

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NANO MALZEME İÇEREN ÇİMENTOLU
KOMPOZİTLERİN TERMAL VERİMLİLİĞİ**

Adar KARAGÖZ

Ekim, 2018
İZMİR

NANO MALZEME İÇEREN ÇİMENTOLU KOMPOZİTLERİN TERMAL VERİMLİLİĞİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Nanobilim ve Nanomühendislik Anabilim Dalı

Adar KARAGÖZ

Ekim, 2018

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ADAR KARAGÖZ, tarafından DOÇ. DR. EGEMEN TEOMETE yönetiminde hazırlanan “NANO MALZEME İÇEREN ÇİMENTOLU KOMPOZİTLERİN TERMAL VERİMLİLİĞİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Doç. Dr. Egemen TEOMETE

Yönetici



Prof. Dr. Ekif SUBAŞI

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Tahir Kemal ERDEM

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, beni her konuda motive eden, hiçbir konuda yardımlarını esirgemeyen, motivasyonumu her zaman yüksek tutan, değerli hocam Doç.Dr.Egemen TEOMETE'ye verdiği desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda, Elektronik Malzeme ve Uygulama Merkezi'ndeki (EMUM) cihazları kullanmama olanak sağlayan başta Prof. Dr. Erdal Çelik hocama ve EMUM çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Tezde kullanılan malzemeleri sağladıkları için Batıbeton Sanayi A.Ş, Batıçim Batı Anadolu Sanayi A.Ş, Sika Kimyasalları A.Ş, BASF Türk Kimya San. ve Tic Ltd Şti.'ne Teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasında, bana verdikleri manevi destekten dolayı Fettah KARAGÖZ, Vecide KARAGÖZ, Rozan KARAGÖZ, Erman DEMİRCİLİOĞLU, Volkan BAŞARAN ve Can Yalçın KURT'a teşekkür ederim.

Adar KARAGÖZ

NANO MALZEME İÇEREN ÇİMENTOLU KOMPOZİTLERİN TERMAL VERİMLİLİĞİ

ÖZ

Her yıl buzlanma ve kar nedeniyle birçok trafik kazası olmakta, vatandaşlarımız hayatlarını kaybetmekte, maddi ve manevi büyük kayıplar yaşanmaktadır. Havaalanlarında pist buzlanması ve kar nedeniyle de kazalar olmakta, can ve mal güvenliği tehdit altında kalmaktadır. Buzlanmaya karşı yollara ve pistlere atılan tuz ve diğer kimyasallar, yol malzemesine, taşıtlara zarar vermektedir. Tuz-kimyasal atma veya küreme ile yollar-pistler sürekli ve zamanında açık tutulamamakta, buna karşın personel, araç, yakıt ve sarf maliyetleri oluşmaktadır. Ayrıca, trafiği durdurma veya yavaşlatma nedeniyle oluşan sefer iptalleri ve gecikmeler, maddi ve manevi kayıplar oluşturmaktadır.

Elektrikle ısınan harcı belirlemek için, öncelikle iletken olan tüm malzemeler (13 mm çelik lif, 6 mm çelik lif, pirinç toz ve lif, bakır toz ve lif, karbon lif, çok duvarlı karbon nanotüp, nano tufal, nano grafen, nikel) kullanılarak doğru akım ile ısınma testi yapıldı. Bu sonuçlara göre en iyi ısınan iletkenler, harç içerisinde farklı hacimsel oranlarda olmak üzere 18 farklı harç karışımı tasarlandı. Her karışımdan 3 adet $5 \times 5 \times 2,5$ cm³ prizma üretildi. Isınma testi uygulamak amacı ile referans karışımı dâhil toplam 18 farklı harç karışımı hazırlandı. 7. günde ve 35. günde elektrik verilerek ısınma testleri yapıldı. Isınma testinde elde edilen; sıcaklık artışı, sıcaklık artış hızı ve tüketilen enerji, performans parametreleri olarak kullanıldı ve puanlama sistemi geliştirildi. Elektriksel direnç değişimi ile sıcaklık artışı arasındaki ilişki belirlendi. En iyi ısınan makro ve nano boyutta malzeme katkılı karışımlar belirlendi. Elektrik ile ısınan harç, hava alanlarında, yollarda ve binaların ısıtılmasında kullanılabilir.

Anahtar kelimeler: Elektrik ile ısınan harç, çok duvarlı karbon nanotüp, beton, elektrik direnci, nano boyutta malzeme katkıları, akıllı malzeme

THE INVESTIGATION OF THERMAL EFFICIENCY OF NANO ADDITIVE INCLUDED CEMENT COMPOSITES

ABSTRACT

Every year, traffic accidents occur due to icing and snow, our citizens lose their lives, and big financial and moral losses take place. At airports, there is the danger of icing and cover of snow on runway and apron, which directly threatens the life and property security. Usage of salt and other chemicals against icing damages existing construction materials and vehicles.

Salt-chemical pouring or plowing causes temporary stop in the utilization of roads and runways, which in turn generates staff, vehicle, fuel and consumable costs. In addition, congested traffic results in flight cancellations and delays, causing financial and moral losses.

In order to determine the electrically heated mortar, conductive materials (13 mm steel fiber, 6 mm steel fiber, brass powder and fiber, copper powder and fiber, carbon fiber, multiwall carbon nanotube, nano iron oxide, nano graphene) was subjected to a heating test. According to these results, different mixtures were designed. Three $5 \times 5 \times 2,5 \text{ cm}^3$ prisms were produced from each mixture. A total of 18 different mortar mixes were prepared, including the reference mix. On the 7th day and on the 35th day, electricity was applied and heating tests were carried out. Obtained in heating test; temperature increase, temperature increase rate and consumed energy were used as performance parameters and a scoring system was developed. The relationship between electrical resistance change and temperature increase was determined. Mixtures with the best-heated macro and nano-sized materials were identified. Electricity-heated mortar can be used to heat airports, roads and buildings.

Keywords: Self-heating mortar, multi-walled carbon nanotube, concrete, electrical resistance, nano-sized material additives, smart material

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	xi
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
BÖLÜM İKİ - MATERYAL VE YÖNTEM.....	3
2.1 Kullanılan Malzemeler.....	3
2.1.1Çimento.....	3
2.1.2Agrega.....	3
2.1.3 Silis Dumanı.....	4
2.1.4 Akışkanlaştırıcı.....	5
2.1.5 Çok Duvarlı Karbon Nano Tüp (ÇDKNT).....	5
2.1.6 Grafen Nano Levha (GNL).....	6
2.1.7 Nano Tufal Üretimi ve Tufal.....	7
2.1.8. Çelik Lif.....	9
2.1.9 Bakır lif ve Toz.....	11
2.1.10 Pirinç Lif	12
2.1.11 Karbon lif.....	13
2.1.12 Bakır Ağ Elektrot.....	14
2.1.13 Saf Su.....	16
2.1.14 Döküm kalıbı.....	16
2.2 Yöntem.....	17
2.2.1 İletken Malzemelerin Isınma Testleri	17
2.2.2 Karışımların Tasarımı.....	21

2.2.3 Örneklerin Hazırlanması ve Isınma Testi.....	23
BÖLÜM ÜÇ - BULGULAR VE TARTIŞMA.....	30
3.1 Isınma Testi Sonuçları.....	30
3.1.2 ÇDKNT İçermeyen Karışımların Analizi.....	33
3.1.3 ÇDKNT İçeren Karışımların Analizi.....	40
BÖLÜM DÖRT - SONUÇLAR.....	63
KAYNAKLAR.....	65

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 İnce agregaların granülometri grafikleri.....	3
Şekil 2.2 BASF MasterROC MS 610 silis dumanı optik mikroskop görüntüleri a) 50x büyütme. b) 235x büyütmeye.....	5
Şekil 2.3 Çok duvarlı karbon nanotüpün TEM ve SEM fotoğrafı.....	6
Şekil 2.4 Grafen nano levhanın 80000 kez büyütülmüş SEM fotoğrafı.....	7
Şekil 2.5 a) Tufal b) Öğütülmüş tufal.....	8
Şekil 2.6 XPS analiz tayfi.....	9
Şekil 2.7 Çelik lifin SEM görüntüleri a) Çelik lif b) kaplama c) kaplama ve lif kesiti d) lif kesiti.....	10
Şekil 2.8 Çelik life ait EDS sonuçları a) yan yüzey b) kesit yüzeyi.....	10
Şekil 2.9 Pirinç kaplı 6mm çelik lif a) 50 kat büyütmeye b) 235 kat büyütmeye.....	11
Şekil 2.10 Bakır tozun optik mikroskop fotoğrafı(235 kat büyütülerek çekildi.)....	11
Şekil 2.11 Pirinç lifin optik mikroskop fotoğrafları a)50 kat büyütmeye b)235 kat büyütme.....	12
Şekil 2.12 Karbon lifin TEM ve Enerji dağılım spektrometre görüntüsü.....	13
Şekil 2.13 Karbon lifin fotoğrafları.....	14
Şekil 2.14 Bakır ağ elektrot a) elektrot olarak kullanılmak üzere kesilmiş b) Çin'den gelen rulo hali.....	15
Şekil 2.15 Bakır tele ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri a) kesit yüzeyi b) yan yüzeyi.....	15
Şekil 2.16 Bakır ağ telinin EDS analiz sonucu.....	16
Şekil 2.17 Döküm yapılmak üzere hazırlanmış çelik kalıp.....	17
Şekil 2.18 Deney şeması.....	18
Şekil 2.19 Çok duvarlı karbon nanotüp ısınma testi.....	18
Şekil 2.20 Çok duvarlı karbon nanotüp ve bakır lif ısınma testi.....	19
Şekil 2.21 Grafen nano levha ve nano tufal ısınma testi.....	19
Şekil 2.22 Karbon liflerin ısınma testi.....	20
Şekil 2.23 Çelik liflerin ısınma testi.....	20
Şekil 2.24 Bakır ve Pirinç liflerin ısınma testi.....	21

Şekil 2.25 Dispersiyon işlemi a) Hassas tartı ile tartılmış nano malzeme (ÇDKNT). b) Saf su + Akışkanlaştırıcı+nano malzeme(ÇDKNT) 1500 rpm ile karıştırılırken c) Saf su + Akışkanlaştırıcı + nano malzeme karışımı ultrasonik banyoda bekletilirken.....	25
Şekil 2.26 SIFCON döküm kalıbı.....	25
Şekil 2.27 a) Döküm sonrası yaş karışım b) kalıptan alınmış örnekler c)SIFCON yaş karışımı.....	26
Şekil 2.28 Ekipmanlar a)doğru akım kaynağı, b)Örnek c) Veri toplama cihazı.....	27
Şekil 2.29 Devre şeması.....	28
Şekil 3.1 S1,S2 ve S20 karışımlarının direnç zaman grafiği.....	33
Şekil 3.2 S1,S2 ve S20 karışımlarının sıcaklık zaman grafiği.....	34
Şekil 3.3 Br5 karışımının direnç zaman grafiği.....	35
Şekil 3.4 Br5 karışımının sıcaklık zaman grafiği.....	35
Şekil 3.5 Br1CCF karışımının direnç zaman grafiği.....	36
Şekil 3.6 Br1CCF karışımının sıcaklık zaman grafiği.....	37
Şekil 3.7 Br1CCF karışımının a)Sıcaklık artışı b)Sıcaklık artış hızı grafikleri.....	38
Şekil 3.8 Br1CCF karışımının a)Enerji b)Puan grafikleri.....	39
Şekil 3.9 Referans karışımının direnç zaman grafiği.....	40
Şekil 3.10 Cn0115Co1, Cn023Co1,Cn0345Co1 karışımlarının direnç zaman grafikleri a)7. Gün b) 35. Gün.....	41
Şekil 3.11 Cn0115Co1, Cn023Co1,Cn0345Co1 karışımlarının sıcaklık zaman grafikleri a)7. Gün b) 35. Gün.....	41
Şekil 3.12 Cn0115Co1, Cn023Co1,Cn0345Co1 karışımlarının a)Sıcaklık artışı b) Sıcaklık artış hızı grafikleri.....	44
Şekil 3.13 Cn0115Co1, Cn023Co1,Cn0345Co1 karışımlarının a)Enerji b) Puan.....	45
Şekil 3.14 Cn02Br5 karışımının a)Direnç zaman b) Sıcaklık zaman grafikleri.....	46
Şekil 3.15 SIFCON karışımlarının 7. gün direnç zaman grafikleri a)Sif b)Sif0046 c)Sif0069 d)Sif0069 e)Sif0115 d)Sif02 e)Sif025	50

Şekil 3.16 SIFCON karışımlarının 7. gün sıcaklık zaman grafikleri a)Sif , Sif0046, Sif0069 b)Sif0115, Sif02, Sif025	52
Şekil 3.17 SIFCON karışımlarının 7. gün a)Sıcaklık artışı b)Sıcaklık artış hızı grafikleri.....	53
Şekil 3.18 SIFCON karışımlarının 7. gün a)Enerji b)Puan grafikleri.....	54
Şekil 3.19 SIFCON karışımlarının 35. gün direnç zaman grafikleri a)Sif b)Sif0046 c)Sif0069 d)Sif0069 e)Sif0115 d)Sif02 e)Sif025	57
Şekil 3.20 SIFCON karışımlarının 35. gün sıcaklık zaman grafikleri a)Sif , Sif0046, Sif0069 b)Sif0115, Sif02, Sif025	58
Şekil 3.21 SIFCON karışımlarının 7. gün a)Sıcaklık artışı b)Sıcaklık artış hızı grafikleri.....	60
Şekil 3.22 SIFCON karışımlarının 7. gün a)Enerji b)Puan grafikleri.....	61

TABLULAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 BASF MasterROC MS 610 silis dumanı teknik özellikleri.....	4
Tablo 2.2 Çok duvarlı karbon nano tüp karakteristik özellikleri.....	6
Tablo 2.3 Grafen nano levhanın karakteristik özellikleri	7
Tablo 2.4 Nanotufal'ın XPS analiz verileri. (ThermoFisher K-alpha cihazı ile yapıldı.).....	8
Tablo 2.5 Pirinç lifin kimyasal analiz sonucu.....	12
Tablo 2.6 SIFCON dışında kalan karışımların içerik ve yüzdesel oranları.....	22
Tablo 2.7 SIFCON karışımların içerik ve yüzdesel oranları.....	22
Tablo 2.8 SIFCON karışımlarının 1 m ³ 'teki malzeme miktarı.....	22
Tablo 2.9 SIFCON dışında kalan karışımlarının 1 m ³ 'teki malzeme miktarı.....	23
Tablo 3.1 Isınma testi yapılmış örneklerin tablosu.....	32
Tablo 3.2 SIFCON karışımlarının yayılma tablasındaki yayılmaları(cm).....	62

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Her yıl yollarda buzlanmaya bağlı çok sayıda trafik kazası olmakta ve bunun sonucunda da büyük çapta mal ve can kayıpları yaşanmaktadır. Aynı zamanda kışın oluşan buz birikimi ve yoğun kar yağışı alt yapılar için büyük risk oluşturmaktadır. Buna önlem olarak hali hazırda kullanılan tuz, kimyasal ve küreme işlemleri işçilik gerektirmekte olup, sürekli bir malzeme kullanımını da gerektirdiği için kalıcı bir çözüm olmaktan çok uzaktır. Devamlı tekrarlanması gereken bu çözüm sürekli bir maliyet ve zaman kaybına yol açmaktadır.

Türkiye'de 2006-2007 kış döneminde, buzlanan yollarda 50422 ton tuz kullanılmıştır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2008). Tuz, beton kaplamalar ve havaalanı pistleri için zararlıdır (Mehta ve Monteiro, 2006; Baradan 2012). Asfaltta tuz ve diğer kimyasal ürünlerin kullanılması elastisite modülünü ve mukavemetini azaltır (Kuloğlu ve Kök, 2005; Seferoğlu ve diğ., 2015; Amini ve Tehrani, 2014; Tang ve diğ., 2013; Ozgan ve diğ., 2013, Feng ve diğerleri, 2010; Hassan ve diğ., 2002). Tuz, su ve toprağı kirletir ve çevreye zarar verir (Seferoğlu ve diğ., 2015).

Havaalanındaki beton kaplamasında; kar ve buz, uçak inişlerini ve diğer araçların güvenliğini önemli ölçüde etkilemektedir, çünkü kar ve buz, havaalanındaki yolun tekerlek ve yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısını azaltmaktadır. Yalnızca araçları değil, aynı zamanda insanların yaşamlarını da tehdit eder (Zhao ve diğ., 2010).

Kar ve buz eritme yöntemlerinin mevcut araştırması, esas olarak elektrik iletebilen betona odaklanmaktadır. Yüksek elektrik iletkenliğine ulaşmak için beton, çelik lifler, grafit , karbon lifler ve nikel parçacık gibi belirli bir miktar elektriksel olarak iletken bileşen içermelidir (Hou ve diğerleri, 2002; Tuan, 2004, 2008; Tuan ve Yehia , 2004; Xie ve Beaudoin, 1995; Yehia ve Tuan, 1998, 1999; Yehia ve diğ., 2000; Zhang ve diğ., 2011).

Elektrikle ısınan harç, Joule etkisi ile elektrik verildiğinde ısınır. Geleneksel harç malzemesi elektriksel olarak iletken değildir. Elektrik ile ısınan harç, özellikle otoparklar, kaldırımlar, garajlar, otoyol, köprüler ve havaalanı pistlerinin buzlanmasını ve karlanmasını engellemek için mükemmel bir potansiyele sahiptir (Baoguo H, ve diğ., 2014).

Günümüzde yapısal malzeme olarak kullanılan beton iyi bir iletkenliğe sahip olmamakla beraber belli katkı maddeleri ile (karbon fiber, nano-lif ya da nanotüp, grafit tozu, çelik lif gibi) iletkenliğini arttırabilir. (Chung, 2002). Betonun kendi kendine ısınabilmesi de termal ve elektriksel iletkenliği ile ilgilidir (Chung, 2001).

Karbon bazlı materyaller yüksek termal iletkenliğe sahip olup korozyona da yüksek oranda dayanıklıdır. Bu özelliği de karbon bazlı materyalleri çok amaçlı çimentolu kompozitlerin yapıları ısıtma ya da buzlanmayı önleme gibi termal uygulamaları için önemlidir(Gomis, ve diğ., 2016).

Karbon nanotüpler çok iyi mekanik, termal ve elektriksel performans sergilemektedirler. Karbonlu malzemeler yüksek termal iletkenliğe sahip olup aşınmaya dayanıklıdır. Bu özellikleri karbonlu malzemeleri çok amaçlı çimentolu kompozitler için tercih edilen bir katkı malzemesi yapmaktadır. Yeni nesil karbon nanolifler mükemmel mekanik, elektriksel ve termal özelliklere sahip olup harçlarda başarılı olarak kullanılmaktadır (Galao, 2014).

Bu çalışmada farklı iletken malzemelerden farklı hacimsel oranlarda 18 harç karışımı tasarlandı. Her karışımdan 3 adet $5 \times 5 \times 2,5$ cm³ prizma üretildi. Doğru akım ile elektrik verilen harç karışımlarının sıcaklık artışı, sıcaklık artış hızı, enerji değerleri ölçüldü ve bu değerler kullanılarak bir puan hesaplandı. En iyi puana sahip harç karışımları elektrik ile ısınan harç karışımı olarak belirlendi.

BÖLÜM İKİ

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada kullanılan malzemeler, analizler, deneyler ve uygulanılan yöntemler bu bölümde anlatılmıştır.

2.1 Kullanılan Malzemeler

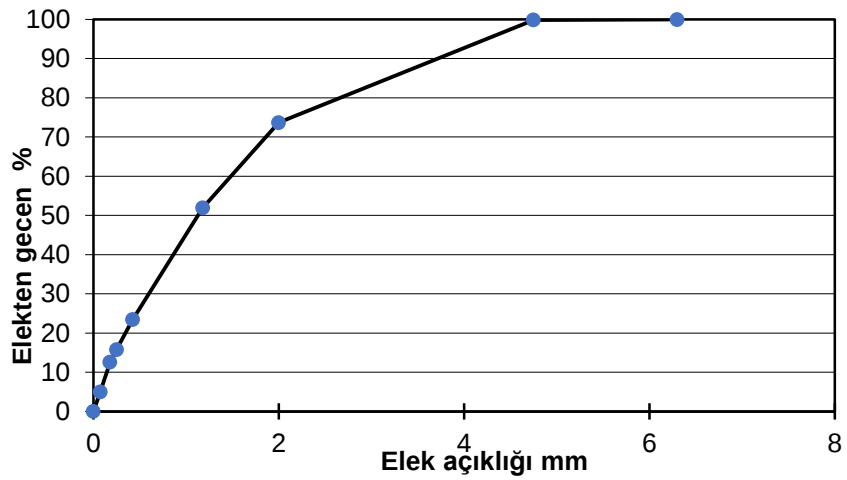
Çalışmada kullanılan malzemeler ve özellikleri bu bölümde sunulmuştur.

2.1.1 Çimento

Batı Anadolu Çimento Sanayi A.Ş tarafından verilen BATIÇİM Cem II B-M (L-W) 42,5R çimentosu çalışmada kullanılmıştır. Çimentonun yoğunluğu 2970kg/m^3 tür.

2.1.2 Agreg

Tüm karışımlarda ince agreg kullanılmıştır. İnce agreg Batı Beton firmasından temin edilmiştir ve kireçtaşından elde edilmiştir. Dane boyutu 0-5 mm aralığındadır. Elek analizi sonucu Şekil 2.1’de sunulmuştur.



Şekil 2.1 İnce agreganın(0-5mm) granülometri grafiği (Teomete, 2017)

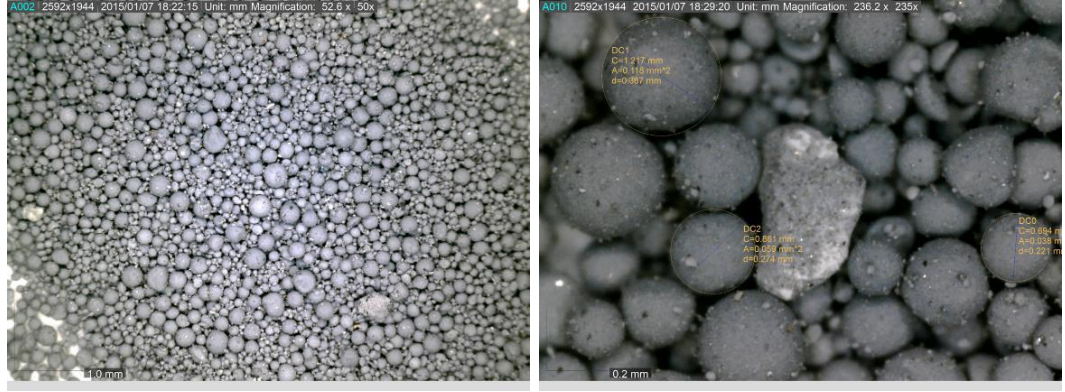
2.1.3 Silis Dumanı

MasterROC MS 610 silis dumanı BASF Türk Kimya Sanayi ve Ticaret Ltd. Sti. tarafından hibe edilmiştir. Klor içeriği %0,1'den düşük olan silis dumanının yoğunluğu 650kg/m^3 'tür. Üretici tarafından verilen silis dumanının teknik özellikleri Tablo 2.1'de sunulmuştur.

Tablo 2.1 BASF MasterROC MS 610 silis dumanı teknik özellikleri (üreticiden alındı)

Malzemenin Yapısı	Yoğunlaştırılmış Mikro-silika
Renk	Gri
Yoğunluk	0,55-0,70 kg/lt
Klor miktarı (EN 480-10)	<0,1%
Blain (İncelik)	>15000 m ² /kg
SiO ₂ oranı	>%85
CaO oranı	<%1
SO ₃ oranı	<%2
0,045 mm'den <Partikül oranı	<%40
Aktivite Endeksi	>%95
Yoğunluk	2300 kg/m ³

Silis dumanının optik mikroskop fotoğrafı Şekil 2.2'de sunulmuştur. Silis dumanı ortalama çapı 25 µm olan danelerden oluşmaktadır.



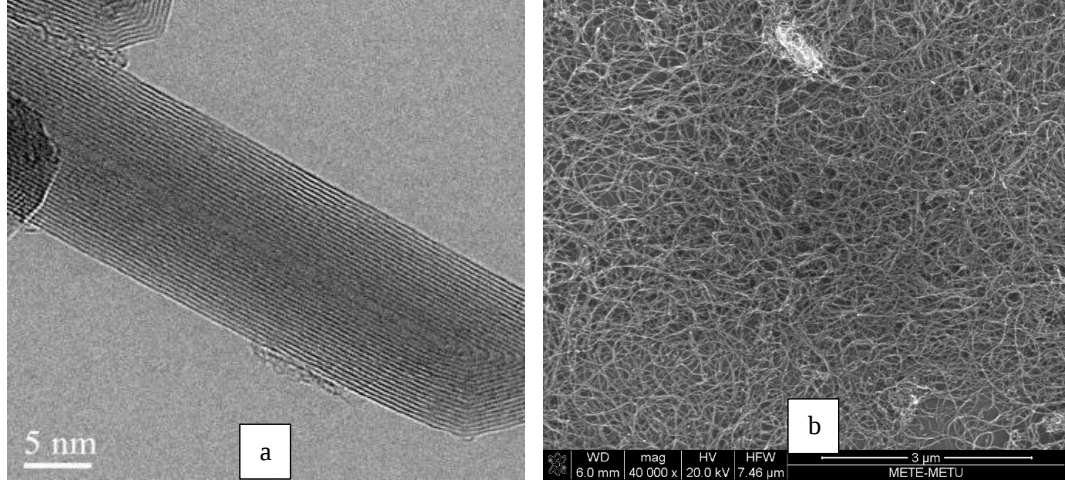
Şekil 2.2 BASF MasterROC MS 610 silis dumanı optik mikroskop görüntüleri a) 50x büyütme. b) 235x büyütme (Teomete, 2017)

2.1.4 Akışkanlaştırıcı

Sika Yapı Kimyasalları A.Ş tarafından hibe edilen akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Akışkanlaştırıcı, modifiye polikarboksilat bazlı Sika Visco Crete Hightech 30 olup birim hacim ağırlığı 1,090 kg/lt, pH değeri 3-5 arasında, donma noktası -9°C, suda çözünebilen, klor iyonu oranı maksimum %0,1'dir. TS-EN 934-2'ye göre sodyum oksit maksimum %4'tür.

2.1.5 Çok Duvarlı Karbon Nano Tüp (ÇDKNT)

Çok duvarlı karbon nano tüp (ÇDKNT) Nanografi Nanoteknoloji Bilişim İmalat ve Danışmanlık Ltd. Şti.'den satın alınmıştır. Katalitik karbon buharı birikimi ile üretilen ÇDKNT'nin, üretici firmadan alınan karakteristik özellikleri Tablo 2.2'de sunulmuştur. Üretici firmadan temin edilen ÇDKNT'nin geçirimli elektron mikroskop (TEM) fotoğrafı ve SEM (taramalı elektron mikroskobu) fotoğrafı Şekil 2.3a ve Şekil 2.3b'de sunulmuştur.



Şekil 2.3 Çok duvarlı karbon nanotüpün a) TEM. b) SEM görüntüleri (Demircilioğlu, 2017)

Tablo 2.2 Çok duvarlı karbon nano tüp karakteristik özellikleri (Üreticiden alındı)

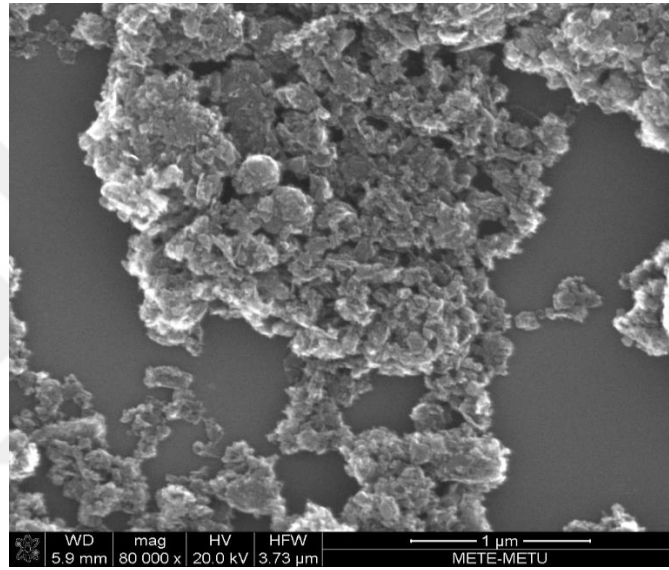
Özellikler	Birimler	Değerler	Ölçüm metodu
Ortalama çap	Nanometre	9,5	TEM
Ortalama uzunluk	Mikron	1,5	TEM
Karbon saflığı	%	90	TGA
Metal oksit	%	10	TGA
Birim hacim ağırlığı	g/cm ³	0,2-0,35	HRTEM
Yüzey alanı	m ² /g	250-300	BET

2.1.6 Grafen Nano Levha (GNL)

Grafen Nanografi Nanoteknoloji Bilişim İmalat ve Danışmanlık Ltd. Şti.'den satın alınmıştır. Üreticiden alınan bilgilere göre, grafen, yüksek en-boy oranı ile çok tabakalı grafen levhalar yığınlarından oluşur. GNL'nin karakteristik özellikleri Tablo 2.3'te ve SEM ile çekilmiş fotoğrafı Şekil 2.4'te sunulmuştur.

Tablo 2.3 Grafen nano levhanın karakteristik özellikleri (Üreticiden alındı)

Özellikler	Birimler	Değerler
Birim hacim ağırlığı	g/cm ³	0,2-0,4
Görelî yoğunluğu	g/cm ³	2-2,25
Ortalama levha çapı	mikron	<2
Levha kalınlığı	nm	5-8
Yüzey alanı	m ² /g	750
Saflığı	-	>99%



Şekil 2.4 Grafen nano levhanın 80000 kez büyütölmüş SEM fotoğrafı (Demircilioğlu, 2017)

2.1.7 Nano Tufal Üretimi ve Tufal

Çelik üretimi sırasından ortaya çıkan atık malzemeye tufal denmektedir. İzmir Demir Çelik Sanayi tarafından hibe edilen tufal pul-lehva şeklindedir. Nano tufal üretimi FRITSCH pulverisette 7 premium line markalı öğütücü makine ile üretilmiştir. Nano tufal, 19 adet tungsten karbür bilye bulunan öğütücü makinanın 2 adet Tungsten karbür potalarına 52'şer gr tufal konularak 10 dk sağa, 10 dk sola ve tekrar 10 dk sağa doğru 400 rpm ile çevrilerek öğütölüp, üretilmiştir(Bkz. Şekil 2.5b).

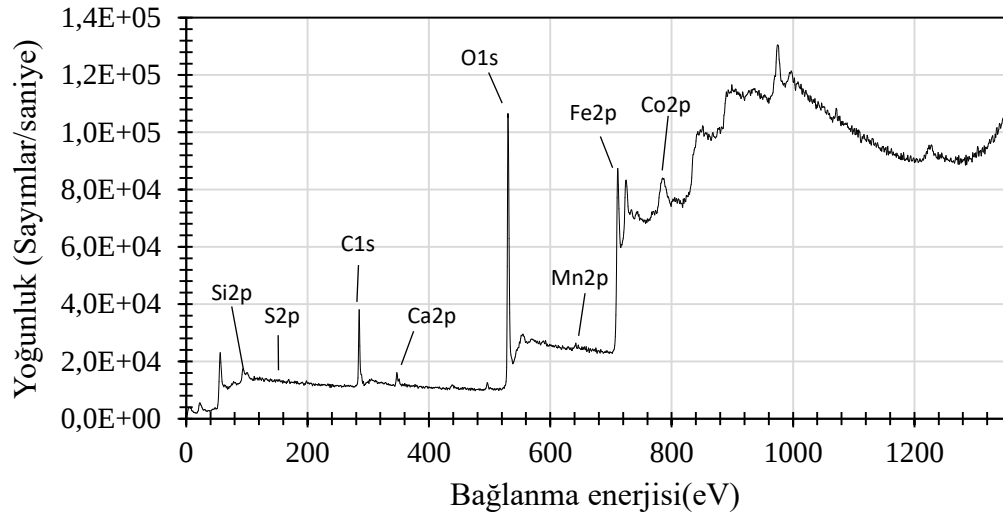


Şekil 2.5 a) Tufal b) Öğütülmüş tufal (Teomete, 2017)

Nano tufal tozun parçacık boyut analizi Zetasizer nanoseries (Nano-ZS) cihazı ile yapıldı ve ortalama parçacık boyutu 637 nm ölçülmüştür. Nano tufal tozun yoğunluğu $2,42\text{g/cm}^3$ ölçülmüştür. Nano tufal tozun element analiz (XPS) sonuçları Tablo 2.4 ve Şekil 2.6’de sunulmuştur.

Tablo 2.4 Nanotufal’in XPS analiz verileri (Demircilioğlu, 2017)

Element İsimleri	Bağlanma Enerjisi eV	Yarı-Doruk Genişliği (FWHM) eV	Cihazın Bulunduğu eV	Atomik %
O 1s	530,48	1,995	296600,92	47,75
Fe 2p	711,05	4,276	353190,70	11,50
C 1s	285,12	2,690	78939,49	32,47
Ca 2p	347,26	3,085	21121,55	1,77
S 2p	168,82	2,715	6815,98	1,59
Si 2p	100,72	2,368	1367,64	0,63
Mn 2p	642,08	1,420	12540,86	0,46
Co 2p	785,00	11,333	129479,58	3,84

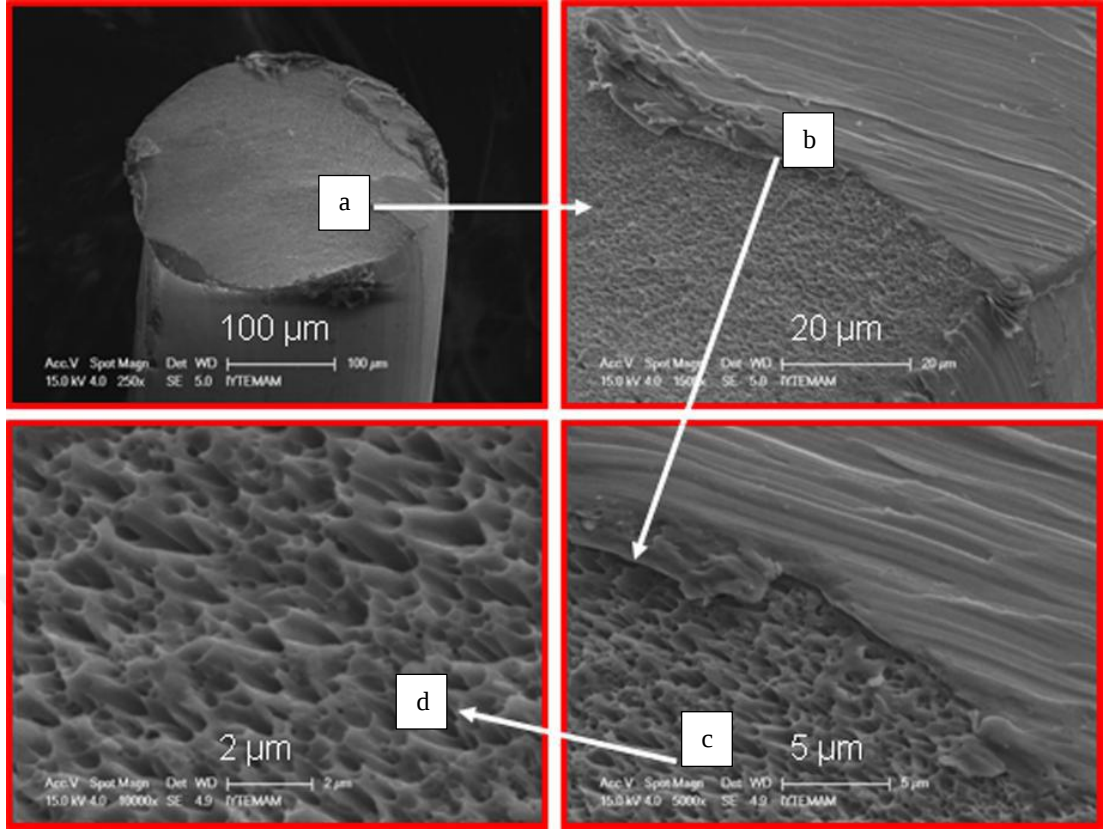


Şekil 2.6 Nanotufal'ın XPS analiz tayfı (Demircilioğlu, 2017)

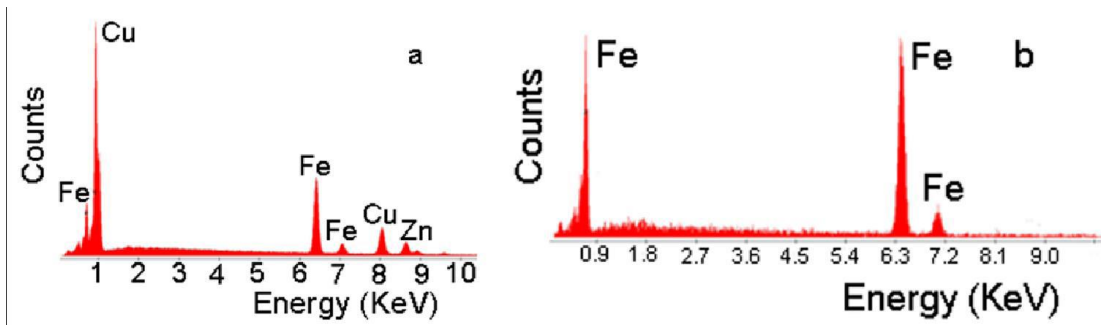
2.1.8 Çelik Lif

Çalışmada kullanılan çelik lifler Bekaert İzmir Çelik Kord Sanayi A.Ş. tarafından hibe edilmiştir. Çelik liflerin uzunlukları 6mm ve 13mm'dir. Çelik lifler üretim artığı olduğundan düşük maliyetlidir.

Çelik liflere ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Şekil 2.7'de verildi. Çelik lifin enerji dağılım spektrometre (EDS) sonuçları Şekil 2.8'da verildi. Çelik lifin ortalama çapı 0,25mm'dir. EDS sonuçlarına göre çelik lifin bakır alaşımı olan pirinç kaplı olduğu görülmektedir. Böylece, çelik lif korozyona karşı dirençlidir. Çelik lif birim hacim ağırlığı 7850kg/m^3 'tür.



Şekil 2.7 Çelik lifin SEM görüntüleri a) Çelik lif b) kaplama c) kaplama ve lif kesiti d) lif kesiti(Teomete, 2017)



Şekil 2.8 Çelik life ait EDS sonuçları a) yan yüzey b) kesit yüzeyi (Teomete, 2017)

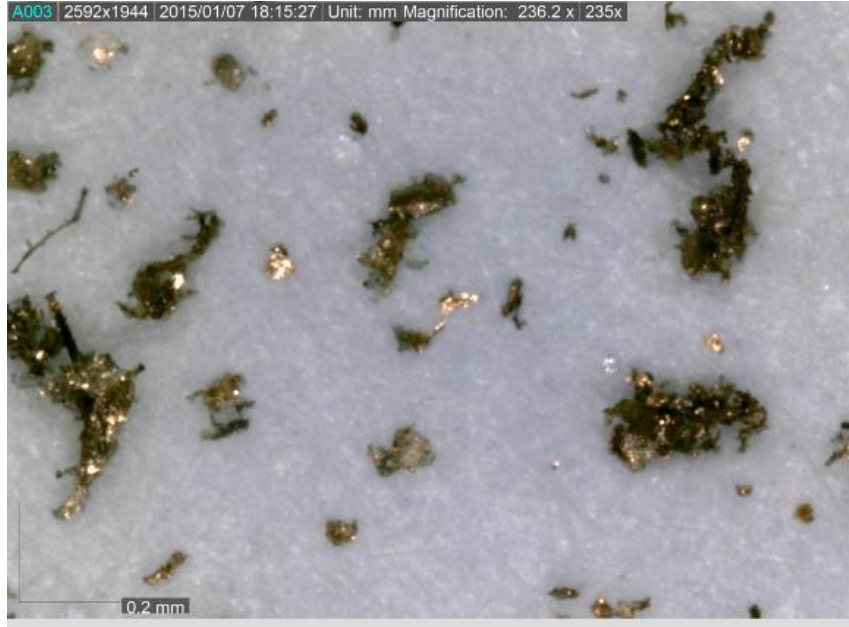
Çelik file ait optik mikroskop görüntüleri şekil 2.9’da sunuldu.



Şekil 2.9 Pirinç kaplı 6mm çelik lif a) 50 kat büyütme b) 235 kat büyütme (Teomete, 2017)

2.1.9 Bakır Lif ve Toz

Bakır lif ve toz malzeme BMS Metal Madencilik İmalat Geri Dönüşüm San. Ve Tic. A.Ş'den temin edilmiştir. Malzemenin lifin birim hacim ağırlığı 8930 kg/m^3 'tür. Bakır toz optik mikroskop altında incelenmiştir ve fotoğrafı Şekil 2.10'de sunulmuştur. Görüntüler incelendiğinde bakır pudranın levha-pul şeklindeki parçalardan oluştuğu ve bu parçaların 0,3mm den küçük olduğu görülmektedir.



Şekil 2.10 Bakır tozun optik mikroskop fotoğrafı 235 kat büyütülerek çekildi (Teomete, 2017)

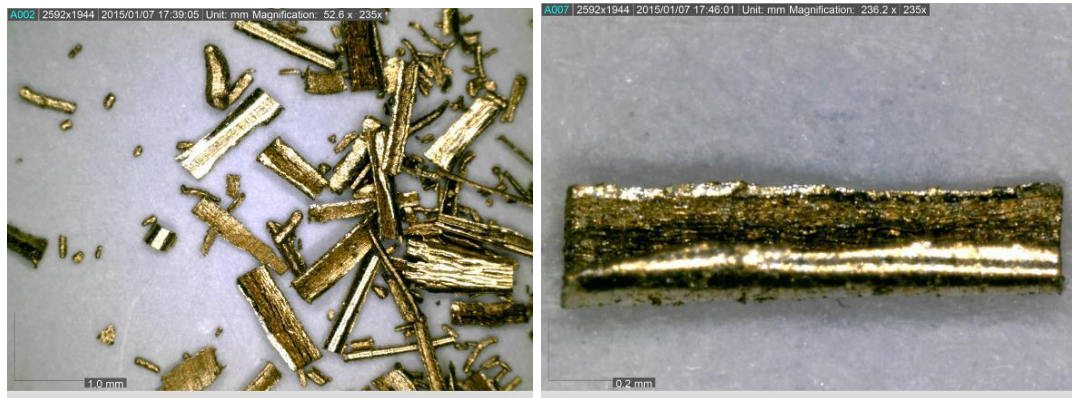
2.1.10 Pirinç Lif

Pirinç lif malzeme, BMS Metal Madencilik İmalat Geri Dönüşüm San. Ve Tic. A.Ş'den temin edildi. Üreticiden alınan pirinç lifin kimyasal analizi Tablo 2.5'de sunuldu. Pirinç lifin birim hacim ağırlığı 8730 kg/m^3 'tür

Tablo 2.5 Pirinç lifin kimyasal analiz sonucu(Üreticiden alındı)

Element	%
Kalay (Sn)	0,836
Fosfor (P)	0,0108
Nikel (Ni)	0,239
Bizmut (Bi)	0,00659
Bakır (Cu)	95,61
Kurşun (Pb)	2,45
Mangan (Mn)	0,0005
Silisyum (Si)	0,001
Sülfür (S)	0,00336
Çinko (Zn)	0,8236
Demir (Fe)	0,015
Aluminyum (Al)	0,0014
Antimon (Sb)	0,002

Pirinç lif optik mikroskop altında incelendi ve fotoğraflar Şekil 2.11'de sunuldu. Görüntüler incelendiğinde pirinç lifin silindirik levhalardan oluştuğu gözlemlendi. Ortalama tane boyutu 1,5mm ve ortalama çapı 0,5mm'dir.

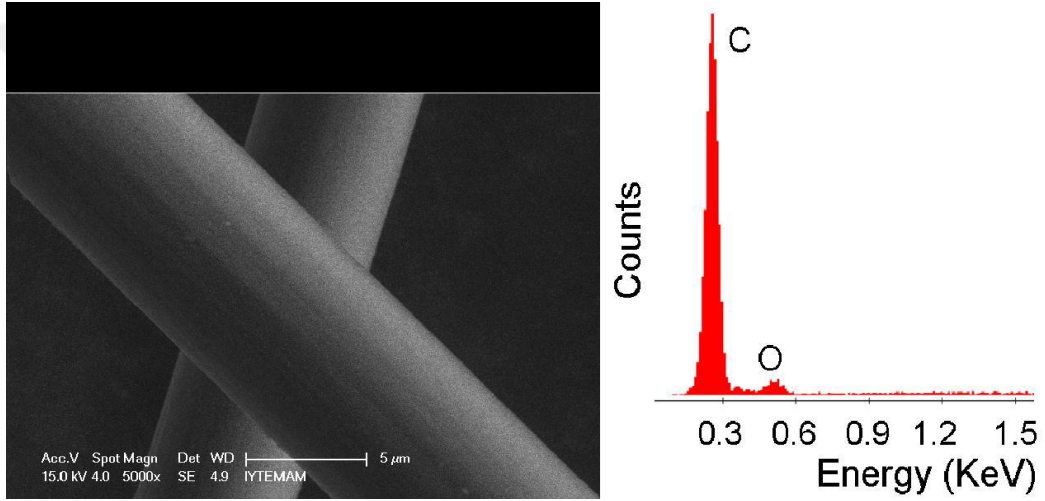


Şekil 2.11 Pirinç lifin optik mikroskop fotoğrafları a)50 kat büyütme b)235 kat büyütme (Teomete, 2017)

2.1.11 Karbon Lif

Karbon lifler, DowAksa A.Ş.'den temin edilmiştir. Lif(Kaplamasız) ve pellet(Kaplamalı) olarak iki çeşit karbon kullanılmıştır. Pellet, 7µm çapında karbon liflerin epoksi ile yapıştırılıp, daha kalın bir lif elde edilmesi ile üretilir.

Karbon liflere ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri ve enerji dağılım spektrometre(EDS) görüntüleri Şekil 2.12'de verildi.



Şekil 2.12 Karbon lif a)Taramalı elektron mikroskobu görüntüsü b) Enerji dağılım spektrometre görüntüsü (Teomete, 2017)

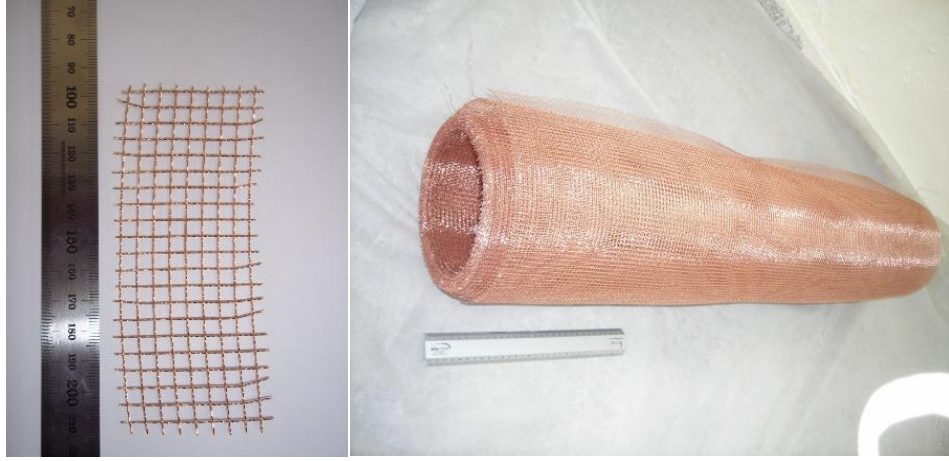
Karbon liflerin görüntüleri Şekil 2.13'de verilmiştir.



Şekil 2.13 Karbon lif a) Pellet(kaplamalı) 3mm b) lif(kaplamasız) 5 mm c) lif(kaplamasız) 3 mm d) lif kesilmemiş uzun hali (Kişisel arşiv, 2017)

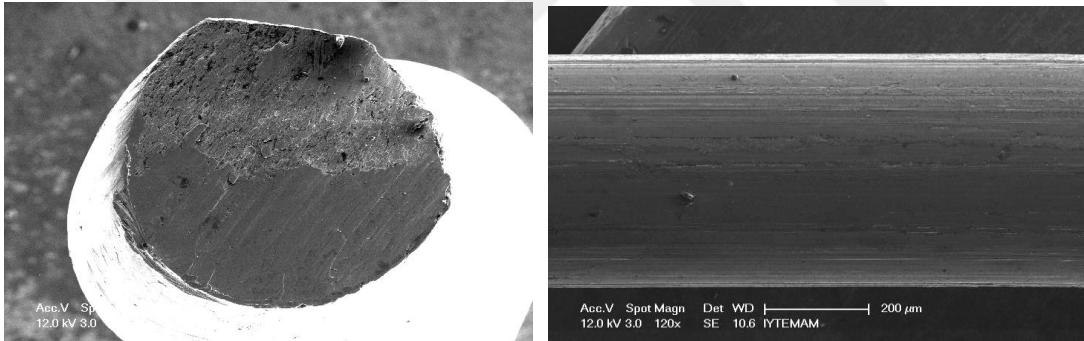
2.1.12 Bakır Ağ Elektrot

Saf bakır elektrot yüksek iletkenliği sebebiyle tasarlanan örneklerde elektrot olarak kullanılması için seçilmiştir. Türkiye’de imal edilmediği için Çin Halk Cumhuriyetinde özel sipariş üzerine imal ettirilmiştir. Kare göz açıklığı 5mm, tel çapı 0,6mm’dir (Şekil 2.14).

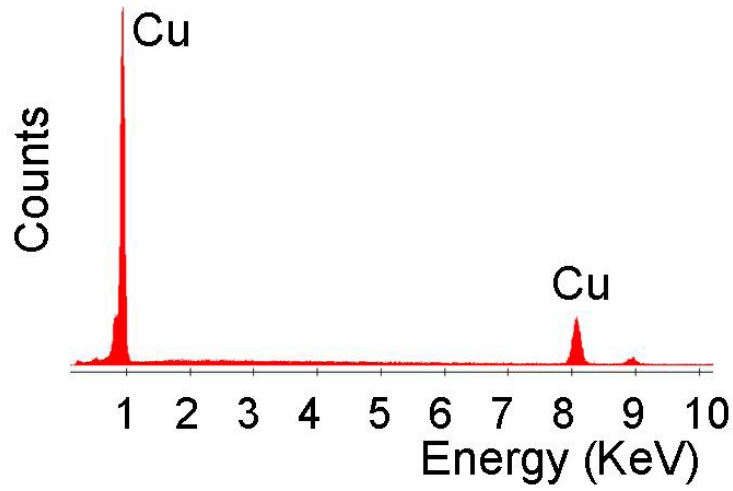


Şekil 2.14 Bakır ağ elektrot a) elektrot olarak kullanılmak üzere kesilmiş b) Çin’den gelen rulo hali (Teomete, 2017)

Bakır ağ tel, taramalı elektron mikroskobunda incelendi ve görüntüleri Şekil 2.15’de sunuldu. Görüntülerde bakır telin çapının 600 μm olduğu tespit edilmiştir. Bakır ağ telinin enerji dağılım spektrometre (EDS) analizi yapıp Şekil 2.16’da sunuldu.



Şekil 2.15 Bakır tele ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri a) kesit yüzeyi b) yan yüzeyi (Teomete, 2017)



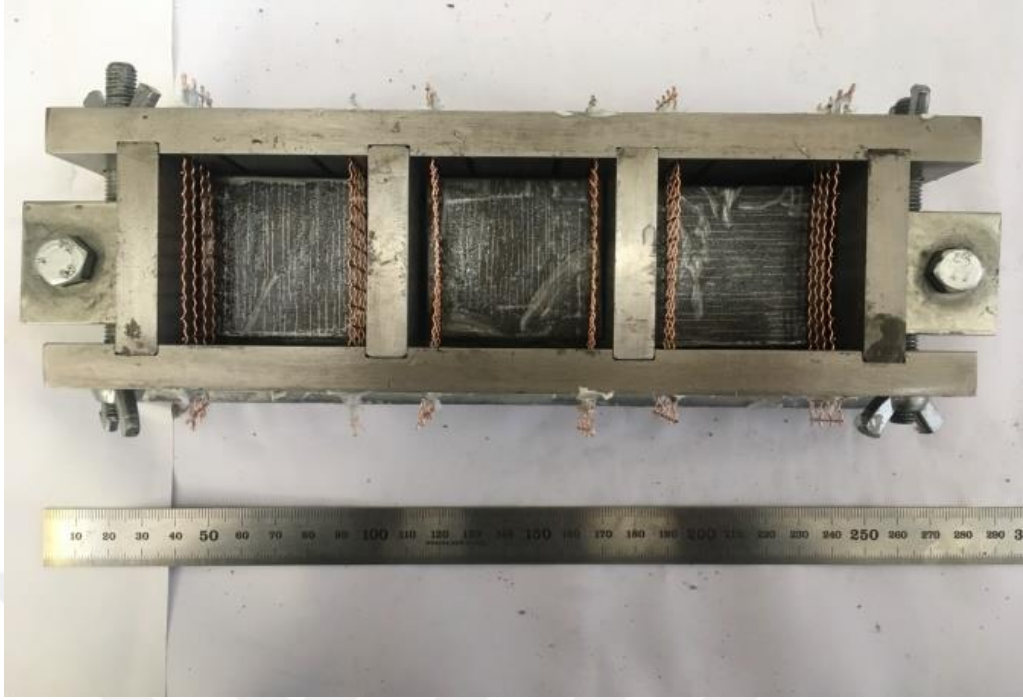
Şekil 2.16 Bakır ağ telinin EDS analiz sonucu (Teomete, 2017)

2.1.13 Saf Su

DEÜ Elektronik Malzemeler Üretim ve Uygulama merkezinde (EMUM), TKA marka saf su üretim cihazından temin edilmiştir.

2.1.14 Döküm kalıbı

Döküm kalıbı çeliktir ve her bir gözü $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ 'tür. Kalıbın yan duvarlarında, 2 mm genişliğinde ve 45 mm yüksekliğinde dört yuva vardır. Kalıbın altına 25 mm kalınlığında tahta yerleştirildi. Şekil 2.17'de gösterildiği gibi bakır elektrotlar harç kalıplarına yerleştirilmiştir. Böylece kalıp boyutu $5 \times 5 \times 2,5 \text{ cm}^3$ oldu.



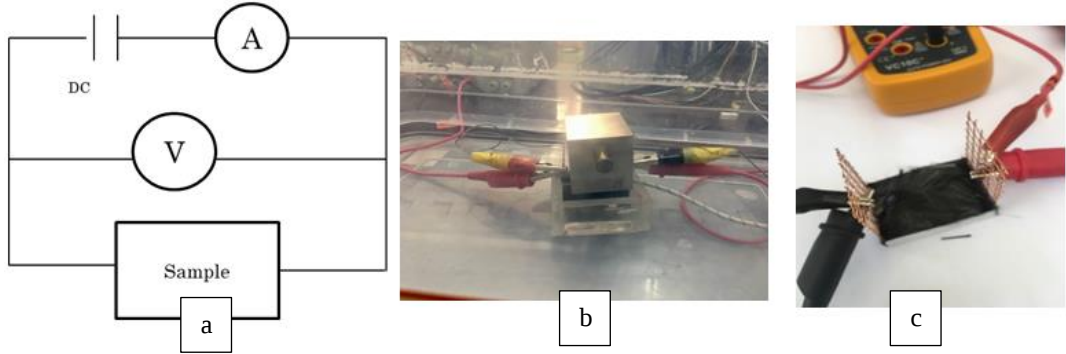
Şekil 2.17 Döküm kalıbı (Kişisel arşiv, 2017)

2.2 Yöntem

2.2.1 İletken malzemelerin ısınma testleri

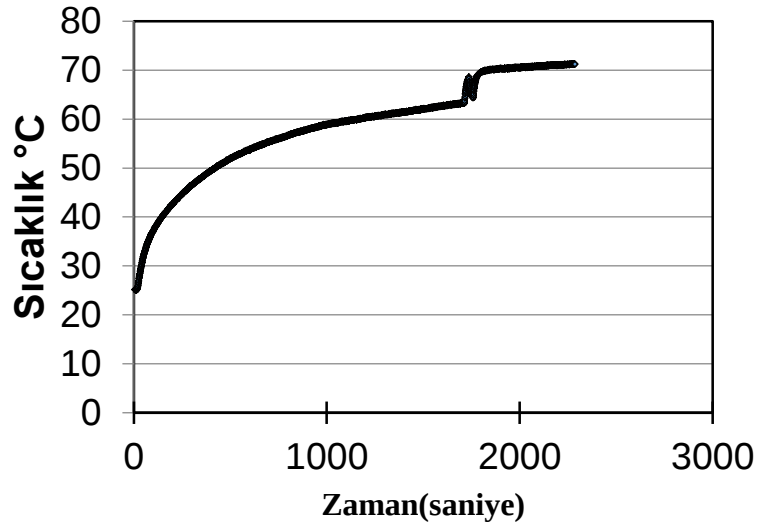
En iyi termal iletkenliğe sahip malzemeleri belirlemek için ısıtma testleri yapıldı. Isınma testleri pleksiglass ve kibrit kutusunda yapılmıştır. Test edilen iletken malzemeler bakır lif ve toz, çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT), 13 mm çelik lif, 6 mm çelik lif, nano tufal, pirinç lif ve toz, karbon lif (3 mm, 5 mm, sürekli), grafen nano levha (GNL) ve nikel toz test edilmiştir.

Nano malzemeler hariç diğer iletken malzemeler $5 \times 3,5 \times 1,5 \text{ cm}^3$ kibrit kutusunda test edilmiştir. Nano malzemeler ise $5 \times 1 \times 1,5 \text{ cm}^3$ pleksiglass içerisinde test edilmiştir. İletken malzemeler yukarıda verilen hacimlerin tamamı dolacak şekilde kutulara konulmuştur. Deney şeması ve görüntüsü Şekil 2.18 de verilmiştir.

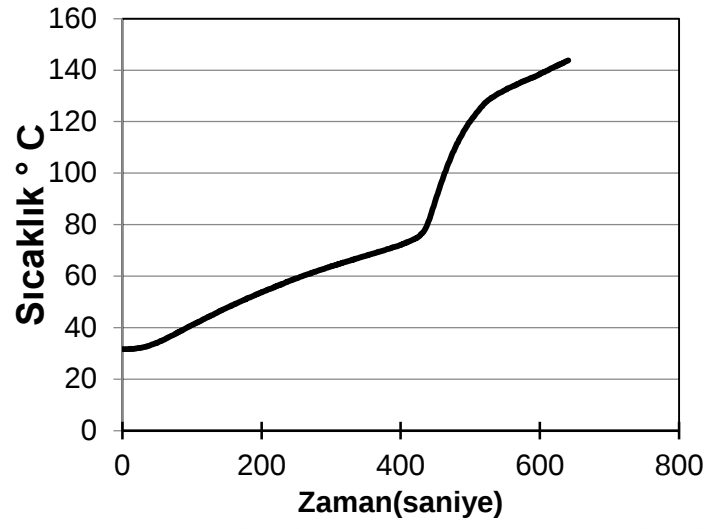


Şekil 2.18 a)Deney şeması b)Pleksiglass deneyi c) Kibrit kutusu deneyi (Kişisel arşiv, 2017)

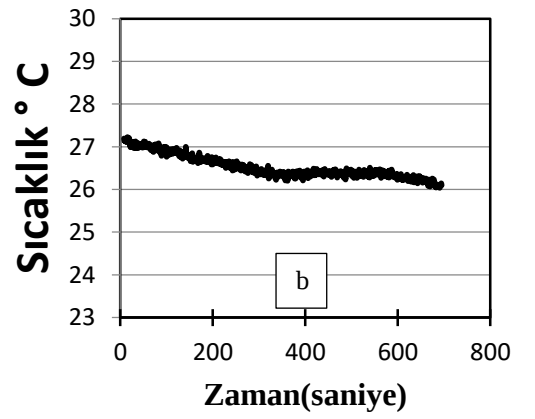
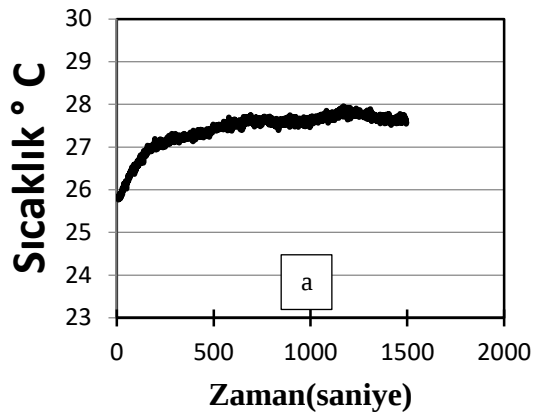
Isınma testleri yapılırken voltaj, 30 volta sabitlendi. Akım maksimum 2A ile sınırlandırıldı. Sıcaklık ölçümleri termokapl ile yapılmıştır. Kutu ve pleksiglas testlerinin sonuçları, döküm için hangi malzemelerin kullanılacağına karar vermemize yardımcı oldu. İletken malzemelerin ısınma testlerinin sonuçları Şekil 2.19 - 2.24'de verilmiştir.



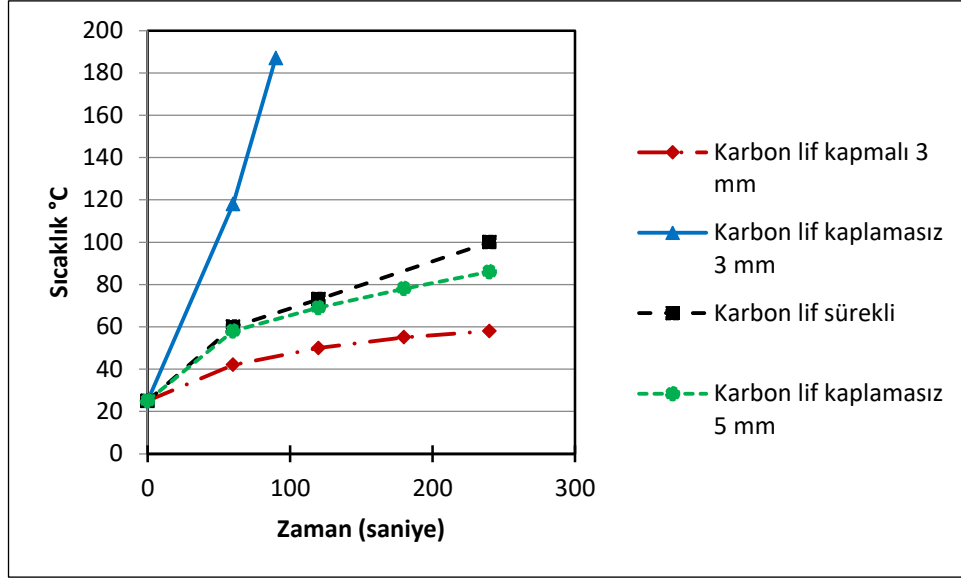
Şekil 2.19 Çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT) ısınma testi



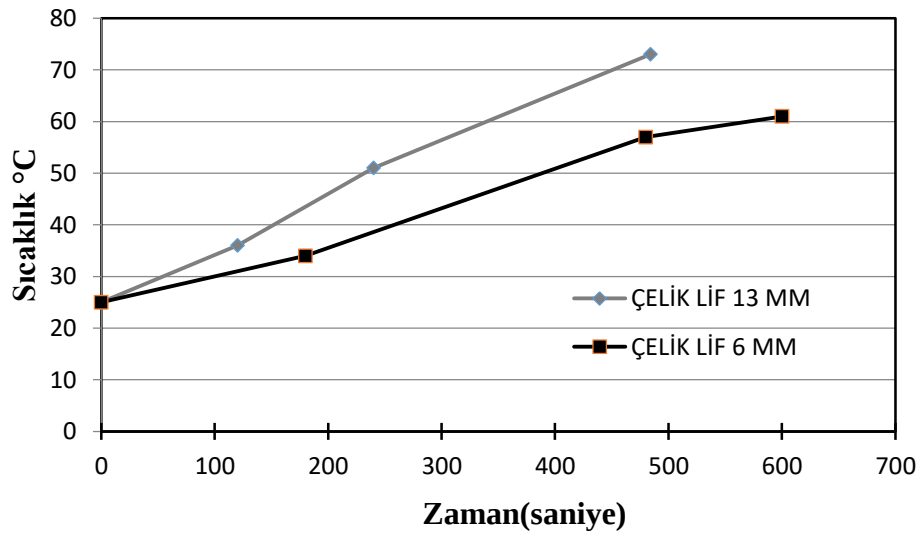
Şekil 2.20 ÇDKNT ile bakır lif karışımının ısınma testi



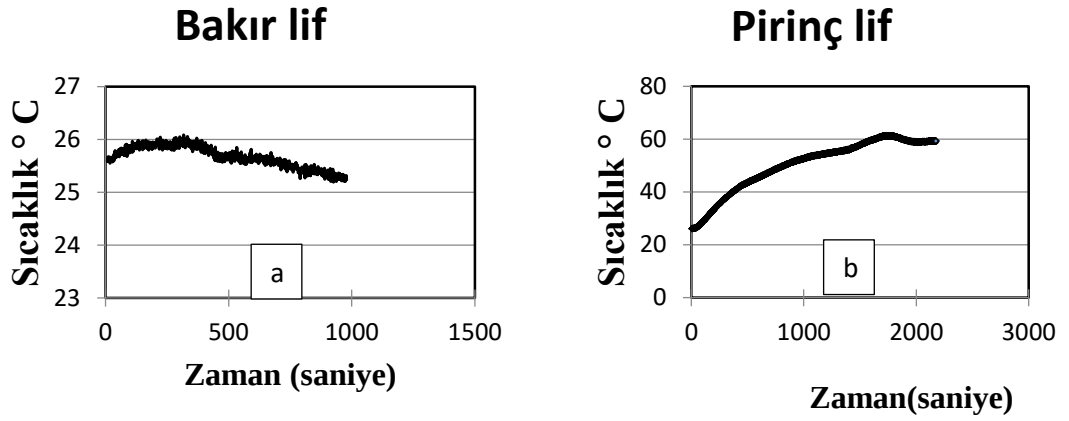
Şekil 2.21 Isınma testleri a) Grafen Nano Lehva b) Nano Tufal



Şekil 2.22 Karbon liflerin ısınma testleri



Şekil2.23 Çelik liflerin ısınma testleri



Şekil 2.24 a) Bakır lif b) Pirinç lif

Harç karışımları, yukarıdaki grafiklerin sonuçlarına göre tasarlandı. ÇDKNT, pirinç lif, karbon lifler ve çelik lifler ısınmıştır. Bakır lif kendi başına ısınma göstermemesine karşın, ÇDKNT ile ısıtıldığında, ısınmanın parabolik olarak arttığını görmekteyiz. Bakır tozunun ısıtılması deneyinde bir akım geçişi ve ısınma olmadı.

Isınma testlerinde bir diğer gözlem ise karbon liflerin deneyi sırasında, çıkan duman ve kıvılcımlardı. Harç döküm planlamaları, yukarıdaki deneyler temel alınarak hazırlandı ve dökümler yapıldı.

2.2.2 Karışımların tasarımı

Farklı oranlardaki iletkenlere sahip karışımlar, harcın elektriksel iletkenliğini ve termal verimliliğini arttırmak için tasarlanmıştır. Karışımlar tasarlanırken, TS802 Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları Standardına göre tasarlandı. Referans direnci dâhil olmak üzere toplamda 18 farklı karışım tasarlandı. Bu karışımların 6'sı Çimento harcı emdirilmiş lifli beton (SIFCON) olarak tasarlanmıştır. Karışımların isimlendirmesi yapılırken, harfler karışımların içerisinde bulunan iletken malzemelerin isimlerinin İngilizce kısaltmaları ile yazılmıştır. Sayılar ise kısaltması yapılan iletken malzemenin hacimsel oranıdır. Örnek olarak S(Steel fiber yani çelik lifli karışımın kısaltması olarak belirlenmiştir ve S1 içerisinde yüzde 1 çelik lif bulunan karışım demektir.) Bu karışımlarda bulunan iletken oranları ve lif içerikleri Tablo 2.6 ve 2.7'de verilmiştir. Tablo 2.8'de SIFCON karışımlarının 1 m³'teki

malzeme miktarı verildi. Tablo 2.9’da SIFCON dışında kalan karışımların 1 m³’teki malzeme miktarı verildi.

Tablo 2.6 SIFCON dışındaki karışımların içerikleri ve yüzdesel oranları

KARIŞIM GİRDİLERİ	CnCo**(0,115, 0,23,0,345 % ÇDKNT ve %1 bakır lifli karışım)	S(%1 ve %2 6mm Çelik lifli karışım)	S(%20 6mm Çelik lifli karışım)	Br(%5 piriç lifli karışım)	*CnBr(%0,2 ÇDKNT ve %5 Piriç,%0,115 ÇDKNT ve %5 piriç, %0,115 ve %2 piriç lifli karışım)	BrCCR(%1 piriç lif ve 4,5 cm sürekl karbon lifli karışım)	R (Referans karışım)
Su/(Bağlayıcı:Çimento+Puzolan) Oranı	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
Hava Yüzdesi(%)	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
Su(Kg)	262	262	262	262	262	262	262
Silika Oranı(Bağlayıcıya göre %)	0	10	0	0	0	0	0
Akışkanlaştırıcı (bağlayıcıya göre %)	1	1	1	1	1	1	1
Kum I 0-5 Karışma Oranı(%)	100	100	100	100	0	100	100
Kum II 0-3 Karışma Oranı(%)	0	0	0	0	100	0	0
Notlar:	*Cn02Br5 dökümü yapılırken aşırı toplanmadan 24,8 gram su ve 0,4 gram akışkanlaştırıcı eklendi. Cn0115Br5 dökümü yapılırken 18,3 gram su ve 0,3 gram akışkanlaştırıcı eklendi. **Cn0115Co1 ,Cn023Co1 ve Cn0345Co1 dökümlerinde aşırı toplanma durumu olduğu için sırası ile 18,6 gram su ve 0,3 gr akışkanlaştırıcı, 24,8 gram su ve 0,4 gram akışkanlaştırıcı ve 43,4 gram su ve 0,7 gram akışkanlaştırıcı eklenmiştir.						

Tablo 2.7 SIFCON karışımların içerikleri ve yüzdesel oranları

	Sifcon Referans karışımı	Sifcon, Çok duvarlı karbon nanotüplü(ÇDKNT) karışımlar.				
Karışım girdileri	Sif	SifCn0046	SifCn0069	SifCn0115	SifCn02	SifCn025
Kalıba giren ÇDKNT’nin hacimsel yüzdesi	0	0,046	0,069	0,115	0,2	0,25
Su/(Bağlayıcı:Çimento+Puzolan) Oranı	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Akışkanlaştırıcı/çimento oranı %	2	2	2	2	2	2
Notlar:	Sifcon dökümlerinde; döküm kalıbına, her dökümde 3 göze toplam 41,3 gram 13 mm çelik lif konulmuştur.					

Tablo 2.8 SIFCON karışımlarının 1 m³’teki malzeme miktarı (kg/m³)

Kg/m ³ hesabı						
Örnek adı	Sif	SifCn0046	SifCn0069	SifCn0115	SifCn02	SifCn025
Çimento	1529	1529	1528	1527	1526	1525
Su	459	459	458	458	458	458
Akışkanlaştırıcı	30,6	30,6	30,6	30,5	30,5	30,5
Çelik lif (13 mm çelik lif)	220	220	220	220	220	220
ÇDKNT	0	0,97	1,4	2,4	4,2	5,3

Tablo 2.9 SIFCON dışında kalan karışımların 1 m³'teki malzeme miktarı (kg/m³)

Örnek adı	S1	S2	S20	Br5	Br1CCF	Cn02Br5
Lif (ÇDKNT)	0	0	0	0	0	4,56
Lif**	78,5	157	1570	436,5	87,3	436,5
Çimento	452	452	502	502	502	502
Kum I 0-5	1377	1351	0	1308	1412	0
Kum II 0-3	0	0	0	0	0	1319
Silika Dumanı	50	50	0	0	0	0
Su	258	258	251	236	236	328
Akışkanlaştırıcı	5,0	5,0	5,0	5,0	4,9	6,5
Örnek adı	Cn0115Br2	Cn0115Br5	R	Cn0115Co1	Cn023Co1	Cn0345Co1
Lif (ÇDKNT)	2,42	2,42	0,00	2,41	4,83	7,25
Lif**	174,6	436,5	0	89,3	89,3	89,3
Çimento	502	502	502	502	502	502
Kum I 0-5	0	0	1438	1412	1412	1412
Kum II 0-3	1398	1319	0	0	0	0
Silika Dumanı	0	0	0	0	0	0
Su	235	305	236	307	331	401
Akışkanlaştırıcı	5,0	6,1	5,0	6,1	6,5	7,6
**Lif (ÇDKNT dışında): S1 S2 S20 (6 mm çelik lif)--Br5 (Pirinç lif)-- Br1CCF (Pirinç lif ve 4,5 cm kesilmiş sürekli karbon lif)--CnBr karışımlarında (Pirinç lif) CnCo karışımlarında (Bakır lif)						

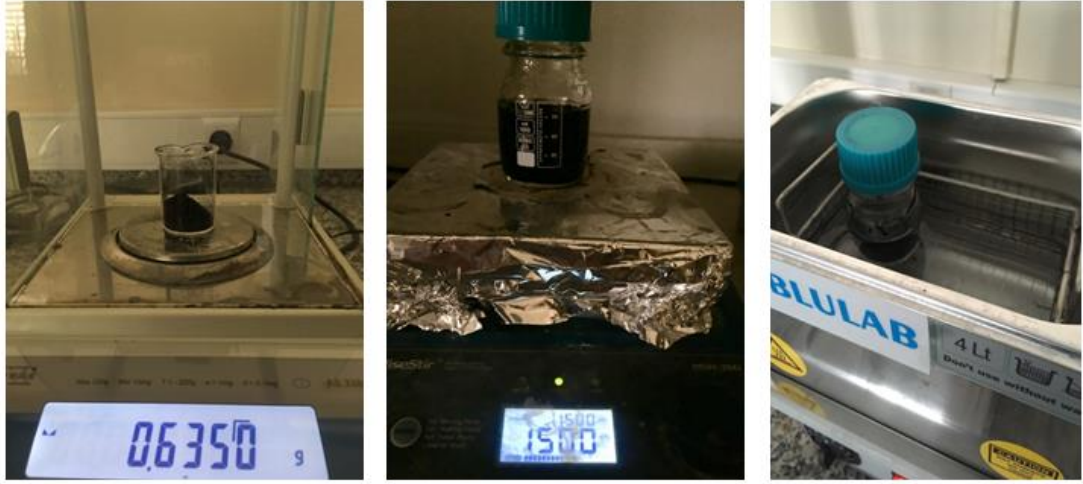
2.2.3 Örneklerin hazırlanması ve Isınma testi

Isınma testleri için R katkısız karışımı (Referans karışımı) dâhil olmak üzere 18 farklı karışım tasarlandı. Her karışım için üçer adet 5 × 5 × 2,5 cm³ boyutunda küp

örnekler hazırlandı. Bu tez çalışmasında 46 örneğe ısınma testi uygulandı (Çok duvarlı karbon nanotüp ve pirinç karışımı 2 ayrı örnek kür sırasında dağıldıkları için test edilemedi. Hacimsel olarak %20- 6mm çelik lif içeren karışımda, iki numune kür sırasında dağıldığı için tek örneğe test uygulandı.). Özel olarak imal edilmiş 5 cm küp çelik kalıplarda 2mm kalınlığında karşılıklı kalıp duvarlarında birbirine tam olarak hizalanmış bakır elektrot yuvaları bulunmaktadır. Böylece bakır elektrotlar birbirine paralel olarak yerleştirilebilirler (Bkz. Şekil 2.17). Bakır elektrotlar kalıbın bir tarafından geçirilip diğer tarafından çıkartılabilirler. Böylece dökülen örneklerin dışında ölçüm yapılabilmesi için uygun elektrotlar bulunur. Elektrot olarak kullanılan saf bakır ağlar uygun boyutlarda rulodan kesilerek kalıba yerleştirildi.

Agrega, çimento, silika dumanı her biri 3 seferde kaba konulup, her seferde tahta kaşık yardımı ile karıştırıldı. Akışkanlaştırıcı ve su ayrı bir kapta karıştırılarak kuru karışıma 3 seferde eklendi, her seferde karıştırıldı. Makro malzeme katkıları hazırlanan karışıma serpilerek 4-5 seferde eklendi ve her seferde karıştırıldı.

Çok duvarlı karbon nano tüp (ÇDKNT) katkılı karışımlar hazırlanırken; katkı malzemesi saf su içerisinde disperse edilmiştir. Saf su ve akışkanlaştırıcı cam kavanoz içinde manyetik karıştırıcı ile 1500 rpm ile 5 dakika karıştırıldıktan sonra hassas tartı ile tartılmış olan ÇDKNT karıştırılmakta olan saf su + akışkanlaştırıcıya olabildiğince yavaş bir şekilde eklendi. Buharlaşma ile kayıp oluşmaması için kapağı kapatılarak 30 dakika daha karıştırılmaya devam edildi. Ardından ultrasonik banyoda 30 dakika bekletildi. Bu işlem sırasında ÇDKNT - ÇDKNT parçacıkları arasındaki Van der Waals bağları koparılarak aglomerasyon oluşmamasına yardımcı olunmuştur. Bu işlemten hemen sonra tekrar manyetik karıştırıcıda 30dk 1500 rpm ile karıştırıldı. Böylece ÇDKNT, su + akışkanlaştırıcı sıvısı içerisinde disperse edilmiş oldu. Dispersiyon işlemi Şekil 2.25’de sunuldu. Hazırlanan disperse edilmiş karışım, kuru karışıma 3 seferde eklendi ve her seferde karıştırıldı.



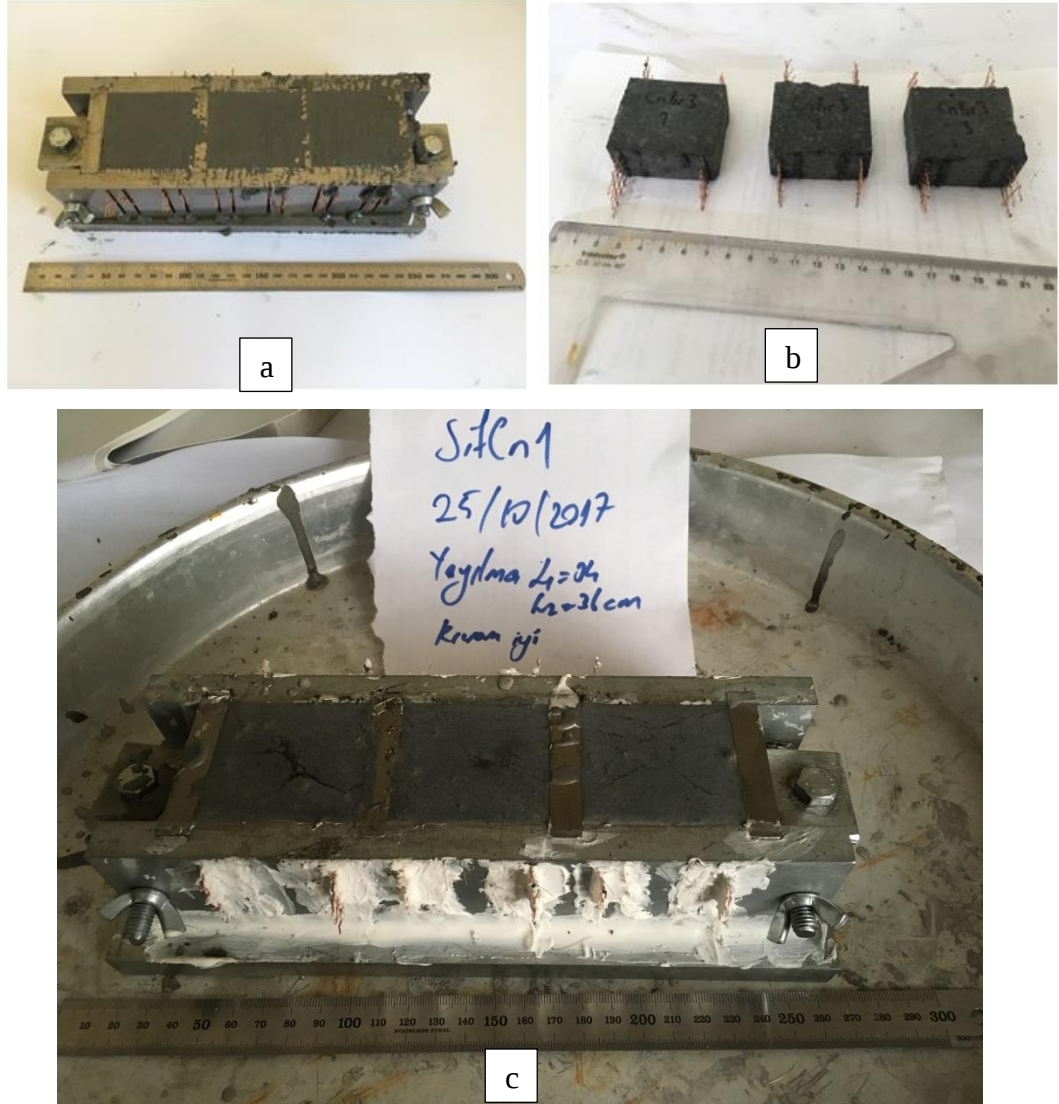
Şekil 2.25 a) ÇDKNT hassas tartı ile tartılırken b) Saf su, akışkanlaştırıcı ve nano malzeme 1500 rpm ile karıştırılırken c) Karışım ultrasonik banyoda bekletilirken (Kişisel arşiv, 2017)

Çimento harcı emdirilmiş lifli beton(SIFCON) dökümü yapılırken ise sızıntının oluşmaması için döküm kalıbının dış gözenekleri silikon ile kapatıldı. Kalıba toplamda 41,3 gram 13mm çelik lif dağınık serpildi ve kalıp döküme hazır hale getirildi (Şekil 2.26).



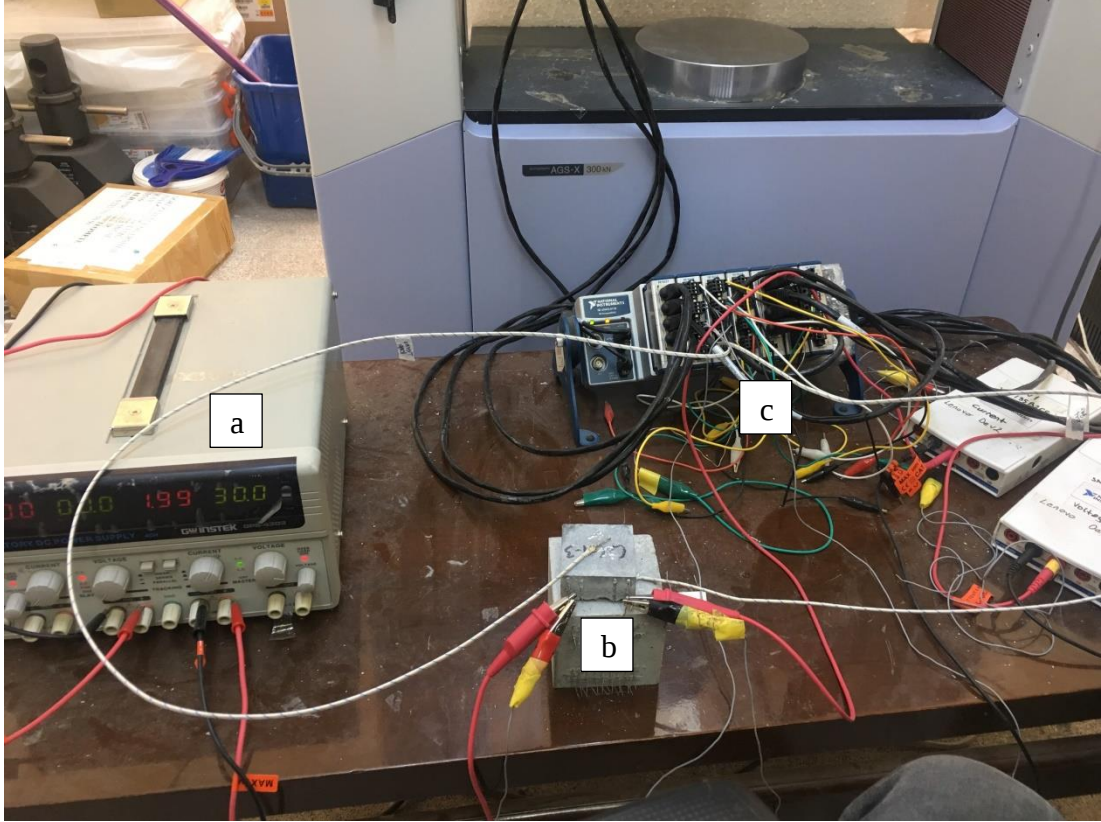
Şekil 2.26 SIFCON Döküm kalıbı (Kişisel arşiv, 2017)

Karışımlar hazırlanırken çimento, 3 seferde kaba konuldu. Akışkanlaştırıcı ve su ayrı bir kapta karıştırılarak çimento üzerine 3 seferde eklendi, her seferde karıştırıldı. ÇDKNT ile hazırlanan karışımda ise dispersiyon işlemi Şekil 2.25'teki gibi hazırlandı ve çimento üzerine 3 seferde eklendi. Hazırlanan karışımlar kalıba olabildiğince yavaş eklendi. Kalıplar karışım ile doluyken sarsma tablasında sarsıldı. Örnekler kalıptan 24 saat sonra alınıp su içerisinde 28 gün 20°C'de kür edildi(Şekil 2.27).



Şekil 2.27 a) Yaş karışım b) 28 gün sonra kürden alınmış örnekler c) SIFCON yaş karışım (Kişisel arşiv, 2017)

Örnekler 7. gün ve 35. günde test edildi. 7. gün deneylerinde, örnekler sabah kür tankından alınıp laboratuvar ortamında kurumaya bırakıldı ve öğleden sonra test edildi. Deney şeması Şekil 2.28 de verilmiştir.



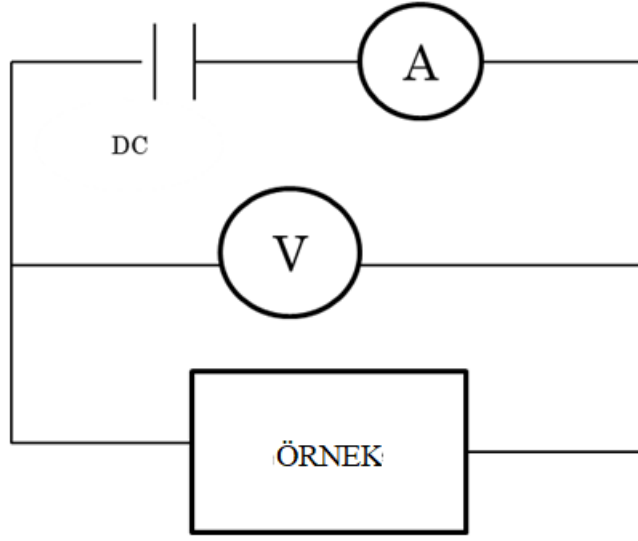
Şekil 2.28 Soldan sağa a)Doğru akım kaynağı b)Örnek C) Veri toplama cihazı (Kişisel arşiv, 2017)

Örnek doğru akım altında test edilmiştir. Örneğin üst ve alt orta noktalarında termokupller vardır ve NI cihazı ile saniyede bir veri alınarak test edilmiştir.

Örneklerin elektriksel direncini ölçmek için, devreden geçen akım (I_c) ve potansiyel fark (V_s) kaydedildi. Ohm yasası kullanılarak numunenin anlık elektrik direnci (R_s), formül 2.1'den hesaplanır.

$$R_s = (V_s) / (I_c) \quad (2.1)$$

Devre şeması Şekil 2.29'da verilmiştir.



Şekil 2.29 Devre şeması

Potansiyel fark (V_s), akım ve termokupllar için veri toplama sıklığı, saniyede 1(bir) veridir. SIFCON haricindeki tüm örneklerde doğru akım cihazı 30V ve 2A ile sınırlandırıldı. Bu örnekler 20 dakika boyunca test edildi. SIFCON örnekleri içerisinde bulunan çelik tellerin yoğun olması sebebi ile yüksek akım geçişlerinde hasara uğradığı gözlemlendi. 1A ile sınırlandırıldığında bir hasarın görülmemesi üzerine potansiyel fark 5V ile başlatılıp kademeli olarak arttırıldı. SIFCON 7. gün deneylerinde amaç 10 derecelik ısınmanın süresiydi. 35. gün deneylerinde ise 10 derecelik artış sağlandığında akımı 1.5A ile sınırlandırıp 20 dakika boyunca maksimum ulaşılan sıcaklık hesaplandı.

BÖLÜM ÜÇ

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, tez çalışmasında elde edilen bulgular sunulacak ve tartışılacaktır.

3.1 Isınma Testi Sonuçları

Isınma testi uygulamak amacı ile referans karışımı dâhil toplam 18 farklı karışım hazırlandı. Toplamda 46 örneğe ısıtma testi yapıldı. Isınma sonuçları kullanarak bir puanlama sistemi geliştirildi. (Eşitlik 3.1)

$$Puan = (\Delta T) + (10 \times Vt) - (Enerji \div 1000) \quad (3.1)$$

Puanlama sistemi oluşturulurken kullanılan parametreler ve şartlar aşağıdaki gibidir:

- ΔT : Sıcaklık artışı. (°C)
- Vt : Sıcaklık artış hızı. (°C/dakika)
- $Enerji$ (J): Deney süresince harcanan enerjidir. $Enerji = \int I^2 \times R dt$ formülü ile hesaplanmıştır. I: Anlık akım, R: Anlık direnç t:deney süresince geçen zaman (saniye)
- ΔT , bir ya da iki basamaklı bir sayıdır. Vt , 0 ile 1,2 arasında bir değere sahiptir. Enerji, üç basamaklı bir değerdir. Puanlamada bu değerler sıcaklık artışının mertebesine göre ölçeklendirildi. Puanlama sisteminin anlamlı sayılar olması için Vt 10 ile çarpıldı ve Enerji 1000 ile bölündü.

En iyi karışımlar seçilirken aşağıdaki kıstaslar temel alındı:

- En yüksek puanlı karışımlar
- Puanın standart sapmasının, ortalamasına yüzdesi düşük olmalıdır. Böylece test edilen üç örnek arasında tutarlılığın yüksek olduğu anlaşılır.

Isınma testi sonuçları Tablo 3.1'de sunulmuştur. Isınma testi yapılan tüm karışımlar etken içerik malzemelerine göre sıralanmıştır. Puanlama sisteminde

hesaplanan ortalama değerler, her karışıma ait üçer örneğin testi ile bulundu. Standart sapmaları hesaplandı. Tablo 3.1’de griye boyanmış karışımlar seçilen en iyi sonuç veren nano malzeme katkılı karışımlardır.



Tablo 3.1 Isınma testi yapılmış örneklerin tablosu

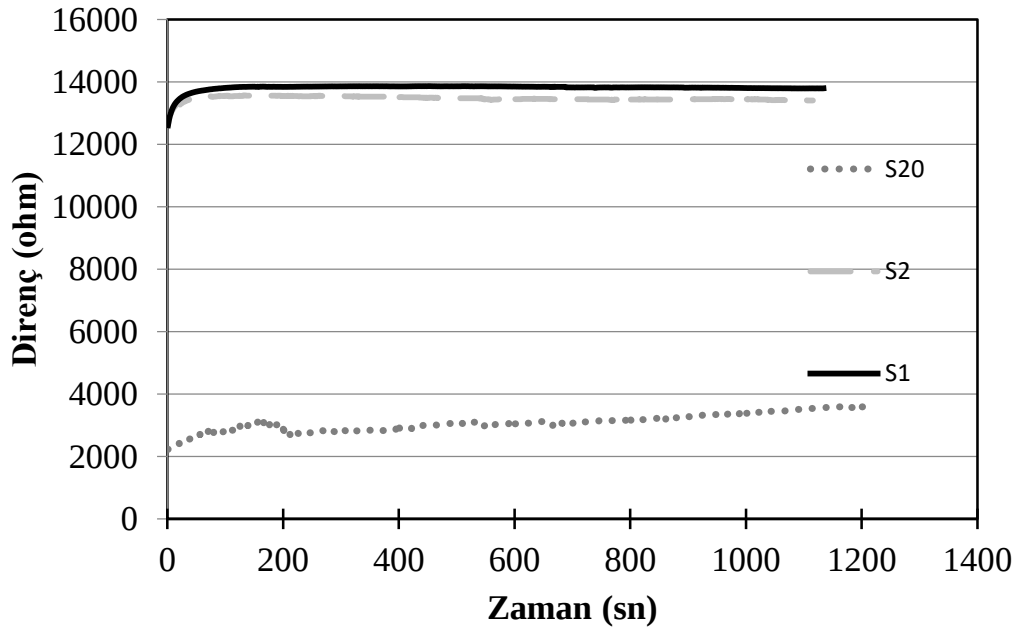
1.ÇDKNT içermeyen diğer iletken katkılı karışımlar								
ÖRNEK ADI VE İÇERİĞİ	ORT ΔT(°C)	STD ΔT (°C)	ORT Vt (°C/dak)	Std Vt (°C/dak)	ORT ENERJİ (J)	STD Enerji (J)	ORT PUAN	Std PUAN
S1 %1-6mm çelik lif 35. gün	0,14	0,19	0,01	0,00	133	21	0,15	0,17
S2 %2-6mm çelik lif 35. gün	0,60	0,63	0,01	0,00	80	4	0,53	0,63
S20 %20-6mm çelik lif 35. gün	0,11	0,00	0,00	0,00	11	0	0,10	0,00
Br5 %5 pirinç lif 7. gün	30,63	48,17	0,75	1,11	22781	37952	15,31	21,35
Br5 %5 pirinç lif 14. gün	0,14	0,16	0,14	0,16	821	1053	0,73	0,69
Br5 %5 pirinç lif 35. gün	0,40	0,02	0,02	0,01	42	23	0,70	0,06
Br1CCF %1 pirinç lif+4.5cm karbon lif 7.gün	20,40	8,52	1,13	0,48	8873	4044	22,85	10,32
Br1CCF %1 pirinç lif+4.5cm karbon lif 14.gün	8,13	1,26	0,39	0,06	2204	413	9,84	1,86
Br1CCF %1 pirinç lif+4.5cm karbon lif 35.gün	1,01	0,32	0,05	0,01	355	123	1,15	0,40
2.ÇDKNT ve diğer iletken malzeme katkılı karışımlar								
ÖRNEK ADI VE İÇERİĞİ	ORT ΔT(°C)	STD ΔT (°C)	ORT Vt (°C/dak)	Std Vt (°C/dak)	ORT ENERJİ (J)	STD Enerji (J)	ORT PUAN	Std PUAN
Referans R 7. gün	0,40	0,09	0,00	0,01	44,69	18,12	0,07	0,22
Referans R 35. gün	0,03	0,00	0,01	0,02	337,81	173,36	0,13	0,04
Cn0115Co1 %1bakır lif + %0.115ÇDKNT 7.gün	2,09	0,06	0,11	0,01	1075	165	2,08	0,19
Cn0115Co1 %1bakır lif + %0.115ÇDKNT 35.gün	1,00	0,12	0,05	0,01	333	29	1,16	0,18
Cn023Co1 %1bakır lif + %0.23ÇDKNT 7.gün	6,11	0,63	0,30	0,04	2631	147	6,47	1,05
Cn023Co1 %1bakır lif + %0.23ÇDKNT 35.gün	3,93	0,80	0,19	0,02	1417	167	4,43	0,89
Cn0345Co1 %1bakır lif + %0.345ÇDKNT 7. gün	11,37	1,42	0,56	0,08	4564	219	12,45	2,21
Cn0345Co1 %1bakır lif + %0.345ÇDKNT 35. gün	8,92	1,02	0,45	0,04	3017	245	10,39	1,12
Cn02Br5 %5pirinç lif + %0.2ÇDKNT 7. gün	7,64	0,95	0,39	0,04	3183	252	8,39	1,37
Cn02Br5 %5pirinç lif + %0.2ÇDKNT 35. gün	1,12	0,23	0,06	0,01	314	101	1,44	0,24
3.ÇDKNT katkılı Sifcon Dökümleri								
ÖRNEK ADI VE İÇERİĞİ	ORT ΔT(°C)	STD ΔT (°C)	ORT Vt (°C/dak)	Std Vt (°C/dak)	ORT ENERJİ (J)	STD Enerji (J)	ORT PUAN	Std PUAN
Sif 41,3 gr çelik lif 7. gün	7,77	1,85	0,45	0,21	3353	849	8,92	3,75
Sif 41,3 gr çelik lif 35. gün	8,56	1,88	0,39	0,27	4672	701	7,78	3,83
SifCn0046 41,3 gr çelik lif+ %0,046 ÇDKNT 7. gün	10,81	2,58	0,73	0,13	4032	412	14,05	3,59
SifCn0046 41,3 gr çelik lif+ %0,046 ÇDKNT 35. gün	21,47	4,01	0,87	0,16	8908	2752	21,22	5,31
SifCn0069 41,3 gr çelik lif+ %0,069 ÇDKNT 7. gün	10,53	2,11	0,75	0,16	3473	97	14,58	3,61
SifCn0069 41,3 gr çelik lif+ %0,069 ÇDKNT 35. gün	18,05	4,16	0,93	0,26	8716	1554	18,66	5,17
SifCn0115 41,3 gr çelik lif+ %0,115 ÇDKNT 7. gün	11,57	3,82	0,80	0,30	3280	261	16,29	6,50
SifCn0115 41,3 gr çelik lif+ %0,115 ÇDKNT 35. gün	11,12	4,38	0,52	0,15	5912	2030	10,39	3,83
SifCn02 41,3 gr çelik lif+ %0,2 ÇDKNT 7. gün	12,63	5,98	0,74	0,36	3717	322	16,32	9,50
SifCn02 41,3 gr çelik lif+ %0,2 ÇDKNT 35. gün	13,37	4,53	0,74	0,18	6542	2199	14,24	4,18
SifCn025 41,3 gr çelik lif+ %0,25 ÇDKNT 7. gün	10,88	5,10	0,67	0,43	3637,91	1069,27	13,96	9,59
SifCn025 41,3 gr çelik lif+ %0,25 ÇDKNT 35. gün	11,88	3,22	0,54	0,13	5569	1612	11,75	2,78
NOT: '%' işareti hacimsel katkı oranını temsil etmektedir.								
NOT: Kalın sayılar 35. gün deneylerini temsil etmektedir.								

Tablo 3 (üç) bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde ÇDKNT içermeyen diğer iletken malzeme katkılı karışımlar yer almaktadır. İkinci bölümde ÇDKNT ve iletken lif içeren karışımlar yer almaktadır ve üçüncü bölümde ÇDKNT katkılı SIFCON karışımları yer almaktadır.

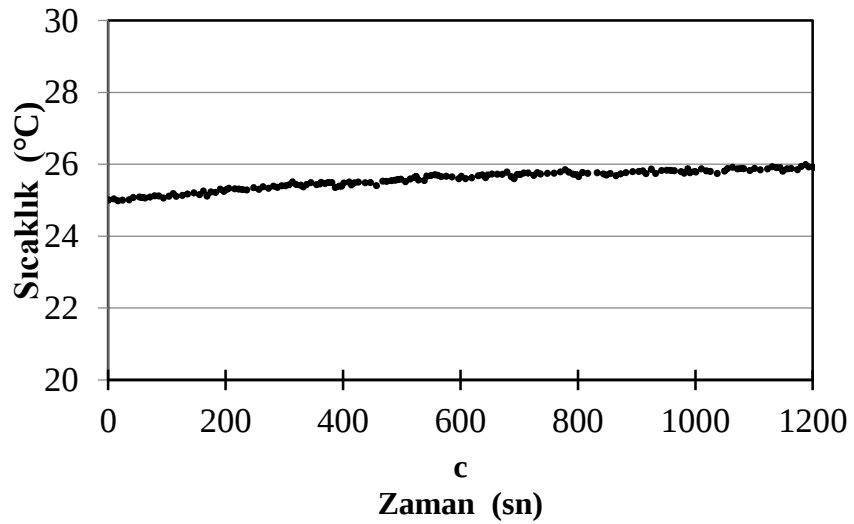
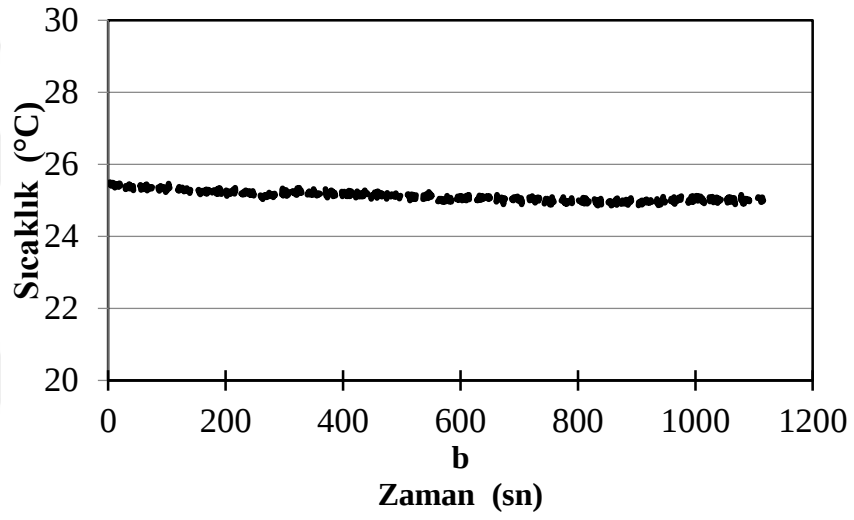
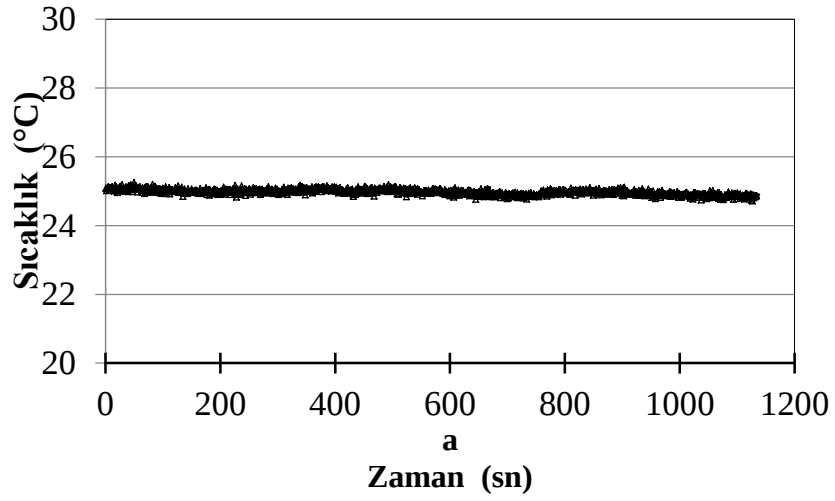
3.1.2 ÇDKNT içermeyen karışımların analizi

Tablonun 3.1'in ilk bölümünde yer alan karışımlar ÇDKNT içermeyen fakat diğer iletken malzemeler ile hazırlanmış karışımlardır. Bu karışımlar S1 (%1, 6mm çelik lif), S2 (%2, 6mm çelik lif), S20 (%20, 6mm çelik lif), Br5 (%5, pirinç lif) ve Br1CCF (%1 pirinç lif ve 4,5 cm uzunluğunda sürekli karbon lif) karışımlarıdır.

6 mm çelik lif katkılı S1 (%1 çelik lif), S2 (%2 çelik lif) ve S20 (%20 çelik lif) karışımlarının ısınma deneyleri 35. gün yapılmıştır. Her üç örnekte de bir ısınma olmadı. Bu karışımların direnci çok yüksek olduğundan yeterli bir akım geçişi olmadı ve ısınma da gerçekleşmedi. Şekil 3.1 ve 3.2'de zamana göre direnç ve sıcaklık grafikleri sunulmuştur.



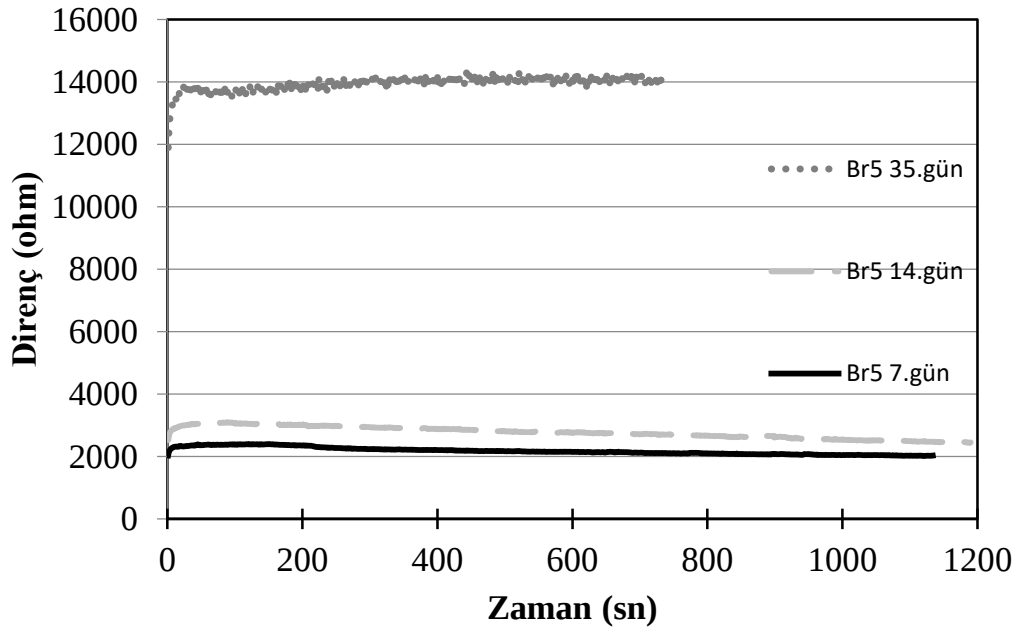
Şekil 3.1 6 mm çelik lif katkılı S1 (%1), S2 (%2), S20 (%20) karışımlarının zamana karşı direnç grafiği



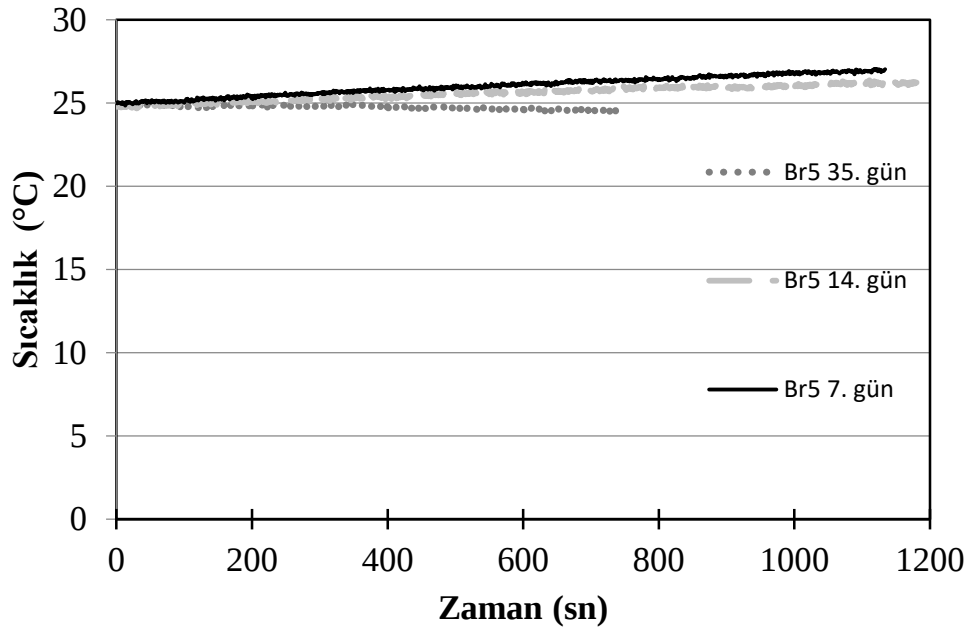
Şekil 3.2 6 mm çelik lif katkılı S1 (%1), S2 (%2), S20 (%20) karışımlarının zamana karşı sıcaklık artışı grafiği a) S1 b) S2 c) S20

Şekil 3.1 de 6 mm çelik lif katkıli karışımların dirençleri görülmektedir. S1 (%1) ve S2 (%2) karışımlarının direnci 13700 ohm ile 14000 ohm ölçüldü. S20 (%20) karışımının direnci ise 2200 ile başlayıp deney süresince 3800 ohm'a kadar yükseldi ve deney süresince 1 derecelik artış gösterdi. S1 (%1) ve S2 (%2) 30V potansiyel fark altında yeterli bir akımın geçemeyeceği kadar yüksek dirençlere sahip olduğundan bir sıcaklık artışı olmadı. S20 (%20) karışımı ise diğer çelik lif (6mm) katkıli karışımlara göre daha düşük dirence sahiptir ve 1 derecelik sıcaklık artışı görüldü. (bakınız Şekil 3.2).

Pirinç lif katkıli karışım olan Br5 (%5) karışımının ısınma deneyleri 7, 14 ve 35. gün yapıldı. Zamana göre direnç ve sıcaklık artışı grafikleri Şekil 3.3 ve 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Br5 (%5 pirinç lif) grafiğinin zamana göre direnç grafiği

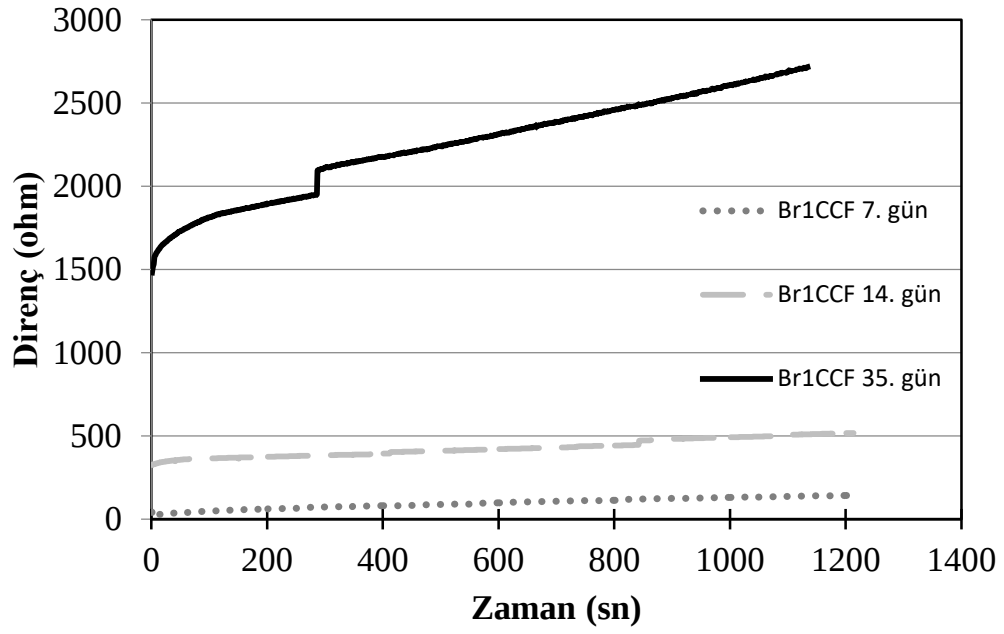


Şekil 3.4 Br5 (%5 pirinç lif) grafiğinin zamana göre sıcaklık artışı grafiği

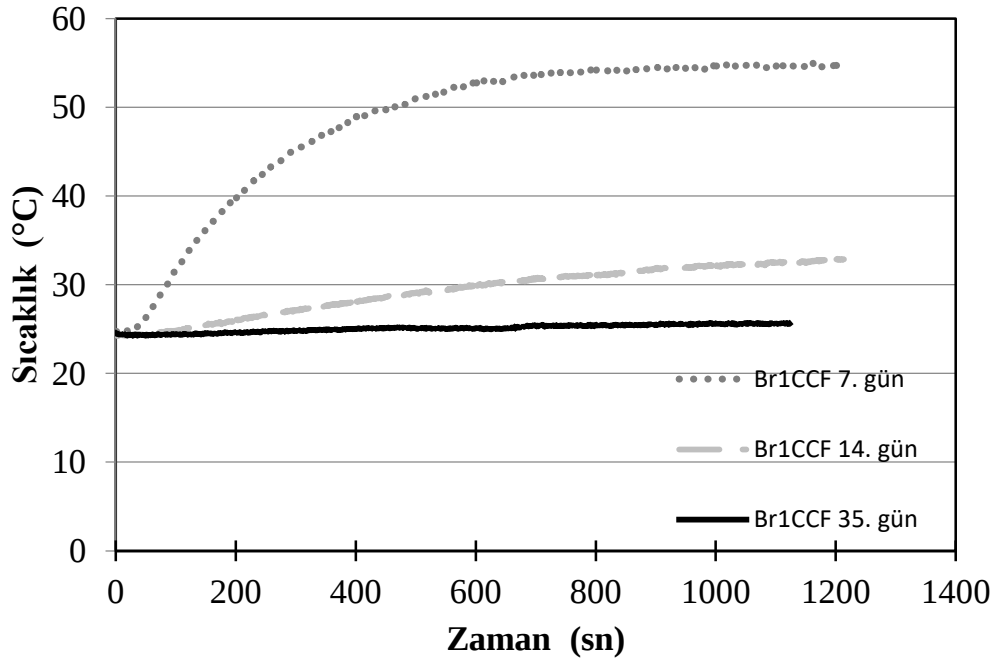
Br5 karışımının 7, 14 ve 35. gün deneylerinde direncin yüksek olmasından dolayı belirgin bir ısınma gözlenmedi (bakınız Şekil 3.3 ve 3.4) .

7. gün deney yapılan 3 (üç) örnekten yalnızca birinde ısınma oldu fakat diğer iki örnekte yeterli bir akım geçişi olmadı ve ısınma gerçekleşmedi. Isınan tek örnek (Br5_2) 14. gün ve 35. gün deneylerinde ısınmamıştır.

Br1CCF (%1 pirinç lif+4,5 cm karbon lif) karışımının zamana göre direnç ve sıcaklık artışı grafikleri Şekil 3.5 ve 3.6'da sunulmuştur.



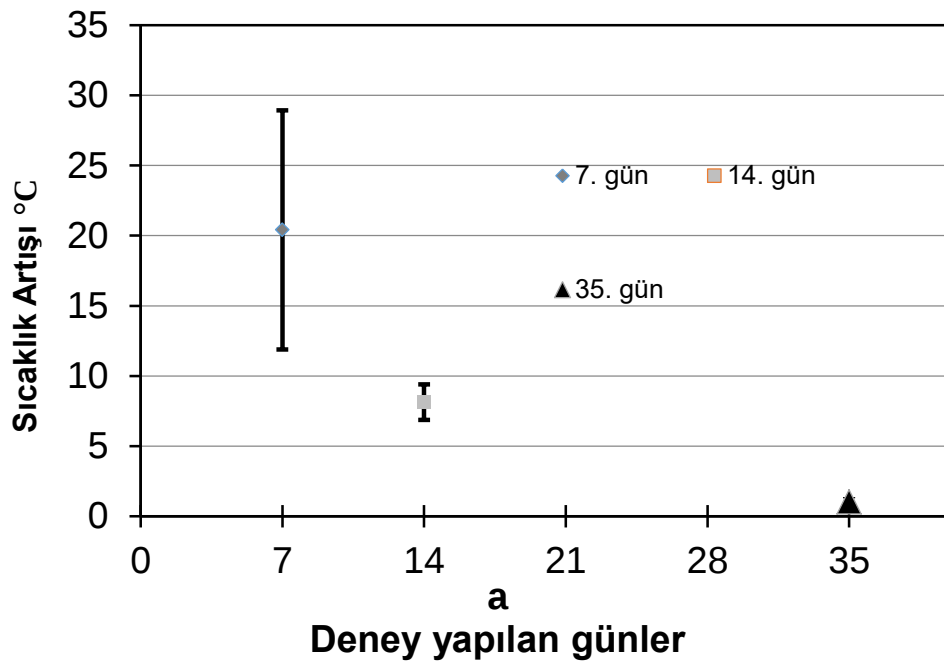
Şekil 3.5 Br1CCF (%1 pirinç lif+4,5cm karbon lif) karışımının zamana göre direnç grafiği



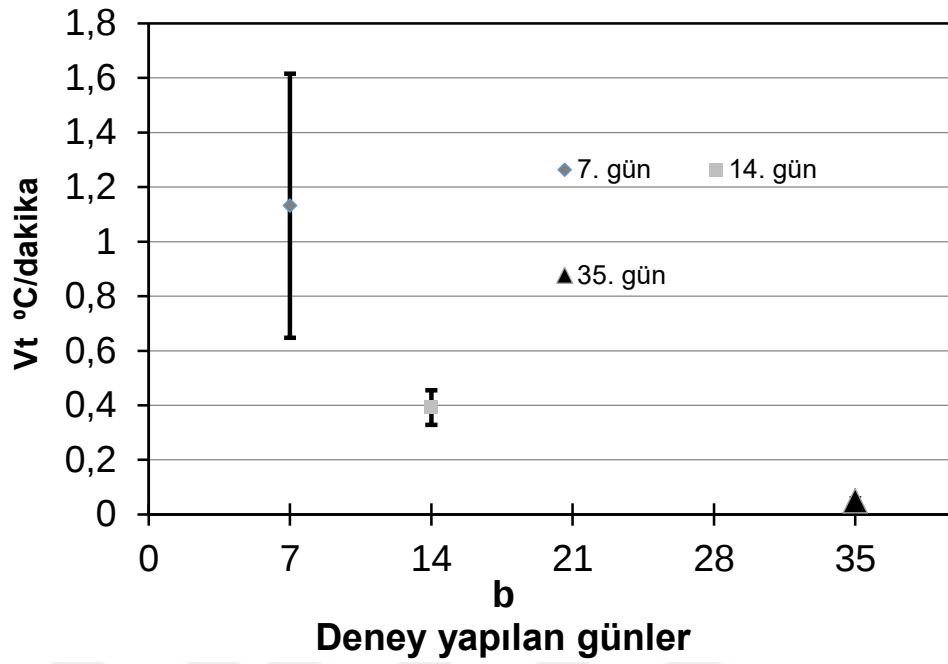
Şekil 3.6 Br1CCF (%1 pirinç lif+4,5cm karbon lif) karışımının zamana göre sıcaklık artışı grafiği

Isınma deneyinin başında, Br1CCF karışımının 7. gün direnci yaklaşık 30 ohm ölçüldü (bakınız Şekil 3.5). Deney süresince dirençte artış meydana geldi ve 20 dakika sonunda 142 ohm olarak ölçüldü ve sıcaklığın 25 °C'den 54°C'ye çıktığı

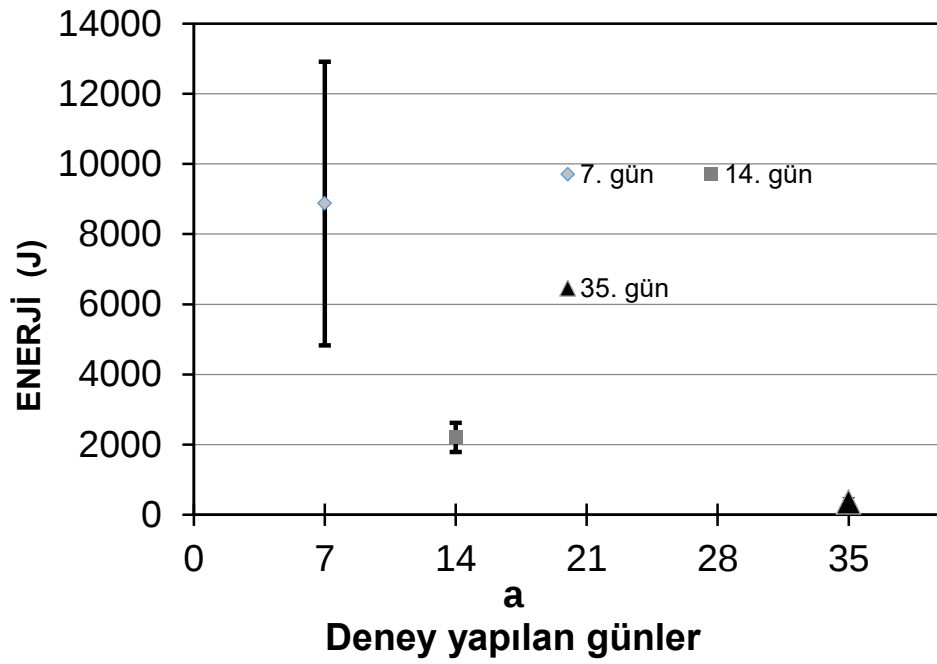
gözlendi (bakınız Şekil 3.6). Deneyin 7. dakikasında karbon liflerin bakır elektrotlar ile temas ettiği bölgelerde kıvılcım ve duman çıkışları gözlendi ve karbon lifler yandı. Sıcaklık artışı sabit olarak kaldı. 14. gün deneyinde direncin 350-500 ohm arasında ölçüldü ve deney süresince 7°C derecelik bir artış gözlendi. 35. gün deneyinde direnç 1500-2700 ohm arasında ölçüldü ve sıcaklık artışı olmadı. Br1CCF (%1 pirinç lif + 4,5 cm karbon lif) karışımının sıcaklık artışı, sıcaklık artış hızı, harcanan enerji ve puan grafikleri Şekil 3.7 ve 3.8’de gösterilmiştir.



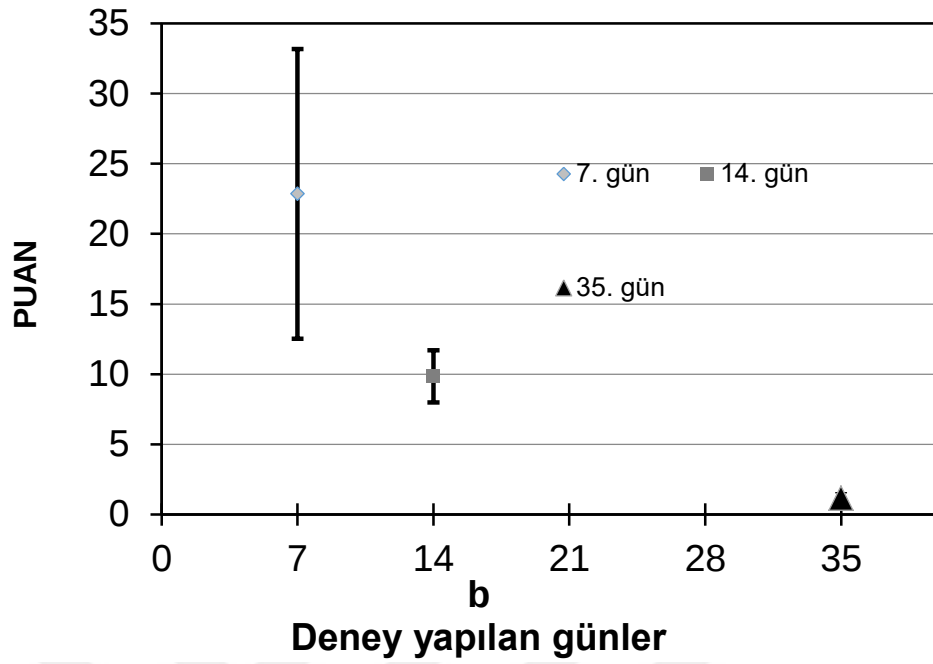
Şekil 3.7 Br1CCF (%1 pirinç lif+4,5 cm karbon lif) karışımının a) Sıcaklık artışı (ΔT) b) Sıcaklık artış hızı (V_t) grafikleri



Şekil 3.7 devamı



Şekil 3.8 Br1CCF (%1 pirinç lif+4,5 cm karbon lif) karışımının a) Enerji b) Puan grafikleri



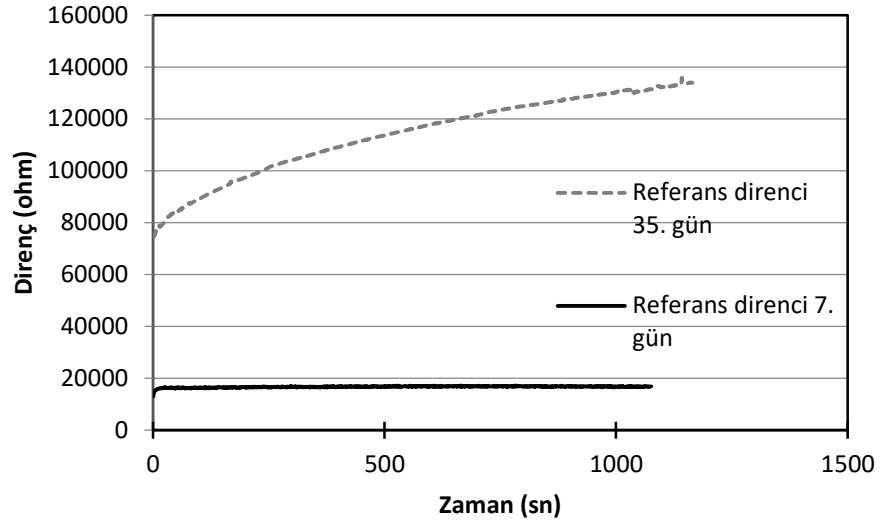
Şekil 3.8 devamı

Br1CCF (%1 pirinç lif+4,5 cm karbon lif) karışımı 7. gün testinde iyi bir performans sergilemesine karşın hata payı büyüktür. Karbon liflerin yanması büyük standart sapmalara ve 14. ile 35. günde performans kaybına neden oldu. Sıcaklık artışı, sıcaklık artış hızı, enerji ve puan düştü. (bakınız Şekil 3.7, Şekil 3.8).

3.1.3 ÇDKNT katkı karışımların analizi

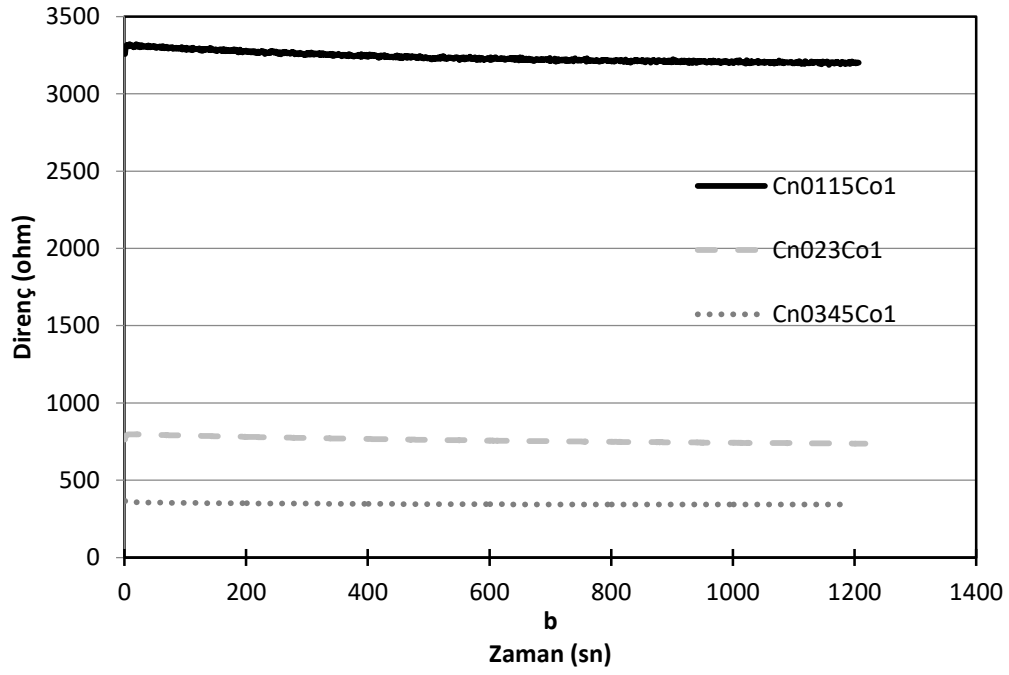
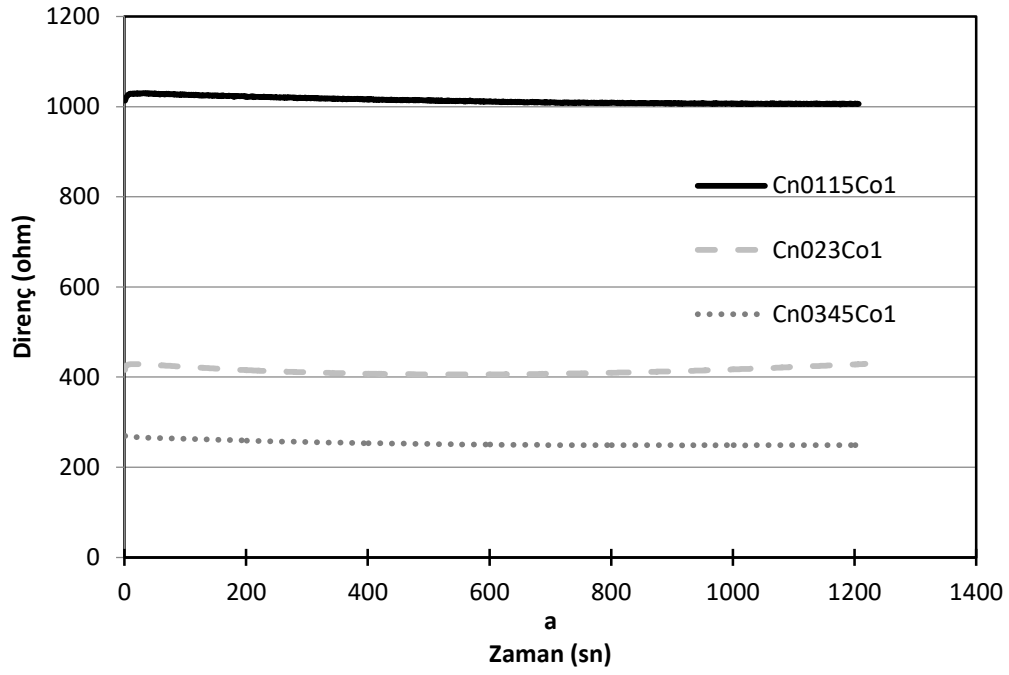
Çok duvarlı karbon nanotüplü (ÇDKNT) karışımlar iki farklı yöntem ile hazırlanmıştır. Tablo 3.1'in ikinci kısmında referans (Hiçbir iletken malzeme içermeyen) karışımı dâhil olmak üzere ÇDKNT ile bakır lif[Cn0115Co1 (%0,115 ÇDKNT+%1 bakır lif)- Cn023Co1 (%0,23 ÇDKNT+%1 bakır lif)- Cn0345Co1 (%0,345 ÇDKNT+%1 bakır lif)] ve ÇDKNT ile pirinç lif katkılı[Cn02Br5 (%0,2 ÇDKNT+%5 pirinç lif)] karışımları bulunmaktadır. Referans karışımı (R) ve ÇDKNT ile bakır lif karışımları (CnCo) kür sırasında pürüzsüz ve düzgün bir yapıya sahiptiler fakat Cn02Br5 karışımı kür sırasında çatlamaya başladı. Dökümü yapılan diğer iki ÇDKNT ile pirinç lif katkılı karışım ise kür sırasında dağıldılar.

Referans karışımının ve ÇDKNT ile bakır lif katkılı karışımların zamana göre direnç değişimleri Şekil 3.9 ve 3.10’da gösterilmiştir. Sıcaklığın zamana bağlı değişim grafiği ise Şekil 3.11’de görülmektedir.

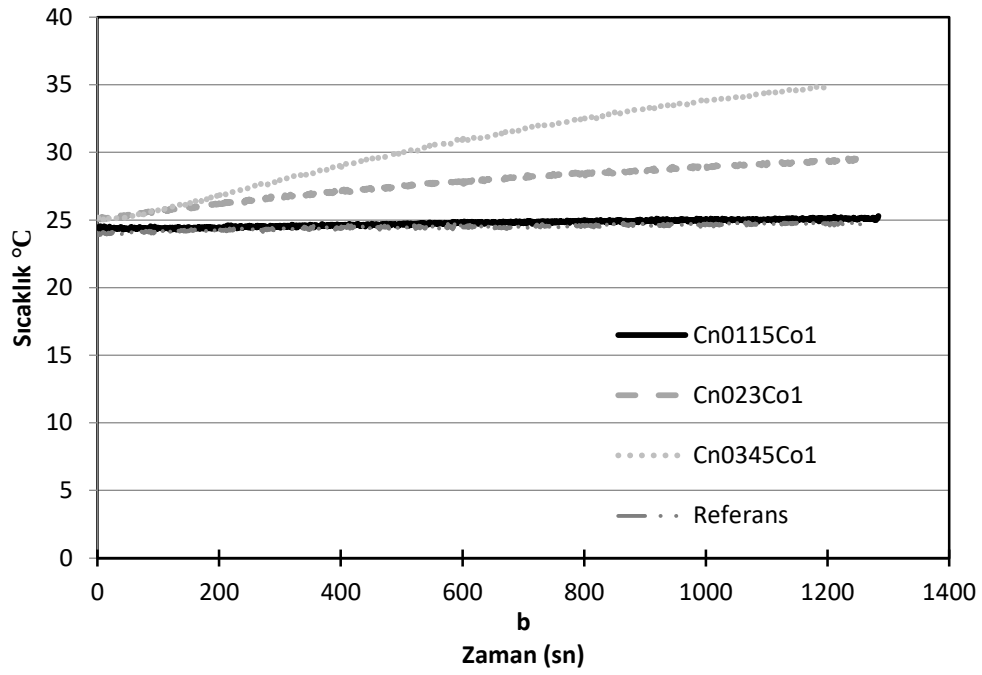
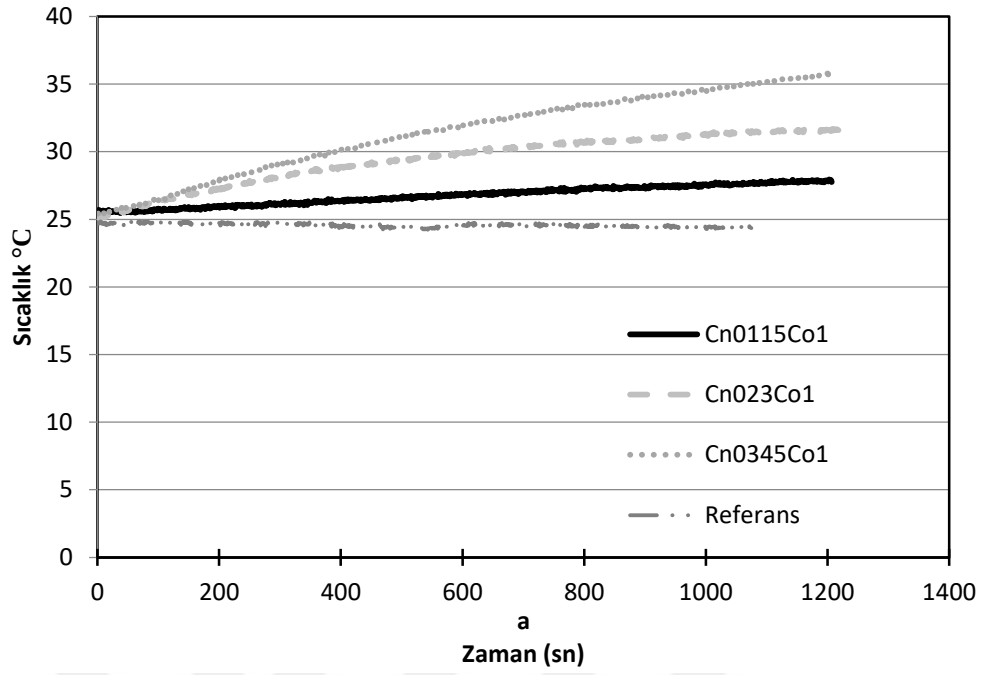


Şekil 3.9 Referans karışımının zamana göre direnci (R)

Şekilde görüldüğü gibi hiçbir iletken katkı malzemesi olmayan bir karışımın direnci ortalama 7. Günde 16600 ohm civarındadır. 35. günde ise karışım oda sıcaklığında kurduğundan direncinin çok daha yüksek olduğunu görmekteyiz. Bu kadar yüksek dirençli bir karışımın içinden yeterli bir akım geçişi olamayacağından ısınma gözlenmemiştir.



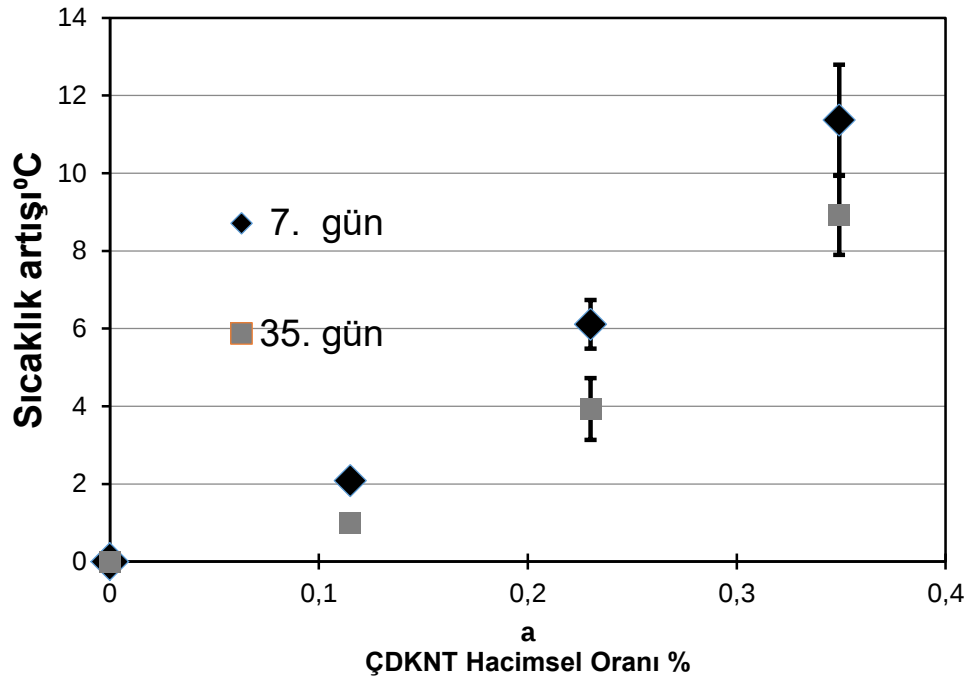
Şekil 3.10 ÇDKNT ve bakır lif katkılı [Cn0115Co1 (%0,115 ÇDKNT+%1 bakır lif)- Cn023Co1 (%0,23 ÇDKNT+%1 bakır lif)- Cn0345Co1 (%0,345 ÇDKNT+%1 bakır lif)] karışımların zamana göre direnç grafikleri a) 7. gün b) 35. gün



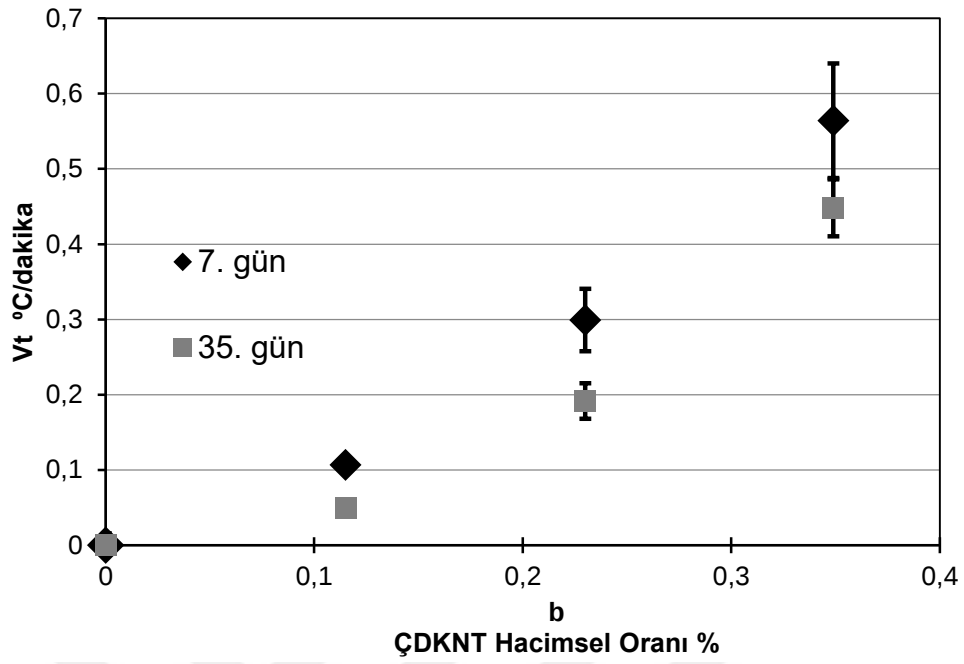
Şekil 3.11 Referans karışımı ve ÇDKNT + bakır lif katkılı [Cn0115Co1 (%0,115 ÇDKNT+%1 bakır lif)- Cn023Co1 (%0,23 ÇDKNT+%1 bakır lif)- Cn0345Co1 (%0,345 ÇDKNT+%1 bakır lif)] karışımların zamana göre sıcaklık artışı grafikleri a) 7. gün b) 35. gün

ÇDKNT oranı arttıkça karışımların direncinde azalma oldu. Hacimsel olarak %0,345 ÇDKNT içeren karışımın direnci 7 ve 35. gün deneyinde sırası ile 260-345 ohm ölçüldü (bakınız Şekil 3.10). Şekil 3.11’de referans karışımında bir ısınma

olmadı ÇDKNT oranı arttıkça karışımların sıcaklık artışında yükselme oldu. En düşük dirence sahip olan Cn0345Co1 (%0,345 ÇDKNT+%1 bakır lif) karışımı deney süresince 11 °C arttı. Referans karışımının (R) ve ÇDKNT'li karışımların sıcaklık artışı, sıcaklık artış hızı, harcanan enerji ve puan grafikleri Şekil 3.12 ve 3.13'de verilmiştir.

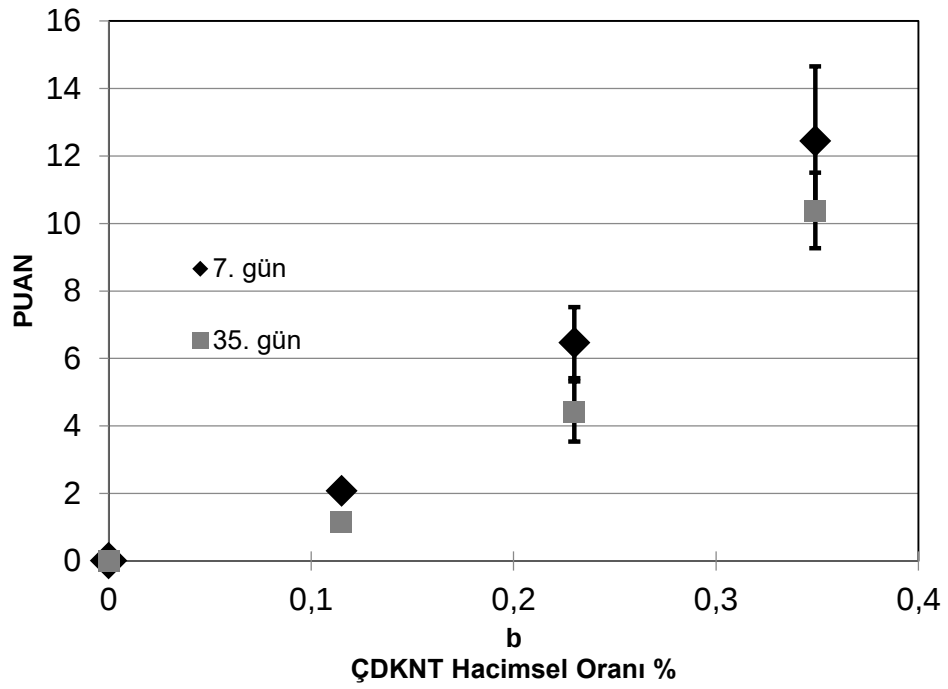
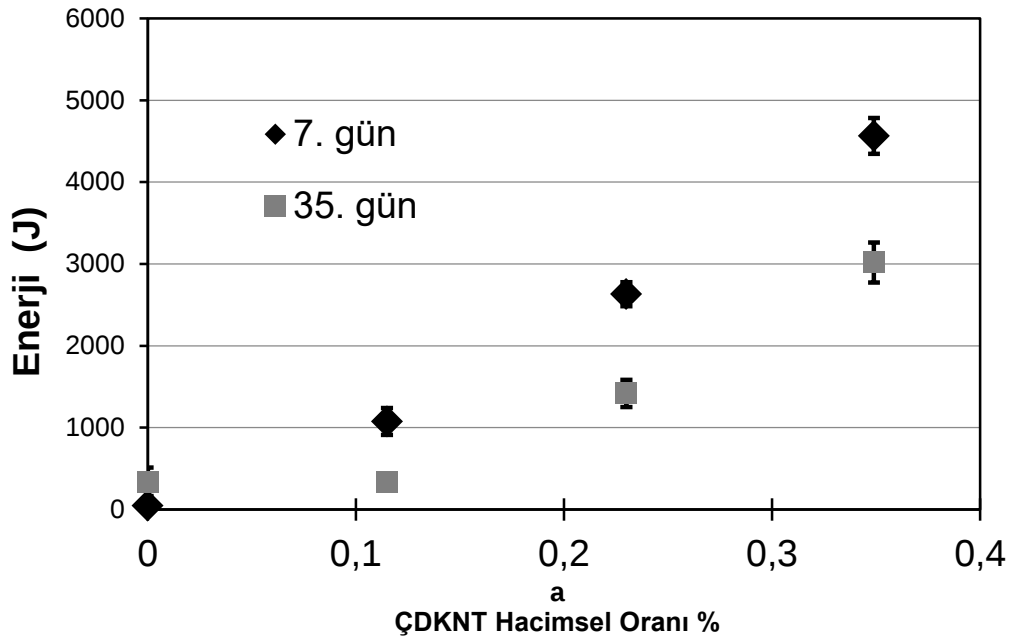


Şekil 3.12 Referans karışımı ve ÇDKNT + bakır lif katkıları [Cn0115Co1 (%0,115 ÇDKNT+%1 bakır lif)- Cn023Co1 (%0,23 ÇDKNT+%1 bakır lif)- Cn0345Co1 (%0,345 ÇDKNT+%1 bakır lif)] karışımların ÇDKNT oranına göre a) Sıcaklık artışı (ΔT) b) Sıcaklık artış hızı (V_t) grafikleri



Şekil 3.12 devamı

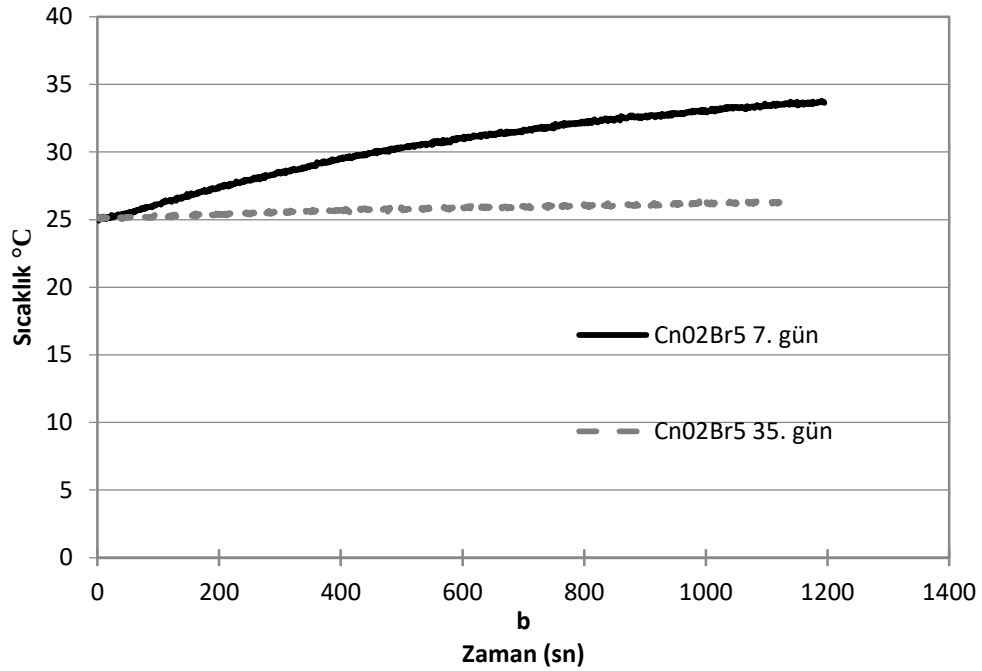
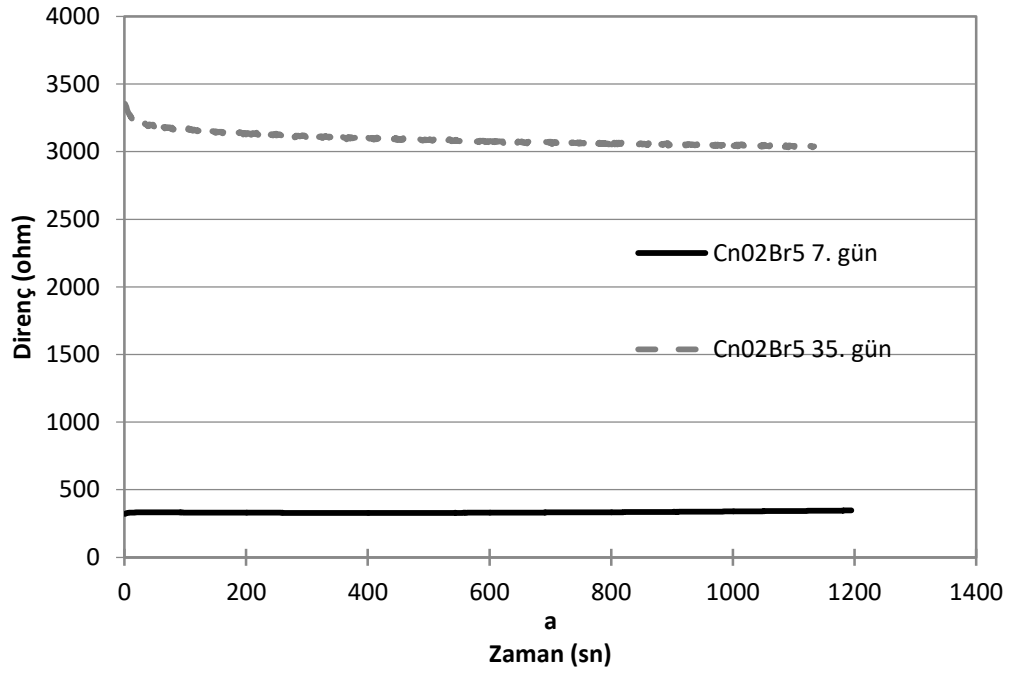
ÇDKNT oranı arttıkça sıcaklık artışı ve sıcaklık artış hızı arttı (bakınız Şekil 3.12). 7. ve 35. günlerde sıcaklık artışı ve sıcaklık artış hızı benzer sonuçlar verdi. 7. günde karışımların 35. güne göre daha fazla ısınmasının nedeni, matris içinde serbest suyun daha fazla olmasıdır bu sayede 7. günde karışımların direnci daha düşük olduğundan akımın daha fazla geçmiştir. Bu karışımların enerji ve puan grafikleri Şekil 3.13’de verilmiştir.



Şekil 3.13 Referans karışımı ve ÇDKNT + bakır lif katkılı [Cn0115Co1 (%0,115 ÇDKNT+%1 bakır lif)- Cn023Co1 (%0,23 ÇDKNT+%1 bakır lif)- Cn0345Co1 (%0,345 ÇDKNT+%1 bakır lif)] karışımların ÇDKNT oranına göre a) Enerji b) Puan grafikleri

ÇDKNT ve bakır lif katkılı karışımların enerji ve puan grafiklerinde ÇDKNT oranına göre bir artış oldu (bakınız Şekil 3.13). Genel olarak sonuçlarda hata payının az ve artışın tutarlı olduğu görüldü.

Pirinç lif ve ÇDKNT karışımı 3 farklı ÇDKNT oranı ile döküldü fakat 2 karışım kür sırasında dağıldı ve Cn02Br5 (%0,2 ÇDKNT+%5 pirinç lif) karışımında belirgin çatlaklar görüldü. Şekil 3.14'de zamana göre direnç ve sıcaklık artışı grafikleri verildi.

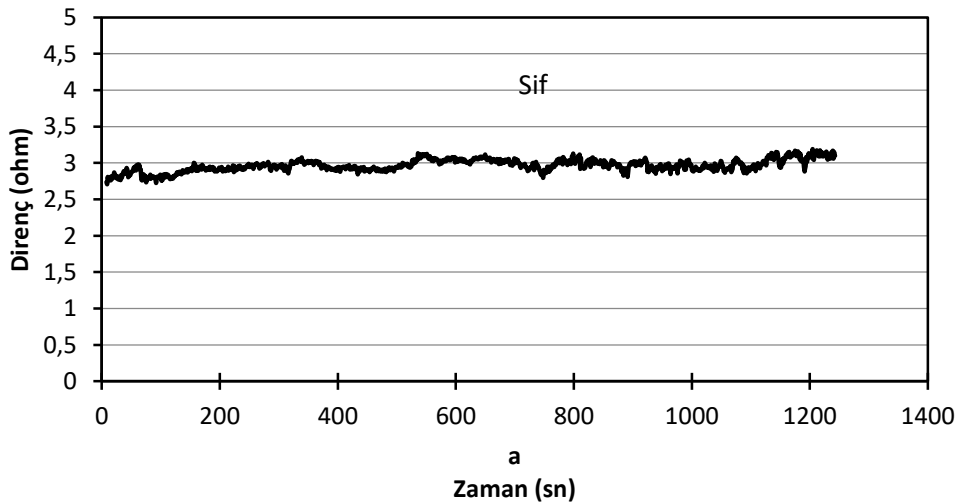


Şekil 3.14 Cn02Br5 (%0,2 ÇDKNT+%5 pirinç lif) karışımının zamana göre a) Direnç b) sıcaklık artışı grafikleri

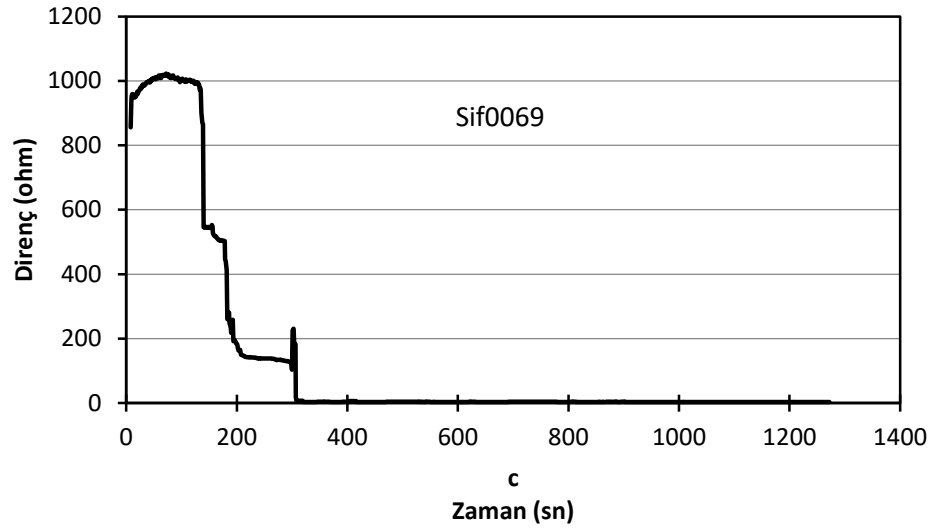
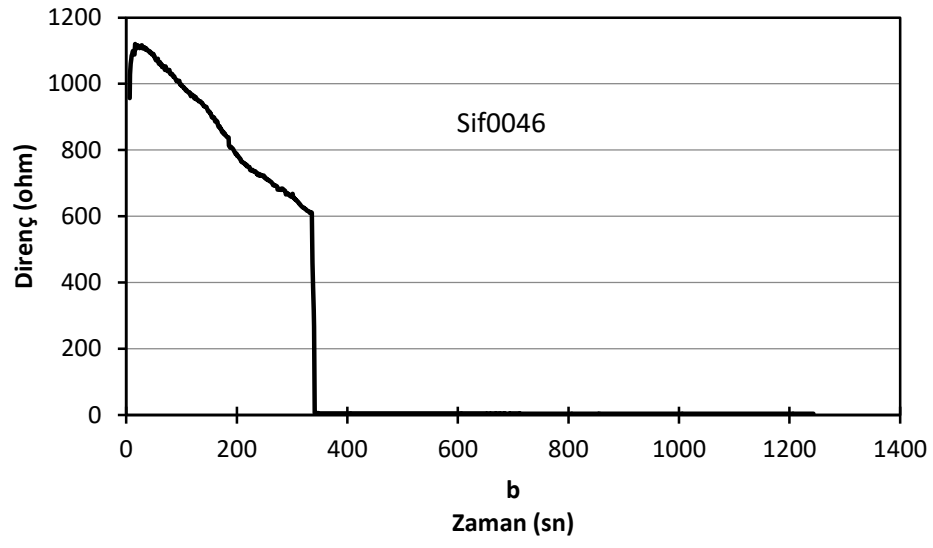
Cn02Br5 (%0,2 ÇDKNT+%5 pirinç lif) karışımının 7. ve 35. günlerinde direnç artışı genelde çatlak açıklığından kaynaklanmıştır. Dirençteki bu artış, ısınma grafiğini de olumsuz etkilemiştir. 7. günde ısınan karışım 35. günde ısınmamıştır. Tablo 3.1’de sıcaklık artışı, sıcaklık artış hızı, enerji ve puan verilmiştir.

Tablo 3.1’de Cn02Br5 (%0,2 ÇDKNT+%5 pirinç lif) karışımının 7. gün ve 35. gün değerleri görülmektedir. Karışımın puan ve puan parametreleri incelendiğinde 7. gün ısınan karışımın 35. gün yeterli akım geçişi olmadığından ısınmadığı görüldü. Bunun nedeni çatlak açıklığının artmasıdır (Bakınız Tablo 3.1).

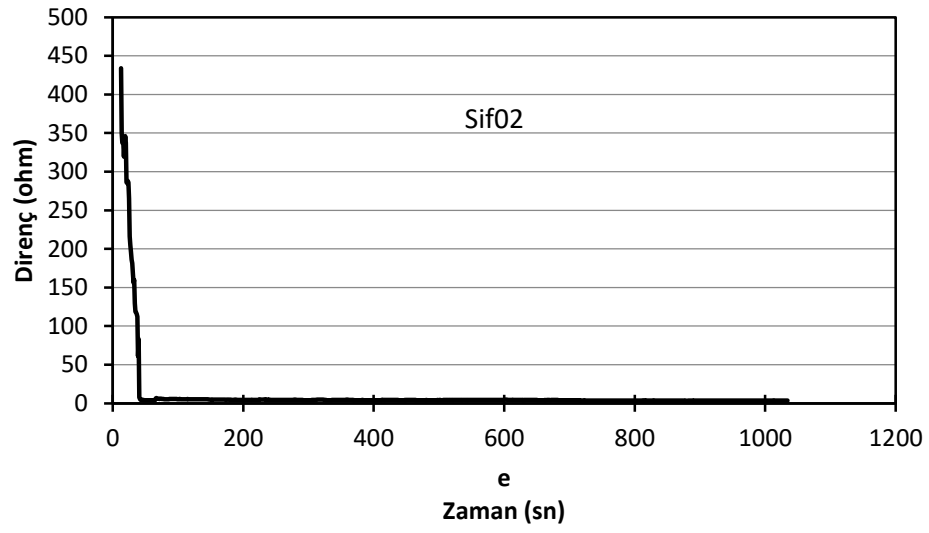
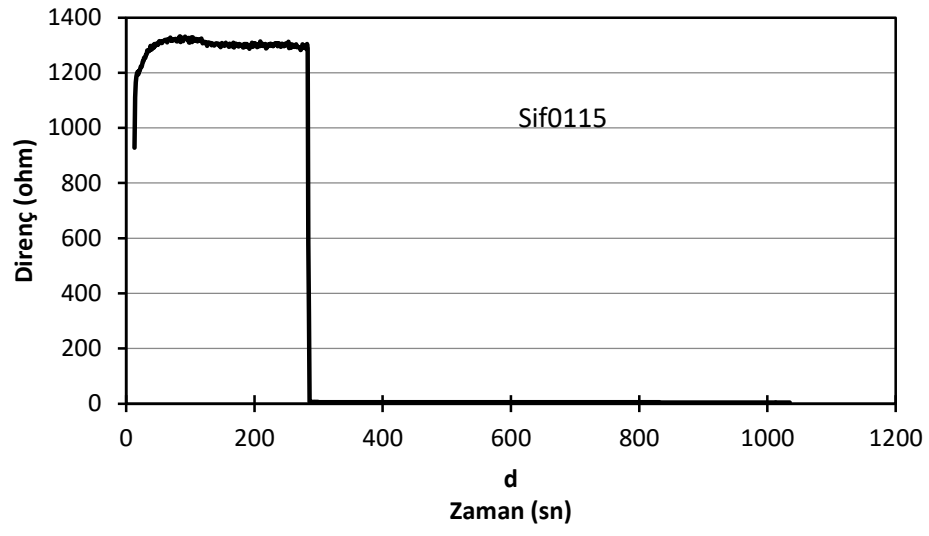
Tablo 3.1’in üçüncü kısmında SIFCON karışımları (Sif,Sif0046,Sif0069,Sif0115,Sif02 ve Sif025) bulunmaktadır. Bu karışımlar sırası ile yüzde (%), 0-0,046-0,069-0,115-0,2-0,25 oranında hacimce ÇDKNT içermektedir. SIFCON karışımları hazırlanırken döküm kalıbına her seferde 41,3 gram 13 mm çelik lif yerleştirilmiştir (Bakınız Şekil 2.26). 13mm çelik liflerin etkisi ile tüm karışımların direnci düştü. Deney öncesi yapılan direnç ölçümlerinde ortalama olarak direnci 5 ohm ölçülen bu karışımlarda, 7. gün deneyinde 5V, 1A ile test edildi. SIFCON karışımlarının 7. gün zamana göre direnç grafikleri Şekil 3.15’te verilmiştir.



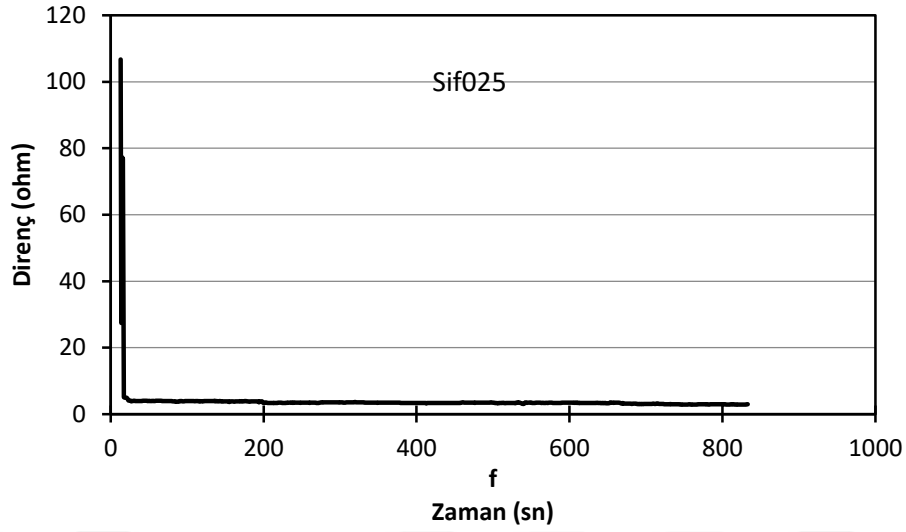
Şekil 3.15 SIFCON karışımlarının 7. gün zamana göre direnç grafikleri a) Sif b) Sif0046 c) Sif0069 d) Sif0115 e) Sif02 f) Sif025



Şekil 3.15 devamı



Şekil 3.15 devamı

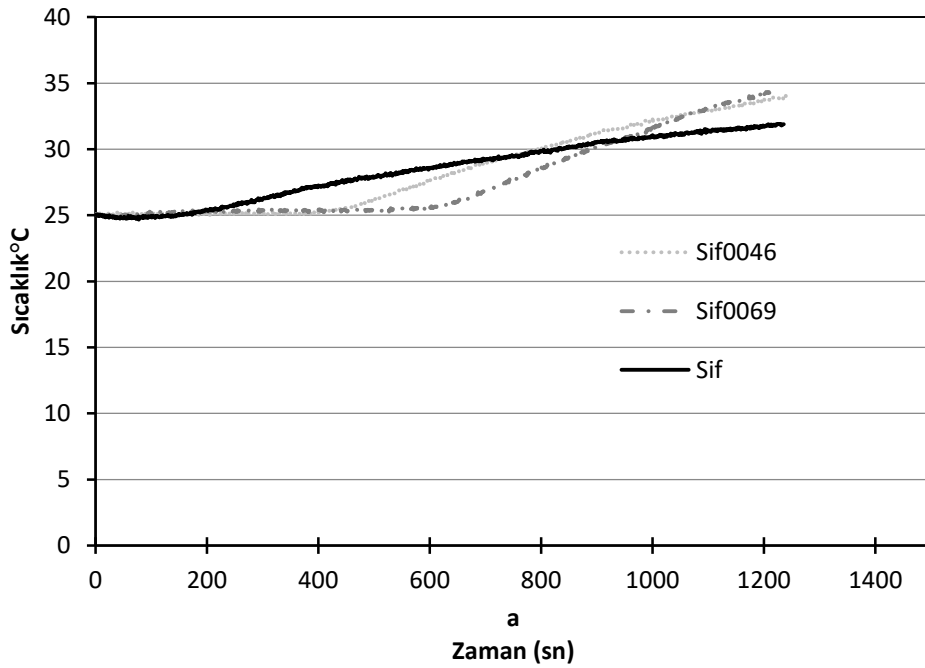


Şekil 3.15 devamı

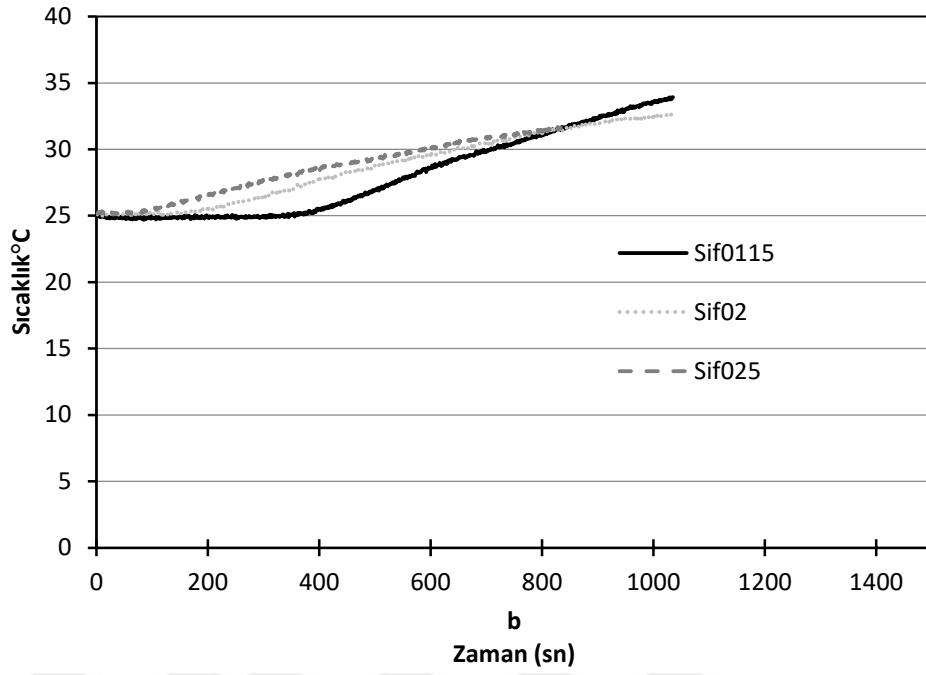
SIFCON karışımlarının 7. gün zamana göre sıcaklık grafikleride Şekil 3.16'da verilmiştir.

SIFCON karışımının referans deneyinde akım 1A potansiyel fark ise 5V ile sınırlı deneye başlandı. 5V potansiyel fark verildiğinde akım 0,72A den başlayıp 10 saniye içinde 1A e çıktı. Direnç 3 ohm ölçüldü (Bakınız Şekil 3.15 a). Ortalama sıcaklık 10 derece arttığında deney sonlandı (Bakınız Şekil 3.16 a). Sif0046, deneyinde 5V ile deneye başlandı ve 4miliamper akım geçişi oldu. Bu akım geçişi altında direnç 1200 ohm'dan 600 ohm'a kadar düştü fakat sıcaklık değişimi olmadı. Potansiyel fark arttırıldığında direnç 20 saniye içinde (312. ve 337. saniyeleri arasında) 4-5 ohm'a düştü (Bakınız Şekil 3.15 b). Isınma bu andan itibaren artmaya başladı. Ortalama sıcaklık 10 derece arttığında deney sonlandırıldı (Bakınız Şekil 3.16 b). Sif0069, deneyinde 5V ile deneye başlandı ve 4miliamper akım geçişi oldu. Bu akım geçişi altında direnç 1000 ohm'dan 140 ohm'a kadar düştü fakat sıcaklık değişimi olmadı. Potansiyel fark arttırıldığında direnç 10 saniye içinde (301. ve 307. saniyeleri arasında) 4-5 ohm'a düştü (Bakınız Şekil 3.15 c). Isınma bu andan itibaren artmaya başladı. Ortalama sıcaklık 10 derece arttığında deney sonlandırıldı (Bakınız Şekil 3.16 c). Sif0115, deneyinde 5V ile deneye başlandı ve 2miliamper akım geçişi oldu. Bu akım geçişi altında direnç ilk 40 saniye 1000 ohm'dan 1330 ohm'a kadar çıktı. Yaklaşık 4 dakika boyunca yeterli akım geçişi olmadığından sıcaklık artışı olmadı.

Potansiyel fark arttırıldığında direnç 10 saniye içinde (276. ve 283. saniyeleri arasında) 6 ohm'a düştü (Bakınız Şekil 3.15 d). Isınma bu andan itibaren artmaya başladı. Ortalama sıcaklık 10 derece arttığında deney sonlandırıldı (Bakınız Şekil 3.16 d). Sif02, deneyinde 5V ile deneye başladı. 430 ohm ölçülen ilk direnç 40 saniye içinde kendiliğinden 7 ohm'a kadar düştü (Bakınız Şekil 3.15 e). Ortalama sıcaklık 10 derece arttığında deney sonlandırıldı (Bakınız Şekil 3.16 e). Sif025, deneyinde 5V ile deneye başladı. 105 ohm ölçülen ilk direnç 20 saniye içinde kendiliğinden 5 ohm'a kadar düştü (Bakınız Şekil 3.15 f). Ortalama sıcaklık 10 derece arttığında deney sonlandırıldı (Bakınız Şekil 3.16 f).

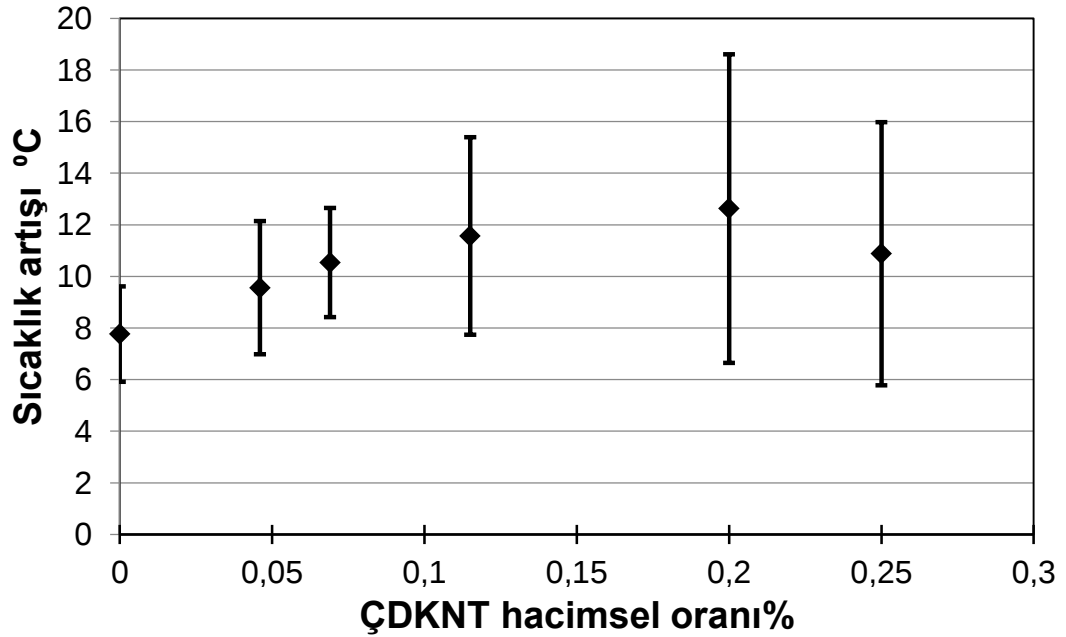


Şekil 3.16 SIFCON karışımlarının 7. gün zamana göre sıcaklık grafikleri a) Sif, Sif0046,Sif0069 b) Sif0115, Sif02, Sif025

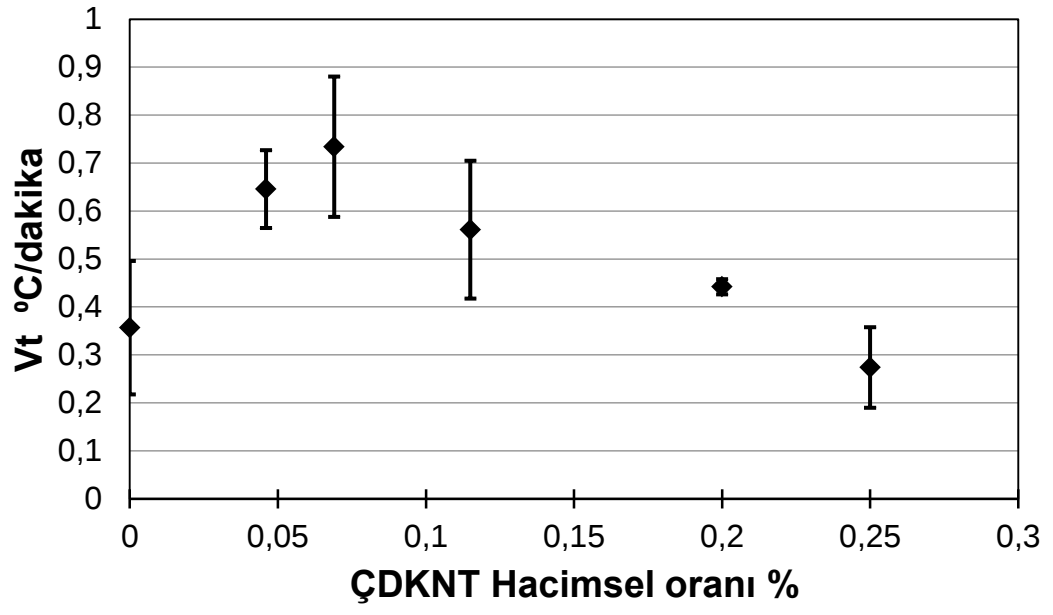


Şekil 3.16 devamı

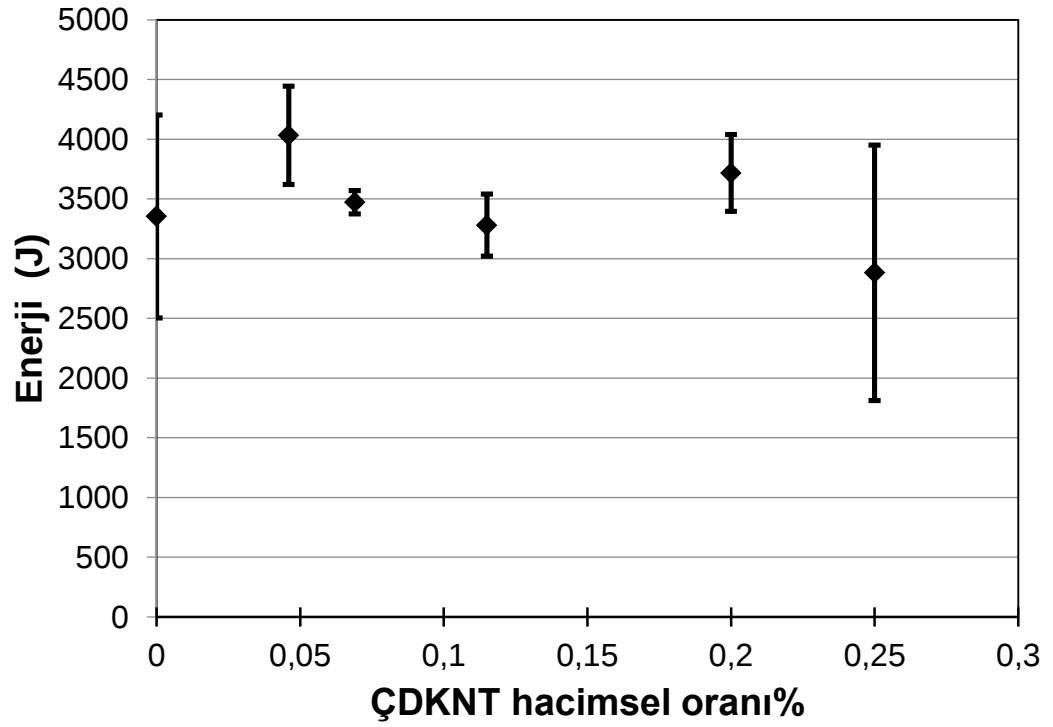
SIFCON örneklerinde ısınma, direncin voltaj artışı sonrasında ani düşüşünden sonra oluştu. Direncin düşüşü, artan potansiyel fark ile elektronların matris içinde yol oluşturması ile açıklanabilir. 7. güne ait sıcaklık artışı, sıcaklık artış hızı, harcanan enerji ve puan grafikleri Şekil 3.17 ve 3.18’de verilmiştir.



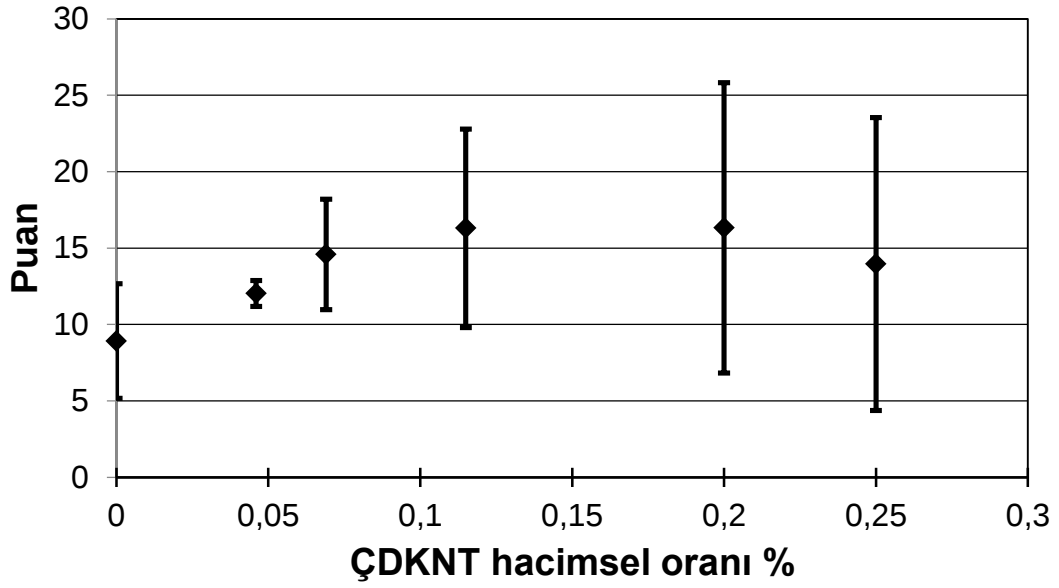
Şekil 3.17 SIFCON karışımlarının 7. gün a) Sıcaklık artışı (ΔT) b) Sıcaklık artış hızı (V_t)



Şekil 3.17 devamı



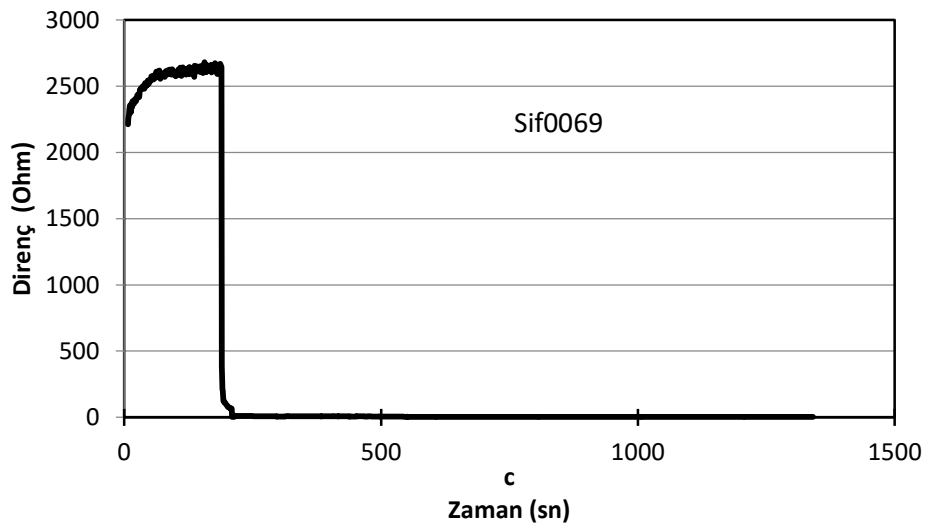
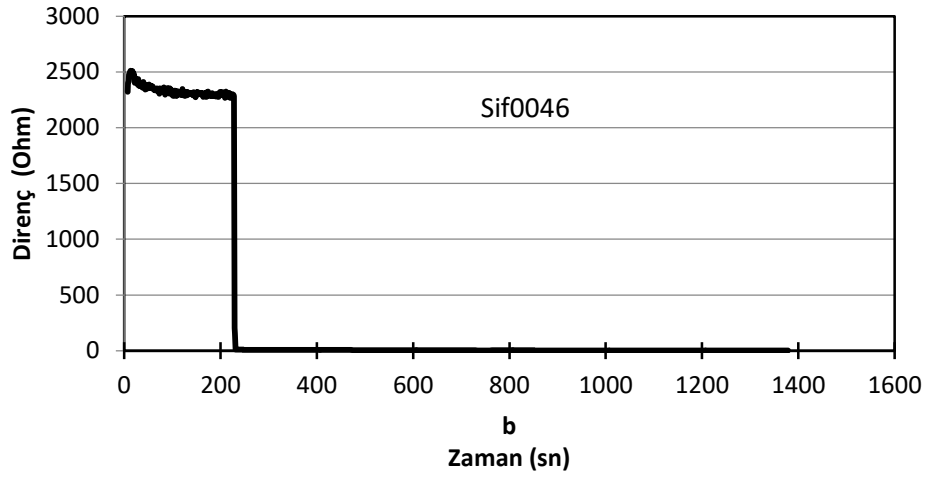
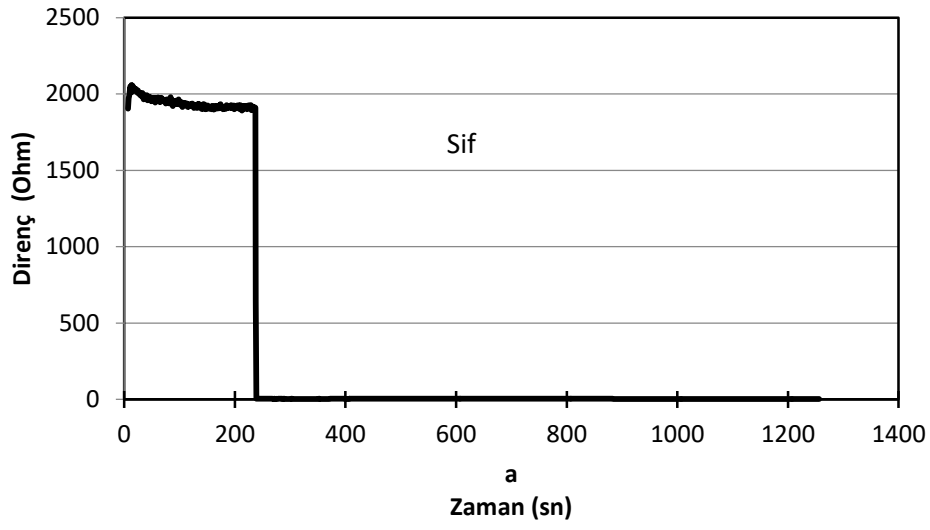
Şekil 3.18 SIFCON karışımlarının 7. gün a)Enerji b) Puan grafikleri



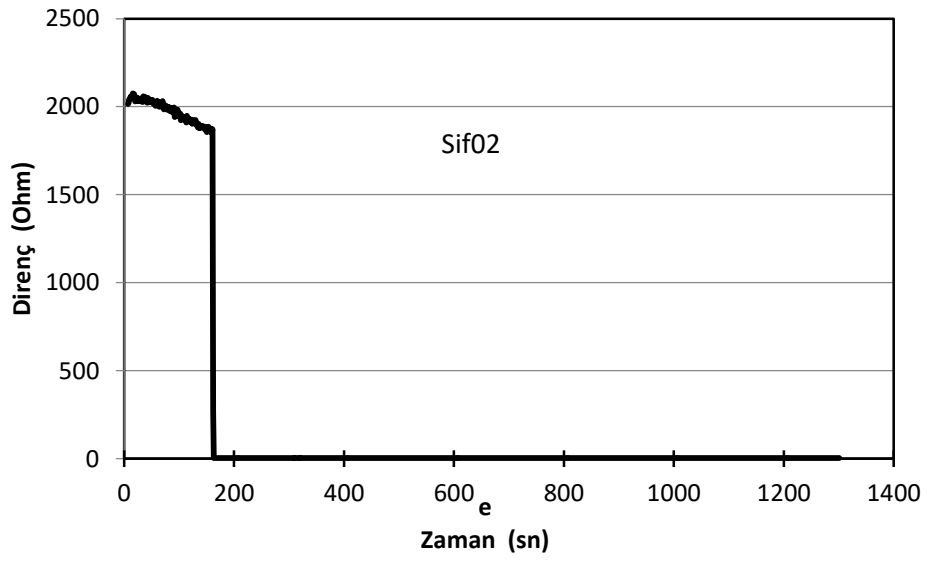
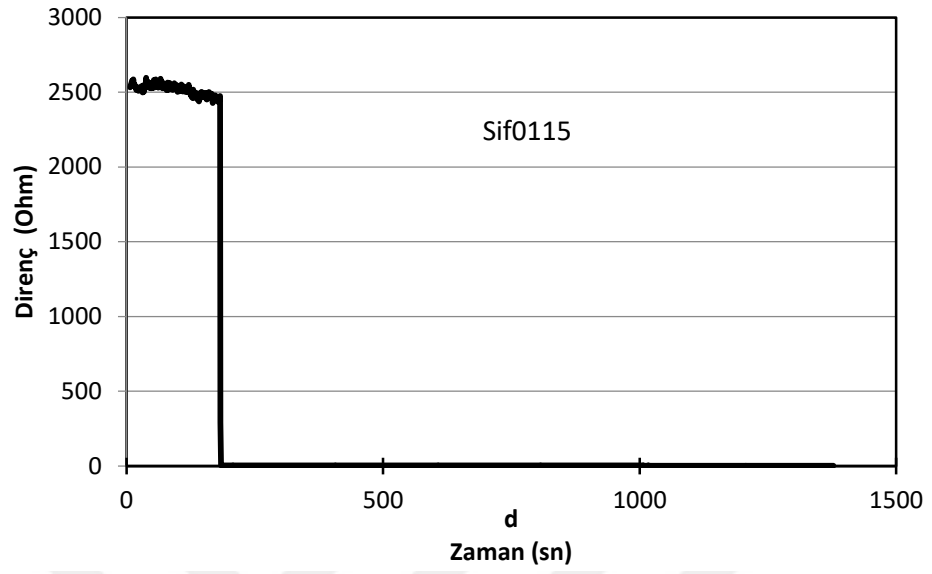
Şekil 3.18 devamı

13mm çelik liflerin etkisi ile referans karışımı dâhil olmak üzere her karışımda ısınma görülmüştür. ÇDKNT oranı arttıkça, hacimsel olarak %0,2 orana kadar sıcaklık artışını arttırmıştır. Bu karışımlarda belirli bir orana kadar, ÇDKNT oranı arttıkça ısınma hızı artmıştır (Bakınız Şekil 3.17 a). Sif0069 (%0,069 ÇDKNT) karışımı en iyi ısınma hızı ve puana sahiptir (Şekil 3.17 b). ÇDKNT oranı %0.115 ve üzerindeki karışımlarda ısınma hızı ve puan parametrelerinde doğrusal bir düşüşe neden oldu. Harcanan enerji grafiklerinde ise Sif0069 (%0,069 ÇDKNT) karışımının en az hata payına sahip olduğu görüldü.

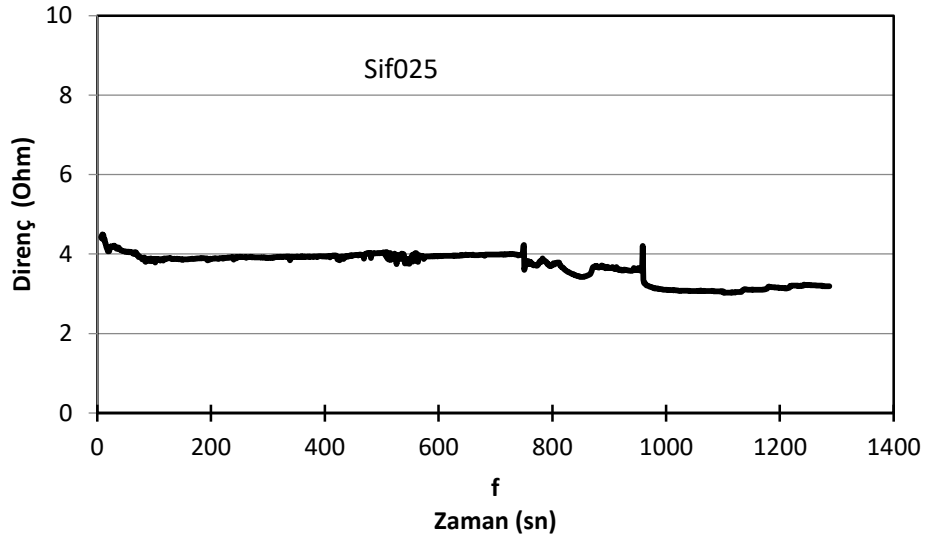
Yaklaşık 5V potansiyel fark altında 1A akım geçiren SIFCON karışımların 35. gün deneyleri bölüm 2’de anlatıldığı gibi; 7. Gün deneyi ile aynı parametrelerde başladı ve ΔT , 10°C’ye ulaştığında, akım 1.5A ile sınırlandırılıp maksimum yüzey sıcaklığı ölçüldü. SIFCON karışımlarının 35. gün deneylerinin zamana göre direnç ve sıcaklık artışı grafikleri Şekil 3.19 ve 3.20’de verilmiştir.



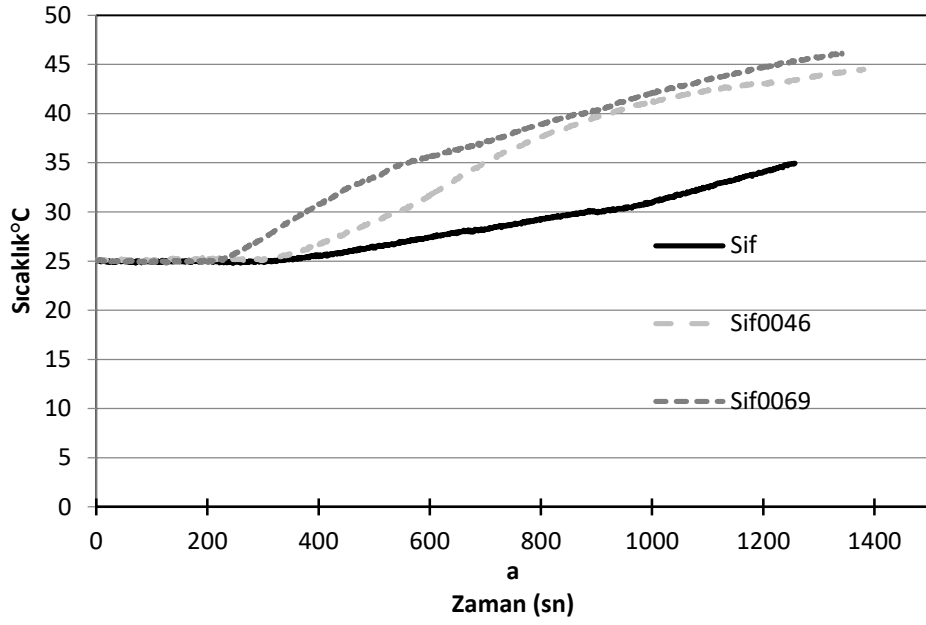
Şekil 3.19 SIFCON karışımlarının 35. gün zamana göre direnç grafikleri a) Sif b) Sif0046 c) Sif0069 d) Sif0115 e) Sif02 f) Sif025



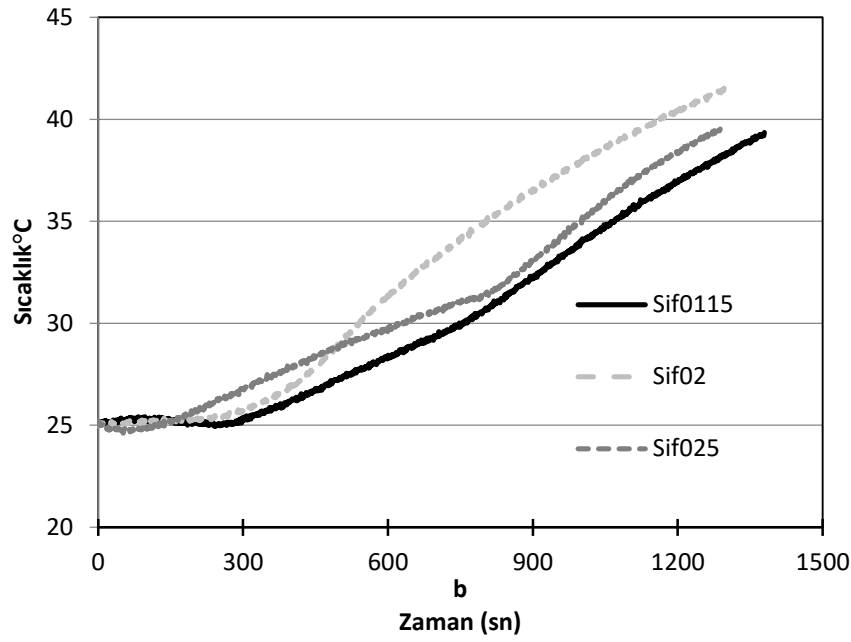
Şekil 3.19 devamı



Şekil 3.19 devamı



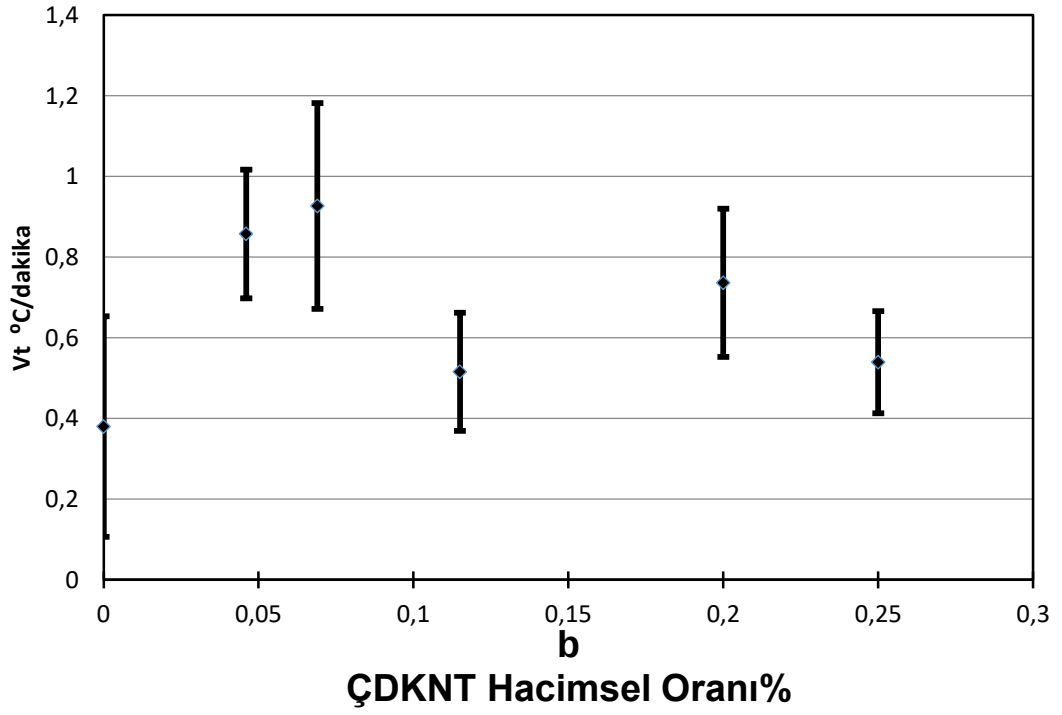
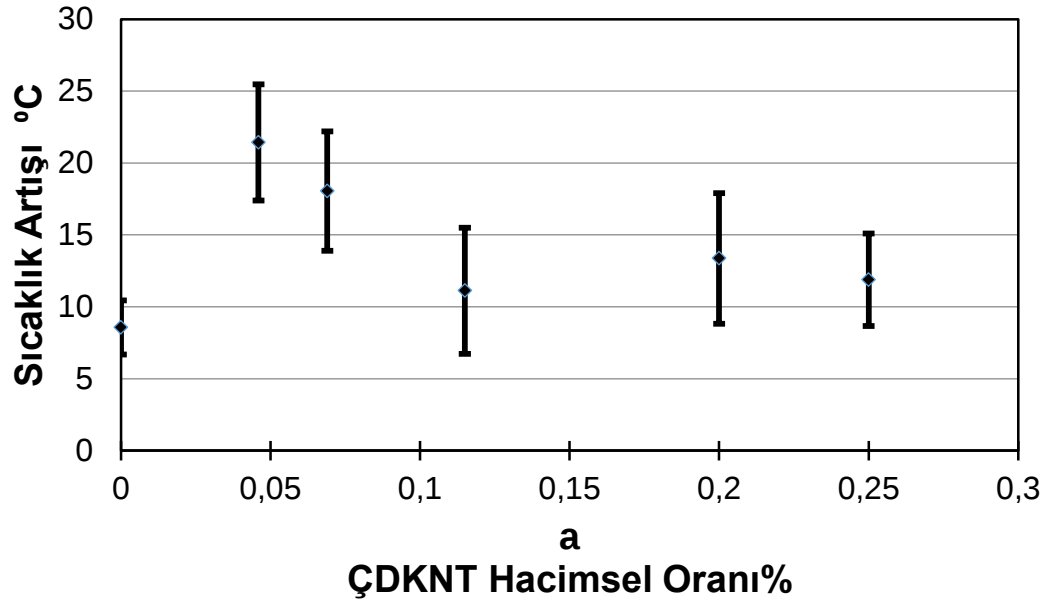
Şekil 3.20 SIFCON karışımlarının 35. gün zamana göre sıcaklık artışı grafikleri a) Sif,Sif0046,Sif0069 b) Sif0115,Sif02,Sif025



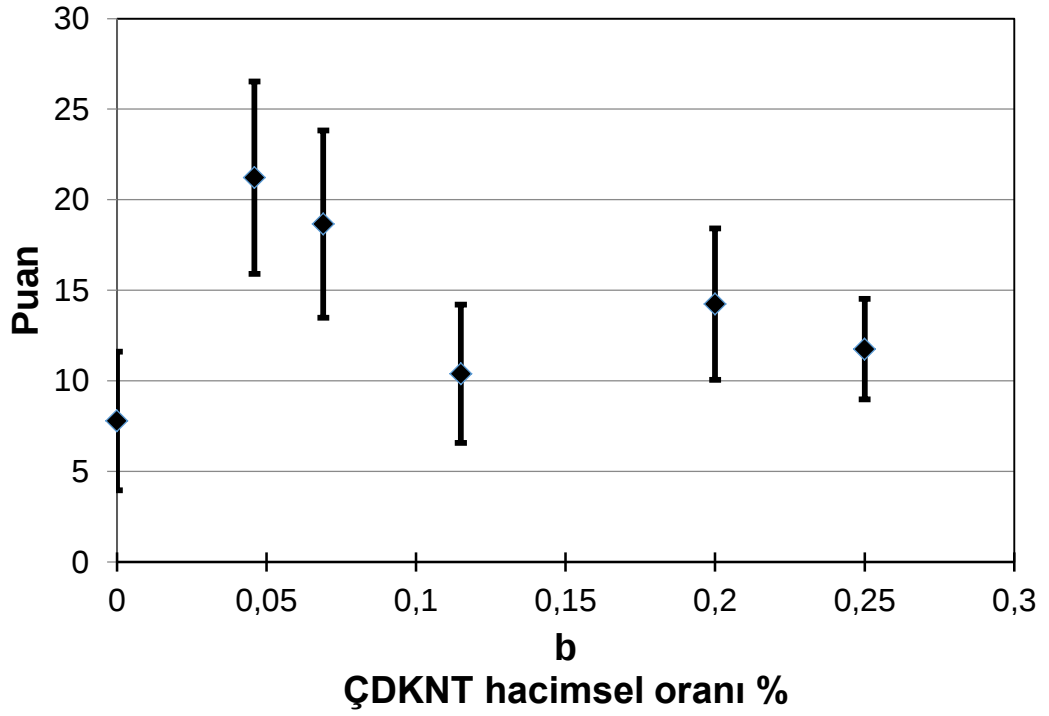
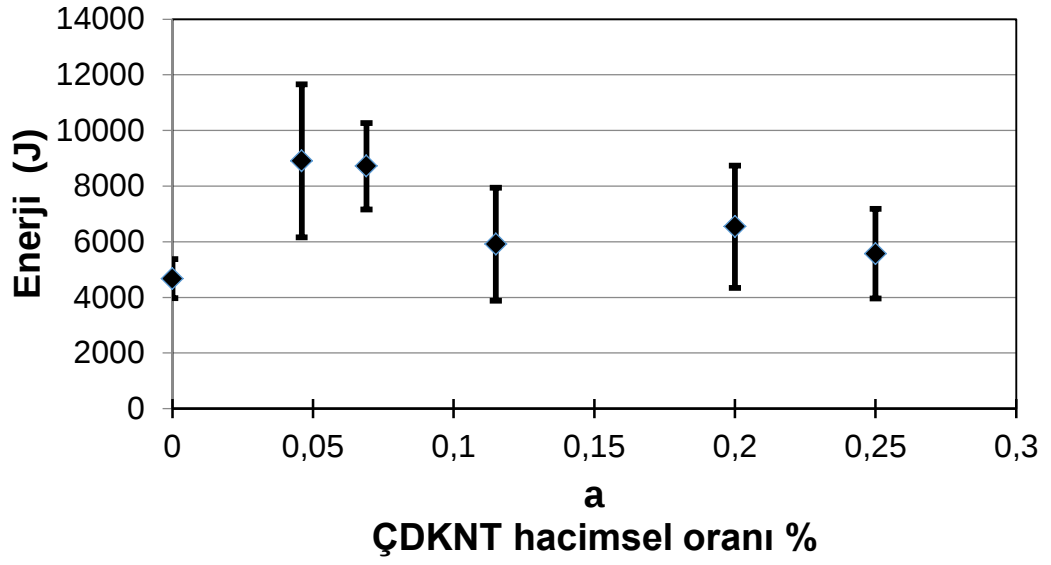
Şekil 3.20 Devamı

SIFCON ısınma deneyleri başlangıçta 5V ve 1A ile sınırlandırıldığından Sif025 örneği hariç diğer tüm örneklerde yaklaşık 5 dakika boyunca yeterli bir akım geçişi olmadı. Direnç grafiklerine bakıldığında yeterli akımın geçemediği sürelerde direnç yaklaşık 2000-2500 ohm ölçüldü (Bakınız Şekil 3.19). Daha sonra gerilim arttırıldı ve 10V'a ulaşıldığında akım 1 amper ölçüldü. Akımın 1 amper ölçülmesi ile tüm örneklerde gerilim 3.8V-5V arasında ölçüldü ve ani direnç düşüşleri oldu (Bakınız Şekil 3.19). Bunun nedeni yükselen gerilim ve akım ile matris içinde elektron kanallarının oluşmasıdır. Bundan sonra ısınma başladı. Ortalama sıcaklık 10 derece arttığında akım 1,5 ampere çıkarıldı ve maksimum yüzey sıcaklığı ölçüldü (Bakınız Şekil 3.20). Şekil 3.20 de Sif025 hariç diğer tüm örneklerde ısınmanın deney başladığından ortalama 5 dakika sonra başladığını görmekteyiz. Isınma grafiğinde gördüğümüz gibi Sif0069 örneğinin en yüksek üst-yüzey sıcaklığına ulaştığını görmekteyiz.

SIFCON 35. gün deneylerinin sıcaklık artışı, sıcaklık artış hızı, enerji ve puan grafikleri Şekil 3.21 ve 3.22 grafiklerinde verilmiştir.



Şekil 3.21 SIFCON karışımlarının 35. gün a) Sıcaklık artışı (ΔT) b) Sıcaklık artış hızı grafiği (V_t)



Şekil 3.22 SIFCON karışımlarının 35. gün a)Puan b) Enerji grafikleri

SIFCON 35. gün deneyinde en yüksek sıcaklık artışı Sif0046 (%0,046 ÇDKNT) karışımıdır (Şekil 3.21a). Sif0069 (%0,069 ÇDKNT) karışımının en yüksek sıcaklık artış hızına sahip olduğu ölçüldü (Şekil 3.21b). Tüm grafikler incelendiğinde SIFCON karışımlarında hacimsel olarak % 0,069 ÇDKNT oranından sonra

performans parametrelerinde bir düşüş görüldü (Bakınız Şekil 3.21-3.22). Bunun nedeni SIFCON dökümleri yapılırken yayılma tablasında ÇDKNT oranı arttıkça yayılmanın azalmasıdır. Yayılma azaldıkça döküm kalıbına dökülen sıvı karışımın çelik liflerin arasına girmesi zorlaşır. ÇDKNT oranına göre harç yayılmaları Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 SIFCON harçlarının yayılmaları

Karışım	ÇDKNT yüzdesi hacimce (%)	Yayılma a(cm)
Sif	0	35
Sif0046	0,046	35
Sif0069	0,069	34
Sif0115	0,115	33
Sif02	0,2	31
Sif025	0,25	29

Elde edilen sonuçlarda görüldüğü gibi çimentolu kompozitlerden elektrik ile ısınan harç yapmak mümkündür. Elektrik ile ısınan harç ile yolların, hava alanlarının buz tutmasına engel olunabilir.

BÖLÜM DÖRT

SONUÇLAR

Bu çalışmada içinde farklı boy ve oranlarda iletken malzemeler olarak pirinç, bakır, karbon, çelik, çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT) içeren harç karışımların termal verimliliği incelendi.

Literatürde, ilk defa bu çalışmada ÇDKNT ile makro boyutta iletken malzemeler aynı karışım içinde kullanılmıştır.

Literatürde, ilk defa çimento harcı emdirilmiş lifli beton(SIFCON) karışımları ile ÇDKNT beraber kullanılmış ve termal verimliliği incelenmiştir.

SIFCON karışımlarının içerisinde referans karışımı dâhil hepsinde 41,3 gram, 13 mm çelik lif bulunmaktadır.

İletken malzemelere doğru akım ile ısınma testi yapıldı. Isınan iletkenler ile 18 farklı harç karışımı tasarlandı. Her karışımdan 3 adet $5 \times 5 \times 2,5$ cm³ prizma üretildi. Kür sırasında dağılan ve çatlayan örnekler hariç 46 örneğe ısınma testi yapıldı. Harç karışımlarına 7. günde ve 35. günde elektrik verilerek ısınma testleri yapıldı.

Sıcaklık artışı, sıcaklık artış hızı ve kullanılan enerji, performans parametreleri olarak kullanıldı ve puanlama sistemi geliştirildi. Puanlama sisteminde hesaplanan ortalama değerler, her karışıma ait üçer örneğin testi ile bulundu. Elektriksel direnç değişimi ile sıcaklık değişimi arasındaki ilişki belirlendi. En iyi ısınan makro ve nano boyutta malzeme katkılı karışımlar belirlendi. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- İçerisinde hiçbir iletken malzeme olmayan referans karışımının (R) 7. gün ve 35. günde sırası ile 16000 ohm ve 100000 ohm dirence sahip olduğu görüldü. İçerisinden yeterli akım geçmeyen bu karışım ısınmadı.

- S1 (%1 çelik lif, 6mm), S2 (%2 çelik lif, 6mm) harç karışımları yeterli akım geçmediği için ısınmadı. S20 (%20 çelik lif, 6 mm) karışımı ise 1 °C sıcaklık artışı görüldü. Br5 (%5 pirinç lif) katkılı harç karışımı 7. günde 2 °C, 14. günde 1 °C sıcaklık artışı oldu. 35. günde ise ısınmadı.
- Br1CCF (%1 pirinç lif+4,5 cm karbon lif) katkılı harç karışımı 7. günde 30 °C 14. günde 8 °C derece sıcaklık artışı oldu. 35. gün ısınma testinde yeterli akım geçişi olmadığından ısınmadı. Bunun nedeni sürekli karbon liflerin gözle görülür şekilde yanmasından kaynaklıdır.
- SIFCON karışımları dışında; ÇDKNT içeren karışımların ısınma testlerinde, ÇDKNT oranına bağlı olarak direnç düşmüş ve sıcaklık artışı(ΔT) ve sıcaklık artış hızı(V_t) ÇDKNT oranı arttıkça artmıştır.
- Cn0345Co1 (%0,345ÇDKNT+%1 bakır lif) karışımı 30V potansiyel fark altında 20 dakika boyunca test edildi. 7. günde ve 35. günde sırası ile sıcaklığı 11°C ve 9°C artmıştır. Sıcaklık artış hızı(V_t) ise yine aynı deney günlerinde sırası ile 0,56°C/dakika ve 0,45°C/dakikadır.
- SIFCON karışımlarında referans karışımı dâhil tüm karışımlar ısınmıştır. ÇDKNT oranı hacimsel olarak %0,069'a kadar ısınma performansını arttırmış daha sonra azaltmıştır.
- Hacimsel olarak %0,046 ve 0,069 ÇDKNT içeren SIFCON karışımlarının sıcaklık artışı(ΔT) 35. gün deneyinde sırası ile 21,47°C ve 18°C'dir. Sıcaklık artış hızları(V_t) ise sırası ile 0,87°C/dakika ve 0,93°C/dakikadır.
- SIFCON karışımlarında hacimsel olarak %0,115 ve üzerinde ÇDKNT içeren karışımların yayılma değerlerinde orantılı olarak düşüş oldu. Bu nedenle harç çelik teller içerisine yeterince yayılamadı, ısınma performansı düştü.
- En iyi ısınan karışımlar Cn0345Co1 (%0,345ÇDKNT+%1 bakır lif), Sif0046 (41,3 gram 13 mm çelik lif + %0,046 ÇDKNT) ve Sif0069 (41,3 gram 13 mm çelik lif + %0,069 ÇDKNT) sıcaklık artışları, sıcaklık artış hızları, enerji ve puana göre tespit edildi.

Elektrik ile ısınan harç, yolların ve havaalanlarının buzlanmasına engel olabilir. Binaların ısınmasında kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Amini, B., Tehrani, S.S. (2014). Simultaneous effects of salted water and water flow on asphalt concrete pavement deterioration under freeze-thaw cycles. *Int. Jour. of Pavement Engineering*, 15(5), 383-391.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Aydın, S. (2012). Beton. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları*, İzmir.
- Baoguo H, Xun Y, Jinping O. (2014). Self-Sensing Concrete in Smart Structures. ISBN 978-0-12-800517-0 *The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, UK 225 Wyman Street, Waltham, MA 02451, USA*
- Chung, D.D.L. (2004). Self-heating structural materials. *Smart Mater. Struct.*, 13, 562–565.
- Chung, DDL., (2003). Multi-functional cement based materials. *Marcel Dekker*, New York, 2003.
- Demircilioğlu, E., (2017) *Nano boyutta malzeme katkılarının betonun elektriksel direnç birim şekil değiştirme ilişkisine etkisi.*
- Feng, D., Yi, J., Wang, D., Chen, L.L. (2010). Impact of salt and freeze-thaw cycles on performance of asphalt mixtures in coastal frozen region of China. *Cold Regions Science and Technology*, 62(1), 34-41.
- Galao, O., Baeza, F.J., Zornoza, E., Garcés, P. (2014) Self-heating function of carbon nanofiber cement pastes. *Materiales de Construcción*. 64, Issue 314 e015, <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2014.01713>
- Gomis, J., Galao, O., Gomis, V., Zornoza, E., Garcés, P. (2015) Self-heating and deicing conductive cement. Experimental study and modeling. *Construction and Building Materials*. 75, 442–449.
- Hassan, Y., El Halim, A.O.A., Razaqpur, A.G., Bekheet, W., Farha, M.H. (2002). Effects of runway deicers on pavement materials and mixes: Comparison with road salt. *Jour. of Transportation Engineering-ASCE*, 128(4), 385-391.

- Hou, Z.F., Li, Z.Q., Guang, K.J., (2002). The Joule Heating Analysis of Electrically Conductive Concrete for Roadway Deicing System. Secenth International Symposium on Structural Engineering for Young Exports, Tianjin, China 977–1001.
- Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) (2008). *2007 Yılı Devlet ve İl Yolları Bakım-İşletme Maliyetleri*. Ulaşım ve Maliyet Etutleri Şube Mudurluğu. Ankara.
- Kuloğlu, N. ve Kök, B.V. (2005). Karayollarında kar ve buz mücadelesinde kullanılan tuzun beton asfalt kaplamaya etkisi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 17(1), 87-96.
- Mehta, P.K, Monteiro P.J.M. (2006). *Concrete*. Mc Graw Hill, New York.
- Ozgan, E., Serin, S., Gerengi, H., Arslan, İ. (2013). Multi-faceted investigation of the effect of de-icer chemicals on the engineering properties of asphalt concrete. *Cold Regions Science and Technology*, 87, 59-67.
- Teomete E. (2017). Akıllı Beton Üretimi, *TUBITAK 213M452 Nolu Proje Sonuç Raporu*.
- Tuan, C.Y. (2004). Electrical resistance heating of conductive concrete containing steel fibers and shavings. *ACI Mater. J.* 101 (1), 65–71.
- Tuan, C.Y., Yehia, S., (2004). Evaluation of electrically conductive concrete containing carbon products for deicing. *ACI Mater. J.* 101 (4), 287–293.
- Xie, P., Beaudoin, J.J., (1995). Electrically conductive concrete and its application in deicing. *Proceedings of the Second CANMET/ACI International Symposium*, Las Vegas, USA, 399–417.
- Yehia, S., Tuan, C.Y., Ferdon, D., Chen, B., (2000). Conductive concrete overlay for bridge deck deicing: mixture proportioning, optimization, and properties. *ACI Mater. J.* 97 (2), 172–181.
- Zhao, H.M., Wang, S.G., Wu, Z.M., Che, G.J., (2010). *Concrete slab installed with carbon fiber heating wire for bridge deck deicing*. J. Transp. Eng. 136 (6), 500–509