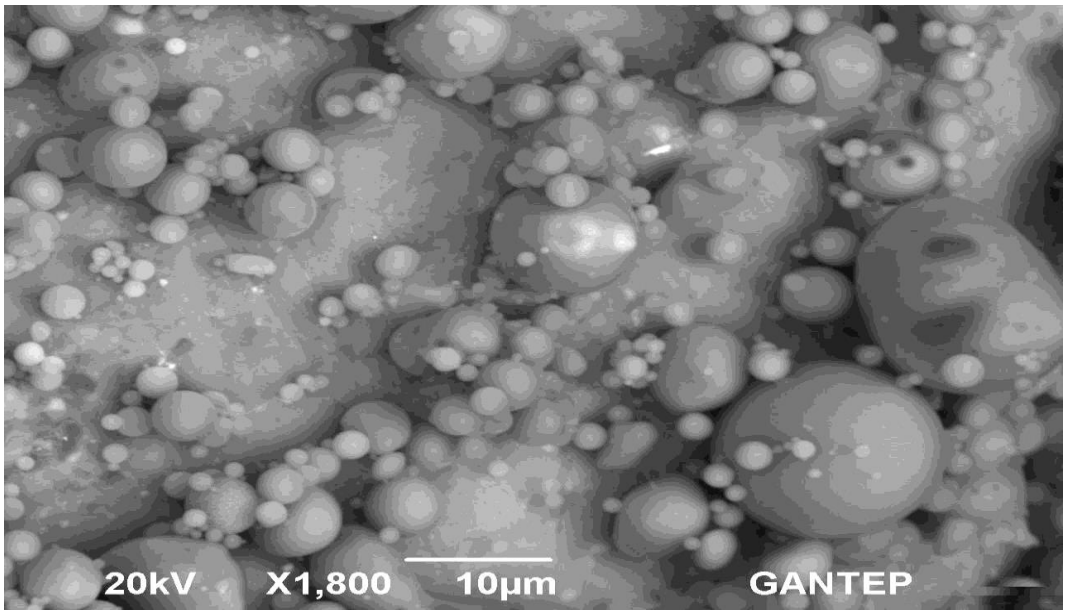
Temin edilen uçucu kül numunesinin kimyasal analizleri sonucunda bu uçucu külün yapısında CaO yüzdesi %10 oranının altında olduğu ve SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3 yüzdesinin %89.21 seviyesinde bulunduğu tespit edilmiştir (Çizelge 3.2). Deneylerde kullanılan çimentonun ve sugözü uçucu külünün morfolojik özelliklerini belirlemek amacı ile taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analizleri yapılıp, elde edilen fotoğraflar sırasıyla Şekil 3.2-Şekil 3.5'te sunulmaktadır.



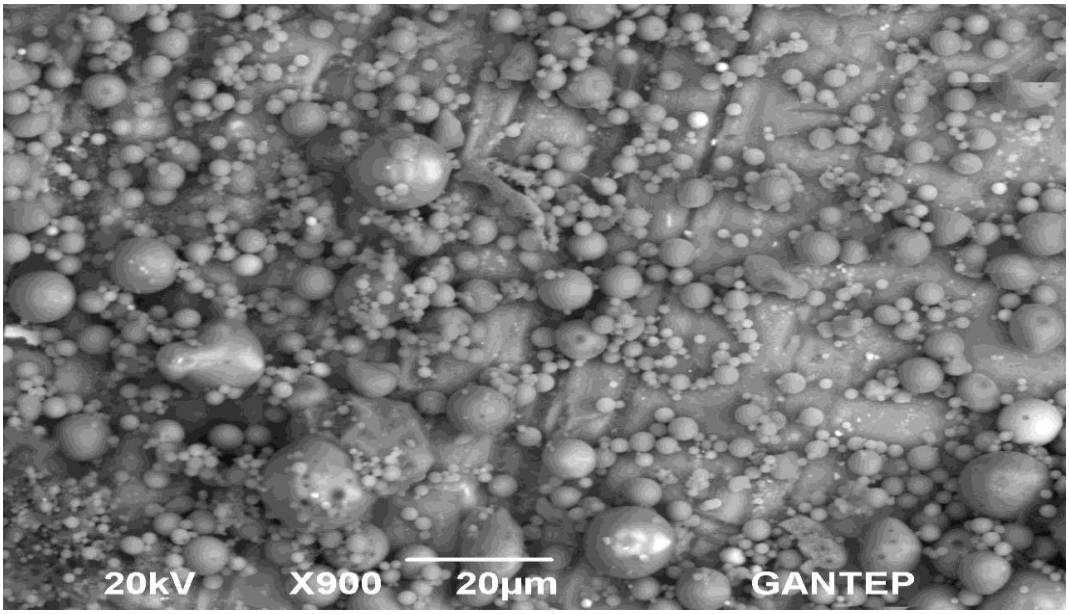
Şekil 3.2. CEM I 42.5R Portland çimentosunun morfolojik yapısı



Şekil 3.3. CEM I 42.5R Portland çimentosunun morfolojik yapısı



Şekil 3.4. Sugözü uçucu külünün morfolojik yapısı



Şekil 3.5. Sugözü uçucu külünün morfolojik yapısı

Tasarlanan çimento bağlayıcılı kompozitlerde miktarına kompozitlerin işlenebilirliğine göre karar verilen süper akışkanlaştırıcı (yüksek oranda su azaltıcı katkı) kullanılmıştır. Bu katkı, üretimi BASF Yapı Kimyasalları tarafından yapılmış MasterGlenium RMC 303 ticari ismiyle piyasada yer alan bir süper akışkanlaştırıcı katkıdır. Çalışmalarda kullanılan süperakışkanlaştırıcı, polikarboksilik eter esaslı, yüksek oranda su azaltan, betonda kıvam kaybının önlenmesine, yüksek dayanım ve

dayanıklılığa gereksinim duyulan hazır beton endüstrisi için geliştirilmiş bir katkıdır. Deneysel çalışmalarda kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkı, yaklaşık %40 oranında katı madde içeren ve özgül ağırlığı yaklaşık 1.1 olan sıvı halde bir katkıdır. Yeni nesil süper akışkanlaştırıcı beton katkı malzemesi karışıma yayılma ve kıvam koruma özelliği vererek malzeme tasarımını kolaylaştırmıştır.

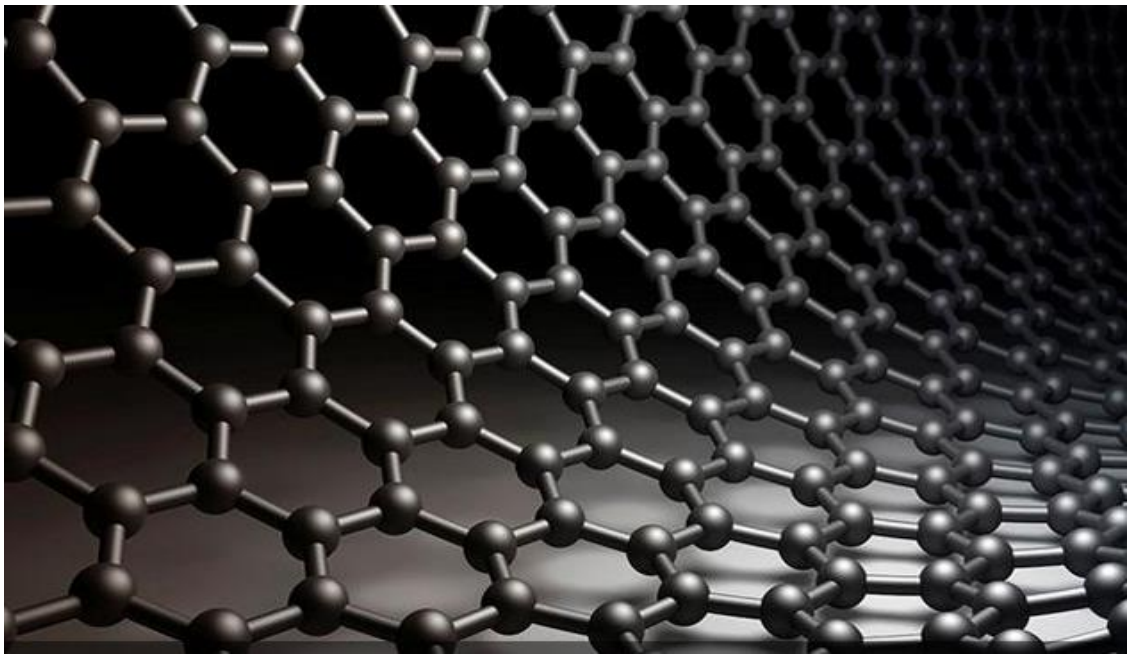
3.1. Çalışmada Kullanılan Farklı Tür Karbon Esaslı Malzemeler

Çimento bağlayıcılı kompozitlere kendiliğinden algılama kabiliyetlerinin kazandırılmasının altında karbon esaslı nano filamentlerin benzersiz üstün mekanik ve fiziksel özelliklerinin olması yatmaktadır. Farklı tür karbon esaslı malzemelerin çok fonksiyonlu çimento bağlayıcılı kompozitlerdeki elektriksel özellikleri, yapısal sağlık izleme uygulamalarına temel basamak teşkil etmektedir. Bu nedenle çimento bağlayıcılı kompozitlerin elektriksel özelliklerini araştırmak için karbon lifler (6 ve 12 mm uzunluğunda) ve karbon nano tüp kompozitlerin tasarımında takviye olarak kullanılmıştır. Kompozitlerin tasarımında karbon esaslı nano filamentlerin kullanımı miktar olarak sınırlandırılmıştır. Bu sınırlamadaki kullanım miktarları literatürde yapılan çalışmalar göz önüne alınarak belirlenmiştir (Chen ve Chung, 1996, Shi ve Chung, 1999). Karbon esaslı malzemelerin kritik (doygunluk) sınırların altında kullanılmasının sebebi, yüksek basınç dayanımı, yüksek işlenebilirlik ve düşük maliyet kaygılarından dolayıdır. Bununla birlikte kritik sınırın üzerindeki kullanımın kompozitin kendiliğinden algılama yeteneği üzerinde çok fazla bir etkisi olmadığı bilinmektedir.

Bu çalışmada kullanılan liflerin bir sensör olmayıp, çimento bağlayıcılı kompozitlerin kendiliğinden algılama kabiliyetlerini iyileştiren bir katkı olarak düşünülmesi gerekmektedir. Ayrıca karbon filamentler boyut olarak karbon nanotüplere göre daha büyük boyutlardadır ve aynı zamanda daha az elastisite modülü ve dayanıma sahiptir. Tez kapsamında iki farklı tür karbon malzemesi çimento bağlayıcılı kompozitler üretiminde kullanılarak kompozitlerin elektriksel iletkenlikleri incelenmiştir. Araştırmalar esnasında elektriksel özellikler incelenirken bahsedilen nano karbon ürünleri farklı yüzdelerde kullanılmıştır. Karbon nano tüpler toplam bağlayıcı malzeme ağırlığının %0-%1 arasındaki oranlarda kullanılırken, karbon lifler (6 mm ve 12 mm uzunluğundaki) toplam karışım hacminin %0 ila %2'si arasındaki oranlarda karışım içerisine ilave edilmiştir.

3.1.1. Çalışmalarda Kullanılan Karbon Liflerin Özellikleri

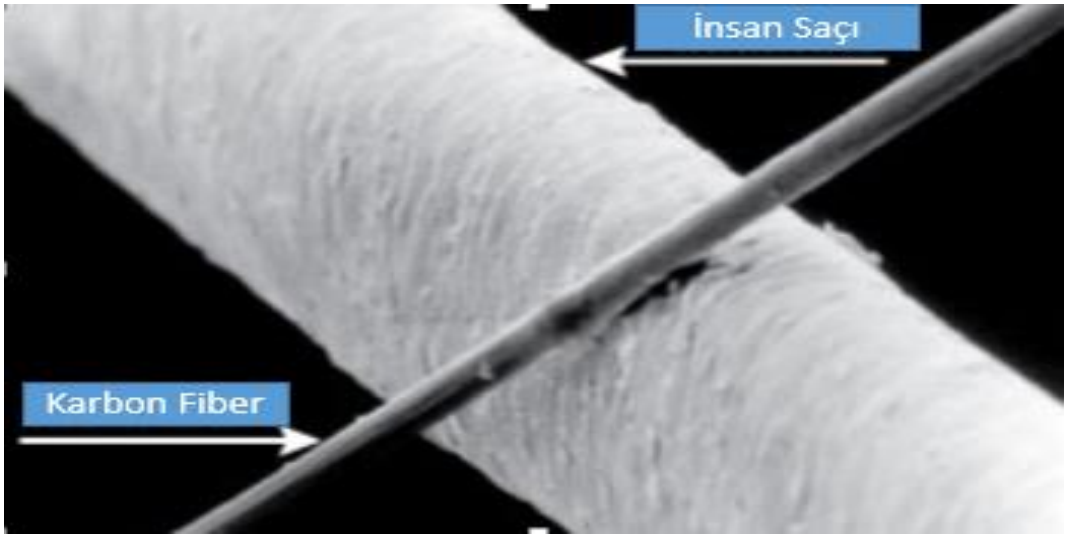
Karbon lifler inşaat endüstrisindeki araştırmalarda yaygın bir şekilde kullanılan lif olarak göze çarpmaktadır. Bu malzeme hali hazırdaki en hafif malzemelerden birisidir. Çelik liflerden beş kat daha yüksek mukavemeti, yine çelikten liflerden üç kat daha az ağırlığıyla karbon lifli kompozitler uzay ve havacılıkta, askeri, inşaat mühendisliği, araba yarışları gibi alanlarda geniş bir biçimde kullanılmaktadır. Bunun yanında düşük yoğunluktaki özelliği ile birlikte dayanım-ağırlık oranının çok yüksek olması nedeniyle farklı uygulamalara pek çok avantajlar sunan bir malzeme çeşididir. Karbon lifler alüminyum ve çelik gibi diğer liflere göre sıcak-soğuk hava çevrimlerinden en az etkilenen malzemelerdendir. Karbon liflerin yapısı kristalize, amorf ve kısmen kristalize olabilmektedir. Kristalize formunda bir araya gelmiş karbon atomlarının iki boyutlu olarak, x ve y ekseninde, bal peteği görünümünde dizildiği bilinmektedir (Chung, 2010). Şekil 3.6'da karbon atomlarının kristalize halde dizilişleri verilmiştir.



Şekil 3.6. Kristalize halde bulunan altıgen şeklindeki karbon atomlarının dizilişi

Ayrıca karbon lifler üstün çekme mukavemeti özelliklerine sahip olmasının yanında mükemmel bir iletken malzemedir. Karbon lifler bir insan saçı telinden daha ince boyuttadır. Şekil 3.7'de karbon lifi ile bir insan saçı teli boyutsal olarak yan yana getirilmiştir. Şekil 3.8'de ise karışım yöntemleri uygulanmadan önce dağılmamış halde bulunan karbon liflerin görüntüleri verilmiştir. Normalde iplik yumuşaklığında olan

lifler kolayca istenilen şekle getirilmekte ve özel epoksi reçinesi ile muamele edilince rijit hale gelmektedir. Birbirinden ayrılmamış halde bulunan karbon lifler epoksi, poliester, fenol reçineleri gibi sentetik maddeler ile kompozit malzeme yapımında kullanılmaktadır. Reçineler ile bağ yapmaya uygun olmayan karbon liflerinin yüzey özellikleri, %1-5 oranında su içeren azot atmosferinde 1400-1500°C'de ısıl işleme tabi tutularak üretilmektedir. Isıl işlem ile lif yüzeyi aktif hale gelerek lif özelliklerindeki bozulma en az düzeye inmektedir. Aynı zamanda lifin özgül yüzeyinde de büyük artış olmaktadır. Bu şekilde birbirine yapıştırılarak üretilen dağılmamış haldeki karbon lifler uzay ve uçak endüstrisinde, ortopedik malzeme üretiminde, spor malzemelerinde, otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.7. Karbon lif ve insan saçı telinin boyutsal olarak karşılaştırılması



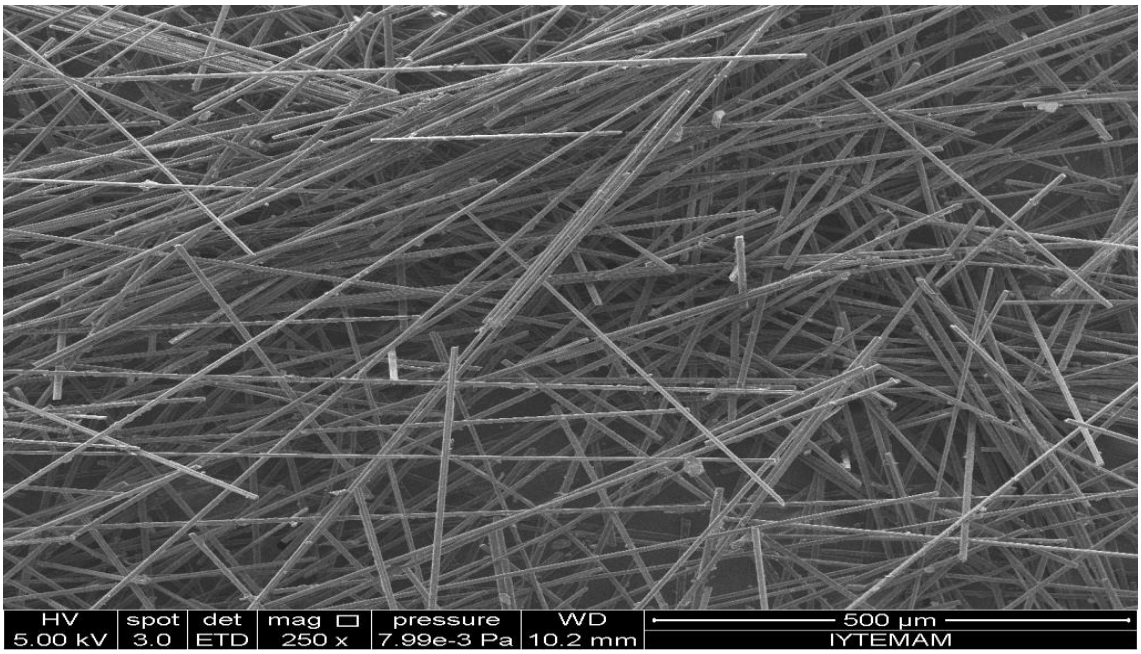
Şekil 3.8. Matris içerisinde dağılmadan önce kullanılan karbon lifler

Yürütülen çalışmalarda matris içerisinde kullanılan iki farklı karbon esaslı malzemelerden birisi olan karbon lifler 6 ve 12 mm olarak iki farklı uzunlukta kullanılmıştır. Tez çalışmalarında kullanılan karbon lifler, AKSACA karbon lif ürün ismiyle (AKSACA Chopped Fiber – AC 0101) DowAksa şirketinden alınmıştır. Karbon lifin mekanik özellikleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

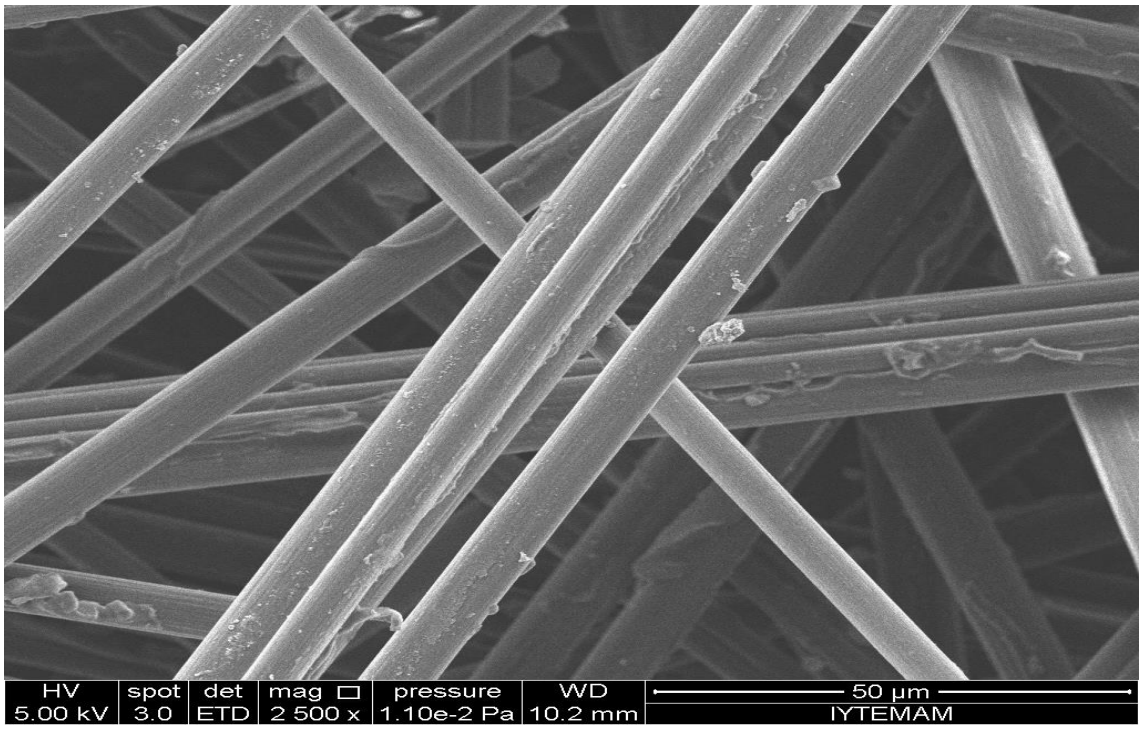
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan karbon liflerin mekanik özellikleri (6 ve 12 mm)

Özellikler	**Değer**	**Birim**	**Test Metodu**
Çekme Gerilmesi	4200	MPa	ISO 10618
Çekme Modülü	240	GPa	ISO 10618
Uzama oranı	1,8	%	ISO 10618
Özgül ağırlık	1,76	-	ISO 10119

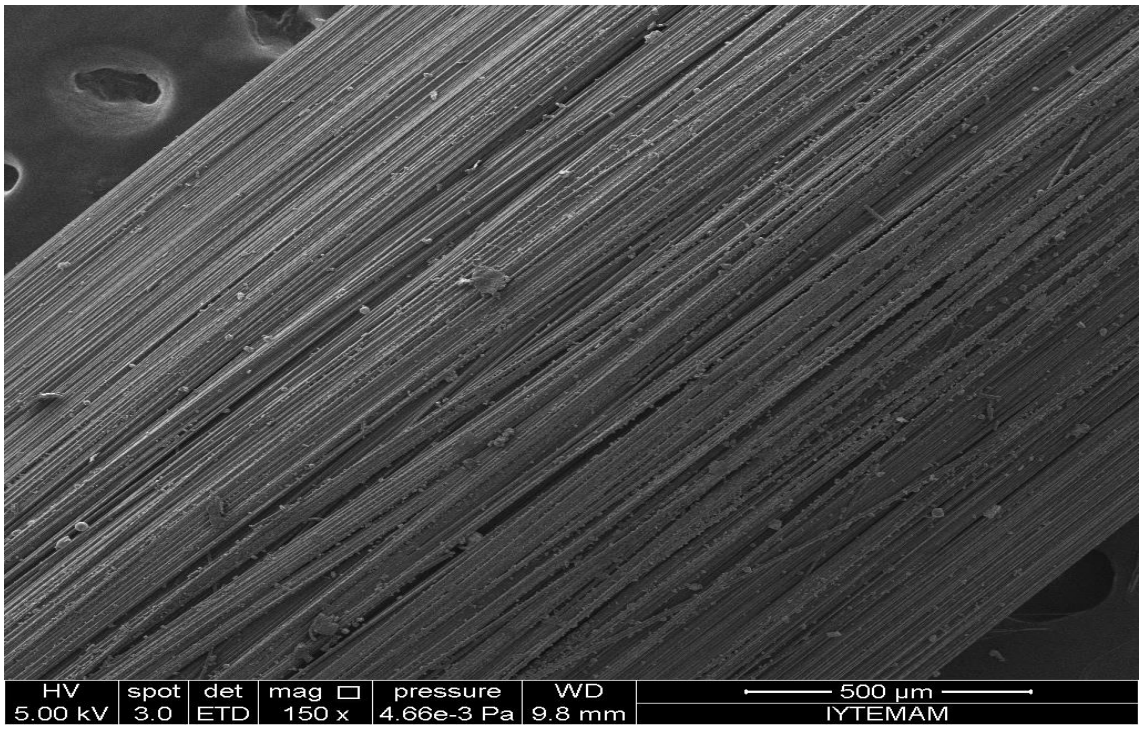
Taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak araştırmalar sırasındaki numunelerden yüksek büyütmelerde yüksek çözünürlüklü görüntüler alınmıştır. Bu teknik sayesinde düşük büyütmelerden çok yüksek büyütmelere (x300.000 veya daha fazla) kadar morfolojik, yapısal ve elementel bilgilerin alınabilmesi mümkündür. Bu tezde kullanılan karbon liflerin dağılmış ve dağılmamış haldeki taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (Scanning Elektron Microscobe, SEM) Şekil 3.9 - Şekil 3.11 arasında verilmiştir.



Şekil 3.9. Karışım içerisinde dağılmış haldeki karbon liflerin SEM görüntüleri



Şekil 3.10. Karışım içerisinde dağılmış haldeki karbon liflerin SEM görüntüleri

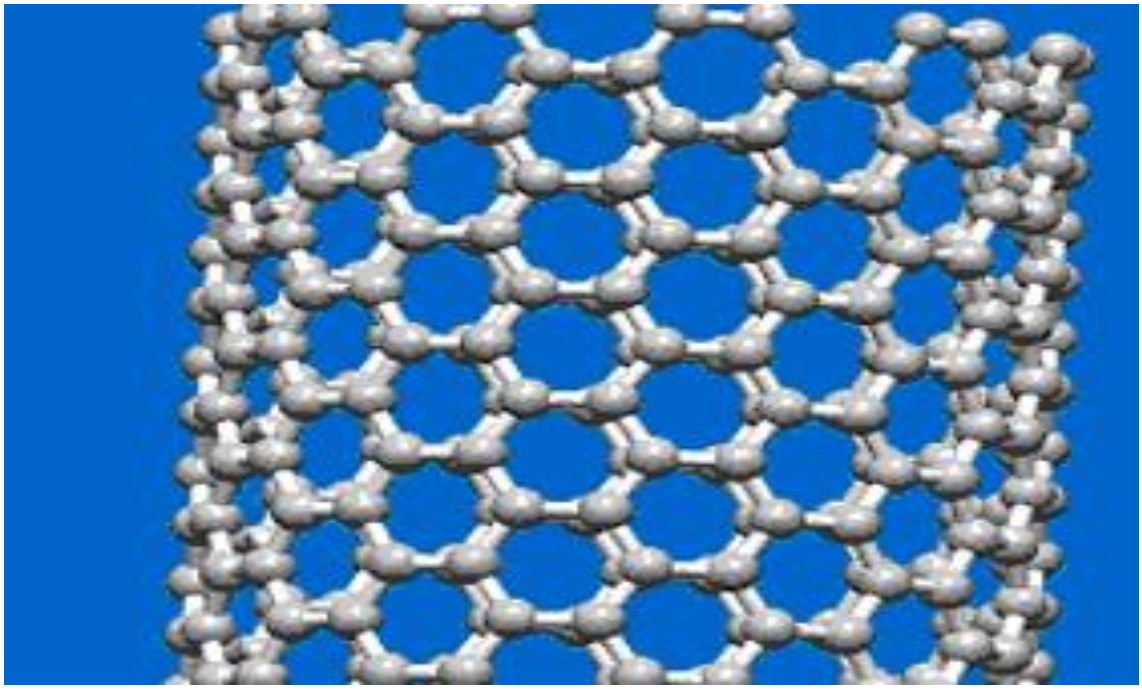


Şekil 3.11. Karışım içerisinde dağılmadan önce kullanılan karbon liflerin SEM görüntüleri

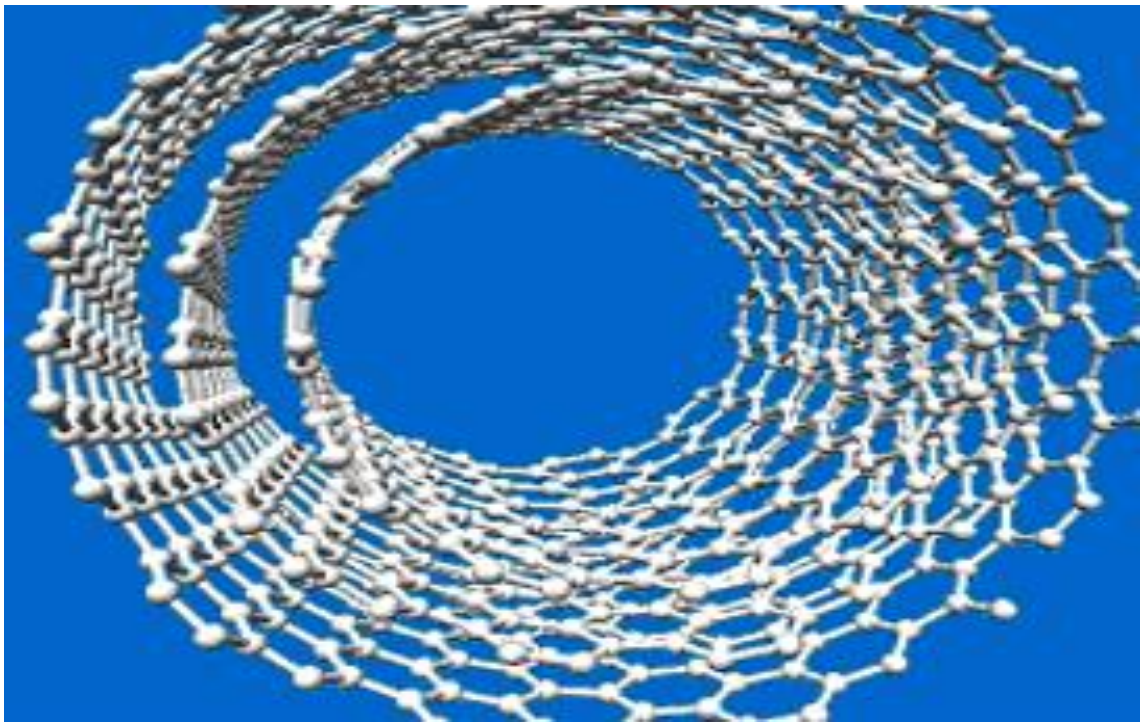
3.1.2. Çalışmalarda Kullanılan Karbon Nanotüplerin Özellikleri

Nanoteknoloji dünyası yeni, birden fazla fonksiyona sahip olan ve akıllı malzemeler geliştirerek çok disiplinli birçok araştırmaları içermektedir. 1991'de karbon nanotüplerin (KNT) Iijima tarafından keşfi ile birlikte bu malzemelerin üstün fiziksel özelliklerinin farkına varılmıştır (Iijima, 1991). Günümüzde karbon nanotüpler pek çok bilimsel araştırmada yaygın olarak kullanılmaktadır.

Karbon nanotüplerin üstün fiziksel özellikleri denildiğinde akla yüksek dayanım ve elastik modülü (KNT'lerin elastik modülleri yaklaşık 1.8 TPa'dır) (Meyyappan, 2005), karışım ile yüksek kenetlenme, yüksek deformasyon kapasitesi ve sünek yapısı, mükemmel elektriksel iletkenlik özellikleri gibi pek çok nitelik gelmektedir (Gopalakrishnan, ve ark., 2011). Karbon nanotüpler grafit formunda tek ya da birkaç film yapısında yuvarlanmış, pürüzsüz küçük tüpler şeklinde görülebilmektedir **(**Makar et al., 2003). Yuvarlanmış tek tabaka halinde bulunan karbon nanotüpler tek duvarlı karbon nanotüpler (TDKNT) olarak adlandırılırken, birden fazla yuvarlanmış tabaka halinde bulunan karbon nanotüpler ise çift duvarlı karbon nanotüpler (ÇDKNT) olarak adlandırılmaktadır. Tek duvarlı ve çok duvarlı karbon nanotüplere ait görüntüler Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te verilmiştir.



Şekil **3.12.** Tek duvarlı KNT (Ganesh, 2013)



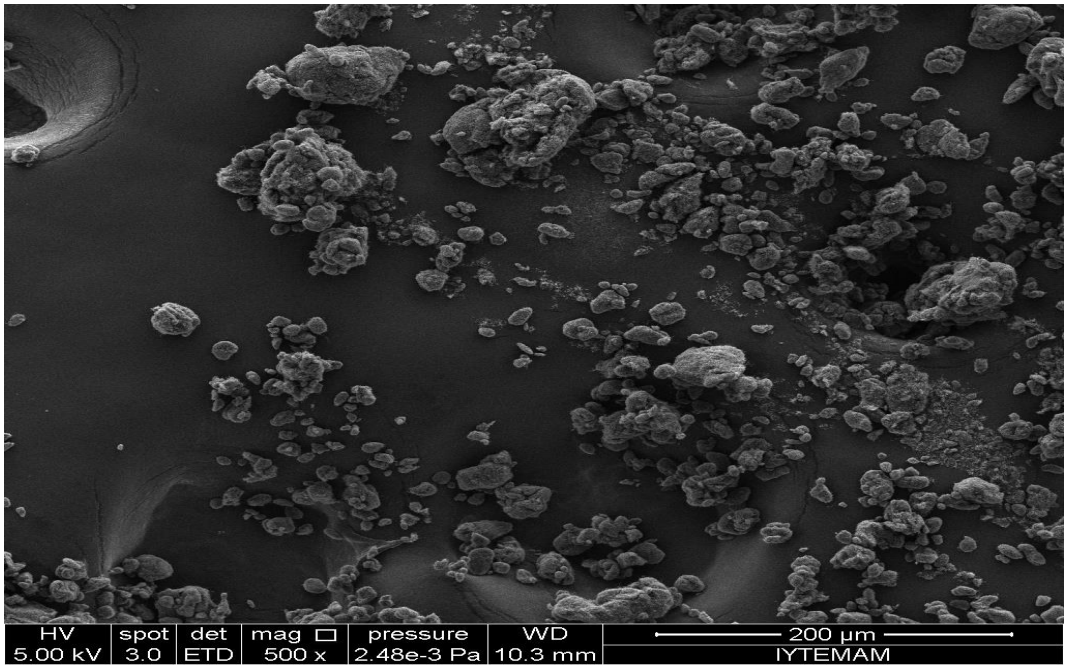
Şekil 3.13. Çok duvarlı KNT (Ganesh, 2013)

Karbon nano tüplerin elektriksel iletkenliği ile beraber diğer bazı önemli özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir. Bunun yanında, karbon nano tüp sentezlenmesi tekniklerinin gelişmesi ile son yıllarda KNT fiyatları çok önemli derecede düşmüştür (Yu and Kwon, 2012). KNT'lerin yüzey alanları oldukça geniş yer kaplamaktadır. Yaklaşık olarak 1 gram KNT 500 m²'lik yer kaplamaktadır. Azalan KNT maliyetleri ve KNT kullanımında işlemlerin azalması bu malzemenin büyük yapılarda kullanılmasını mümkün kılabilecektir.

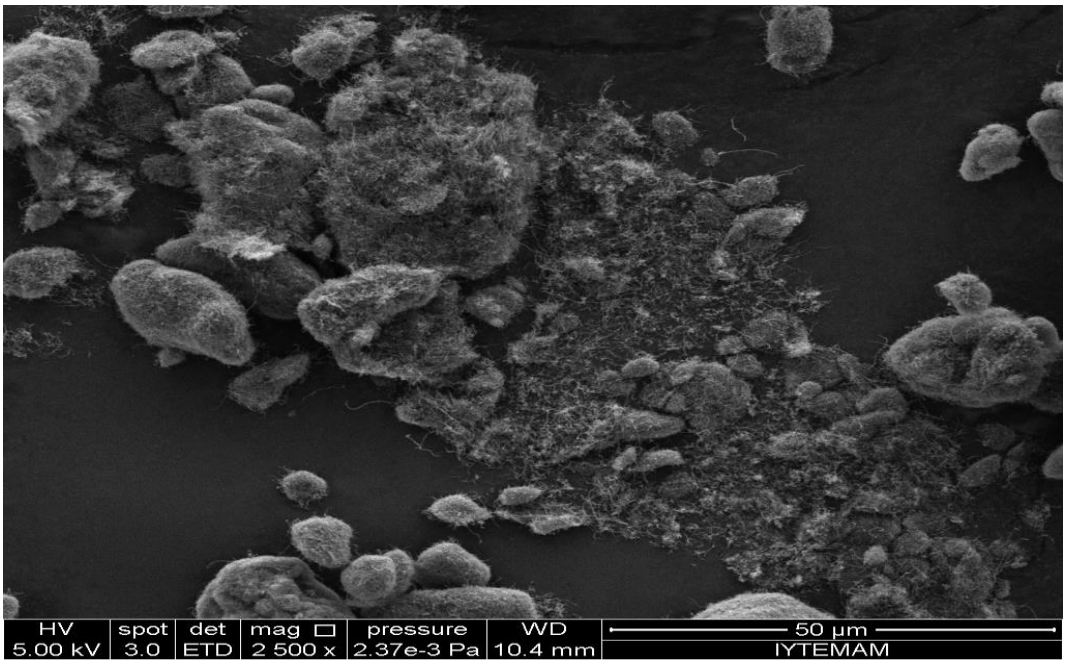
Çizelge 3.4. TDKNT VE ÇDKNT'lerin Özellikleri

Oda sıcaklığındaki Özellikleri	**TDKNT**	**ÇDKNT**
Özgül Ağırlık (g/cm³)	0.8	1.8
Elastik Modülü (TPa)	1	1
Dayanım (GPa)	50-500	10-60
Elektrik İletkenlik (Siemens/cm)	10^2-10^3	10^2-10^3
Isıl İletkenlik (Watt/metre.Kelvin)*	Yaklaşık 6000	Yaklaşık 6000
Termal Genleşme Katsayısı	İhmal edilebilir	İhmal edilebilir
**1 W.m 1 Kelvin'in 1 metrede uzaklığındaki ısı farkı*		

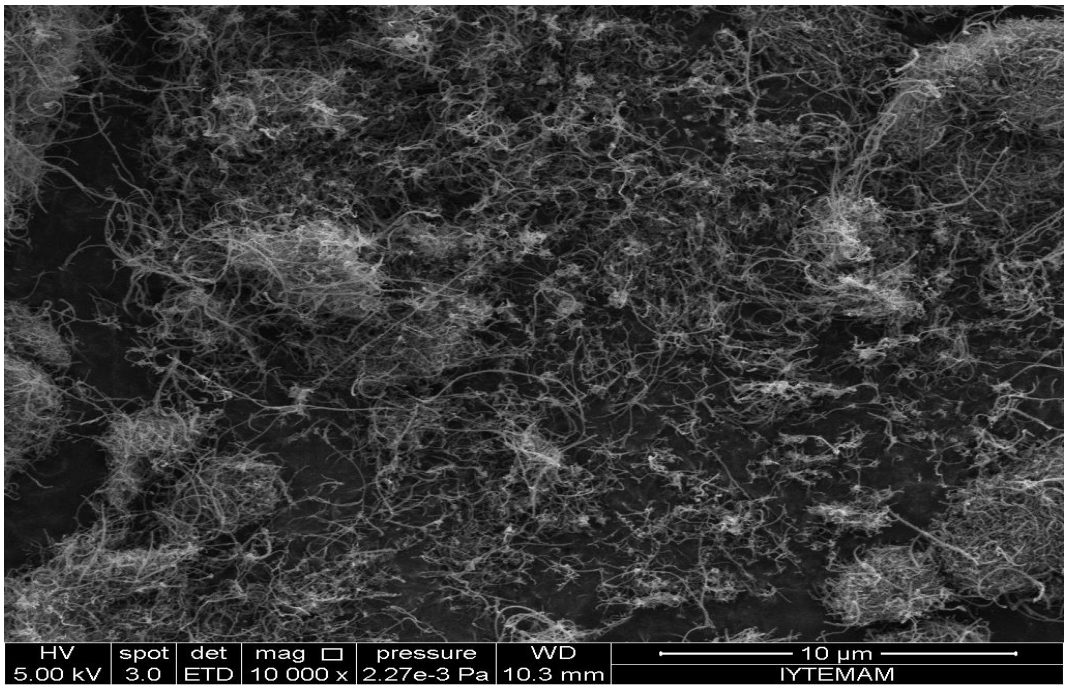
Şekil 3.14 - 3.17 arasında bu çalışmalarda kullanılan ve en iyi elektrik iletken malzemelerden biri olarak bilinen çok duvarlı endüstriyel karbon nanotüplerin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri verilmiştir.



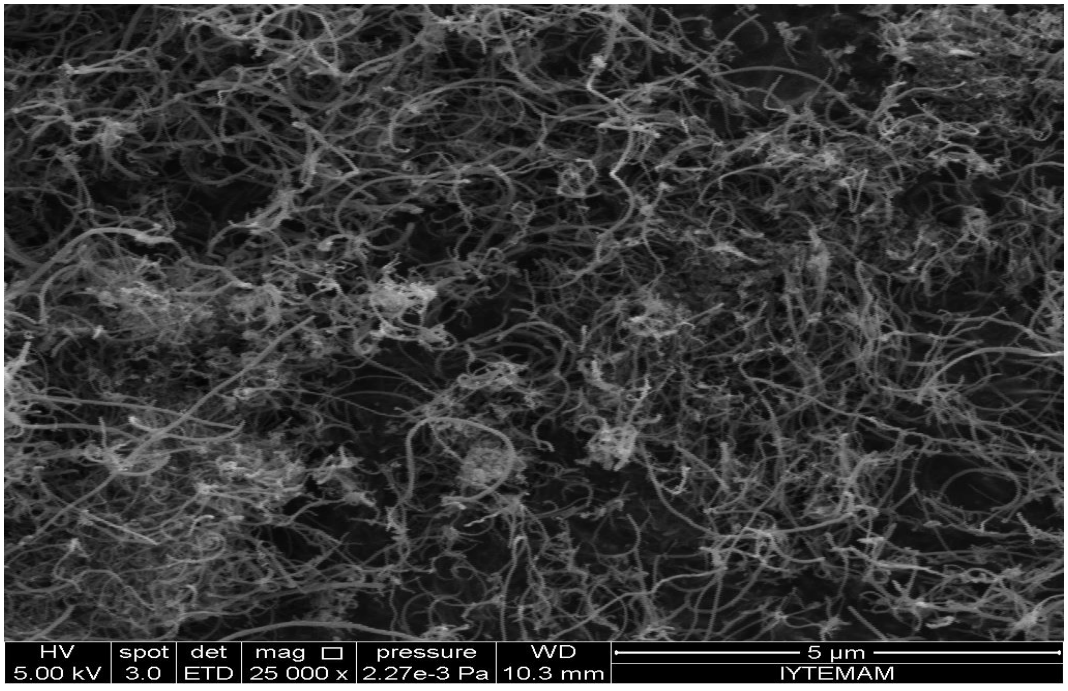
Şekil 3.14. Çalışmalarda kullanılan KNT'lerin SEM görüntüleri



Şekil 3.15. Çalışmalarda kullanılan KNT'lerin SEM görüntüleri



Şekil 3.15. Çalışmalarda kullanılan KNT'lerin SEM görüntüleri



Şekil 3.15. Çalışmalarda kullanılan KNT'lerin SEM görüntüleri

Yukarıda verilen karbon nano tüplere ait SEM görüntüleri sırası ile 200, 50 10 ve 5 µm'a kadar büyütülmüş görüntülerle alınmıştır.

3.2. Nano Karbon Ürünlerinin Matris İçerisine Katılması

Geliştirilen çok fonksiyonlu çimento bağlayıcılı kompozitlerin üretiminde kullanılan nano karbon esaslı malzemelerin matris içerisine homojen bir şekilde dağılımı amaçlanmıştır. Matris-nanofilament arayüz özelliklerinin, matriste oluşan gerilmelerin nano filamentlere tam olarak aktarılıp mikro çatlakların mükemmel bir şekilde köprülenebilmesi için gerekli olan matris karışım parametreleri, matrisin mikro yapısal, kimyasal ve mekanik özellikleri dikkate alınarak yapılmıştır.

Yapılan araştırmalara bakıldığında karbon esaslı malzemelerin çimento bağlayıcılı kompozitlerin üretiminde yaygın olarak kullanılmasının önündeki en önemli engel bu tür malzemelerin olağan dışı narinliğe sahip olmaları (boy/çap oranı) ve grafit özelliğine sahip yüzey özelliklerinden dolayı çimento bağlayıcılı matrislerin içerisinde homojen dağılım problemi ve matris ile karbon esaslı nano malzeme arayüzü arasında oluşacak yetersiz bağ dayanımı olarak sıralanmaktadır. Farklı matrisli kompozitler içerisinde bu tür karbon filamentlerin birbirlerinden homojen olarak ayrılarak matris içerisine homojen bir şekilde dağılabilmesi için birçok yöntem bulunmaktadır. Ancak bu yöntemlerin çoğu karbon nano tüp (KNT) ve karbon lif (KL) içeren çimento bağlayıcılı kompozitlerde olumlu sonuçlar vermemektedir. Örneğin KNT ve KL'lerin homojen olarak matrise ilave öncesi sıvı solüsyon içerisinde dağılmasını etkili bir şekilde sağlayan birçok sürfaktan su ile çimento arasında meydana gelecek kimyasal reaksiyonları olumsuz bir şekilde etkileyip bu tür kompozitlerden özellikle dayanım açısından yüksek performans elde edilmesini engellemektedir. Bu konuda elde edilen literatürdeki mevcut sonuçlarla tez çalışmaları başlamadan önce yapılan ön deneylerden ortaya çıkan sonuçlar paralellik sergilemekte olup bu tür sürfaktanların eklenmesi matrise önemli ölçüde hava sürükleyip priz sürelerini ciddi ölçüde geciktirmektedir. Ayrıca solüsyon içerisinde homojen dağılımın sağlandığı durumlarda bile, bu solüsyonun matrise ilave edilmesinden sonra karbon esaslı malzemeler birbirlerini çekerek topaklanabilmektedirler.

Bu nedenle bu tez çalışmasında nano ve mikro boyuttaki $CaCO_3$ tanecikleri, karbon esaslı malzemeler ve lignin sülfonat veya polikarboksilat esaslı katkılar ile birlikte doğrudan veya karbon esaslı malzemeler ile birlikte ultrasonik karıştırma işlemine maruz bırakıldıktan sonra çimento bağlayıcılı matrise ilave edilmiştir. Tezin bu aşamasında ayrıca sabit güçte ultrasonik karıştırma süresinin (5 ila 20 dakika arasındaki sürelerde) karbon esaslı nano filamentlerin dağılımına etkisi incelenmiştir. Bu aşamada

yapılan çalışmalarda literatürde yaygın olarak kullanılan yüksek performanslı lif donatılı çimento bağlayıcılı kompozitler için geliştirilen matris karışımı kullanılmıştır. Agregadan kaynaklanacak topaklanmaları engellemek ve tutarlı sonuçlar elde etmek amacı ile tüm karışımlarda 400 μm ortalama tane dağılımı olan kuvars kumu kullanılmıştır. Çalışmalar sırasında matrise homojen bir şekilde karışımı zor olacağı düşünülen karbon esaslı malzemeler farklı kullanım oranlarında (toplam bağlayıcı malzeme miktarının en fazla %1'ine kadar) kullanılarak yukarıda sıralanan çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

3.3. Çalışmalar Sırasında Kullanılacak Elektriksel Veri Toplama:

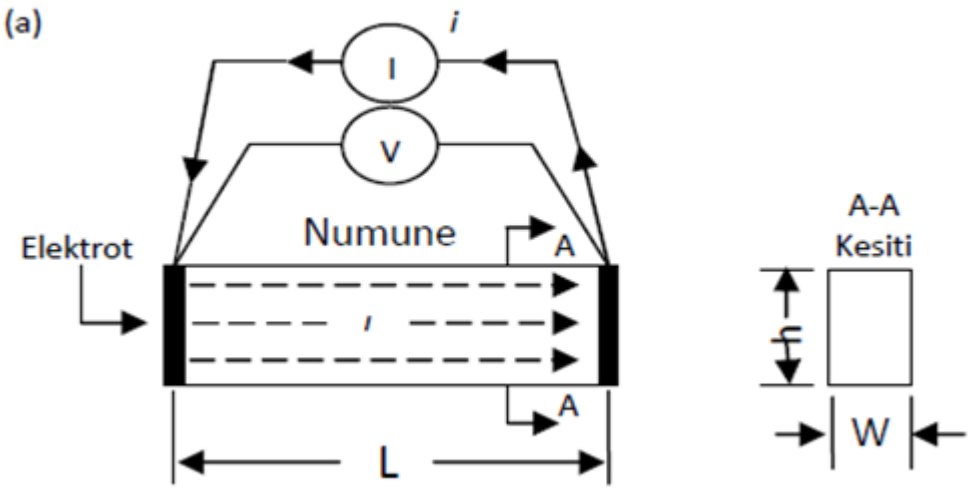
İki problu (sonda) ölçüm yapma teknikleri çimento bağlayıcılı kompozitlerin elektriksel dirençlerinin izlenmesinde kullanılabilen etkili ve oldukça basit yöntemdir. İki problu yöntemde sadece iki temas noktası bulunup bu noktalar arasından akım geçmektedir. Yine aynı temas noktaları voltajı belirlemek için de kullanılabilmektedir. Tez çalışmalarında kullanılan RCON beton elektriksel direnç ölçme cihazı, laboratuvar ortamında beton numunelerinin herhangi ek işlem yapılmaksızın hasarsız yöntemle elektriksel dirençlerini ölçmektedir. Bu cihaz hızlı (ölçüm hızı 5 saniyeden daha az), güvenilir ve farklı frekans yöntemleri kullanarak oldukça tutarlı sonuçlar vermekte olup değişik amaçlarla kullanılmaktadır.

RCON cihazının çalışma prensibi beton numunesinin her iki ucu arasında voltaj ölçerek kesintisiz olarak alternatif akım uygulamasıdır. Bu şekilde uygulanan akım ile hesaplanan voltaj değeri sayesinde elektriksel direnç belirlenebilmektedir. Literatürde yapılmış çalışmalarda iki problu elektriksel iletkenlik ölçüm yönteminin yaygın olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir.

Bu tez çalışmasında da iki problu (sonda) yöntem kullanılmıştır. Akımı uygulamak için Şekil 3.16'da gösterildiği üzere iki iletken uç kullanılmıştır. Daha sonra aşağıdaki Denklem 3.1 yardımı ile empedans değeri kullanılarak numunelerin elektriksel dirençleri belirlenmiştir.

$$\rho = (A : L) * Z \qquad (3.1)$$

Burada ρ (Ω.m) elektriksel direnç, A (m^2) numunenin en kesit alanı, L numunenin uzunluğu, Z (Ω) ise cihaz tarafından hesaplanan empedans değeridir.



Şekil 3.16. Tipik 2-problu elektriksel iletkenlik ölçümü

3.4. Deneysel Program

Çok fonksiyonlu çimento bağlayıcılı kompozitlerin üretiminde aşağıdaki malzemeler kullanılmıştır;

-Çalışmalarda özgül ağırlığı yaklaşık 3.10 olan Portland çimentosu kullanılmıştır.

-Kompozitlerin tasarımında su/çimento oranı 0.26 olarak seçilmiştir.

-Kullanılan ince kuvars kumu 400 μm çapında olup, karışımdaki uçucu kül miktarı kullanılan çimento ağırlığının 1.2 katıdır.

-6 ve 12 mm uzunluklarında kullanılan karbon lifler ile karbon nanotüplerin özellikleri ve görüntüleri daha önceden detaylı olarak verilmiştir.

Karbon lif ve karbon nanotüplerin karışım içerisinde homojen olarak dağıtılmasında yardımcı olarak kullanılan kimyasal malzemelerden birisi olan ‘‘Culminal selüloz eter’’ Belçika’da Ashland şirketi tarafından üretilmiş olup toplam bağlayıcı miktarın %0.2’si kadar kullanılmıştır. Bir başka kimyasal malzeme olan Axilat DF 770 DD kuru toz defoamer ise Fransa’da Momentive Şirketi tarafından üretilmiş olup toplam bağlayıcı miktarın %0.3’ü kadar kullanılmıştır. Daha önce belirtildiği gibi MasterGlenium® RMC 303, (süper akışkanlaştırıcı), kullanım miktarı

karışım sırasında karar verilen su azaltıcı katkı olarak kullanılmıştır. Şekil 3.17'de kompozitlerin hazırlanması esnasındaki görüntüler verilmiştir.



a) Karışım Kumun ilave edilmesi **b)** Karışım içerisinde karbon liflerin ilavesi

Şekil 3.17. Çok fonksiyonlu çimento bağlayıcılı kompozitlerin hazırlanması

3.5. Karışım Metotları ve En İyi Karışım Metodunun Araştırılması

Çimento bağlayıcılı kompozitlerin içerisinde uygun nano filament karışımı sağlayabilecek en iyi karışım yöntemini seçmek için, matris içerisinde kullanılan karbon lifler ve karbon nano tüpler sabit oranlarda kullanılmıştır. Bu amaçla 10 cm çapında ve 8 cm yüksekliğinde silindir numuneler üretilmiştir. Farklı karışım metotları ile hazırlanan numunelerin elektriksel dirençleri Giatech RCON cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Karışımlar hazırlanırken bütün karışım metotlarında sabit yüzdelerde kullanılan karbon lifler karışım hacminin %0.5'i kadar (6 mm ve 12 mm için), karbon nanotüpler ise bağlayıcı malzeme miktarının %0.25'i kadar kullanılmıştır. En iyi karışım tekniğinin araştırılmasında karbon nanotüp takviyeli çimento bağlayıcılı kompozitlerde toplamda 10 farklı metot araştırılırken, karbon lif takviyeli kompozitlerde 2 farklı metot araştırılmıştır. Sonuçlar referans değerleri ile karşılaştırılmıştır. Çimento bağlayıcılı kompozitlerin elektriksel iletkenlik ölçüm yöntemi Şekil 3.18'de verilmiştir.



Şekil 3.18. Çimento bağlayıcılı kompozitlerin elektriksel iletkenlik ölçüm yöntemi

Elektriği iyi ileten ve kendiliğinden algılama kabiliyetine sahip betonlar daha düşük direnç değerlerine sahiptir. Bu nedenle en iyi karışım yöntemi daha düşük direnç değerleri veren karışım yöntemi anlamına gelmektedir. Bu tez çalışmasında en iyi karışım yönteminin ve farklı tür karbon esaslı malzemelerin, kompozitlerin elektriksel iletkenlikleri üzerine etkilerinin araştırılmasının yanı sıra tasarlanan kompozitlerin mekanik özellikleri de test edilmiştir. Çok fonksiyonlu çimento bağlayıcılı kompozitlerin tasarlanmasında en iyi karışım yönteminin belirlenmesi gerçek zamanlı yapısal/malzeme sağlık izleme uygulamaları için yol gösterici olacaktır. Bu nedenle her bir karışım metodunun çok yakından bilinmesi ve kompozitlerin elektriksel iletkenlikleri üzerine olan etkileri iyi bir biçimde irdelenmesi gerekmektedir. Farklı karışım yöntemlerinin temelinde kullanılan malzemelerde işlem sırası açısından çeşitli yöntemlerin bulunması yatmaktadır. Ayrıca bu yöntemlerde nano malzemelerin kompozitlerin içerisine daha iyi dağılması için yardımcı olan farklı ara malzemelerde kullanılmaktadır. Karbon lif takviyeli kompozitlerin hazırlanmasında iki farklı karışım metodunun kullanılmasının tercih edilmesinin sebebi diğer yöntemlerde kullanılan nano mikserlerin birbirine yapıştırılmış halde bulunan karbon liflerin dağılımında bir etkisinin olmamasıdır. Ayrıca bazı karışım yöntemlerinden de, karbon nano tüp takviyeli kompozitlerden alınan elektriksel direnç değerleri yorumlandığında vazgeçilmiştir. Bu sonuçlar referans numunelerdeki elektriksel direnç sonuçlarından fazla elektriksel direnç değerleri ortaya koyduğu için karbon liflerin bu yöntemlerle

kullanılmasına gerek duyulmamıştır. Bunun yerine karbon lifler için iki farklı karıştırma tekniği çalışmalarda göz önüne alınmıştır. Literatürden elde edilen bilgilere göre araştırmacılar çimento bağlayıcılı kompozitlerin tasarımında KNT takviyesini %0.05 ila %1.0 aralığında kullanmaktadır. Yine aynı şekilde karbon lif takviyeli kompozitlerin tasarımına bakıldığında karbon liflerin çok farklı miktarlarda kullanıldığı görülmektedir. Bu miktar toplam hacmin %15'ine kadar çıkabilmektedir. Gerek mali etkenler gerekse daha yüksek dozajlara gerek duyulmaması sebebiyle karbon liflerin toplam kompozit hacminin %0.5'i kadar kullanılmasına karar verilmiştir.

Aşağıda verilen Çizelge 3.5'te bu çalışmada göz önüne alınan nano malzemelerin farklı karışım metotları verilmiştir.

Çizelge 3.5. Nano Malzemelerin (NM) Karışım Metotları

Karışım metodu	**Açıklamalar**
Referans	5 dk. kuru halde karıştırma işleminden sonra 10 dk ıslak halde karıştırma işlemi yapılır.
A	Nano malzeme ham malzemelerle karıştırılır (5 dk kuru halde karıştırma işlemi). Daha sonra su ilave edilerek 10 dk. ıslak halde karıştırma işlemi yapılır.
B	Kuru karışım 5 dk karıştırıldaktan sonra nano malzeme su ile birlikte 5 dk. boyunca nano mikserde karıştırılır. Son olarak nano malzeme-su karışımı kuru karışıma ilave edilir ve bütün malzemeler 10 dk. boyunca karıştırılır.
C	5 dk kuru karışımdan sonra, nano malzeme, su ve süper akışkanlaştırıcı mikser vasıtasıyla ayrı bir şekilde 5 dk karıştırılır. Daha sonra nano malzemeler, su ve süper akışkanlaştırıcı ile oluşan karışım, kuru haldeki diğer karışıma ilave edilir ve 10 dk. boyunca hepsi birlikte karıştırılır.
D	Nano malzeme ve nano SiO_2 ham malzemeler ile karıştırılır. Daha sonra su eklenerek 10 dk ıslak karışıma tabi tutulur.
E	Nano malzemeler ve K95 olarak bilinen kalsiyum karbonat, ($CaCO_3$) yardımı ile (sürfaktan) ham malzemelerle karıştırılır. Daha sonra su eklenerek 10 dakika daha ıslak halde karıştırılır.
F	Nano malzeme başka bir kapta nano mikser yardımıyla süper akışkanlaştırıcı ve su ile karıştırılır. Nano malzeme, süper akışkanlaştırıcı ve su disperser ile birlikte en yüksek karıştırma hızında 5 dk. karıştırılır. Kuru malzemeler, su eklenmeksizin 5 dakika boyunca kuru halde karıştırılır, Nano malzeme, süper akışkanlaştırıcı, disperser ve su solüsyonu kuru karışıma ilave edilir ve mikser içerisinde 10 dakika boyunca karıştırılır.
G	Nano malzeme su ile birlikte nano mikserde 5 dk. boyunca karıştırılır. Kuru malzemeler 5 dk. süresince kuru halde karıştırılırlar. Daha sonra ham malzemeler, nano malzeme-su karışımına ilave edilir ve 10 dk boyunca ıslak karışıma tabi tutulur.
H	Nano malzeme ve süper akışkanlaştırıcı ham malzemeler ile 5 dakika boyunca kuru halde karıştırılır. Daha sonra su ilave edilir ve 10 dakika süresince ıslak halde karıştırılır.
I	Nano malzeme ve SiO_2 nano mikser ile 5 dk boyunca karıştırılır. Daha sonra ham haldeki malzemeler su-nano malzeme-SiO karışımına eklenerek 10 dakika süresince karıştırılır.
J	Nano malzeme ve K95 (Kalsiyum Karbonat $CaCO_3$) nano mikserde 5 dk boyunca karıştırılır. Nano malzeme ve K95 (Kalsiyum Karbonat $CaCO_3$) su ile birlikte nano mikserde 5 dk. boyunca karıştırılır. Kuru malzemeler 5 dk. boyunca kuru halde karıştırıldıktan sonra su-nano malzeme-SiO karışımına aktarılarak 10 dk boyunca karıştırılır.

Çizelge 3.5'te verildiği üzere A'dan J'ye kadar harf olarak verilen toplamda 10 farklı karışım metodunun işlem sırası ve işlem süreleri detaylı olarak açıklanmıştır. Bunlar arasından A ve B karışım yöntemleri karbon lif takviyeli çimento bağlayıcılı kompozitler için kullanılırken, karbon nanotüp takviyeli kompozitler için çizelgede yer alan bütün karışım yöntemleri denenmiştir. Karbon lifler karbon atomlarının demetlenmiş halinde bulunmaktadır. Çapları yaklaşık 0.005- 0.010 mm kadardır.

Karbon atomları mikroskopik kristaller bir araya gelmiş ve lifin uzun olan boyutunda birbirine bağlanarak sıralanmıştır. Birkaç bin adet karbon lifi birbirine sarılmış halde bir ipliksi yapı meydana getirirler. Karbon lifi inanılmaz derece yüksek çekme mukavemetine sahip kılan, karbon atomlarının kristalize bağlarıdır. Karbon liflerin yüksek çekme mukavemeti, düşük ağırlıkları ve düşük ısıl genleşme gibi özellikleri inşaat mühendisliğinde birçok uygulamada popüler hale gelmektedir (Park and Seo, 2011). Karbon lifler oldukça iletken malzemelerdir.

Tez çalışmasına başlamadan önce yapılan ön deneylerde çimento bağlayıcılı kompozitlerin içerisinde karbon lifler düşük miktarlarda kullanılmıştır (karışım hacminin %5'i kadar). Ancak toplu halde bir arada bulunan lifler elektriksel iletkenlik açısından iyi sonuçlar vermeyip, kompozitlerin normal haldeki elektriksel iletkenliklerine yakın sonuçlar vermiştir. Mikron mertebesinde çaplara sahip ince liflerin düşük oranlarda kullanılarak, çimento bağlayıcılı kompozitlerin içerisine bu liflerin homojen olarak dağılması ve ancak bu şekilde tasarlanan çok fonksiyonlu kompozitlerin elektriksel iletkenliğini arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Yukarıda açıklanan nedenlerle, toplu halde bulunan (dağılmamış) karbon liflerin suyun içerisinde aseton ve süperakışkanlaştırıcı yardımıyla mekanik olarak 10 dakika süresince en hızlı seviyede karıştırılarak liflerin birbirinden ayrılması sağlanmıştır.

Kuruma işlemi karbon liflerin işlemden önce ve işlemden sonraki ağırlık stabilitesi sağlanana kadar 75 C sıcaklıkta 24 saat bekletilerek yapılmıştır. Kuruma işleminden sonra birbirinden ayrılmış karbon lifler daha önceden bahsedildiği gibi çimento bağlayıcılı kompozitlerin içerisine iki farklı metotla (A ve B) katılmıştır.

Şekil 3.19'da kullanılan karbon liflerin solüsyondan içerisinde işleme tabi tutulmadan önceki ve sonraki halleri verilmiştir.



Şekil 3.19. Karbon liflerin solüsyon içerisindeki dağıtılmış (solda) ve dağıtılmamış (sağda) hali

Tasarlanan çok fonksiyonlu çimento bağlayıcılı kompozitlerin elektriksel direnç ölçümleri karbon lif takviyesiz kompozitlerin direnç ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. A metodunda karbon lifler ham malzemelerle karıştırılırlar ve daha sonra bu karışıma su ilave edilerek beş dakika daha karışıma maruz bırakılırlar. Süperakışkanlaştırıcı eklendikten sonra, bütün malzemeler beş dakika boyunca tekrar karıştırılırlar. B metodunda ise karbon lifler ilk olarak dağılımı kolaylaştıran metil sülüloz katkısı ile (toplam bağlayıcı miktarın %0.2'si kadar) 5 dakika boyunca karıştırılmıştır. Bu metotta ham malzemelerde 5 dakika karıştırıldıktan sonra karbon lif-disperser karışımı yavaş yavaş hala karışmakta olan malzemelere eklenmiştir. Tamamı katıldıktan sonra bütün malzemeler 5 dakika boyunca karıştırılmaya devam edilmiştir. En son işlem olarak süperakışkanlaştırıcı katılmış ve tekrar 5 dakikalık karışım süresi gerçekleştirilmiştir.

Karbon nano tüpler de tıpkı karbon lifler gibi sabit oranlarda kullanılarak çimento bağlayıcılı kompozitler içerisine Çizelge 3.5'te bulunan bütün karışım yöntemleri kullanılarak ilave edilmiştir. Tez çalışmalarında kullanılan KNT takviyeli çok fonksiyonlu çimento bağlayıcılı kompozitlerin görüntüleri Şekil 3.20'da verilmiştir.



a) Karbon nanotüp takviyeli kompozitler **b)** Karbon lif takviyeli kompozitler

Şekil 3.20. Çalışmalarda kullanılan KNT ve KL takviyeli kompozitler

KNT ve KL takviyeli çok fonksiyonlu çimento bağlayıcılı kompozitlerin elektriksel direnç ölçümleri 1, 7, 28, 60, 90 ve 180 günlük ölçümlerle yapılmıştır. Şekil 3.21'de gösterildiği üzere kompozitlerin kür işlemleri ölçüm sürelerine kadar oda sıcaklığında (yaklaşık 25 ^{o}C'de) yapılmıştır.



Şekil 3.21. Çalışmalarda kullanılan çimento bağlayıcılı kompozitlerin kür işlemleri

3.6. Tasarlanan Çok fonksiyonlu Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Yükler Altında Piezo-Dirençli Özelliklerinin Belirlenmesi

En uygun karışım yöntemlerinin bulunmasının ardından tasarlanan çimento bağlayıcılı kompozitlerin kendiliğinden algılama özellikleri test edilmiştir. Bu amaç doğrultusunda 12 adet kompozit 5×5×5 cm boyutlarında küp numune hazırlanmıştır. Basınç ve yarma deneyleri ile eş zamanlı olarak elektriksel direnç deneyleri yapılarak kompozitlerin anlık olarak hasar durumları araştırılmıştır. Deneyler neticesinde en iyi karışım yöntemi olarak A metodu kompozitlerin üretiminde kullanılmıştır. KL takviyeli olarak üretilen (toplam karışımın %1 ve %2'si) kompozitlerin basınç ve yarma deneyleri altında piezo dirençli özellikleri araştırılmıştır. Numuneler yük altında 2 problu ölçüm metodu ile test edilmiştir. Buna ek olarak bütün kompozitlerin 7 ve 28 günlük ölçümlerle elektriksel direnç değerleri belirlenmiştir. Şekil 3.22'de 5×5×5 cm küp numunelerde hazırlanan kompozitler gösterilmiştir. Çizelge 3.6'da ise üretilen kompozitlerin içindeki malzemeler ile kullanım miktarları verilmiştir.



Şekil 3.22. Kendiliğinden algılayan çimento bağlayıcılı kompozitlerin üretim işlemleri

Çizelge 3.6. Mekanik deneyler için üretilen 12 adet kompozitin içerikleri

İçindekiler	Çimento	Uçucu kül	Su	Kum	Süper akışkanlaştırıcı	KL (%1)	KL(%2)
Ağırlık(Gr)	1018,8	1224	595,8	815,4	8,1	30,6	61,2

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Karbon Nanotüp Takviyeli Olarak Hazırlanan Kompozitlerin Elektriksel Direnç Deneylerinin Sonuçları

Toplam bağlayıcı miktarın %0.25'i kadar karbon nano tüp takviyeli çok fonksiyonlu çimento bağlayıcılı kompozitlerin 10 farklı karışım yöntemi ile 1, 7, 28, 60, 90 ve 180 günlük elektriksel direnç (Ω.m) ölçümleri referans değerleri ile birlikte Çizelge 4.1'de verilmiştir.

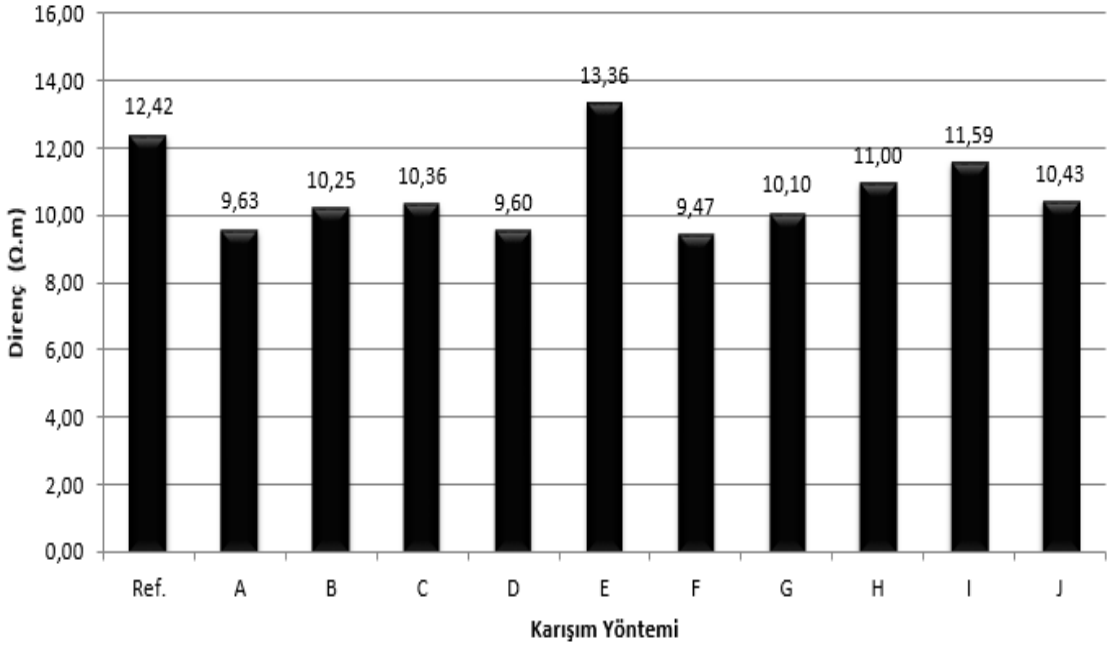
Çizelge 4.1. KNT takviyeli çimento bağlayıcılı kompozitlerin elektriksel direnç ölçümleri

Karışım Yöntemi	Numune İsmi	KNT Kullanım Oranı %	1.Gün	7. Gün	28. Gün	60. Gün	90. Gün	180. Gün
			Direnç Ω.m	Direnç Ω.m	Direnç Ω.m	Direnç Ω.m	Direnç Ω.m	Direnç Ω.m
Ref	**RefN**	0	12,42	29,17	175,31	524,46	726,29	1797,32
A	**AN**	0,25	9,63	26,57	165,98	457,19	615,80	1512,50
B	**BN**	0,25	10,25	28,92	168,93	515,63	683,08	1659,82
C	**CN**	0,25	10,36	26,17	151,25	439,51	631,52	1483,04
D	**DN**	0,25	9,60	38,11	182,19	467,99	623,66	1502,68
E	**EN**	0,25	13,36	28,92	167,46	618,26	1129,46	2730,36
F	**F**	0,25	9,47	23,18	111,47	311,34	716,47	2165,63
G	**GN**	0,25	10,10	26,86	150,27	504,82	876,56	2190,18
H	**HN**	0,25	11,00	68,90	358,97	908,48	1212,95	2347,32
I	**IN**	0,25	11,59	37,86	174,33	529,38	896,21	2283,48
J	**JN**	0,25	10,43	26,81	156,65	592,23	1109,82	2951,34

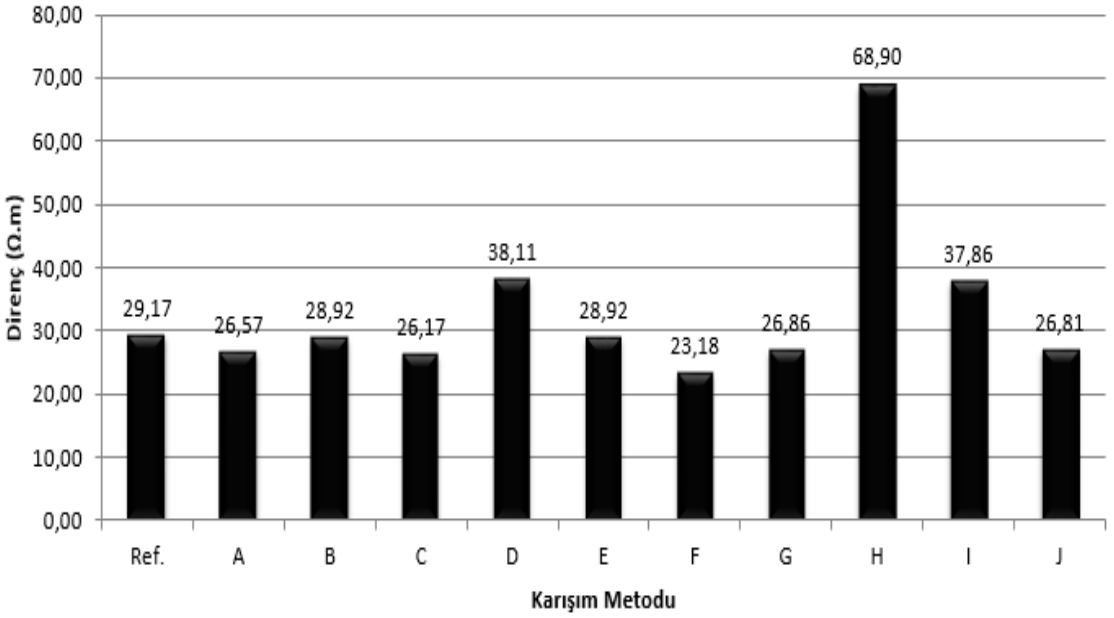
Çizelge 4.1'den anlaşılacağı üzere A, B, C ve D metotlarının 180 günlük elektriksel direnç sonuçları referans numunenin elektriksel direnç değerleri ile kıyaslandığında olumlu sonuçlar vermiştir. Bu sonuçlar 1, 7, 28, 60 ve 90 günlük direnç ölçümleri ile karşılaştırıldığında benzer bir sonuca varılmaktadır. Diğer yöntemler ise referans direnç değerlerinden yüksek deney sonuçları vererek KNT'lerin bu yollarla çimento bağlayıcılı kompozitlerin içerisinde katılmasının uygun olmadığını ortaya koymuştur. Özellikle H metodu 180 günlük ölçümlere kadar en fazla elektriksel direnç değeri elde edilen karşım tekniği olmuştur. E, F, G, H, I, J metotları farklı ölçüm zamanlarında referans numune ile kıyas edildiğinde zaman zaman elektriksel direnç değerleri düşerek olumlu sonuçlar verse de netice itibariyle bakıldığında bu metotlar karışım teknikleri açısından güvenilir sonuçlar vermemektedir. Araştırmalar neticesinde olumlu sonuçlar veren A, B, C ve D karışım yöntemleri bütün ölçüm sürelerinde referans numunesinin elektriksel direnç değerlerinden daha az elektriksel direnç

sonuçları göstererek tutarlı bir sonuç sergilemiştir. 180 günlük ölçümler göz önüne alındığında C karışım yöntemi en iyi netice veren karışım tekniği olarak kabul edilebilir.

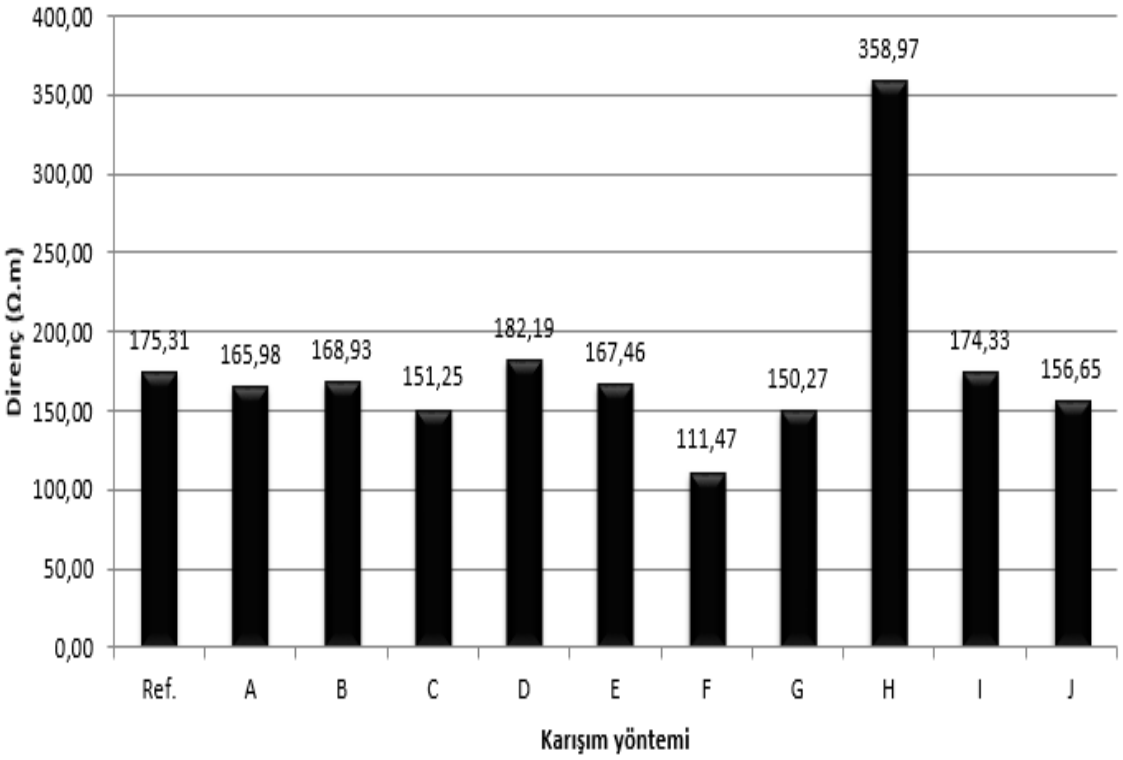
Her bir karışım yöntemine karşılık gelen 1, 7, 28, 60, 90 ve 180 günlük elektriksel direnç okumaları grafik halinde Şekil 4.1-Şekil 4.6'da verilmiştir.



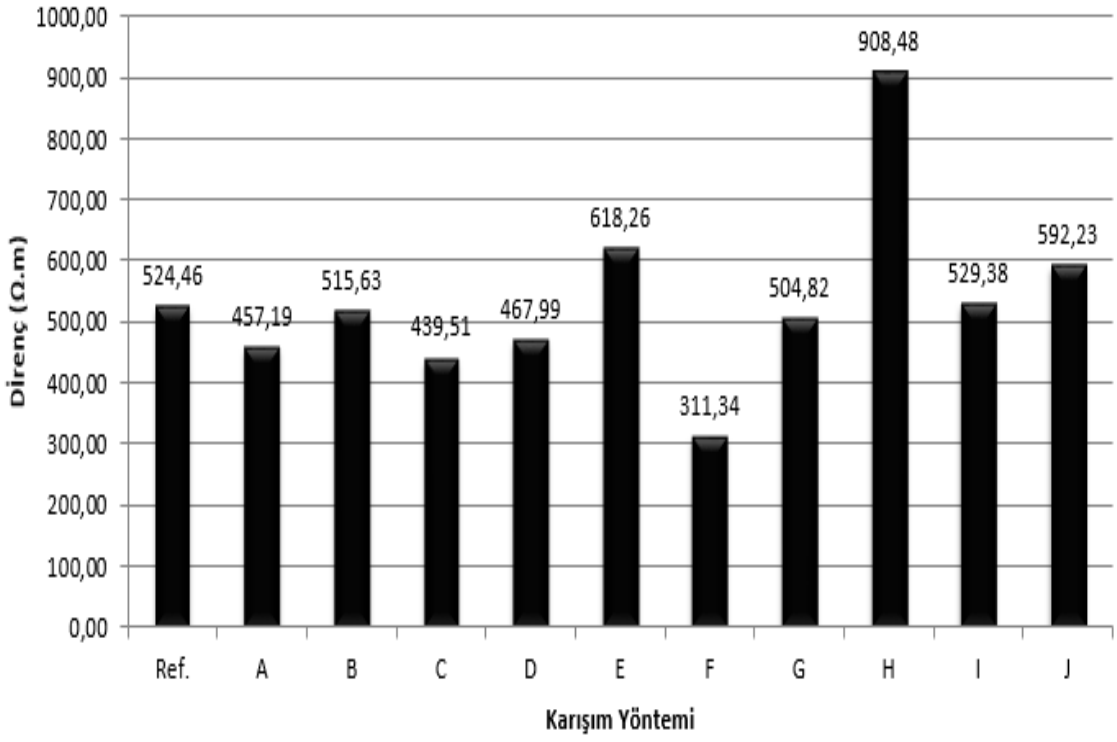
Şekil 4.1. KNT takviyeli kompozitlerin 1 günlük elektriksel direnç (ohm.m) sonuçları



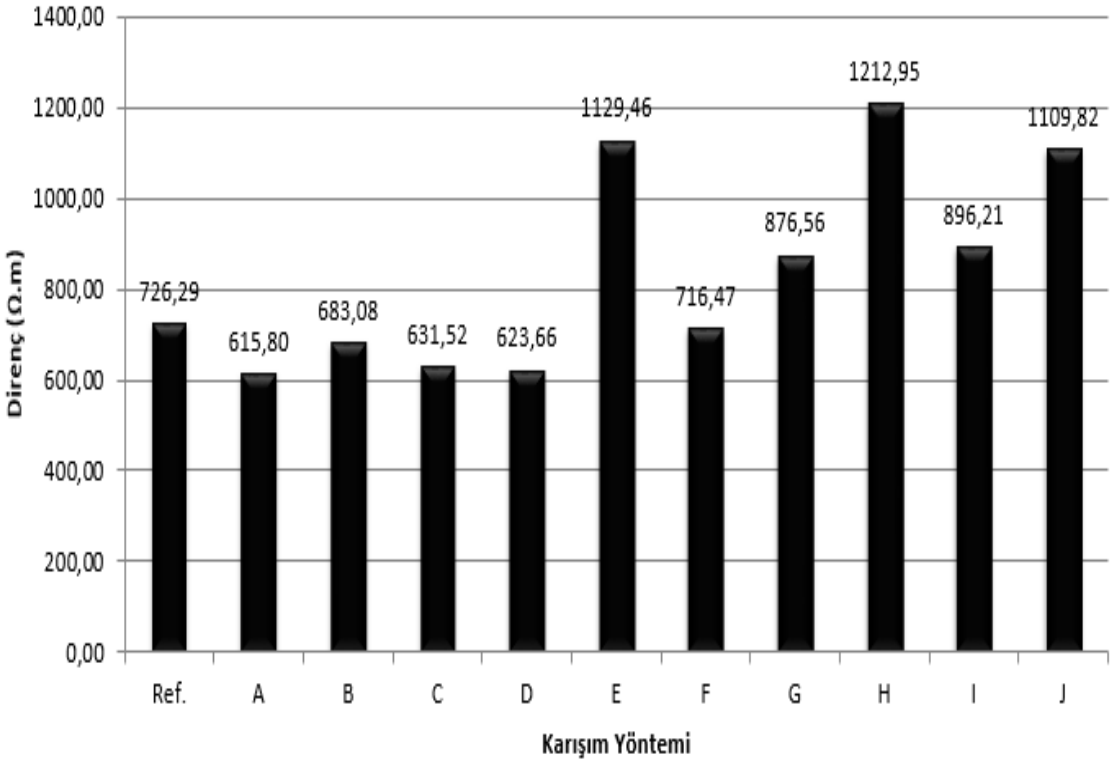
Şekil 4.2. KNT takviyeli kompozitlerin 7 günlük elektriksel direnç (ohm.m) sonuçları



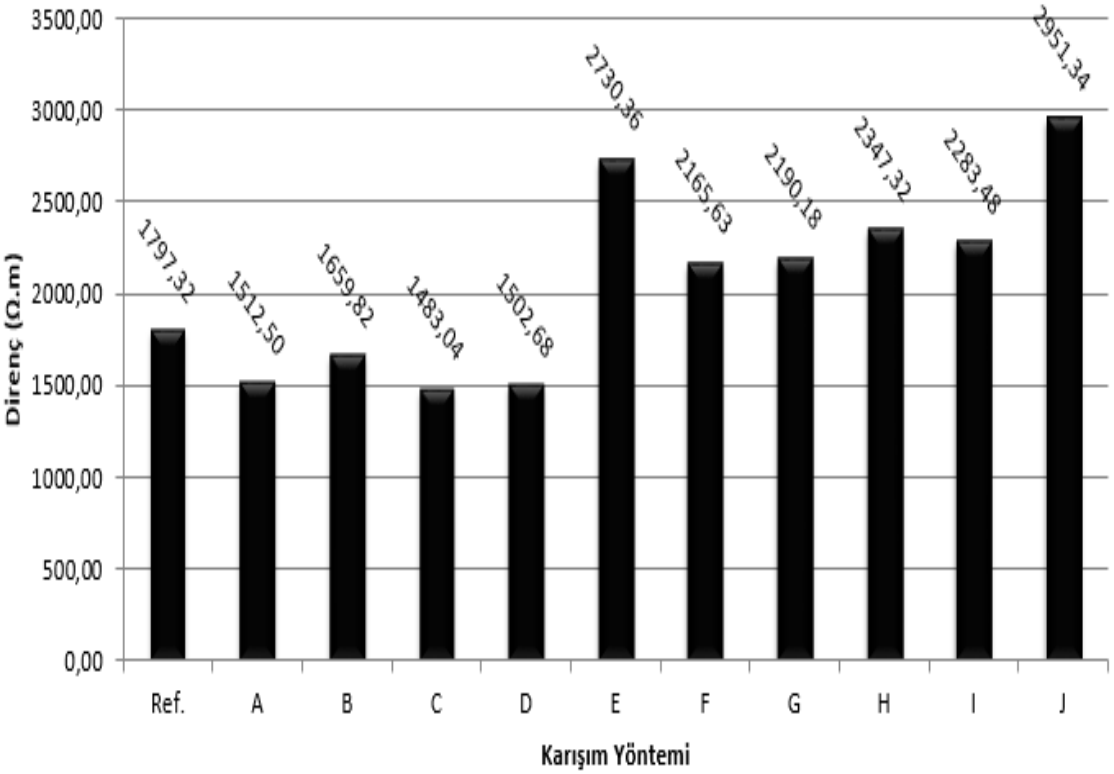
Şekil 4.3. KNT takviyeli kompozitlerin 28 günlük elektriksel direnç (ohm.m) sonuçları



Şekil 4.4. KNT takviyeli kompozitlerin 60 günlük elektriksel direnç (ohm.m) sonuçları



Şekil 4.5. KNT takviyeli kompozitlerin 90 günlük elektriksel direnç (ohm.m) sonuçları



Şekil 4.6: KNT takviyeli kompozitlerin 180 günlük elektriksel direnç (ohm.m) sonuçları

4.2 Karbon Lif Takviyeli (6 mm) Olarak Hazırlanan Kompozitlerin Elektriksel Direnç Deneylerinin Sonuçları

Yapılan ölçümler sonucu karışım hacminin %0.5'i oranında KL içeren çimento bağlayıcılı kompozitlerin 1, 7, 28, 60, 90,180 günlük elektriksel direnç değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. KL takviyeli (6 mm) çimento bağlayıcılı kompozitlerin elektriksel direnç ölçümleri

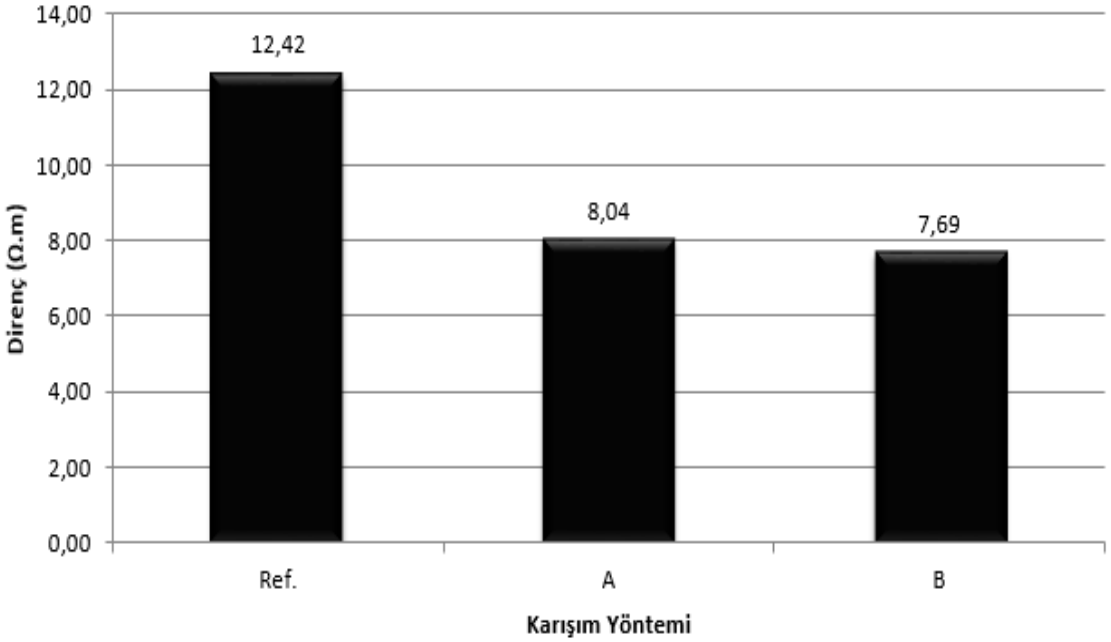
Karışım Yöntemi	Numune İsmi	KL Kullanım Oranı %	1.Gün	7.Gün	28.Gün	60.Gün	90.Gün	180.Gün
			Direnç Ω.m	Direnç Ω.m	Direnç Ω.m	Direnç Ω.m	Direnç Ω.m	Direnç Ω.m
Ref	**RefN**	0	12,42	29,17	175,31	524,46	726,29	1797,32
A	**CFNA**	0,5	8,04	12,92	33,20	78,82	126,70	248,97
B	**CFNB**	0,5	7,69	16,70	48,86	94,24	200,85	601,07

Çalışma sonuçları incelendiğinde basitçe bir karşılaştırma ile dahi referans alınan karbon lif katkısız numune ile diğer %0.5 karbon lif katkısı içeren kompozitlerin arasında elektriksel direnç farkları oldukça fazla olduğu görülecektir. 180 günlük ölçümlere bakıldığında açıkça görülmektedir ki A metoduyla karışımı gerçekleştirilmiş kompozitlerin elektriksel dirençleri referans kompozitin elektriksel direnç ölçümünden yaklaşık olarak %700 daha azdır.

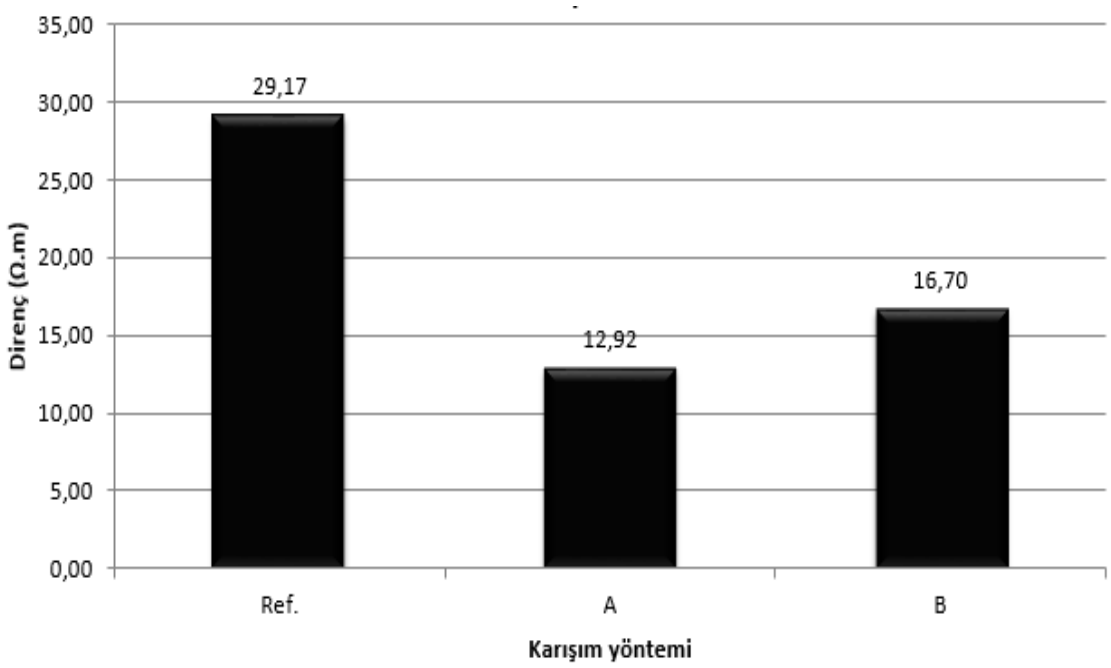
Daha önce bahsedildiği üzere A yöntemi ile uygulanan karşım tekniğinde 5 dakikalık kuru karıştırma işleminden sonra 10 dakika ıslak halde karıştırma işlemi yapılmaktadır. B yönteminde ise nano malzemeler ham malzemelerle karıştırılır. Nano malzemelerin ilave edilmesinden sonra 5 dakika süresince kuru halde karıştırma işlemi yapılır. Son olarak ise su ilave edilerek 10 dakika boyunca karıştırılır. A metodu B metodu ile karışımı yapılmış kompozitlerin elektriksel direnç değeri referans alınan kompozitin elektriksel direnç değerinden %140 daha azdır. Bu sonuçlar; 6 mm uzunluğunda ve karışım hacminin %0.5'i miktarında kullanılan karbon lif takviyeli çok fonksiyonlu çimento bağlayıcılı kompozitlerin tasarımında A metodunun B metoduna göre çok daha etkili bir karışım tekniği olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.2'de elde edilen elektriksel direnç sonuçlarını daha belirgin olarak görebilmek ve yorumlayabilmek amacıyla Şekil 4.7-Şekil 4.12 grafikleri hazırlanmıştır.

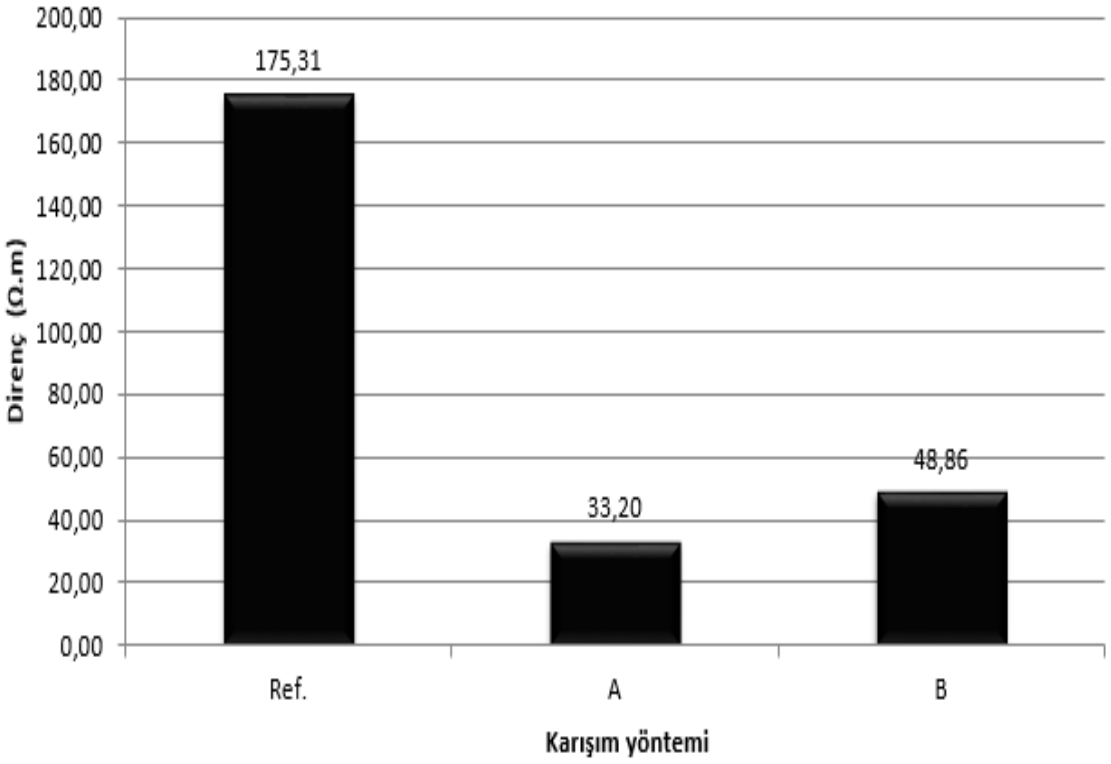
Şekil 4.7'deki 1 günlük elektriksel direnç ölçümlerinin haricinde A metodu bütün ölçüm sürelerinde B metodundan daha iyi sonuç vermiştir. Bu sonuç, tez çalışması dahilinde yapılan mekanik testlerde karbon esaslı malzemelerin karışım içerisine katılırken hangi tekniğin uygulanacağı noktasında belirleyici rol oynamıştır.



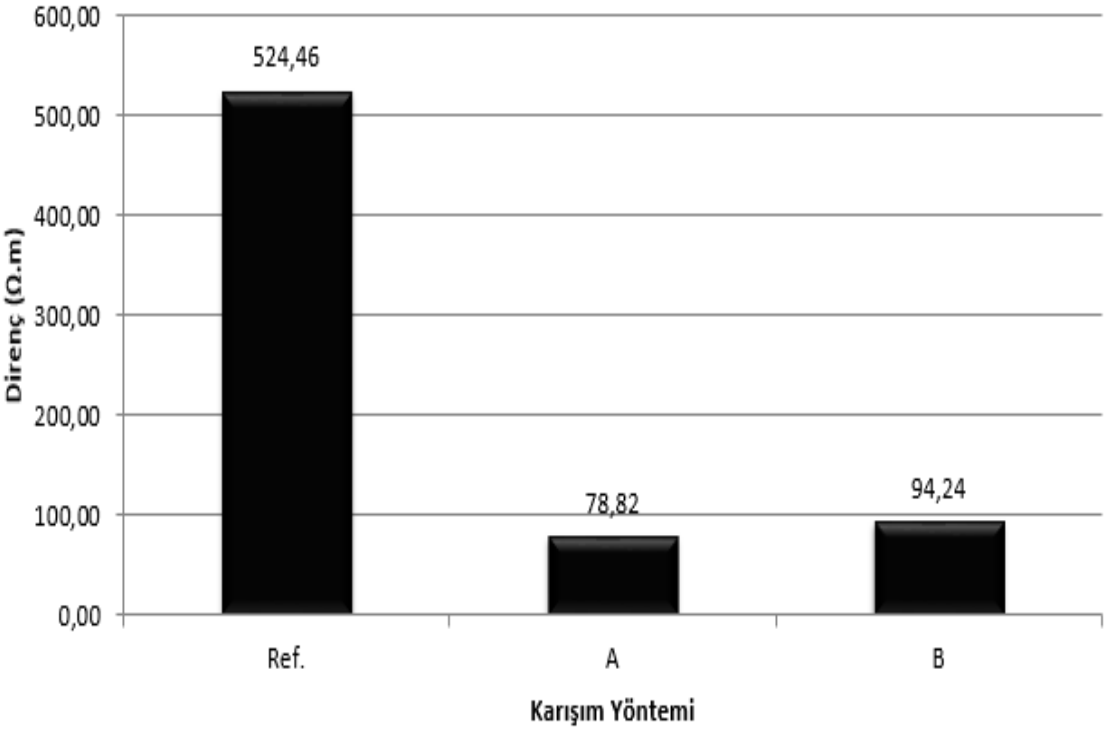
Şekil 4.7. KL takviyeli kompozitlerin 1 günlük elektriksel direnç (ohm.m) sonuçları



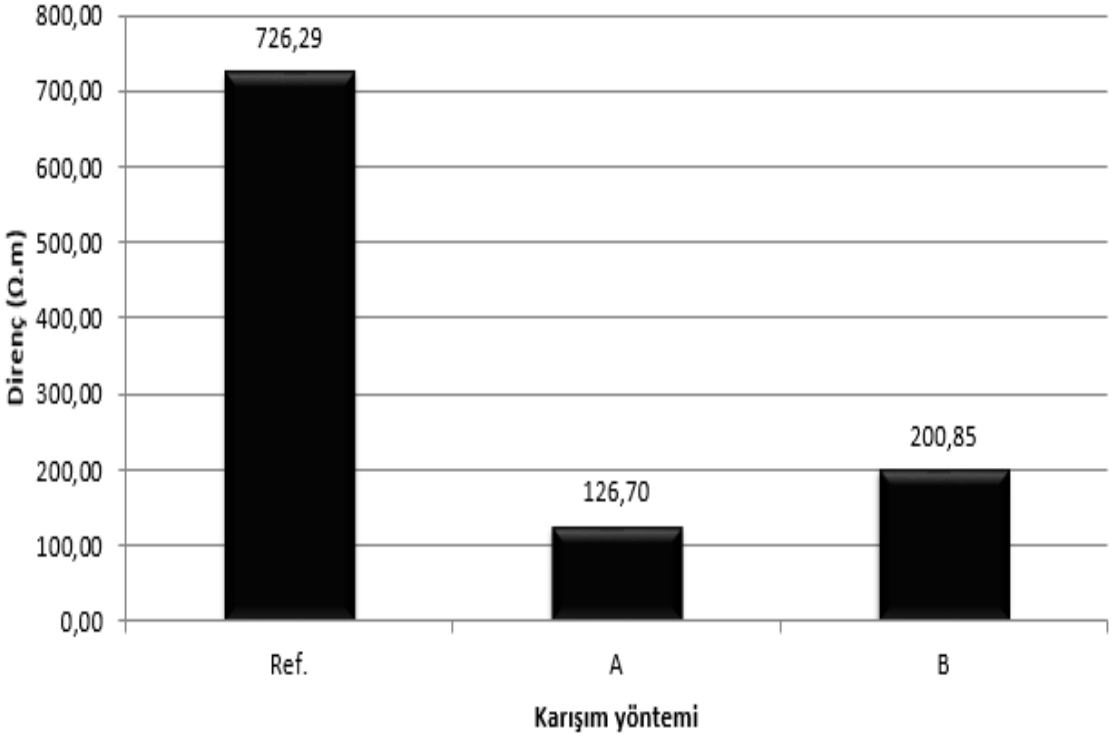
Şekil 4.8: KL takviyeli kompozitlerin 7 günlük elektriksel direnç (ohm.m) sonuçları



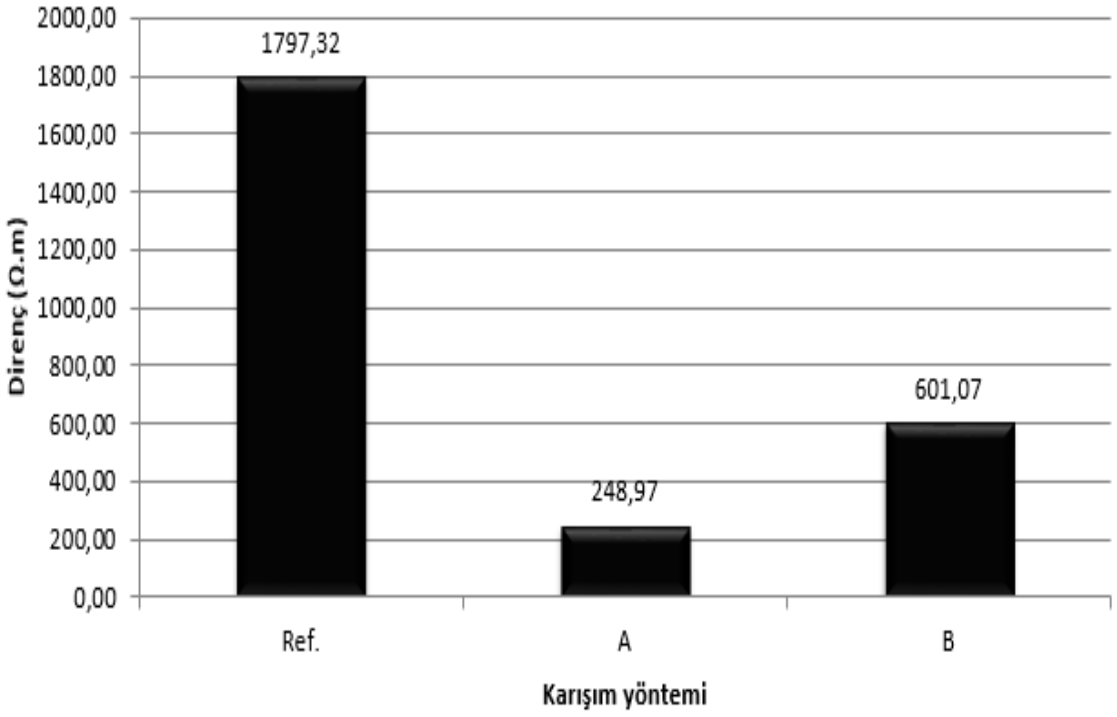
Şekil 4.9. KL takviyeli kompozitlerin 28 günlük elektriksel direnç (ohm.m) sonuçları



Şekil 4.10. KL takviyeli kompozitlerin 60 günlük elektriksel direnç (ohm.m) sonuçları



Şekil 4.11. KL takviyeli kompozitlerin 90 günlük elektriksel direnç (ohm.m) sonuçları



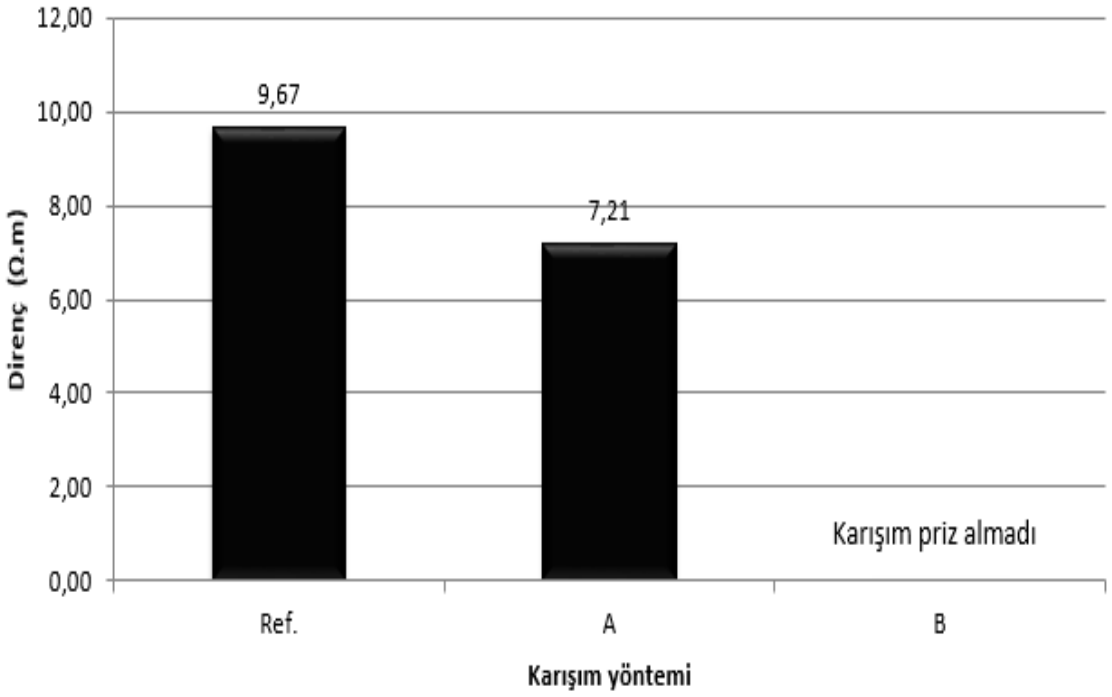
Şekil 4.12. KL takviyeli kompozitlerin 180 günlük elektriksel direnç (ohm.m) sonuçları

4.3 Karbon Lif Takviyeli (12 mm) Olarak Hazırlanan Kompozitlerin Elektriksel Direnç Deneylerinin Sonuçları

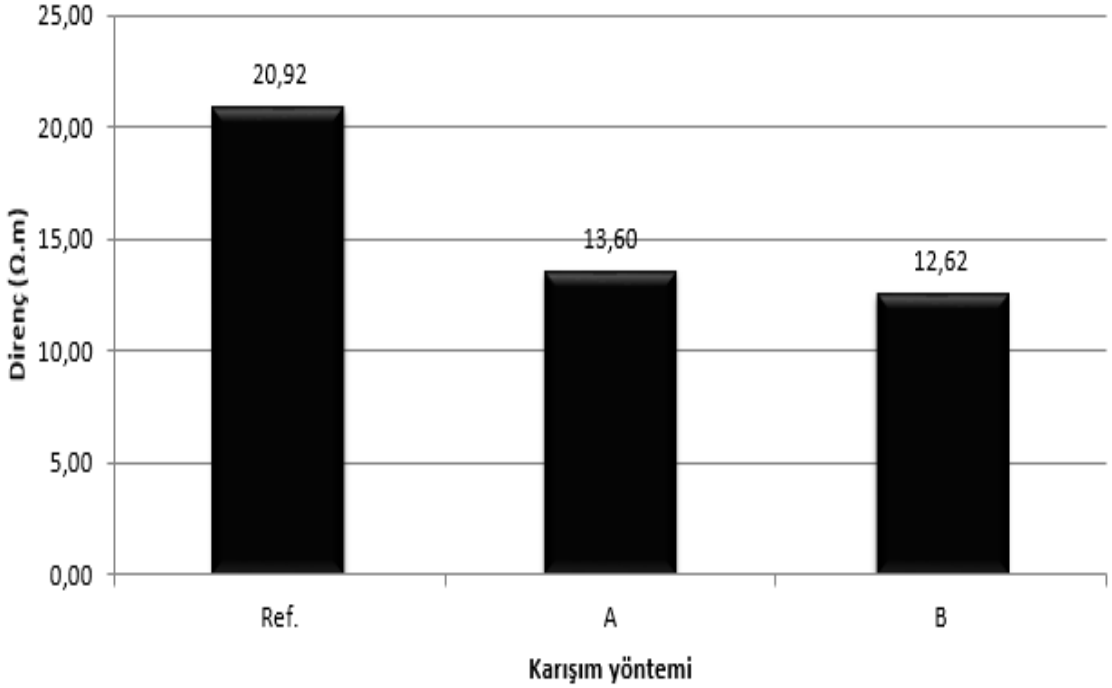
Her iki karışım yönteminde (A-B) karışım hacminin %0.50'si oranında kullanılan KL (12 mm) takviyeli çimento bağlayıcılı kompozitlerin elektriksel direnç (Ω.m) sonuçları 1, 7, 28, 60, 90, 180 günlük ölçümlerle belirlenerek Çizelge 4.3'te verilmiştir. Deneylere ait grafikler Şekil 4.13-4.18'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. KL takviyeli (12mm) çimento bağlayıcılı kompozitlerin elektriksel direnç ölçümleri

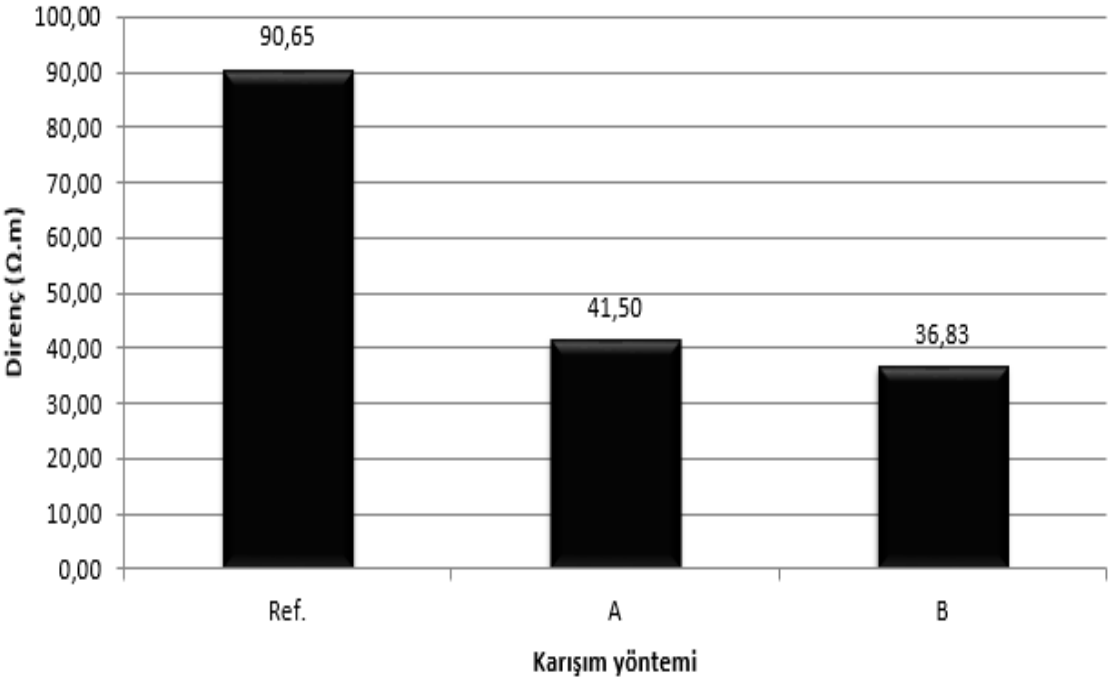
Karışım Yöntemi	Numune İsmi	KL Kullanım Oranı %	1.Gün	7.Gün	28.Gün	60.Gün	90.Gün	180.Gün
			Direnç Ω.m	Direnç Ω.m	Direnç Ω.m	Direnç Ω.m	Direnç Ω.m	Direnç Ω.m
Ref	**CFGr00**	0	9,67	20,92	90,65	330,00	620,22	1797,32
A	**CF12A**	0,5	7,21	13,60	41,50	94,97	184,64	322,63
B	**CF12B**	0,5	Priz yok	12,62	36,83	88,88	201,83	414,46



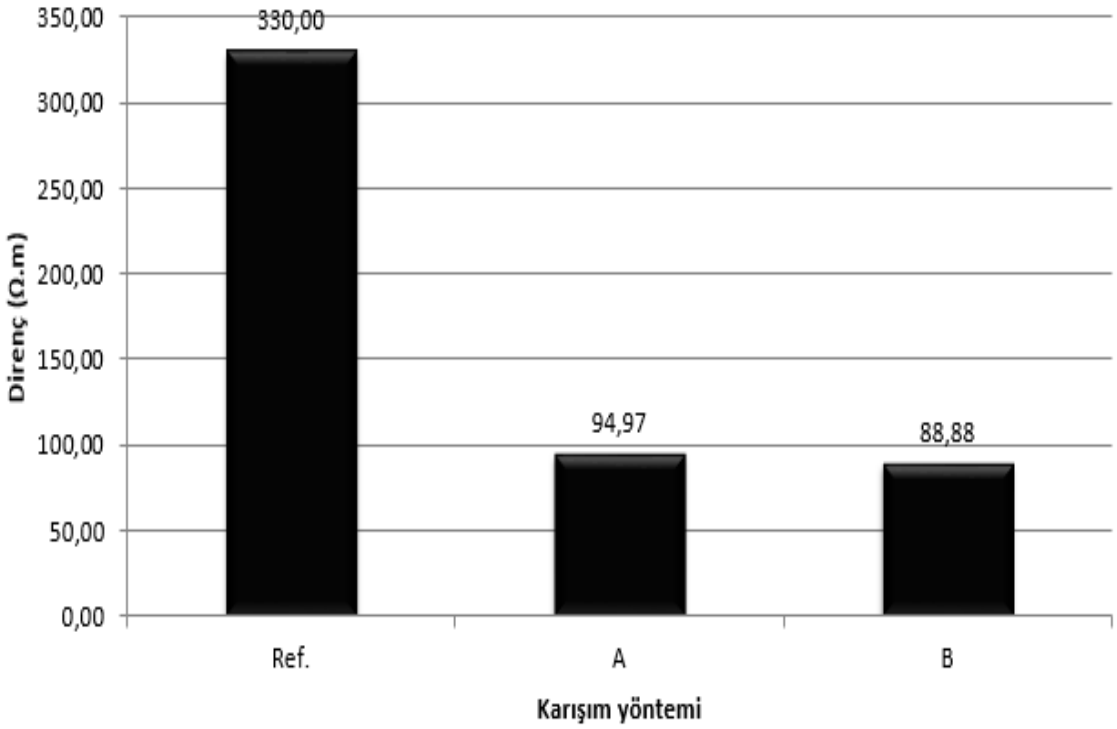
Şekil 4.13. KL takviyeli kompozitlerin 1 günlük elektriksel direnç (Ω.m) sonuçları



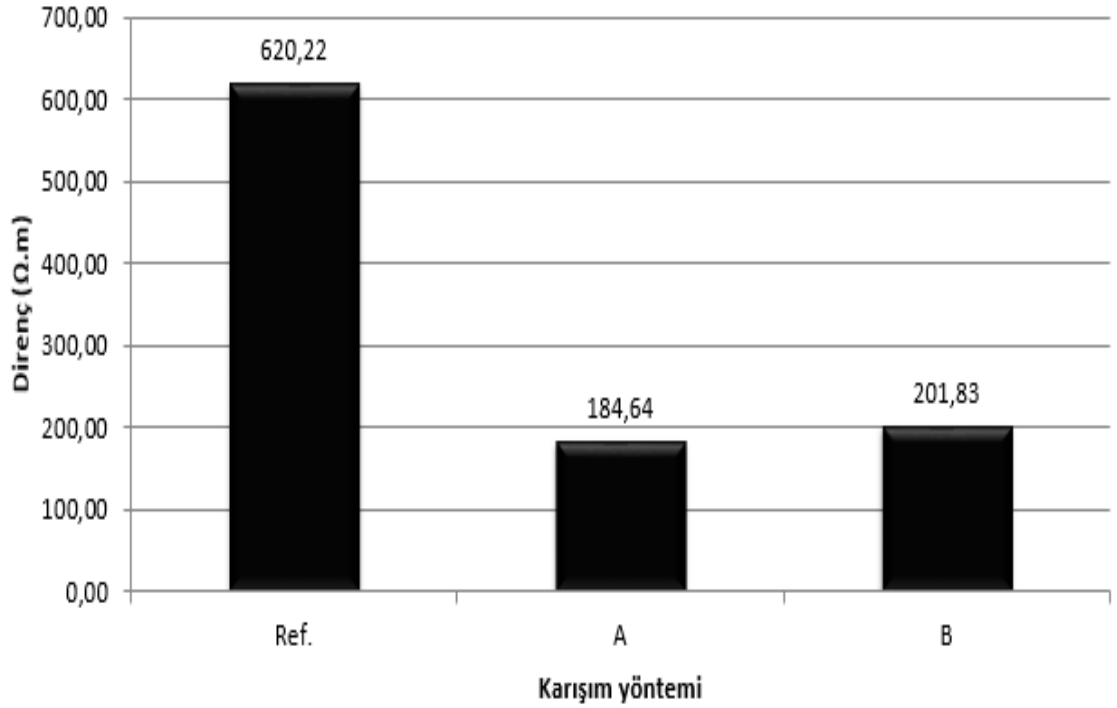
Şekil 4.14. KL takviyeli kompozitlerin 7 günlük elektriksel direnç (ohm.m) sonuçları



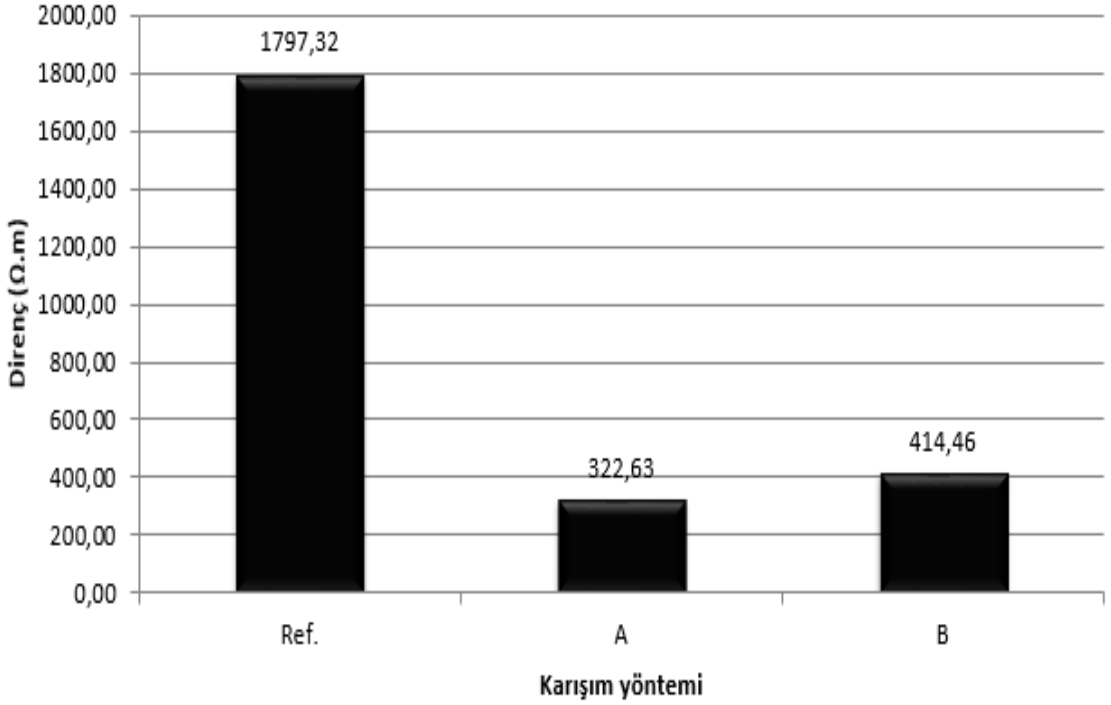
Şekil 4.15. KL takviyeli kompozitlerin 28 günlük elektriksel direnç (ohm.m) sonuçları



Şekil 4.16. KL takviyeli kompozitlerin 60 günlük elektriksel direnç (ohm.m) sonuçları



Şekil 4.17. KL takviyeli kompozitlerin 90 günlük elektriksel direnç (ohm.m) sonuçları



Şekil 4.18. KL takviyeli kompozitlerin 180 günlük elektriksel direnç (ohm.m) sonuçları

KL takviyeli (12 mm) çimento bağlayıcılı kompozitlerin elektriksel direnç sonuçları incelendiğinde 6 mm uzunluğunda kullanılan KL takviyeli kompozitlerin elektriksel direnç değişimlerinde olduğu gibi A karışım yönteminin B karışım yöntemine göre 90 ve 180 gün için daha düşük elektriksel direnç değerleri verdiği görülmektedir. Bu sonuçlar iki farklı uzunlukta kullanılan karbon liflerin A metodunda B metoduna kıyasla matrise çok daha homojen dağıldığı anlamına gelmektedir. 12 mm uzunluğunda kullanılan KL takviyeli kompozitlerin elektriksel direnç değerleri A metodunda referans değerlerinden yaklaşık %550 daha az iken B metodunda yaklaşık % 430 düzeyinde daha azdır. Buna rağmen 12 ve 6 mm uzunluğunda kullanılan KL takviyeli kompozitlerin elektriksel direnç değerleri karşılaştırıldığında 6 mm uzunluğunda kullanılan KL takviyeli kompozitlerin elektriksel direnç değerleri daha düşüktür. Deney sonuçlarına bakıldığında KL takviyeli (her iki uzunlukta kullanılan) kompozitlerin elektriksel direnç sonuçları referans numunenin elektriksel direnç sonuçlarından 1, 7, 28, 60, 90 ve 180 günlük ölçümlerin tamamında çok daha düşük değerler vererek tutarlı ve güvenilir sonuçlar ortaya koymuştur.

4.4 Tasarlanan Çok fonksiyonlu Çimento Esaslı Kompozitlerin Kendiliğinden Algılama Kabiliyetleri

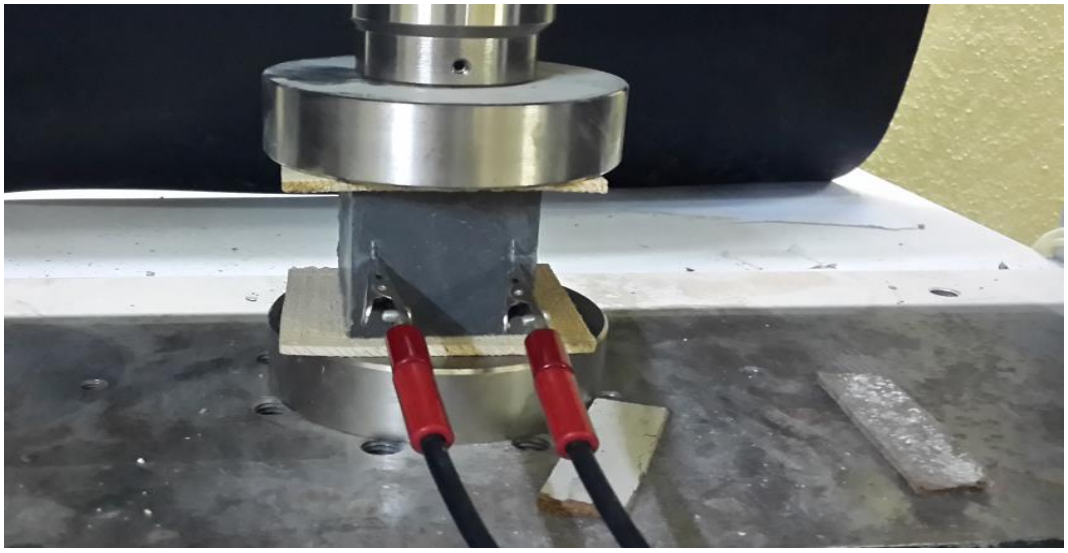
Çok fonksiyonlu çimento bağlayıcılı kompozitlerin kendiliğinden algılama kabiliyetlerini belirlemek için basınç ve yarma deneyleri yapılmıştır. Kompozitler KL takviyeli olarak hazırlanmış olup, üretimleri tez çalışmalarında en iyi karışım tekniği olarak bulunan A metodu kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan KL'ler 6 mm uzunluğunda olup daha önceki bölümlerde bahsedilen KL özelliklerinin aynısıdır. Kendiliğinden algılama kabiliyetlerinin araştırılmasında KL'lerin 6 mm uzunluğunda kullanılması nedeni en iyi karışım tekniğinin araştırılmasında elde edilen sonuçlardır. Önceki deney sonuçlarında hatırlanacağı gibi 6 mm uzunluğunda kullanılan KL takviyeli kompozitlerin elektriksel direnç değerleri 12 mm uzunluğunda kullanılan KL takviyeli kompozitlerin elektriksel direnç değerlerinden daha düşük çıkmıştır. Bu durum 6 mm'lik KL'lerin lif boyunun daha kısa olmasından dolayı daha homojen lif dağılımının elde edildiğinin bir göstergesi olduğu için mekanik deneylerin tamamında KL'ler 6 mm olarak kullanılmıştır.

Üretilen kompozitlerin içerisine kompozitlerin mekanik deneyler altında elektriksel dirençlerini tespit edebilmek için pirinç elektrotlar kullanılmıştır. Bilindiği üzere bakır elektriksel iletkenliği yüksek olan bir metaldir. Pirinç elektrotlar içindeki bakır içeriği yüzdesinin de çok fazla olmasından dolayı bu tipte bir elektrot tercih edilmiştir. Bu amaçla yapılan ön deneyler neticesinde ince pirinç elektrot (1×6 cm) ve kalın pirinç elektrot (5×6 cm) numunelerin kenarlarından farklı uzaklıklarda test edilmiştir. Ayrıca pirinç elektrotlardan farklı olarak yine ön deneyler esnasında hasır örgü teller de kullanılmıştır. En iyi ölçüm sistemini bulmak amacıyla yapılan bu ön deneylerle birlikte farklı yükleme sistemlerinin altında kompozitlerin elektriksel direnç değerlerinin tutarlılığı da test edilmiştir. Ön deneyler sırasında iletken jel aracılığıyla numunelerin üzerine alüminyum folyolar sarılarak yine benzer deneyler yapılmıştır. Kompozit içerisinde gömülen elektrotlar yük yönüne paralel olarak test edildiğinde homojen olarak dağılmış ve birbirlerine köprülenmiş durumda karbon liflerin basınç deneyi sırasında bu köprülenme özelliği bozularak oluşan mikro çatlaklardan dolayı kompozitin elektriksel direnci artışa geçmiştir. Yine aynı elektrotlar basınç yönüne dik olarak yerleştirildiğinde ise kompozit içerisindeki karbon liflerin köprülenme özellikleri artıp elektrotlar arası mesafe basınç yükünden dolayı yaklaşmaya başladığından dolayı iletkenliği artmış böylece elektriksel direnç azalmıştır. Bu deneylerin tamamında

kompozitlere aynı karışım yöntemi ve aynı KL takviyesi uygulanmıştır. Böylece deneylerin tutarlılığı net olarak görülmüştür. Şekil 4.19'da ön deneyler esnasında (5×6 cm) ölçülerinde hazırlanan ve kompozitin içerisine gömülen elektrotlar görülmektedir. Bu elektrotların yük yönüne dik olarak koyulduğu bir küp numune gösterilmiştir. Şekil 4.20'de ise yine ön deneyler esnasında (1×6 cm) ölçülerinde hazırlanan ve kompozit içerisine gömülen elektrotlar basınç deneyi altında test edilmiştir. Deney sırasında elektrotlar yük yönüne paralel olarak kullanılmıştır.

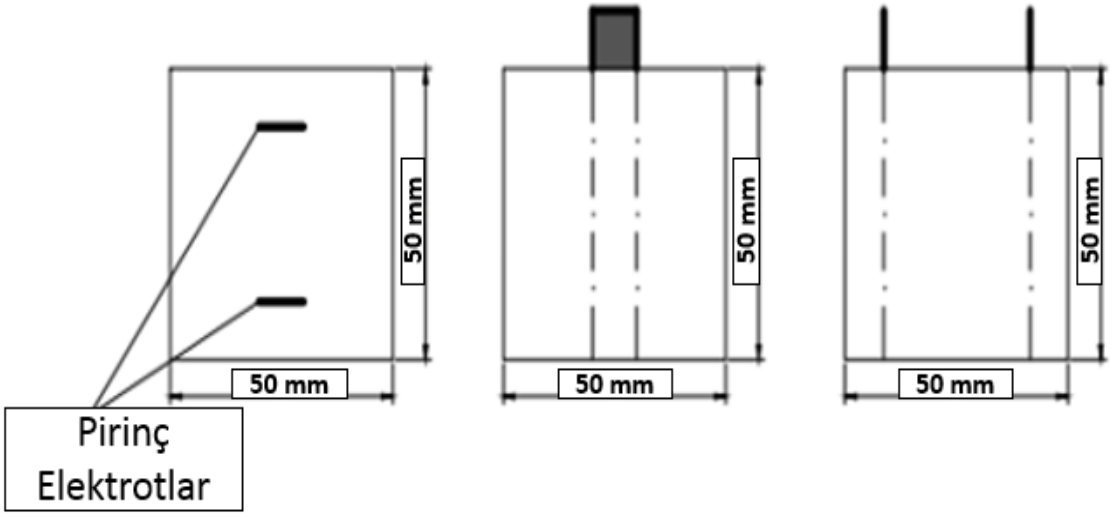


Şekil 4.19. Ön deneyler sırasında (5×6 cm) ölçülerindeki elektrotların yük yönüne dik olarak test edilmesi



Şekil 4.20. Ön deneyler sırasında (1×6 cm) ölçülerindeki elektrotların yük yönüne paralel olarak test edilmesi

Şekil 4.21'de mekanik deneyler için üretilen KL takviyeli çimento bağlayıcılı kompozitlerin şekli ve elektrotların yerleri üç farklı yönden gösterilmiştir.

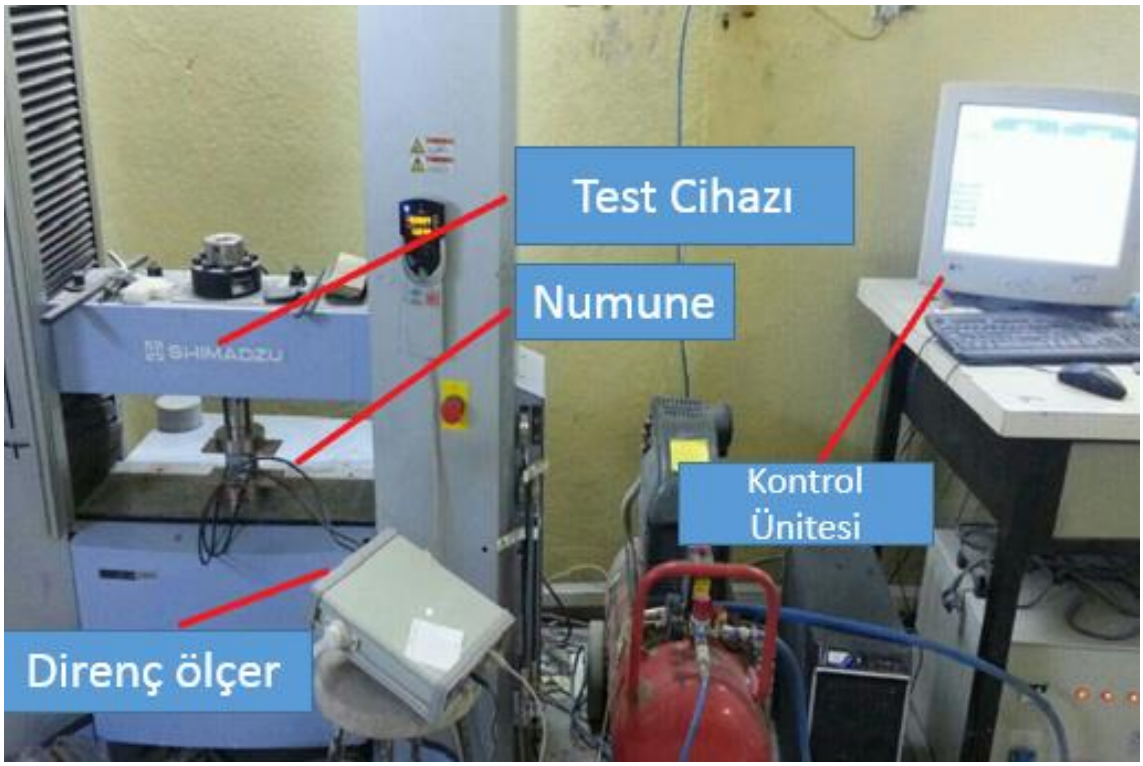


Şekil 4.21. KL takviyeli kompozitlerin yukarıdan, önden ve yandan şematik olarak görüntüsü

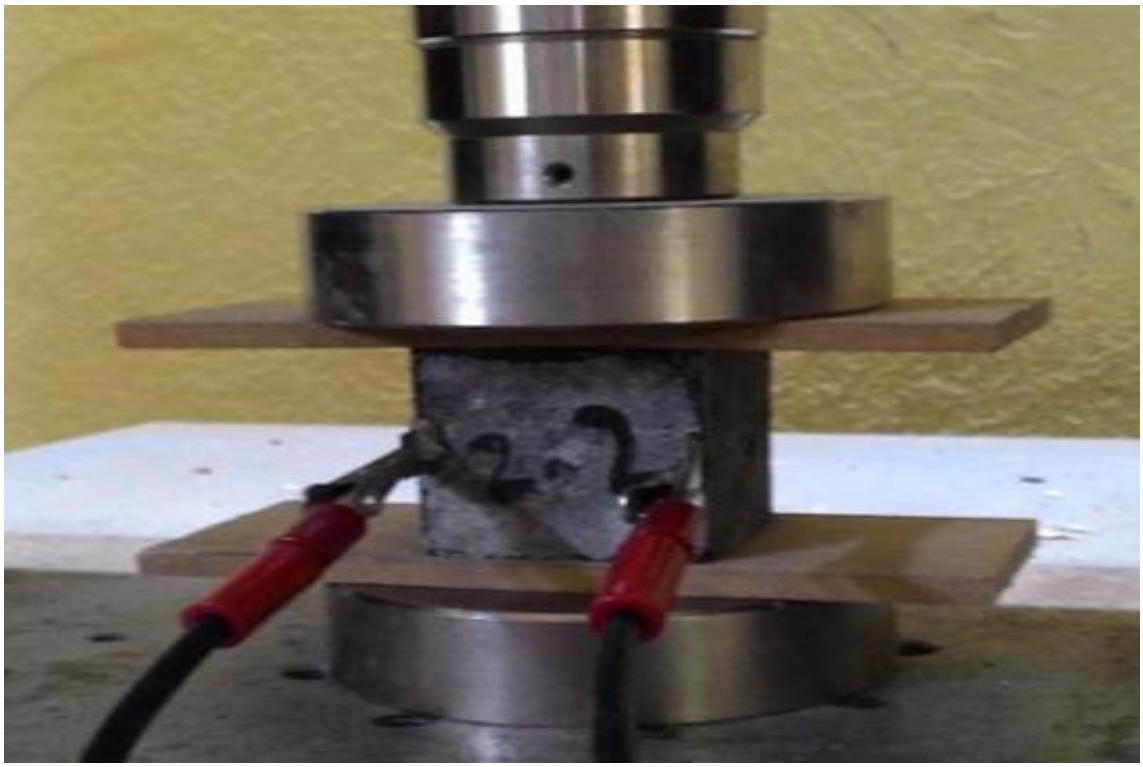
Yapılan bütün ön deneyler neticesinde en hassas yöntem, numunenin her iki kenarına 0,5 cm uzaklıkta gömülen iki adet ince prinç elektrotların (1×6 cm) kullanılması olarak belirlenmiştir. Tez çalışmaları kapsamında yapılan deneylerin hiçbirinde kalın prinç elektrotlar kullanılmamıştır. Bunun nedeni kalın elektroların (5×6 cm) her iki deneyde de (basınç ve yarmada çekme dayanımı deneyleri) düşük algılama özelliği göstermesidir.

Basınç ve yarmada çekme dayanımı deneyleri SHIMADZU (Beton deney cihazı) ile 0.3 mm/sn yükleme hızı ile yapılmıştır. Basınç ve yarmada çekme dayanımı deneyleri ile eş zamanlı olarak numunelerin elektriksel direnç değerleri Giatech RCON (beton ölçüm cihazı) ile belirlenmiştir.

Ölçüm sistemi 2 noktadan alınarak elektrotlar yük yönüne paralel olarak test edilmiştir. Deneyler esnasında her iki değer (elektriksel direnç ve yük - deformasyon) anlık olarak her 5 saniyede bir alınan ölçümlerle bilgisayarda izlenmiştir. Kompozitlerin test edilmesi sırasında kullanılan deney düzeneği ve kompozitlerin deney esnasında yakından görüntüsü Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te verilmiştir.



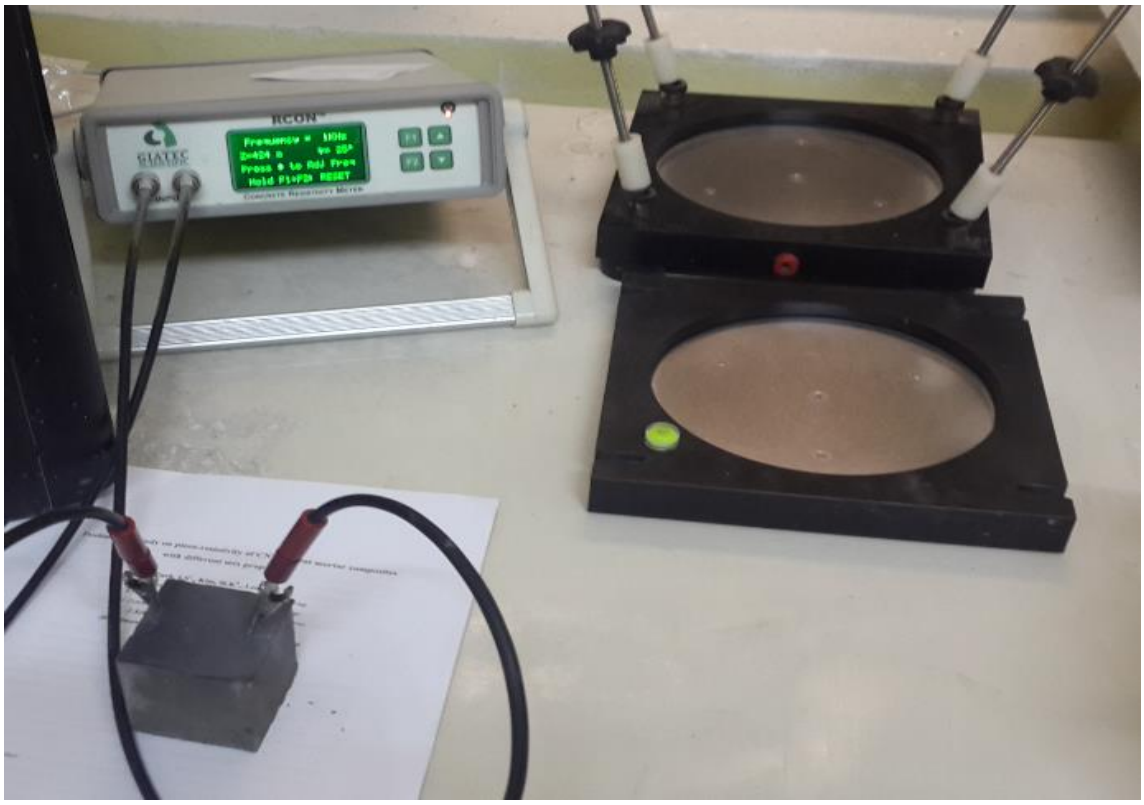
Şekil 4.22. KL takviyeli çimento bağlayıcılı kompozitlerin kendiliğinden algılama kabiliyetlerinin test edilmesi için oluşturulan deney düzeneği



Şekil 4.23. Deneyler esnasında kompozitin yakından görüntüsü

4.4.1 KL Takviyeli Çimento Bağlayıcılı Kompozitlerin Elektriksel Direnç Değerleri

Mekanik deneyler için hazırlanan kompozitlerin elektriksel dirençleri 7 ve 18 günlük ölçümlerle alınmıştır. Toplamda 6 adet %1 KL takviyeli ve 6 adet %2 KL takviyeli olarak üretilen kompozitlerin elektriksel dirençleri yine aynı şekilde 2 noktalı ölçüm sistemi ile belirlenmiştir. Ölçümler Şekil 4.24'de gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Çimento bağlayıcılı kompozitlerin elektriksel direnç değerlerinin belirlenmesi

Kompozitlerin elektriksel direnç değerlerine ait sonuçlar Çizelge 4.4'te verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere KL miktarı %1'den %2'ye arttıktan sonra kompozitlerin elektriksel direnç değerleri oldukça düşmüştür.

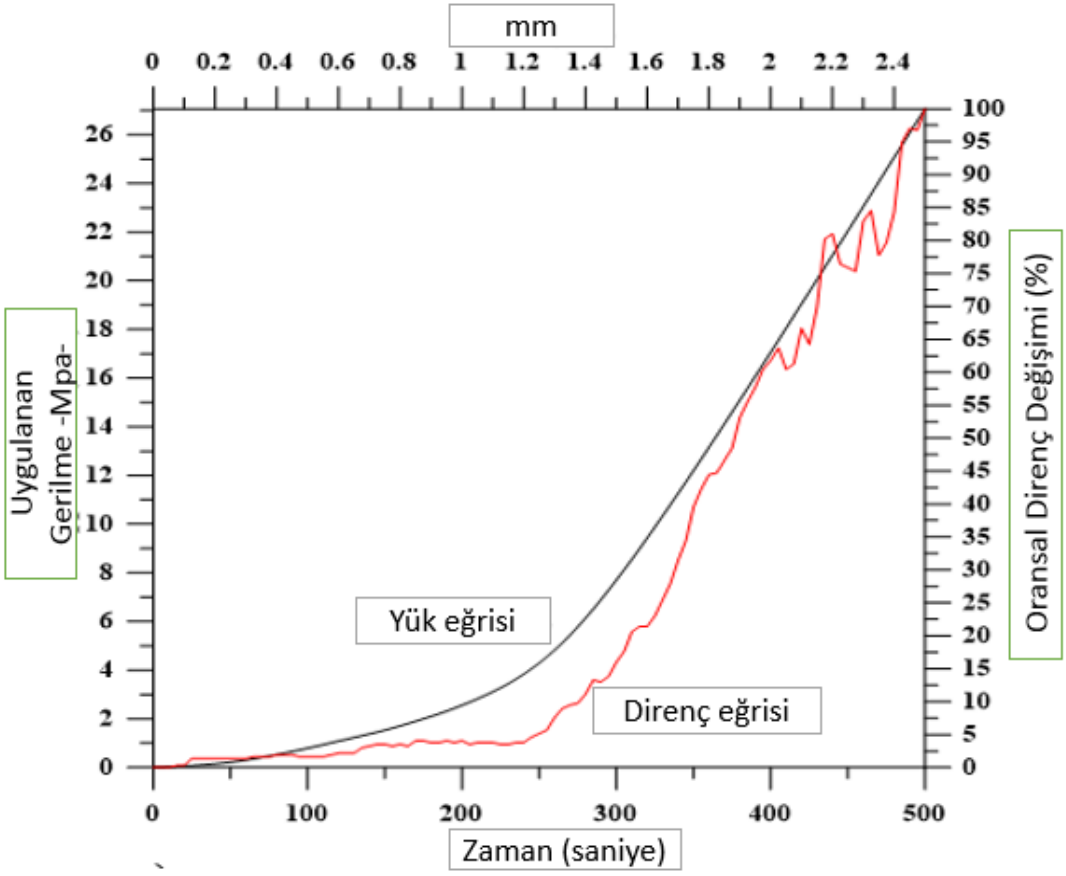
Çizelge 4.4. %1 ve %2 KL takviyeli kompozitlerin elektriksel direnç değerleri ortalaması

KL takviyeli ÇBK	7 günlük direnç sonuçları	28 günlük direnç sonuçları
%1 KL takviyeli ÇBK'lerin elektriksel direnç değerleri ortalaması	599 (Ω.m)	2373,6 (Ω.m)
%2 KL takviyeli ÇBK'lerin elektriksel direnç değerleri ortalaması	199 (Ω.m)	256 (Ω.m)

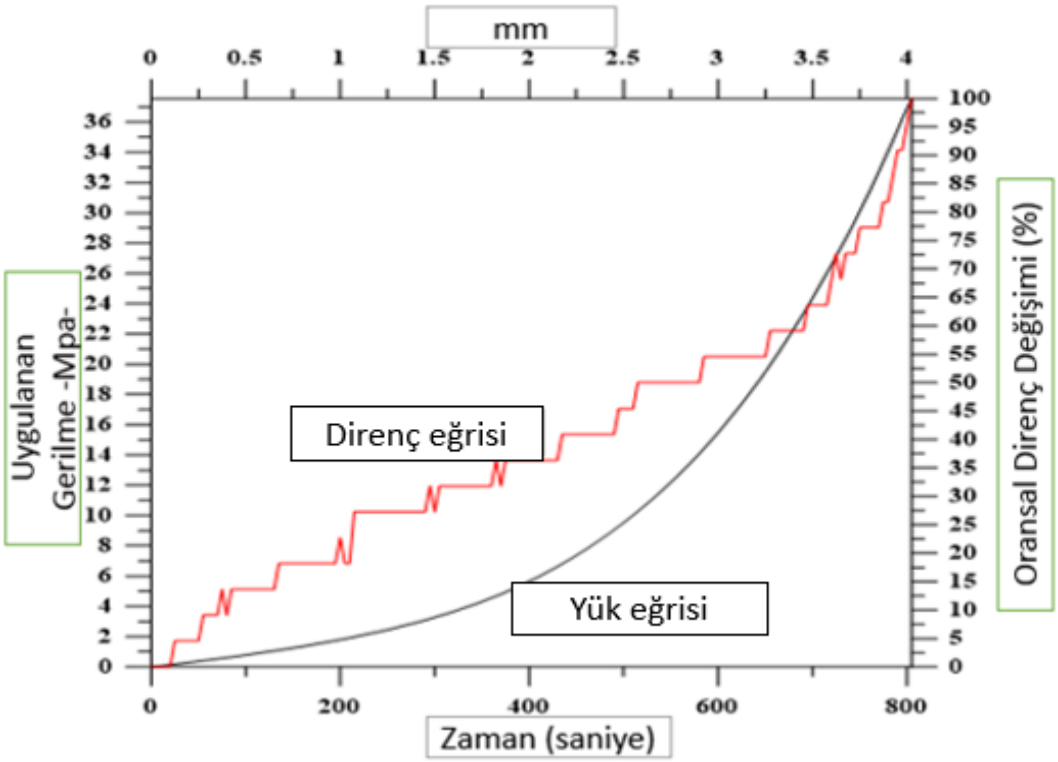
ÇBK: Çimento Bağlayıcılı Kompozit

Tez çalışmalarının bu bölümünde tasarlanan çok fonksiyonlu çimento bağlayıcılı kompozitlerin kendiliğinden algılama kabiliyetlerinin belirlenmesi amacıyla yürütülen mekanik deneylerin sonuçları verilmiştir. Yük ve elektriksel direnç eğrileri ile numunelerin deformasyon ve deney zaman aralığı grafikler halinde verilmiştir. Her iki grafiksel eğrisinde de kompozitlerin elektriksel direnç değişimi ile üzerine uygulanan yük değişimi arasındaki ilişki çok tutarlı sonuçlar sergilemiştir. Kompozitlerin kendiliğinden algılama kabiliyetleri (piezo-dirençli özellikleri) hem basınç hem de yarmada çekme dayanımı deneyleri açısından başarılı bir biçimde test edilmiştir.

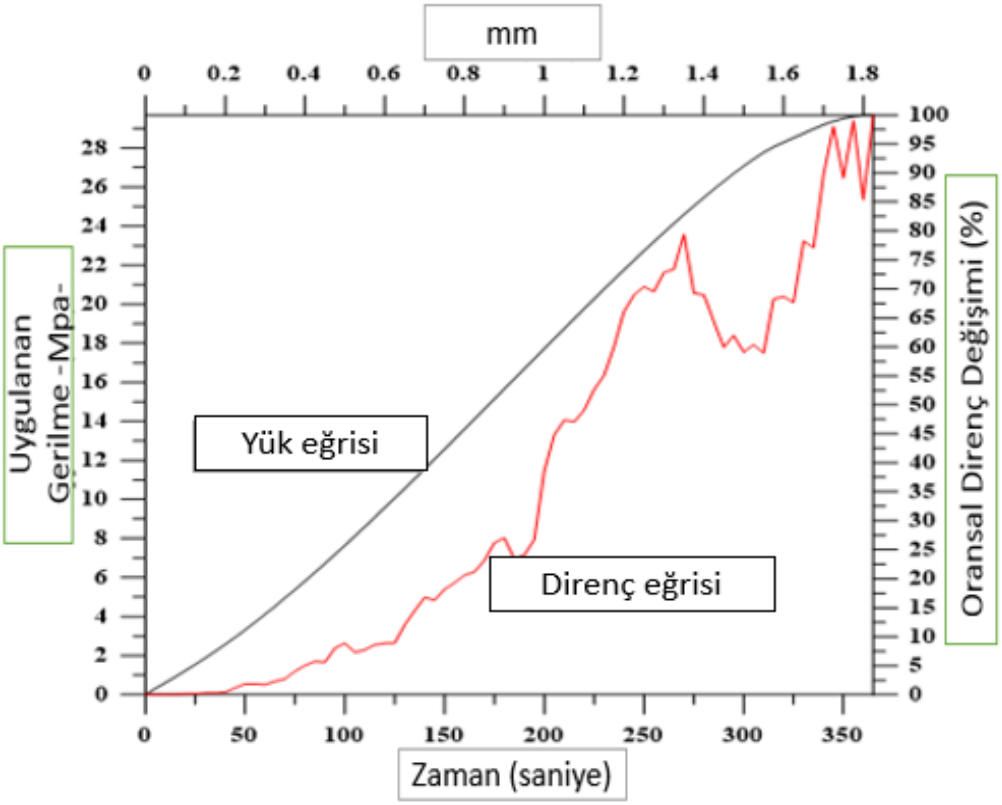
Bütün numunelerin deformasyonları plastik bölgede test edilmesine rağmen, bu bölgede dahi kompozitler piezo-dirençli özellikler göstermiştir. Böylece bütün numunelerin gerçek zamanlı olarak kendiliğinden algılama kabiliyetleri açıkça ortaya konmuştur. Kompozitlerin elektriksel direnç ile eş zamanlı olarak yapılan yarmada çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri sonucu Şekil 4.25-4.32'ta verilmiştir.



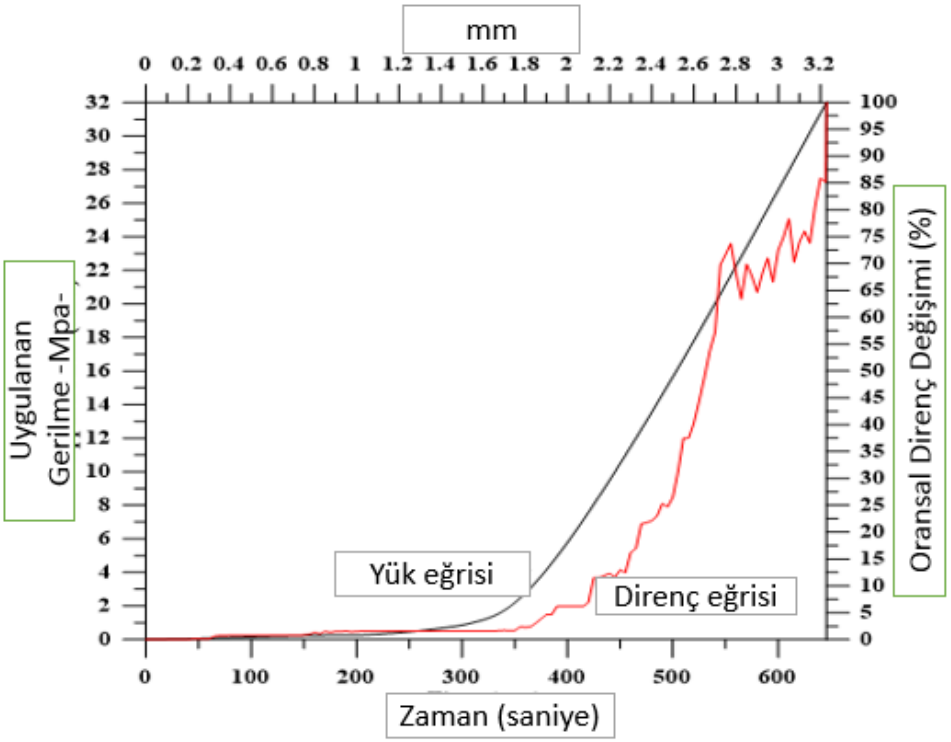
Şekil 4.25: %1 KL takviyeli kompozitin basınç deneyi sonuçları- 7 günlük



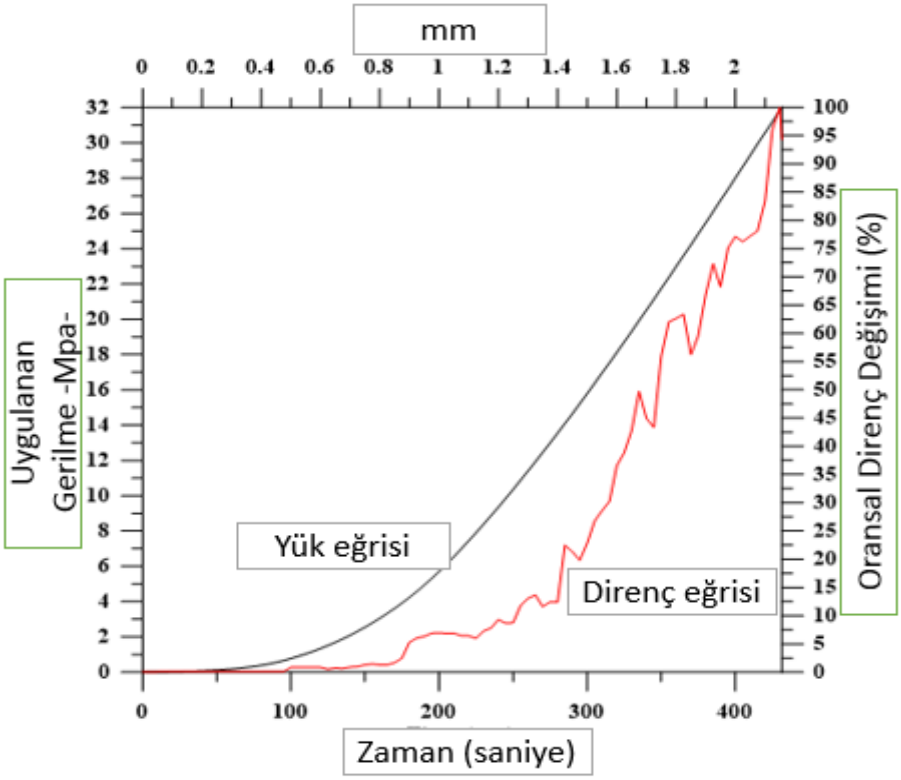
Şekil 4.26: %1 KL takviyeli kompozitin yarmada çekme dayanımı deneyi sonuçları - 7 günlük



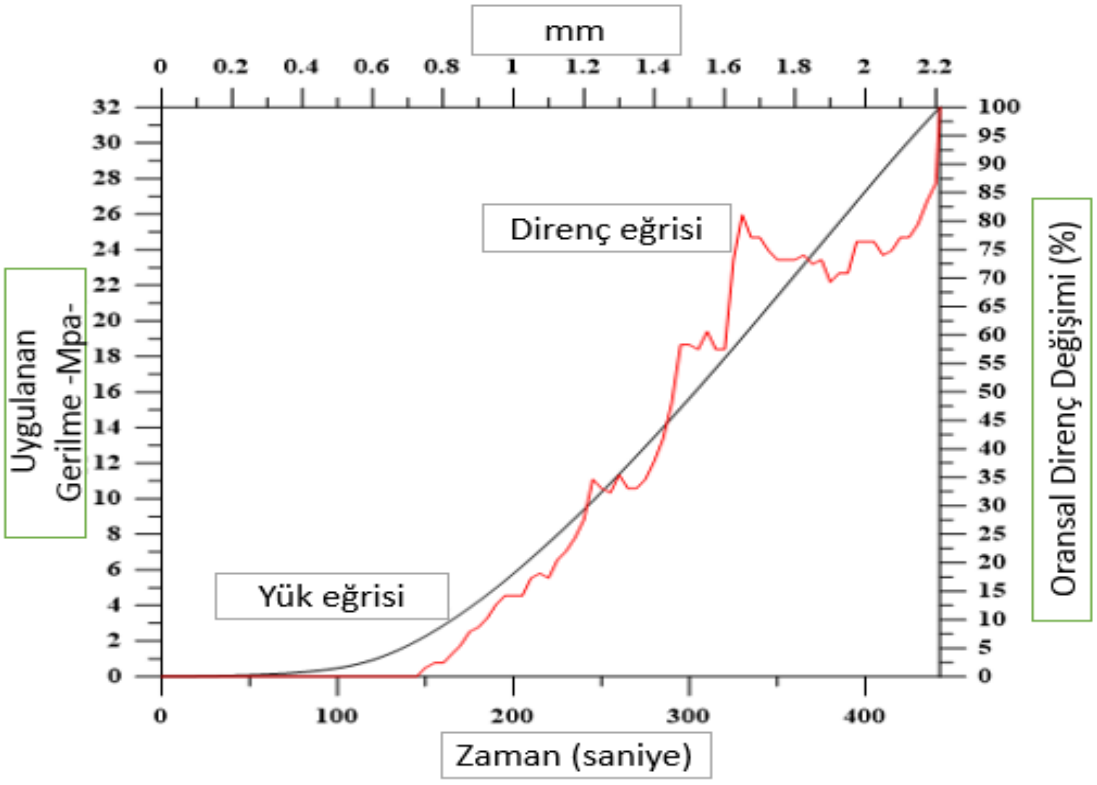
Şekil 4.27: %2 KL takviyeli kompozitin basınç deneyi sonuçları - 7 günlük



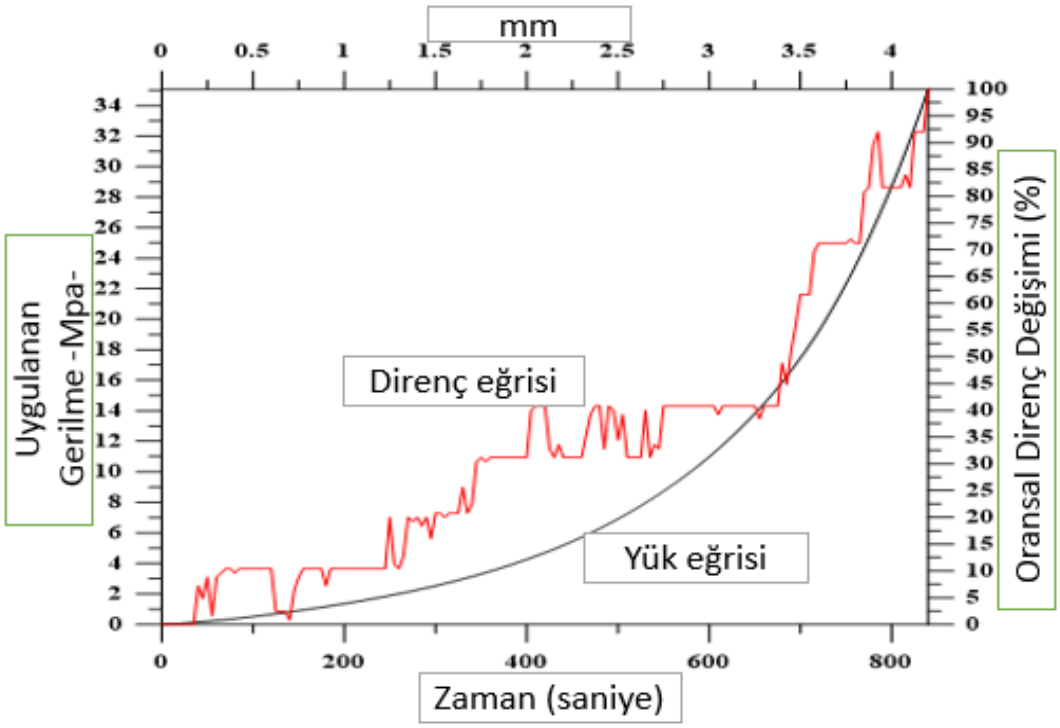
Şekil 4.28: %1 KL takviyeli kompozitin basınç deneyi sonuçları - 28 günlük (1.deney)



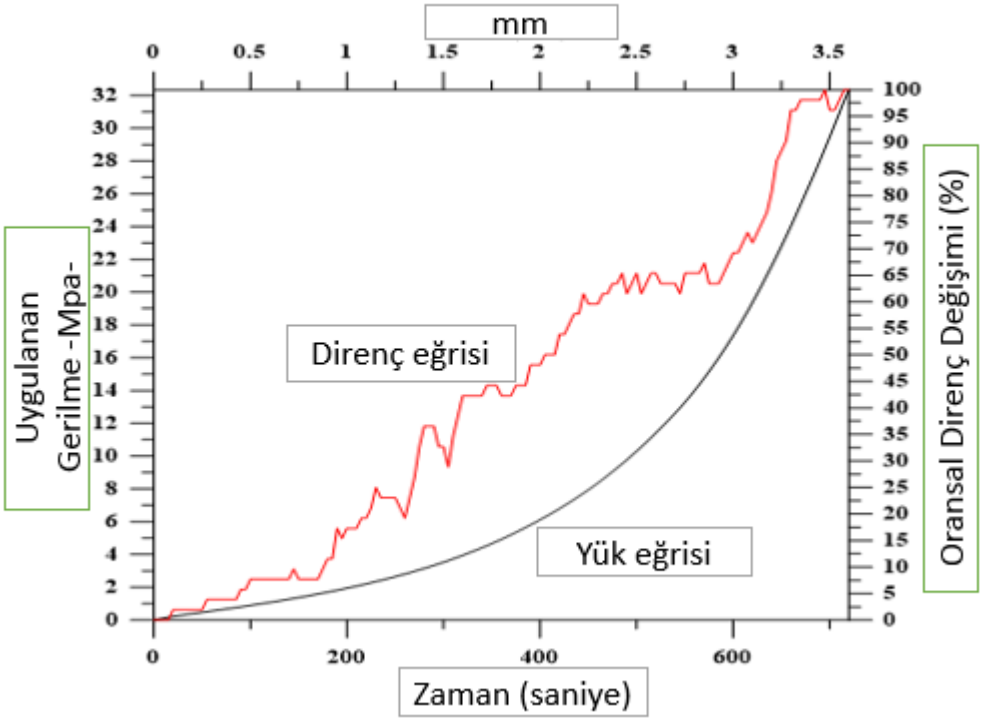
Şekil 4.29: %1 KL takviyeli kompozitin basınç deneyi sonuçları- 28 günlük (2.deney)



Şekil 4.30: %2 KL takviyeli kompozitin basınç deneyi sonuçları - 28 günlük



Şekil 4.31: %1 KL takviyeli kompozitin yarmada çekme dayanımı deneyi sonuçları - 28 günlük



Şekil 4.32: %2 KL takviyeli kompozitin yarmada çekme dayanımı deneyi sonuçları- 28 günlük

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, çok fonksiyonlu çimento bağlayıcılı kompozitlerin tasarımında kullanılan farklı tür karbon esaslı malzemelerin takviye yöntemlerinin arasında en iyi karıştırma tekniği araştırılmıştır. Bunun yanında en iyi karşım yöntemleri ile tasarlanan kompozitlerin kendiliğinden algılama kabiliyetleri mekanik deneyler ile belirlenmiştir. Karbon lif ve karbon nanotüp takviyeli kompozitlerin tasarımı toplamda 10 farklı karışım yöntemi ile yapılmış ve elektriksel direnç değerleri 1, 7, 28, 60, 90 ve 180 günlük ölçümlerle alınmıştır. Karbon esaslı malzemelerin çimento bağlayıcılı kompozitlere katılması esnasında kullanılan karışım yöntemlerinin kompozitlerin elektriksel özelliklerine olan etkileri şu şekilde sonuçlandırılabilir;

- Kendiliğinden algılama kabiliyetine sahip kompozitlerin tasarlanması amacıyla farklı karışım yöntemleri araştırılarak KL ve KNT için en iyi karışım yöntemi bulunmuştur.
- Karbon nano tüp takviyeli kompozitlerde A yöntemi ile uygulanan karşım tekniğinde 5 dakikalık kuru karıştırma işlemi yapılmıştır. Bu işlemin ardından 10 dakika ıslak halde karıştırma işlemi yapılmıştır. B yönteminde ise nano malzemeler ham malzemelerle karıştırılmış ve ardından nano malzemelerin ilave edilerek 5 dakika süresince kuru halde karıştırma işlemi yapılmıştır. Son olarak ise su ilave edilerek 10 dakika boyunca tekrar karıştırılmıştır. C yönteminde 5 dk kuru karışımın ardından nano malzemeler, su ve süper akışkanlaştırıcı mikser vasıtasıyla ayrı olarak 5 dakika boyunca karıştırılmıştır. Daha sonra bu karışım kuru halde ki karışım ile birleştirilerek 10 dakika boyunca tekrar karıştırılmıştır. D yönteminde ise nano malzemeler ve nano SiO_2 ham malzemelerle karıştırılmıştır. Su ilavesinin ardından 10 dakika boyunca ıslak karışıma tabi tutulmuştur.
- Yukarıda belirtilen dört yöntemin içerisinde karbon nano tüp takviyeli kompozitler için en iyi karışım tekniği C yöntemidir. Bunun yanında A, B ve D yöntemleri de piezo-dirençli özelliğe sahip kompozitlerin tasarlanması amacıyla kullanılabilir.
- KL takviyeli kompozitlerin karışım yöntemlerinde A metodu her iki uzunluktaki KL için (6 mm ve 12 mm) en iyi yöntem olarak belirlenmiştir.

- Kompozitlerin içerisine takviye edilen farklı KL uzunluklarından 6 mm'lik lifler 12 mm'lik liflere göre daha düşük elektriksel direnç sonuçları vererek çalışma içerisinde mekanik deneyler için hazırlanan kompozitlerin tasarımına yön vermiştir.
- KL takviyeli kompozitler KNT takviyeli kompozitlere göre karışım yöntemlerinde daha iyi sonuç sergilemiştir.

Tez çalışmaları kapsamında en iyi karışım yöntemi dikkate alınarak tasarlanan KL takviyeli 12 adet çimento bağlayıcılı kompozitin kendiliğinden algılama kabiliyetleri test edilmiştir. Tez kapsamında yapılan bütün araştırma sonuçlarının gerçek zamanlı yapısal sağlık izleme uygulamalarında önemli bir adım olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Azhari, F, (2008) Cement-based sensors for structural health monitoring. Dissertation for the Master Degree of Aplied Science. Universty of British Columbia, Vancouver, Canada

Chung, D. D. L. (2010). Composite materials science and applications. Engineering materials and processes,. London, Springer-Verlag London: xv, 349 p.

Dong, B., Xing, F., & Li, Z. (2011). Cement-Based Piezoelectric Ceramic Composite and Its Sensor Applications in Civil Engineering, (108), 543–549.

Han, B., Yu, X., & Ou, J. (2011). Multifunctional and Smart Carbon Nanotube Reinforced Cement-Based Materials, 1–47.

Gopalakrishnan, K., B. Birgisson, P. Taylor and N. O. Attoh-Okine (2011). Nanotechnology in Civil Infrastructure : A Paradigm Shift. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.

Han, B., Sun S., Ding S, Zhang L.,Yu X., Ou, J., (2014). Nanocarbon-Engineered Multifunctional Cementitious Composites.

Han, B., Ding, S., & Yu, X. (2014). Intrinsic self-sensing concrete and structures: A review. *Measurement*, *59*, 110–128. doi:10.1016/j.measurement.2014.09.048

Iijima, S. (1991). "Helical microtubes of graphitic carbon." Nature 354: 56-58.

Konsta-Gdoutos M., & Aza C., (2013). Self sensing carbon nanotube (CNT) and nanofiber (CNF) Cementitious composites for real time damage assessment in smart structures.

Karbhari, V. M., F. Ansari and Knovel (Firm) (2009). Structural health monitoring of civil infrastructure systems. Woodhead Publishing in materials. Cambridge, UK Boca Raton, FL, Woodhead Pub. ; CRC Press,: 1 online resource (xxiv, 528 p.).

Li, H., Ou, J., Xiao, H., Guan, X., & Han, B. (2011). Nanomaterials-Enabled Multifunctional Concrete and Structures, 131–173.

Lin, V. W. J., Li, M., Lynch, J. P., & Li, V. C. (2011). Mechanical and electrical characterization of self-sensing carbon black ECC, *7983*, 798316–798316–12. doi:10.1117/12.880178

Makar, J.M., Beaudoin, J.J. (2003), “Carbon nanotubes and their application in the construction industry”, In: Proceedings of the 1st International Symposium on Nanotechnology in Construction, Paisley, p. 331

Melo, V. S., Calixto, J. M. F., Ladeira, L. O., & Silva, A. P. (2012). Macro- and Micro-Characterization of Mortars Produced with Carbon Nanotubes, (108), 327–332.

Meyyappan, M. (2005). Carbon nanotubes : science and applications. Boca Raton, Fla., CRC Press.

Park, S. and M.-K. Seo (2011). Interface science and composites. Interface science and technology,. Amsterdam, Academic Press,: 1 online resource (xviii, 834 p.).

Preliminary study on piezo-resistivity of CNT / cement mortar composites with different mix proportion Introduction. (2014), (January).

Pu-Woei Chen, D.D.L Chung, (1996). Concrete as a new strain/stress sensor, Composites Part B: Engineering Volume 27, Issue 1, 1996, Pages 11-23.

Ranade, R., Zhang, J., Lynch, J. P., & Li, V. C. (2014). Influence of micro-cracking on the composite resistivity of Engineered Cementitious Composites. *Cement and Concrete Research*, *58*, 1–12. doi:10.1016/j.cemconres.2014.01.002

Shei Wen, D.D.L Chung (2002). Cement-based materials for stress sensing by dielectric measurement, Cement and Concrete Research 32,1429–1433.

Shei Wen, D.D.L Chung (2006). Electrical-resistance-based damage self sensing in carbon fiber reinforced cement, Carbon 45 (2007) 710-716

Sanchez, F. (2009). Carbon nanofibre/cement composites: challenges and promises as structural materials. *International Journal of Materials and Structural Integrity*, *3*(2/3), 217. doi:10.1504/IJMSI.2009.028615

Sharma S., (2014). Mechanical, Microstructural and Crystallinity Properties of Raw Carbon Nanotubes Reinforced Cementitious Composites, CCC-D-14-00421.

Tian, X., & Hu, H. (2012). Test and Study on Electrical Property of Conductive Concrete. *Procedia Earth and Planetary Science*, *5*(2011), 83–87. doi:10.1016/j.proeps.2012.01.014

Wen, S., & Chung, D. D. . (2000). Electric polarization in carbon fiber-reinforced cement. Cement and Concrete Research, 31(1), 141–147. doi:10.1016/S0008-8846(00)00382-3

Zeng-Qiang Shi, D.D.L Chung (1999). Carbon fiber-reinforced concrete for traffic monitoring and weighing in motion, Cement and Concrete Research, Volume 29, Issue 3, March 1999, Pages 435-439

Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, ASTM C618, 1978.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : OĞUZHAN ÖZTÜRK
Uyruğu : TÜRKİYE CUMHURİYETİ
Doğum Yeri ve Tarihi : ANTALYA 19.01.1990
Telefon : 0531 853 67 34
Faks : -
e-mail : oozturk@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Lise	:	**Kuleli Askeri Lisesi, Üsküdar, İstanbul**	**2008**
Üniversite	:	**Kara Harp Okulu, Ankara**	**2010**
		Akdeniz Üniversitesi, Antalya	**2013**
Yüksek Lisans:		**Selçuk Üniversitesi, Konya**	**Halen**
Doktora	:	-	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2013	**ADO-PORTİSAN**	**İmalat Sorumlusu**
2013	**TÜBİTAK (Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projesi,1001)**	**Bursiyer**

YABANCI DİLLER

İngilizce: Çok iyi

Rusça: İyi

YAYINLAR

Ali Majeed Al-Dahawi, Oğuzhan Öztürk, Farhad Emami, Mustafa Şahmaran and Mohamed Lachemi (2015) *Self-Sensing Cementitious Composites for Smart Structures, Smart Monitoring, Assesment, and Rehabilitation of Structures*, SMAR 2015, Antalya, (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır).