



**SOĞUK ORTAM ŞARTLARINDAKİ TAZE
BETONA ELEKTRİKSEL KÜR UYGULAMASININ
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emriye ÇINAR

Danışman

Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

Aralık 2018

Bu tez çalışması 1002-216M528 numaralı proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

Bu tez çalışması 17. Fen.Bil.40 numaralı proje ile AKÜ-BAP tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SOĞUK ORTAM ŞARTLARINDAKİ TAZE BETONA
ELEKTRİKSEL KÜR UYGULAMASININ ARAŞTIRILMASI**

Emriye ÇINAR

Danışman
Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

ARALIK 2018

TEZ ONAY SAYFASI

Emriye ÇINAR tarafından hazırlanan “Soğuk Ortam Şartlarındaki Taze Betona Elektriksel Kür Uygulamasının Araştırılması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 21/12/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU

Başkan : Prof. Dr. İlker Bekir TOPÇU
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Raif BOĞA
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi

İmza


Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım
bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

21/12/2018

Emriye ÇINAR



ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**SOĞUK ORTAM ŞARTLARINDAKİ TAZE BETONA ELEKTRİKSEL KÜR
UYGULAMASININ ARAŞTIRILMASI**

Emriye ÇINAR
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU

Günümüzde birçok hızlandırılmış kür metodu mevcuttur, bu çalışma kapsamında elektriksel kür yöntemi seçilerek hidrasyonun hızlandırılması kalıp alma süresinin kısılması ve soğuk ortam koşullarında beton dökümünün sağlanması amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda, beton içerisine %0, 1, 2 ve 3 oranlarında karbon siyahı, çimento ile yer değiştirme yapılarak beton üretilip elektriksel kür yöntemi ile 0, 45, 60 ve 90 Volt gerilim değerlerinde 24 saat boyunca kür edilmiştir. Kürleme işlemi ortam koşullarında (22°C), iklimlendirme kabini yardımıyla 0 °C ve -10°C sıcaklıklarda uygulanmıştır. Kürleme işlemi yapılırken betonların iç sıcaklıkları kayıt altına alınarak, priz bitiş süreleri tayin edilmiştir. Üretilen numuneler 24 saat boyunca elektriksel kür yapıldıktan sonra 1 günlük basınç dayanımları tayin edilmiştir. Elektriksel kürleme işleminden sonra standart kür havuzunda 7 ve 28 gün kürleme işlemi yapılmış ve sonrasında dayanım tayinleri, 28 günlük elektriksel özellikleri, fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Karbon siyahı oranının ve gerilim yoğunluğunun artmasıyla birlikte beton iç sıcaklıklarında artış gözlemlenmiştir. Gerilim yoğunluğunun ve karbon siyahı oranının artmasıyla birlikte priz süresinin hızlandığı, kalıp alma süresinin kısaldığı gözlemlenmiştir, aynı zamanda basınç dayanımında azalma, boşluk oranında, su emme ve kapiler su emme oranlarında artış gözlemlenmiştir.

2016, x + 78 sayfa

Anahtar Kelimeler: Soğuk Ortam Koşulları, İletken Beton, Elektriksel Kür, Karbon Siyahı

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

INVESTIGATION OF ELECTRICAL CURE APPLICATIONS ON FRESH CONCRETE IN COLD ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Emriye ÇINAR

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Tayfun UYGUNOĞLU

Nowadays, there are many accelerated curing methods. In this study, it has been aimed to accelerate the hydration by shortening the molding time and to provide concrete casting under cold conditions. In accordance with this purpose, concrete is produced by replacing 0%, 1, 2 and 3 carbon black with cement and was cured in 0V, 45V, 60V and 90V stress values for 24 hours. Ambient conditions during the curing process (22°C), with the aid of the climate chamber and were applied in 0°C and -10°C. During the curing process internal temperatures are recorded, the final setting times were determined. Produced samples are cured for 24 hours then compressive strengths are determined for 1 day. After this process, in Standard Cure Pool, produced samples are waited to cure for 7 and 28 days and strength values are determined. Electrical, physical and mechanical properties of the samples were investigated at 28th day. Internal temperature of concrete increases with increasing carbon black concentration ratio and the stress was observed. The setting time is accelerated with the increase of stress concentration has been observed that the shorter the molding period. It was observed that the electrical resistivity values decreased due to conductive structure of carbon black. It increases the requirement of binder by making filler effect due to its fine grains in carbon black. With the increasing need for reduction in the compressive strength binder, void ratio, and capillary suction of water, an increase in water absorption ratio.

2016, x + 78 pages

Keywords: Cold Ambient Conditions, Conductive Concrete, Electrical Curing, Carbon Black

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim. Bu tez çalışmasını 216M528 numaralı 1002 TUBİTAK projesi tarafından destekleyen TÜBİTAK'a ve 17. Fen.Bil.40 numaralı proje ile AKÜ-BAP tarafından destekleyen Afyon Kocatepe Üniversitesine teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Emriye ÇINAR
AFYONKARAHİSAR, 2018

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
RESİMLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Betonda Hızlandırılmış Kür Yöntemleri.....	3
2.1.1 Isıl İşlem Kürleri.....	3
2.1.1.1 Betonun Yerleştirilmeden Önce Isıtılması.....	4
2.1.1.2 Betonun Yerleştirilmesinden Sonra Isıtılması	5
2.2 Soğuk Ortam Koşullarında Beton Dökümü.....	6
2.3 Konuyla İlgili Yapılan Çalışmalar	10
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	22
3.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri.....	22
3.1.1 Deneyde Kullanılan Çimento	22
3.1.2 Agregas	23
3.1.2.1 İri Agregalar İçin Yoğunluk ve Su Emme Oranı Tayini	24
3.1.2.1 İnce Agregalar İçin Yoğunluk ve Su Emme Oranı Tayini	24
3.1.3 Karbon Siyahı	25
3.1.4 Karışım Suyu	25
3.2 Beton Üretimi	26
3.2.1 Karbon Siyahı Katkılı Beton Üretimi.....	26
3.3 Çimento Pastasının İç Sıcaklığı ile Priz Süresi Arasındaki İlişki	26
3.4 Beton Üzerinde Yapılan Deneyler	27
3.4.1 Betonlara Elektriksel Kür Uygulanması.....	28
3.4.2 Betonlarda Basınç Dayanımları.....	29
3.4.3 Porozite ve Su Emme Özelliklerinin Belirlenmesi.....	30
3.4.4 Elektriksel Öz direnç	30

3.4.5 Kapiler Su Emme	32
3.4.6 Betonlarda Mikro Yapı İncelemesi	33
4. BULGULAR	34
4.1 Çimento Pastasının Sıcaklık Ölçümü ile Priz Süresinin Bulunması.....	34
4.2 Betonların Priz Bitiş Süreleri	34
4.3 Gerilim Uygulanan Betonlarda Gerilim Yoğunluğunun İç Sıcaklıklara Etkisi .	37
4.4 Karbon Siyahı Oranının İç Sıcaklıklara Etkisi.....	42
4.6 Betonların Elektriksel Özdirençleri	51
4.7 Betonların Kapiler Su Emme Değerleri.....	56
4.8 Betonların Basınç Dayanımları.....	59
4.9 Betonların SEM Analizi Sonuçları	63
5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	67
6. KAYNAKLAR.....	72
ÖZGEÇMİŞ.....	77

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

SiO ₂	Silisyum Dioksit
Al ₂ O ₃	DialüminyumTrioksit
CaO	Kalsiyum Oksit
MgO	Magnezyum Oksit
Fe ₂ O ₃	Hematit
SO ₃	KükürtTrioksit
Ω	Ohm
kΩ	Kiloohm
δ	Özdirenç

Kısaltmalar

AC	Alternatif Akım
ASTM	TheAmericanSocietyforTestingandMaterials
BHA	Birim Hacim Ağırlık
CEM 1	Portland Çimentosu
cm	Santimetre
dk	Dakika
DYK	Doygun Yüzey Kuru
Doz	Dozaj
EN	Avrupa Normu
g	Gram
KS	Karbon Siyahı
mm	Milimetre
m ³	Metreküp
nm	Nanometre
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TS	Türk Standartları
V	Volt
Q	Emilen su miktarı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1 Elektriksel direnç ölçüm düzeneği.....	31
Şekil 4.1 Çimento hamurunun iç sıcaklıkla priz süresinin belirlenmesi	34
Şekil 4.2 Ortam koşullarında (22 °C) dökülen betonların farklı gerilme değerlerinde priz bitiş süreleri.....	35
Şekil 4.3 0 °C’de dökülen betonların farklı gerilim değerlerinde priz bitiş süreleri	36
Şekil 4.4 -10 °C’de dökülen betonların farklı gerilim değerlerinde priz bitiş süreleri ...	36
Şekil 4.5 Ortam koşullarında (22°C) gerilim uygulanan betonların iç sıcaklıkları, (a):%0 KS, (b):%1 KS, (c):%2 KS, (d): %3 KS.....	38
Şekil 4.6 0°C sıcaklıkta gerilim uygulanan betonların iç sıcaklıkları, (a):%0 KS, (b): %1 KS, (c):%2 KS, (d): %3 KS	40
Şekil 4.7 -10°C sıcaklıkta gerilim uygulanan betonların iç sıcaklıkları, (a):%0 KS, (b):%1 KS, (c):%3 KS, (d): %3 KS	41
Şekil 4.8 Ortam koşullarında (22°C) dökülen betonların gerilim yoğunluklarına göre iç sıcaklıkları, (a): 0 V, (b): 45 V, (c): 60 V, (d): 90V	44
Şekil 4.9 0 °C’de dökülen betonların gerilim yoğunluklarına göre iç sıcaklıkları, (a): 0 V (b): 45 V, (c): 60 V, (d): 90V	46
Şekil 4.10 -10 °C’de dökülen betonların gerilim yoğunluklarına göre iç sıcaklıkları, (a): 0 V, (b): 45 V, (c): 60 V, (d): 90V	48
Şekil 4.11 Ortam koşullarında (22 °C) dökülen betonların % su emme ve % porozite değerleri	49
Şekil 4.12 0°C ve -10 °C’ de dökülen betonların % su emme ve % porozite değerleri (a) :0°C, (b): 0°C, (c): -10°C, (d): -10°C	51
Şekil 4.13 Ortam koşullarında (22°C) dökülen farklı gerilim uygulanan betonların farklı frekanslarda elektriksel öz direnç değerleri (a): 0 V, (b): 45 V, (c): 60 V (d): 80V.....	46
Şekil 4.14 0 °C’de dökülen farklı gerilim uygulanan betonların farklı frekanslarda elektriksel öz direnç değerleri (a): 0 V, (b): 45 V, (c): 60 V, (d): 90V	54
Şekil 4.15 -10 °C’de dökülen farklı gerilim uygulanan betonların farklı frekanslarda elektriksel öz direnç değerleri (a): 0 V, (b): 45 V, (c): 60 V, (d): 90V	56

Şekil 4.16 Ortam koşullarında (22 ⁰ C) dökülen farklı gerilim uygulanan betonların kapiler su emme katsayıları	57
Şekil 4.17 0 ⁰ C dökülen farklı gerilim uygulanan betonların kapiler su emme katsayıları	58
Şekil 4.18 -10 ⁰ C dökülen farklı gerilim uygulanan betonların kapiler su emme katsayıları	58
Şekil 4.19 Ortam koşullarında (22 ⁰ C) dökülen farklı gerilim uygulanan betonların basınç dayanımları (a):1, (b):7, (c):28 günlük basınç dayanımları.....	60
Şekil 4.20 0 ⁰ C’de dökülen farklı gerilim uygulanan betonların basınç dayanımları (a):1, (b):7, (c):28 günlük basınç dayanımları.....	61
Şekil 4.21 -10 ⁰ C’de dökülen farklı gerilim uygulanan betonların basınç dayanımları (a):1, (b):7, (c):28 günlük basınç dayanımları.....	63
Şekil 4.22 Ortam koşullarında(22 °C) dökülen %3 KS içeren betonların SEM görüntüleri (a): 0 V, (b): 45 V, (c): 60 V, (d): 90V	65
Şekil 4.23 -10 °C'de dökülen ve %3 oranında KS içeren betonların SEM görüntüleri (a): V, (b): 60 V, (c): 90 V	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Kullanılan CEM I 42,5 R çimentosunun kimyasal analizi.....	22
Çizelge 3.2 Kullanılan CEM I 42,5 R çimentosunun fiziksel özellikleri.....	23
Çizelge 3.3 Agreganın elekten geçen yüzde değerleri	23
Çizelge 3.4 Deneyde kullanılan agreganın fiziksel özellikleri.....	24
Çizelge 3.5 Deneyde kullanılan karbon siyahının fiziksel özellikleri.....	25
Çizelge 3.6 Birim hacim için gerekli malzeme miktarları	26
Çizelge 3.7 Tez kapsamında yapılan deneyler, ilgili standartlar ve numune boyutları..	27



RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Isı Yalıtımlı Brandalar	9
Resim 2.2 Direk ısıtıcı donanım	9
Resim 2.3 Kalorifer sistemi ile ısıtma donanımı.....	9
Resim 2.4 Kablo döşeme sistemi ile ısıtma	10
Resim 3.1 Karbon siyahından bir görünüm	25
Resim 3.2 Çimento hamurunun sıcaklık ölçümü	27
Resim 3.3 Alternatif akım güç kaynağı	28
Resim 3.4 Veri kaydedici	29
Resim 3.5 İklimlendirme kabini.....	29
Resim 3.6 Betonlara AC gerilim uygulanması	29
Resim 3.7 Arşimet prensibi ile çalışan tartı	30
Resim 3.8 Elektriksel Özdirenç ölçümü.....	31
Resim 3.9 Kapiler su emme deneyi	33
Resim 3.10 SEM cihazı.....	33

1. GİRİŞ

İnşaat sektöründeki artan talebi kısa sürede ve ekonomik bir şekilde karşılamak için seri üretimin ve sanayileşmenin gerekliliği artmaktadır. Betonun erken yaşta dayanım kazanması ve anında kullanılması endüstrinin gelişmesinin bir sonucudur. Bu sonuçlara ulaşmak için, birkaç iyileştirme yöntemleri vardır ve bu yöntemlerle beton erken dayanıma ulaşabilir (Backe *et al.* 2001). Ana kür yöntemleri, sıcak su hazırlama yöntemi, kaynar su kür yöntemi, otojen kür yöntemi, sıcak su kür yöntemini değiştirme, mikrodalga kür yöntemi, prefabrik yapıda buhar kürü ve elektriksel kür yöntemidir (Kjellsen 1996). Özellikle prekast beton elemanlarında ısı kürleme yaygın olarak kullanılır, çünkü beton ürünlerin kalitesini kontrol etmenin etkili ve kolay bir yoludur. Yüksek sıcaklıklarda sertleştirme, çimento hidratasyon kinetiğini artırır ve çimentonun hidratasyonunu hızlandırarak erken dayanım kazandırır. Bununla birlikte, sıcaklığın yükselmesi ile birlikte, hidratasyon ürünlerinin daha hızlı çökmesine neden olur ve bu da, hidratasyona uğramamış klinker parçacıklarının etrafında oluşan daha yoğun bir hidratasyon ürünü kabuğuna yol açar. Hidratasyon süresine bağlı olarak, beton basınç dayanımının hedef seviyeye kısa sürede ulaşması nedeniyle, hazır beton kullanılan binalarda hızlandırılmış kür projenin öngörülen süre açısından önemlidir (Lothenbach *et al.* 2007). Üstelik betonda erken yaşta dayanım tahmini, hem performans hem de ekonomi açısından çok önemlidir.

Beton priz süresinin kısaltılması çabuk priz aldırma amacının yanında soğuk ortam koşullarında da gereklidir. Soğuk ortam koşullarında betonu dona maruz bırakmadan priz bitişi istenmektedir. Soğuk hava koşullarında beton dökümü yapıldığında önlem alınmaz ise, beton yapımında kullanılan su donar. Beton taze halde olduğu için hacminde bir artma oluşur. Çimento ile hidratasyon reaksiyonlarını yapacak suyun bir kısmı donduğu için beton yeterli dayanım kazanamaz. Hava sıcaklığının veya uygulanacak kür yöntemleri ile beton sıcaklığının artırılması durumunda su çözülür ve çimento ile reaksiyona devam eder. Ancak buzun erimesi ile oluşan boşluğu dolduracak kadar hidratasyon ürünü oluşmaz ve beton dayanımı az, geçirgenliği yüksek olur (ACI 1994). Beton sıcaklığının düşük olması priz süresini artırır. Dayanım kazanma hızını düşürür ve hatta durmasına sebep olur. Bu sürenin artması kalıp alma süresini de artırır

(Topçu vd. 2005, Topçu vd. 2002). Bu yüzden ekonomik olarak da olumsuz etkiler oluşmaktadır. Sıcaklıktaki 10°C'lik azalma, priz süresini iki kat arttırmaktadır. Bu amaçla taze beton aşamasında prizin kısa sürede alınabilmesi için betonun belirli bir sıcaklıkta tutulması gerekir.

Elektrik iletken beton (ECC), kararlı ve yüksek elektriksel iletkenliğe ulaşmak için elektrik ileten bileşenler içeren bir beton kategorisidir. İletken betonun elektriksel iletkenliğini ve performansını etkileyen birçok faktör vardır (Galao *et al.* 2016). İletken beton, ana beton bileşenlerinden ve iletken malzemelerden oluşmaktadır, bu da gizli uygulamalardan dolayı araştırmacı ve mühendislerin dikkatini çekmektedir.

Betonda hem kalıp alma sürelerini kısaltmak hem de soğuk ortam koşullarında betonun iç sıcaklığını arttırabilmek için elektriksel kür metodu seçilmiştir. Elektriksel kür metodunda elektrik enerjisi maliyetini azaltmak için betona yüksek iletkenliğe sahip karbon siyahı ikame ederek iletken beton üretilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda beton içerisine %0, 1, 2 ve 3 oranlarında karbon siyahı ilave edilerek elektriksel kür metodu ile 0, 45, 60 ve 90 Volt gerilim değerlerinde kür edilmiştir. Üretilen betonların iç sıcaklıkları, priz bitiş süreleri, elektriksel özellikleri, fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Betonda Hızlandırılmış Kür Yöntemleri

Beton üretiminin en önemli aşamalarından birisi de betonun kür edilmesi sürecidir. Kür; betonun mukavemet kazanması için çimento hidratasyonunu ilerletmek amacıyla kullanılan yöntem ve yapılan uygulamalara verilen isimdir. Teknik olarak bu olay, taze çimento hamuru üzerindeki su ile dolu boşlukların, çimento hidratasyonu sonucu meydana gelen ürünler ile en yüksek düzeyde doldurulmasıdır.

Çağımız teknolojiyle betonarme elemanlar, zaman ve işçilikten tasarruf etmek amacı ile prefabrikasyon adı verilen üretim yöntemiyle fabrikalarda seri olarak üretilmektedir. Yapılan bu üretim, betonun kısa zamanda kür edilmesi ilkesine dayanır. Uygulanan değişik kür yöntemleriyle betona nihai dayanımının bütününe yakın bir kısmı çok kısa bir sürede kazandırılır (Uğurlu 1994).

Bu sayede prefabrikasyonda; Üretilen betonun kalite kontrolünün daha kısa sürede yapılmasına imkân sağlanmaktadır. Kalıpların olabildiğince kısa sürelerde, yeniden üretime girebilecek şekilde boşaltılabilmesi ve bunun sonucu olarak da belirli üretim kapasitesi için daha az kalıp kullanma olanağı sağlayarak ekonomi sağlanmaktadır. Ön gerilmeli betonlarda ön gerilmenin daha çabuk uygulanması sağlanmaktadır. Üretilen yapı elemanlarını kısa sürede kullanıma hazır duruma getirip sevk etmek ve böylece stok alanları ayırma gereğinden kurtulmak; depolarda bekleme süresini kısaltarak daha küçük depolama alanlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Prefabrike yapı elemanlarının üretiminde kullanılan betonun, normal koşullarda erken yaşlardaki dayanım artış hızı prefabrikasyonun gerektirdiği hızın gerisinde kalır. Betonun erken yaşlardaki mukavemet gelişimini hızlandırmada kullanılan yöntemler arasında en yaygın olarak kullanılanı, ısıtma işlemidir (Alabaş 2002).

2.1.1 Isıl İşlem Kürleri

Prizini alan betonun, standart su kürünün dışında, farklı kür yöntemleriyle de daha kısa sürede dayanım kazanması sağlanabilir. Betonun kısa sürede dayanım kazanmasını

sağlayan bu tür kürlere ısıtma işlemleri adı verilir.

1927'de Fransa'da Freyssinet 80 – 100°C'lik ısıtma işlemleri elektrik direği ve büyük boru üretimine uygulamıştır. 1931 yılında ilk uygulamalarına İsveç'te başlanan elektrikli yöntemler kısa zamanda yayılmış ve kullanılmaya başlanmıştır. Isıtma işlem teknolojisi kızıl ötesi ışınlar 1940 yılında, elektrik endüksiyon yöntemi 1948 yılında başlamıştır (Alabaş 2002).

Isıtma işlemleri uygulama prensiplerine göre şu şekillerde sınıflandırılabilir;

1. Betonun yerleştirilmeden önce ısıtılması

- a) Betonun oluşturan malzemelerin ısıtılması (Karma suyu, agrega)
- b) Taze betonun ısıtılması (Karıştırıcı içinde, Taşıma sonunda özel kapta)

2. Betonun yerleştirilmesinden sonra ısıtılması

- a) İç ısıtma (Elektrikle ısıtma, Mikrodalgalar vb.)
- b) Dış ısıtma (Atmosfer basıncı altında buhar küre, Basıncı buhar küre)

Yukarıdaki ısıtma işlem türlerinde, basıncı buhar küre dışında kalan bütün ısıtma işlemleri 100°C ' nin altında yapılmaktadır. Basıncı buhar küreinde ise, sıcaklık 140°C – 220°C aralığında istenen bir değere getirilebilir. Bu yöntemde elde edilen hidratasyon ürünleri, sıcaklığın 100°C' nin altında kaldığı ısıtma yöntemlerinden farklıdır.

Basıncı altında buhar küre uygulaması dışındaki yöntemlerin arasındaki teknolojik farklar, uygulama alanlarını ve ekonomik verimliliklerini etkiler, ancak ısıtma işlemleri çimento hidratasyon reaksiyonlarını ve beton özelliklerini etkilemede farklılık yaratmadığı için bu yöntemlerden "Isıtma İşlemi" terimi kullanılarak bahsedilmektedir (Uyan 1982).

2.1.1.1 Betonun Yerleştirilmeden Önce Isıtılması

Kalıba konulmadan önce yapılan ısıtma işlemleri genellikle betonu oluşturan malzemelerin ısıtılmasından oluşur. Beton sıcaklığının yükseltilebilmesi için en etkili ve en kolay olan yöntem suyun ısıtılmasıdır. Bunun nedeni suyun özgül ısı değeri agreganın özgül ısı değerinden yaklaşık 5 kat daha fazla olmasından kaynaklanır. Genellikle hava

sıcaklığının kararlı olarak $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ın altında seyrettiği durumlarda yalnızca suyun ısıtılması yeterli olmadığından agregaların da ısıtılması yoluna gidilir. ACI 306R-88 (Cold Weather Concreting), çok soğuk havalarda su $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa kadar ısıtılıp kullanılıyor ise agrega sıcaklığının da $50\text{-}60\text{ }^{\circ}\text{C}$ olmasını belirtmiştir. Beton bileşenlerinden çimento ısıtılmamalıdır, çünkü çimentonun ısıtılmasına hidrasyon ısısının da eklenmesiyle sıcaklık aniden büyük bir yükseliş gösterir ve bu durum da betonda çatlakların oluşmasına yol açar. Ayrıca taze betonun ısıtılması (Karıştırıcı içinde, taşıma sonunda özel kapta) uygulamada görülen yöntemlerdir (Postacıoğlu 1986).

2.1.1.2 Betonun Yerleştirilmesinden Sonra Isıtılması

Daha öncede bahsedildiği gibi, bu yöntem; iç ısıtma ve dış ısıtma olarak ikiye ayrılır. İç ısıtma uygulamasında, en yaygın olarak kullanılan yöntemin elektrikle ısıtma yöntemi olduğu bilinmektedir. Dış ısıtma uygulamasında ise en yaygın olarak kullanılan yöntemler, basınçlı buhar kürü ve atmosfer basıncında buhar kürüdür.

İç ısıtmada en yaygın olarak kullanılan yöntem elektrikle ısıtma yöntemidir. Bu yöntem, elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüştürülmesi ile gerçekleşir. İç ısıtma tekniğinde şu yöntem izlenmektedir. Betonun içine çelik çubuklar veya küçük levhalar konularak bunlara elektrik akımı verilir. Bu levhalar veya çubuklar uniform bir sıcaklığın elde edilmesini sağlayacak şekilde yerleştirilir. Genellikle sıcaklık artışı başlangıçta saate $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dır. 24 saat sonunda sıcaklık $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ye ulaştıktan sonra sıcaklık artış hızı birinci devredekinin iki katına çıkarılır. Bu şekilde $71\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarında bir sıcaklık elde edildikten sonra, bu sıcaklık altında işleme önceden belirlenen süre boyunca devam edilir. Süre sonunda elektrik akımı kesilerek, beton soğumaya bırakılır (Postacıoğlu 1986).

Dış ısıtma uygulama açısından bu yöntem atmosfer basıncındaki buhar küründen çok daha farklıdır. Atmosfer basıncı altında yapılan buhar kürü uygulamasında, sıcaklığın artmasıyla betonda hedeflenen dayanım azalır. Bu olumsuz etkinin üzerinden gelebilmek için, buharın betona belli değerlerde basınçla verilmesi gerekir. Bu işlemlere “Yüksek Basınçlı Buhar Kürü” denilmektedir (Hanson 1963). Genel olarak otoklav adı verilen basınçlı buhar makinesinin kullanıldığı bir yöntemdir.

100 °C üzerinde sıcaklıklarda gerçekleşen ve doymuş buhar basıncıyla elemanın yüzeylerine uygulayarak dayanım artışını hızlandıran bir yöntemdir. Kür sıcaklıkları 160°C–210°C aralığında olup, istenilen basınçta uygulanabilir. Bu şartlarda hidratasyonun kimyası değişerek oluşan ürünler 100 °C'nin altında yapılan buhar kürü uygulamasındakilerden farklıdır (Mindess and Young 1991).

2.2 Soğuk Ortam Koşullarında Beton Dökümü

Beton dökümü sırasında; ortalama sıcaklığın art arda üç gün süre ile + 5 °C'un altına düşmesi TS 1248 (2012) standardında soğuk hava olarak tanımlanmıştır. Birbirini izleyen 3 günden uzun bir süre içinde; günlük ortalama hava sıcaklığı 5 °C'den az ise veya 24 saatlik bir sürenin yarısından daha fazla bir sürede sıcaklık 10 °C'nin üzerine çıkmıyor ise, bu koşullar da yine soğuk hava koşulları olarak tanımlanmaktadır. Taze betonun döküldüğü ortamın sıcaklığı düşünce priz süresi uzar, hidratasyon yavaşlar ve dayanım kazanma hızı azalır, buna bağlı olarak da kalıp alma süresi de gecikir. Taze betonun ve içindeki suyun donmasıyla birlikte hidratasyon da durur. Don etkisine uğrayan beton çözülünce hidratasyon yeniden başlayabilir, ancak çimento hamuru-agrega ve çimento hamuru-donatı ara yüzeylerinde aderans büyük ölçüde azalır. Bu durum ise beton dayanımında düşüşe yol açar. Bu nedenle soğuk havada üretilecek ve yerleştirilecek betonun olumsuz etkilenmesini önleyecek özel tedbirler alınması gereklidir. Alınması gereken önlemler şu şekilde sıralanabilir (Türker 2007):

- a) Betonun oluşturan malzeme bileşenlerinin ısıtılarak kullanılması: Bu beton karışımının ilk sıcaklığını etkileyen bir seçenektir. Beton karışımının sıcaklığının tavsiye edilen minimum sıcaklıkların aşırı ölçüde üzerinde olmamasına, en fazla 8°C üzerinde olmasına dikkat edilmelidir. Beton karışım sıcaklığını istenilen düzeye yükseltmek amacıyla karışım suyu veya agregalar ayrı ayrı veya her iki malzeme birlikte ısıtılabilir.

Karışım Suyunun Isıtılması: Beton sıcaklığının yükseltilebilmesi için en etkili ve en kolay olan yöntem suyun ısıtılmasıdır. Bunun nedeni suyun özgül ısı değerinin agrega özgül ısı değerinden yaklaşık 5 kat daha fazla olmasından kaynaklanır. Ancak karışım

suyunun ısıtılmasında bazı önemli hususlara dikkat etmek gerekir. ACI 306R-88 (2002) (Cold Weather Concreting) ısıtılacak karışım suyu sıcaklığının 60-65°C'ı geçmemesini tavsiye etmiştir. Aksi halde 70-80°C gibi yüksek su sıcaklıkları çimentonun ani prizine neden olur. Ayrıca çimento taneleri karışım esnasında topaklanabilir. Bu nedenle sıcak su ve iri agregalar mikserde boşaltılarak su sıcaklığı bir miktar düşürülüp, ardından çimento ve ince agregalar katılacak şekilde bir ayarlama yapılması uygun olmaktadır.

Agregaların Isıtılması: Genellikle hava sıcaklığının kararlı olarak -4°C'ın altında seyrettiği durumlarda yalnızca suyun ısıtılması yeterli olmadığından agregaların da ısıtılması yoluna gidilir. ACI 306R-88 (2002) (Cold Weather Concreting), çok soğuk havalarda su 60 °C sıcaklığa kadar ısıtılıp kullanılıyor ise agregaların sıcaklığının da 50-60 °C olmasını belirtmiştir. Ayrıca agregalar donmamış ve su 60°C sıcaklığa kadar ısıtılıp kullanılmışsa ince agreganın en çok 40°C a kadar ısıtılması yeterlidir. Çok soğuk havalarda agregaların ısıtılmasında en etkili yöntem buhar uygulamasıdır. Ancak agregalar ile doğrudan temas edecek buhar jeti uygulamalarında agregaların tanelerinin içindeki nem oranının değişimine dikkat edilmelidir.

b) Uygun türde çimento ve katkı maddesi kullanımı: Düşük sıcaklıklarda çimentonun hidratasyonu yavaşladığından betonun dayanım kazanma hızı da azalır. Ancak kalıpların sökülebilmesi için özellikle ilk günlerde betonun yeterli dayanıma ulaşması gereklidir. Bu nedenle soğuk iklim koşullarında üretilecek betonlarda hidratasyon ısıları yüksek olan çimento kullanılması daha erken dayanım artışı sağlar. Ayrıca soğuk hava koşullarında bu tip bir çimento kullanmanın yanı sıra çimento dozajının artırılması hem hidratasyon ısılarının artmasına hem de ilk günlerdeki dayanımın daha yüksek olmasına yardımcı olur. Hava sürükleyici, priz hızlandırıcı, su azaltıcı ve/veya suyun donma derecesini düşüren (antifriz gibi) katkı maddelerinin kullanımı da soğuk iklim koşullarında beton dökümünde etkili ve yararlı önlemlerdir (Baradan vd. 2002).

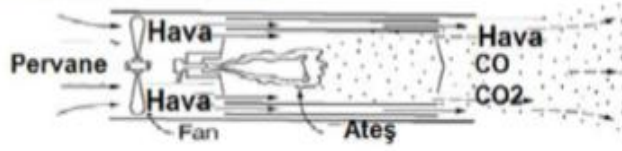
c) Uygun tipte kalıp kullanılması: Soğuk hava koşullarında üretilen betonlar için en uygun kalıp tipi iyi bir izolan malzeme olan ahşap kalıpların kullanılmasıdır. Kalıbına yerleştirilen betonun sıcaklığının hızlı bir şekilde kaybolmasını

önlemek için kalıp üzerine sıkılan ürethan köpük, kalıpların dış yüzüne serilen saman veya ticari olarak üretilen örtüler kullanılmaktadır.

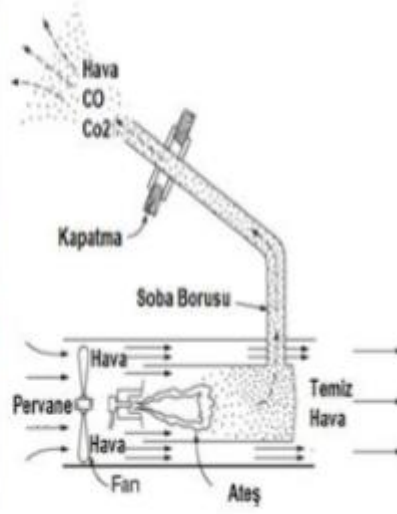
- d) Beton döküm işinin önceden planlanarak gerekli hazırlıkların yapılması: Taze betonun donma olayından korunmasını ve uygun sıcaklıklara sahip olabilmesini sağlayacak bütün hazırlıkların soğuk hava koşullarından önce tamamlanması gereklidir. Donmanın taze betonda oluşturduğu olumsuz etkileri azaltmak üzere, beton teknolojisinin gerektirdiği önlemlerin alınması şarttır. Bu önlemlerin esası, beton üretiminde kullanılan malzemelerin, araç ve gereçlerin sıcaklığını yüksek tutmak ve taze betonun sıcaklığını döküm sırasında ve sonrasında belirli derecenin ($\sim 15^{\circ}\text{C}$) altına düşürmemektir. Ayrıca kullanılacak malzemelerin (su, agrega, çimento tipi, katkı maddesi) nitelikli olması ve beton tasarımının doğru yapılması gereklidir. Beton dökümüne başlamadan betonla temas edecek bütün yüzeyler kontrol edilmelidir. Betonun yerleştirileceği zemin dâhil betonla temas edebilecek bütün yüzeylerin en az $+2^{\circ}\text{C}$ tercihen $+10^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta olması ACI 306R-88 (2002) (Cold Weather Concreting) tarafından tavsiye edilmektedir.
- e) Uygun yalıtım malzeme seçilmesi ve uygun kürün yapılması: Geçmişten günümüze kadar birçok yalıtım malzemesi ve kür metodu denenmiştir. İlk olarak Resim 2.1’de gösterilen ısı yalıtımlı brandalar kullanılmıştır. Bu brandalar 7°C ila 12°C arasında sıcaklık artışı sağlamışlardır ancak uygulama alanının büyüklüğü sargılama güçlüğü ve sargılama hatalarını da beraberinde getirebilmektedir. Daha sonra sıcak hava üfleyen, direkt ateşlemeli, sıcak yanma gazlarını da ısıttığı hava ile birlikte bulunduğu ortama ısıveren direk ısıtıcı donanım yardımıyla, yüksek sıcaklıkta hava çıkışına sahip Resim 2.2’de görünen seyyar ısıtıcılar kullanılmıştır (Türkel 2007). Kalorifer sistemiyle yapılan Resim 2.3’te gösterilen ısıtma sistemlerinde ise hava üfleyen ısıtıcı ekipman ile aynı mantıkta çalışır, fakat sıcak hava doğrudan ortama verilmez boru yardımıyla ısınacak olan ortama iletilir. Direkt ısıtıcı donanım ile karşılaştırıldığında, mazot koyan ve kontrol için görevli işçi açısından karbon monoksit ve karbondioksit gazlarını solumadığı için daha sağlıklı bir ısıtma tipi olarak bilinmektedir.



Resim 2.1 Isı Yalıtımlı Brandalar (Yalçın 2015).



Resim 2.2 Direk ısıtıcı donanım (Yalçın 2015).



Resim 2.3 Kalorifer sistemi ile ısıtma donanımı (Yalçın 2015).

Özellikle son yıllarda Rusya standartlarında yer almış bir yöntem olan beton içerisine Resim 2.4’de görüldüğü gibi kablo döşemesi ile ısıtma yöntemidir. Kablo ile ısıtma yönteminde beton içerisine yerleştirilen kablolar beton içerisinde kalarak donatı ve beton arasında ki aderans yüzeyini azaltmaktadır bunun yanında kabloları ısıtabilmek için yüksek miktarlarda gerilim uygulanmaktadır. Gerek kablo maliyeti gerekse uygulanan gerilimden kaynaklı harcadığı enerji ile kablo yöntemi ekonomik yönden yüksek maliyetler doğurmaktadır. Tüm bu yöntemlerin amacı beton iç sıcaklığını arttırmak için uygulanmaktadır. Bu çalışmanın da kapsamı olan doğrudan betona gerilim uygulanması ile düşük gerilim değerlerinde daha az enerji sarf ederek beton iç sıcaklıkları yükseltmek hedeflenmiştir.



Resim 2.4 Kablo döşeme sistemi ile ısıtma.

2.3 Konuyla İlgili Yapılan Çalışmalar

Qin *et al.* (2017) çimento ve çimento içerisine grafen oksit ilave ederek hazırlamış oldukları çimento hamurlarına su ve mikrodalga kür yöntemi uygulamışlardır. Grafenoksiti farklı oranlarda (%0,05, 0,1, 0,5) kullanarak mikrodalga kür yöntemi ve su kürlemesi yapılan çimento ve grafen oksit katkılı çimentoların basınç dayanımı üzerine etkisini araştırmışlardır. Mikro dalga ile kürleme yapılan numunelerin dayanımlarının su kürlemesi yapılan numunelerden daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Grafen oksit miktarının artmasıyla birlikte dayanımında arttığını aynı zamanda mikro dalga kürü uygulandığında dayanımda daha fazla artış olduğunu gözlemlemişlerdir.

Betonun kürlenmesi için yüksek miktarlarda su gerektirir. El-Dieb and El-Maaddawy (2018) yapmış oldukları çalışmada, suda çözünebilir Polietilen Glikol ve Poliakrilamid

polimerlerini kürleme suyuna ilave ederek betonların priz almaları ve korozyon direncini incelemişlerdir. Korozyon incelemesi, 28 günlük bir süre boyunca ıslak-kuru döngülere güçlendirilmiş beton prizmalar maruz bırakılarak gerçekleştirilmiştir. Islanma döngüsünde, ortam sıcaklığında %5 sodyum klorür zltisine daldırılmıştır. Korozyon potansiyeli, korozyon akımı yoğunluğu ölçülerek değerlendirilmiştir. Polimer ilaveli kr suyu ile kürlenen beton karışımının dayanıklılık özeliklerinin, hava ile sertleşen kontrol karışımından daha iyi olduğu saptanmıştır. Ayrıca 3 gün süren kısa kürleme yapılan betonların, standart kr yapılan betonlara göre 28 günlük dayanıklılık özeliklerinin 28 gün boyunca su ile sertleşen betonların dayanım indeksleriyle benzer şekilde olduğu grlmştir.

Cecini *et al.* (2018) elektriksel kr ve buhar kr ile priz aldırılan elik fiber takviyeli betonların mekanik özelikleri ve mikro yapılarını incelemişlerdir. Beton numuneleri elektriksel kürleme ve su kürleme yapılan beton numuneleri farklı yaşılarında basınç ve eğilme deneylerine tabi tutmuşlardır. Betonlar 28 günü doldurduktan sonra taramalı elektron mikroskobu ile incelemişlerdir. Her ne kadar elektrikle kürlenmiş betonların, buharla kürlenmiş örneklerden daha düşük dayanımlara sahip olduğu saptansa da sonuçlar elik fiber takviyeli betonlarda elektriksel krn uygulanabileceğinin uygun olduğu ve dayanımlarının suda kürlenen numunelerden daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Uygunoğlu ve Hocoğlu (2018) yapmış oldukları çalışmada, farklı dozajlarda (250, 300, 350 ve 400) betonların elektrik kr üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Deneylerde 10x10x35 cm kalıplar kullanarak alternatif güç kaynağı yardımıyla 24 saat boyunca oda sıcaklığında farklı yoğunluklarda (0, 40, 60, 80 ve 100V) gerilim uygulamışlardır. Elektrik akımı uygulaması ile numunelerin elektriksel kürleme ve hidratasyon sürelerini araştırmışlardır. 250, 300, 350 ve 400 dozajlı betonlara 100 V gerilim yoğunluğu uygulanmasıyla, bunların aynı akım uygulanan referans betonları ile karşılaştırıldıklarında, priz bitiş sürelerinin sırasıyla 510, 380, 410 ve 500 dakika kısalđını saptanmışlardır. Hidratasyon süresinin, hem elektrik akımının betona uygulanması hem de betonun dozaj miktarının artırılması ile priz süresinin kısalacağı sonucuna varmışlardır.

Nie *et al.* (2016) bu problemleri çözmek ve ısı ile sertleşen betonun performansını geliştirmek için ısıl kürlemenin uygunluğunu araştırmışlardır. Isıl kürleme ile hidrasyon iç sıcaklığının 65 °C'nin üzerine çıkmadığı ürünlerde, ilerleyen yaşlarda dayanımı penetrasyon direncini önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. Aynı zamanda daha homojen bir dağılımın yanı sıra ısıyla sertleşen harç durumunda agrega malzemesi çevresinde daha düşük gözenekliliğe sahip bir mikroyapıya sahip daha iyi bir ara yüzey geçiş bölgesi ile sonuçlandığını gözlemlemişlerdir.

Üretim hızını arttırmak için kullanılan ısılkürleme, betonun mikro yapısal ve dayanıklılık özelliklerini etkiler. Verilen bir performans gerektiğinde, ısıl sertleşmenin beton özelliklerde etkisi dikkate alınmalıdır. García *et al.* (2016) yapmış oldukları çalışmada, ısıl kürleme işleminin laboratuvar ve endüstriyel ölçekte üretilen iki kendiliğinden yerleşen betonun (SCC) birkaç parametresi üzerindeki etkileri değerlendirmişlerdir. Numuneleri çimentoların %20'sini kireçtaşı dolgusuyla değiştirmek üzere üretmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, ısıyla sertleştirme işleminin, her iki betonun özelliklerini benzer şekilde değiştirdiğini, böylece daha sürdürülebilir ısıyla sertleştirilmiş kendiliğinden yerleşen harçların üretilebildiğini göstermektedir.

Toprak (2002) ısıl işlem uygulanan betonlarda 28 günlük potansiyel dayanımının erken tahmin edilebilmesi amacıyla etüvde kür yöntemi ile kazanılan erken dayanımlarla 28 günlük dayanımlar arasındaki ilişkiler regresyon denklemleri ile analiz etmiştir. Başlangıç sıcaklıklarına göre kurulan olgunluk dayanım ilişkileri ile bu tip betonlarda erken yaşlardaki dayanımının tahmin edilmesi amaçlamıştır. İki farklı tip ince agrega ile 0.59 su/çimento oranı ve 10cm sabit çökme değerinde üretilen küp beton numunelerine beton kalıba konduktan sonra 1 saat ön beklemeden sonra kalıpla beraber 6veya 18 saat sürede 20, 40 ve 60°C deki etüvde kür edilip betonlar kalıptan sökülmüş olarak iki saat son bekleme aşamalarından oluşan kür uygulamaları sonunda ve 28. günde hasarsız deneylerden rezonans frekansı ve ultrases hızı hasarlı deneylerden küp basınç dayanım deneyleri uygulanarak beton özelliklerine hızlandırılmış kür sıcaklığı ve ince agrega cinsinin etkileri belirlenmiştir. Deneysel veriler irdelenerek başlangıçtaki kür sıcaklığı arttıkça erken dayanım kazanımının arttığı ancak 28 günlük dayanımlarının azaldığı bu etkinin kırma taş kumu ile üretilen numunelerde daha belirgin olduğu, etüvde kür ve

olgunluk yöntemleri kullanılarak ısıtıl işlem uygulanan betonların dayanımlarının oldukça düşük hata payları ile tahmin edilebileceği saptanmıştır. Hasarsız deneylerden ultrases hızı deneyinin beton kalitesinin belirlenmesinde güvenilir sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır.

Sönmezoğlu (2005) yapmış olduğu çalışmada hafif betonun mekanik özellikleri üzerine kür koşullarının etkisi araştırmıştır. Kaba agregası olarak Elazığ yöresi volkanik cürufu (VC) ince agregası olarak Elazığ Palu yöresi nehir kumu kullanılmıştır. Çalışmada PÇ 42,5 (CEM 1 42,5 N) çimentosu ile silis dumanı (SD) ve uçucu kül (UK) olmak üzere iki farklı mineral katkı kullanmıştır. Kullanılan mineral katkılardan SD %10, UK ise %20 oranlarında çimento ile ağırlıkça yer değiştirilmiştir. Bu malzemeler ile hazırlanan deney numuneleri 3, 7 ve 28 günlük su ve hava kürüne tabi tutularak basınç dayanımı, yarma dayanımı, ultrases deneylerine tabi tutmuştur. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre tüm beton serilerinin dayanım özellikleri kür süresine göre arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek dayanım özelliklerine su kürüne tabi tutulan numuneler ve düşük dayanım özellikleri hava kürüne tabi tutulan numunelerde gözlemlenmiştir. Farklı kürle tabi tutulan numunelerde ise en yüksek dayanım özelliklerini silis dumanı katkılı beton serileri gösterirken kontrol betonuna göre uçucu kül katkılı beton serileri daha düşük dayanım özellikleri göstermiştir.

Meyer (1997) yapmış olduğu çalışma hızlandırılmış kür yöntemiyle ilgilidir. Çeşitli hızlandırılmış kür yöntemleri mevcuttur. Ancak yapılan çalışma da hızlandırılmış kürün iki yöntemi kullanılmış ve 24 saat ile 28 günlük beton basınç dayanımı arasında bir ilişki olduğu konusunda karşılaştırma yapmıştır. Deneyde 200 mm boyunda, 100 mm çapında silindirik numuneler üretilmiştir. Üretilen beton numuneler ılık su ve sıcak su ile kür edilmiştir. Sonuçlar ılık su ile hızlandırılmış kürün (24 saat ve 350C±30C), sıcak su ile hızlandırılmış kür (23 saat 210C±50C ve 3,5 saat 1000°C) tercih edilebilir olduğunu göstermiştir. Ayrıca betonun 28 günlük dayanımı tahmin etmede başka yöntemlerin kullanılabilir olduğu da anlatılmıştır.

Uygunoğlu vd. (2018) beton içerisine karbon siyahı ilave ederek elektriksel kür yöntemine etkisini araştırmışlardır. %0, %1, %2 ve %3 oranında karbon siyahı katkılı ve katkısız betonlara 0V, 45V, 60V ve 90 Volt gerilim uygulayarak iç sıcaklıkları ve priz

bitiş sürelerini elde etmişlerdir. Karbon siyahının iletken yapısından kaynaklı olarak düşük gerilim değerlerinde daha yüksek iç sıcaklıklar elde ederek hidrasyon hızlandırdığını gözlemlemişlerdir. Karbon siyahı ilavesi ile elektriksel kurlamada enerji tasarrufu yapılabileceği ve aynı zamanda priz sürelerini de daha da kısaltılabileceği sonucuna varmışlardır.

Chen *et al.* (2017) yarı kuru karıştırma yöntemi ile yeni geliştirilen elektriksel iletken agregaların (ECA) araştırılması üzerine çalışmışlardır. Karbon fiber ve karbon siyahı, agregalara iletken dolgu maddeleri olarak eklenirken, normal Portland çimentosu ve uçucu kül matris malzemeleri olarak kullanmışlardır. Karbon fiber veya karbon siyahı dozlarının ECA'ların elektriksel direnci, su emme ve basınç dayanımı üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Sadece karbon fiberli ECA'lar için karbon fiber eşik sızıntısının hacimce %1,0 olduğu tespit edilmiştir. %1,0 karbon fiberli ECA'lar 3,4 Ω/m elektrik direnci, %13,08 su emme ve 1,57 MPa kırılma dayanımı sergilemiştir. Dahası, karbon karası içeriği, karbon elyaf içeriği %0,5 oranında tutulduğunda araştırılmıştır. %0,5 hacim karbon fiber içeren ECA'lar için karbon siyahının eşik sızıntısı ağırlıkça %2,0 olmuştur. Bu ECA'lar 7.34 μm direncine, %24,41 su emme ve 0,95 MPa kırma dayanımında olduğu saptanmıştır. İki iletken bileşenin oluşturduğu iletken ağı incelemek için taramalı elektron mikroskobu kullanmışlardır; bu, ECA'ların içindeki karbon fiber ve karbon siyahının iletken mekanizmasını göstermeye yardımcı olmuşturlar.

Ding *et al.* (2013) elektrik iletken malzemeler olarak nano-karbon siyahı (NCB) ve karbon fiber (CF) betona eklenmişlerdir. NCB ve CF'nin mekanik özellikler üzerindeki etkisi ve betonun dirençteki (FCR) frasyonel değişimine etkisi incelenmiştir. FCR, ilk geometrik nötr eksenin (IGNA) ve ışın hasarı derecesi arasındaki ilişkiler geliştirilmiştir. Sonuçlar, FCR ve IGNA arasındaki ilişkinin Birinci Mertebeden Üstel Bozulma fonksiyonu ile açıklanabileceğini ve beton kırışın iç hasarının hasar derecesi ve direnç arasındaki ilişki tarafından yansıtıldığını göstermiştir. Eğilme altında hasar tanısı için karbon siyahı ve lifli beton kırış incelenmiştir. İletken malzemelerin kırışın dirençli (FCR) fraksiyonel değişimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. FCR ve nötr eksen aksı arasındaki ilişki önerilmiştir.

Wang *et al.* (2018) çok fonksiyonlu özelliklere sahip karbon nanofiber (CNF) ile güçlendirilmiş reaktif pudra beton (CNF-RPC) geliştirmeyi amaçlamışlardır. Su/bağlayıcı oranına 0,2 ve CNF oranı çimentonun hacimce %0 ila %2'si arasında seçmişlerdir. Her bir CNF dozu için CNF-RPC'nin eğilme ve basınç dayanımını belirlemişlerdir. CNF-RPC'nin piezoresistif performansı araştırılmış ayrıca, CNF-RPC'nin performansının düşmesi, sonlu elemanlar analizi kullanılarak deneysel olarak araştırılmış ve sayısal olarak benzetmişlerdir. Sonuçlar, uygun CNF içeriğine sahip RPC'nin olumlu mekanik özellikler ve mükemmel kendini algılama performansı gösterdiğini saptamışlardır. CNF'leri (CNF-RPC) içeren RPC daha iletken ve CNF'lere çimento harcı ve harç numuneleri eklediklerinden daha yüksek hassasiyet ve kendiliğinden algılama performansının doğrusallığı göstermiştir.

André *et al.* (2017) gerilim sensörleri gerçek zamanlı hizmet ömrü izleme gerçekleştirmek için inşaat mühendisliği altyapılarına gömülebilmesi konusunda çalışma yapmışlardır. Burada, karbon siyahı (CB) partikülleri ile yüklü piezoresistif çimento bazlı kompozitlerin algılama kabiliyeti araştırmışlardır. Bağlayıcı kütlenin %10'una kadar yüklenebilen bir CB dolgu maddesi ile birkaç kompozit karışım, mekanik olarak tek yönlü bir sıkıştırma altında deney yapılmış ve deformasyonun bir fonksiyonu olarak elektrik direncindeki değişiklikler kaydedilmiştir. Sonuçlar, tersine çevrilebilir bir piezoresistif davranış ve özellikle yüksek miktarlarda CB'ye sahip olan bileşimler için, direnç ve sıkıştırma arasındaki fonksiyonel değişim bir yarı-doğrusal ilişkiyi göstermiştir. Sırasıyla, bağlayıcı kütlenin %7 ve %10'unu içeren bileşimler için 30 ve 24'lük manometre faktörleri bulmuşlardır. Bu bulgular, CB-çimento kompozitlerinin beton köprüler ve karayolları gibi altyapılarda sıkıştırıcı gerilim izlemek için umut verici bir aktif madde olabileceğini göstermektedir.

Deng and Li (2018) çekme dayanımını artırırken, hacim direncini azaltmak için Karbon Siyahı (KS) nano-partikülleri ve Hava Entegrasyon Maddesi (AEA) içeren birçok fonksiyonlu elektrik iletken beton (ECC) türü incelenmişlerdir. KS partiküllerinin direkt gerilim altında ECC, HFA-ECC (yüksek uçucu kül ECC) ve KS-ECC'nin elektriksel cevabı üzerindeki etkisi, dört noktalı prob deneyi ile deneysel olarak araştırmışlardır. Deney sonuçları, tüm numunelerin dayanımın çatlak yayılımı ile arttığını ve elastik

fazdaki artış oranının çok daha yüksek olduğunu göstermiştir. KS ve AEA kombinasyonu, elastik aşamadan ilk çatlama aşamasına kadar en yüksek algılama kabiliyetine sahipti ki bu da iç mikro çatlakların kütle özdirencinin değişimiyle oluşup oluşmadığını belirleyebileceğini saptamışlardır.

Kurda *et al.* (2018) yapmış oldukları çalışmada uçucu kül (FA) ve geri dönüştürülmüş beton agregalarının (RCA), tek tek ve birlikte, betonun gözenek sistemine dayanımını önemli ölçüde etkileyen yüksek katılık düzeylerinin etkisi üzerine bir literatür taraması ve deneysel sonuçlar sunmuşlardır. Bu amaçla, kapsamlı bir literatür taramasının yanı sıra, her ikisi de gözeneklere bağlı olan kılcallık ve daldırma deneyleri ile betonun birbirine bağlı gözenekliliğini ve su emilimini (WA) dolaylı olarak ölçen elektriksel direnç (ER) deneyi dahil üç deney uygulamışlardır. Ana bulgular ve araştırma ihtiyaçlarını göstermek için deney sonuçları ve literatür arasında bir karşılaştırma da sunmuşlardır. Sonuçlar, WA'nın arttığını ve ER'nin RCA dâhil etme seviyesinin artmasıyla azaldığını ve bunun tersinin, her iki deney için de FA'nın eklenmesiyle gerçekleştiğini göstermektedir. WA'nın redüksiyon yüzdesi, sadece RCA veya FA ile karışımlardaki azalmalarla karşılaştırıldığında, hem RCA hem de FA ile karışımlarda daha yükseldiğini gözlemlemişlerdir. Bu nedenle, söz konusu geleneksel olmayan malzemelerle betonun WA ve ER cinsinden beton üretilmesi tavsiye etmişlerdir.

H. Zhang *et al.* (2018) karbon fiber, grafen ve hiyerarşik gözenekli aktif karbonu ilave ederek sağlam ve esnek “karbon-beton” filmlerin sentezlenmesi için bir yaklaşım sunmuşlardır. Yöntem, karbon fiber demetlerinin elektrokimyasal olarak yayılmasını ve selüloz kaplama tabakalarının yerinde aktivasyonunu içermiştir. Elektrokimyasal olarak sentezlenmiş grafen yongalarının 10–30 µm büyüklüğünde tek tek karbon fiber tabakanın yerinde sabitlenmesinde ve karbon liflerinin aktivasyon korozyonundan korunmasında önemli bir rol oynayabileceğini saptamışlardır. Ayrıca 40 µm kalınlığında yeni esnek gözenekli “karbon-beton” film, 5,3 GPa mekanik dayanım, 830 m²/g spesifik alan ve geniş gözenek büyüklüğü dağılımı sergilemiştir. Bu hafif karbon malzeme, süperkapasitör enerji deposunu otomobillerle entegre etmek için potansiyel olarak kullanılabilir olduğunu saptamışlardır.

Lee and Yoo (2018) elik liflerin ve karbon nanotüplerin (CNTs) kendi kendini algılayan ultra yüksek performanslı beton (UHPC) geliştirmeye yönelik fizibilitesini incelemeyi amaçlamışlardır. Bunun için, iki farklı şekle sahip dört elik lif tipi (düz ve bükülmüş) ve 65 ila 100 arasında üç farklı boy oranı ve % 2'lik bir fiber hacim ilavesinde göz önüne alınmışlardır. CNT'lerin hacimce %0,5'i eşzamanlı olarak eklenmiştir. Sadece %0,5 CNT içeren düz bir UHPC de üretmiş ve kontrol  rneği olarak test etmişlerdir. Deney sonuçları, %2 elik lifin eklenmesinin, düz UHPC'nin basınç dayanımı, elastise modülü, gerilme dayanımı ve gerilme kapasitesini arttırmakta etkili olduğunu gözlemlenmiştir. UHPC ve ultra yüksek performanslı elyaf takviyeli betonun (UHPFRC) sıkıştırıcı davranışları, dirençli (FCR)  l mde fonksiyonel bir değişime dayanırken, toplam gerilme davranışları tahmin edilmemiştir. Çatlak ucu yer değiştirme (COD) eğrileri, FCR  l m  ve önerilen eğri uydurma denklemlerine dayanarak oldukça iyi benzetilmiştir. Mikro elik liflerin kullanılması, GF'nin arttırılmasında makro elik fiberlerin kullanılmasından daha etkili olmuştur ve bükülmüş elik liflere kıyasla düz elik elyaflı UHPFRC için daha iyi tahmin sonuçları elde etmişlerdir.

Uygunoğlu vd. (2018) yapmış oldukları çalışmada, atık bir ürün olan karbon siyahını beton içerisine %0, 1, 2 ve 3 oranında ikame ederek betonun mekanik, fiziksel ve elektriksel iletkenlik özelikleri araştırmışlardır. Artan karbon siyahı oranı ile su emilimi, birim hacim ağırlığı, dayanım, elektriksel özdirenç azalmış ve gözeneklilik oranı arttığını gözlemlemişlerdir. Karbon siyahı oranının beton içerisinde artmasıyla birlikte ince yapısından kaynaklı dolgu etkisi oluştırmakta ve dayanım düşüşüne neden olduğunu saptamışlardır.

Elektrik iletken beton (ECC), imentolu kompozit ile tasarlanmış, üstün çekme dayanımı ve enerji emilimi sağlayan çeşitli tipte fonksiyonel dolgular ile imal edilen imento bazlı bir malzemedir. ECC, elik lif (SF) ve karbon siyahı (CB) gibi bazı iletken dolgu maddelerini de kendi kendine algılama konusunda büyük bir potansiyel sunmaktadır. Shi *et al.* (2017) iki tip ECC'nin mekanik özeliği, iletken performansı ve kendini algılama kapasitesi hakkında çalışma sunmuşlardır. %0,58 elik fiber ve %1,75 PVA ile imal edilen SF-ECC ve imento esaslı malzemelere %1 ağırlık oranında oranlanmış CB-ECC %1,75 PVA, deneyler ve sayısal benzetim ile araştırmışlardır.

Direnç varyasyonu ile gerilim gerginlik ilişkisini karşılaştırmak için alternatif akım (AC) ile direnç ölçümünü senkronize eden dört nokta eğilme deneyi uygulamışlardır. Sonuçlar, ECC optimizasyonunun yükleme ve kendi kendini gönderme kapasitesini dengelemesine katkıda bulunacak olan, kendi kendini algılama özelliğinin duyarlılığını değerlendirmek için bu iki ECC tipi arasında karşılaştırılmıştır.

Sassani *et al.* (2018) yapmış oldukları bu çalışmada, bir ABD havaalanında uygulanan ilk elektrik iletken beton (ECON) ısıtmalı kaldırım sisteminin (HPS) karışım tasarım hazırlığı, üretimi, yerleştirilmesi ve performans değerlendirmesi işlemlerini rapor etmişlerdir. ECON, HPS de dâhil olmak üzere çok işlevli kaplamalar için bir kaplama malzemesi olarak büyük ilgi çekerken, ECON HPS uygulamalarının ve çalışmalarının çoğu laboratuvar ölçeği ile sınırlandırılmıştır veya hava sahası inşaatı uygulamaları tarafından uygulanan düzenlemelere uymayan malzemeleri ve yöntemler içermektedir. Farklı çimentolu maddeler, agrega sistemleri, su-çimento esaslı oranlar, karbon fiber dozajlar ve katkı maddeleri kullanılarak laboratuvarda ECON karışımları hazırlamışlardır. Des Moines Uluslararası Havalimanı'nda bir HPS test bölümünde uygulama için en uygun ECON karışım tasarımını bulmak için laboratuvarda hazırlanmış karışımlar üzerinde yapılan deneylerin sonuçları kullanmışlardır. Beton santralinde üretilen ECON'un özellikleri ölçülüp ve eşdeğer laboratuvarla hazırlanan örneklerle karşılaştırılmıştır. Nihai karışım tasarımı, laboratuvarda $115\Omega\text{-cm}$ 'lik elektriksel direnci ve alandaki $992\Omega\text{-cm}$ 'yi göstererek, güç ve işlenebilirlik gereksinimlerini tamamen karşıladığını gözlemlemişlerdir. Büyük ölçekli üretimde elde edilen yüksek ECON direncine rağmen, imal edilmiş HPS, buz çözme ve buzlanma önleme işlemleri açısından istenen performansı sergilediğini gözlemlemişlerdir.

Faneca *et al.* (2018) geri dönüştürülmüş karbon fiberleri (RCF'ler) kullanarak iletken yapıya sahip çimento esaslı malzemelerin geliştirilmesine yönelik bir araştırma sunmuşlardır. İki somut dozajda geleneksel ve ultra yüksek performanslı beton karışımlarında dört farklı tipte PAN bazlı RCF çalışmışlardır. Lif takviyeli betonu üretmek için yaygın olarak kullanılan iki yöntem kuru karıştırma ve ıslak karıştırma kabul etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, ıslak karışım yönteminin, karışımların daha iyi işlenebilirliğini ve liflerin iyi dağılmasını sağladığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, hacim

olarak %0,2 ila 0,8 arasında değişen RCF içerikleri için 3–0.6 Ω m aralığında elektrik direnç değerleri elde etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, çok fonksiyonlu çimentolu malzemelerin geliştirilmesi için RCF kullanma olasılığını ve dolayısıyla bu malzemelerin endüstriyel bir açıdan kullanılma olasılığını ortaya koymuştur.

Uygunoğlu ve ınar (2018) ortam koşullarında (22 $^{\circ}$ C), 0 $^{\circ}$ C ve -10 $^{\circ}$ C’de dökülen betonlara özel tasarlanmış güç kaynağı yardımıyla farklı gerilim (0, 45, 60 ve 90V) değerlerinde elektriksel kür uygulayıp priz bitiş süreleri tayin etmişlerdir. Ortam sıcaklığının düşmesi ile birlikte priz yavaşlamakta ve durma tehlikesi ile karşılaşılmaktadır. Betona gerilim uygulayarak betonun i sıcaklığını yükseltip beton i sıcaklığının düşmesi engelleyip ve priz süresi uzatılabileceğini saptamışlardır. Gerilim değerinin artmasıyla birlikte i sıcaklıkların arttığı, priz bitiş sürelerinin azaldığını gözlemlemişlerdir.

Yoo *et al.* (2018) mikro elik fiberler ve çok duvarlı karbon nanotüpler (CNTs) kullanarak ultra yüksek performanslı bir beton (UHPC) karışımında kendiliğinden gerilme ve hasar algılamanın fizibilitesi konusunda çalışmışlardır. Bir ön çalışmaya dayanarak, CNT’lerin hacim içeriği %0.5 olarak belirlenmiş ve % 2 mikro elik fiberler, yüksek performanslı fiber takviyeli beton (UHPFRC) imal etmek için karışıma dahil etmişlerdir. Kemik şeklinde numuneleri üreterek, çekme performansını ve kendi kendini algılama kabiliyetini değerlendirmek için CNT’ler ile UHPC ve UHPFRC kullanılarak üretilmişlerdir. Deney sonuçları, elik fiberlerin ve CNT’lerinhibrid kullanımının, tek başına CNT’lerin kullanımına göre, dayanım ve son tepe süneklik dahil olmak üzere çekme performansında önemli bir iyileşme sağladığını gözlemlemişlerdir. CNT’ler ile çatlak köprüleme UHPC karışımında elde edilmemiştir, bu da kırılğan gerilme hatasına neden olmuştur. CNT’liUHPC’de, dirençli fraksiyonel değişimdeki (FCR) ve çok yüksek elektrik direncinde şiddetli sinyal gürültüsü gözlenirken, CNT’ler ile UHPFRC’de çok az boşluklu ve çok daha küçük dirençli çok düzgün FCR verileri elde etmişlerdir. Dahası, CNT’li UHPFRC’nin hem öncesi hem de son-yüksek gerilme performansı, yüksek bir belirleme katsayısına (0,9’dan büyük) sahip olan ölçülen FCR’ye dayanarak iyi bir şekilde benzerlik elde etmişlerdir. Sonuç olarak, bir UHPC karışımında hem elik liflerin hem de CNT’lerin kullanılmasının, çatlama sonrası çekme

performansının ve kendiliğinden gerilmenin ve hasar verme özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılması önermişlerdir.

Monterio *et al.* (2015) karbon siyahı nanopartiküller (CB) ile takviye edilmiş çimento esaslı kompozitlerin elektriksel özellikleri tartışmışlardır. Direnç yükü altında birkaç CB konsantrasyonu düşünülmüş ve direnç yükü altında taraması yapılmıştır. Stresin elektrik öz direncinin fonksiyonu olarak değerlendirilmesinin amacı, bu malzemelerin altyapılarda kendi kendini izleme uygulamaları için potansiyelini incelemektir. Sonuçlar, bir öz direnç azalmasını ve ardından karışımdaki CB miktarını arttırırken gerilim duyarlılığının artmasını göstermiştir.

Uygunoğlu ve Çınar (2018) farklı ortam sıcaklıklarında dökülen betonların elektriksel kür yöntemi ile kürlemesi yapılarak hidratasyon sıcaklıkları ve priz süreleri incelemişlerdir. Alternatif akım(AC) güç kaynağı güç kaynağı ile 24 saat boyunca farklı gerilim (0, 45, 60 ve 90 V) yoğunlukları kullanmışlardır. Ölçümler ortam koşullarında (22°C), 0 °C ve -10 °C sıcaklıklarda yapılmıştır. Elektriksel kür uygulanan numunelerin iç sıcaklıkları gözlemlenmiştir. Gerilim değerinin artmasıyla hidratasyonun hızlandığı ve alınan sıcaklıkların arttığı gözlenmiştir. Ortam koşullarında kalıp alma süresinde %74'e varan kısalma gözlemlenmiştir. Soğuk ortamlarda ise soğuk hava koşullarının olumsuz etkileri özellikle 90 Volt gerilim değerinde engellenmiştir. Gerilme uygulanmadan soğuk ortam koşulunda priz meydana gelmez iken 90 V gerilme uygulanması ile betonda priz meydana geleceğini saptamışlardır.

Velandia *et al.* (2018) karbon ayak izini azaltmak için daha sürdürülebilir yapı malzemeleri üretmek üzere betonlarda uçucu külün kullanımı ile ilgili araştırmalar geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla, uçucu külün kimyasal aktivatör ile birlikte kullanılmasından uzun vadeli beton performansı açısından elde edilebilecek yararları araştırmışlardır. Üretilen betonlarda Portland çimentosu (PC) ve sodyum sülfatlı yüksek hacimli uçucu kül kullanıp, çeşitli dayanıklılık deneylerine tabi tutmuşlardır. Klorür difüzyon katsayısı, aynı sudaki kontrol numuneleri (%100 PC ve %80 PC-%20 uçucu kül) ile karşılaştırıldığında, aktive sistem için sodyumlu ve uçucu küllü numunelerde (%50 PC-%50 katılmış sodyum sülfat ile uçucu kül) çimentolu malzemelere göre

zamanla önemli ölçüde azaldığını gözlemlemişlerdir. Bu davranış, kontrollü laboratuvar koşullarında (%100 RH ve 23°C) kürlenmiş numunelerde özellikle belirgindir. Uzun süreli karbonasyon ve ortam koşulları altında incelenmiş ve ortam koşullarında kürlenmiş numuneler önemli bir karbonatlaşma derinliği sergilemiştir. Basınç dayanımı, dayanıklılık parametreleriyle ilişkilidir: dayanıklılık performansı, basınç dayanımı mineral katkının artmasıyla artmaktadır, bu da Portland çimentosu için olduğu gibi (her zaman alkali ile aktive edilmiş bağlayıcılar için değil), yüksek dayanım sağlayan mikroyapısal faktörlerin de katkıda bulunduğunu göstermişlerdir.

Dembovska *et al.* (2017) puzolanik ikame maddelerinin hidrasyon ile oluşan sıcaklığa ve betonun nihai dayanımına olan etkisini tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Diferansiyel termal analizler (DTA) yapmışlardır. Farklı oranlarda Portland çimentosu, silis dumanı ve kalsine kil içeren üçlü çimentolu sistemler incelemişlerdir. Sonuçlar, silis dumanı ile harmanlanmış çimento hamurlarında ki puzolanik reaksiyon ve portlandit tüketim oranlarının, kalsine kil karışımı çimento macunlarından daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Literatür çalışmalarında, gerek betonda kalıp alma süresinin kısıltılma ihtiyacı gerek soğuk ortam koşullarında hızlandırılmış kür yöntemleri incelenmiştir. İncelemeler sonucunda elektriksel kür yönteminin kalıp alma süreleri üzerine azaltıcı etkisi gözlemlenmiştir. Soğuk ortam koşullarında kür yöntemleri geçmişten günümüze gelişerek devam etmektedir. Betonu doğrudan ısıtma tekniklerinden biri olan elektriksel kür metodu, diğer kür metotları incelendiğinde düşük enerji gereksinimi ile dikkat çekmektedir. Bu çalışmada betona atık bir ürün olan karbon siyahı ilave ederek iletkenliğini arttırıp daha düşük gerilim değerlerinde daha yüksek iç sıcaklıklar elde etmeyi amaçlamaktadır. İç sıcaklıkların artmasıyla birlikte hem kalıp alma süreleri kısaltılmış hem de soğuk ortam koşullarında betona prizi meydana getirmeyi amaçlanmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Kullanılan çimento ve agrega özellikleri laboratuvar ortamında belirlenmiştir, kullanılan karbon siyahı için gerekli olan özellikleri temin edilen firma tarafından alınmıştır. Betonda kullanılan çimento, agrega, su ve karbon siyahı özellikleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

3.1.1 Deneyde Kullanılan Çimento

Çimento, su ve agrega betonu oluşturan ana malzemelerdir. Çimento, esas olarak, doğal kalker taşları ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bir bağlayıcı malzemedir. Hidrolik bağlayıcı maddeler, su ile reaksiyonu sonucu sert bir kütle oluşturdudan sonra su içerisinde dağılmayan, sertliğini ve dayanımını muhafaza eden veya artıran bağlayıcı maddelerdir. Çimentonun ve su arasında gerçekleşen kimyasal reaksiyon ekzotermik (ısı çıkartan) bir reaksiyondur.

Deneyde kullanılan çimento, Afyon Çimento Sanayi Fabrikasının üretimi olan standart CEM I 42,5 R Portland çimentosudur (TS EN 197-1 2012). Çimento havadaki nemden etkilenmektedir, topaklaşmalar gösterebilir bundan dolayı taze üretilmiş çimento kullanmaya ve nemden uzak tutmak için özel koruyucu kaplarda saklamaya özen gösterilmiştir. Kullanılan CEM I 42,5 R çimentolarına ait kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2 de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Kullanılan CEM I 42,5 R çimentosunun kimyasal analizi.

Kimyasal Analiz	Analiz Sonuçları
SiO ₂	20,62
Al ₂ O ₃	5,65
Fe ₂ O ₃	4,05
CaO	62,08
MgO	2,55
SO ₃	2,57
Kızdırma Kaybı	1,55

Çizelge 3.2 Kullanılan CEM I 42,5 R çimentosunun fiziksel özellikleri.

Çimento Tipi	Yoğunluk (gr/cm ³)	Blaine (cm ² /g)
CEM I 42,5 R	3,11	3054

3.1.2 Agrega

Agregalar su ve çimento ile betonu oluşturan temel malzemelerdir. Kum, çakıl, kırma taş gibi taneli malzemelerdir ve beton içerisinde ki hacmin %70 ila %75'ini oluştururlar. Agregaların üretim maliyeti çimentoya oranla oldukça azdır bu nedenle, istenilen kalitede betonu üretebilmek koşuluyla betonu daha ekonomik hale getirmek için olabildiğince yüksek miktarlarda kullanılası arz edilir. Betonda 0-4 mm kırma kum ve 4-11,2 mm kırma taş kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kırma kumun deneylerde kullanım uygunluğu Türk Standartlarından kontrol edilmiştir (TS 706 1980). Kullanılan kumun incelik modülü 3,21 olarak hesaplanmıştır. Betonda en büyük tane boyutu 11,2 mm olarak belirlenmiştir. Agregaların su emme kapasiteleri ve yoğunlukları TS 3526'ya göre bulunmuştur. İnce ve iri agreganın yüzey kuru suya doygun yoğunlukları sırasıyla 3,67 ve 2,70 gr/cm³, su emme kapasiteleri ise %1,15 ve 0,62'dir. Kullanılan agregaların granülometrisi standartlara uygundur (TS 706 1980). Kullanılan Agregaların elek analizi sonuçları Çizelge 3.3'te, fiziksel özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 Agreganın elekten geçen yüzde değerleri.

Elek Göz Açıklığı,mm	Elekten Geçen, %	
	Kırma Kum (0-4)	Kırma Agrega(4-11,2)
0,25	26,8	3
1	38,7	3
2	57,3	3
4	97,3	11
8	100	74
16	100	100

Çizelge 3.4 Deneyde kullanılan agreganın fiziksel özellikleri.

Fiziksel Özellikleri	İnce Agregada Değeri (gr/cm³)	İri Agregada Değeri (gr/cm³)
γ_{kuru}	2.30	2.55
γ_{dky}	2.37	2.70
$\gamma_{\text{görünen}}$	2.65	2.60
Su emme (%)	1.17	0.65

3.1.2.1 İri Agregalar İçin Yoğunluk ve Su Emme Oranı Tayini

Yoğunluk deneyini yapabilmek için iri agregalar yüzey kuru suya doymun hale getirildi. Agregada yığının farklı noktalarından rastgele seçilen numuneler, 24 saat boyunca 20 °C (+3°C)'de suyun içerisinde bekletildi. Agregalar 24 saat beklemenin sonunda suyu süzülerek taneler üzerinde ki su tabakası kalkana kadar kurutuldu. Bu işlem malzemeyi kısaltması DYK olan yüzey kuru suya doymun hale getirildi. İri agregada agregaların su emme ve yoğunluk değerleri bu şekilde bulunur; DYK durumunda ki agregada numunelerinden yaklaşık 800 gr miktarında alınır. Cam kavanoz su ile doldurularak, içerisinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde cam kapak kapatılarak tartıldı. Cam kavanozun içindeki suyu bir miktar boşaltarak 800 gr agregada su içerisinde konuldu. Daha sonra kavanoz tamamen suyla doldurularak hava kabarcığı kalmayacak şekilde cam kapak kapatılır ve ağırlığı ölçülmüştür. Bu iki tartım arasında ki fark bize agreganın hacim miktarını vermektedir. Ağırlık ve hacim oranından agreganın yoğunluğu belirlenmiştir. Agregalar etüvde kurutularak kuru ağırlık değeri belirlenmiştir. Malzemenin tanelerinin boşluklarına dolan suya bağlı olarak agregada ağırlığında ki agreganın kuru ağırlığına göre yüzdesi (%) olarak su emme oranı olarak ifade edilen değer belirlenmiştir.

3.1.2.1 İnce Agregalar İçin Yoğunluk ve Su Emme Oranı Tayini

Deneyde yapılacak ince agregalar 24 saat boyunca 20 °C (+3 °C)' de suyun içerisinde bekletilmiştir. Malzeme kaybı olmayacak şekilde suyu süzülerek bir tava içerisinde yerleştirildi. Tava ısıtıcı üzerinde sürekli karıştırılarak agregalar DYK haline getirilmiştir. Sürekli kontrol edilerek tamamen kurumasına dikkat edilmiştir. Kavanoz

yöntemi yardımıyla iri agregada olduğu gibi yoğunluk değeri belirlenmiştir. Su emme değeri ise DYK ağırlığı ve etüv kuru ağırlığı yardımıyla yüzde (%) olarak belirlenmiştir.

3.1.3 Karbon Siyahı

Katkı maddesi olarak atık lastiklerden elde edilen karbon siyahı kullanılmıştır. Karbon siyahı yüksek iletkenliğe sahip atık bir üründür. Deneyde kullanılan karbon siyahının fiziksel özellikleri Çizelge 3.5'te verilmiştir. Karbon siyahı özellikleri Resim 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.5 Deneyde kullanılan karbon siyahının fiziksel özellikleri.

ASTM	İsmi	Yüzey Alanı (m ² /g)	Tane Büyüklüğü (nm)
D 1765	ISAF	110-140	20-25



Resim 3.1 Karbon siyahından bir görünüm.

3.1.4 Karışım Suyu

Beton üretiminde kullanılan karışım suyunun iki önemli görevi vardır bunlardan birincisi betona işlenebilme özelliği kazandırmak, diğeri ise hidrasyon ürünlerinin oluşmasını sağlayarak betonda sertleşme meydana getirmektir. Karışımında kullanılacak su ile ilgili özel bir Türk Standardı yoktur. Deneylerde Afyonkarahisar ilinin içilebilir çeşme suyu kullanılmıştır.

3.2 Beton Üretimi

3.2.1 Karbon Siyahı Katkılı Beton Üretimi

Beton karışım hesabı yapılabilmesi için ilk olarak agregaların özellikleri belirlendikten sonra Türk standartlarına uygun ideal gradasyon eğrisi yakalayabilmek için karışım agreganın yüzde oranları belirlenmiştir. Kırma kum ve agregaya yarı yarıya karıştırılarak standartlara uygun ideale en yakın karışım elde edilmiştir. Beton karışımı için malzeme özellikleri ve agregaya karışım oranları belirlendikten sonra beton hesabı sonucunda birim hacimdeki beton bileşenleri Çizelge 3.6’da verilmiştir. Beton karışımı için 250 litre kapasiteli karıştırıcı kullanılmıştır. Başlangıçta beton karışımı için kırma kum, agregaya, karbon siyahı ve çimento 1 dakika karıştırılarak kuru karışım elde edilmiştir. Daha sonra kuru karışıma yaklaşık 2/3'lük karışım suyu eklenmiştir. Son olarak kalan su (1/3) karışıma konuldu ve karıştırma işlemi 5 dakika sürdürülmüştür. Numunelerin kalıptan rahat çıkabilmesi için kalıplar yağlanmıştır. Hazırlanan betonlar, boyutları 10x10x10 cm olan, elektriksel olarak izole edilmiş plastik kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıplara yerleştirilen numuneler 45 saniye süreyle vibrasyon uygulanmıştır. Betonlar prizini aldıktan sonra ortalama 24 saat sonunda kalıplardan çıkartılmıştır. Betonların kalıptan çıkarıldıktan sonra birbirine karışmaması için yüzeylerine tahta kalemi yardımıyla isimlendirilmiştir. Çıkartılan numuneler kür havuzuna yerleştirilmiştir.

Çizelge 3.6 Birim hacim için gerekli malzeme miktarları.

Karbon siyahı oranı(%)	Çimento, kg/m ³	Su, lt/m ³	Karbon siyahı kg/m ³	Kum kg/m ³	Agrega kg/m ³
0%	300	211	0	865	882
1%	297	211	3	865	882
2%	294	211	6	865	882
3%	291	211	9	865	882

3.3 Çimento Pastasının İç Sıcaklığı ile Priz Süresi Arasındaki İlişki

Priz süresi ile sıcaklık arasında ilişki kurabilmek amacıyla su/çimento oranı 0,40 olan 2

adet çimento hamuru hazırlanmıştır. Bir tanesine hiçbir işlem yapılmadan her 10 dakikaya bir sıcaklık ölçen veri kaydedici yardımıyla sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Bir diğeri otomatik Vicat aletine bağlanmış ve her 6,6 dakikada bir iğne düşürülmüş ve batma derinliği yardımıyla priz süresi tayin edilmiştir. Çimento hamurunun sıcaklık ölçümü Şekil 3.2’te verilmiştir.



Resim 3.2 Çimento hamurunun sıcaklık ölçümü.

3.4 Beton Üzerinde Yapılan Deneyler

Üretilen betonlara 0, 45, 60 ve 90V AC gerilim uygulanarak aynı anda sıcaklık ölçümleri yapıp iç sıcaklıkları ve priz süreleri karşılaştırılmıştır. %0, 1, 2 ve 3 oranında karbon siyahı ikame edilmesiyle üretilen betonlarda karbon siyahı oranının priz süresi üzerine etkisi incelenmiştir. Ortam sıcaklığını 22 °C, 0 °C ve -10 °C yaparak priz süreleri ve iç sıcaklıkları üzerine etkisi incelenmiştir. Betonlara 1, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı tayini yapılmıştır. Tüm serilere Arşimet deneyleri yapılarak boşluk oranı, su emme ve birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Tüm serilerde elektriksel özdirenç ölçümleri ve kapiler su emme deneyleri uygulanmıştır. Tezde yapılan deneyler ve standartları Çizelge 3.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7 Tez kapsamında yapılan deneyler, ilgili standartlar ve numune boyutları.

Deneyler	İlgili Standart	Numune Boyutları
Gerilim Uygulanması	ASTM C 1202 (2018)	10x10x30 cm
Basınç Dayanımı	TS EN 196-1 (2016)	10x10x10 cm
Elektriksel Öz Direnç Ölçümü	ASTM C 1760 (2012)	10x10x10 cm
Boşluk Oranı	TS EN 12390-7 (2010)	10x10x10 cm
Kapiler Su Emme	TS EN 1925 (2000)	10x10x10 cm

3.4.1 Betonlara Elektriksel Kür Uygulanması

Kalıplara yerleştirilen taze halde ki beton numunelerine elektriksel kürleme uygulayabilmek için kalıpların yan yüzeylerine iletken levhalar yerleştirildi. Betonlara ortam koşullarında (22 °C), 0 °C ve -10 °C’de 0, 45, 60 ve 90V gerilim değerlerinde uygulanmıştır. Betonlara gerilim uygulanabilmesi için kalıpların yan yüzeylerine bakır levhalar yerleştirildi. Gerilim yoğunluğunun numunelere uygulanması için alternatif akım (AC) güç kaynağı ve sıcaklık verilerinin kayıt alabilmek için 10 kanal kapasitesine sahip veri kayıt cihazı kullanılmıştır. Elektriksel kürleme işlemi yapılırken, gerilim uygulamaları 30cm’lik mesafede uygulanmıştır. Alternatif güç kaynağı Resim3.2’de, veri kaydedicinin görünümü Resim 3.3’te verilmiştir. Veri kaydedici, numunelerin sıcaklığını değerlendirmek için kullanılır ve her 10 dakikada bir kaydedilir ve grafikleri çizilmiştir. Güç kaynağı, alternatif akım (AC) uygulamak için kalıplara yerleştirilen iletken levhalara bağlanmıştır. 0 °C ve -10 °C sıcaklıklardaki ortamlar Resim 3.4’te gösterilen iklimlendirme kabini yardımıyla elde edilmiştir. Hazırlanan 10x10x30 cm boyutlarındaki kalıplara yerleştirdikten sonra AC güç kaynağı ile gerilim uygulayabilmek için kalıpların iki yan yüzeylerine bakır levhalar yerleştirilmiştir. AC güç kaynağının pozitif kutbunu bir levhaya negatif kutbunu 30cm mesafedeki diğer levhaya bağlanmıştır. AC güç kaynağı 24 saat çalıştırılmıştır. Kürleme işlemi ortam koşullarında, 0 °C ve -10 °C’de tekrarlanmıştır. Hazırlanan deney düzeneği Resim 3.6’te gösterilmiştir.



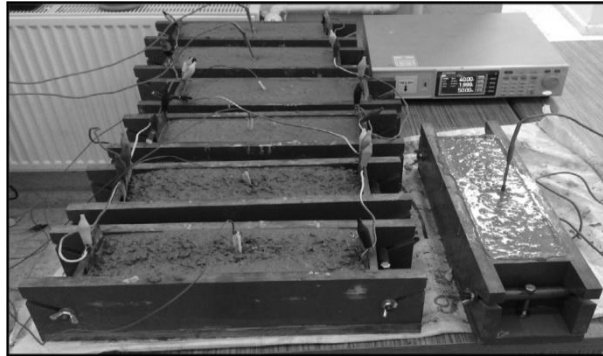
Resim 3.3 Alternatif akım güç kaynağı.



Resim 3.4 Veri kaydedici.



Resim 3.5 İklimlendirme kabini.



Resim 3.6 Betonlara AC gerilim uygulanması.

3.4.2 Betonlarda Basınç Dayanımları

Gerilim uygulanan ve uygulanmayan tüm serilere TS EN 197-1 (2012) standardına göre 200 ton kapasiteli Alfa marka pres yardımıyla basınç deneyleri yapılmıştır. Tüm

serilerde 24 saat sonra kalıptan alınır alınmaz basınç dayanımı tayini edilmiştir. Betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımları için taze halde 24 saatlik kür uygulandıktan sonra Türk standartlarına uygun kür koşullarında kür edilmiştir. Basınç dayanımları 10x10x10 cm'lik küpler üzerinde yapılmıştır.

3.4.3 Porozite ve Su Emme Özelliklerinin Belirlenmesi

Tüm seriler üzerinde Arşimet prensibi ile çalışan tartı (Şekil 3.7) yardımıyla porozite, su emme özellikleri belirlenmiştir. Betonlar 28 gün sonunda kür havuzundan çıkartılarak tartının su içerisinde ki sepette tartılmıştır. Daha sonra yüzeyleri bir bez yardımı ile kurularak tartı üzerinde tartılmıştır. Numuneler 110 °C'de etüvde 24 saat boyunca kurutulup etüv kurusu hale getirilmiştir. Etüvden çıkan numuneler oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulduktan sonra etüv kurusu ağırlıkları tartılmıştır. Ağırlık ölçümleri her seri için 3'er numune üzerinde yapılarak ortalamaları alınmıştır. Her numune için doygun havadaki ağırlık, su içindeki ağırlık ve etüv kurusu ağırlıkları ile gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

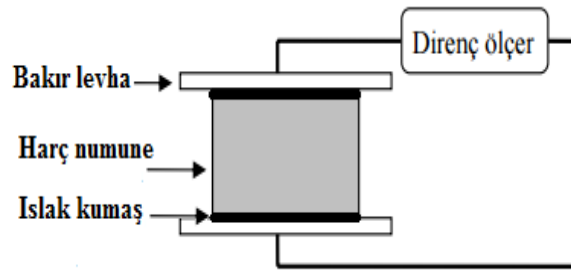


Resim 3.7 Arşimet prensibi ile çalışan tartı.

3.4.4 Elektriksel Özdirenç

Nem koşullarının etkisinden bağımsız halde ölçüm yapabilmek için kür havuzundan çıkartılıp suya doygun halde olan numuneler üzerinde ASTM C 1760 standardına uygun olarak direnç ölçer (ohm-metre) ile iki plaka yöntemine göre elektriksel direnç değeri

(R) ölçülmüştür (Şekil 3.1). Tüm yüzeye temas edebilmesi için numunenin iki yan yüzeyine ıslak bir keçe ve keçenin üzerine birer bakır levha yerleştirildi. Direnç ölçerin iki ucu bakır levhalara bağlanarak ölçüm yapılmıştır (Resim 3.8). Direnç ölçer 0.1, 0.12, 1, 10 ve 100 kHz frekanslarında ve doğru akımda değerlerinde ölçüm yapmaktadır. Farklı frekanslarda elektriksel öz direncin belirlenmesinin amacı, ölçüm frekansına bağlı olarak elde edilebilecek öz direnç değerinin belirlenmesidir. Diğer bir ifadeyle, malzemelerin öz direnç değerlerinin belirlenmesi sırasında seçilen frekans değeri sonuçları doğrudan etkilemektedir.



Şekil 3.1 Elektriksel direnç ölçüm düzeneği.

Direnç değerleri (R) ölçülen harçların elektriksel öz direnç değerleri de aşağıda verilen denklem (1) ile belirlenmiştir.

$$\delta = R \frac{A}{L} \quad (3.1)$$

Denklemden, δ , elektriksel öz direnç (kohm.m); R, direnç (kohm); A, numune yüzey alanı (m^2) ve L, plakalar arası mesafeyi (m) simgelemektedir.



Resim 3.8 Elektriksel Öz direnç ölçümü.

3.4.5 Kapiler Su Emme

Malzemenin su emme kapiler yolla da gelişebilir. Malzemenin bir yüzeyi ile temas eden su, bazı koşullar yerine geldiği takdirde, malzeme bünyesinde yukarı kısımlara doğru çıkar. Bu olay kılcal (mikron mertebesinde) boşluklarda meydana gelir. Kılcal boşluklu cisimlerin bir yüzeyi suya değerse, su zamanla cisim içinde yükselmeye baslar. Kılcal su emme malzemenin suya değen yüzünden zamanla emilen su miktarı ile belirlenir. Betonların kapiler su emme katsayıları TS EN 12958 (2000) standardına göre ölçüm yapılmıştır. Tüm serilerdeki betonların kılcallık özelliği saptamak için beton numuneleri ilk olarak etüv kurusu hale getirilmiştir ve kuru ağırlıkları tartılmıştır. Düzgün bir alt yüzeyi suya değecek şekilde 1 cm yüksekliği olan suya daldırılmıştır ancak, yan yüzeylerden su emilimi olmasını engellemek için yan yüzeyleri geçirimsiz parafin malzemesi ile kaplanmıştır. Su emilimi 10x10x10 cm'lik alandan olması sağlanmıştır. 1dk, 4dk, 9dk, 16dk ve 25 dakikalarda su içerisinden çıkartılıp üzerinde ki su tanecikleri silinerek ağırlık değerleri not edilmiştir. Kapiler kat sayıyı emilen su miktarına, suyla temas eden alana ve geçen zamana göre formül (3.2) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$kt = Q^2 / A^2 \quad (3.2)$$

Q = Emilen su miktarı, (cm³)

A = Su ile temas eden kesit alanı (cm²),

t = Geçen zaman (sn),

k = Kapilerite katsayısı (cm² /sn).

Betonun kılcallık özelliğini saptamak için düz yüzeye sahip kübik şekle sahip beton numunenin önce kuru ağırlığı tartılmıştır, sonra suyun yüzüne değecek şekilde kaba yerleştirilir. Belirli zaman aralıklarında yapılan ağırlık ölçmeleri ile emilen su miktarları bulunmuştur (Resim 3.9).



Resim 3.9 Kapiler su emme deneyi.

3.4.6 Betonlarda Mikro Yapı İncelemesi

Ortam koşullarında (22 °C) ve -10 °C’de dökülen, %3 oranında karbon siyahı içeren 28 günlük beton numunelerinden alınan parçalar Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezine gönderilerek Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizleri yapılmıştır. Numunelerin SEM analizleri için LEO marka 1430 VP model SEM cihazı W (Tungsten) kullanılmıştır.

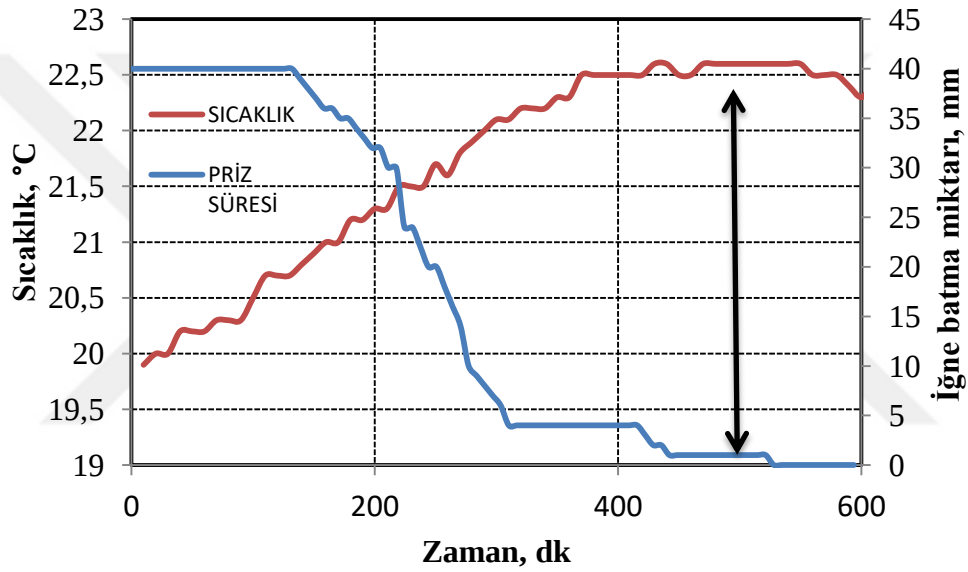


Resim 3.10 SEM cihazı.

4. BULGULAR

4.1 Çimento Pastasının Sıcaklık Ölçümü ile Priz Süresinin Bulunması

Sonuç olarak Vicat aletiyle ölçülen priz sona erme süresi ile sıcaklık ölçümündeki sıcaklığın en yüksek değerler aldığı nokta hemen hemen aynı dakikalarda olduğu Şekil 4.1’te görülmüştür. Vicat ölçümü sonucunda priz başlama süresi 160 dakika ve priz bitiş süresi 440 dakika ölçülmüştür. Çimento hamurunun priz bitiş süresi ile çimento hamurunun iç sıcaklığının en yüksek değerine gelen dakika 480 dakika olarak belirlenmiştir.

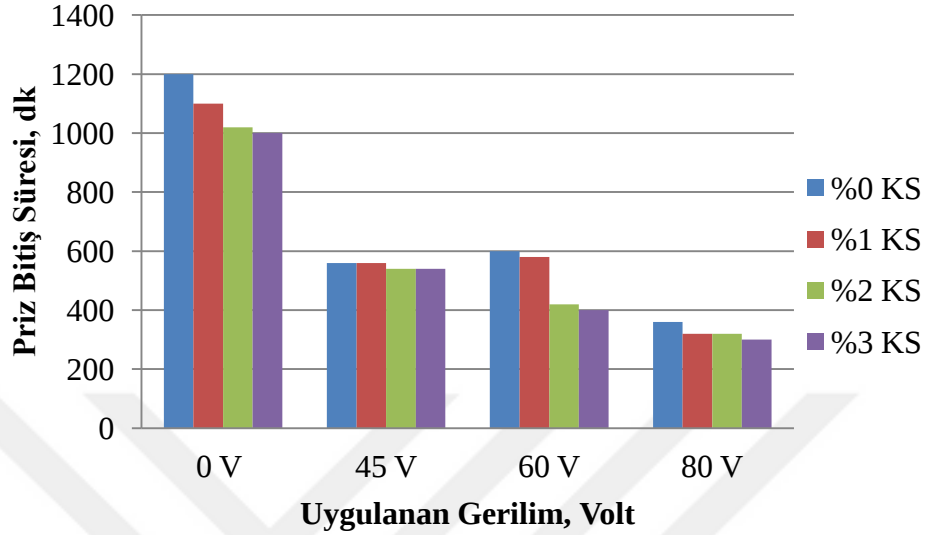


Şekil 4.1 Çimento hamurunun iç sıcaklıkla priz süresinin belirlenmesi.

4.2 Betonların Priz Bitiş Süreleri

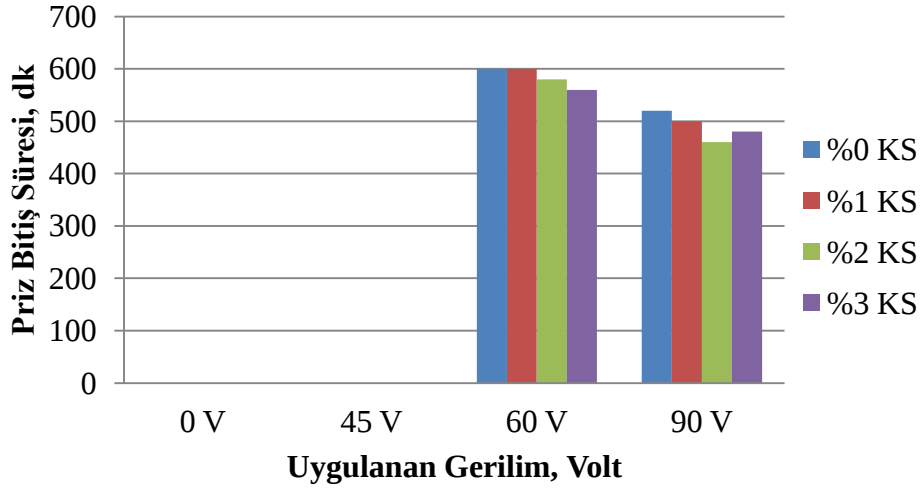
İç sıcaklık ölçümü ile priz süresi tanımlanması Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Ortam koşullarında (22 °C) ölçüm alınan iç sıcaklık verilerinden yararlanarak en yüksek sıcaklığa ulaştığı dakika değerlerinin belirlenmesiyle priz bitiş sürelerine ulaşılmıştır. Ortam koşullarında (22 °C) uygulanan gerilim değerinin artmasıyla birlikte priz bitiş sürelerinin azaldığı görülmüştür. Karbon siyahı oranının artmasıyla birlikte priz sürelerinin azaldığı görülmüştür. Karbon siyahı içermeyen ve gerilim uygulanmayan betonlarda priz süresi 1200 dakika iken 80 volt gerilim uygulanan betonlarda priz süresi 360 dakikaya düşmüştür. %3 karbon siyahı içeren ve gerilim uygulanmayan betonlarda priz süresi 1000 dakika iken aynı karbon siyahı içerikli betona 80 Volt gerilim

uygulandığında 300 dakika olduğu görülmüştür. Gerilim değerinin artması priz bitiş süresini azalttığı ve karbon siyahı ile iletken hale gelen betonlarda gerilim artışıyla birlikte priz süresinde daha yüksek bir azalma değerinin olduğu görülmüştür.



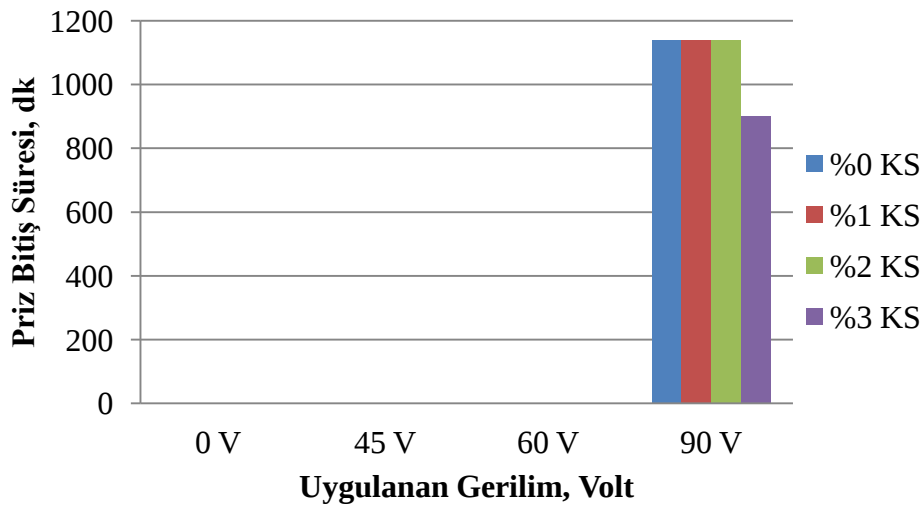
Şekil 4.2 Ortam koşullarında (22 °C) dökülen betonların farklı gerilme değerlerinde priz bitiş süreleri.

0 °C de dökülen betonlarda priz süreleri Şekil 4.3'te verilmiştir. 0 °C'de dökülen betonlarda gerilim uygulanmayan betonlarda, 45 ve 60 Volt uygulanan betonlarda priz meydana gelmemiştir. 90 volt gerilim uygulanan numunelerde priz bitiş gözlemlenmiştir. 90 volt uygulanan betonda karbon siyahı kullanılmayan numunede priz süresi 1060 dakikada alınabilmişken, %1 oranında karbon siyahı kullanılan numunelerde 1040 dakikada, %2 oranında karbon siyahı kullanılan numunelerde 900 dakikada ve %3 karbon siyahı kullanılan betonlarda 880 dakikadır. Soğuk ortam koşullarında normal koşullarında priz gerçekleşmezken 90 volt gerilim uygulayarak 24 saatten daha kısa sürede kalıp alınabilmektedir. Karbon siyahı kullanılan numunelerde iletkenlikten dolayı priz sürelerinde daha da azalma meydana gelmiştir.



Şekil 4.3 0 °C’de dökülen betonların farklı gerilim değerlerinde priz bitiş süreleri.

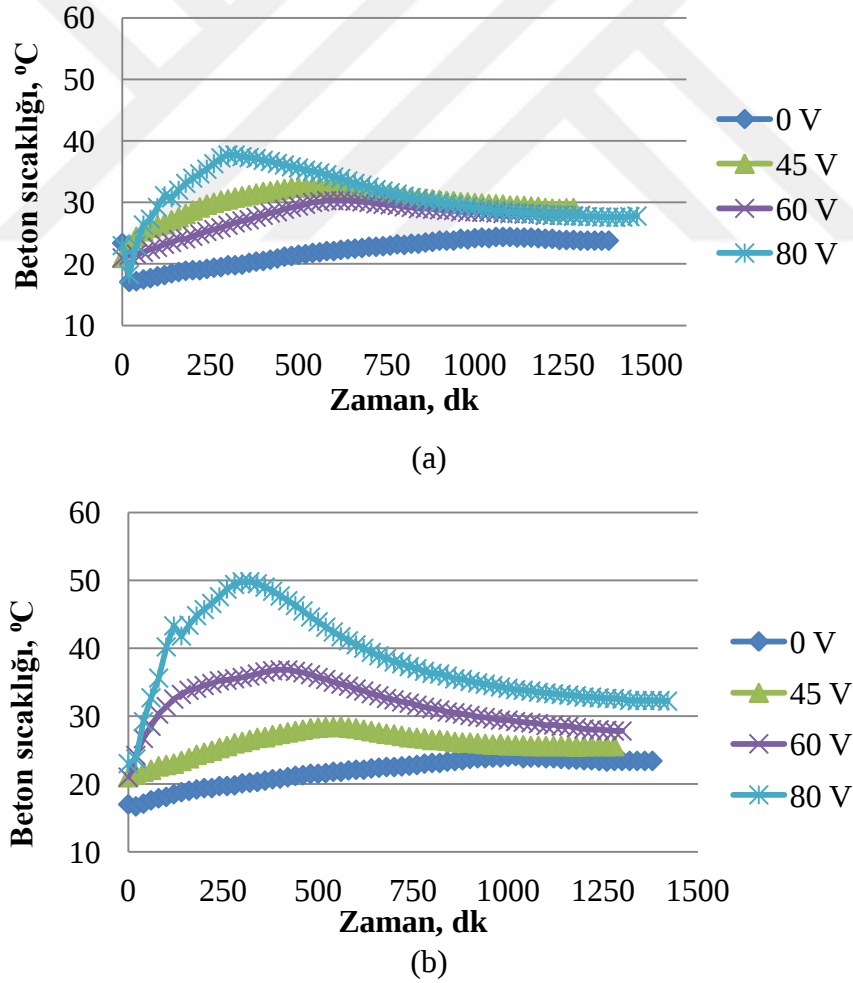
-10 °C’de dökülen gerilim uygulanmayan betonların priz süreleri Şekil 4.4’te verilmiştir. -10 °C’de dökülen gerilim uygulanmayan betonda, 45 Volt ve 60 Volt gerilim uygulanan betonlarda 1440 dakika boyunca priz bitiş görülmemiştir. 90 volt gerilim uygulanan betonda priz bitiş gözlemlenmiştir. 90 Volt gerilim değerinde karbon siyahı oranı %0 ve %1 olan numunelerde priz bitiş 1140 dakikada meydana gelmişken, %2 oranında karbon siyahı içeren numunelerde 1000 dakikada, %3 oranında karbon siyahı içeren numunelerde ise 900 dakikada meydana gelmiştir. Soğuk ortam koşullarında normal koşullarda priz gerçekleşmezken 90 volt gerilim değerinde 24 saatten daha kısa sürede kalıp alınabilmektedir, eğer betonu karbon siyahı yardımıyla iletken hale getirilirse priz süresinin daha da kısaldığı görülmüştür.



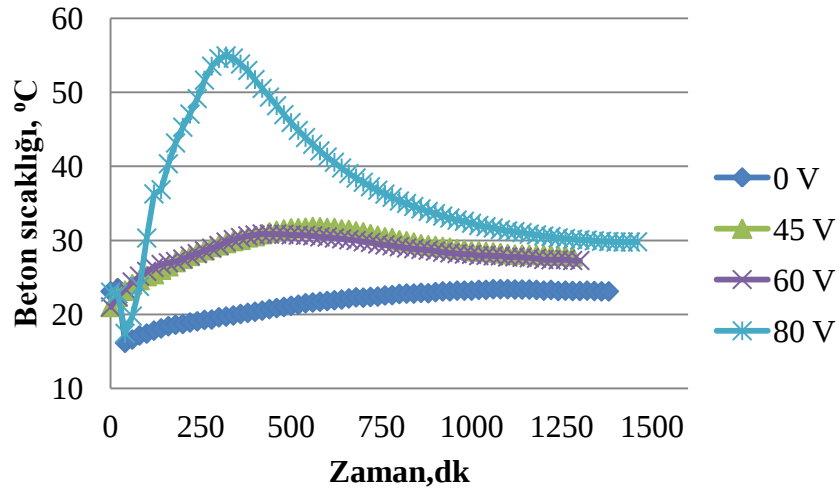
Şekil 4.4 -10 °C’de dökülen betonların farklı gerilim değerlerinde priz bitiş süreleri.

4.3 Gerilim Uygulanan Betonlarda Gerilim Yoğunluğunun İç Sıcaklıklara Etkisi

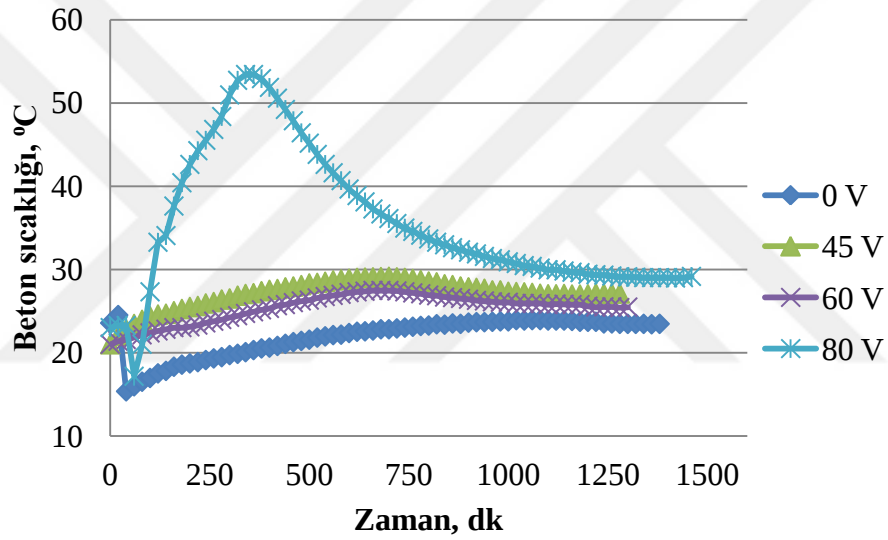
Gerilim yoğunluğunun numunelere uygulanması için özel tasarlanmış güç kaynağı ve 10 kanal kapasitesine sahip veri kayıt cihazı kullanılmıştır. Özel tasarlanmış güç kaynağı, alternatif akım (AC) uygulamak için kalıplara yerleştirilen iletken levhalara bağlanmıştır. Veri kaydedici, numunelerin sıcaklığını değerlendirmek için kullanılır ve her 10 dakikada bir kaydedilmiş ve grafikleri çizilmiştir. Kürleme işlemi ortam koşullarında (22 °C), 0 °C ve -10 °C’de uygulanmıştır. 0 °C ve -10 °C sıcaklıklarda ki ortamlar iklimlendirme kabini yardımıyla elde edilmiştir. Ortam koşullarında gerilim uygulanan betonların karbon siyahı oranına göre iç sıcaklıkları Şekil 4.5’de verilmiştir. 0 °C sıcaklıkta gerilim uygulanan betonların karbon siyahı oranına göre iç sıcaklıkları Şekil 4.6’da verilmiştir. -10 °C sıcaklıkta gerilim uygulanan betonların, karbon siyahı oranına göre iç sıcaklıkları Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.5 Ortam koşullarında (22 °C) gerilim uygulanan betonların iç sıcaklıkları, (a):%0 KS, (b):%1 KS, (c):%2 KS, (d): %3 KS.



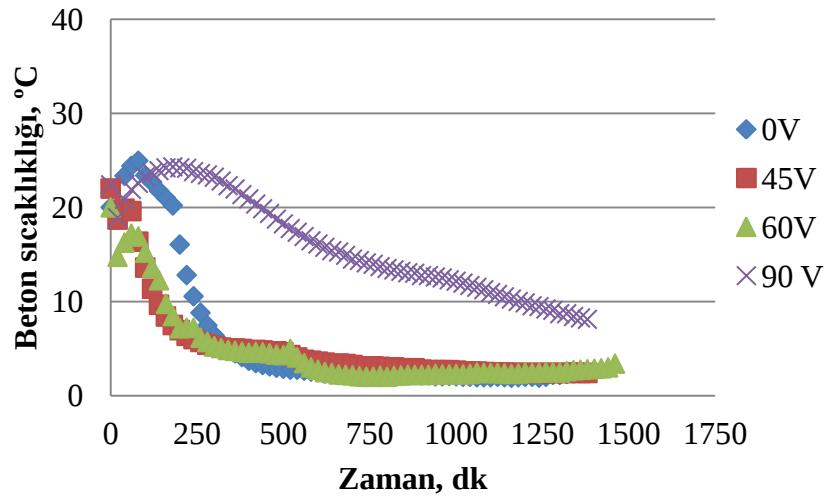
(c)



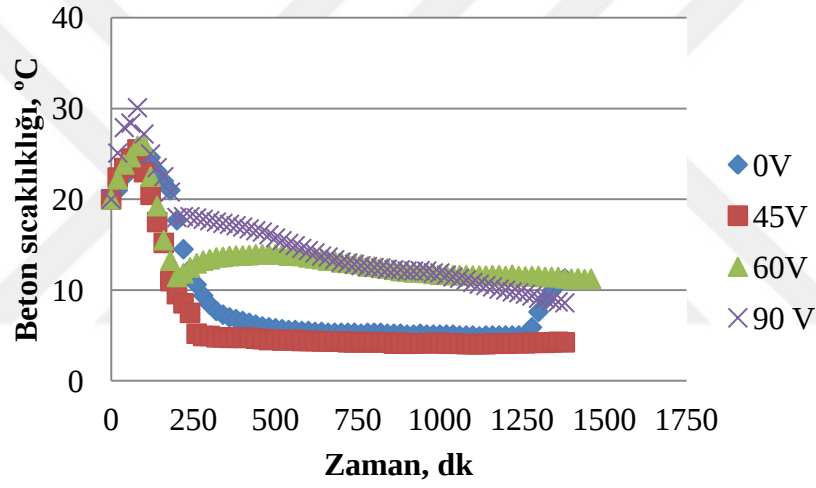
(d)

Şekil 4.5 (Devam) Ortam koşullarında (22 °C) gerilim uygulanan betonların iç sıcaklıkları, (a):%0 KS, (b):%1 KS, (c):%2 KS, (d): %3 KS.

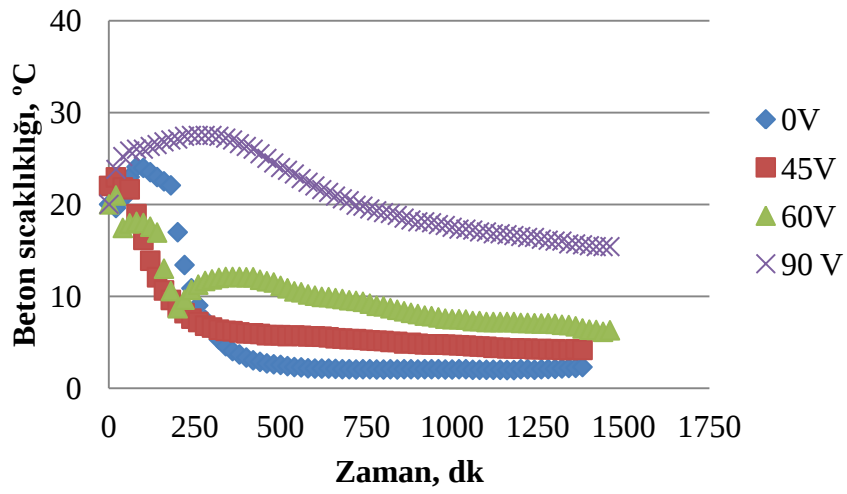
Ortam koşullarında (22 °C) gerilim değerinin artmasıyla birlikte tüm karbon siyahı oranlarında arttığı Şekil 4.5'te görülmüştür. Karbon siyahı kullanılmayan referans betonlarında 80 Volt gerilim uygulanmasıyla maksimum sıcaklık 37,7 °C değerine çıkarken %3 oranında karbon siyahı ikame edilen betonlarda 80 Volt gerilim değerinde maksimum iç sıcaklık 53 °C değerine çıkmıştır. Sıcaklıklara bakıldığında karbon siyahının iletkenliği sayesinde oranının artmasıyla birlikte iç sıcaklıkların daha da arttığı görülmüştür.



(a)

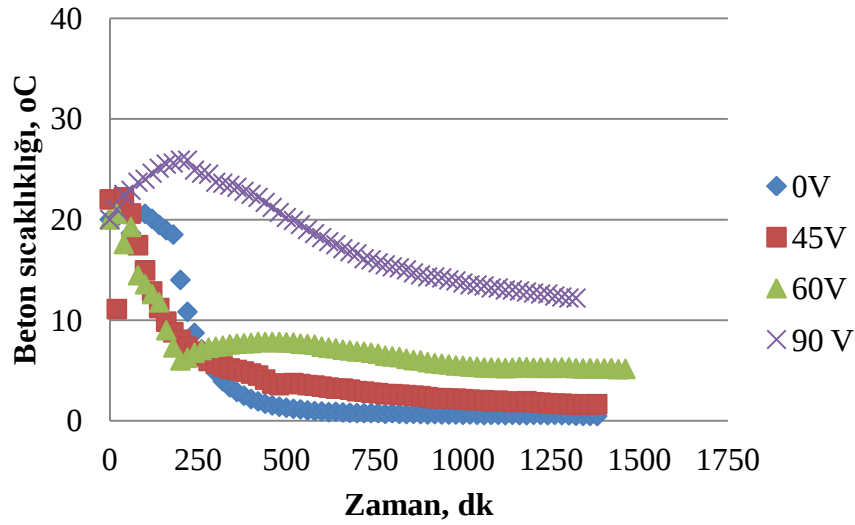


(b)



(c)

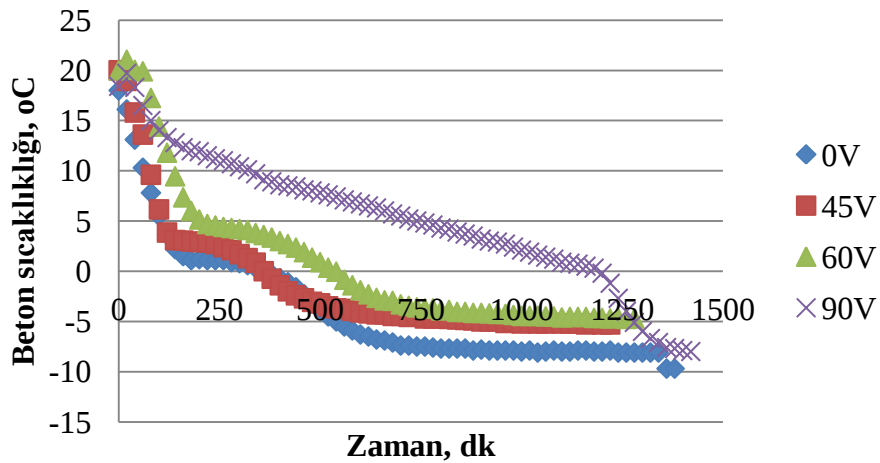
Şekil 4.6 0 °C sıcaklıkta gerilim uygulanan betonların iç sıcaklıkları, (a):%0 KS, (b):%1 KS, (c):%2 KS, (d): %3 KS.



(d)

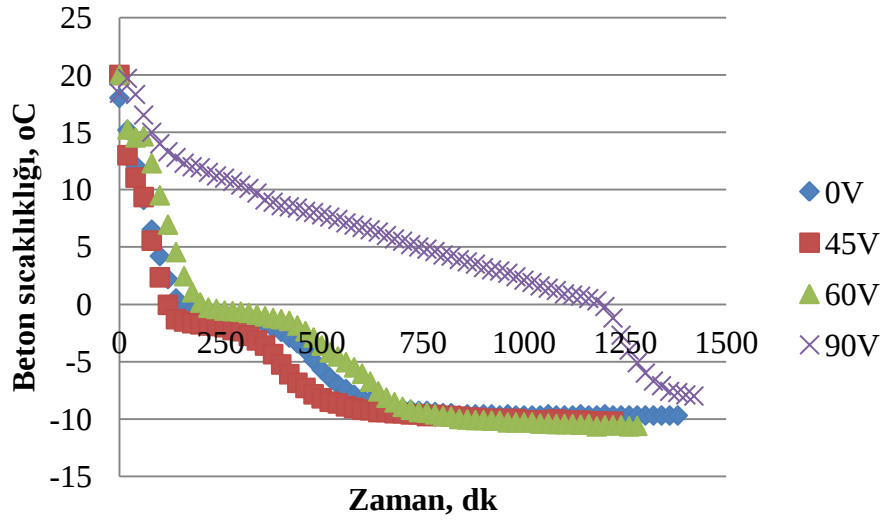
Şekil 4.6 (Devam) 0 °C sıcaklıkta gerilim uygulanan betonların iç sıcaklıkları, (a):%0 KS, (b):%1 KS, (c):%2 KS, (d): %3 KS.

0 °C’ de gerilim uygulanan betonların iç sıcaklıklara bakıldığında gerilim değerinin artmasıyla birlikte iç sıcaklığı daha uzun süre 0 °C’nin üzerinde tutulduğu Şekil 4.6’da görülmüştür. Karbon siyahı kullanılmayan referans betonunda gerilim değerinin artmasıyla birlikte fazla bir miktarda sıcaklık artışı gözlemlenmemiştir. %3 karbon siyahı ikame edilen betonlarda ise gerilim değerinin artmasıyla birlikte özellikle 90 Volt gerilim uygulandığında iç sıcaklıklarda 0 Volta göre 21°C artış olduğu görülmüştür. Kür süresi boyunca beton iç sıcaklığı 0 °C’nin üzerinde tutularak beton içerisindeki suyun donması önlenmiştir.

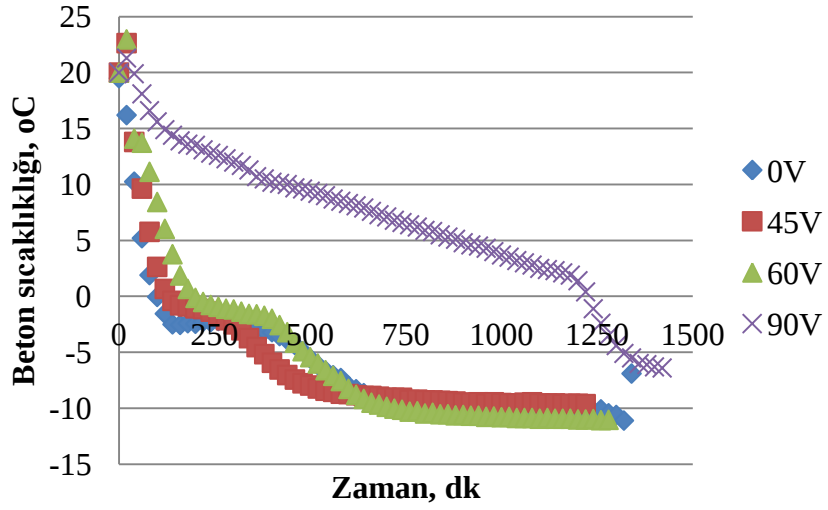


(a)

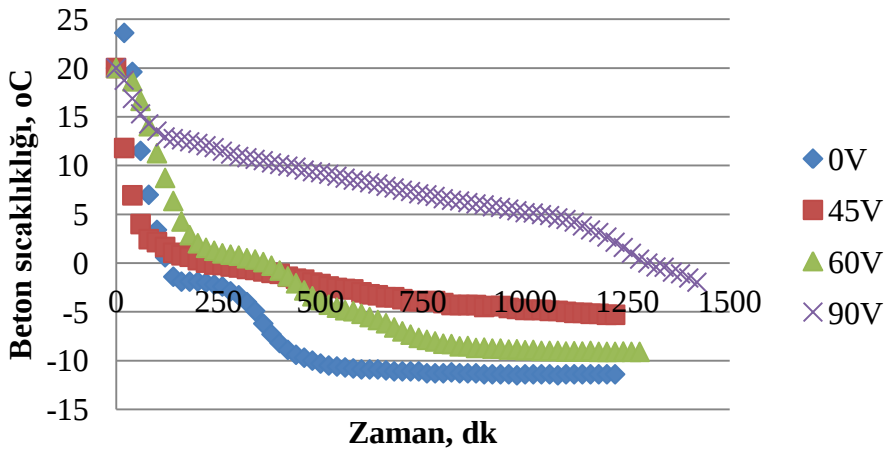
Şekil 4.7 -10 °C sıcaklıkta gerilim uygulanan betonların iç sıcaklıkları, (a):%0 KS, (b):%1 KS, (c):%3 KS, (d): %3 KS.



(b)



(c)



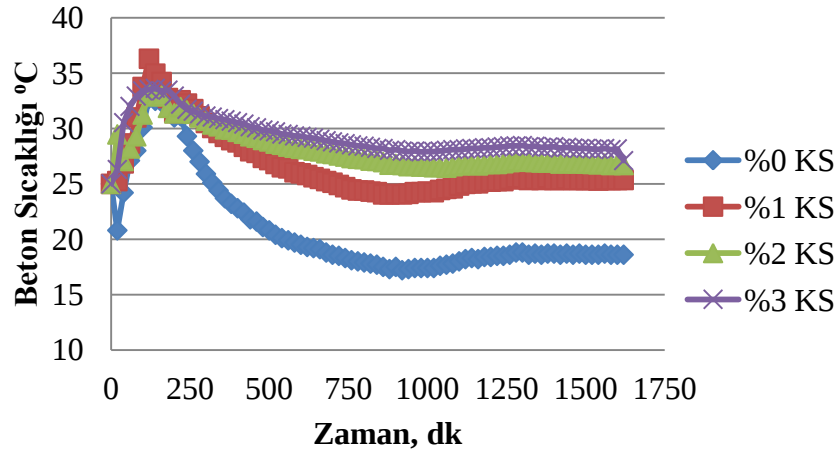
(d)

Şekil 4.7 (Devam) -10 °C sıcaklıkta gerilim uygulanan betonların iç sıcaklıkları, (a):%0 KS, (b):%1 KS, (c):%3 KS, (d): %3 KS.

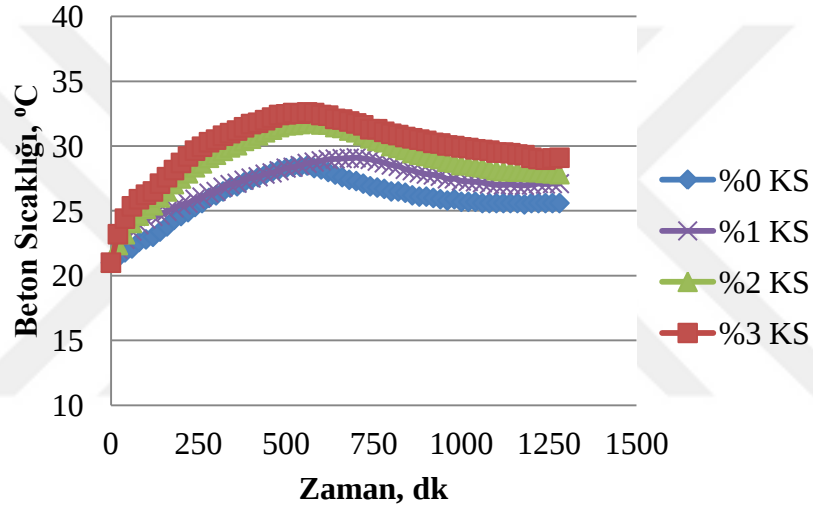
-10 °C sıcaklık beton için kritik bir sıcaklıktır. Uygulanan kür sonucunda iç sıcaklıklara bakacak olursak hızlı bir sıcaklık düşüşü Şekil 4.7’de görülmüştür. Gerilim değerinin artmasıyla birlikte düşüş hızının azaldığı görülmüştür. Karbon siyahı kullanılmayan referans betonunda 90 Volt gerilim değerinde betonun iç sıcaklığı 1200 dakika 0 °C’nin üzerinde tutulurken, %3 oranında karbon siyahı ikame edilen betonun 90 Volt gerilim değerinde 1400 dakika 0 °C’nin üzerinde tutulmuştur. Betonun iç sıcaklığının 0 °C’nin üzerinde tutulması beton içerisindeki suyun donmasını engelleyerek hidrasyonun devam etmesini sağlamaktadır.

4.4 Karbon Siyahı Oranının İç Sıcaklıklara Etkisi

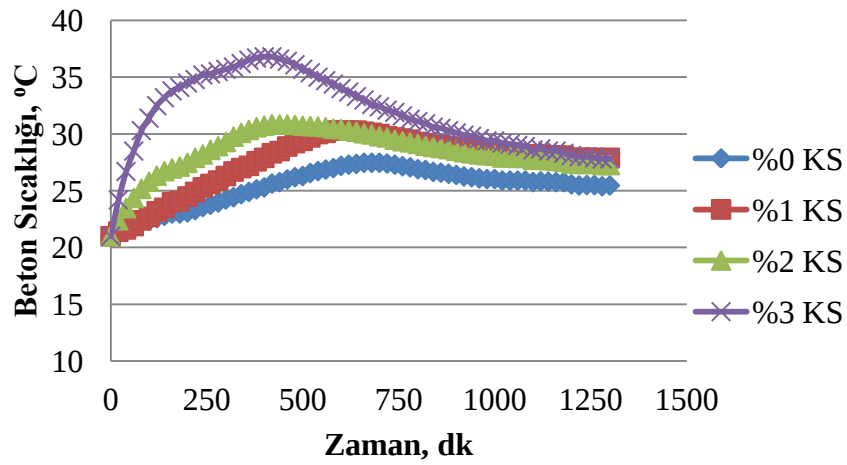
Ortam koşullarında dökülen 0, 45, 60 ve 90 Volt gerilim uygulanan betonların iç sıcaklıkları Şekil 4.8’de verilmiştir. Karbon siyahı oranının artmasıyla birlikte iç sıcaklık değerlerinin de arttığı görülmüştür. Karbon siyahının içerisindeki yüksek karbon miktarının etkisi ile betonun elektriksel iletkenliği arttırdığı görülmüştür. Gerilim uygulanmayan betonlarda %0 oranında karbon siyahı içeren numunenin iç sıcaklığı en yüksek 32 °C’leri görürken %3 oranında karbon siyahı içeren numunelerde en yüksek 35 °C’lere düşmüştür. Gerilim uygulanmaması durumunda fazla bir sıcaklık artışı gözlemlenmemiştir. 45 Volt gerilim uygulanan betonlarda karbon siyahı kullanılmayan numunelerde en yüksek 28 °C’ye çıktığı %3 oranında karbon siyahı kullanıldığında ise 33 °C’lere çıktığı görülmüştür. 60 Volt gerilim uygulanan betonların karbon siyahı kullanılmayan numunelerde en yüksek sıcaklık 28 °C iken %3 oranında karbon siyahı içeren betonlarda en yüksek sıcaklık 36 °C’lere çıkmaktadır. 80 Volt gerilim uygulanan betonların karbon siyahı kullanılmayan numunelerde en yüksek sıcaklık 34 °C iken %3 oranında karbon siyahı içeren betonlarda en yüksek sıcaklık 53 °C’lere çıkmaktadır. Karbon siyahı iç sıcaklık değerini arttırdığı ve gerilim yoğunluğunun artmasıyla birlikte daha yüksek oranlarda arttırdığı görülmüştür.



(a)

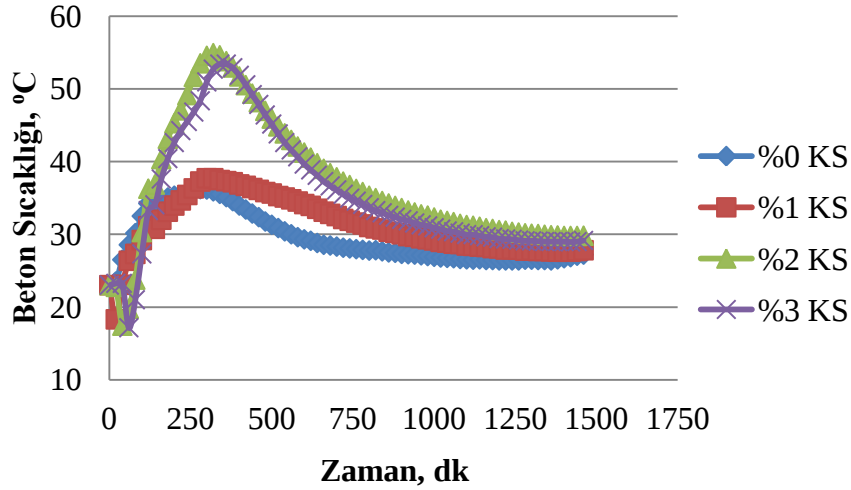


(b)



(c)

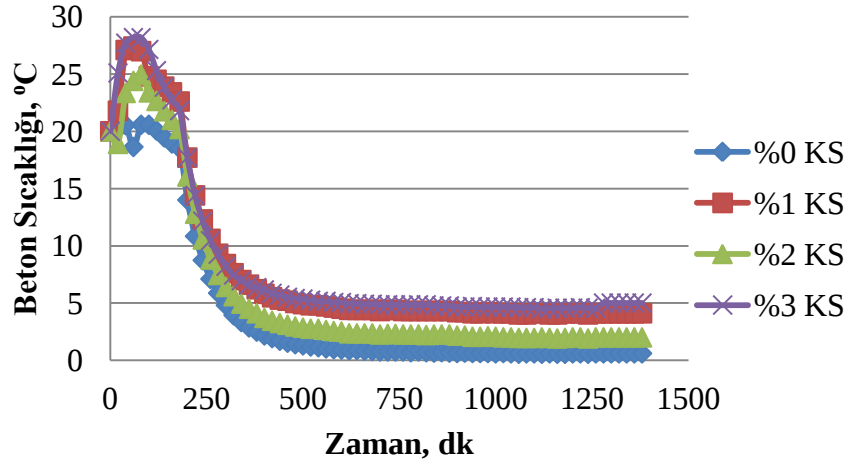
Şekil 4.8 Ortam koşullarında (22 °C) dökülen betonların gerilim yoğunluklarına göre iç sıcaklıkları, (a): 0 V, (b): 45 V, (c): 60 V, (d): 90V.



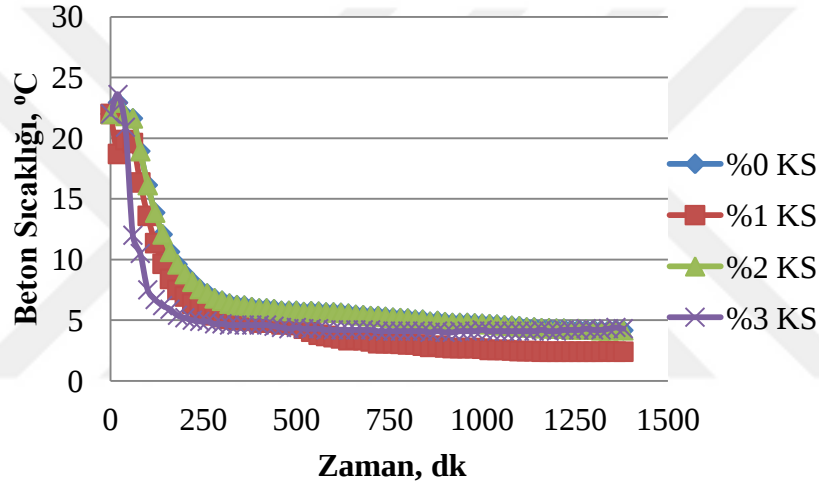
(d)

Şekil 4.8 (Devam) Ortam koşullarında (22 °C) dökülen betonların gerilim yoğunluklarına göre iç sıcaklıkları, (a): 0 V, (b): 45 V, (c): 60 V, (d): 90V.

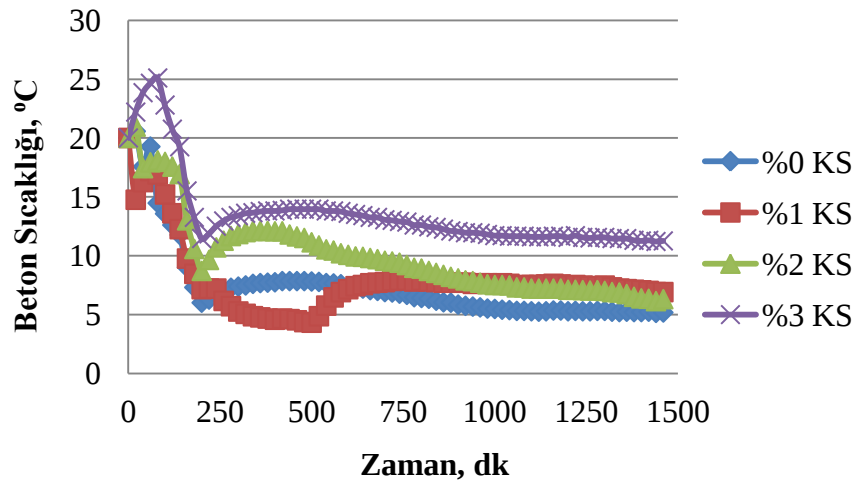
0 °C’de dökülen ve 0, 45, 60 ve 90 Volt gerilim uygulanan betonların iç sıcaklıkları Şekil 4.9’da verilmiştir. Karbon siyahı kullanılmayan ve gerilim uygulanmayan betonlarda hızlı bir şekilde ortam sıcaklığına doğru sıcaklık düşüşü gözlemlenmiştir. 45 Volt gerilim uygulanan betonlarda, %0 oranında karbon siyahı kullanılan numunede sıcaklık 1 °C’de kalırken %3 oranında karbon siyahı kullanılan numunelerde 4,5 °C civarında kalmıştır. 60 Volt gerilim uygulanan betonlarda, %0 oranında karbon siyahı içeren beton numunelerinde sıcaklık 5 °C’de kalırken, %3 oranında karbon siyahı kullanılan numunelerde 11°C sıcaklıkta kalmıştır. 90 Volt gerilim uygulanan betonlarda, %0 karbon siyahı içeren beton numunelerinde sıcaklık 7 °C’de %3 oranında 13 °C civarında kalmıştır. Ortam sıcaklığının 0 °C olması durumunda betona elektriksel kür uygulanması ile beton iç sıcaklıklarını 0 °C’nin üstünde tutulmaktadır. Karbon siyahı oranının artmasıyla birlikte betonun iç sıcaklıklarının arttığı görülmüştür.



(a)

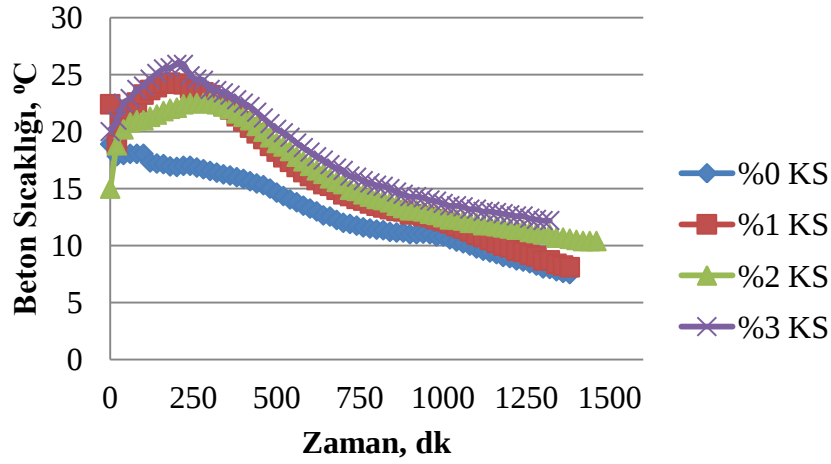


(b)



(c)

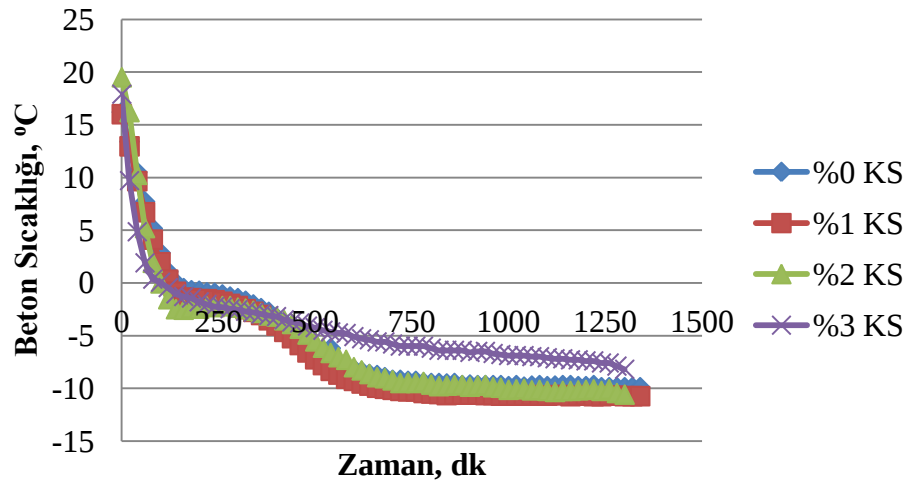
Şekil 4.9 0 °C’de dökülen betonların gerilim yoğunluklarına göre iç sıcaklıkları, (a): 0 V, (b): 45 V, (c): 60 V, (d): 90V.



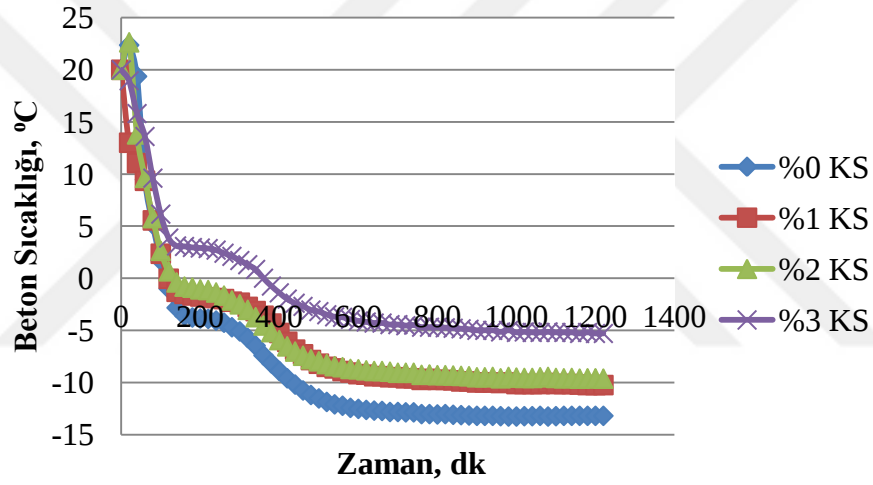
(d)

Şekil 4.9 (Devam) 0 °C’de dökülen betonların gerilim yoğunluklarına göre iç sıcaklıkları, (a):0 V,(b): 45V, (c): 60 V, (d): 90V.

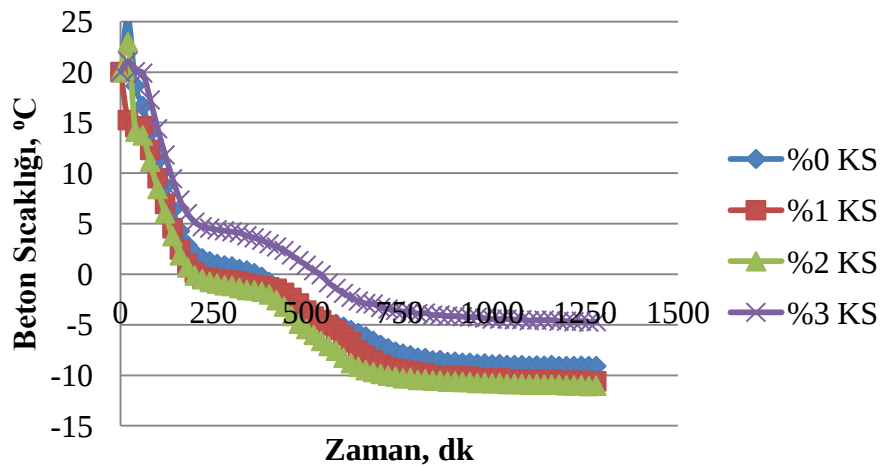
-10 °C’de dökülen ve 0, 45, 60 ve 90 Volt gerilim uygulanan betonların iç sıcaklıkları Şekil 4.10’de verilmiştir. Gerilim uygulanmayan betonlarda iç sıcaklık tüm serilerde hızlı bir şekilde düşüş olduğu görülmüştür. Gerilim uygulanması durumunda ortalama 100 dakika sonra beton iç sıcaklıkları 0 Volt gerilim uygulanan betonlarda 120 dakika sonra 0 °C’nin altına düşmüştür. 45 Volt gerilim uygulanan betonlarda, %0 karbon siyahı içeren betonlarda 120 dakika, %3 oranında karbon siyahı içeren betonlarda 320 dakika sonra 0 °C’nin altına düşmüştür. 60 Volt gerilim uygulanan betonlarda, %0 karbon siyahı içeren betonlarda 200 dakika, %3 oranında karbon siyahı içeren betonlarda 500 dakika sonra 0 °C’nin altına düşmüştür. 90 Volt gerilim uygulanan betonlarda, %0 karbon siyahı içeren betonlarda 440 dakika, %3 oranında karbon siyahı içeren betonlarda 1260 dakika sonra 0 °C’nin altına düşmüştür. Gerilim yoğunluğunun artmasıyla birlikte beton iç sıcaklıkları daha uzun süre 0°’nin üzerinde tutulmuştur ve karbon siyahı ilavesi ile daha uzun sürede sıcaklıklar yüksek sürelerde tutulmuştur.



(a)

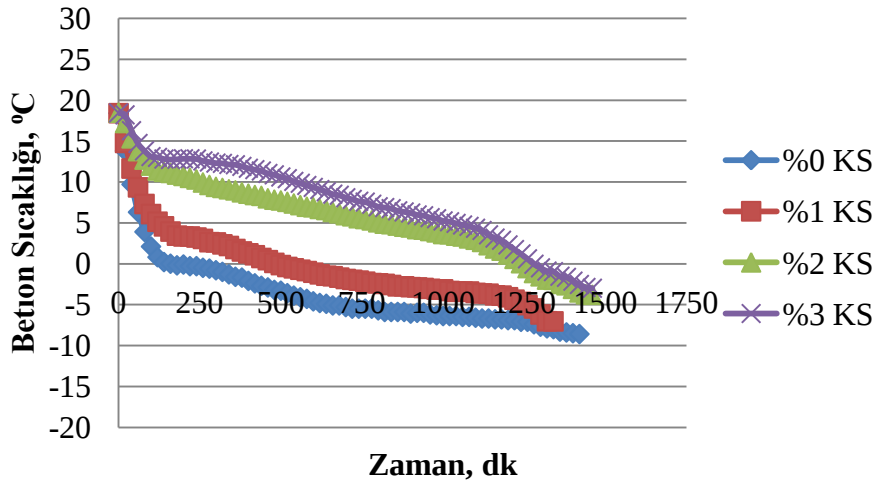


(b)



(c)

Şekil 4.10 -10 °C’de dökülen betonların gerilim yoğunluklarına göre iç sıcaklıkları, (a): 0 V, (b): 45 V, (c): 60 V, (d): 90V.



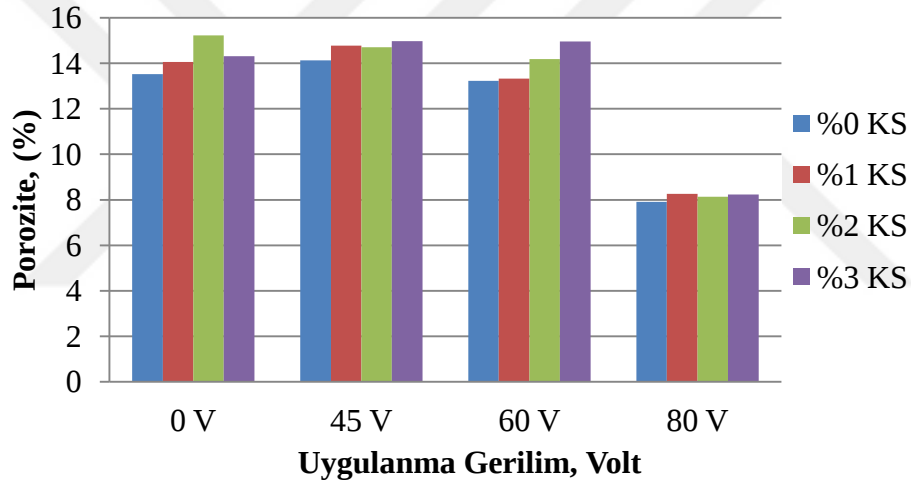
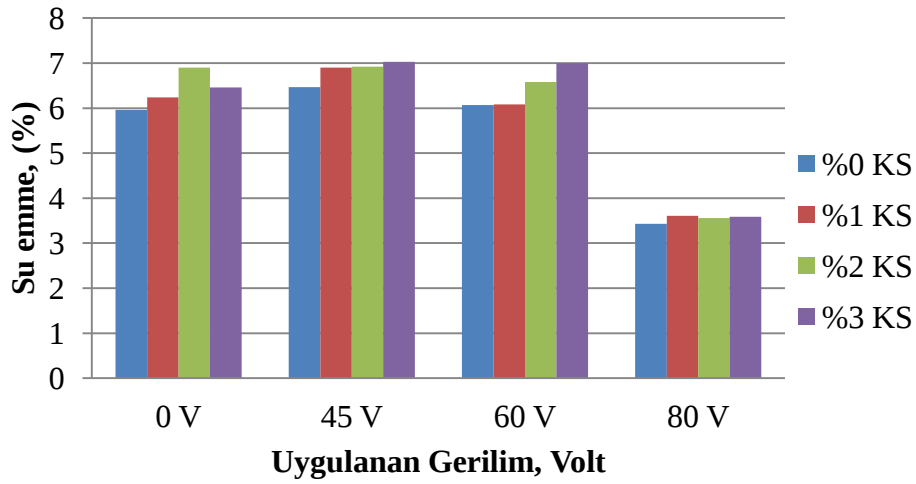
(d)

Şekil 4.10 (Devam) -10 °C’de dökülen betonların gerilim yoğunluklarına göre iç sıcaklıkları,

(a): 0 V, (b): 45 V, (c): 60 V, (d): 90V.

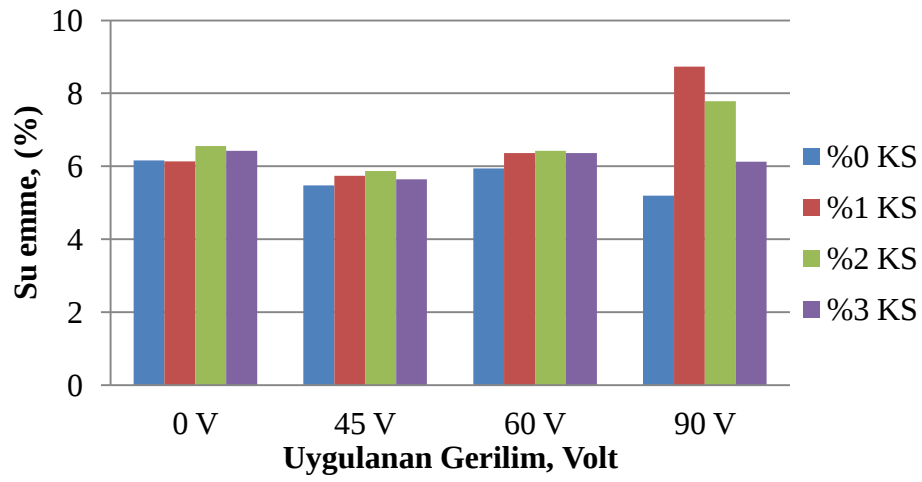
4.5 Betonların Porozite ve Su Emme Değerleri

Ortam koşullarında (22 °C) dökülen betonların % porozite ve % su emme değerleri Şekil 4.11’de verilmiştir. Gözenek oranının karbon siyahı oranının artmasıyla arttığı gözlenmiştir. Karbon siyahı beton içerisinde çözünmemektedir bundan kaynaklı olarak betonda boşluklar oluşturmaktadır. Karbon siyahı çimento yerine ikame ile eklenmesi sonucunda karbon siyahı oranının artmasıyla birlikte çimento miktarında azalma meydana gelmektedir. Çimento miktarının azalması da bağlayıcı miktarını azaltarak gözenekliliği arttırmaktadır. Boşluk oranının artmasıyla birlikte su emme oranının da arttığı görülmüştür. Gerilim uygulanması ile beton iç sıcaklığını arttırarak hidrasyonu hızlandırdığı için daha verimli hidrasyon ile boşluk oranını azaltmıştır. Ortam koşullarında dökülen betonlarda gerilim yoğunluğu 45 Volt ve 60 Volt uygulandığında su emme ve porozite de artış olduğu gözlemlenmiştir. 80 Volt gerilim uygulandığında porozite ve su emme değerinde %50 oranında azaldığı görülmüştür. Ortam koşullarında dökülen betonlarda gerilim yoğunluğunun 45 Volt ve 60 Volt uygulanmasında porozite ve su emme değerleri çok etkilenmezken 80 Volt gerilim uygulanmasıyla hidrasyon hızlandığından, çimentonun iç kinetiğini arttırdığı için porozite ve su emme değerleri azalmaktadır.

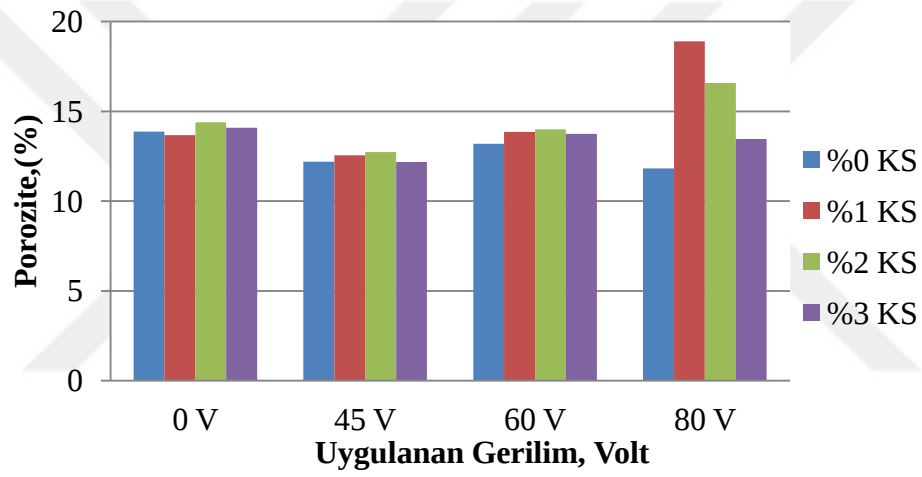


Şekil 4.11 Ortam koşullarında(22 °C) dökülen betonların % su emme ve % porozite değerleri.

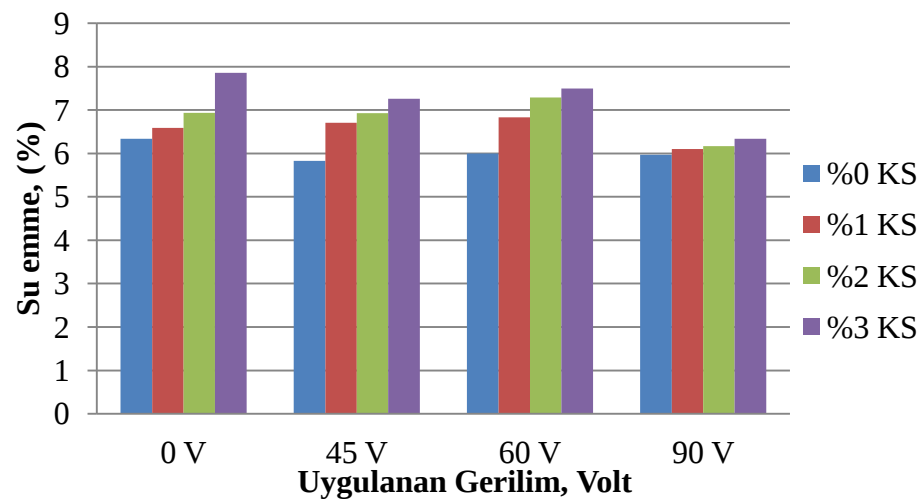
0 °C ve -10 °C’ de dökülen betonların % su emme ve % porozite değerleri Şekil 4.12’de verilmiştir. 0°C ve -10 °C’de dökülen betonlarda boşluk oranlarında ve su emme oranlarında karbon siyahı oranının artmasıyla birlikte arttığı görülmüştür. 0 °C ve -10 °C’de dökülen betonlarda, gerilim yoğunluğunun artmasıyla birlikte yaklaşık olarak %15 oranında bir azalma görülmüştür. Ortam sıcaklığının düşmesi hidratasyon kinetiğini azalttığından, boşluk oranında ve su emme oranında azalma oranı düşmüştür.



(a)

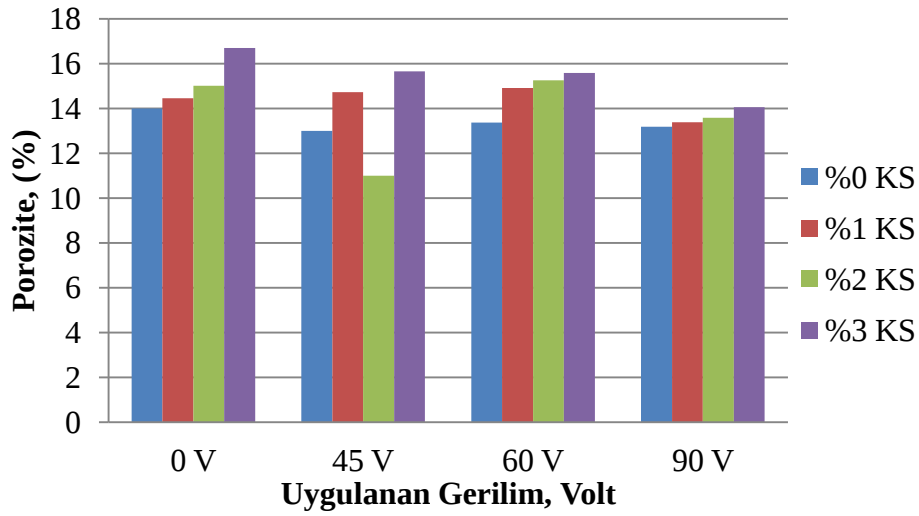


(b)



(c)

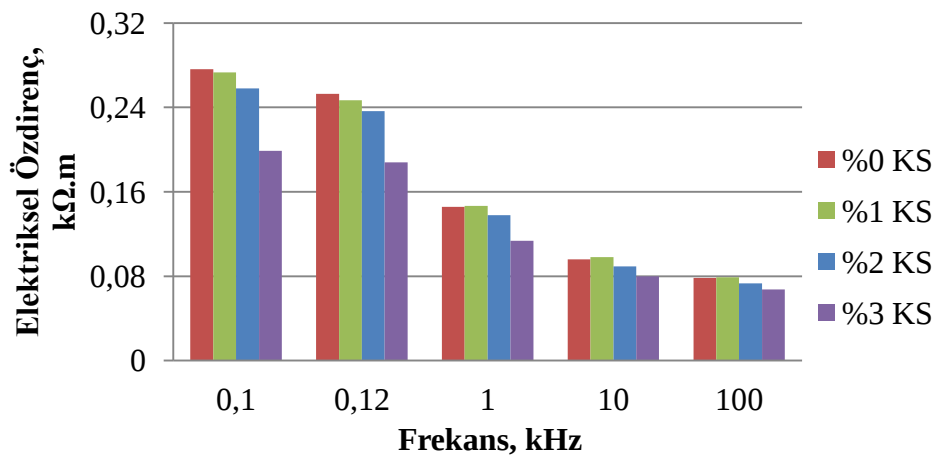
Şekil 4.12 0 °C ve -10 °C' de dökülen betonların % su emme ve % porozite değerleri (a): 0 °C, (b): 0 °C, (c): -10 °C, (d): -10 °C.



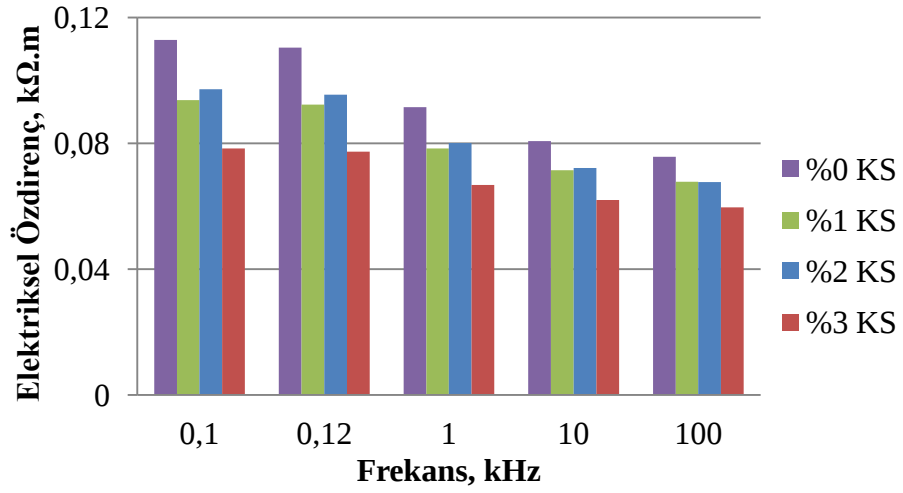
(d)
Şekil 4.12 (Devam) 0 °C ve -10 °C’ de dökülen betonların % su emme ve % porozite değerleri
 (a): 0 °C, (b): 0 °C, (c): -10 °C, (d): -10 °C.

4.6 Betonların Elektriksel Özdirençleri

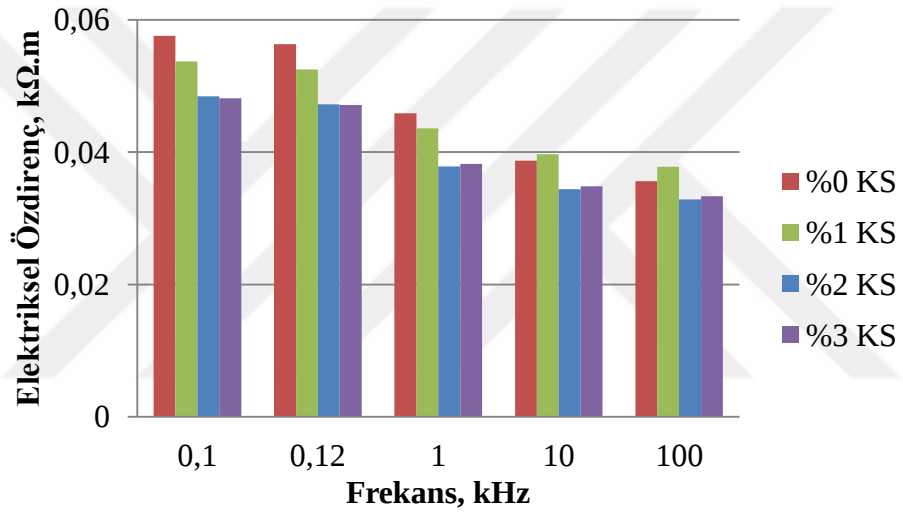
Ortam koşullarında (22 °C) dökülen betonların frekansa bağlı olarak elektriksel özdirenç değerleri Şekil 4.13’de verilmiştir. Bilindiği gibi frekans, bir Alternatif Akım (AC) sinyalin saniyedeki devir sayısıdır. Çimento esaslı sistemlerde elektrik iletkenliği boşluk solüsyonlarındaki iyon transferi sebebiyle meydana gelmekte ve frekansın artışıyla birlikte iyon transferi hızlanmaktadır. Dolayısıyla direnç azalmaktadır. Karbon siyahı oranının artmasıyla birlikte elektriksel öz direnç azalmıştır. Karbon siyahının elektriksel iletkenliği, betonu iletken yapıya getirmiştir ve böylece direnç azalmıştır.



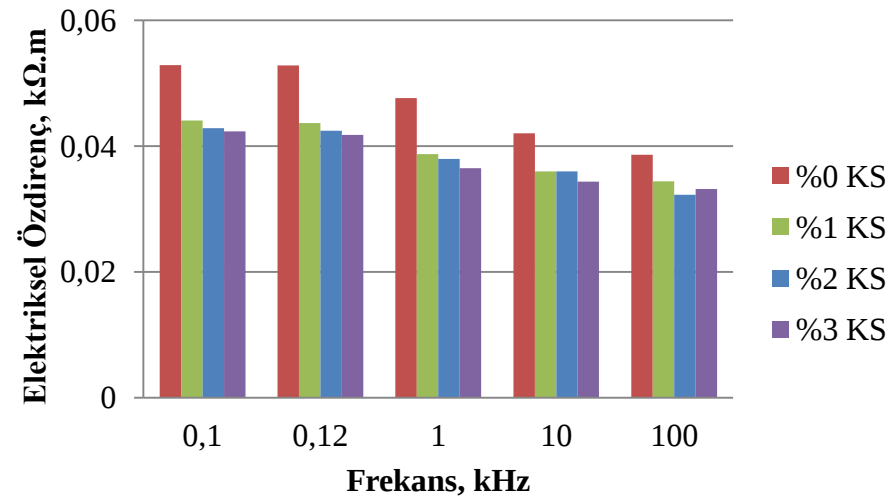
(a)
Şekil 4.13 Ortam koşullarında (22 °C) dökülen farklı gerilim uygulanan betonların farklı frekanslarda elektriksel öz direnç değerleri (a):0V, (b):45V, (c):60V, (d)80V.



(b)



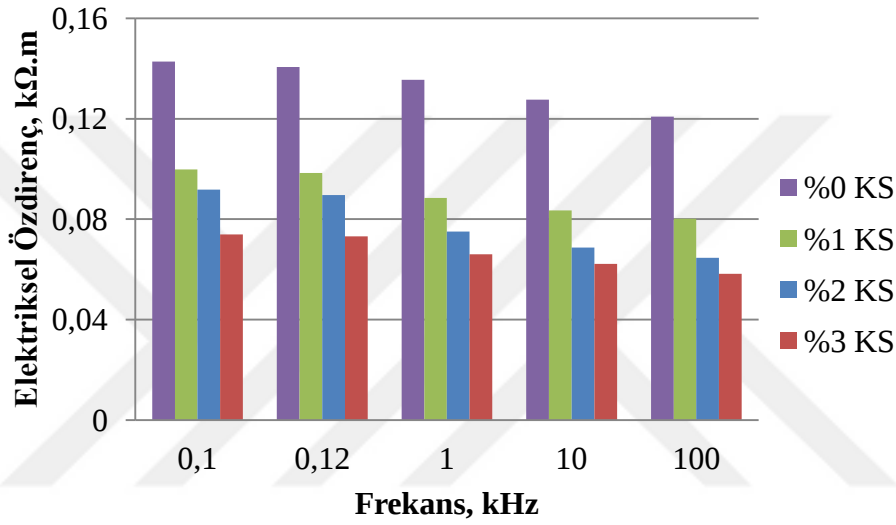
(c)



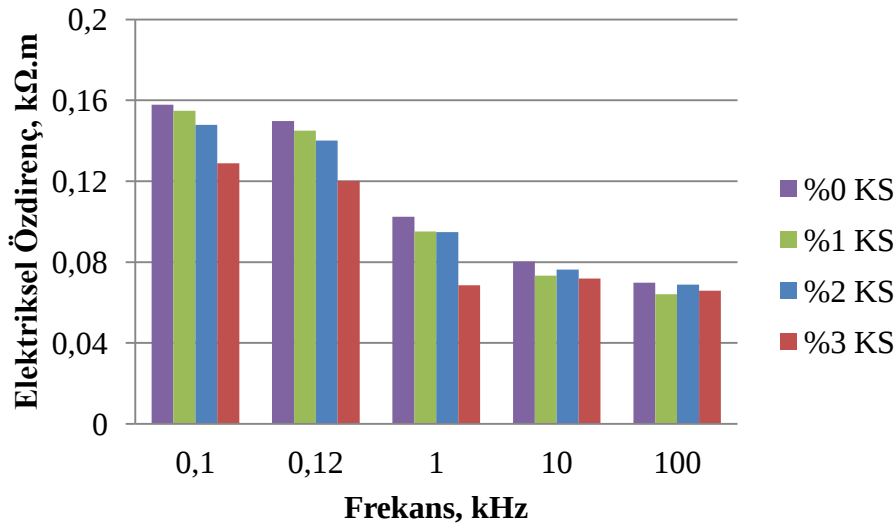
(d)

Şekil 4.13 (Devam) Ortam koşullarında (22 °C) dökülen farklı gerilim uygulanan betonların farklı frekanslarda elektriksel öz direnç değerleri (a):0V, (b):45V, (c):60V, (d)80V.

0 °C’de dökülen betonların frekansa bağlı olarak elektriksel öz direnç değerleri Şekil 4.14’te verilmiştir. Karbon siyahı oranının artmasıyla birlikte elektriksel öz direncin azaldığı görülmüştür. Gerilim yoğunluğunun artmasıyla birlikte karbon siyahı etkisi daha da fazla görülmüştür, gerilim değeri arttıkça betondan geçen akımda artarak beton içerisindeki kinetiği yükseltmektedir. Bundan kaynaklı olarak gerilim değerinin artmasıyla betonda karbon siyahının yayılımı daha da homojen olacağından iletkenliği de o denli arttırmıştır. Betonun elektriksel iletkenliğinin artmasıyla elektriksel öz direncinde düşüş meydana gelmektedir.

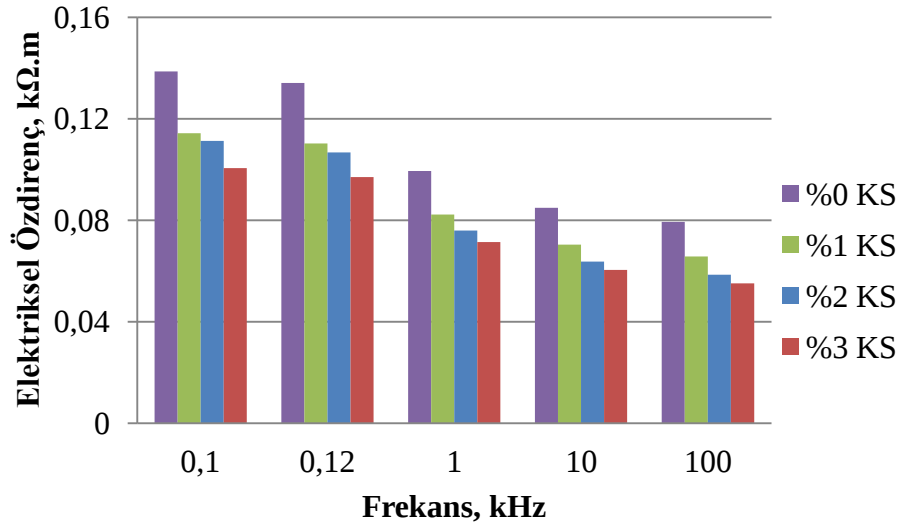


(a)

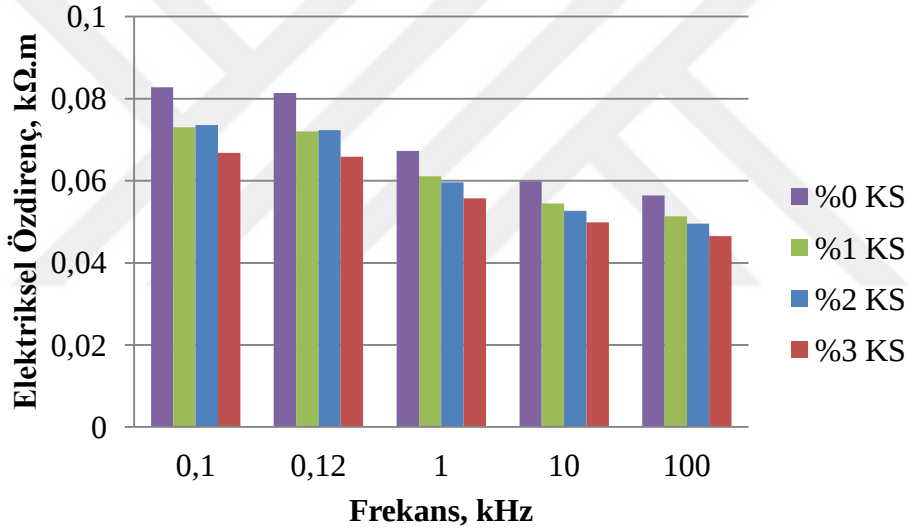


(b)

Şekil 4.14 0 °C’de dökülen farklı gerilim uygulanan betonların farklı frekanslarda elektriksel öz direnç değerleri (a): 0 V, (b): 45 V, (c): 60 V, (d): 90V.



(c)

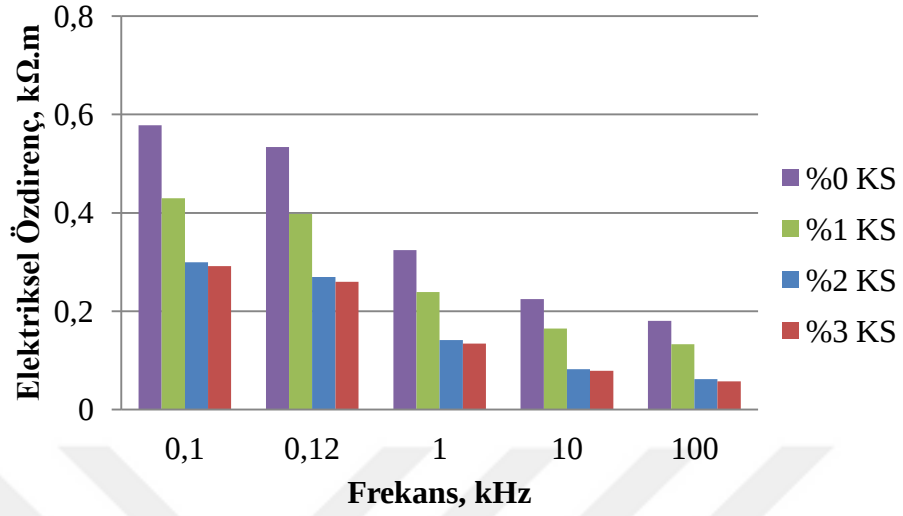


(d)

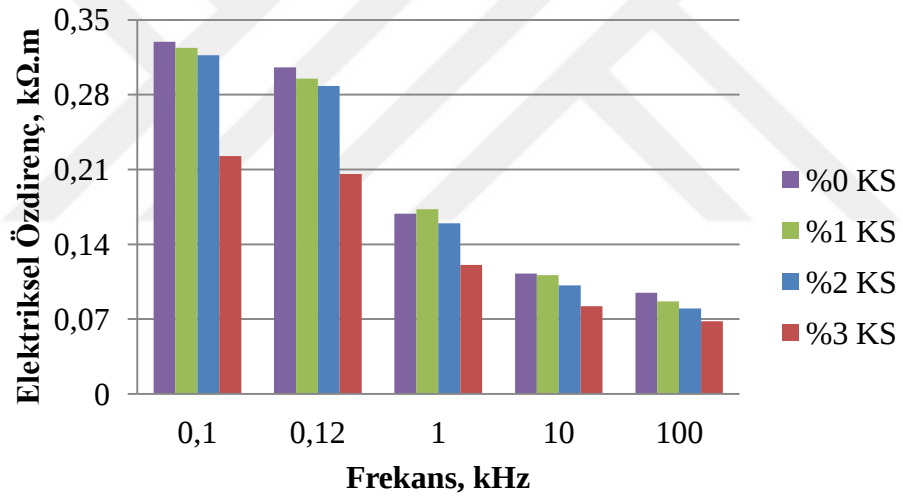
Şekil 4.14 (Devam) 0 °C’de dökülen farklı gerilim uygulanan betonların farklı frekanslarda elektriksel öz direnç değerleri (a): 0 V, (b): 45 V, (c): 60 V, (d): 90V.

-10 °C’de dökülen betonların frekansa bağlı olarak elektriksel özdirenç değerleri Şekil 4.15’te verilmiştir. Karbon siyahı oranının artmasıyla elektriksel özdirençin azaldığı gözlemlenmiştir. Karbon siyahının iletken yapısı ve beton içerisinde çözünmeyen ince yapısından dolayı betonu iletken hale getirerek sertleşmiş haldeyken bile iletken yapısını korumaktadır. Gerilim yoğunluğunun artmasıyla birlikte karbon siyahı etkisi daha da fazla görülmüştür, gerilim değeri arttıkça betondan geçen akımda artarak beton

içerisindeki kinetiği yükseltmektedir. Bundan kaynaklı olarak gerilim değerinin artmasıyla betonda iletkenlikte artırmıştır.

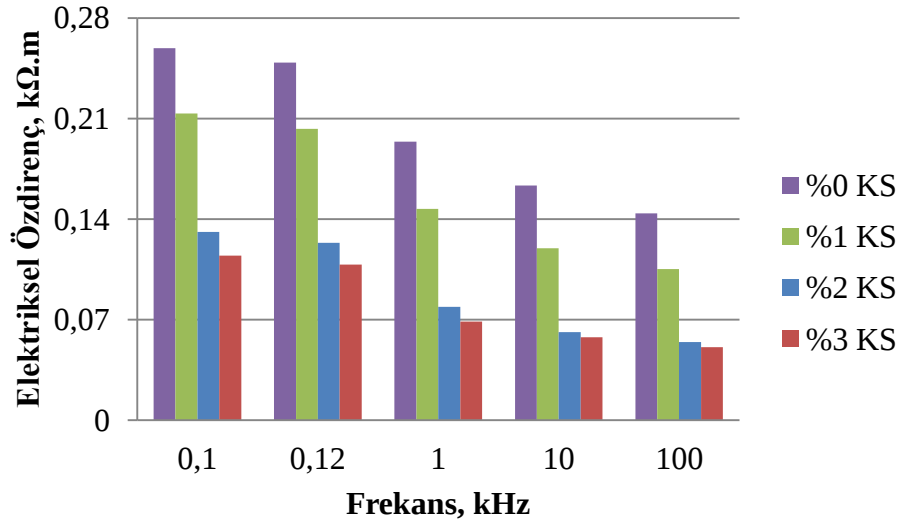


(a)

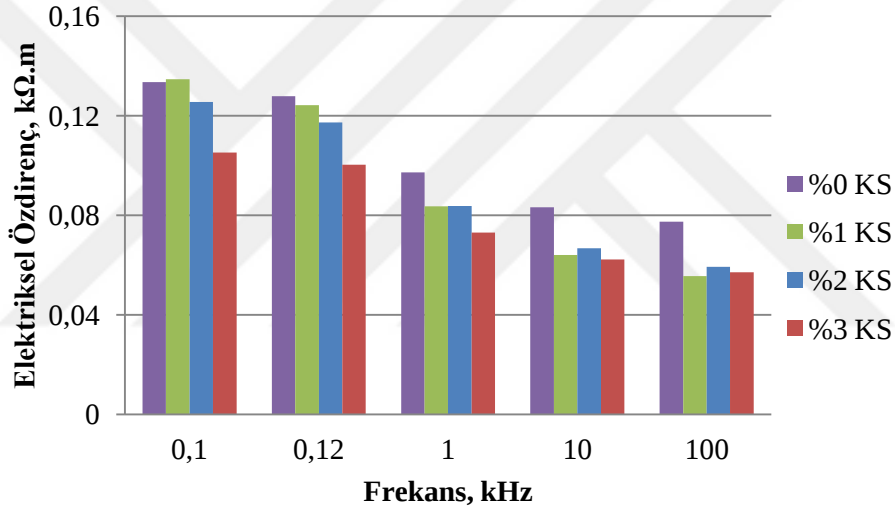


(b)

Şekil 4.15 -10 °C’de dökülen farklı gerilim uygulanan betonların farklı frekanslarda elektriksel öz direnç değerleri (a): 0 V, (b): 45 V, (c): 60 V, (d): 90V.



(c)



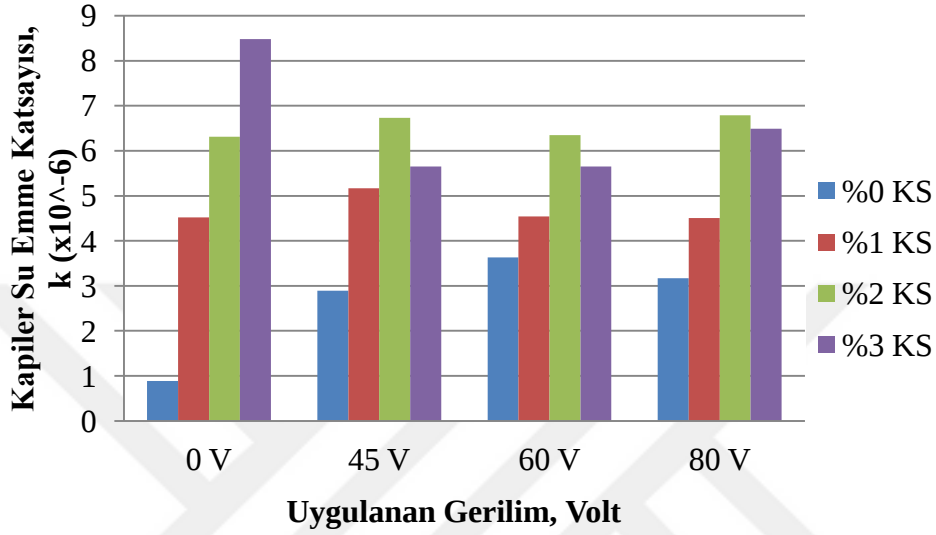
(d)

Şekil 4.15 (Devam) -10 °C’de dökülen farklı gerilim uygulanan betonların farklı frekanslarda elektriksel öz direnç değerleri (a): 0 V, (b): 45 V, (c): 60 V, (d): 90V.

4.7 Betonların Kapiler Su Emme Değerleri

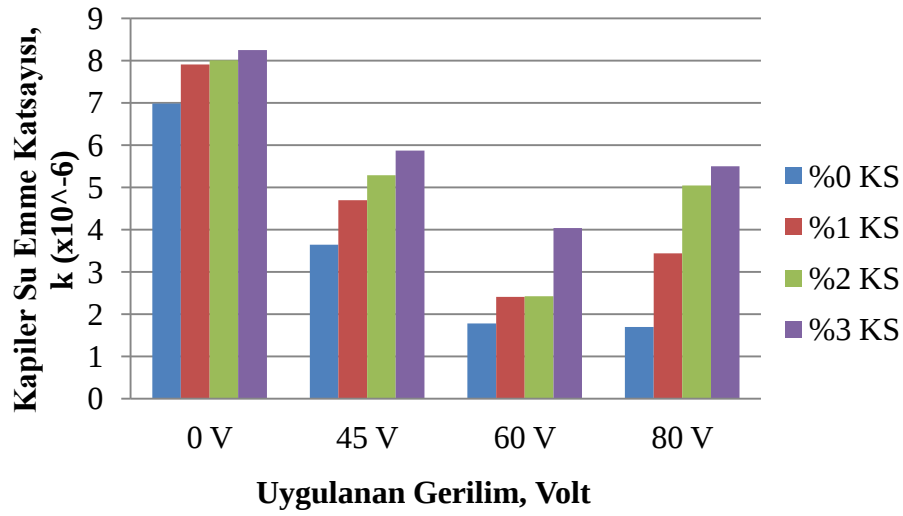
Ortam koşullarında (22 °C) dökülen betonların kapiler su emme sonuçları Şekil 4.16’da verilmiştir. Karbon siyahı oranının artmasıyla birlikte kapiler su emme katsayılarında da artış gözlemlenmiştir. Karbon siyahının beton içerisinde çözünmeyen ince taneli yapısından kaynaklı dolgu etkisi oluşturması, beton içerisinde bağlayıcı madde ihtiyacını arttırdığından daha boşluklu bir beton yapısı oluşturmaktadır. Gerilim değerinin artmasıyla birlikte kapiler su emme katsayısının arttığı gözlemlenmiştir.

Gerilim değerinin artması ile hidratasyonu hızlanmaktadır. Hidratasyonun hızlanması ile daha erken hidratasyon ürünleri vermekte bu nedenle kılcal boşluklu yapılar oluşabilmektedir. Kılcal boşluklara emilen su zamanla buharlaşarak çıktığında içerisinde tuz ve benzeri maddeleri beton içerisinde bırakarak ilerleyen günlerde betona zarar verebilmektedir. Bu nedenle kapiler su emme değerlerine dikkat edilmelidir.



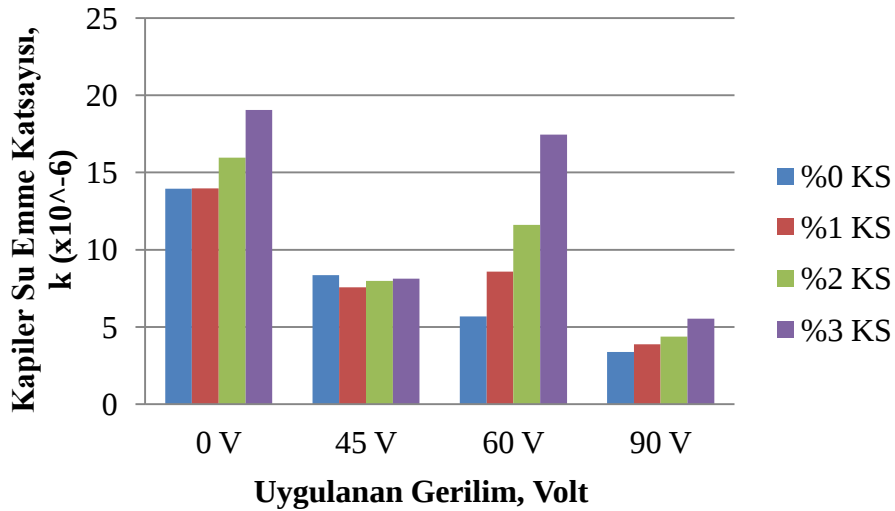
Şekil 4.16 Ortam koşullarında (22 °C) dökülen farklı gerilim uygulanan betonların kapiler su emme katsayıları.

0 °C’de dökülen betonların kapiler su emme sonuçları Şekil 4.17’de verilmiştir. Karbon siyahı oranının artmasıyla birlikte kapiler su emme katsayısının arttığı gözlemlenmiştir. Soğuk ortamlarda hidratasyon çok yavaş gerçekleşmektedir, gerilim uygulanarak hidratasyon hızlanmaktadır. 45 Volt gerilim uygulandığında kapiler su emme katsayısında artış gözlemlenmiştir. 60 ve 90 Volt gerilim değerlerinde ise azalma görülmüştür. Gerilim değerin artmasıyla hidratasyon ürünlerinin artması betonu daha homojen ve dolu yapıya sahip olmasını sağlayarak kapiler boşlukları azaltmaktadır.



Şekil 4.17 0 °C dökülen farklı gerilim uygulanan betonların kapiler su emme katsayıları.

-10 °C’de dökülen betonların kapiler su emme sonuçları Şekil 4.18’de verilmiştir. Karbon siyahı oranının artmasıyla birlikte kapiler su emme katsayısının arttığı gözlemlenmiştir. Ortam sıcaklığı düştükçe beton içerisinde hidrasyon yapacak su donma tehlikesiyle karşılaşmaktadır. Suyun donmasıyla hacmi artmaktadır, beton taze halde iken bu hacim genişlemesi için yeterli alan açılabilmektedir. Su tekrar eridiğinde buzdan oluşan o boşlukları hidrasyon ürünleri ile doldurulmayabilir. Ortam koşulları soğudukça 45 ve 60 Volt gerileme değerlerinde sıcaklığa çok etki gözlemlenmemiştir, bu nedenle kapilarite de etkisi bulunmamıştır. 90 Volt gerilim değerinde iç sıcaklıklar daha uzun süre 0 °C’nin üzerinde tutulduğu için daha çok hidrasyon ürünü oluşturup betonun kapiler boşluğunu azaltmaktadır.

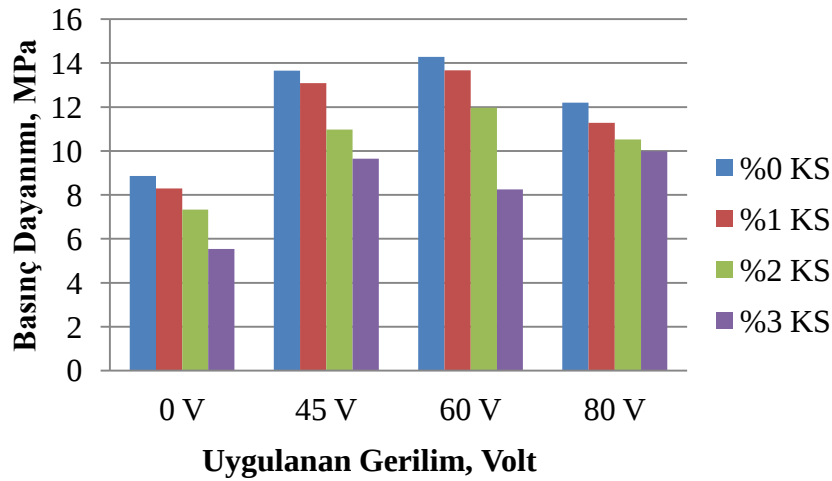


Şekil 4.18 -10 °C dökülen farklı gerilim uygulanan betonların kapiler su emme katsayıları.

4.8 Betonların Basınç Dayanımları

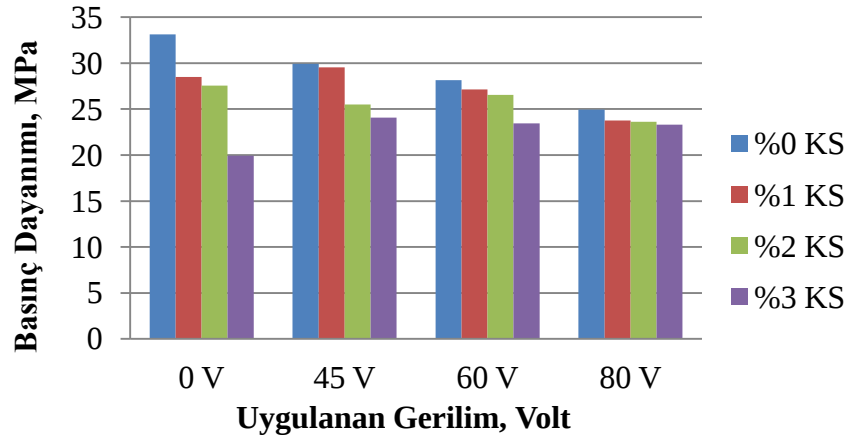
Ortam koşullarında (22 °C), dökülen betonların 1, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri Şekil 4.19'da verilmiştir. 0°C'de dökülen betonların 1, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri Şekil 4.20'de verilmiştir. -10 °C'de dökülen betonların 1, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri, Şekil 4.21'de verilmiştir. Karbon siyahı oranının artmasıyla, basınç dayanımlarında azalma görülmüştür. Karbon siyahı su ile çözünmediği ve ince tanılı yapısından dolayı beton içerisinde dolgu etkisi oluşturmaktadır. Karbon siyahının dolgu etkisinden kaynaklı betonda bağlayıcı madde gereksinimi de arttırmaktadır. Bu nedenle basınç dayanımları azalmıştır.

Ortam koşullarında (22 °C), dökülen betonların 1 günlük dayanımlarına bakıldığında gerilim uygulanması ile dayanımlarda artış gözlemlenmiştir. Elektriksel kür uygulaması ile hidrasyonun hızlanması sonucunda 1 günlük dayanımları artmıştır. Gerilim değerinin artmasıyla birlikte 7 günlük dayanımlarında azalma görülmüştür. 28 günlük dayanımlar incelendiğinde gerilim uygulanmayan betonlara göre 45 ve 60 Volt gerilim değerlerindeki betonlarda azalma gözlemlenirken 80 Volt gerilim değerinde arttığı gözlemlenmiştir.

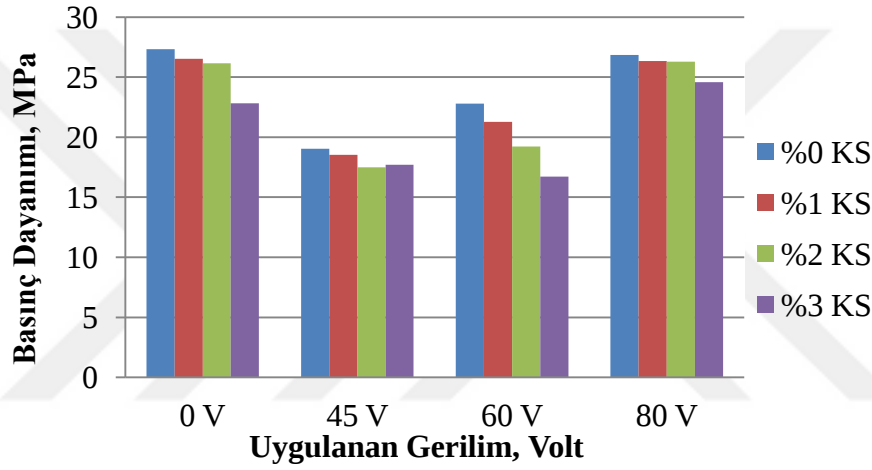


(a)

Şekil 4.19 Ortam koşullarında (22 °C) dökülen farklı gerilim uygulanan betonların basınç dayanımları (a):1, (b):7, (c):28 günlük basınç dayanımları.



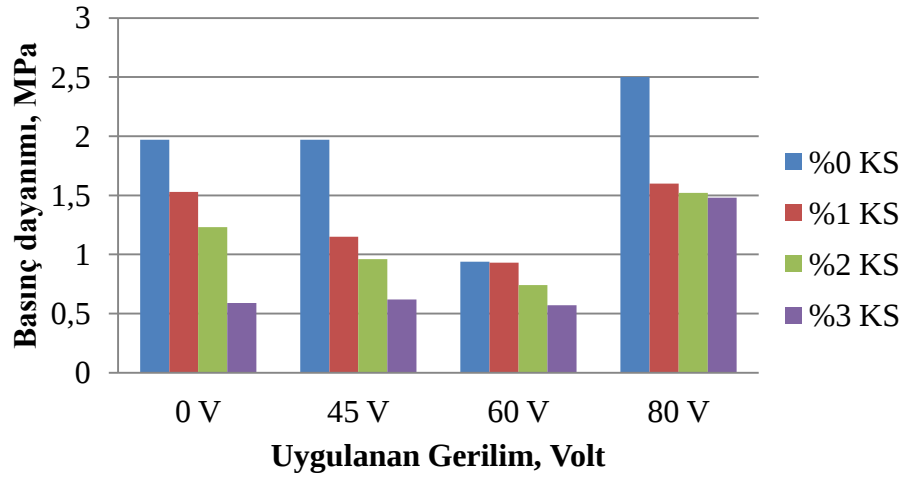
(b)



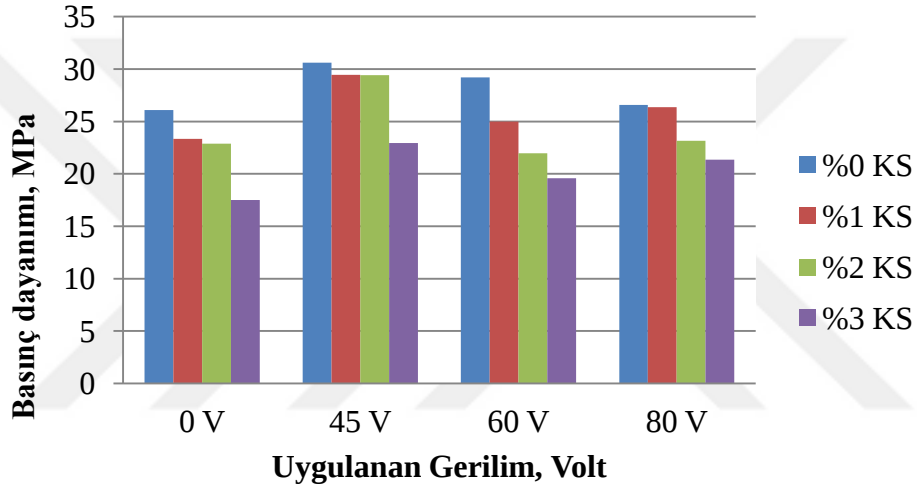
(c)

Şekil 4.19 (Devam) Ortam koşullarında (22 °C) dökülen farklı gerilim uygulanan betonların basınç dayanımları (a):1, (b):7, (c):28 günlük basınç dayanımları.

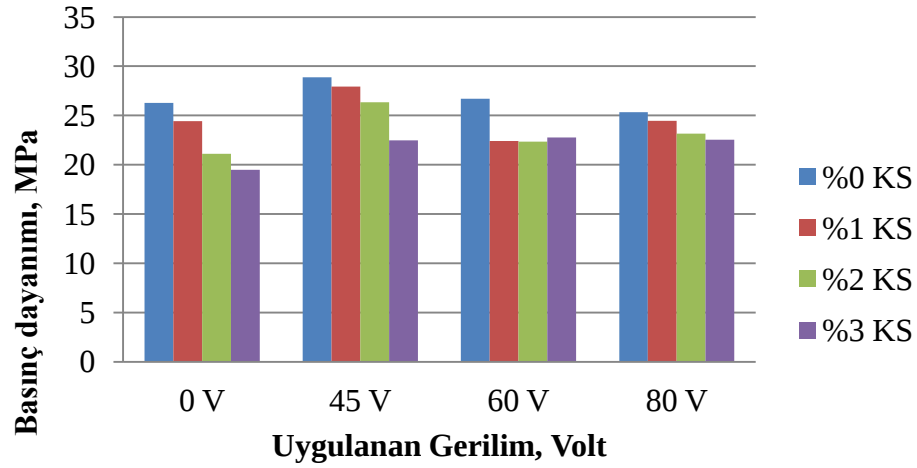
0 °C’de dökülen betonlarda karbon siyahı oranının artmasıyla birlikte dayanımların azaldığı Şekil 4.20’de görülmüştür. Betonların 1 günlük dayanımlar incelendiğinde gerilim değerinin artması hidrasyonu hızlandırdığından dayanımlarda artmaktadır. Betonların 7 ve 28 günlük dayanımlar incelendiğinde gerilim uygulanmayan betonlara göre 45 Volt gerilim uygulanan betonların dayanımlarında artış gözlemlenmiş iken 60 ve 90 Volt gerilim uygulanan betonlarda dayanımda düşüş meydana gelmektedir. Elektriksel kür yöntemi ile kürlenene betonlarda genellikle ilk günlerde dayanımda %30 oranında artış gözlemlenirken 28 günlük dayanımlara bakıldığında %10 oranında artma görülmüştür. Gerilim uygulanması ile ilk günlerde hidrasyonun hızlandığı için dayanım değerleri artmaktadır.



(a)



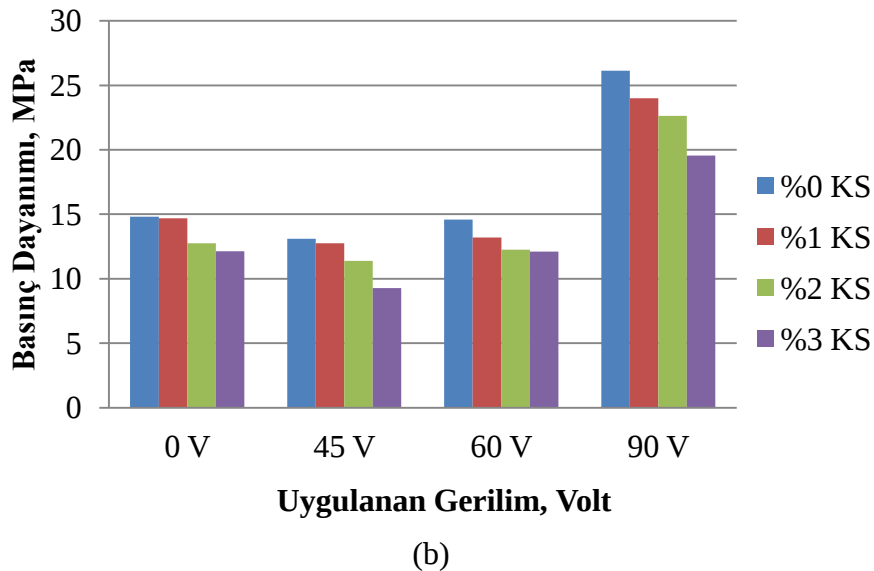
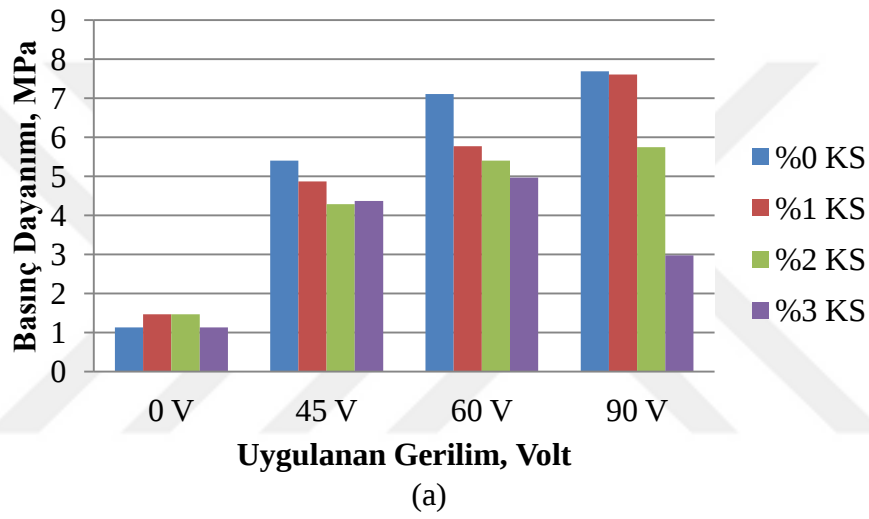
(b)



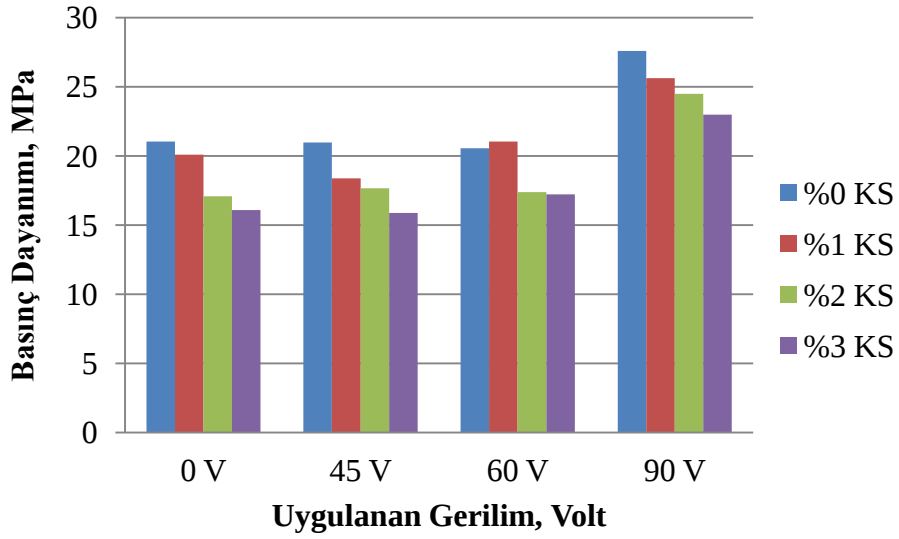
(c)

Şekil 4.20 0 °C’de dökülen farklı gerilim uygulanan betonların basınç dayanımları (a):1, (b):7, (c):28günlük basınç dayanımları.

-10 °C’de dökülen betonlarda karbon siyahı oranının artması ile dayanımın azaldığı Şekil 4.21’de görülmüştür. Betonların 1 günlük dayanımlar incelendiğinde gerilim değerinin artması hidratasyonu hızlandırdığından dayanımlarda artmaktadır. 1 günlük gerilim uygulanmayan betonlara göre 90 Volt gerilim uygulanan betonlarda ortalama 6 kat dayanım artışı gözlemlenmiştir. Betonların 7 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında ortalama %25 oranında artış gözlemlenmiştir. 28 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında ortalama %30 oranında artma gözlemlenmiştir. Gerilim uygulanması ile ilk günlerde hidratasyonun hızlandığı için dayanım değerleri artmaktadır. İlerleyen günlerde gerilim değerinin etkisi daha az görülmektedir.



Şekil 4.21 -10 °C’de dökülen farklı gerilim uygulanan betonların basınç dayanımları(a):1, (b):7, (c):28günlük basınç dayanımları.



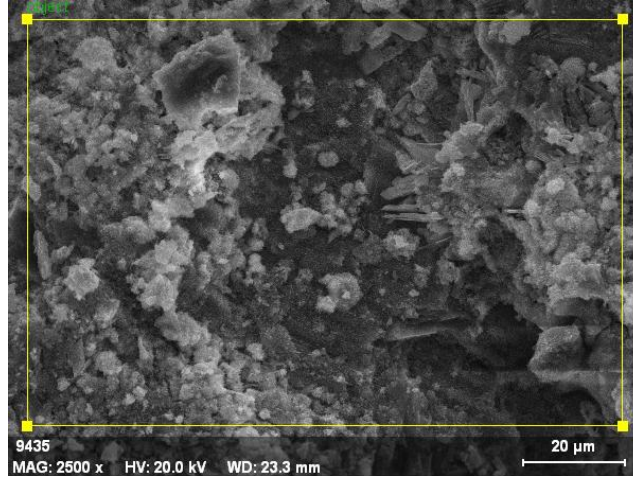
(c)

Şekil 4.21 (Devam) -10 °C’de dökülen farklı gerilim uygulanan betonların basınç dayanımları (a):1, (b):7, (c):28günlük basınç dayanımları.

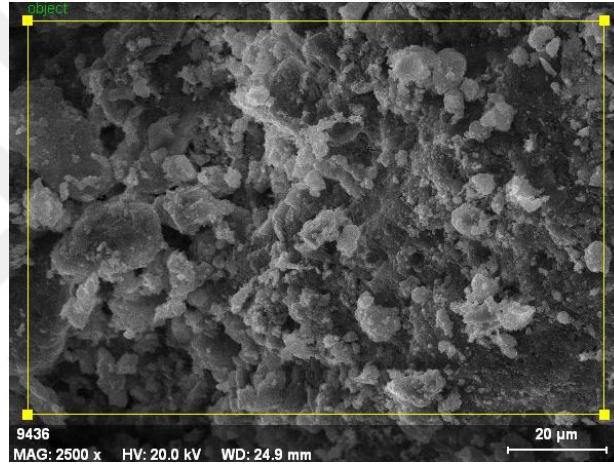
4.9 Betonların SEM Analizi Sonuçları

Ortam koşullarında(22 °C) dökülen ve %3 oranın da karbon siyahı içeren betonların 2500 kat büyütme yapılarak çekilen sem görüntüleri Şekil 4.22’de verilmiştir. Bu görüntülerden anlaşılabileceği gibi çimento hamurunda düzgün bir yapı oluşmuştur. Agregalar ve çimento hamuru ara yüzeyinde aderans büyük ölçüde sağlanmıştır. C-S-H, portlandit ve etrengit gibi hidratasyon sonucunda oluşan ürünler iç sıcaklık artışıyla birlikte daha hızlı bir şekilde meydana gelmektedir. Gerilme değerinin artmasıyla birlikte hidratasyon da daha yoğun bir ürün oluşumu meydana gelmiştir.

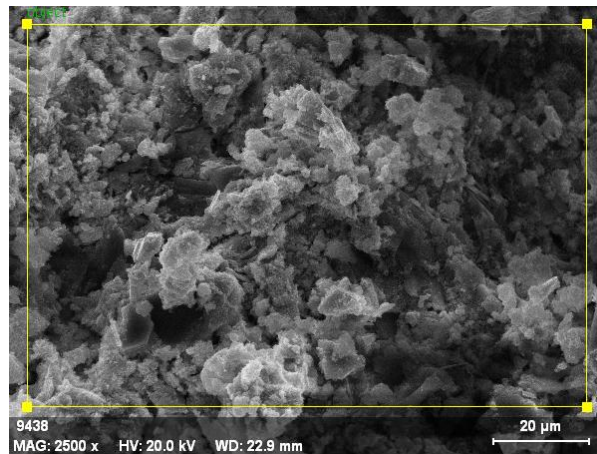
-10°C’de dökülen ve %3 oranın da karbon siyahı içeren betonların 2500 kat büyütme yapılarak çekilen sem görüntüleri Şekil 4.23’te verilmiştir. Gerilme uygulanmayan betonlarda taze halde donatıya maruz kaldığından dolayı hidratasyon da durma meydana gelmiştir. Beton içerisinde su donması ile hacim genişlemesi yapmıştır ve buz eriyince hidratasyon ürünleri o boşluğu dolduramadığından boşluklu bir yapı görülmektedir. Gerilme yoğunluğunun artmasıyla birlikte iç sıcaklık artışı ile hidratasyon devam ettirildiğinden daha düzenli bir yapıda hidratasyon ürünleri görülmüştür.



(a)

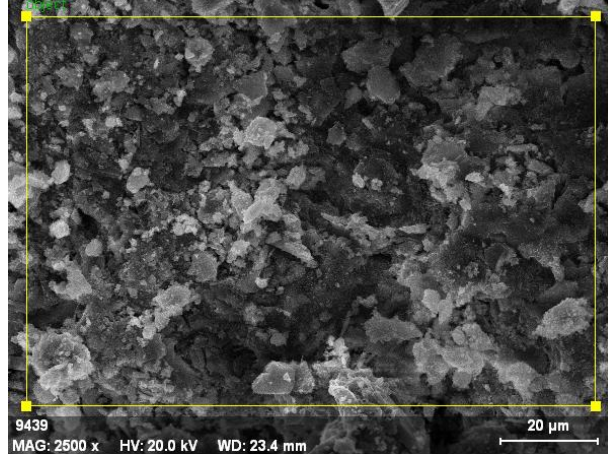


(b)



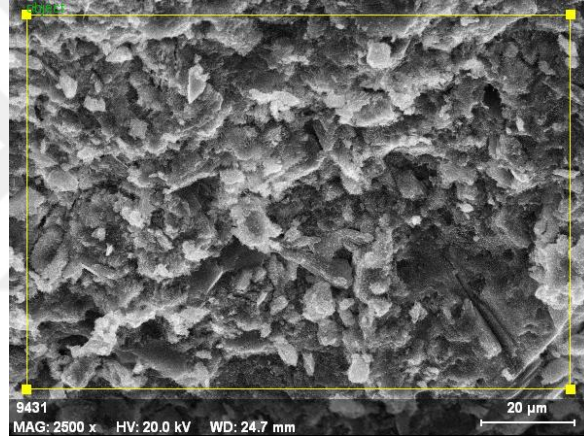
(c)

Şekil 4.22 Ortam koşullarında(22 °C) dökülen %3 KS içeren betonların SEM görüntüleri (a): 0 V, (b): 45 V, (c): 60 V, (d): 90V.

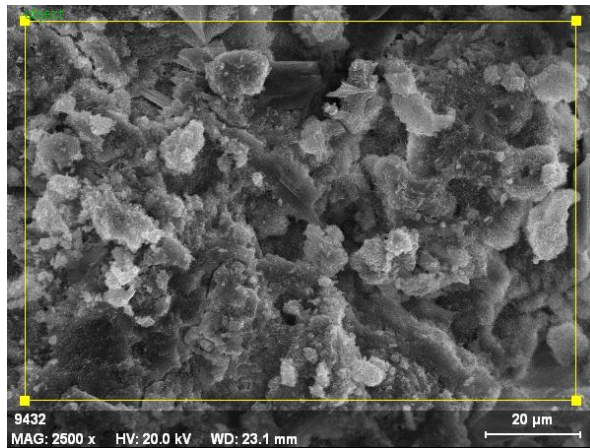


(d)

Şekil 4.22 (Devam) Ortam koşullarında (22 °C) dökülen %3KS içeren betonların SEM görüntüleri (a): 0V, (b): 45 V, (c): 60 V, (d): 90V.

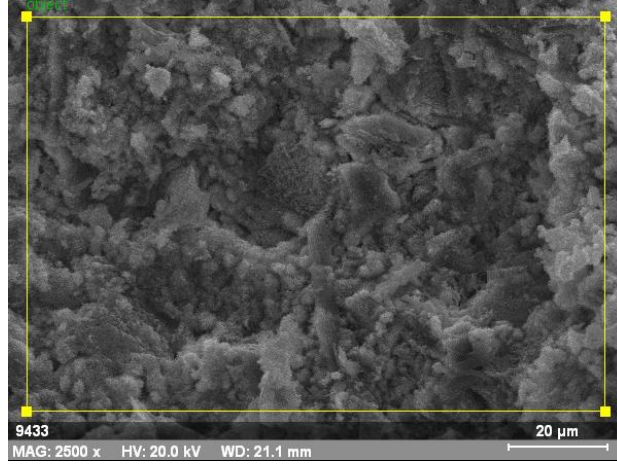


(a)



(b)

Şekil 4.23 -10 °C’de dökülen ve %3 oranında KS içeren betonların SEM görüntüleri (a): 0 V, (b): 60 V, (c): 90 V.



(c)

Şekil 4.23 (Devam) -10 °C’de dökülen ve %3 oranında KS içeren betonların SEM görüntüleri
(a): 0 V, (b): 60 V, (c): 90 V.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Ortam koşullarının soğumasıyla birlikte hidrasyon yavaşlamakta ve beton geç dayanım kazanmaktadır. Elektriksel kür uygulayarak betonun hidrasyonu hızlandırılabilir ve betona erken dayanım kazandırmanın mümkün olduğu görülmüştür. Uygulanan gerilim yoğunluğunun artmasıyla birlikte daha yüksek iç sıcaklık sıcaklıklar elde edilerek, priz sürelerinin daha da kısaldığı görülmüştür.

Ortam koşullarında (22 °C) uygulanan gerilim değerinin artmasıyla birlikte priz bitiş sürelerinin azaldığı görülmüştür. Karbon siyahı oranının artmasıyla birlikte priz sürelerinin azaldığı görülmüştür. Karbon siyahı içermeyen ve gerilim uygulanmayan betonlarda priz süresi 1200 dakika iken 80 volt gerilim uygulanan betonlarda priz süresi 360 dakikaya düşmüştür. %3 karbon siyahı içeren ve gerilim uygulanmayan betonlarda priz süresi 1000 dakika iken aynı karbon siyahı içerikli betona 80 Volt gerilim uygulandığında 300 dakika olduğu görülmüştür. Gerilim değerinin artması priz bitiş süresini azalttığı ve karbon siyahı ile iletken hale gelen betonlarda gerilim artışıyla birlikte priz süresinde daha yüksek bir azalma değerinin olduğu görülmüştür.

0 °C’de dökülen betonlarda gerilim uygulanmayan betonlarda, 45 ve 60 Volt uygulanan betonlarda priz meydana gelmemiştir. 90 volt gerilim uygulanan numunelerde priz bitiş gözlemlenmiştir. 90 volt uygulanan betonda karbon siyahı kullanılmayan numunede priz süresi 1060 dakikada alınabilmişken, %1 oranında karbon siyahı kullanılan numunelerde 1040 dakikada, %2 oranında karbon siyahı kullanılan numunelerde 900 dakikada ve %3 karbon siyahı kullanılan betonlarda 880 dakikadır. Soğuk ortam koşullarında normal koşullarda priz gerçekleşmezken 90 volt gerilim uygulayarak 24 saatten daha kısa sürede kalıp alınabilmektedir. Karbon siyahı kullanılan numunelerde iletkenlikten dolayı priz sürelerinde daha da azalma meydana gelmiştir.

-10 °C’de dökülen gerilim uygulanmayan betonda, 45 Volt ve 60 Volt gerilim uygulanan betonlarda 1440 dakika boyunca priz bitiş gözlemlenmemiştir. 90 volt gerilim uygulanan betonda priz bitiş gözlemlenmiştir. 90 Volt gerilim değerinde karbon siyahı oranı %0 ve %1 olan numunelerde priz bitiş 1140 dakikada meydana gelmişken, %2 oranında karbon siyahı içeren numunelerde 1000 dakikada, %3 oranında karbon siyahı

içeren numunelerde ise 900 dakikada meydana gelmiştir. Soğuk ortam koşullarında normal koşullarda priz gerçekleşmezken 90 volt gerilim değerinde 24 saatten daha kısa sürede kalıp alınabilmektedir, eğer betonu karbon siyahı yardımıyla iletken hale getirilirse priz süresinin daha da kısaldığı görülmüştür.

Ortam koşullarında (22 °C)' de dökülen karbon siyahı kullanılmayan referans betonlarında 80 Volt gerilim uygulanmasıyla maksimum sıcaklık 37,7 °C değerine çıkarken %3 oranında karbon siyahı ikame edilen betonlarda 80 Volt gerilim değerinde maksimum iç sıcaklık 53 °C değerine çıkmıştır. Sıcaklıklara bakıldığında karbon siyahının iletkenliği sayesinde oranının artmasıyla birlikte iç sıcaklıklarında %43 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir.

0 °C'de dökülen betonlarda gerilme uygulanması ile iç sıcaklıkların 0 °C'nin üzerinde tutulduğu görülmüştür. Karbon siyahı kullanılmayan referans betonunda gerilim değerinin artmasıyla birlikte fazla bir miktarda sıcaklık artışı gözlemlenmemiştir. %3 karbon siyahı ikame edilen betonlarda ise gerilim değerinin artmasıyla birlikte özellikle 90 Volt gerilim uygulandığında iç sıcaklıkta 0 Voltaja göre 21 °C artış olduğu görülmüştür. Kür süresi boyunca beton iç sıcaklığı 0 °C'nin üzerinde tutularak beton içerisindeki suyun donması önlenmiştir.

-10 °C hızlı bir sıcaklık düşüşü görülmüştür. Gerilim değerinin artmasıyla birlikte düşüş hızının azaldığı görülmüştür. Karbon siyahı kullanılmayan referans betonunda 90 Volt gerilim değerinde betonun iç sıcaklığı 1200 dakika 0 °C'nin üzerinde tutulurken, %3 oranında karbon siyahı ikame edilen betonun 90 Volt gerilim değerinde 1400 dakika 0 °C'nin üzerinde tutulmuştur. Betonun iç sıcaklığının 0 °C'nin üzerinde tutulması beton içerisindeki suyun donmasını engelleyerek hidrasyonun devam etmesini sağlamaktadır.

Ortam koşullarında (22 °C) dökülen betonlarında gözenek oranının karbon siyahı oranının artmasıyla arttığı gözlenmiştir. Karbon siyahı beton içerisinde çözünmemektedir, bundan kaynaklı olarak betonda boşluklar oluşturmaktadır. Karbon siyahı çimento yerine ikame ile eklenmesi sonucunda karbon siyahı oranının artmasıyla

birlikte çimento miktarında azalma meydana gelmektedir. Çimento miktarının azalması da bağlayıcı miktarını azaltarak gözenekliliği arttırmaktadır. Boşluk oranının artmasıyla birlikte su emme oranının da arttığı görülmüştür. Gerilim uygulanması ile beton iç sıcaklığını arttırarak hidrasyonu hızlandırdığı için daha verimli hidrasyon ile boşluk oranını azaltmıştır. Ortam koşullarında dökülen betonlarda gerilim yoğunluğu 45 Volt ve 60 Volt uygulandığında su emme ve porozite de artış olduğu gözlemlenmiştir. 80 Volt gerilim uygulandığında porozite ve su emme değerinde %50 oranında azaldığı görülmüştür. Ortam koşullarında dökülen betonlarda gerilim yoğunluğunun 45 Volt ve 60 Volt uygulanmasında porozite ve su emme değerleri çok etkilenmezken 80 Volt gerilim uygulanmasıyla hidrasyon hızlandığından, çimentonun iç kinetiğini arttırdığı için porozite ve su emme değerleri azalmaktadır.

0 °C ve -10 °C’de dökülen betonlarda boşluk oranlarında ve su emme oranlarında karbon siyahı oranının artmasıyla birlikte arttığı görülmüştür. 0°C ve -10°C’de dökülen betonlarda, gerilim yoğunluğunun artmasıyla birlikte yaklaşık olarak %15 oranında bir azalma görülmüştür. Ortam sıcaklığının düşmesi hidrasyon kinetiğini azalttığından, boşluk oranında ve su emme oranında azalma oranı düşmüştür.

Frekans, bir Alternatif Akım (AC) sinyalin saniyedeki devir sayısıdır. Çimento esaslı sistemlerde elektrik iletkenliği boşluk solüsyonlarındaki iyon transferi nedeniyle meydana gelmekte ve frekansın artışıyla birlikte iyon transferi hızlanmaktadır. Dolayısıyla direnç azalmaktadır. Karbon siyahı oranının artmasıyla birlikte elektriksel öz direnç azalmıştır. Karbon siyahının elektriksel iletkenliği, betonu iletken yapıya getirmiştir ve böylece direnç azalmıştır.

Karbon siyahı oranının artmasıyla birlikte kapiler su emme katsayılarında da artış gözlemlenmiştir. Karbon siyahının beton içerisinde çözünmeyen ince taneli yapısından kaynaklı dolgu etkisi oluşturması, beton içerisinde bağlayıcı madde ihtiyacını arttırdığından daha boşluklu bir beton yapısı oluşturmaktadır. Gerilim değerinin artmasıyla birlikte kapiler su emme katsayısının arttığı gözlemlenmiştir. Gerilim değerinin artması ile hidrasyonu hızlanmaktadır. Hidrasyonun hızlanması ile daha erken hidrasyon ürünleri vermekte bu nedenle kılcal boşluklu yapılar

oluşabilmektedir. Kılcal boşluklara emilen su zamanla buharlaşarak çıktığında içerisinde tuz ve benzeri maddeleri beton içerisinde bırakarak ilerleyen günlerde betona zarar verebilmektedir. Bu nedenle kapiler su emme değerlerine dikkat edilmelidir.

Soğuk ortamlarda hidratasyon çok yavaş gerçekleşmektedir, gerilim uygulanarak hidratasyon hızlanmaktadır. 45 Volt gerilim uygulandığında kapiler su emme katsayısında artış gözlemlenmiştir. 60 ve 90 Volt gerilim değerlerinde ise azalma görülmüştür. Gerilim değerinin artmasıyla hidratasyon ürünlerinin artması betonu daha homojen ve dolu yapıya sahip olmasını sağlayarak kapiler boşlukları azaltmaktadır.

Ortam sıcaklığı düştükçe beton içerisinde hidratasyon yapacak su donma tehlikesiyle karşılaşmaktadır. Suyun donmasıyla hacmi artmaktadır, beton taze halde iken bu hacim genişlemesi için yeterli alan açılabilmektedir. Su tekrar eridiğinde buzdan oluşan o boşlukları hidratasyon ürünleri ile doldurulmayabilir. Ortam koşulları soğudukça 45 ve 60 Volt gerilime değerlerinde sıcaklığa çok etki gözlemlenmemiştir, bu nedenle kapilariteyi de etkisi bulunmamıştır. 90 Volt gerilim değerinde iç sıcaklıklar daha uzun süre 0 °C'nin üzerinde tutulduğu için daha çok hidratasyon ürünü oluşturup betonun kapiler boşluğunu azaltmaktadır.

Karbon siyahı oranının artmasıyla, basınç dayanımlarında azalma görülmüştür. Karbon siyahı su ile çözünmediği ve ince taneli yapısından dolayı beton içerisinde dolgu etkisi oluşturmaktadır. Karbon siyahının dolgu etkisinden kaynaklı betonda bağlayıcı madde gereksinimi de arttırmaktadır. Bu nedenle basınç dayanımları tüm sıcaklıklarda azalmıştır.

Ortam koşullarında (22 °C), dökülen betonlarda elektriksel kür uygulaması ile hidratasyonun hızlanması 1 günlük dayanımları artmıştır. Gerilim değerinin artmasıyla 7 günlük dayanımlarında azalma görülmüştür. Betonların 28 günlük dayanımları incelendiğinde gerilim uygulanmayan betonlara göre 45 ve 60 Volt gerilim değerlerinde azalma gözlemlenirken 80 Volt gerilim değerinde arttığı gözlemlenmiştir.

0 °C’de dökülen betonlarda 1 günlük dayanımlar incelendiğinde gerilim değerinin artması hidratasyonu hızlandırdığından dayanımlarda artmaktadır. Betonların 7 ve 28 günlük dayanımları incelendiğinde gerilim uygulanmayan betonlara göre 45 Volt gerilim uygulanan betonların dayanımlarında artış gözlemlenmiş iken 60 ve 90 Volt gerilim uygulanan betonlarda dayanımda düşüş meydana gelmektedir. Elektriksel kür yöntemi ile kürlenен betonlarda genellikle ilk günlerde dayanımda %30 oranında artış gözlemlenirken 28 günlük dayanımlara bakıldığında %10 oranında artma görülmüştür.

-10 °C’de dökülen betonlarda 1 günlük dayanımlar incelendiğinde gerilim değerinin artması hidratasyonu hızlandırdığından dayanımlarda artmaktadır. Gerilim uygulanan betonların 1 günlük dayanımları, gerilim uygulanmayan betonlara göre ortalama 6 kat artışı gözlemlenmiştir. Betonların 7 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında ortalama %25 oranında artış gözlemlenmiştir. Betonların 28 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında ortalama %30 oranında artma gözlemlenmiştir. Gerilim uygulanması ile ilk günlerde hidratasyonun hızlandığı için dayanım değerleri artmaktadır.

Beton iç sıcaklığı yükseldikçe, hidratasyon hızında artış meydana gelmektedir. Beton sıcaklığının 100 °C’ye yükselinceye kadar hidratasyon hızı artsa da, yapılan araştırmalar 45-50 °C üzerindeki beton iç sıcaklıklarında betonun dayanım kazanma hızının artmasında çok etkili olmadığı belirlenmiştir (Neville and Brooks 1977). Bu çalışmada uygulanan gerilim değerlerinde sıcaklıklar 53 °C’nin üzerine çıkmamaktadır.

Bu çalışma sonucunda, elektriksel kür yöntemi kullanılarak kalıp alma sürelerinin kısaltılabileceği, beton içerisine iletken bir malzeme ikame edilmesi ile bu sürenin daha çok kısalabileceği gözlemlenmiştir. Soğuk ortam koşullarında elektriksel kür yöntemi ile beton iç sıcaklığını yükselterek priz meydana gelmiştir. Özellikle betonun prizinin durduğu kabul edilen -10°C gibi kritik bir sıcaklıkta betona elektriksel kür yöntemi ile priz aldırılabilceği görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

- ACI 306, (2002) “Cold Weather Concreting”, American Concrete Institute.
- Alabaş, V., (2002) Buhar Kürü Yönteminin Beton Basınç Dayanımına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- ASTM C 1760 (2012). Standard test method for bulk electrical conductivity of hardened concrete. West Conshohocken.
- ASTM C 618, (2010). Standart Specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete.
- ASTM D 1765, (2018). Standart classification system for carbon blacks used in rubber products.
- ASTM C 1202, (2018). Standard test methods for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration.
- ASTM C 1760, (2012) Standard Test Method for bulk electrical conductivity of hardened concrete.
- AzariJafari, H., Tajadini, A., Rahimi, M., & Berenjian, J. (2018). Reducing variations in the test results of self-consolidating lightweight concrete by incorporating pozzolanic materials. *Construction and Building Materials*, **166**: 889–897.
- Baradan, B., Yazıcı, H. ve Ün, H. (2002). Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, **298**: 20-28.
- Backe K.R., Backe O.B., Lyomov S.K., (2001). Characterizing curing cement slurries by electrical conductivity, *SPE Drill. Complet* **16**: 201–207.
- Cecini, D., Austin, S. A., Cavalaro, S., & Palmeri, A. (2018). Accelerated electric curing of steel-fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, **189**: 192–204.
- Chen, B., Li, B., Gao, Y., Ling, T. C., Lu, Z., & Li, Z. (2017). Investigation on electrically conductive aggregates produced by incorporating carbon fiber and carbon black. *Construction and Building Materials*, **144**: 106–114.
- Dembovska, L., Bajare, D., Pundiene, I., & Vitola, L. (2017). Effect of Pozzolanic Additives on the Strength Development of High Performance Concrete. *Procedia Engineering*, **172**: 202–210.
- Deng, H., & Li, H. (2018). Assessment of self-sensing capability of Carbon Black Engineered Cementitious Composites. *Construction and Building Materials*, **173**:

1-9.

- Ding, Y., Chen, Z., Han, Z., Zhang, Y., & Pacheco-Torgal, F. (2013). Nano-carbon black and carbon fiber as conductive materials for the diagnosing of the damage of concrete beam. *Construction and Building Materials*, **43**: 233–241.
- Dixit, V., Pandey, V. and Shyam, R. (2002). Chromium ions inactivate electron transport and enhance superoxide generation in vivo in pea (*Pisumsativum* L. cv. Azad) root mitochondria. *Plant Cell and Environment*, **25**: 687-690.
- El-Dieb, A. S., & El-Maaddawy, T. A. (2018). Assessment of reinforcement corrosion protection of self-curing concrete. *Journal of Building Engineering*, **20**: 72–80.
- Faneca, G., Segura, I., Torrents, J. M., & Aguado, A. (2018). Development of conductive cementitious materials using recycled carbon fibres. *Cement and Concrete Composites*, **92**: 135–144.
- García Calvo, J. L., Alonso, M. C., Fernández Luco, L., & Robles Velasco, M. (2016). Durability performance of sustainable self compacting concretes in precast products due to heat curing. *Construction and Building Materials*, **111**: 379–385.
- G Galao O., Banon L., Baeza F.J., Carmona J., Garces P., (2016). Highly conductive carbon fiber reinforced concrete for icing prevention and curing, *Materials*.
- Hanson, J.A., (1963). Optimum Steam Curing Procedure in Precasting Plants, *Journal of American Concrete Institute*, **60**: 75 – 100.
- Kuruoğlu, M. (2002). İnşaat Sektöründe Bilgisayar Destekli Planlama., Çağlayan Kitabevi. İstanbul.
- Kjellsen K.O., (1996). Heat curing and post-heat curing regimes of high-performance concrete: *influence on microstructure and CSH composition*, *Cem. Concr. Res.* **26**: 295–307.
- Kurda, R., de Brito, J., & Silvestre, J. D. (2018). Water absorption and electrical resistivity of concrete with recycled concrete aggregates and fly ash. *Cement and Concrete Composites*.
- Lee, S. H., Kim, S., & Yoo, D. Y. (2018). Hybrid effects of steel fiber and carbon nanotube on self-sensing capability of ultra-high-performance concrete. *Construction and Building Materials*, **185**: 530–544.
- Lothenbach B., Winnefeld F., Alder C., Wieland E., Lunk P., (2007). Effect of temperature on the pore solution, *microstructure and hydration products of*

- Portland cement pastes, Cem. Concr. Res.* **37**: 483–491.
- Meyer, D. (1997). A Statistical Comparison Of Accelerated Concrete Testing Methods, **2**: 89–100.
- Monteiro, A. O., Cachim, P. B., & Costa, P. M. F. J. (2015). Electrical Properties of Cement-based Composites Containing Carbon Black Particles. *Materials Today: Proceedings*, **2**: 193–199.
- Monteiro, A. O., Cachim, P. B., & Costa, P. M. F. J. (2017). Self-sensing piezoresistive cement composite loaded with carbon black particles. *Cement and Concrete Composites*, **81**: 59–65.
- Nie, S., Hu, S., Wang, F., Yuan, P., Zhu, Y., Ye, J., & Liu, Y. (2016). Internal curing – A suitable method for improving the performance of heat-cured concrete. *Construction and Building Materials*, **122**: 294–301.
- Postacıoğlu, B., (1986). Beton Cilt 1 – Bağlayıcı Maddeler, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Sassani, A., Ceylan, H., Kim, S., Arabzadeh, A., Taylor, P. C., & Gopalakrishnan, K. (2018). Development of Carbon Fiber-modified Electrically Conductive Concrete for Implementation in Des Moines International Airport. *Case Studies in Construction Materials*, **8**: 277–291.
- Shi, L., Lu, Y., & Bai, Y. (2017). Mechanical and Electrical Characterisation of Steel Fiber and Carbon Black Engineered Cementitious Composites. *Procedia Engineering*, **188**: 325–332.
- Sönmezoğlu C., (2005) “Hafif Betonun Mekanik Özellikleri Üzerine Kür Şartlarının Etkisi” Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Toprak Uğur M., (2002) “İnce Agregası ve Kür Sıcaklığının Beton Olgunluğuna Etkisi” Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- TS EN 197-1, (2012). Cement- Stage 1: General cements – component, TSE, Ankara Turkey.
- TS EN 196-1, (2016). Methods of testing cement - Part 1: Determination of strength, TSE, Ankara.
- TS EN 12390-7, (2010). Testing hardened concrete - Part 7 : Density of hardened concrete, TSE, Ankara.
- TS EN 1925, (2000). Natural stone test methods - Determination of water absorption

- coefficient by capillarity, TSE, Ankara.
- Türkel, S. (2007). Soğuk Hava Koşullarında Beton Üretimi, Deprem Sempozyumu, İzmir.
- Uğurlu, A., (1994). Ön yapımlı Betonların Kür Edilmesi, Türkiye Mühendislik Haberleri, **371**: 52 – 57.
- Uygunoglu, T., Şimşek, B., Çınar, E., (2018). Effect of Carbon Black on Electrical Rapid Curing of Concrete, 2th International Conference on Engineering Technology and Innovation, ICETI 2018, 7-11 March, Hungary, Budapest.
- Uygunoglu, T., Çınar, E., (2018). Elektriksel Kürün Beton İç Sıcaklıkları ve Priz Sürelerine Etkisi, International Symposium on Multidisciplinary Studies, November Ankara/Turkey.
- Uygunoğlu, T., & Hocaoglu, İ. (2018). Effect of electrical curing application on setting time of concrete with different stress intensity. *Construction and Building Materials*, **162**: 298–305.
- Uygunoglu, T., Çınar, E., Şimşek, B., Topçu, İ. B., (2018). Mechanical and Physical of Carbon Black Reinforced Concrete, 5. Uluslararası Seramik Cam Emaye Sır ve Boya Kongresi (SERES18), October, Eskişehir/Turkey.
- Uygunoylu, T., Çınar, E., (2018). Soğuk Hava Şartlarında Elektriksel Kür Yöntemi ile Prefabrik Beton Üretiminin Araştırılması, Prefabrik Dergisi, **128**: 7-12.
- Velandia, D. F., Lynsdale, C. J., Provis, J. L., & Ramirez, F. (2018). Effect of mix design inputs, curing and compressive strength on the durability of Na₂SO₄-activated high volume fly ash concretes. *Cement and Concrete Composites*, **91**: 11–20.
- Qin, H., Wei, W., & Hang Hu, Y. (2017). Synergistic effect of graphene-oxide-doping and microwave-curing on mechanical strength of cement. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, **103**: 67–72.
- Wong, C. L., Mo, K. H., Yap, S. P., Alengaram, U. J., & Ling, T. C. (2018). Potential use of brick waste as alternate concrete-making materials: A review. *Journal of Cleaner Production*, **195**: 226–239.
- Yalçın S., (2015). "Soğuk Hava Koşullarında Rusya Normlarına Göre Betonarme İmalatlarda Kızıl Ötesi Işıma Kullanımı" Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- Yi, S. T., Pae, S. W., & Kim, J. K. (2011). Minimum curing time prediction of early-age concrete to prevent frost damage. *Construction and Building Materials*, **25**: 1439–1449.
- Yoo, D. Y., Kim, S., & Lee, S. H. (2018). Self-sensing capability of ultra-high-performance concrete containing steel fibers and carbon nanotubes under tension. *Sensors and Actuators, A: Physical*, **276**: 125–136.
- Zhang, H., Li, A., Wang, J., Zhang, Y., Zhao, Z., Zhao, H., Wang, J. (2018). Graphene integrating carbon fiber and hierarchical porous carbon formed robust flexible “carbon-concrete” supercapacitor film. *Carbon*, **126**: 500–506.
- Velandia, D. F., Lynsdale, C. J., Provis, J. L., & Ramirez, F. (2018). Effect of mix design inputs, curing and compressive strength on the durability of Na₂SO₄-activated high volume fly ash concretes. *Cement and Concrete Composites*, **91**: 11–20.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Emriye ÇINAR
Doğum Yeri ve Tarihi : GÜRSU 21/12/1994
Yabancı Dili : 57,5 (Yökdil 2018)
İletişim (Telefon/e-posta) : +90(537) 2962681

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Gürsu Yıldız Tekstil Anadolu Lisesi, (2008-2012)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, (2012-2016)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, (2016-2018)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, 2018

Yayınları (SCI ve diğer) :

Uygunoglu, T., Topçu, İB, Meşe, M., Çınar, E., Electrical and mechanical properties of polypropylene fiber reinforced mortars, 5th International Polymeric Composites Symposium a, İzmir/Turkey, 2-4 Nov, 2017, xx,

Uygunoglu, T., Şimşek, B., Çınar, E., Effect of Carbon Black on Electrical Rapid Curing of Concrete, 2th International Conference on Engineering Technology and Innovation, ICETI 2018, 7-11 March, Hungary, Budapest, xx-xx, 2018(, ilebirlikte)

Uygunoglu, T., Topçu, İB, Hocaoglu, İ., Çınar, E., The Impact of Stress Intensity on Porosity and Tensile Splitting Streght of Different Dosage Concretes, 3th International Conference on Civil Enviromental Engineering (ICOCEE-Çeşme), İzmir/Turkey, 24-27 April, 2018, xx, İzmir/Turkey,

Uygunoglu, T., Topçu, İB, Hoccoğlu, İ., Çınar, E., The Impact of Stress Intensity on Mechanical Abrasion Resistance of Different Dosage Concretes, 3th International Conference on Civil EnviromentalEngineerinh (ICOCEE-Çeşme), İzmir/Turkey, 24-27 April, 2018, xx, İzmir/Turkey,

Uygunoglu, T., Çınar, E., Şimşek, B., Topçu, İ. B., MechanicalandPhysical of Carbon Black ReinforcedConcrete, 5. Uluslararası Seramik Cam Emaye Sır ve Boya Kongresi (SERES18), Eskişehir/Turkey, October,2018,

Uygunoglu, T., Çınar, E., ElektrikselKürünBetonİçSıcaklıklarıvePrizSürelerineEtkisi İnternational Symposium on Multidisciplinary Studies, Ankara/Turkey, November,2018

Uygunoylu, T., Çınar, E., Soğuk Hava Şartlarında Elektriksel Kür Yöntemi ile Prefabrik Beton Üretiminin Araştırılması, Prefabrik Dergisi, yıl:32 Sayı:128, Ekim 2018