

**BETON BİLEŞEN VE BOYUTUNUN ELEKTRİKSEL KÜR YÖNTEMİNE  
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

İsmail HOCAOĞLU

DANIŞMAN

Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

Haziran 2018

Bu tez çalışması 216M528 numaralı 1002 Tübitak projesi tarafından desteklenmiştir.

Bu tez çalışması 16. Fen Bil. 43 numaralı proje ile Bap tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**BETON BİLEŞEN VE BOYUTUNUN ELEKTRİKSEL KÜR**  
**YÖNTEMİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**İsmail HOCAOĞLU**

**DANIŞMAN**

**Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**Haziran 2018**

## TEZ ONAY SAYFASI

İsmail HOCAOĞLU tarafından hazırlanan "BETON BİLEŞEN VE BOYUTUNUN ELEKTRİKSEL KÜR YÖNTEMİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI" adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca ..2018/06/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği **Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU

**Başkan** : Prof. Dr. İlker Bekir TOPÇU

ESOGÜ, Müh. Mim. Fakültesi

**Üye** : Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU

AKÜ, Müh. Mim. Fakültesi

**Üye** : Prof. Dr. Salih YAZICIOĞLU

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

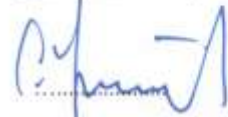
**Üye** : Doç. Dr. Cenk KARAKURT

Bilecik Şeyh Edebali, Müh. Fakültesi

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Raif BOĞA

AKÜ, Müh. 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.**

21/06/2018

**İsmail HOCAOĞLU**

**ÖZET**  
Doktora Tezi

**BETON BİLEŞEN VE BOYUTUNUN ELEKTRİKSEL KÜR YÖNTEMİNE  
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

İsmail HOCAOĞLU  
Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
**Danışman:** Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU

Bu araştırmada, beton bileşenlerinin ve boyutunun elektriksel kür yöntemine etkisi araştırılmıştır. Dozaj etkisini incelemek için 250, 300, 350 ve 400 dozajlı 10 x 10 x 35 cm boyutunda betonlar üretilmiştir. Üretilen betonların üzerine sabit frekans şiddetinde AC güç kaynağından sırasıyla 0, 40, 60, 80 ve 100 V gerilim uygulanmıştır. Bazı seriler üzerine sabit gerilim şiddetinde farklı frekanslarda elektrik akımı uygulanmıştır. Farklı su/çimento oranına sahip betonlar üretilmiştir. Gerilim uygulanan ve gerilim uygulanmayan numunelerin priz süreleri, poroziteleri, su emme oranları, basınç dayanımları vb. karşılaştırmalar yapılarak betonda hızlandırılmış kür yapılıp yapılamayacağı araştırılmıştır. Hızlandırılmış kür açısından DC ve AC akım uygulanabilmektedir. Literatür araştırması neticesinde DC akımın polarizasyon (kutuplaşma) etkisinden dolayı deneylerde AC güç kaynağı kullanılmıştır. Sonuç olarak beton üzerine belirli gerilim şiddeti altında AC gerilim uygulanarak basınç dayanım kaybı yaşanmadan hızlandırılmış kür yapılabilir. 250, 300, 350 ve 400 dozajlı betonlara 100 V AC gerilim uygulandığında şahit numunelerine göre priz sona erme süreleri 510, 380, 410 ve 500 dakika kısalmıştır. 300 Dozajlı betonlarda SEM incelemesi yapılmış olup gerilim şiddetinin 0' dan 100 V'a arttırılmasıyla hidrasyon reaksiyonlarının hızlandığı belirlenmiştir.

**2018, xii + 107 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Beton, Bileşen, Elektriksel kür, Priz süresi

## **ABSTRACT**

PhD Thesis

### **INVESTIGATION OF CONCRETE COMPONENT AND SIZE EFFECT ON ELECTRICAL CURING METHOD**

İsmail HOCAOĞLU

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

**Supervisor:** Prof. Tayfun UYGUNOĞLU

In this study, the effect of concrete's component and size on electrical curing method is investigated. To examine the effect of dosage, 250, 300, 350 and 400 dosage and 10 x 10 x 35 cm sized concretes are produced. 0, 40, 60, 80 and 100 V stress intensity are respectively applied on produced concretes at stable frequency by AC power supply. Electrical current with different frequencies are applied on some series at stable frequency stress intensity. Concretes which have different water/cement ratios are produced. It has been researched if accelerated cure can be done on concrete by comparing setting time, porosity, water absorption, compressive strength, etc. of concretes which have current application with the ones which don't have current application. DC and AC current application on concrete can be made in terms of accelerated cure. Because of DC current's polarization effect, AC power supply is used in the experiments. Consequently, accelerated cure can be done by applying AC current without having any compressive strength decline under certain stress intensity. Through the application of 100 V stress intensity to the 250, 300, 350 and 400 dosage concretes, their final setting times are shortened 510, 380, 410 and 500 minutes, respectively when they are compared to the same dosage reference concretes. Scanning Electron Microscope (SEM) views of 300 dosage concretes are investigated and it is determined that hydration reactions accelerate as stress intensity increases from 0 V to 100 V.

**2018, xii + 107 pages**

**Keywords:** Concrete, Component, Electrical curing, Setting time

## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların ynlendirilmesi, sonuların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Tayfun UYGUNOğLU' na, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. İlker Bekir TOPÇU' ya ve Sayın Prof. Dr. Salih YAZICIOğLU' na her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm değerli hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim. Bu tez çalışmasını 216M528 numaralı 1002 TUBİTAK projesi tarafından destekleyen TUBİTAK'a ve 16. Fen Bil. 43 numaralı proje ile BAP tarafından destekleyen Afyon Kocatepe niversitesine teşekkür ederim.

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

İsmail HOCAOğLU  
AFYONKARAHİSAR, 2018

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
RESİMLER DİZİNİ .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR BİLGİSİ .....	3
2.1 Betonda Hızlandırılmış Kür Gereksinimi .....	3
2.1 Betonda Elektrik İletimi .....	5
2.3 Konuyla İlgili Yapılan Çalışmalar .....	6
3. MATERYAL ve METOT .....	12
3.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri .....	12
3.1.1 Deneylerde Kullanılan Agregalar .....	12
3.1.2 Çimento .....	13
3.1.3 Kimyasal Katkı .....	14
3.1.4 Deneylerde Kullanılan Karışım Suyu .....	14
3.2 Yöntem .....	14
3.2.1 Farklı Dozajlı Beton Üretimi .....	14
3.3 Deney Numunelerinin Kalıplara Yerleştirilmesi Çıkartılması ve Kür Havuzuna Konulması .....	16
3.4 Çimento Pastasında Sıcaklık ile Priz Süresi Arasındaki İlişki .....	17
3.5 Beton Üzerinde Yapılan Deneyler .....	18
3.6 Taze Betonlarda Yapılan Deneyler .....	19
3.6.1 Betonlara Elektriksel Kür Uygulanması .....	19
3.6.2 Betonlarda Uygulanan Gerilim Şiddetinin Priz Süresine Etkisi .....	20
3.6.3 Dozajın Priz Süresine Etkisi .....	20
3.6.4 Betonlarda Hiperakışkanlaştırıcı Oranının Priz Süresine Etkisi .....	20
3.6.5 Betonlarda Frekans Şiddetinin Priz Süresine Etkisi .....	21
3.6.6 Betonlarda Olgunluk Faktörü .....	21
3.6.7 Betonlarda Hidratasyon Süresince Çekilen Akım Hesabı ve Maliyet Hesabı .....	22



3.7 Sertleşmiş Betonlarda Yapılan Deneyler .....	23
3.7.1 Betonlarda 1, 28 ve 180. Günlerdeki Basınç Dayanımı .....	23
3.7.2 Porozite ve Su Emme Oranlarının Belirlenmesi .....	23
3.7.3 Ultrases Deneyleri .....	25
3.7.4 Aşınma Deneyi.....	26
3.7.5 Yarma Deneyi .....	26
3.7.6 Mikroyapı İncelemesi.....	26
3.8 Hızlandırılmış Kürde Beton İç Sıcaklığı .....	27
4. BULGULAR ve TARTIŞMA .....	28
4.1 Çimento Pastasında Sıcaklık Ölçümü ile Priz Süresinin Belirlenmesi.....	28
4.2 Gerilim Uygulanan Betonlarda Gerilim Şiddeti Priz Sona Erme Süresi Arasındaki İlişki.....	28
4.3 Dozajın ve Gerilim Şiddetinin Priz Süresine Etkisi .....	32
4.4 Hiperakışkanlaştırıcının Priz Süresine Etkisi.....	34
4.5 S/ç Oranının Priz Süresine Etkisi .....	35
4.6 Plakalar Arası Mesafenin Priz Süresine Etkisi.....	36
4.7 Frekansın Priz Süresi Üzerindeki Etkisi .....	37
4.8 Çimento Tipinin Priz Süresi Üzerindeki Etkisi.....	38
4.9 Betonda Porozite Su Emme ve Ultrases Deneyleri .....	40
4.10 Betonda Olgunluk.....	43
4.10.1 Dozajın ve Gerilimin Olgunluk Üzerindeki Etkisi .....	43
4.10.2 Su/çimento ve Hiperakışkanlaştırıcı Oranının Olgunluk Üzerindeki Etkisi	46
4.10.3 Frekans Şiddetinin Olgunluk Üzerindeki Etkisi .....	48
4.11 Dozajın ve gerilim şiddetinin 1 günlük basınç dayanımına etkisi.....	48
4.12 S/ç Oranının 1 Günlük Basınç Dayanımına Etkisi .....	49
4.13 Hiperakışkanlaştırıcı Oranının 1 Günlük Basınç Dayanımına Etkisi .....	50
4.14 Frekansın 1 Günlük Basınç Dayanımına Etkisi .....	51
4.15 Dozajın ve Gerilim Şiddetinin 28 Günlük Basınç Dayanımına Etkisi .....	54
4.16 S/ç Oranının Gerilim Şiddetine Göre 28 Günlük Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi.....	56
4.17 Beton İçine Konulan Farklı Oranlardaki Hiperakışkanlaştırıcının 28 Günlük Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi .....	57
4.18 Frekansın ve Çimento Tipinin 28 Günlük Basınç Dayanımı Üzerinde Etkisi ....	58
4.19 Betona 1 Günlük Gerilim Uygulaması ile Basınç Dayanımı Tahmini .....	61
4.20 Farklı Dozajlı Betonlarda Gerilim Şiddetine Göre Priz Bitiş Süresi.....	62
4.21 Betonlarda 1, 28 ve 180. Günlerdeki Basınç Dayanımı Karşılaştırması .....	64

4.22 Betonda Olgunlukla Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki.....	65
4.23 Aşınma Deneyi.....	67
4.24 Yarma Dayanımı .....	68
4.25 Betonlarda 1 Günde ve 6 Ayda Mikro İnceleme.....	69
4.25.1 Bir Günlük Betonlarda SEM Analizi .....	69
4.25.2 Bir Günlük Betonlarda EDS Analizi.....	72
4.25.3 Altı Aylık Betonlarda SEM Analizi .....	75
4.26 Gözlemsel İnceleme .....	79
4.27 Betonlarda Hidratasyon Süresince Çekilen Akım ile Priz Süresi Tahmini.....	80
4.28 Maliyet Analizi .....	80
4.29 Hızlandırılmış Kürde Boyut Etkisi ve Yerinde Uygulanabilirliği .....	81
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	85
5.1 Tartışma .....	85
5.2 Tez Çalışmasında Elde Edilen Sonuçlar .....	89
6. KAYNAKLAR .....	94
ÖZGEÇMİŞ.....	104

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dialüminyum Trioksit
C-S-H	Kalsiyum – Silika – Hidrat
CaO	Kalsiyum Oksit
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Krom Oksit
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Hematit
K <sub>2</sub> O	Potasyum Oksit
MgO	Magnezyum Oksit
Na <sub>2</sub> O	Sodyum Oksit
SiO <sub>2</sub>	Silisyum Dioksit
SO <sub>3</sub>	Kükürt
CSA	Kalsiyum Sülfü Alüminat
O <sub>2</sub>	Oksijen
Na	Sodyum
Mg	Magnezyum
Ca	Kalsiyum
Al	Aliminyum
K	Potasyum
Ω	Ohm

---

### Kısaltmalar

---

ASTM	The American Society for Testing and Materials
cm	Santimetre
TS	Türk Standartları
EN	Avrupa Normu
ICCP	Impressed Current Cathodic Protection
ITZ	Interfacial Transition Zone
kg	Kilogram
km	Kilometre
lt	Litre
sn	Saniye
mg	Miligram
mm	Milimetre
V	Volt
SEM	Scanning Electron Microscope
Doz	Dozaj
MPA	Mega Paskal
DC	Direkt Akım
AC	Alternatif Akım
DYK	Doygun Yüzey Kuru
BHA	Birim Hacim Ağırlık
LBF	Pound-Kuvvet
CEM I	Portland Çimentosu

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 Hızlandırılmış kürde beton sıcaklığının zamana göre değişimi.....	5
Şekil 2.2 Betonda elektrik akımı iletim şeması.....	6
Şekil 3.1 Agrega elek analizi için karışım oranının belirlenmesi.....	15
Şekil 4.1 Çimento pastalarında iç sıcaklıkla priz süresi belirlenmesi. ....	28
Şekil 4.2 250 dozajlı betonlarda gerilim şiddeti-sıcaklık ilişkisi. ....	29
Şekil 4.3 300 dozajlı betonlarda gerilim şiddeti-sıcaklık ilişkisi. ....	30
Şekil 4.4 350 dozajlı betonlarda gerilim şiddeti-sıcaklık ilişkisi. ....	31
Şekil 4.5 400 dozajlı betonlarda gerilim şiddeti-sıcaklık ilişkisi. ....	31
Şekil 4.6 Farklı dozajlı betonlarda gerilim şiddeti-priz sona erme süresi.....	32
Şekil 4.7. 250-300-350 dozajlı betonlarda şahit ve 40 V gerilim uygulandığında sıcaklık-zaman ilişkisi. ....	33
Şekil 4.8 250-300-350-400 dozajlı betonlarda şahit ve 60 V gerilim uygulandığında sıcaklık-zaman ilişkisi. ....	33
Şekil 4.9 250-300-350-400 dozajlı betonlarda şahit ve 80 V gerilim uygulandığında sıcaklık-zaman ilişkisi. ....	34
Şekil 4.10 250-300-350 dozajlı betonlarda şahit ve 100 V gerilim uygulandığında sıcaklık-zaman ilişkisi. ....	34
Şekil 4.11 300 dozajlı % 0, % 1, % 1.5 hiperakışkanlaştırıcı betonda sıcaklık-zaman ilişkisi. ....	35
Şekil 4.12 300 dozajlı farklı s/ç içeriğine sahip betonda sıcaklık-zaman ilişkisi.....	36
Şekil 4.13 300 dozajlı farklı boyutlu betonlarda sıcaklık-zaman ilişkisi.....	37
Şekil 4.14 300 dozajlı farklı frekanslı gerilim uygulanan betonlarda sıcaklık-zaman ilişkisi. ....	37
Şekil 4.15 300 dozajlı farklı çimento tipiyle üretilen betonlarda sıcaklık-zaman ilişkisi. ....	38
Şekil 4.16 Betonlarda gerilim şiddetine göre porozite miktarları karşılaştırması .....	41
Şekil 4.17 Betonlarda gerilim şiddetine göre su emme oranları karşılaştırması. ....	41
Şekil 4.18 Betonlarda gerilim şiddetine göre ultrases değerleri karşılaştırması. ....	42
Şekil 4.19 250 dozajlı betonların gerilim şiddetine göre olgunlukları. ....	43
Şekil 4.20 300 dozajlı betonların gerilim şiddetine göre olgunlukları. ....	44
Şekil 4.21 350 dozajlı betonların gerilim şiddetine göre olgunlukları. ....	44
Şekil 4.22 400 dozajlı betonların gerilim şiddetine göre olgunlukları. ....	45
Şekil 4.23 S/ç oranının ve gerilimin olgunluğa etkisi.....	47
Şekil 4.24 Hiperakışkanlaştırıcı oranının ve gerilimin olgunluğa etkisi. ....	47
Şekil 4.25 Frekans şiddetinin olgunluğa etkisi.....	48

Şekil 4.26	Dozajın ve gerilim şiddetinin 1 günlük basınç dayanımına etkisi. ....	49
Şekil 4.27	S/ç oranının ve ac gerilimin 1 günlük basınç dayanımına etkisi. ....	50
Şekil 4.28	Hiperakışkanlaştırıcı oranının ve ac gerilimin 1 günlük basınç dayanımına etkisi. ....	51
Şekil 4.29	Frekansın ve ac gerilimin 1 günlük basınç dayanımına etkisi. ....	52
Şekil 4.30	Farklı dozajlı betonların gerilim şiddetine göre 28 günlük basınç dayanımları. ....	54
Şekil 4.31	Farklı dozajlı ve farklı gerilim şiddeti uygulanan betonlarda en yüksek iç sıcaklık. ....	56
Şekil 4.32	S/ç oranının ve AC gerilimin 28 günlük basınç dayanımına etkisi. ....	57
Şekil 4.33	Hiperakışkanlaştırıcı oranının ve AC gerilimin 28 günlük basınç dayanımına etkisi. ....	58
Şekil 4.34	Frekansın ve AC gerilimin 28 günlük basınç dayanımına etkisi. ....	59
Şekil 4.35	Çimento tipinin ve AC gerilimin 28 günlük basınç dayanımına etkisi. ....	60
Şekil 4.36	300 dozajlı şahit numunelerin farklı günlerdeki basınç dayanımı. ....	62
Şekil 4.37	250 dozajlı betonların gerilim şiddetine göre priz bitiş süreleri. ....	63
Şekil 4.38	300 dozajlı betonların gerilim şiddetine göre priz bitiş süreleri. ....	63
Şekil 4.39	350 dozajlı betonların gerilim şiddetine göre priz bitiş süreleri. ....	63
Şekil 4.40	400 dozajlı betonların gerilim şiddetine göre priz bitiş süreleri. ....	64
Şekil 4.41	300 dozajlı betonların 1, 28 ve 180. günlerdeki basınç dayanımları. ....	65
Şekil 4.42	250 dozajlı betonların olgunluk ile basınç dayanımı arasındaki ilişki. ....	65
Şekil 4.43	300 dozajlı betonların olgunluk ile basınç dayanımı arasındaki ilişki. ....	66
Şekil 4.44	350 dozajlı betonların olgunluk ile basınç dayanımı arasındaki ilişki. ....	66
Şekil 4.45	400 dozajlı betonların olgunluk ile basınç dayanımı arasındaki ilişki. ....	66
Şekil 4.46	Farklı dozajlı betonların olgunlukları ile basınç dayanımı arasındaki ilişki. ....	67
Şekil 4.47	Betonlarda dozaja ve uygulanan gerilim şiddetine göre aşınma miktarları. ....	68
Şekil 4.48	Betonlarda dozaja ve uygulanan gerilim şiddetine göre yarma dayanımı. ....	69
Şekil 4.49	300 dozaj şahit 1 günlük betonda SEM görüntüsü. ....	70
Şekil 4.50	300 dozaj 40 V gerilim uygulanan 1 günlük betonda SEM görüntüsü. ....	70
Şekil 4.51	300 dozaj 60 V gerilim uygulanan 1 günlük betonda SEM görüntüsü. ....	71
Şekil 4.52	300 dozaj 80 V gerilim uygulanan 1 günlük betonda SEM görüntüsü. ....	71
Şekil 4.53	300 dozaj 100 V gerilim uygulanan 1 günlük betonda SEM görüntüsü. ....	72
Şekil 4.54	300 dozaj şahit 1 günlük betonda EDS analizi. ....	73
Şekil 4.55	300 dozaj 40 V gerilim uygulanan 1 günlük betonda EDS analizi. ....	73
Şekil 4.56	300 dozaj 60 V gerilim uygulanan 1 günlük betonda EDS analizi. ....	74
Şekil 4.57	300 dozaj 80 V gerilim uygulanan 1 günlük betonda EDS analizi. ....	74

<b>Şekil 4.58</b>	300 dozaj 100 V gerilim uygulanan 1 günlük betonda EDS analizi.....	75
<b>Şekil 4.59</b>	300 dozaj şahit 6 aylık betonda SEM görüntüsü. ....	77
<b>Şekil 4.60</b>	300 dozaj 40 V gerilim uygulanan 6 aylık betonda SEM görüntüsü. ....	77
<b>Şekil 4.61</b>	300 dozaj 60 V gerilim uygulanan 6 aylık betonda SEM görüntüsü. ....	78
<b>Şekil 4.62</b>	300 dozaj 80 V gerilim uygulanan 6 aylık betonda SEM görüntüsü. ....	78
<b>Şekil 4.63</b>	300 dozaj 100 V gerilim uygulanan 6 aylık betonda SEM görüntüsü. ....	79
<b>Şekil 4.64</b>	300 dozajlı betonlarda hidrasyon süresince gerilim şiddetine göre çekilen akımlar.....	80
<b>Şekil 4.65</b>	300 dozaj 40 V gerilim uygulanan donatılı ve şahit betonda priz süresi. ....	84

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1 Agreganın elekten geçen yüzde değerleri. ....	12
Çizelge 3.2 Deneyleerde kullanılan agregaya ait fiziksel özellikler. ....	13
Çizelge 3.3 Kullanılan Portland çimentolarının kimyasal analizi. ....	13
Çizelge 3.4 Kullanılan Portland çimentolarının fiziksel özellikleri. ....	13
Çizelge 3.5 Polisan marka hiper akışkanlaştırıcının teknik özellikleri. ....	14
Çizelge 3.6 Birim hacimdeki beton bileşenleri. ....	15
Çizelge 3.7 Tez kapsamında yapılan deneyler ve ilgili standartları. ....	19
Çizelge 4.1 Betonlarda priz süreleri incelemesi. ....	39
Çizelge 4.2 Gerilim uygulanan ve gerilim uygulanmayan betonlarda arşimet ve ultrases deneyleri. ....	42
Çizelge 4.3 Dozajın ve gerilim şiddetinin 500. dakikadaki olgunluğa etkisi. ....	46
Çizelge 4.4 Betonlarda 1 günlük basınç dayanımı karşılaştırması. ....	53
Çizelge 4.5 Betonlarda 28 günlük basınç dayanımı karşılaştırması. ....	55
Çizelge 4.6 Betonlarda 28 günlük basınç dayanımı karşılaştırması. ....	61
Çizelge 4.7 Betonlarda ulaşılan basınç dayanımının gerilim şiddetine göre incelenmesi. ....	62
Çizelge 4.8 Priz bitiş süresi ve korolasyon katsayısının gerilim şiddetine göre belirlenmesi. ....	64
Çizelge 4.9 60 V gerilim uygulanan betonlarda olgunluk-basınç dayanımı ilişkisi. ....	67
Çizelge 4.10 Klinkerin ana fazları. ....	75
Çizelge 4.11 Bir günlük betonların uygulanan gerilim şiddetine göre EDS analizi. ....	75

## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 2.1</b> Elektrik akımı uygulanmış çimento pastalarının görünüşü. ....	7
<b>Resim 3.1</b> Kalıpların yağlanması. ....	16
<b>Resim 3.2</b> Betonların kalıplara yerleştirilmesi. ....	17
<b>Resim 3.3</b> Beton numunelerinin testereyle kesilmesi. ....	17
<b>Resim 3.4</b> Çimento pastasında sıcaklık ölçümü. ....	18
<b>Resim 3.5</b> Çimento pastasında priz süresi ölçümü. ....	18
<b>Resim 3.6</b> Betonlara AC gerilim uygulanması. ....	20
<b>Resim 3.7</b> Numunelerin sudaki ağırlıklarının ölçülmesi. ....	23
<b>Resim 3.8</b> Numunelerin doymuş yüzey kuru ağırlıklarının tartılması. ....	24
<b>Resim 3.9</b> Numunelerin etüve konulması. ....	24
<b>Resim 3.10</b> Betonda ultrases deneyleri yapılması. ....	25
<b>Resim 3.11</b> Betonlarda mikro inceleme. ....	27
<b>Resim 4.1</b> 80 V AC gerilim uygulanan 1 günlük betonların görünümü. ....	79
<b>Resim 4.2</b> Donatılı beton hazırlanması. ....	82
<b>Resim 4.3</b> Betonarme sisteme ampül bağlanması. ....	83
<b>Resim 4.4</b> Betonarme sisteme AC gerilim uygulanması. ....	83



## 1. GİRİŞ

İnşaat sektöründe artan talebi, en kısa zamanda ve ekonomik biçimde karşılayabilmek amacıyla seri üretim ve sanayileşme gereksinimi artmaktadır. Betonda hızlandırılmış kür uygulayabilmek amacıyla buhar kürü, sıcak su kürü, mikro dalga kürü vb. yöntemler uygulanmaktadır. Betona uygulanan diğer kür yöntemlerinden farklı olarak yerinde dökülmüş betona elektriksel gerilim uygulanarak beton iç sıcaklığı artırılıp, hidrasyon ürünlerinin daha çabuk oluşması sağlanabilmesi çabuk tamirat gerektiren yapılarda önem arz etmektedir. Günümüzde deney tekniklerindeki ilerlemeler ve teknolojinin laboratuarda oluşturduğu olumlu sonuçlar neticesinde betonun mekanik yapısını da geliştirmektedir. Betonun içeriğindeki en önemli etkenlerden birisi çimentodur. Çimento, ana hammaddeleri kalkerle kil olan ve mineral parçaları birleştirmek için kullanılan bir malzemedir. Çimentonun bu bağlayıcılık özelliğini kazanabilmesi için suyla kimyasal tepkimeye girmesi (hidrasyona uğraması) gerekmektedir.

Betonun priz süresinin belirlenmesinde elektriksel özellikler kullanılabilir (Backe *et al.* 2001, Whittington *et al.* 1981). Aslında beton elektriksel olarak iletken değildir. Ancak; su içeriğinden dolayı beton prizini alıncaya kadar iletkenlik göstermektedir. Beton prizini aldıktan sonra elektriksel açıdan iletkenliği yok denilecek kadar azalmaktadır. Betonun elektrik iletkenliği içerdiği boşluklarla ilişkilendirilebilir. Çünkü boşlukta iyonların hareket kapasiteleri daha yüksek olmaktadır. Betonun elektrik iletkenliği boşluk solisyonlarında iyon transferi sebebiyle özellikle hidrasyonun ilk aşamalarında hidrasyon ürünlerinin oluşumunda etkili rol oynamaktadır (Xiao *et al.* 2007, Schwarz *et al.* 2007). Hidrasyonun ilk 10 dakikası içerisinde (Ca) ve (OH) iyonları solisyon içerisine girmektedir (Wei and Li 2006). Daha sonra (Ca) ve (OH) iyonları artmakta ve C-S-H jellerini oluşturmaktadır. Hidrasyonun derecesi betonun boşluk yapısı ve hidrasyon ürünleriyle ilişkilidir (Levita *et al.* 2000). El- Dieb vd (2018) beton içerisine belirli oranlarda çelik, karbon tozu, grafit tozu vb. koyarak elektriksel iletkenliğin betonun fiziksel, mekanik ve durabilite özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak beton içerisine konulan iletken madde miktarının artmasıyla betonun da iletkenliği artmış, betonun fiziksel ve mekanik özellikleri de

olumlu şekilde etkilenmiştir. Tomlinson vd (2017)  $-24^{\circ}\text{C}$  ile  $+24^{\circ}\text{C}$  çevriminde betonun erken yaşlardaki elektriksel öz dirençlerini araştırmışlardır. Betonda elektriksel öz direncin artmasıyla beton iç sıcaklığının düştüğünü ve sertleşmenin oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Yapılan bazı araştırmalar betonun elektriksel özelliklerinin gözlenmesi ile basınç dayanımı ve priz süresi tahmininde kullanılabileceğini belirlemişlerdir (Medeiros- Junior *et al.* 2014, Xiao *et al.* 2010).

Bu çalışmada; betonlarda fiziksel ve mekanik özellik kaybı yaşanmadan hızlı kür yapabilmek amaçlanmıştır. AC gerilim uygulaması ile  $10 \times 10 \times 35$  cm boyutlarındaki 250, 300, 350 ve 400 dozajlı (beton içindeki çimento miktarı) betonlarda sırasıyla 0, 40, 60, 80 ve 100 V gerilim uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Frekans etkisini belirlemek için aynı gerilim şiddetinde sırasıyla 50, 100, 250 ve 500 Hz olarak uygulanmıştır. Ayrıca sırasıyla % 0, % 0.5, % 1 ve % 1.5 oranlarında hiperakışkanlaştırıcı konulan betonlar üretilmiştir. Su/çimento oranının elektriksel küre etkisini belirlemek amacıyla s/ç oranları 0.45, 0.55, 0.65 ve 0.70 olan sabit dozajlı (300) betonlar üzerine sabit frekans (50 Hz) ve gerilim şiddeti (80 V) ile AC gerilim uygulanarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

## 2. LİTERATÜR BİLGİSİ

### 2.1 Betonda Hızlandırılmış Kür Gereksinimi

Betonun basınç dayanımını erken belirleme bir hazır beton tesisinin dayanımı ve ekonomisi açısından önem arz etmektedir. Dayanımı erken belirlemenin bir yolu, dayanım gelişimini hızlandırmaktır. Seri üretim gerektiren hazır beton tesislerinde beton dayanımının erkenden hedeflenen düzeye ulaşması projenin öngörülen zamanda gerçekleştirilebilmesi açısından oldukça önemlidir.

Dayanım düzeyinin erkenden tespiti, tesisin hem performansı ve ekonomisi bakımından hem de kalite kontrol ve kalite güvence yaklaşımında belirleyici rol oynaması bakımından da son derece önemlidir. Dayanımı erkenden belirlemek için dayanım gelişimini hızlandırmayı amaçlayan çeşitli hızlandırma yöntemleri geliştirilmiş ve kullanılmıştır (TS-3323 2017).

Uygulanan yöntemlerde başarı derecesini etkileyen faktörler arasında ısı işlemini belirleyen parametrelerin alacağı değerler kadar betonun geleneksel bileşenlerine ek olarak katılan mineral katkı maddelerinin tipi ve miktarının da önemli payı bulunmaktadır (Pavlenko 1994). Bu maddelerin hem bileşimlerinin hem de betona ilave oranlarının farklı oranlarda konulması betonun performansı açısından olduğu kadar dayanım gelişimi üzerinde de etkili olmaktadır. Bu etkinlik, hızlandırılmış kür uygulandığında daha da belirgin olmaktadır (Tokyay 1999).

ASTM standardından alınarak Türk Standartları Enstitüsü tarafından olduğu gibi benimsenen;

- sıcak su kürü yöntemi
- kaynar su kürü yöntemi
- otojen kür olmak üzere

çevrim karakteristikleri itibariyle birbirinden farklılık gösteren üç hızlandırılmış kür yöntemi tanımlanmaktadır (Tokyay 1999).

Bilinen başlıca hızlandırılmış kür yöntemleri;

- Sıcak Su Kürü Yöntemi
- Kaynar Su Kürü Yöntemi
- Otojen Kür Yöntemi
- Değiştirilmiş Sıcak Su Yöntemi
- Mikro Dalga Kür Yöntemi
- Prefabrik Beton İmalatında Buhar Kürü Uygulaması
- Mineral Katkı Kullanılması İle Hızlandırılmış Kür
- Elektrik Akımı Uygulaması İle Hızlandırılmış Kür yöntemleridir. Aşağıda hızlandırılmış kür yöntemleriyle ilgili bazı bilgiler verilecektir.

Otojen kürü yönteminde sıcaklık artışı, çimentonun hidrasyon ısı ile sağlandığı için bu yöntemde ısı işlem çevrimi söz konusu değildir. Gerek sıcak su kürü gerekse kaynar su kürü yöntemlerinde çevrim parametreleri itibariyle birbirinden farklılık gösteren ısı işlem çevrimleri uygulanmaktadır. Uygulama açısından bu her iki yöntemin literatürde bazı yetersizlikleri ve dezavantajları dile getirilmektedir. Örneğin, sıcak su yönteminin betonun dayanımını yeterince hızlandıramadığı belirlenmiştir.

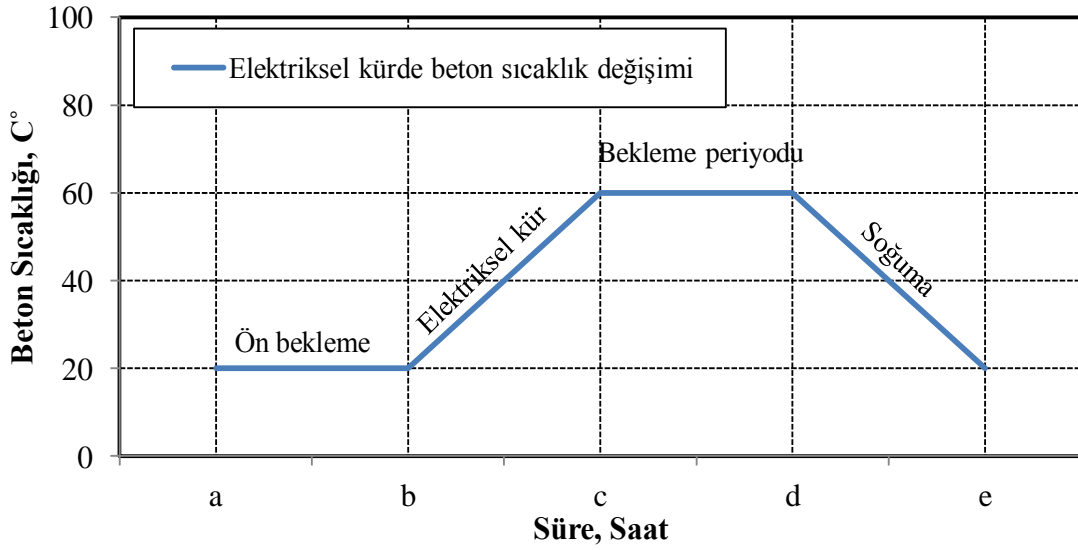
Kaynar su yönteminin ise yüksek işlem sıcaklığı nedeniyle hem insan sağlığı açısından risk oluşturduğu hem de beton bünyesine zarar verdiği ve dolayısıyla uygulama açısından her iki yöntemin de ideal olmadığı belirtilmektedir (Öztek in 1987, Mather 1986).

Bunun üzerine, bu iki yöntemin dezavantajlarını avantaja dönüştüren ve literatürde “Değiştirilmiş Sıcak Su Yöntemi” olarak bilinen ideal bir hızlandırılmış kür yöntemi geliştirilmiştir (Kurbetci 2001). Yöntem, 1 saat ön beklemeyi takiben 43 C° sıcaklıkta 21 saat ısı işlemi gerektiren ve 24 saatte tamamlanan yumuşak nitelikli bir ısı işlem çevrimini gerektirmektedir.

Farklı içeriğe sahip ancak; herhangi bir mineral veya kimyasal katkı maddesi içermeyen

betonlardaki numunelere uygulanan değiştirilmiş sıcak su yönteminin, sıcak su yöntemine göre hızlandırılmış dayanımlarda yaklaşık %15 oranında bir artış sağladığı, 28 günlük basınç dayanımının belirlenmesinde yanılma payını da fark edilebilir oranda iyileştirdiği belirlenmiştir (Kurbetci 2004).

Betonun elektriksel iletkenliği, çimento esaslı sistemlerde iyonların boşlukta hareket etmeleri sebebiyle açıklanabilmektedir. İletkenlik; hem poroziteye hem de boşluk miktarının iletkenliğine bağlı olduğu belirlenmiştir. Çimento pastası ve çimento esaslı harç veya beton prizini alıncaya kadar elektriksel iletkenlik gösterdiği, priz sona ermesinden sonra ise elektriksel direncin zamanla artarak en yüksek değerlere ulaştığı önceki araştırmalar göstermektedir. Hızlandırılmış kürde beton sıcaklığının zaman ile değişimi Şekil 2.1' de gösterilmiştir. Burada (a) , başlangıç sıcaklığını  $\leq 30\text{ C}^\circ$ , (c), maksimum sıcaklığı, (c/d), bekleme süresini, (d/e) soğuma periyodunu göstermektedir. Aşağıda konuyla ilgili bazı araştırmalara değinilmiştir.

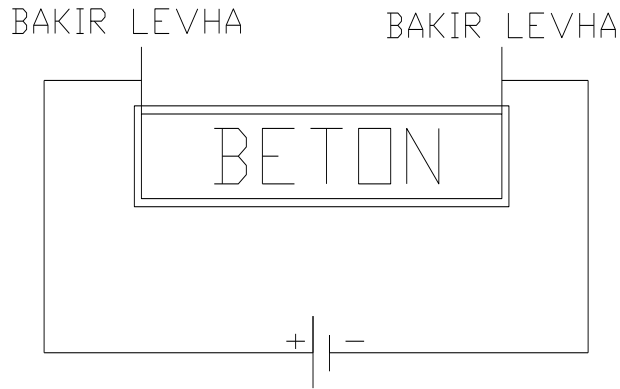


Şekil 2.1 Hızlandırılmış kürde beton sıcaklığının zamana göre değişimi.

## 2.1 Betonda Elektrik İletimi

Malzemenin elektriksel özellikleri malzeme hakkında birçok bilgi vermektedir (Bilim ve zkan 2006). Tuan ve Nguyen partnerliğinde geliştirilen iletken betonlar elektriği

iletmek için yapılmıştır. İletken betonlar hem maliyet açısından hem de diğer koruma metodlarına göre daha fazla esneklik sunmaktadır. Çimento esaslı malzemeden üretilen beton plastik kıvamda iken içeriğindeki su bileşeninden dolayı elektriksel iletkenlik göstermektedir. Beton elektrik akımını iletmesi için güç kaynağının pozitif (+) ve negatif (-) kutupları beton içerisine gömülen bakır levhalara bağlanmaktadır (Şekil 2.2). Beton prizini alıp sertleşmeye başlayınca beton içerisindeki su hidratasyona uğradığı için betonun elektriksel iletkenliği en düşük değerler almaktadır. Betonun elektriksel direnci ve betondaki akım ilerlemesinin mikro yapı özellikleri hakkında bazı çalışmalar yapılmıştır (Koleva *et al.* 2008). Mikro yapıdaki araştırmalar, betondaki akım etkisinin durumu, matrislerin kimyasal kompozisyonlardaki değişimi, elektrik özelliği hakkında tahmin edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan deneyde optimizasyon ICCP tekniği kullanılmış olup; iyon değişiminin elektrik direnciyle yakın ilişkili olduğu ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak betondaki elektrolit yol sistemi; agrasif iyon transfer mekanizmasının kinetik etkisinin, boşluk iletkenliği ile yakın ilişkili olduğu ortaya çıkmıştır (Koleva *et al.* 2008).



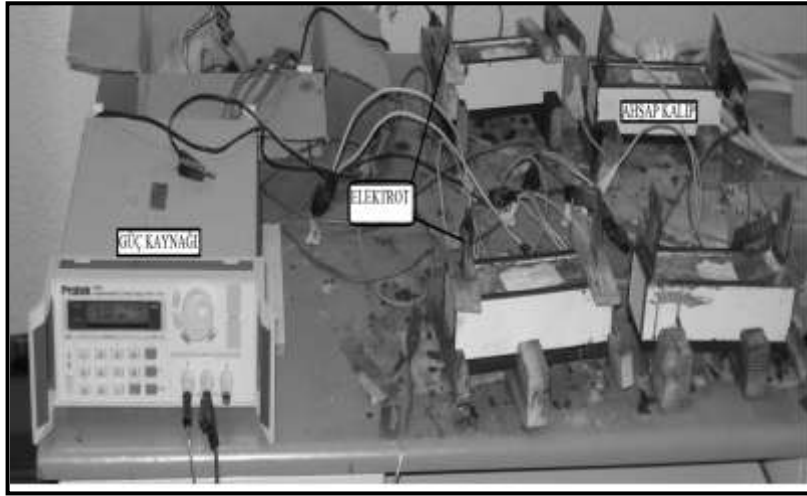
Şekil 2.2 Betonda elektrik akımı iletim şeması.

### 2.3 Konuyla İlgili Yapılan Çalışmalar

Yapılan bir araştırmada çimento pastalarındaki su/çimento oranı, çimento hidratasyon alkali etkisi ve çimento pastasının kıvamı araştırılmıştır (Wei and Li 2006, McCarter *et al.* 2003). Su/bağlayıcı oranıyla elektriksel direnç arasındaki ilişki karşılaştırılarak, elektriksel direnç yükseldikçe, ısı artışı gözlenmiştir.

Bazı araştırmalarda uçucu kül'ün beton üzerindeki etkisi araştırılmış olup, mineral katkı ve kontrol numunelerdeki elektriksel direnç gelişiminin boşluk oranına etkisi belirlenmiştir. Çimento esaslı bileşenlerin elektriksel özellikleri çimentonun mikro yapısındaki değişimle ilişkili olduğu belirlenmiş ve taze betonda çeşitli deneyler yapılmıştır. Bunun için spektroskopi aleti kullanılmış, spektroskopi aleti yüksek duyarlılığa sahip, uzaktan kumanda edilebilmektedir. Ek olarak bu alet ivmelendirilmiş kür gelişiminde de kullanılabileceği belirlenmiştir (Leivo 1996, Levita *et al.* 2000).

Topçu vd. (2012) farklı oranlarda mineral katkı içeren (% 0, 10, 20, 30) ve farklı su/çimento oranlarına sahip (0.40, 0.45, 0.50, 0.55) çimento pastalarına elektrik akımı uygulamışlar, çimento pastalarına hem elektrik akımı uygulaması hem de mineral katkı konması ile priz süresinin kısalabileceğini belirlemişlerdir (Resim 2.1).



**Resim 2.1** Elektrik akımı uygulanmış çimento pastalarının görünüşü.

Alveraz *et al.* (2017) harçların içerisine belirli oranlarda fiber koyarak harçların elektriksel dirençlerini incelemişlerdir. Sonuç olarak fiberlerin iletkenlik özelliğinden dolayı harçların elektriksel dirençlerinde düşüşler gözlenmiştir.

Backe *et al.* (2001) porozite, iletkenlik, iyon içeriği ve çimento kimyası arasında ilişki olup olmadığını araştırmışlardır. Teorilerine göre porozitenin artması iletkenliğin

artmasıyla ilişkili olduğu, dolayısıyla hidrasyon derecesiyle de ilgili olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Ghoddousi *et al.* (2017) çimento pastalarında; elektriksel direnç ile kalsiyum hidroksit (CH) arasında ilişki olup olmadığını araştırmışlardır. Sonuç olarak çimento pastalarında elektriksel ölçüm ile, CH içeriğinin belirlenmesinde bir model geliştirmişlerdir.

Li *et al.* (2007) plastik kıvamdaki betonun elektriksel öz direncini hesaplayarak betonun priz süresi ölçümünde bir model geliştirmişlerdir. Morsy (1998) yapmış olduğu araştırmada çimento pastasının elektrik iletkenliğini, farklı sıcaklıkta, kururken ve sertleşirken gözlemlemiştir. Çimento pastasının elektrik iletkenliği, çimento hidrasyon sürecini belirlemek için etkili bir yol olduğu ve çimento pastasındaki yapısal değişikliklerini araştırmak için kullanılabileceğini düşünmüşlerdir.

Yapılan çalışmalarda kür sıcaklığına göre, katkılı çimentonun priz süresinin değişiklik gösterebileceği ortaya çıkmıştır. Elektrik iletkenliğinin çeşitliliği ve zamana göre türü, çimento pastasının mikro yapısal gelişiminde farklı aşamalarla ilişki kurulabileceği tespit edilmiştir (Schwarz *et al.* 2007).

Çimento pastasının elektrik iletkenliği hakkında yapılan bir diğer araştırmada, çimento pastalarına iri ve sade cam tozu katılarak elektriksel iletkenlikleri belirlenmiştir. Çimento pastalarına belirli oranlarda cam tozunun katılması, çimento tanelerinin hidrasyonunu kolaylaştırdığı ve hızlandırdığı gözlenmiştir. Çimento pastası içine cam tozunun katılması ile çimento pastasının sertleşme zamanında yalnızca küçük değişikliklere yol açtığı, çimento pastalarının elektriksel iletkenlik değerlerinden kolayca tespit edilmiştir. Hidrasyonun ilk aşamalarında çimento pastası içindeki cam tozu içeriği arttıkça normalize iletkenliğin arttığı görülmüştür. Daha sonra iletkenlik değeri 1 mA'e yakın veya daha az bir değere düşmüştür (Schwarz *et al.* 2007).

Yapılan bir diğer araştırmada su/bağlayıcı oranları farklı olan çimento pastalarına belirli oranda Kalsiyum Sülfür Alüminat (CSA) konularak, çimento pastalarındaki elektriksel öz dirençlerini 1 gün süresince araştırılmıştır. Çimento ile su karıştırıldıktan hemen



sonra elektriksel özdirencin zamanla arttığı belirlenmiştir. Daha sonra çimento pastası prizini almaya kadar öz direnç 2 kez en yüksek değere ulaştığı gözlenmiştir. Son olarak yaklaşık 1440 dakikada elektrik akım geçişi en düşük değerlere ulaşmıştır. Hidrasyonun ilk aşamasında çimento pastalarındaki elektriksel öz dirençte boşluk oranı en önemli rolü oynarken, sonrasında iyon transferi önemli rol oynamaktadır. Elektriksel özdirenç ve su/bağlayıcı oranı arasında ilk bir saatte ters orantı varken, 24 saat sonunda elektrik öz dirençle su/bağlayıcı oranı arasında doğru ilişki olduğu belirlenmiştir. Farklı s/b oranlarında hazırlanmış karışımlar için, 24 saat sonunda elektrik öz dirençle basınç dayanımı arasında ilişki olmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Liao *et al.* 2011).

McIntosh (1949) beton üzerine sabit AC gerilim şiddeti uygulayarak betonun iç ısısını arttırmıştır. Betonda sıcaklık ve özdirenç ölçümleri sonucu betonun iç sıcaklığının maksimum değerler alması 1 m<sup>3</sup> betonun ısınma oranıyla ilişkili olduğu belirlenmiştir. Bredenkamp *et al.* (1993) betona DC akım uygulaması sonucu en yüksek iç sıcaklığa ulaştığı enerji girişi ve oranının (kWh/m<sup>3</sup>) betonun ilk ve nihai dayanıma etkisini araştırmışlardır. DC elektrik kür tekniğinin ekonomik, uygulanabilir ve güvenilir olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Canbaz vd. (2018) soğuk havada hızlı priz alan beton üretilmesini hedeflemişlerdir. Bu amaçla elektriksel direnç kullanılarak beton içeriden ısıtılmış ve kısa sürede betonun prizini tamamlaması sağlanmıştır. Bu yöntemle -15, -20, -25 derece gibi soğuk hava koşullarına rağmen 4.5 saat gibi kısa sürede beton priz almıştır.

Wilson and Gupta (1996) betonda elektriksel özdirencin ölçülmesi ile hızlandırılmış kürün belirlenebileceği, hem hızlı kür edilen numunelerde hem de referans numunelerde sıcaklık değerlerinin ölçülmesi ile sertleşme zamanının hesap edilebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Whittington *et al.* (1981) betonun elektriksel öz direnci ile bileşenlerin elektriksel özellikleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Betonun elektriksel iletkenlik mekanizması belirlenerek elektriksel bir model geliştirilmiştir. Obla *et al.* (2018) araştırmalarında yalnızca betonun elektriksel özdirencinin ölçülmesi ile hidrasyon

ürünlerinin oluşumunun tahmin edilebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Yapılan araştırmalarda elektrik iletkenliği öncesinde geçen sürenin, indüksiyon süreci ile çok iyi bağlantılı olarak düştüğü ortaya çıkmıştır. İletkenliğin azalması agrega tarafından kısmen geciktirilmiştir. Farklı analitik ve sayısal modeller [Hard Core Soft Shell Model (HCSS), Diferansiyel Etkili Orta Teorisi (DEMT), Lu–Torquato, Maxwell] aracılığı ile, elektriksel veri analizi, ara yüzey geçiş bölgesinin (ITZ) özelliklerinin tahminine izin verilmiştir. Yaklaşık 9 µ kalınlığında bir ITZ ve 2.5 iletkenlik oranını bünyesinde bir ITZ belirlenmiştir. Agrega hacimi % 60'ın üzerine çıktığında, hem elektriksel ölçüm, hem de modelleme tarafından, ara yüz bölgesinde bir yolun var olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, çimento matrisli yapılarda elektriksel iletkenlik, basınç dayanımı ve agrega oranı arasında ilişki elde edilmiştir (Princigallo *et al.* 2003).

Bir diğer çalışmada, şantiye ortamındaki betonun öz direncini belirlemek için kullanılan yöntemleri, donatı korozyonundan korunmasıyla ilgili çeşitli amaçlar belirlenmiştir. Betonun elektriksel öz direnci, donatının paslanması iki işlemle ilgili olabilir: başlama, yayılma. Klorüre maruz kalan yapının öz direnci, erken korozyon hasarı riskini belirtir; çünkü düşük bir öz direnç, hızlı klorür penetrasyonu ve yüksek korozyon hızıyla ilgilidir. Beton yüzeyinin öz direnci, beton yüzeyine elektrotlar yerleştirilerek ve bir gerilim uygulayarak hesaplanabileceği belirlenmiştir (Polder 2001).

Bazı çalışmalar klor iyonlarının nemli betonun elektriksel öz direncini azaltacağını iddia etmiştir (Polder 1995). Betonun gözenek çözeltisinin yüksek alkaliliğini, yüksek elektrik öz direncini ve toplu taşıma için bir engel olarak rol alan yapının kendisini içeren birçok özel kriterleri bulunmaktadır. Bu kriterler, elektriksel özelliklerini ve beton içindeki iyon transferini ve akım geçişini etkilemektedir (Whittington *et al.* 1981).

Yapılan araştırmalar sıcaklığın artması ile puzolonik reaksiyon hızlandırılabilineceği, Portland çimentosuna belirli oranlarda YFC konulması ile özellikle deniz suyuna maruz kalan yapılarda YFC'nin artması ile beton içerisine klor iyonlarının geçişini zorlaştırmaktadır. Ayrıca; YFC kullanımının bir diğer faydası da hidrasyonun ilk zamanlarında termal kırılmayı düşürdüğü düşünülmektedir (Yio *et al.* 2014).

Yim *et al.* (2014) çimento pastası ve çimento esaslı harçların priz sona erme süresine kadar elektriksel iletkenlik özelliği gösterdiğini, priz sona erme süresi sonrasında ise elektriksel direncin en yüksek değerlere ulaştığını, hidrasyon ile priz süresi arasında ilişki olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Hongyan vd. (2014) Relatif elektriksel iletkenlik ile kalsiyum-silika-hidrat (C-S-H) jelleri arasındaki ilişkiyi yaklaşık olarak belirleyen bir denklem elde etmişlerdir. Hidrasyon tamamen gerçekleştiğinde C-S-H jellerinin reaktif elektriksel iletkenlik değerleri yaklaşık olarak 0.00775 olduğunu tahmin etmişlerdir.

Betonda akım, gözenekli sıvıda çözülmüş iyonlar tarafından taşınır. Hem daha fazla gözenekli su hem de daha fazla ve geniş gözenekler (yüksek s/b oranı) daha düşük bir öz dirence sebep olur. Sürekli bir nem içeriği için, direnç daha düşük bir s/b tarafından artırılır (Polder 2001). Elektrik ölçme yöntemleri, suyla birleştirilmiş çimento bazlı malzeme sistemlerinde mikro yapısal değişikliği saptamak için kullanılmıştır. Fakat geleneksel elektrik ölçümünde belirlenen sonuçlar, elektrokimyasal tepkiler, rötre aralığından oluşan elektrotlar ve taze çimento arasındaki temastan kaynaklanan problemlerden dolayı sorunlu olduğu düşünülmektedir (McCarter *et al.* 2003).

### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Tüm malzeme özellikleri laboratuvar ortamında yapılan deneylerle belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan Portland çimentosu, agrega ve suyun özellikleri aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

##### 3.1.1 Deneylerde Kullanılan Agregalar

Betonda hızlandırılmış kür yapabilmek amacıyla ince ve iri agrega kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kırma kumun beton üretiminde kullanılması uygundur (TS 706 2003). Kullanılan kumun incelik modülü 3,21 olarak hesaplanmıştır. Deneylerde en büyük agrega boyutu 11.2 mm olarak belirlenmiştir. Agreganın su emme kapasitesi ve özgül ağırlığı TS EN 1097-6' ya göre bulunmuş olup, ince ve iri agreganın kuru yüzey doygun özgül ağırlıkları sırasıyla 2.67 ve 2.70 gr/cm<sup>3</sup>'dür. İnce ve iri agreganın su emme kapasiteleri % 1.15 ve 0.62'dir. Deneylerde 0-4 mm ince agrega ve 4-11.2 mm iri agrega kullanılmıştır. Karışımda kullanılan karışık agreganın eleklerden geçen yüzde değerleri Çizelge 3.1'de sunulmuştur. Agrega granülometrisi standarda uygundur (TS 706 EN 12620 2003).

Çizelge 3.1 Agreganın elekten geçen yüzde değerleri.

Elek Açıklığı (mm)	0.25-8 (mm) Elekten Geçen	Elek Açıklığı (mm)	4-11.2 (mm) Elekten Geçen	Elek Açıklığı (mm)	11.2-22.4 (mm) Elekten Geçen
16	100	22.4	100	22.4	100
8	100	16	100	16	100
4	97	11.2	98	11.2	98
1	39	4	11	4	8
0.250	27	2	3	2	1
0.005	15	0.063	2	0.063	1

Kullanılan agreganın fiziksel özellikleri Çizelge 3.2' de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.2** Deneylerde kullanılan agregaya ait fiziksel özellikler.

<b>Fiziksel Özellik</b>	<b>İnce Agrega Değeri</b>	<b>İri Agreg Değeri</b>
$\gamma_{\text{kuru, (gr/cm}^3\text{)}}$	2,30	2,55
$\gamma_{\text{dky, (gr/cm}^3\text{)}}$	2,67	2,70
$\gamma_{\text{görünen, (gr/cm}^3\text{)}}$	2,65	2,60
Su Emme, (%)	1,17	0,62

### 3.1.2 Çimento

Deneylerde çimento olarak Afyon Çimento Sanayi Fabrikasının üretimi olan standartlara uygun CEM I 42.5 R Portland çimentosu ve CEM I 52.5 R Portland beyaz çimentosu kullanılmıştır (TS EN 197-1, 2012). Kullanılan CEM I 42,5 R ve CEM I 52,5 R Portland çimentolarına ait kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4’ de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.3** Kullanılan Portland çimentolarının kimyasal analizi.

<b>Kimyasal Analiz</b>	<b>CEM I 42.5(%)</b>	<b>CEM I 52.5(%)</b>
SiO <sub>2</sub>	20,62	11,78
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,65	9,97
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,05	7,25
CaO	62,08	56,18
MgO	2,55	4,02
Na <sub>2</sub> O	0,34	0,27
K <sub>2</sub> O	1,06	1,02
SO <sub>3</sub>	2,57	2,60
Kızdırma Kaybı	1,55	1,57

**Çizelge 3.4** Kullanılan Portland çimentolarının fiziksel özellikleri.

<b>Çimento Tipi</b>	<b>Özgül Ağırlık</b>	<b>İncelik (cm<sup>2</sup>/g)</b>
Özgül Ağırlık CEM I 42.5	3.11	3054
Özgül Ağırlık CEM I 52.5	3.00	4050

### 3.1.3 Kimyasal Katkı

Kimyasal katkı olarak Polisan fabrikasında üretilmiş hiperakışkanlaştırıcı katkı malzemesi kullanılmıştır. Taze betonkarda işlenebilirliği sağlamak amacıyla TS EN 934-2 + A1'ye uygun yüksek performanslı hiperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Kullanılan hiperakışkanlaştırıcı tipi sentetik-dispersiyon sıvı olup yoğunluğu 1.023 kg/dm<sup>3</sup>'tür. Deneyleerde kullanılan kimyasal katkının özellikleri Çizelge 3.5' deki gibidir.

**Çizelge 3.5** Polisan marka hiper akışkanlaştırıcının teknik özellikleri.

<b>Malzemenin Yapısı</b>	<b>Polikarboksilik Eter Esaslı</b>
Renk	Koyu Kahverengi
Yoğunluk	1,021- 1,061 kg/litre
Klor İçeriği % (EN480-10)	< 0,10
Alkali İçeriği % (EN 480-12)	< 3

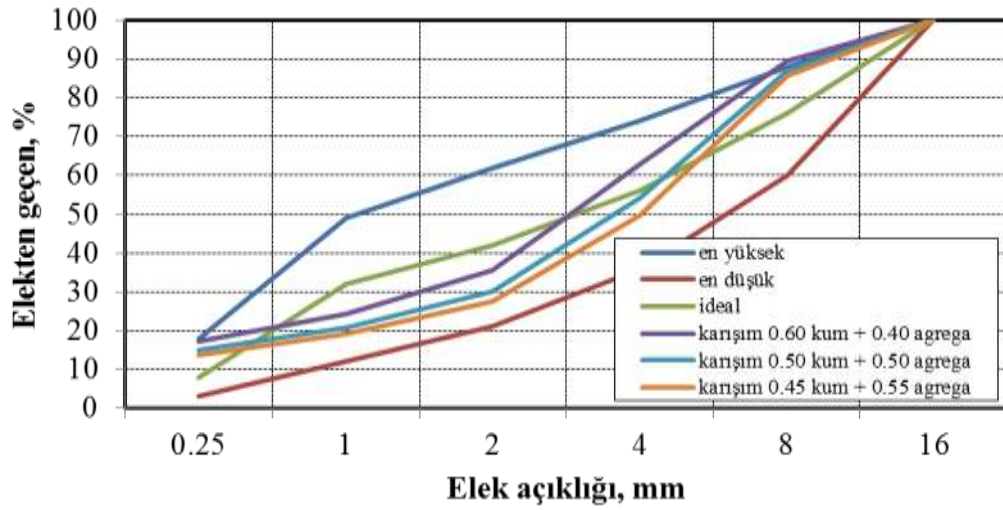
### 3.1.4 Deneyleerde Kullanılan Karışım Suyu

Beton karışım ve bakım suyunun kalitesi ile ilgili özel bir Türk Standardı yoktur. Deneyleerde içilebilir çeşme suyu kullanılmıştır.

## 3.2 Yöntem

### 3.2.1 Farklı Dozajlı Beton Üretimi

Beton üretimi, 250, 300, 350 ve 400 dozajlı ve sabit su/çimento oranında (0.65) tasarlanmış olup, kapasitesi yaklaşık 250 lt olan beton mikseri ile gerçekleştirilerek 10 x 10 x 35 cm boyutlarındaki plastik prizma kalıplar vasıtasıyla numuneler üretilmiştir. Birim hacimdeki bileşen miktarları Çizelge 3.6' de verilmiştir. Karışım hesapları agreganın doygun yüzey kuru ağırlıkları belirlenerek hazırlanmıştır. Kumun ve agreganın özgül ağırlıkları sırasıyla 2,67 ve 2,70 olarak ölçülmüştür. Kırma kum (0-4mm) ve agrega (4-11,2 mm) yarı yarıya karıştırılarak standartlara uygun ideale en yakın karışım elde edilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Agrega elek analizi için karışım oranının belirlenmesi.

Çizelge 3.6 Birim hacimdeki beton bileşenleri.

S/ç	Çimento, (kg)	Su, (lt)	Kırma Kum (0-4mm), (kg)	Agrega (4-11.2mm), (kg)	Hiper Akış, (lt)	B.H.A (t/m <sup>3</sup> )
0.45	300	135	955	968	-	2,35
0.55	300	165	915	928	-	2,38
0.65	300	195	875	887	-	2,25
0.65	250	162	969	989	-	2,38
0.65	350	227	841	858	-	2,29
0.55	300	165	904	922	15	2,30
0.55	300	165	904	921	30	2,30
0.55	300	165	904	921	45	2,30
0.65	400	260	777	792	-	2,44
0.50	300	150	935	948	-	2,33
0.60	300	180	895	908	-	2,28
0.70	300	210	855	867	-	2,23

Bu araştırmada, öncelikle plastik geçirimsiz deney kalıplara ihtiyaç duyulmuştur. Bunun için 10 x 10 x 35 cm boyutunda plastik kalıplar yaptırılmıştır.

### 3.3 Deney Numunelerinin Kalıplara Yerleştirilmesi ıkartılması ve Kr Havuzuna Konulması

Numunelerin kalıplardan daha kolay çıkartılabilmesi amacıyla kalıplar yağlanmıştır (Resim 3.1). Hazırlanan karışımlar kalıplara yerleştirilmiştir (Resim 3.2). Kalıplara yerleştirilen numunelere 45 saniye süreyle vibrasyon uygulanmıştır. Numuneler prizini aldıktan sonra, ortalama 24 saat sonunda betonlar, kalıplardan çıkartılmıştır. Kalıplardan çıkartılan betonlar basıncı dayanımı ve diğer deneylerin yapılabilmesi amacıyla beton testeresi yardımıyla 4' e bölünerek 10 x 10 x 10 cm' lik küp numuneler elde edilmiştir (Resim 3.3). Parçalanan numuneler kr havuzuna atılmıştır.



**Resim 3.1** Kalıpların yağlanması.





**Resim 3.2** Betonların kalıplara yerleştirilmesi.



**Resim 3.3** Beton numunelerinin testereyle kesilmesi.

### **3.4 Çimento Pastasında Sıcaklık ile Priz Süresi Arasındaki İlişki**

Priz süresi ile sıcaklık arasında ilişki kurabilmek amacıyla s/ç oranı 0.40 olan (400 gram su, 1000 gr çimento) 2 adet çimento pastası hazırlanmıştır. Bir tanesine hiçbir işlem yapmadan her 10 dakikada bir sıcaklık ölçümü yapabilmek amacıyla çimento hamurunun tam ortasına sıcaklık ölçer saplanmıştır (Resim 3.4). Bir diğeri otomatik vicat aletine bağlanmış ve her 6.6 dakikada bir iğnenin saplanma miktarı ölçülerek priz

süresi belirlenmiştir (Resim 3.5).



**Resim 3.4** Çimento pastasında sıcaklık ölçümü.



**Resim 3.5** Çimento pastasında priz süresi ölçümü.

### **3.5 Beton Üzerinde Yapılan Deneyler**

Beton üretimi 10cm x 10cm x 35cm boyutlarında üretilmiş olup sırasıyla 0, 40, 60, 80 ve 100 V AC gerilim uygulanarak aynı anda sıcaklık ölçümü yapılarak priz süresi karşılaştırması yapılmıştır. 250, 300, 350 ve 400 dozajlı betonlar üretilerek dozajın ve gerilim şiddetinin priz süresine etkisi incelenmiştir. S/ç oranının priz süresine etkisini

incelemek amacıyla 300 dozajlı, s/ç oranları sırasıyla 0.45, 0.55, 0.65 ve 0.70 oranlarına sahip betonlar üretilmiştir. Beton karışım içerisinde % 0, % 0.5, % 1 ve % 1.5 oranlarında hiperakışkanlaştırıcı konularak çeşitli karşılaştırmalar yapılmıştır. Sabit dozajlı, sabit s/ç oranına sahip ve sabit gerilim şiddeti altında betonlara farklı frekansta (50 Hz, 100 Hz, 250 Hz ve 500 Hz) AC gerilim uygulanarak frekansın priz süresine etkisi incelenmiştir. Betonlara 1 günlük ve 28 günlük basınç dayanımı uygulanmıştır. Tüm serilerde betonların boşluk oranları belirlenmiştir. Betonlara ultrases deneyleri yapılmıştır. Bazı serilerde mikro inceleme yapılarak betonlardaki boşluklar incelenmiştir. Tezde yapılan deneyler ve standartları Çizelge 3.7’ de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.7** Tez kapsamında yapılan deneyler ve ilgili standartları.

	<b>Deneyle</b>	<b>İlgili Standart</b>
Taze Beton	Gerilim Uygulanması	ASTM C 1202
	B.H.A	TS EN 12350-6
	Basınç Deneyi	TS EN 196-1
Sertleşmiş Beton	Ultrases Deneyi	TS EN 13791 (2010)
	Boşluk Oranı	TS EN 12390-7
	Yarma Deneyi	TS EN 12390-6 (2010)
	Aşınma Deneyi	TS EN 2824 - 1338

### 3.6 Taze Betonlarda Yapılan Deneyler

#### 3.6.1 Betonlara Elektriksel Kür Uygulanması

Hazırlanan betonlar 10 x 10 x 35 cm ve 15 x 15 x 60 cm boyutlarındaki kalıplara yerleştirildikten hemen sonra farklı gerilim şiddeti uygulayabilen AC güç kaynağı yardımıyla gerilim uygulanmıştır. Beton üzerine gerilim uygulayabilmek amacıyla kalıpların uç kısımlarına temas edecek şekilde bakır levhalar yerleştirilmiştir. AC güç kaynağının pozitif kutbu bu levhalardan bir tanesine, negatif kutbu da diğer bakır levhaya bağlanarak AC güç kaynağı 24 saat süresince çalıştırılmıştır. Hazırlanan deney düzeneği Resim 3.6’ da gösterilmiştir.



**Resim 3.6** Betonlara AC gerilim uygulanması.

### **3.6. 2 Betonlarda Uygulanan Gerilim Şiddetinin Priz Süresine Etkisi**

Betonlarda 40, 60, 80 ve 100 V AC gerilim karışım gerçekleştikten hemen sonara uygulanmış olup, beton iç sıcaklık değerlerini ölçmek için betonlar içine K tipi sıcaklık ölçer saplanmıştır. Veri kaydedici vasıtasıyla her 10 dakikada bir betonların iç sıcaklıkları kaydedilmiştir. Şahit ve gerilim uygulanan betonlarda maksimum iç sıcaklığa ulaştığı dakikaya kadar geçen süreler tespit edilerek, numunelerin priz bitiş süreleri belirlenmiştir.

### **3.6. 3 Dozajın Priz Süresine Etkisi**

Gerilim uygulanan ve gerilim uygulanmayan betonlarda dozajın priz süresi üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla 250, 300, 350 ve 400 dozajlı betonlar üretilmiştir. AC güç kaynağı vasıtasıyla farklı dozajlı numuneler üzerine sırasıyla 0, 40, 60, 80 ve 100 V gerilim uygulanmıştır. Hidratasyon başlangıcından itibaren tüm serilerde beton iç sıcaklık değerleri belirlenmiştir. Betonların en yüksek iç sıcaklığa ulaştığı zamana kadar geçen süreler karşılaştırılarak dozajın priz süresi üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

### **3.6.4 Betonlarda Hiperakışkanlaştırıcı Oranının Priz Süresine Etkisi**

Betonlarda hiperakışkanlaştırıcı oranının priz süresine etkisini araştırmak amacıyla 10 x 10 x 35 cm boyutundaki sabit dozajlı (300 dozaj) betonlara sırası ile % 0, % 0.5, % 1 ve

% 1.5 hiperakışkanlaştırıcı konulmuş; sabit frekansta (50 Hz) ve sabit gerilim şiddetinde (80 V) gerilim 1 gün süresince uygulanmıştır. Gerilim uygulanan ve gerilim uygulanmayan numunelerde sıcaklık ölçümü yapılmak suretiyle en yüksek iç sıcaklığa kadar geçen süreleri karşılaştırılarak hiperakışkanlaştırıcı oranının priz süresine etkisi belirlenmiştir.

### **3.6.5 Betonlarda Frekans Şiddetinin Priz Süresine Etkisi**

Betonlarda frekansın priz süresine etkisini araştırmak amacıyla 10 x 10 x 35 cm boyutundaki sabit dozajlı (300 dozaj) betonlara sırası ile 50, 100, 250 ve 500 Hz frekanslarda; sabit gerilim şiddetinde (80 V) gerilim 1 gün süresince uygulanmıştır. Gerilim uygulanan ve gerilim uygulanmayan numunelerde sıcaklık ölçümü yapılmak suretiyle en yüksek iç sıcaklığa kadar geçen süreleri karşılaştırılarak frekansın priz süresine etkisi belirlenmiştir.

### **3.6.6 Betonlarda Olgunluk Faktörü**

Olgunluk kavramı temel olarak betonun dayanım kazanmasında rol oynayan sıcaklık zaman ilişkisinin belirlenmesi ile ölçülen bir yöntemdir. Bu yöntem imalat aşamasında yerine yerleştirilmiş betonun gelecekteki dayanımı hakkında bilgi edinmemizde yardımcı olur. Betonun sertleşme durumunu belirleyen bir faktör olarak olgunluk derecesi, beton dayanımının tahmininde hasarsız bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Topçu ve Karakurt 2002).

Olgunluk yöntemi betonda çimentonun hidratasyonu için gerekli olan nem koşullarının sağlandığı kür ortamında ölçülen sıcaklık değerleriyle belirlenmektedir. Yeni dökülen beton, ısı açığa çıkaran (ekzotermik) kimyasal reaksiyonlar sonucunda dayanım kazanmaktadır. Olgunluk yöntemi, dayanım gelişiminde sıcaklık-zaman etkilerini kullanan bir yöntemdir. Olgunluk yöntemini kullanabilmek için yapıda kullanılacak betonun dayanım-olgunluk ilişkisi belirlenmelidir. Yerine dökülen betonun sıcaklık geçmişi sürekli gözlemlenerek olgunluk hesaplanabilir. Yerinde olgunluk ve dayanım-olgunluk ilişkilerini bilmekle yapıda dayanım tahmin edilebilmektedir. Aynı beton numuneleri farklı iyileştirici koşullara maruz bırakılırsa, beton ve numunelerin termik

geçmişi için dayanım-olgunluk ilişkileriyle dayanım tahminleri yapılabilmektedir. Beton dayanımının hesaplanması ile kalıp alma süresi hakkında doğru bilgiler elde edilebilmektedir. Yapıdaki beton dayanımı gerçeğe en yakın şekilde alınacak karot numuneleri sayesinde belirlenebilir. Ancak erken yaşa sahip betondan karot numunesi almak çok zordur. Bu nedenle kalıp sökme süresini belirlemek amacıyla çeşitli hasarsız yöntemler kullanılarak betonun dayanımı hakkında fikir edinilebilir (Topçu, 2002 a ve b). Tezde olgunluk – dayanım ilişkisini belirlemek için aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır.

$$M = \sum_0^t (T - T_o) \Delta t \quad (3.1)$$

Bu formülde; M olgunluk indeksi, (°C-saat ya da °C-gün), T Dt zaman aralığındaki ortalama beton sıcaklığı (°C), 0 T başlangıç sıcaklığı (-10°C olarak alınır), t geçen zaman (gün yada saat), ve Dt zaman aralığı (gün yada saat) olarak tanımlanmıştır (Saul, 1951).

### 3.6.7 Betonlarda Hidratasyon Süresince Çekilen Akım Hesabı ve Maliyet Hesabı

Betona uygulanan gerilim şiddetine göre maliyet analizi yapmak amacıyla 300 dozajlı s/ç oranları 0.65 olan 10 x 10 x 35 cm boyutundaki betonlara sabit frekans şiddeti altında (50 Hz) sırasıyla 40, 60, 80 ve 100 V AC gerilim uygulanmıştır. Gerilim uygulanan numunelerde 1 gün süresince her 10 dakikada bir sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Tübitak projesi kapsamında akım kaydedici temin edilmiş olup; gerilim uygulanan betonların üzerinden geçen akımlar her 10 dakikada bir kaydedilmiştir. Sıcaklığın maksimum olduğu dakikaya kadarki harcanan enerji aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$W = VxIxT \quad (3.2)$$

Burada W: harcanan elektrik enerjisini (Joule), V: uygulanan gerilim şiddetini (Volt), I: numune üzerinden geçen akım şiddetini (Amper), T: zamanı (Saniye) ifade etmektedir.

### 3.7 Sertleşmiş Betonlarda Yapılan Deneyler

#### 3.7.1 Betonlarda 1, 28 ve 180. Günlerdeki Basınç Dayanımı

Gerilim uygulanan ve gerilim uygulanmayan betonlara TS EN 197-1 standartlarına göre 200 ton kapasiteli Baz makine markalı pres ile basınç testleri yapılmıştır. Gerilim uygulanan 1 günlük numuneler elektrik akımı verildikten 1 gün sonra test edilmiştir. Gerilim uygulanan 28 günlük ve 180 günlük numuneler 1 gün elektrik akımı uygulandıktan sonra 27 gün TS standartlarına uygun kür edilmiş, test gününe kadar oda koşullarında bekletilmiştir. Basınç deneyleri 10 x 10 x 10 cm' lik küp numuneler üzerinde yapılmış olup, deneyde elde edilen kırılma yükü numunenin yüzey alanına bölünerek MPa cinsinden basınç deneyleri elde edilmiştir.

#### 3.7.2 Porozite ve Su Emme Oranlarının Belirlenmesi

Porozite ve su emme oranları gerilim uygulanan ve gerilim uygulanmayan tüm serilerde hesaplanmıştır. Bunun için 28 günlük numuneler kür havuzundan çıkartılarak sudaki ağırlığı ölçülmüş, daha sonra numuneler kuru bezle silinerek tartılmıştır (Resim 3.7, Resim 3.8). Sonra numuneler 110 °C'de etüvde 1 gün süreyle kurutulmuştur (Resim 3.9). Daha sonra etüvden çıkartılan numuneler soğuması için yaklaşık 120 dakika süreyle oda sıcaklığında bekletilmiştir. Kurutulan numuneler tartılarak değerleri kaydedilmiştir. Her numune için ayrı ayrı bu işlemler uygulanmıştır.



**Resim 3.7** Numunelerin sudaki ağırlıklarının ölçülmesi.



**Resim 3.8** Numunelerin doygun yüzey kuru ağırlıklarının tartılması.



**Resim 3.9** Numunelerin etüve konulması.

Deneyle her seri için 3' er adet 10cm x 10 cm x 10 cm' lik numunelerde yapılmış olup, bulunan değerlerin ortalaması alınarak değerlendirme yapılmıştır. Numunelerin porozitesi ve su emme (%)'si değerleri aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır.

$$Porozite = \left( \frac{W_2 - W_0}{W_2 - W_1} \right) \times 100 \quad (3.3)$$

$$Su\ Emme\ (\%) = \left( \frac{W_2 - W_0}{W_0} \right) \times 100 \quad (3.4)$$



Burada;

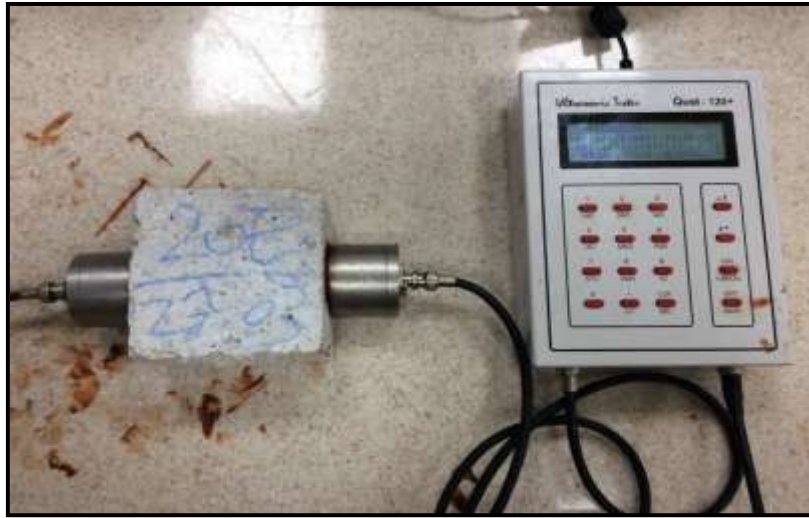
$W_2$ = Doygun havadaki ağırlık (g)

$W_1$ = Su içindeki ağırlık (g)

$W_0$ = Etüv kurusu ağırlığıdır (g).

### 3.7.3 Ultrases Deneyleri

Tüm betonlarda betonların boşluk oranları hakkında yorum yapabilmek amacıyla ultrases deneyleri yapılmıştır. Numunelerinin düzgün yüzeyleri belirlenmiştir. Sonra numunelerin karşılıklı gelecek yüzeylerine gres yağı sürülmüştür. Ultrases deney aleti kullanılarak ölçümler yapılmıştır (Resim 3.10). Her seri için 3' er adet deney yapılmış ve ortalaması alınarak aşağıdaki bağıntı yardımıyla ultrases geçişleri hesaplanmıştır.



**Resim 3.10** Betonda ultrases deneyleri yapılması.

Ultrasonik test cihazı ile beton içerisine gönderilen ultrasonik dalgaların betonun bir yüzeyinden diğer yüzeye geçme süresi ölçülüp, P- dalga hızı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$V_p = S / t \quad (3.5)$$

Burada;  $V_p$ : ses üstü dalga hızını (m/s),  $S$ : numunenin uzunluğunu (mm),  $t$ : ultrasonik dalganın bir yüzeyden diğerine ulaşana kadar geçen zamanı ( $\mu$ s) ifade etmektedir.

### **3.7.4 Aşınma Deneyi**

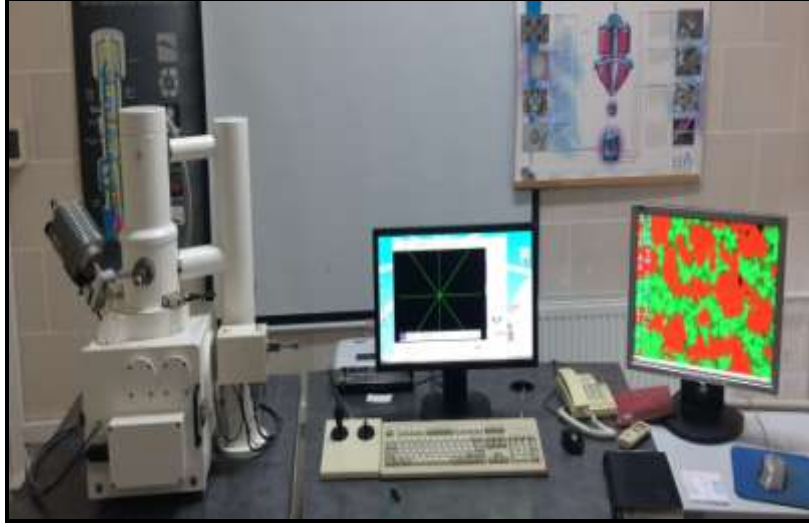
Dozajları 250, 300, 350 ve 400 olan betonlara aşınma deneyi yapılmıştır (TS 2824, EN 1338). Deney aletine yerleştirilen beton numunenin sürtünme yolu üzerine  $20 \pm 0,5$  gr aşındırıcı suni korund tozu serpilmiştir. Sistem çalıştırılmasından 22 devir sonra durmuştur. Beton numune düşey eksenini etrafında saat yönünde  $90^\circ$  çevrilmiş ve sürtünme yolu üzerindeki toz ve numune artıkları temizlenip tekrar yeni toz serpilmiştir. Çalışma kapsamındaki numunelere bu şekilde her bir numune için 16 kez 22 devir yapılmıştır. Beton numunelerinde 5 noktada 0,01 hassasiyette kumpas ile yükseklik ölçümleri alınmış ve ortalamaları değerlendirilmiştir.

### **3.7.5 Yarma Deneyi**

Dozajları 250, 300, 350 ve 400 olan betonlar üzerine sabit frekans şiddetinde (50 Hz) 40, 60, 80 ve 100 V AC gerilim uygulanan ve şahitleri üzerinde TS EN 12390-6 (2010) standardına göre yarma dayanımı deneyi yapılarak karşılaştırılmıştır. Yarma metodunda numune deney presinin üzerine numune eksenini presin alt tablasına paralel olacak şekilde yerleştirilmiştir. Numunenin yan yüzü alt ve üst kısımlarına 25mm eninde ve yaklaşık 3mm kalınlığında kontra plak aparatlar yerleştirilerek betonlara pres aleti yardımıyla basınç uygulanmıştır (uygulanan basınç çizgisel şekildedir). Bu işlem betonlar kırılıncaya kadar devam ettirilerek kırılma yükü olan (P) bulunmuştur.

### **3.7.6 Mikroyapı İncelemesi**

Betonların 1 günde ve 6 ayda hidrasyonlarındaki davranışlarını analiz etmek için 300 dozajlı s/ç oranları 0.65 olan betonlar üzerine 1 gün süreyle sırasıyla 0 V, 40 V, 60 V, 80 V ve 100 V gerilim uygulanmıştır. Aynı serilerden bir defa daha üretilerek hem 1 günde hem de 6 ay süre sonunda SEM analizi yapılarak karşılaştırmalar yapılmıştır (Resim 3.11).



**Resim 3.11** Betonlarda Mikro İnceleme.

Ayrıca 300 dozajlı s/ç oranları 0.65 olan sırasıyla 0, 40, 60, 80 ve 100 V gerilim uygulanmış 1 günlük betonlarda EDS analizi yapılmıştır.

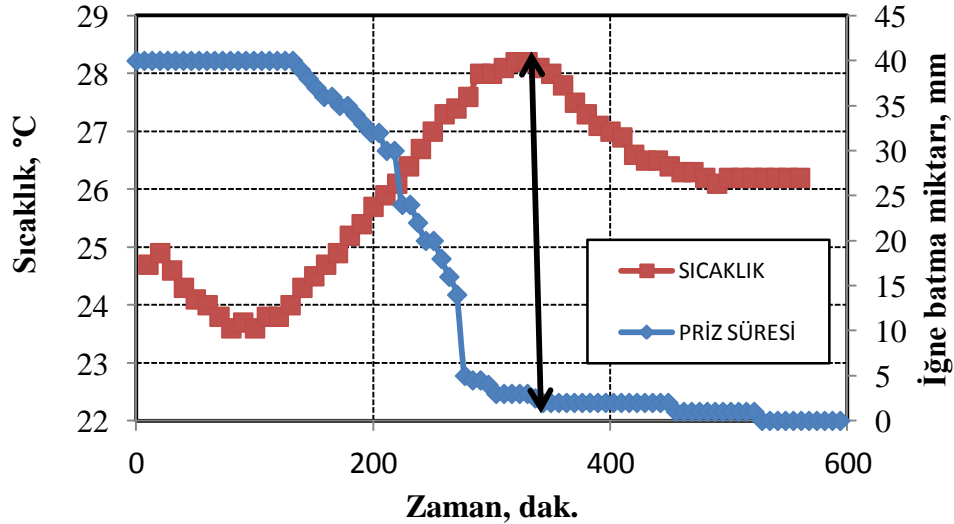
### **3.8 Hızlandırılmış Kürde Beton İç Sıcaklığı**

Betonun iç sıcaklığı yükseldikçe, hidrasyon hızında artış meydana gelmektedir. Beton sıcaklığının 100 °C' ye yükselineye kadar hidrasyon hızı artsa da, yapılan araştırmalar 45-50 °C üzerindeki beton iç sıcaklıklarında betonun dayanım kazanma hızının artmasında çok etkili olmadığı belirlenmiştir (Neville and Brooks 1987). ACI 116 R standartına göre betonun hidrasyon ısı 100 °F (38 °C) olduğunda priz sona erme süresi 100 dakika olarak belirlenmiştir.

## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1 Çimento Pastasında Sıcaklık Ölçümü ile Priz Süresinin Belirlenmesi

Araştırmada vicat aletiyle ölçülen priz sona erme süresi ile sıcaklık ölçümündeki sıcaklığın en yüksek değerler aldığı nokta hemen hemen aynı dakikalara karşılık geldiği görülmüştür. Bunu belirlemek için grafikler üst üste çakıştırılmıştır (Şekil 4.1). Vicat ölçümü sonucu priz başlama ve priz sona erme süreleri 160 ve 336 dakika ölçülmüştür. Çimento pastasında sıcaklık ölçümü ile priz sona erme süresi çimento pastası iç sıcaklığının en yüksek değere karşılık gelen zaman olan 340 dakika olarak belirlenmiştir.

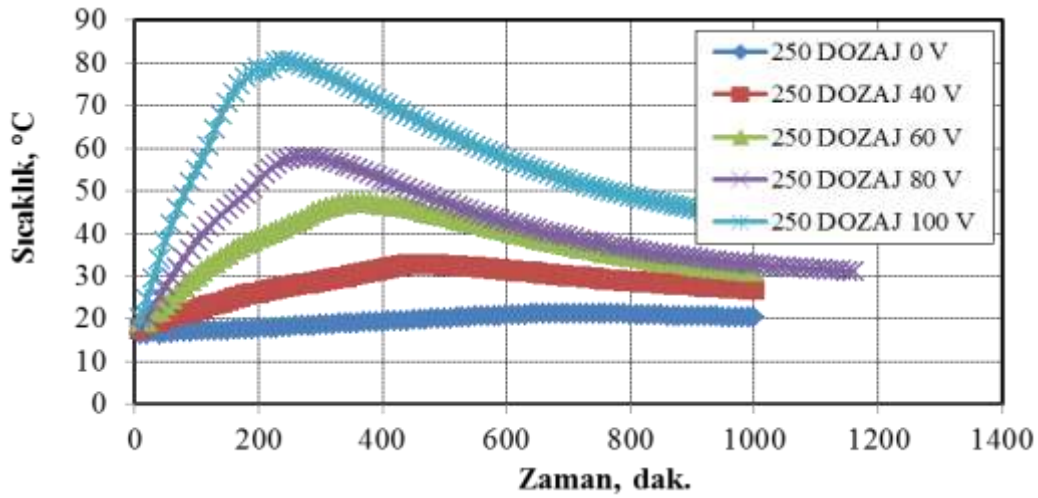


Şekil 4.1 Çimento pastalarında iç sıcaklıkla priz süresi belirlenmesi.

### 4.2 Gerilim Uygulanan Betonlarda Gerilim Şiddeti Priz Sona Erme Süresi Arasındaki İlişki

Daha önceki bölümlerde sıcaklığın en yüksek değeri aldığı noktaya karşılık gelen dakikanın priz sona erme süresi olduğu belirlenmişti. 10 x 10 x 35 cm boyutundaki 250 dozajlı 0 V, 40 V, 60 V, 80 V ve 100 V gerilim uygulanan betonun priz sona erme süreleri sırasıyla 730, 490, 380, 290 ve 240 dakika olarak belirlenmiştir (Şekil 4.2). 250 dozajlı betona 100 V AC gerilim uygulaması sonucu priz sona erme süresinin yaklaşık 490 dakika kısaltılabileceği görülmüştür. 250 dozajlı 10cm x 10cm x 35cm boyutlu 100

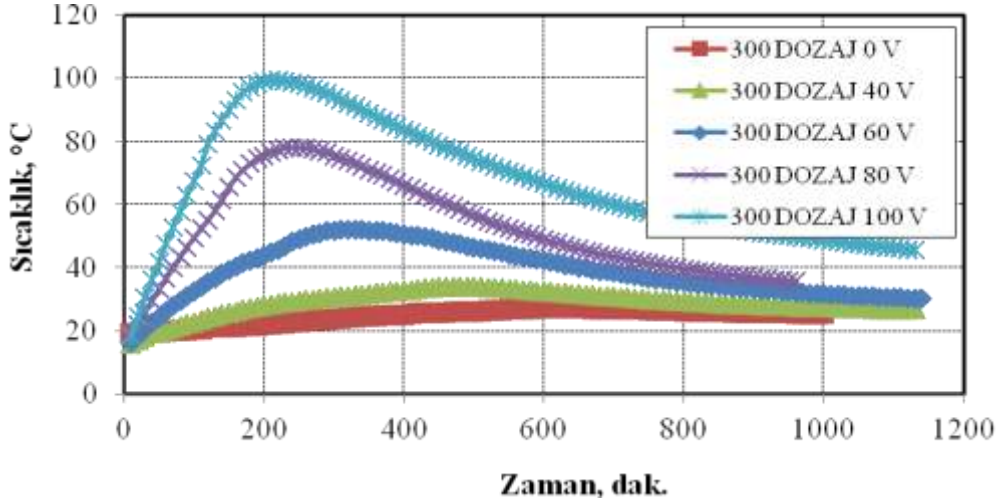
V gerilim uygulanan betonun 80 V gerilim uygulanan betona göre priz süresi yaklaşık 50 dakika daha kısa sürede gerçekleşmiştir. Ancak; 100 V gerilim uygulanan betonun iç sıcaklığı 80.6 °C dereceye kadar yükselmiştir. Bu sebeple 250 dozajlı 10cm x 10cm x 35cm boyutlu betonda priz süresini kısaltmak için 80 V gerilim uygulamasının uygun olacağı görülmüştür. 250, 300, 350 ve 400 dozajlı 10cm x 10cm x 35cm boyutundaki betonlara 0, 40, 60, 80 ve 100 V, 50 Hz frekansta AC gerilim uygulanması sonucu priz sona erme sürelerini karşılaştırmak amacıyla Şekil 4.6 çizilmiştir. Tüm dozajlar için 80 V gerilim uygulandığında priz süreleri hemen hemen aynı dakikalarda gerçekleşmiştir. 250, 300, 350 ve 400 dozajlı betonlara 80 V AC gerilim uygulandığında şahit numunelerine göre priz süreleri sırasıyla 440, 350, 530 ve 490 dakika kısalmıştır. Betonlarda karşılaştırmannın 80 V olarak seçilmesinin nedeni 80 V üzerindeki gerilim şiddetlerinde priz süresinde çok büyük etki göstermediği ve 80 V üzerindeki gerilim şiddetlerinin çok yüksek beton iç sıcaklıkları meydana gelmesidir.



Şekil 4.2 250 Dozajlı betonlarda gerilim şiddeti-sıcaklık ilişkisi.

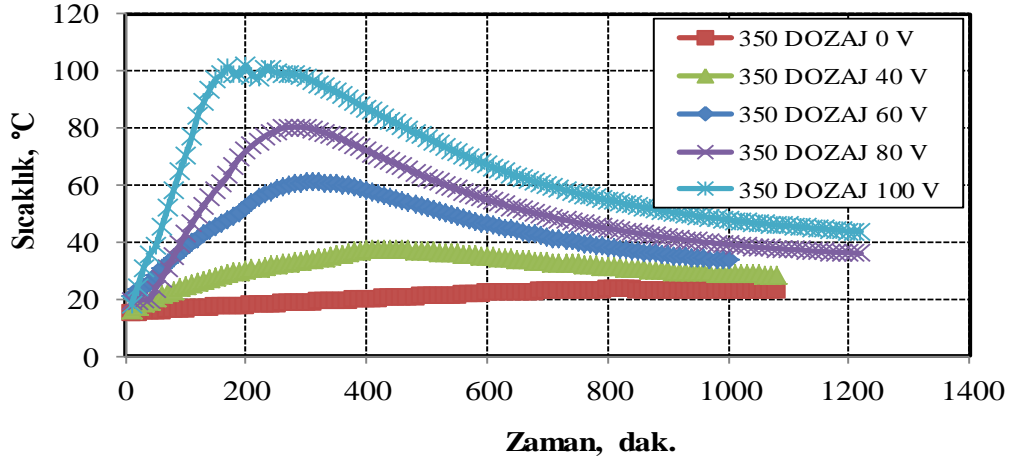
Boyutu 10 x 10 x 35 cm olan 300 dozajlı betona sırasıyla 0, 40, 60, 80 ve 100 V gerilim uygulandığında beton iç sıcaklığına göre priz sona erme süreleri 630, 510, 350, 280 ve 250 dakika olarak ölçülmüştür (Şekil 4.3). S/ç oranı 0.65 olan 300 dozajlı betonun prizi 630 dakikada sonlanırken s/ç oranı 0.40 olan çimento pastasının priz süresinin 340 dakikada sonlanması bileşen içindeki çimento miktarının artması ile açıklanabilir. Betonun m<sup>3</sup>'ünde 300 kg çimento varken; çimento pastasında 357 kg çimento

bulunmaktadır. 250 dozajlı betondaki gibi 300 dozajlı betonda da 100 V AC gerilim uygulandığında beton iç sıcaklığı çok yüksek değerler almıştır (99.4 °C). Priz süresi ise 80 V gerilim uygulanan betona göre yalnızca 30 dakika kısalmıştır. Bu sebeple 300 dozajlı 10cm x 10cm x 35cm boyutundaki betonda priz süresini kısaltma açısından uygulanması gereken gerilim şiddetinin 60 ve 80 V olması gerektiği belirlenmiştir. 40 V gerilim uygulandığında priz sona erme süresi ise yaklaşık 120 dakika kısalmıştır.



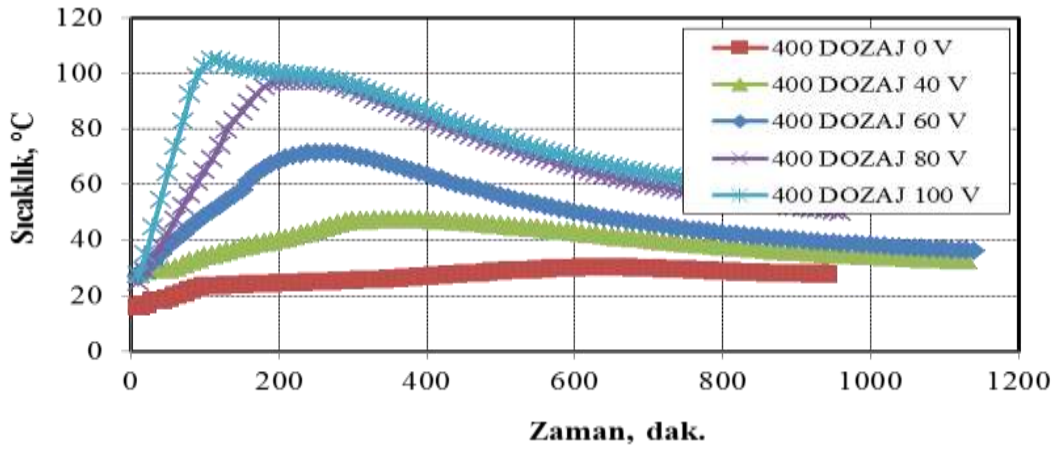
Şekil 4.3 300 Dozajlı betonlarda gerilim şiddeti-sıcaklık ilişkisi.

Boyutu 10 x 10 x 35 cm olan 350 dozajlı betona sırasıyla 0, 40, 60, 80 ve 100 V gerilim uygulandığında beton iç sıcaklığına göre priz sona erme süreleri 640, 450, 350, 320, 290 ve 230 dakika olarak ölçülmüştür (Şekil 4.4). 350 dozajlı betonda priz süresini kısaltmak için uygulanması gereken gerilim şiddetlerinin 40, 60 ve 80 V olacağı belirlenmiştir. 350 dozajlı betonda da 100 V AC gerilim uygulanması sonucu beton iç sıcaklığının çok yükselmesinden beton içerisindeki ve yüzeyindeki suyun buharlaşma ihtimalleri göz önüne alındığında 10 x 10 x 35 cm boyutundaki betonda 100 V gerilim uygulamasının uygun olmayacağı belirlenmiştir.

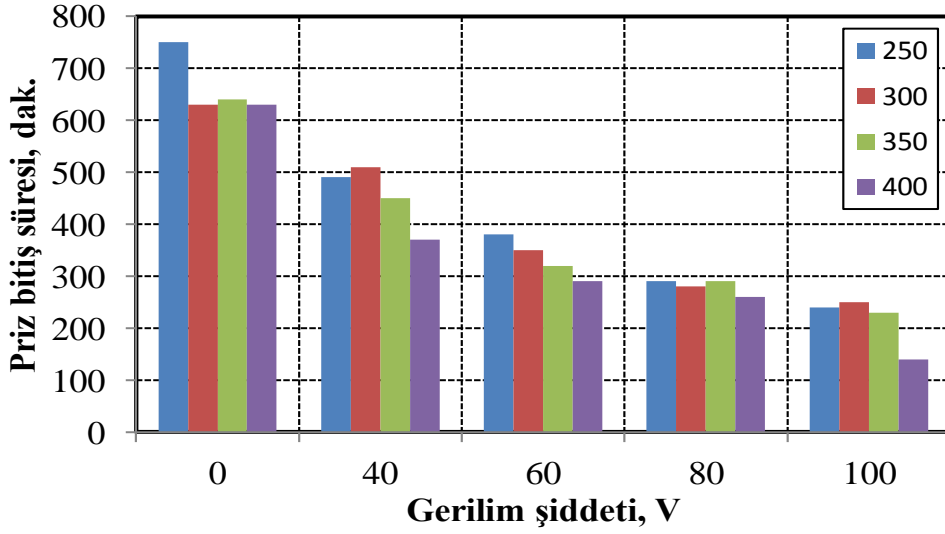


Şekil 4.4 350 Dozajlı betonlarda gerilim şiddeti-sıcaklık ilişkisi.

Boyutu 10 x 10 x 35 cm olan 400 dozajlı betona sırasıyla 0, 40, 60, 80 ve 100 V gerilim uygulandığında beton iç sıcaklığına göre priz sona erme süreleri 630, 370, 290, 260 ve 140 dakika olarak ölçülmüştür (Şekil 4.5). 400 dozajlı betonda priz süresini kısaltmak için uygulanması gereken gerilim şiddetlerinin 40 V ve 60 V olacağı belirlenmiştir. 400 dozajlı betonda da 100 V ve 80 V AC gerilim uygulanması sonucu beton iç sıcaklığının çok yükselmesinden beton içerisindeki ve yüzeyindeki suyun buharlaşmasından dolayı 10 x 10 x 35 cm boyutundaki betonda 80 ve 100 V gerilim uygulamasının uygun olmayacağı tespit edilmiştir. 250, 300, 350 ve 400 dozajlı betonların gerilim şiddetine göre priz süresi karşılaştırılması Şekil 4.6' da gösterilmiştir.



Şekil 4.5 400 Dozajlı betonlarda gerilim şiddeti-sıcaklık ilişkisi.

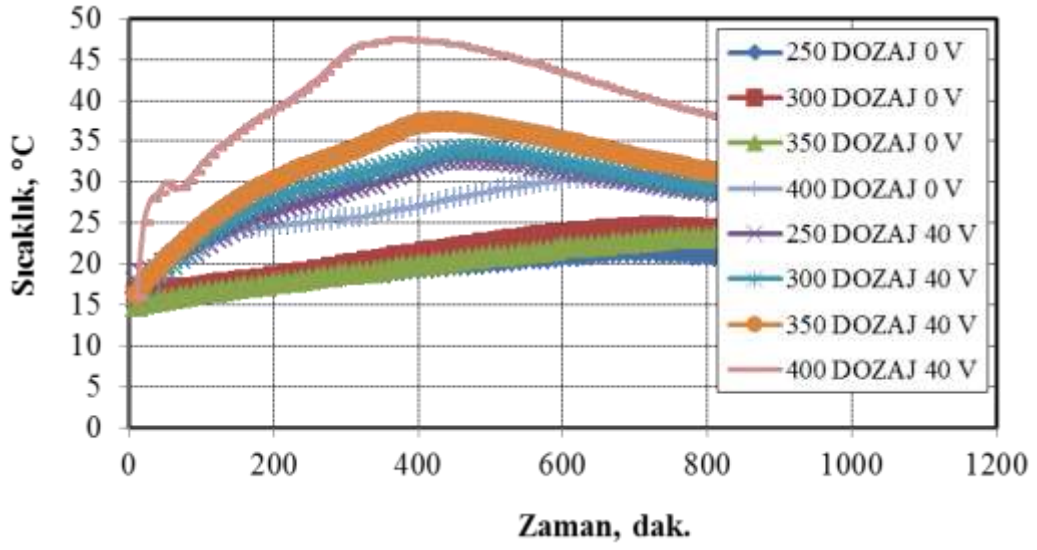


Şekil 4.6 Farklı dozajlı betonlarda gerilim şiddeti-priz sona erme süresi.

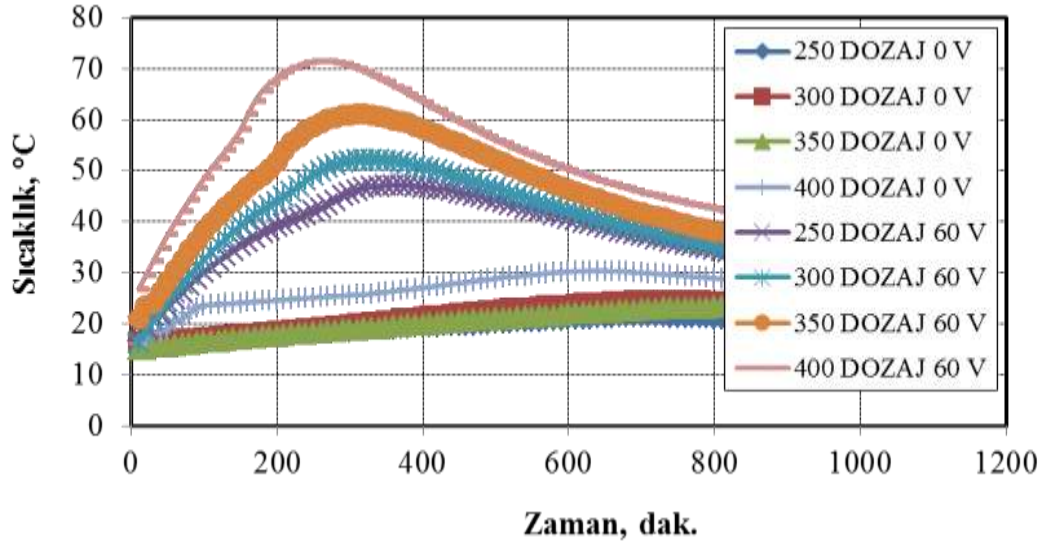
### 4.3 Dozajın ve Gerilim Şiddetinin Priz Süresine Etkisi

Gerilim uygulanmayan 250, 300, 350 ve 400 dozajlı betonda priz sona erme süreleri sırasıyla 730, 630, 640 ve 630 dakika olarak ölçülmüştür. 40 V AC gerilim uygulandığında 350 dozajlı betonun priz sona erme süresi 250 ve 300 dozajlı betonların priz sona erme süresinden daha kısa olduğu görülmüştür (Şekil 4.7). 60 V AC gerilim uygulanan betonların priz sona erme süresi karşılaştırıldığında 400 dozajlı beton 350 dozajlı betondan, 350 dozajlı beton 300 dozajlı betondan daha kısa sürede priz aldığı, 300 dozajlı beton ise 250 dozajlı betondan daha kısa sürede priz aldığı görülmüştür (Şekil 4.8). Farklı dozajlı betonlar üzerine 80 ve 100 V AC gerilim uygulandığında tüm dozajlar için priz sona erme süreleri hemen hemen aynı dakikada gerçekleşmiştir (Şekil 4.9 - Şekil 4.10). Buradan priz süresini kısaltmak için 10 x 10 x 35 cm boyutlarındaki betonlar için en verimli sonucun tüm dozajlar için uygulanması gereken AC gerilim şiddetinin 80 V olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

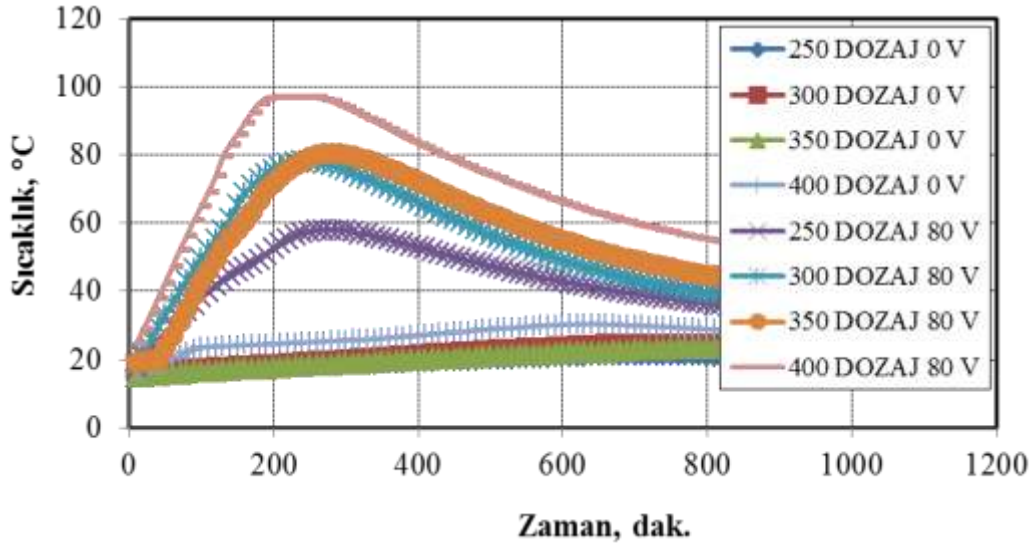




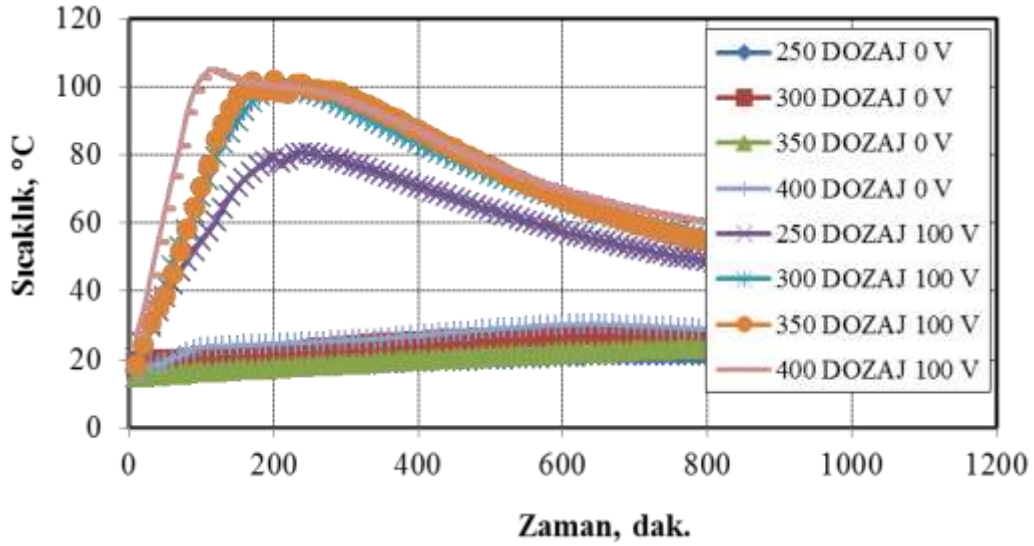
Şekil 4.7. 250-300-350 dozajlı betonlarda şahit ve 40 V gerilim uygulandığında sıcaklık-zaman ilişkisi.



Şekil 4.8 250-300-350-400 Dozajlı betonlarda şahit ve 60 V gerilim uygulandığında sıcaklık-zaman ilişkisi.



Şekil 4.9 250-300-350-400 Dozajlı betonlarda şahit ve 80 V gerilim uygulandığında sıcaklık-zaman ilişkisi.

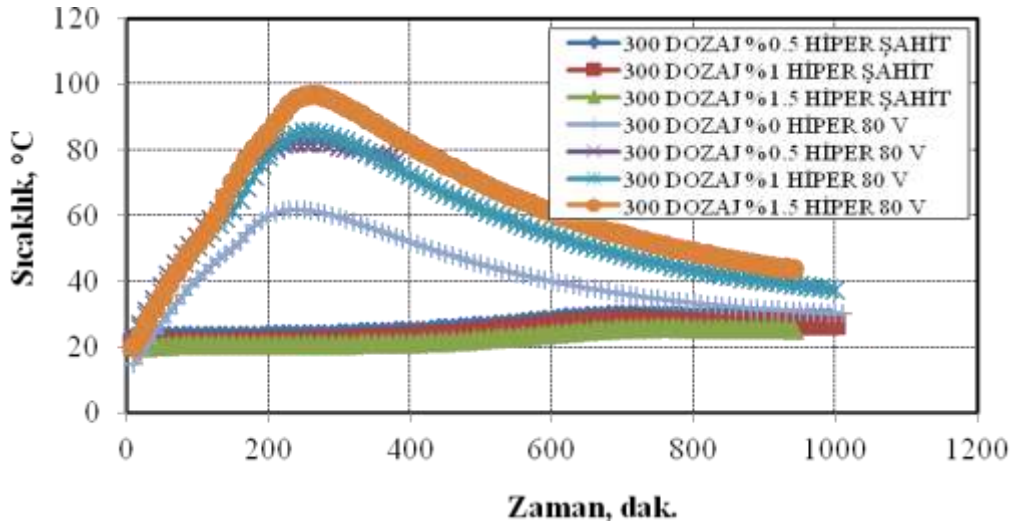


Şekil 4.10 250-300-350 Dozajlı betonlarda şahit ve 100 V gerilim uygulandığında sıcaklık-zaman ilişkisi.

#### 4.4 Hiperakışkanlaştırıcının Priz Süresine Etkisi

Gerilim uygulanmayan 300 dozajlı, % 0.5, % 1 ve % 1.5 oranlarında hiperakışkanlaştırıcı konulan betonların priz sona erme süreleri sırasıyla 630, 700, 740 ve 770 dakika olarak ölçülmüştür (Şekil 4.11). Beton içerisine % 0' dan % 1.5' e kadar hiperakışkanlaştırıcı konulması ile priz sona erme süresi 140 dakika daha sonra

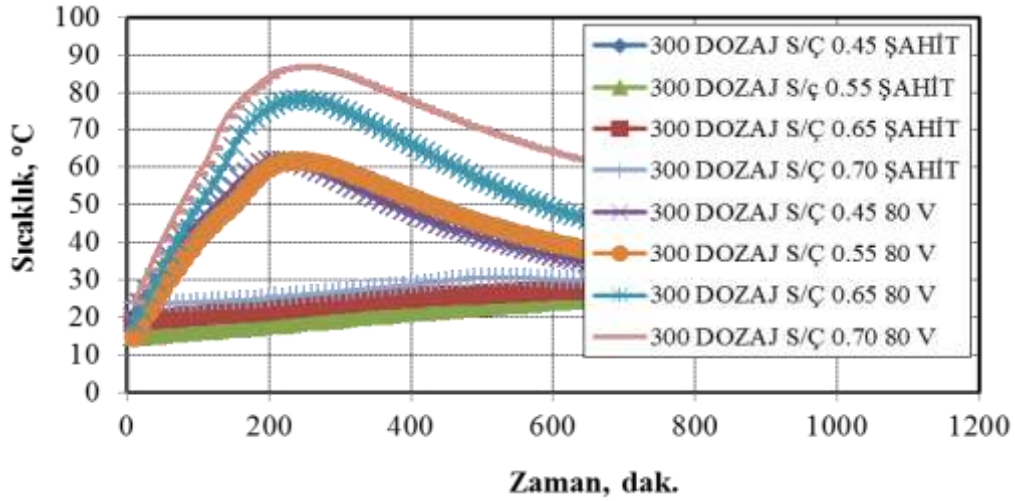
gerçekleşmiştir. 300 dozajlı s/ç oranı 0.55 olan; sırasıyla % 0, % 0.5, % 1 ve % 1.5 oranlarında hiperakışkanlaştırıcı konulan betonlara 80 V gerilim uygulandığında priz sona erme süreleri 260. dakikada gerçekleşmiştir. Gerilim uygulanan betonlarda beton içine konulan hiperakışkanlaştırıcı oranı arttıkça priz sona erme süreleri aynı sürede çıkmış olsa da şahit numunelerine göre daha kısa sürede priz sonlandığı görülmüştür. Buradan beton içine hem hiperakışkanlaştırıcı konulması hem de gerilim uygulaması ile kür süresinin kısaltılabileceği görülmüştür.



Şekil 4.11. 300 Dozajlı % 0, % 1, % 1.5 hiperakışkanlaştırıcı betonda sıcaklık-zaman ilişkisi.

#### 4.5 S/ç Oranının Priz Süresine Etkisi

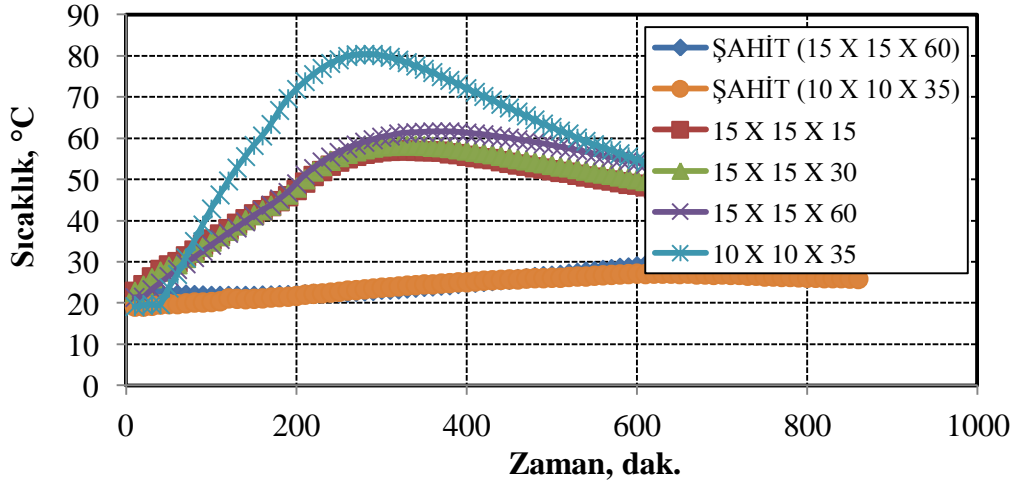
Su/bağlayıcının ve elektrik akımının priz süresine etkisini araştırmak amacıyla farklı s/ç oranlarına sahip betonların hidrasyon süresine göre beton iç sıcaklıkları ölçülmüştür. S/ç oranı sırasıyla 0.45, 0.55, 0.65 ve 0.70 oranlarına sahip betonların priz sona erme süreleri 630, 690, 660 ve 650 dakika olarak ölçülmüştür (Şekil 4.12). Yukarıda belirtilen aynı s/ç oranlarına sahip betonlara 80 V AC gerilim uygulandığında priz sona erme süreleri sırasıyla 210, 240, 240 ve 230 dakika olarak belirlenmiştir. S/ç oranları 0.45, 0.55, 0.65 ve 0.70 olan betonların priz süreleri şahitlerine göre sırasıyla 420, 450, 420 ve 420 dakika daha erken olmuştur.



Şekil 4.12 300 Dozajlı farklı S/ç içeriğine sahip betonda sıcaklık-zaman ilişkisi.

#### 4.6 Plakalar Arası Mesafenin Priz Süresine Etkisi

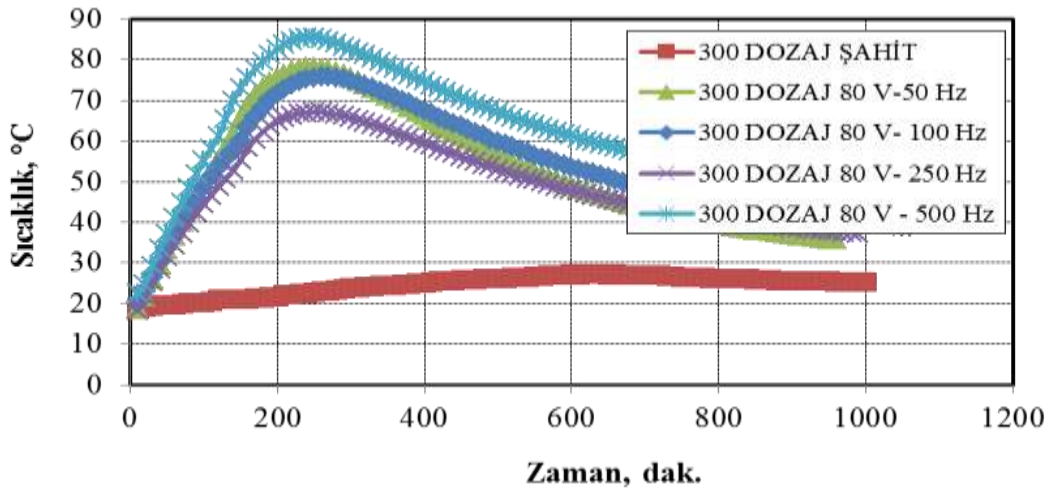
Plakalar arası mesafenin priz süresine etkisini araştırmak için 15 x 15 x 60 cm boyutlarında ve 10 x 10 x 35 cm boyutlarında beton dökümü yapılmıştır. 15 x 15 x 60 cm boyutunda üretilen betonların bir tanesinin uçlarına diğerinin ise hem uç kısımlarına hem de uç kısımlardan 15 cm uzaklıklarına bakır levhalar gömülmüştür. Böylelikle 10 x 10 x 35 cm, 15 x 15 x 15 cm, 15 x 15 x 30 cm ve 15 x 15 x 60 cm boyutlarındaki betonların priz sona erme süreleri incelenmiştir (Şekil 4.13). Gerilim uygulanmayan 10 x 10 x 35 cm ve 15 x 15 x 60 cm boyutlarındaki betonların priz sona erme süresi hemen hemen aynı çıkmıştır (630 dakika). 80 V AC gerilim uygulanan 15 x 15 x 15 cm, 15 x 15 x 30 cm ve 15 x 15 x 60 cm boyutlarındaki betonlarda da priz sona erme süreleri sırasıyla 330, 340 ve 380 dakika olarak belirlenmiştir. Priz sona erme dakikasındaki beton iç sıcaklıkları ise sırasıyla 53.5, 58.3 ve 61.6 °C olarak ölçülmüştür. Buradan plakalar arası mesafe azaldıkça betonların priz süresi kısaldığı ve beton iç sıcaklığının daha düşük değerler aldığı görülmüştür. En verimli sonuçlar plakaların 15 cm mesafede gömülmesi ile meydana gelmiştir. 10 x 10 x 35 cm boyutundaki betonun priz bitiş süresi ise 290 dakika olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.13 300 Dozajlı farklı boyutlu betonlarda sıcaklık-zaman ilişkisi.

#### 4.7 Frekansın Priz Süresi Üzerindeki Etkisi

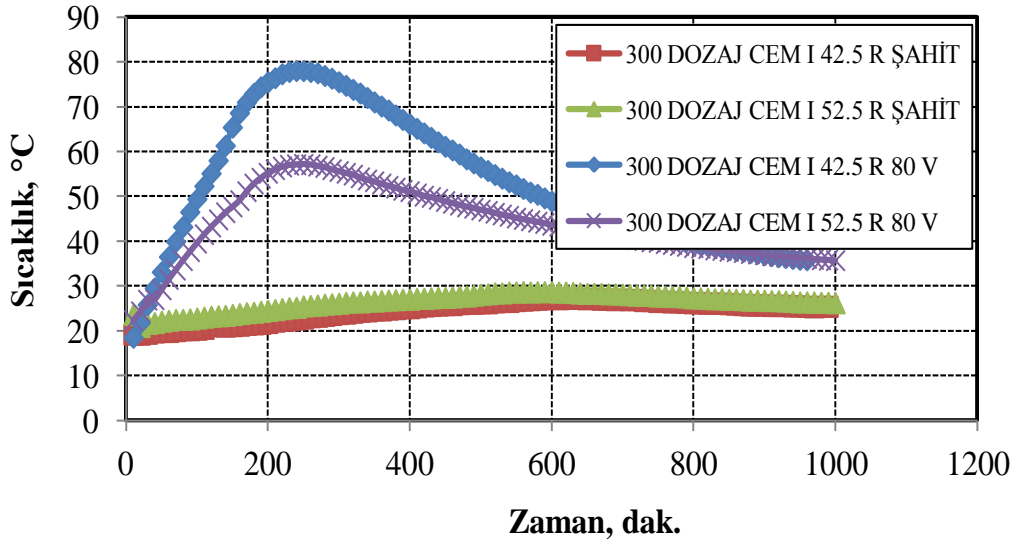
Su/çimento oranları 0.65 olan gerilim uygulanmayan ve 50, 100, 250 ve 500 Hz frekanslı 80 V AC gerilim uygulanan betonlardaki priz sona erme süresini incelemek için (Şekil 4.14) çizilmiştir. Gerilim uygulanmayan betonun prizi 630 dakikada sonlanırken beton üzerine sırasıyla 50, 100, 250 ve 500 Hz 80 V AC uygulandığında priz sona erme süreleri 240, 250, 260 ve 250 dakika bulunmuştur. Buradan beton üzerine uygulanan frekans şiddetinin priz süresine çok büyük etki etmediği sonucuna ulaşılmıştır..



Şekil 4.14 300 Dozajlı farklı frekanslı gerilim uygulanan betonlarda sıcaklık-zaman ilişkisi.

#### 4.8 Çimento Tipinin Priz Süresi Üzerindeki Etkisi

Betonlarda çimento tipinin priz süresine etkisini araştırmak için s/ç oranı 0.65 olan CEM I 42.5 R ve CEM I 52.5 R çimentolarından betonlar hazırlanarak 80 V AC gerilim uygulanmış, şahitleri ile beraber hidrasyon süresi boyunca sıcaklık ölçümü yapılmıştır. CEM I 42.5 R ve CEM I 52.5 R çimentolarına 80 V AC gerilim uygulaması ile priz sona erme süreleri her iki çimento tipi için 250 dakika olarak belirlenmiş olup, gerilim uygulanmayan betonlarda ise 630 dakika olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 300 Dozajlı farklı çimento tipiyle üretilen betonlarda sıcaklık-zaman ilişkisi.

Betonlarda s/ç, dozaj, gerilim şiddeti, frekans ve hiperakışkanlaştırıcı oranının priz bitiş sürelerini karşılaştırmak amacıyla Çizelge 4.1 hazırlanmıştır

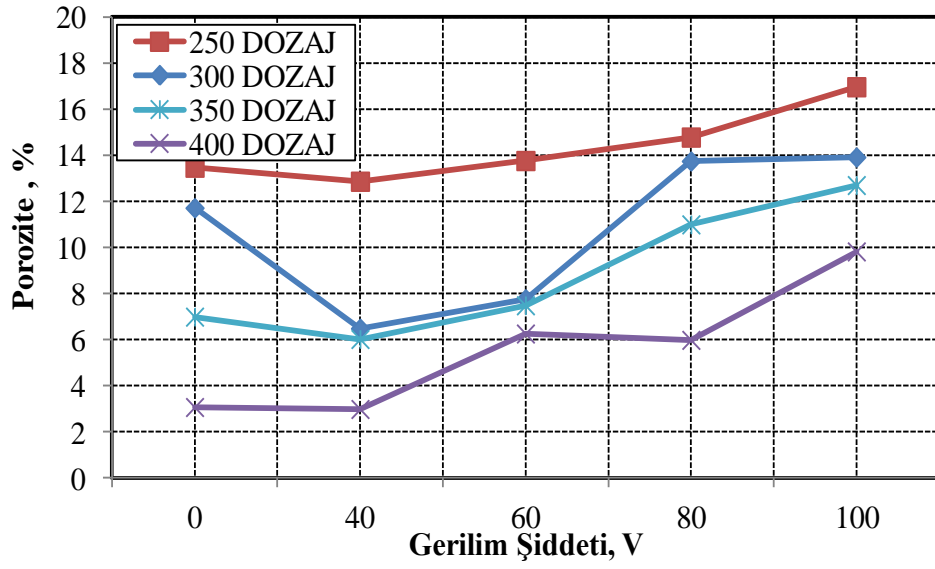
**Çizelge 4.1** Betonlarda priz süreleri incelemesi.

<b>Su/ç</b>	<b>Dozaj (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Gerilim Şiddeti (V)</b>	<b>Frekans (Hz)</b>	<b>Hiper Akışkanlaştırıcı (lt/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Priz Bitiş (dak.)</b>
0.65	250	-	-	-	730
0.65	250	40	50	-	490
0.65	250	60	50	-	380
0.65	250	80	50	-	290
0.65	250	100	50	-	240
0.65	300	-	-	-	630
0.65	300	40	50	-	510
0.65	300	60	50	-	350
0.65	300	80	50	-	280
0.65	300	100	50	-	250
0.45	300	-	-	-	630
0.55	300	-	-	-	690
0.45	300	80	50	-	210
0.55	300	80	50	-	240
0.55	300	-	-	0.5	710
0.55	300	-	-	1	740
0.55	300	-	-	1.5	700
0.55	300	80	50	0.5	270
0.55	300	80	50	1	260
0.55	300	80	50	1.5	260
0.65	300	80	100	-	260
0.65	300	80	250	-	260
0.65	350	-	-	-	640
0.65	350	40	50	-	450
0.65	350	60	50	-	320
0.65	350	80	50	-	290
0.65	350	100	50	-	230

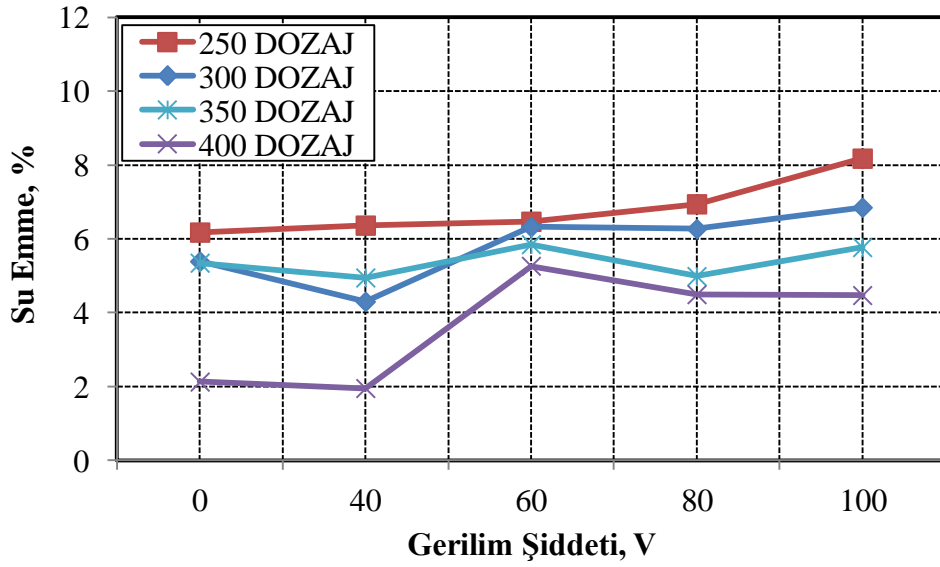
#### 4.9 Betonda Porozite Su Emme ve Ultrases Deneyleri

Tahribatsız yöntemler ile beton basınç dayanımının tayini Avrupa'da EN 13791 numaralı standart nisan 2010 tarihinde yürürlüğe girmiş ve Türk standartları enstitüsü tarafından Türkçe olarak basılarak ülkemizde kullanılmaya başlanmıştır. Betonda boşluk oranları tayini TS EN 12390-7 standartlarına göre yapılmaktadır. Gerilim uygulanan betonlarda gerilim uygulanmayan betonların boşluk oranına kıyasla genel olarak daha yüksek değerler almıştır. Dozaj arttıkça porozite oranlarında düşüşler gözlenmiştir (Şekil 4.16). Tüm dozajlar için numune üzerine 40 V AC gerilim uygulaması ile boşluk oranlarında şahit numunelerine göre daha düşük değerler aldığı görülmüştür. Betonlar üzerine 40 V üzeri gerilim uygulandığında betonların porozitelerinde artışlar meydana gelmiştir. Buradan 10 x 10 x 35 cm boyutlarındaki betonlarda boşluk oranını azaltmak için uygulanması gereken optimum gerilim şiddetinin 40 V olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Betonların dozaja ve gerilim şiddetine göre porozitelerini incelemek amacıyla Çizelge 4.2 hazırlanmıştır. Numunelerin dozajı arttıkça su emme oranında düşüşler gözlenmiştir (Şekil 4.17). Genel olarak betonlara 40 V gerilim uygulandığında en düşük su emme oranları elde edilmiştir. Ancak; 40 V üzeri gerilim şiddetlerinde betonların su emme oranlarında artışlar meydana gelmiştir. 250, 300, 350 ve 400 dozajlı betonlarda 40 V AC gerilim uygulandığında porozite açısından şahitlerine göre sırasıyla % 2.83, % 20.22, % 6.87 ve % 2.93 oranlarında düşüşler meydana gelmiştir. Betonların su emme oranlarında karşılaştırma yapabilmek amacıyla Çizelge 4.2 hazırlanmıştır. Arşimet deneyleri yapılan numunelerde ultrases deneyleri yapılmıştır. Dozaj ve gerilim şiddeti arttıkça ultraseslerde artış görülmüştür (Şekil 4.18). 250, 300, 350 ve 400 dozajlı betonlarda en yüksek ultrases geçişleri sırasıyla 40, 40, 40 ve 60 V gerilim uygulandığında meydana gelmiştir. Bu durum numunelerin porozite ve su emme oranlarındaki karşılaştırmalarda elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir. Farklı gerilim şiddeti uygulanan ve gerilim uygulanmayan; farklı dozajlı betonların ultrases karşılaştırması Çizelge 4.2' de gösterilmiştir.

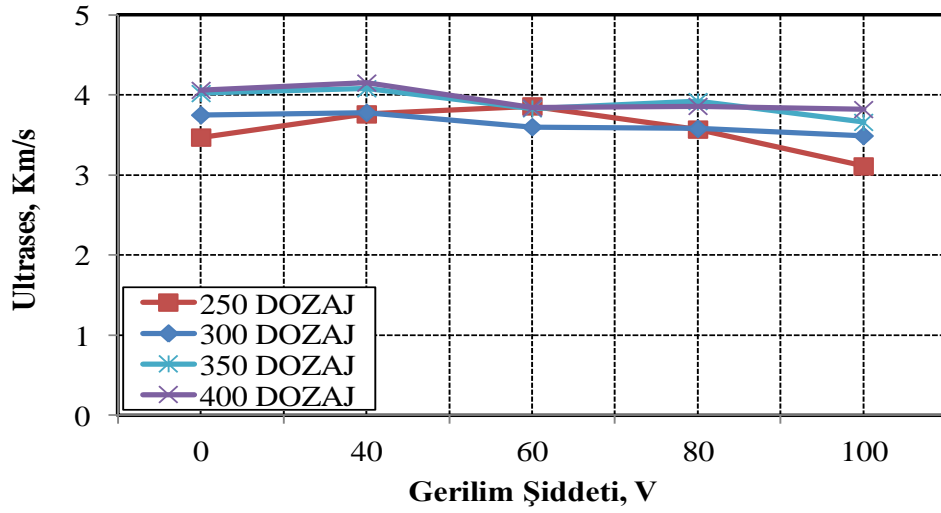




Şekil 4.16 Betonlarda gerilim şiddetine göre porozite miktarları karşılaştırması .



Şekil 4.17 Betonlarda gerilim şiddetine göre su emme oranları karşılaştırması.



Şekil 4.18 Betonlarda gerilim şiddetine göre ultrasans değerleri karşılaştırması.

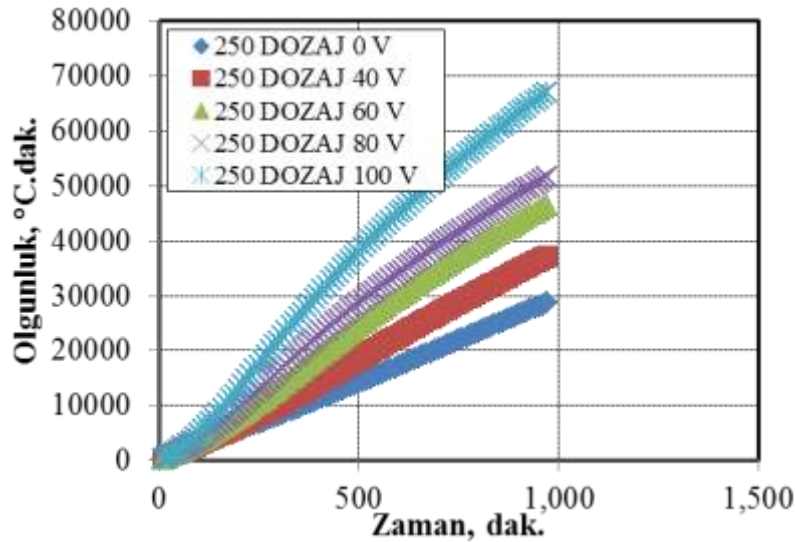
Çizelge 4.2 Gerilim uygulanan ve gerilim uygulanmayan betonlarda arşimet ve ultrasans deneyleri.

Dozaj	Gerilim Şiddeti (V)	Sudaki Ağırlık (g)	Havadaki Ağırlık (g)	Etüvdeki Ağırlık (g)	Porozite (%)	Su Emme (%)	B.H.A	ULTRASANS (km/sn)
250	0	994.6	1750	1648.2	13.48	6.18	2.18	3.47
	40	1008.25	1885	1772.2	12.87	6.36	2.02	3.76
	60	1059.85	1897.50	1782.20	13.76	6.47	2.13	3.86
	80	1020.75	1820	1701.85	14.78	6.94	2.13	3.57
	100	1070.1	1930	1784.1	16.97	8.18	2.07	3.11
300	0	1264.98	2245	2130.2	11.71	5.39	2.17	3.75
	40	706.1	1940	1860	6.48	4.30	1.51	3.78
	60	433.1	1850	1740	7.76	6.32	1.50	3.6
	80	1122	1966	1850	13.74	6.27	2.19	3.58
	100	1235.1	2290	2143.2	13.92	6.85	2.03	3.49
350	0	538.80	1970.00	1870.00	6.99	5.35	1.31	4.02
	40	436.45	2015.00	1920.00	6.02	4.95	1.22	4.08
	60	496.65	1900.00	1795.00	7.48	5.85	1.28	3.83
	80	1124.5	1980	1885.95	10.99	4.99	2.20	3.92
	100	1277.8	2240	2117.8	12.70	5.77	2.20	3.66
400	0	615.1	1920	1880	3.07	2.13	1.44	4.06
	40	689.4	1931	1894	2.98	1.95	1.53	4.15
	60	361.1	1800	1710	6.25	5.26	1.19	3.84
	80	522.3	1860	1780	5.98	4.49	1.33	3.86
	100	1086.75	1926.4	1843.95	9.82	4.47	2.20	3.82

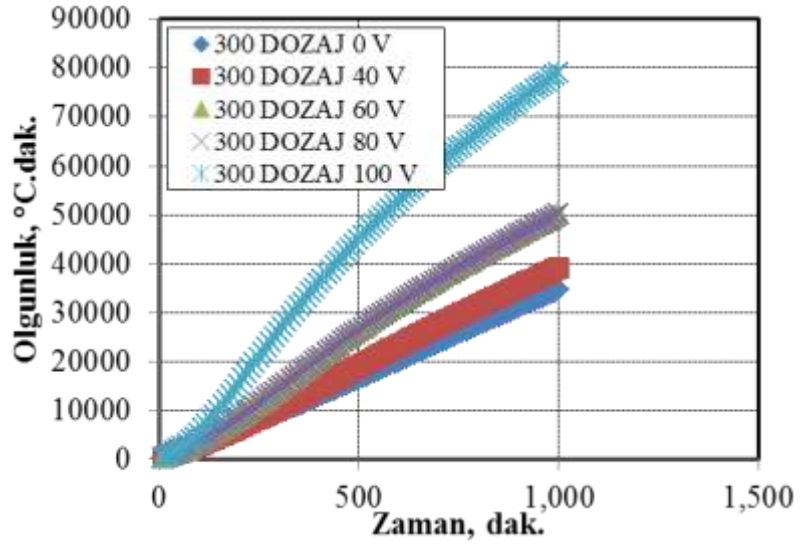
## 4.10 Betonda Olgunluk

### 4.10.1 Dozajın ve Gerilimin Olgunluk Üzerindeki Etkisi

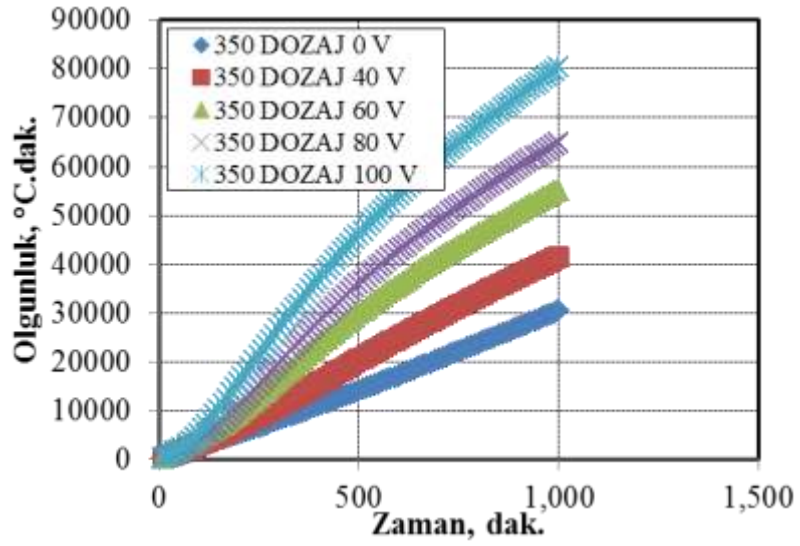
ASTM C1074'te beton sıcaklığının  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  arasında olgunluk hesaplanarak elektriksel direncin hesaplanabileceği belirtilmiştir. Dozajın ve uygulanan gerilim şiddetinin etkisini araştırmak için  $10\text{ x }10\text{ x }35\text{ cm}$  boyutlarındaki sabit s/ç oranına sahip (0.65) betonlara hidratasyon başlangıcından itibaren sırasıyla 0, 40, 60, 80 ve 100 V AC sabit frekansta (50 Hz) gerilim uygulanarak betonların olgunlukları karşılaştırılmıştır (Şekil 4.19- Şekil 4.22). Tüm dozajlı betonlarda gerilim uygulandığında şahit numunelere göre daha kısa sürede olgunluk kazandığı görülmüştür. Betonlar üzerine uygulanan AC gerilim şiddeti arttıkça bir önceki gerilim şiddetine göre daha kısa sürede olgunluk kazanıp, betonlar daha kısa sürede priz almıştır. Aynı gerilim şiddeti uygulanmış 250, 300, 350 ve 400 dozajlı betonların olgunlukları karşılaştırıldığında dozaj arttıkça betonların daha kısa sürede olgunluk kazandığı görülmüştür. Farklı dozajlı ve farklı gerilim şiddeti uygulanmış betonların 500. dakikadaki olgunlukları Çizelge 4.3'da gösterilmiştir.



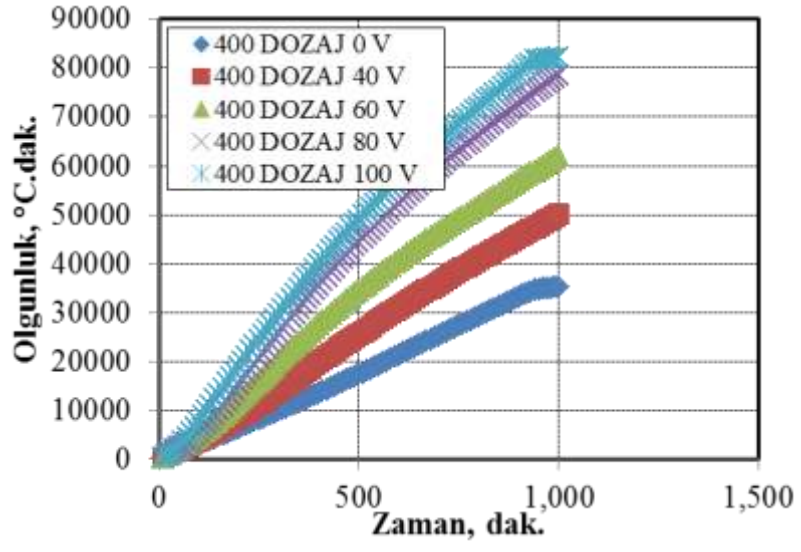
Şekil 4.19 250 Dozajlı betonların gerilim şiddetine göre olgunlukları.



Şekil 4.20 300 Dozajlı betonların gerilim şiddetine göre olgunlukları.



Şekil 4.21 350 Dozajlı betonların gerilim şiddetine göre olgunlukları.



Şekil 4.22 400 Dozajlı betonların gerilim şiddetine göre olgunlukları.

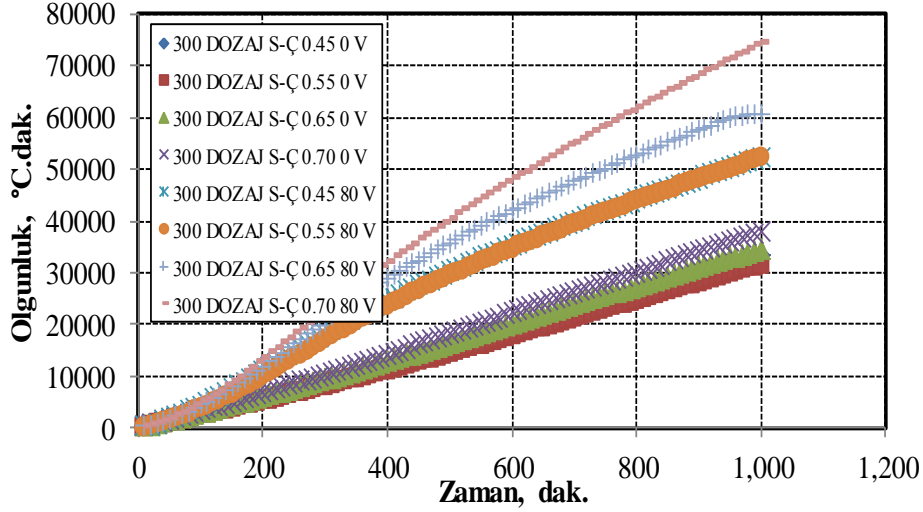
**Çizelge 4.3** Dozajın ve gerilim şiddetinin 500. dakikadaki olgunluğa etkisi.

Su/ç	Dozaj (Kg/m <sup>3</sup> )	Gerilim Şiddeti (V)	Frekan s (Hz)	Olgunluk ( <sup>0</sup> C.dak)
0.65	250	-	-	14145
0.65	250	40	50	18554
0.65	250	60	50	24447
0.65	250	80	50	28675
0.65	250	100	50	37919
0.65	300	-	-	16434
0.65	300	40	50	19051
0.65	300	60	50	26342
0.65	300	80	50	26364
0.65	300	100	50	44792
0.65	350	-	-	14076
0.65	350	40	50	20381
0.65	350	60	50	29882
0.65	350	80	50	35874
0.65	350	100	50	46000
0.65	400	-	-	17352
0.65	400	40	50	25550
0.65	400	60	50	34467
0.65	400	80	50	44354
0.65	400	100	50	48958

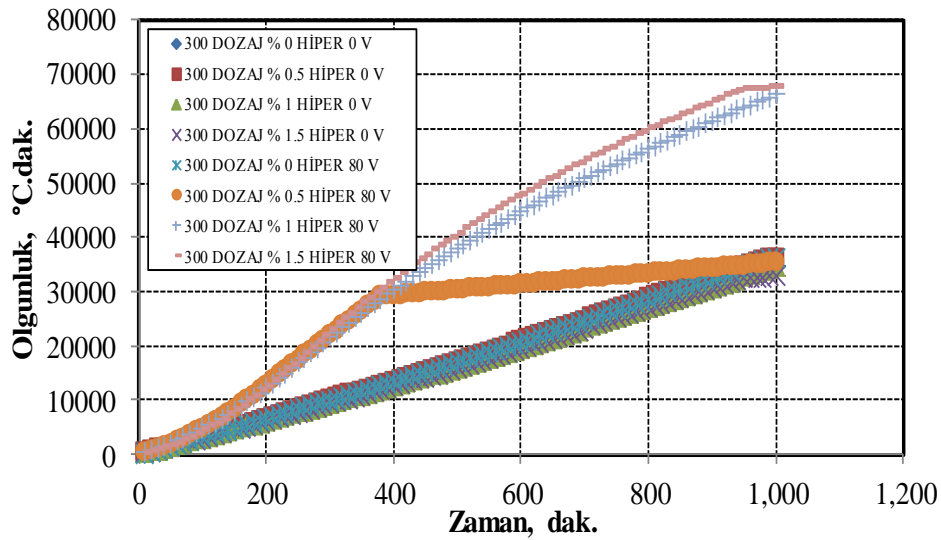
#### **4.10.2 Su/çimento ve Hiperakışkanlaştırıcı Oranının Olgunluk Üzerindeki Etkisi**

Su/çimento oranının gerilim şiddeti ve olgunluk üzerindeki etkisini incelemek için Şekil 4.23 çizilmiştir (300 dozaj, S/ç= 0.45, 0.55, 0.65, 0.70). Gerilim uygulanmayan betonlarda s/ç oranının artmasıyla betonların olgunluklarının genel olarak arttığı görülmüştür. Aynı durum gerilim uygulanan numunelerde de görülmüştür. Betonlara 80

V AC gerilim uygulandığında bir önceki s/ç oranına göre olgunluğun fark edilebilir şekilde yüksek çıktığı görülmüştür. Hem hiperakışkanlaştırıcı konulan gerilim uygulanan betonlarda hem de hiperakışkanlaştırıcı konulup gerilim uygulanmayan betonlarda hiperakışkanlaştırıcı oranının olgunluğa büyük etkisi olmadığı görülmüştür (Şekil 4.24).



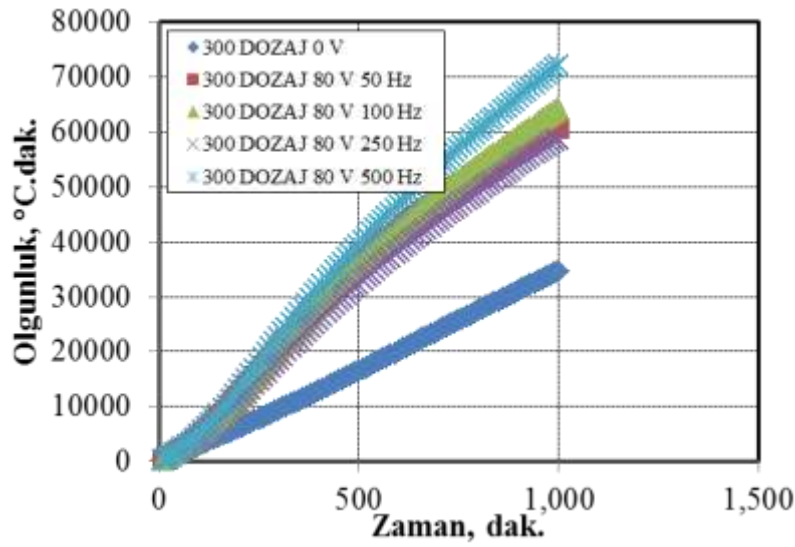
Şekil 4.23 S/ç oranının ve gerilimin olgunluğa etkisi.



Şekil 4.24 Hiperakışkanlaştırıcı oranının ve gerilimin olgunluğa etkisi.

#### 4.10.3 Frekans Şiddetinin Olgunluk Üzerindeki Etkisi

Frekans şiddetinin olgunluğa etkisini incelemek için s/ç oranları sabit (0.65) olan 300 dozajlı gerilim uygulanmayan ve sabit gerilim şiddetinde (80 V) farklı frekanslarda (50 Hz, 100 Hz, 250 Hz, 500 Hz) inceleme yapabilmek amacıyla Şekil 4.25 çizilmiştir. Gerilim şiddeti uygulanan betonlarda frekans şiddetine göre olgunluk büyüklükleri hidrasyonun ilk aşamalarında büyükten küçüğe doğru sırasıyla 500, 50, 100 ve 250 Hz şeklinde sıralanmıştır.



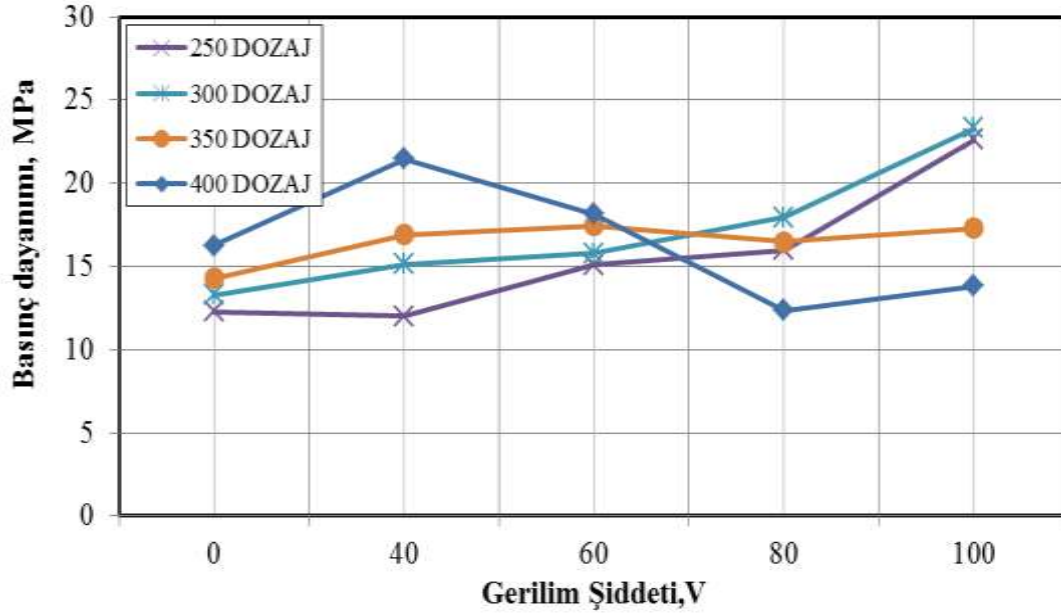
Şekil 4.25 Frekans şiddetinin olgunluğa etkisi.

#### 4.11 Dozajın ve gerilim şiddetinin 1 günlük basınç dayanımına etkisi

Betonların kalıp alma süresindeki basınç dayanımlarını araştırmak amacıyla 250, 300, 350 ve 400 dozajlı s/ç oranları 0.65 olan betonlara sırasıyla 0, 40, 60, 80 ve 100 V AC gerilim sabit frekansta (50 Hz) uygulanmıştır. Tüm dozajlar için gerilim uygulanan betonların basınç dayanımları gerilim uygulanmayan betonların basınç dayanımlarından genel olarak daha yüksek çıkmıştır (Şekil 4.26). Tüm dozajlarda betonlara uygulanan gerilim şiddeti arttıkça basınç dayanımlarının artması dikkat çekmiştir. Özellikle 250 ve 300 dozajlı betonlarda gerilim şiddetinin 80' den 100 V' a çıkartılması sonucu basınç dayanımında büyük artış gözlenmiştir. 1 günlük basınç dayanımı açısından 300 dozajlı betonlardaki artış gerilim uygulanmayan betona göre yaklaşık % 43 daha yüksek



çıkmiştir. 350 ve 400 dozajlı betonlarda 60 V ve üzeri gerilim uygulandığında 1 günlük basınç dayanımındaki artış, 60 V ve daha düşük gerilim uygulanan betonlara göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durum 350 ve 400 dozajlı betonlarda beton iç sıcaklığının 250 ve 300 dozajlardaki betonlara göre daha yüksek olması ve karışım içindeki ve beton yüzeyindeki suyun buharlaşmasından kaynaklanmasıyla açıklanabilir.

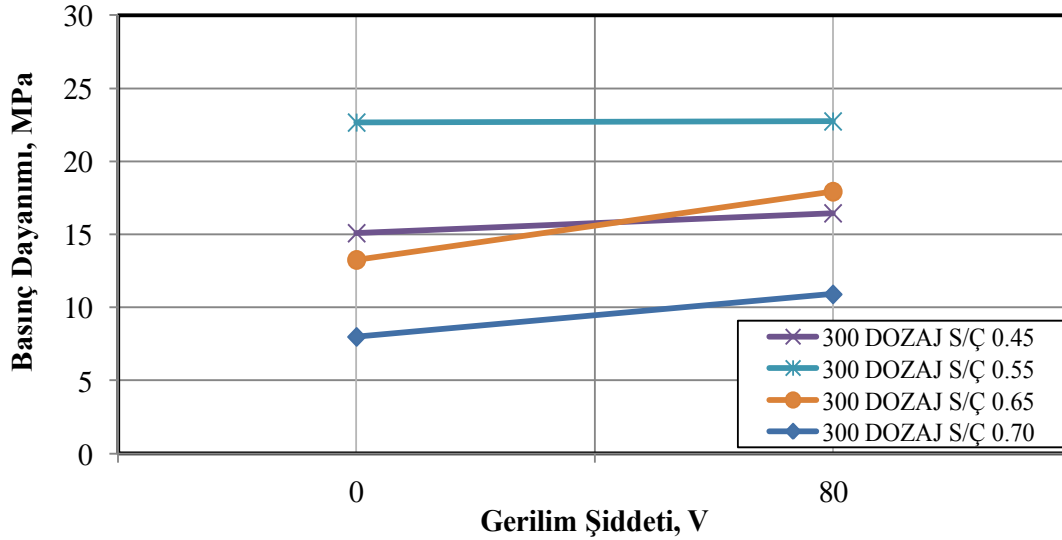


Şekil 4.26 Dozajın ve gerilim şiddetinin 1 günlük basınç dayanımına etkisi.

#### 4.12 S/ç Oranının 1 Günlük Basınç Dayanımına Etkisi

S/ç oranının 1 günlük basınç dayanımını araştırmak amacıyla 300 dozajlı s/ç oranları sırasıyla 0.45, 0.55, 0.65 ve 0.70 oranlarına sahip betonlara 0 V ve 80 V AC gerilim uygulanmıştır. Gerilim uygulanmayan betonlarda s/ç oranı arttıkça 1 günlük basınç dayanımında düşüşler gözlenmiştir. Hem gerilim uygulanan hem de gerilim uygulanmayan betonlarda s/ç oranı 0.55 olan betonlardaki 1 günlük basınç dayanımı diğer s/ç oranlarındaki betonlara göre daha yüksek çıkmıştır. Bu durum s/ç oranı 0.55 olan betonun hem en düşük iç sıcaklığa (61.8 °C) sahip olması hem de s/ç oranı 0.55 olan betonun işlenebilirliğinin daha iyi olması nedenleriyle açıklanabilir. Ancak; s/ç oranı 0.55 olan betonlarda gerilim şiddeti uygulanması sonucu basınç dayanımı çok yükselmemiştir. Bu durum s/ç oranı 0.45 olan betonlarda da gözlenmiştir. Su/çimento oranı 0.65 olan betonlarda ise 1 günlük basınç dayanımı gerilim uygulanmayan

betonlara göre fark edilebilir derecede artmıştır (Şekil 4.27). Buradan gerilim uygulaması ile 1 günlük basınç dayanımını arttırmak için 0.65 gibi yüksek oranda s/ç oranına sahip beton üretilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Ancak; daha yüksek s/ç oranlarında (0.70) 1 günlük basınç dayanımının çok düşük değer alması nedeniyle uygun olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

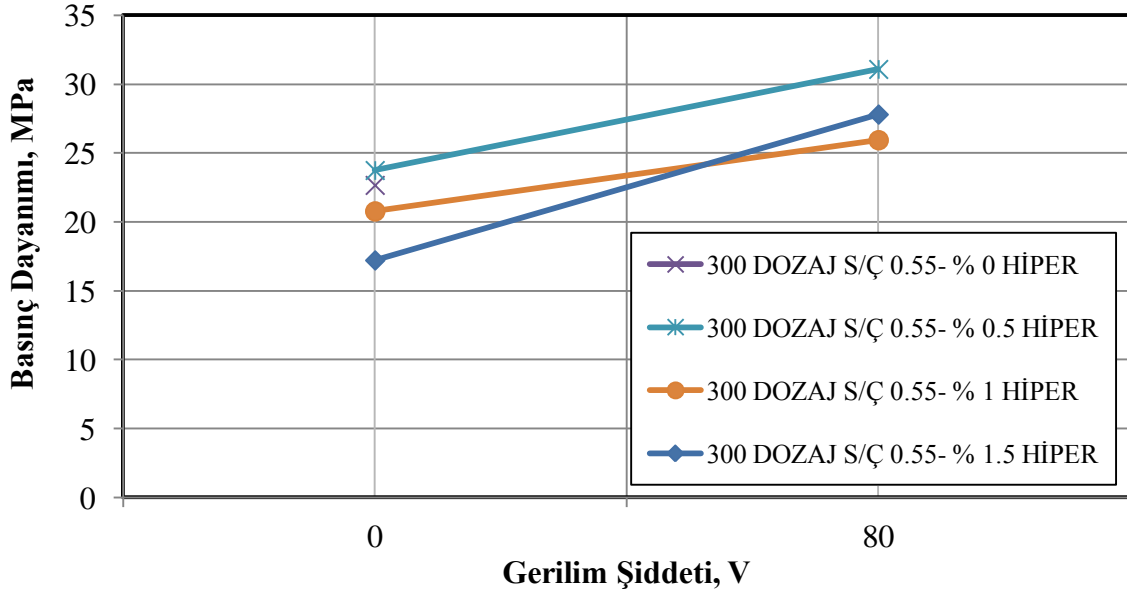


Şekil 4.27. S/ç oranının ve AC gerilimin 1 günlük basınç dayanımına etkisi.

#### 4.13 Hiperakışkanlaştırıcı Oranının 1 Günlük Basınç Dayanımına Etkisi

Hiperakışkanlaştırıcı oranın 1 günlük basınç dayanımına etkisini araştırmak amacıyla 300 dozajlı s/ç oranları 0.55 olan, % 0, % 0.5, % 1 ve % 1.5 oranlarında hiperakışkanlaştırıcı konulan betonlar üretilmiştir. Gerilim uygulandığında 1 günlük basınç dayanımını araştırmak amacıyla aynı içerikli betonlar üretilerek 80 V AC gerilim uygulanmıştır. Gerilim uygulanmayan betonlarda genel olarak karışım içindeki hiperakışkanlaştırıcı oranı arttıkça basınç dayanımında düşüşler gözlenmiştir. Gerilim uygulanan betonlarda ise hiperakışkanlaştırıcı oranının artması ile gerilim uygulanmayan betonlara göre 1 günlük basınç dayanımı oldukça yüksek çıkmıştır (Şekil 4.28). Hiperakışkanlaştırıcı oranları % 0.5, 1 ve 1.5 olan betonların 1 günlük basınç dayanımları şahitlerine göre sırasıyla % 30,90, 24,87 ve 61,49 artmıştır. Buradan betonlara hem hiperakışkanlaştırıcı konulması hem de AC gerilim uygulaması ile 1

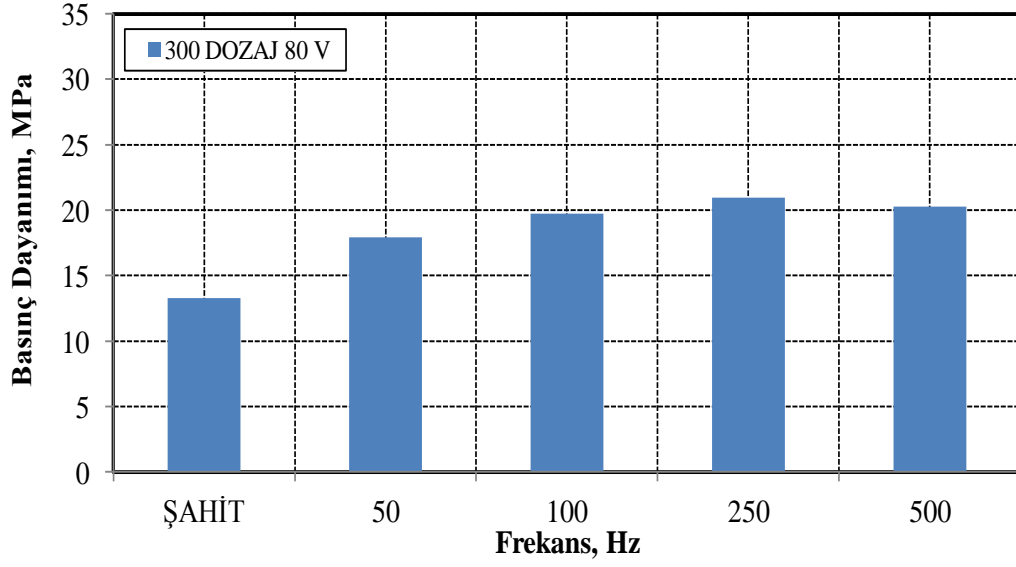
günlük basınç dayanımının arttırılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.28 Hiperakışkanlaştırıcı oranının ve AC gerilimin 1 günlük basınç dayanımına etkisi.

#### 4.14 Frekansın 1 Günlük Basınç Dayanımına Etkisi

S/ç oranları 0.65 olan 300 dozajlı betonlara AC güç kaynağından 80 V (gerilim altında) sırasıyla 50, 100, 250 ve 500 Hz gerilim uygulanmış ve 1 günlük basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. 80 V AC 50, 100, 250 ve 500 Hz gerilim uygulanan betonların 1 günlük basınç dayanımları sırasıyla 17.94, 19.75 ve 20.96, 20.25 MPa çıkmıştır. Buradan aynı gerilim şiddeti altında frekans şiddetinin 250 Hz uygulanması sonucu 1 günlük basınç dayanımının arttırılabileceği görülmüştür (Şekil 4.29). Bu durum beton iç sıcaklığının frekans şiddetine göre değişebilmesiyle açıklanabilir. Çünkü: AC gerilimde akımın istikamet ve boyutu frekans şiddetiyle değişebilmektedir (Luo *et al.* 2017). Sabit dozajlı (300), sabit s/ç oranlarına sahip (0.65) ve sabit AC gerilim uygulanan (80 V), farklı frekans şiddetleri uygulanmış (50, 100, 250, 500 Hz) betonlar incelendiğinde 80 V AC 250 Hz frekans şiddetinde gerilim uygulanan betonların 1 günlük basınç dayanımlarının yüksek çıkması 250 Hz frekansta beton iç sıcaklığının basınç dayanımı açısından ideal iç sıcaklığa en yakın olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.29 Frekansın ve AC gerilimin 1 günlük basınç dayanımına etkisi.

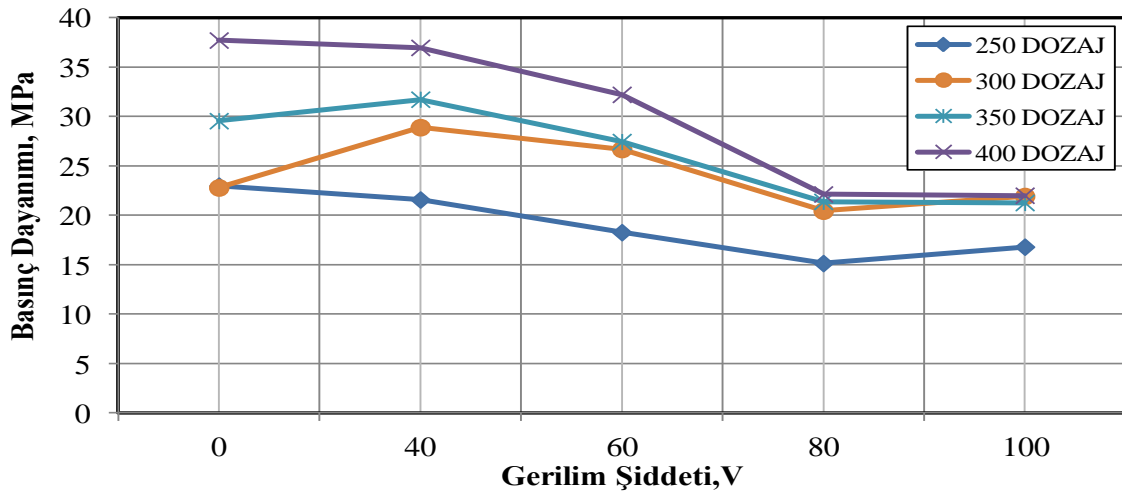
Betonların bileşen etkisinin 1 günlük basınç dayanımına etkisini araştırmak amacıyla Çizelge 4.4 oluşturulmuştur.

**Çizelge 4.4** Betonlarda 1 günlük basınç dayanımı karşılaştırması.

S/ç	Dozaj (kg/m <sup>3</sup> )	Gerilim Şiddeti (V)	Frekans (Hz)	Hiper Akışkanlaştırıcı (lt/m <sup>3</sup> )	Basınç Dayanımı (MPa.)
0.65	250	-	-	-	12,29
0.65	250	40	50	-	12,01
0.65	250	60	50	-	15,09
0.65	250	80	50	-	16,00
0.65	250	100	50	-	22,63
0.65	300	-	-	-	13,27
0.65	300	40	50	-	15,14
0.65	300	60	50	-	15,81
0.65	300	80	50	-	17,94
0.65	300	100	50	-	23,30
0.65	350	-	-	-	14,29
0.65	350	40	50	-	13,60
0.65	350	60	50	-	16,92
0.65	350	80	50	-	16,48
0.65	350	100	50	-	17,30
0.45	300	80	50	-	16,46
0.55	300	80	50	-	22,75
0.65	300	80	50	-	17,94
0.55	300	-	-	-	22,67
0.55	300	-	-	0.5	23,75
0.55	300	80	50	0.5	31,09
0.55	300	-	-	1	20,78
0.55	300	80	50	1	25,95
0.55	300	-	-	1.5	17,22
0.55	300	80	50	1.5	27,81
0.65	300	80	100	-	19,75
0.65	300	80	250	-	20,25
0.65	300	80	500	-	20,25

#### 4.15 Dozajın ve Gerilim Şiddetinin 28 Günlük Basınç Dayanımına Etkisi

Farklı dozajlı (250, 300, 350 ve 400) betonların gerilim şiddetine göre 28 günlük basınç dayanımlarını karşılaştırmak için Şekil 4.30 çizilmiştir. Gerilim uygulanmayan betonların basınç dayanımlarını karşılaştırıldığında basınç dayanımları büyükten küçüğe doğru sırasıyla 400, 350, 300 ve 250 şeklinde sıralanmıştır. 300 ve 350 dozajlı betonlar üzerine 40 V AC gerilim uygulandığında betonların 28 günlük basınç dayanımları aynı dozajlı gerilim uygulanmayan betonlara göre daha yüksek çıkmıştır. 250 ve 400 dozajlı betonlar üzerine 40 V AC gerilim uygulandığında ise aynı dozajlı şahit betonlara göre 28 günlük basınç dayanımlarında küçük miktarda düşüşler gözlenmiştir. Tüm dozajlı betonlar üzerine 60 V ve üzeri gerilim uygulandığında 28 günlük basınç dayanımlarında ciddi kayıplar meydana gelmiştir. 10 x 10 x 35 cm boyutlu betonlarda 80 V üzeri gerilim şiddetinin 28 günlük basınç dayanımı üzerinde etkili olmadığı belirlenmiştir. Bu durum betonlar üzerine 80 V üzeri gerilim uygulandığında boşluk oranlarının en yüksek değerlere ulaştığından kaynaklandığı, boşluk oranının yükselmesinin sebebi ise; hidrasyon sırasında beton iç sıcaklığının çok yüksek değerlere ulaşması sebebiyle beton içindeki ve yüzeyindeki suyun buharlaşmasından kaynaklanmaktadır. Basınç dayanımları Çizelge 4.5’de gösterilmiştir. 250, 300, 350 ve 400 dozajlı gerilim uygulanmayan betonların yaklaşık beton sınıfları C18, C18, C24 ve C30 iken, aynı dozajlı betonlara 40 V AC gerilim uygulanması sonucu yaklaşık beton sınıfları C18, C23, C26 ve C30 olarak belirlenmiştir.



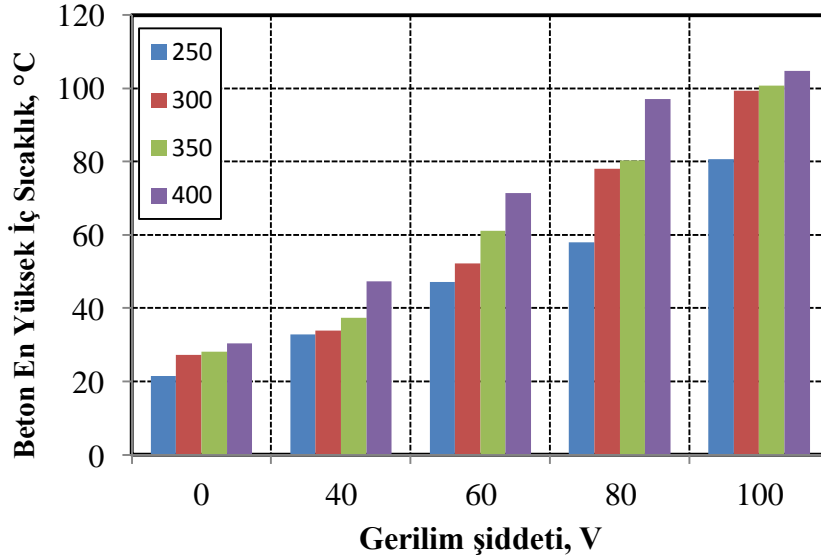
Şekil 4.30 Farklı dozajlı betonların gerilim şiddetine göre 28 günlük basınç dayanımları.

**Çizelge 4.5** Betonlarda 28 günlük basınç dayanımı karşılaştırması.

Su/ç	Dozaj (Kg/m <sup>3</sup> )	Gerilim Şiddeti (V)	Frekans (Hz)	Basınç Dayanımı (MPa.)
0.65	400	-	-	37.71
0.65	400	40	50	36.96
0.65	400	60	50	32.21
0.65	400	80	50	22.13
0.65	400	100	50	22.00
0.65	350	-	-	29.55
0.65	350	40	50	31.72
0.65	350	60	50	27.44
0.65	350	80	50	21.38
0.65	350	100	50	21.27
0.65	300	-	-	22.79
0.65	300	40	50	28.89
0.65	300	60	50	26.68
0.65	300	80	50	20.44
0.65	300	100	50	21.92
0.65	250	-	50	22.97
0.65	250	40	50	21.57
0.65	250	60	50	18.26
0.65	250	80	-	15.13
0.65	250	100	-	16.79

Dozaj ve gerilim şiddeti arttıkça betonların 28 günlük basınç dayanımlarındaki azalma, dozaj ve gerilim şiddetinin artması sonucu betonların iç sıcaklıklarında artış gözlenmesi ve hidrasyon için gerekli suyun bir kısmının buharlaşmasından kaynaklanmaktadır. Beton sıcaklığının artması iyon hareketliliğini arttırmakta ve elektriksel direnci arttırmaktadır. Bunun tam tersi olduğunda da elektriksel direnç azalmaktadır (Moradi *et al.* 2017). Betonda çok yüksek iç sıcaklık oluşturan gerilim şiddeti kullanımı uygun değildir. Betonda basınç dayanımı kaybı olmadan beton içindeki çimento miktarı,

gerilim şiddeti, elektrotlar arası uzaklıklar değiştirilerek optimum en yüksek sıcaklık değerine ulaşılarak hızlandırılmış kür yapılabilir. 250, 300, 350 ve 400 dozajlı betonlarda optimum en yüksek iç sıcaklıklar 60, 60, 60 ve 40 V AC gerilim uygulandığında elde edilmiştir (Şekil 4.31).



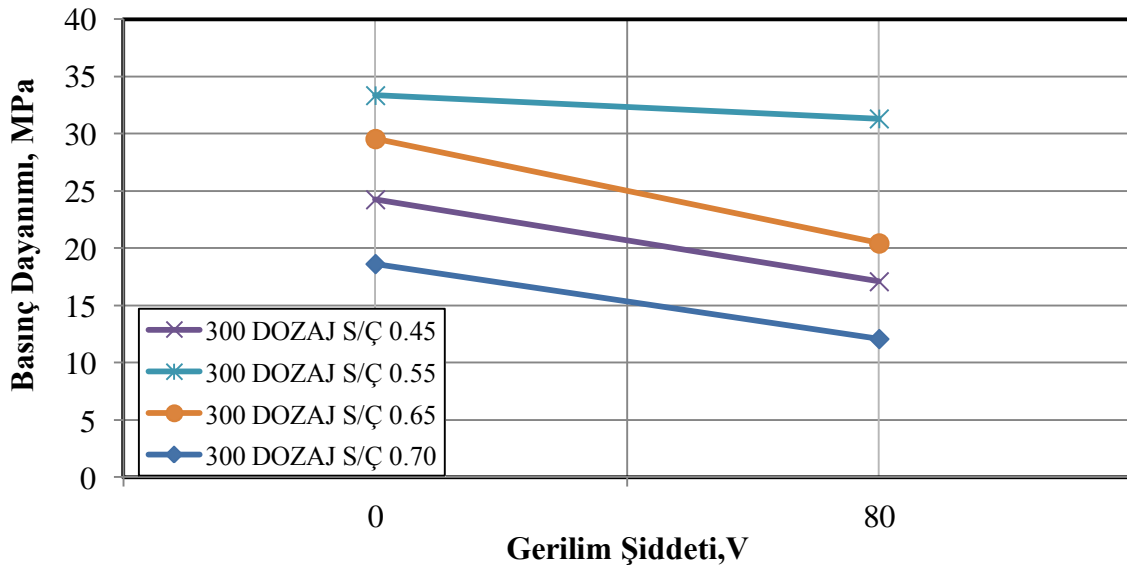
Şekil 4.31 Farklı dozajlı ve farklı gerilim şiddeti uygulanan betonlarda en yüksek iç sıcaklık.

#### 4.16 S/ç Oranının Gerilim Şiddetine Göre 28 Günlük Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi

Genel olarak, su/çimento oranı azaldıkça betonun dayanımı artmaktadır. Ancak, su/çimento oranı çok düşük olduğunda (0.50' nin altında) betonu sıkıştırabilmek zorlaştığından (işlenebilirlik azaldığından) boşluklu beton elde edilir ve basınç dayanımında düşüşler gözlenir. S/ç oranının ve gerilim şiddetinin 28 günlük basınç dayanımına etkisini araştırmak için Şekil 4.32 hazırlanmıştır. Gerilim uygulanmayan s/ç oranı 0.55 ve 0.65 olan betonların 28 günlük basınç dayanımları s/ç oranı 0.45 ve 0.70 olan betonların 28 günlük basınç dayanımlarından oldukça yüksek çıkmıştır (Şekil 4.32). Betonlar üzerine 80 V AC gerilim uygulandığında s/ç oranları 0.55, 0.65 ve 0.70 olan betonların basınç dayanımları sırası ile % 6.08, 30,86 ve 35.15 oranında azalmıştır. Gerilim uygulanan betonlarda s/ç oranı artması ile basınç dayanım kaybının artması beton iç sıcaklığı ile açıklanabilir. S/ç oranları 0.45, 0.55, 0.65 ve 0.70 olan betonların beton en yüksek iç sıcaklıkları sırasıyla 61.8, 61.8, 78 ve 86.9 °C ölçülmüştür. Beton iç



sıcaklıklarının aşırı yükselmesi betonlarda 28 günlük basınç dayanımı kaybına neden olmuştur. Betonlarda s/ç oranı artması ile 28 günlük basınç dayanımları şahit numunelere göre en düşük azalan beton; s/ç oranı 0.55 olan karışımda görülmüştür. S/ç oranı 0.45 olan betonun 28 günlük basınç dayanımının diğer s/ç oranlarına sahip betonların 28 günlük basınç dayanımından daha düşük çıkması ise s/ç oranı 0.45 olan betonun işlenebilirliğinin en düşük olmasından kaynaklanmaktadır. S/ç oranları 0.45, 0.55, 0.65 ve 0.70 olan betonların slump'ları sırasıyla 12, 14, 15 ve 16 cm ölçülmüştür. Farklı s/ç oranlarına sahip betonların 28 günlük basınç dayanımları Çizelge 4.5' de gösterilmiştir.

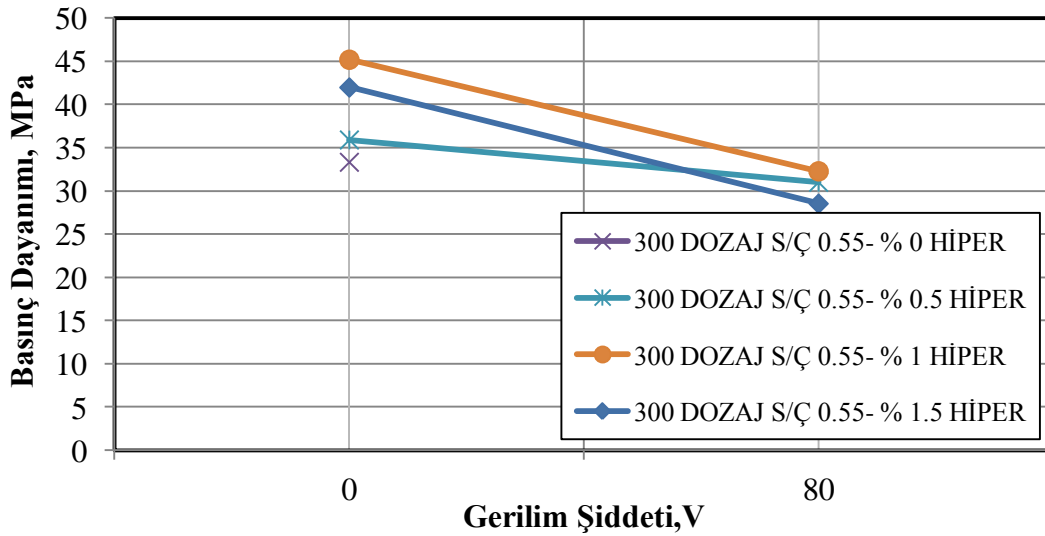


Şekil 4.32 S/ç oranının ve AC gerilimin 28 günlük basınç dayanımına etkisi.

#### 4.17 Beton İçine Konulan Farklı Oranlardaki Hiperakışkanlaştırıcının 28 Günlük Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi

S/ç oranları 0.65 olan 300 dozajlı; şahit numunelerde genel olarak beton içerisine % 1 oranına kadar hiperakışkanlaştırıcı konulması ile 28 günlük basınç dayanımlarında artış gözlenmiştir. Gerilim uygulanmayan % 1.5 oranında hiperakışkanlaştırıcı konulan betonun 28 günlük basınç dayanımı % 0 ve % 0.5 oranında hiperakışkanlaştırıcı konulan betonların 28 günlük basınç dayanımından yüksek olsa da; % 1 oranında

hiperakışkanlaştırıcı içeren betonun 28 günlük basınç dayanımından düşük olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.33). Bu durum beton içerisine % 1' den fazla hiperakışkanlaştırıcı konulması sonucu; betonda kismaya neden olması sebebiyle açıklanabilir. Farklı hiperakışkanlaştırıcı oranlarına sahip betonlara 80 V AC gerilim uygulaması sonucu genel olarak 28 günlük basınç dayanımlarında düşüşler meydana gelmiştir. Ancak; % 0.5 hiperakışkanlaştırıcı konulan betondaki 28 günlük basınç dayanımındaki düşüş en az olmuştur. Hiperakışkanlaştırıcı oranları % 0.5, 1 ve 1.5 olan betonlara 80 V gerilim uygulanması sonucu betonların basınç dayanım kayıpları sırasıyla % 13.64, 28.56 ve 32.00 olmuştur. Betona hiperakışkanlaştırıcı konulması ve AC gerilim uygulanması neticesinde basınç dayanımında düşüşlerin gözlenmesi hiperakışkanlaştırıcı konulan betonlarda beton iç sıcaklığın 60 °C' nin üzerine çıkması ile açıklanabilir. Hiperakışkanlaştırıcı oranının ve 80 V AC gerilim uygulanması sonucu 28 günlük basınç dayanımlarını incelemek amacıyla Çizelge 4.6 hazırlanmıştır.

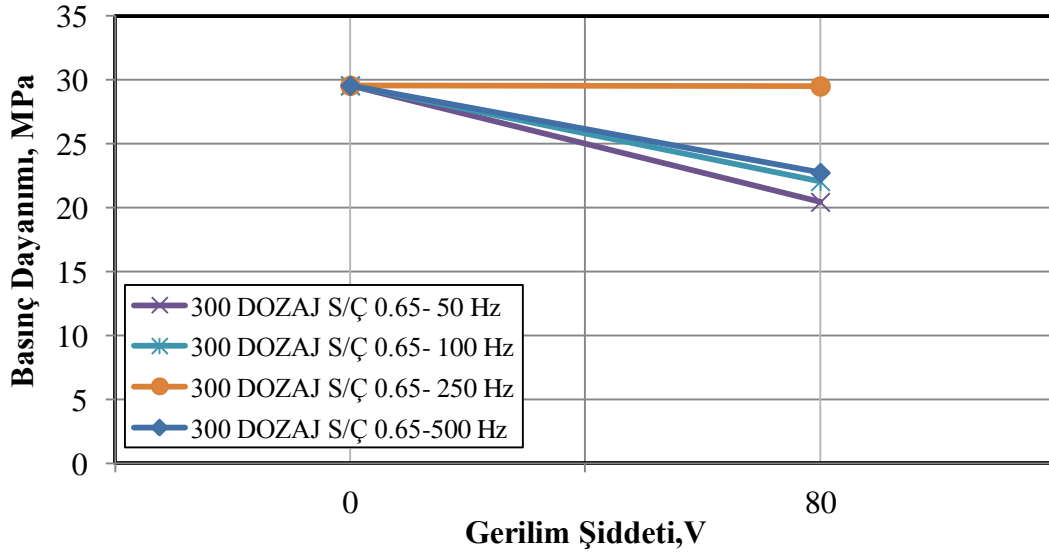


Şekil 4.33 Hiperakışkanlaştırıcı oranının ve AC gerilimin 28 günlük basınç dayanımına etkisi.

#### 4.18 Frekansın ve Çimento Tipinin 28 Günlük Basınç Dayanımı Üzerinde Etkisi

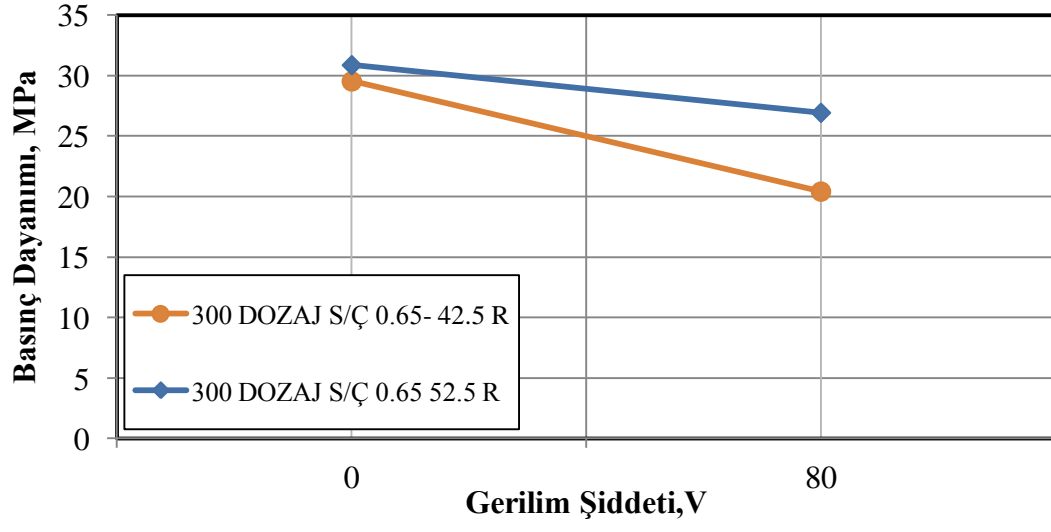
S/ç oranları 0.65 olan 300 dozajlı; gerilim uygulanmayan ve 50, 100, 250 ve 500 Hz frekanslı 80 V AC gerilim uygulanan betonların 28 günlük basınç dayanımlarını karşılaştırmak için Şekil 4.34 oluşturulmuştur. Betonda 28 günlük basınç dayanımı azalmaması için optimum uygulanması gereken frekans şiddetinin 250 Hz olduğu

görülmüştür. Bu durum 250 Hz gerilim uygulanan betonlarda beton iç sıcaklığının diğer frekanslı betonların iç sıcaklıklarından daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Gerilim uygulanmayan ve farklı frekans şiddetindeki aynı gerilim şiddeti (80 V) uygulanan betonların 28 günlük basınç dayanımları Çizelge 4.6' da gösterilmiştir.



Şekil 4.34 Frekansın ve AC gerilimin 28 günlük basınç dayanımına etkisi.

Çimento tipinin betonun 28 günlük basınç dayanımına etkisini araştırmak amacıyla 300 dozajlı s/ç oranları 0.65 olan 42.5 R ve 52.5 R çimentoları ile betonlar üretilmiştir. Sonuç olarak hem şahit hem de 80 V gerilim uygulanan betonlarda 52.5 R çimentosu ile üretilen betonlarda daha verimli sonuç elde edilmiştir (Şekil 4.35).



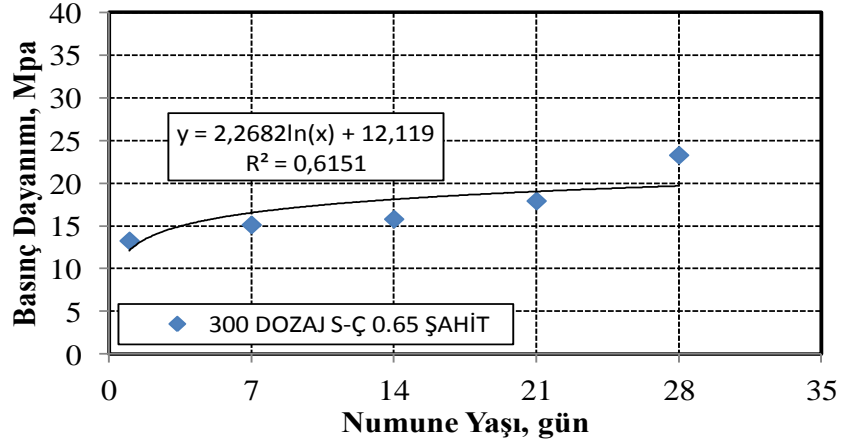
Şekil 4.35 Çimento tipinin ve AC gerilimin 28 günlük basınç dayanımına etkisi.

**Çizelge 4.6** Betonlarda 28 günlük basınç dayanımı karşılaştırması.

Su/ç	Dozaj (kg/m <sup>3</sup> )	Gerilim Şiddeti (V)	Hiperakışkanlaştırıcı (%)	Frekans (Hz)	Basınç Dayanımı (MPa.)
0.45	300	-	-	-	19.25
0.55	300	-	-	-	33.34
0.70	300	-	-	-	18.63
0.45	300	80	-	50	17.09
0.55	300	80	-	50	31.31
0.70	300	80	-	50	12.08
0.55	300	-	-	-	33.34
0.55	300	-	0.5	-	35.92
0.55	300	-	1	-	45.20
0.55	300	-	1.5	-	41.99
0.55	300	80	-	50	31.31
0.55	300	80	0.5	50	31.02
0.55	300	80	1	50	32.29
0.55	300	80	1.5	50	28.55
0.65	300	80	-	100	22.05
0.65	300	80	-	250	29.50
0.65	300	80	-	500	22.73

#### **4.19 Betona 1 Günlük Gerilim Uygulaması ile Basınç Dayanımı Tahmini**

Betona 1 gün süreyle gerilim uygulaması sonucu kaç günlük basınç dayanımına ulaştığını araştırmak amacıyla 300 dozajlı, s/ç oranı 0.65 olan şahit numuneler sırasıyla 1, 7, 14, 21 ve 28. günlerde basınç dayanımı testi yapılarak eğrisi oluşturulmuş ve denklemi elde edilmiştir (Şekil 4.36). Elde edilen denklem sonucu 300 dozajlı s/ç oranı 0.65 olan, 50 Hz sabit frekans şiddetinde 1 gün süreyle 40 V, 60 V, 80 V ve 100 V AC gerilim uygulaması sonucu yaklaşık olarak sırasıyla 4, 5, 12 ve 16 günlük basınç dayanımı elde edilmiştir (Çizelge 4.7).



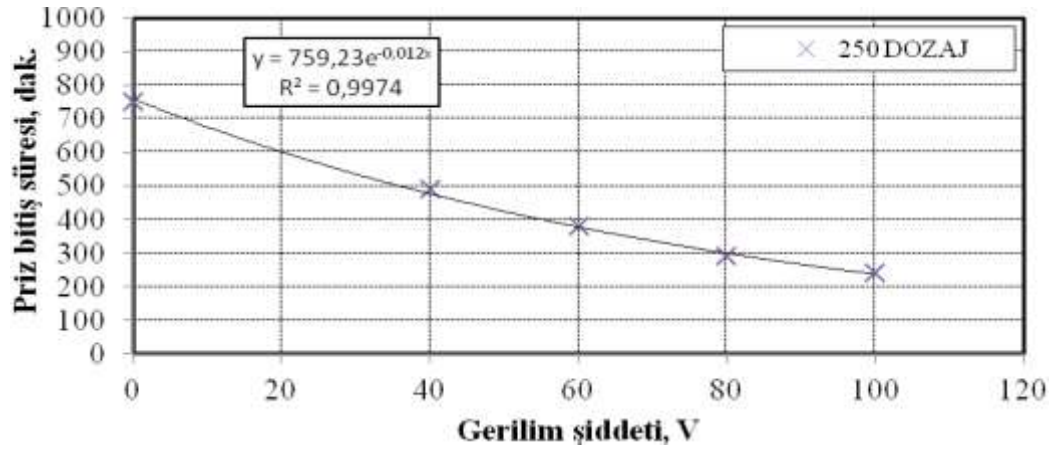
Şekil 4.36 300 dozajlı şahit numunelerin farklı günlerdeki basınç dayanımı.

Çizelge 4.7 Betonlarda ulaşılan basınç dayanımının gerilim şiddetine göre incelenmesi.

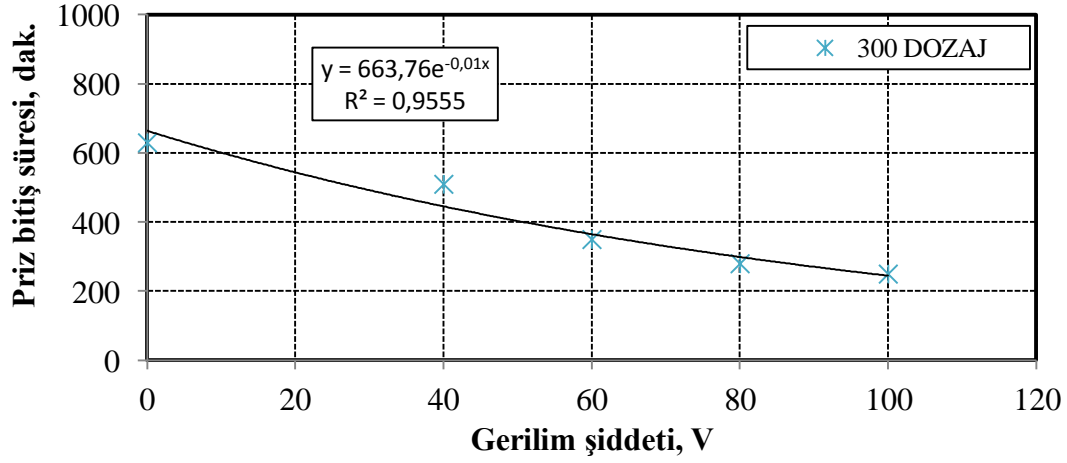
Gerilim Şiddeti (V)	Basınç Dayanımı (MPa)	Ulaşılan Basınç Dayanımı (Gün)
0	13.27	1
40	15.14	4
60	15.81	5
80	17.94	12
100	23.30	16

#### 4.20 Farklı Dozajlı Betonlarda Gerilim Şiddetine Göre Priz Bitiş Süresi

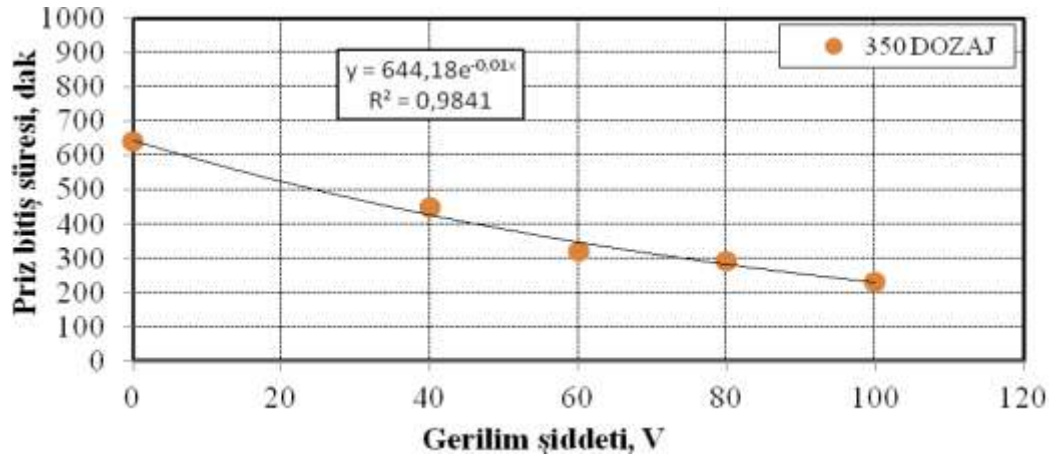
Dozajları 250, 300, 350 ve 400 olan betonlar üzerine farklı gerilim şiddetlerinde AC gerilim uygulanarak; hidrasyonun ilk dakikalarından itibaren her 10 dakika arayla betonların sıcaklık ölçümü yapılarak priz bitiş süreleri elde edilmiştir (Şekil 4.37 - Şekil 4.40). 250, 300, 350 ve 400 dozajlı betonların priz sona erme süreleri sırasıyla aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesap edilebilir (Çizelge 4.8).



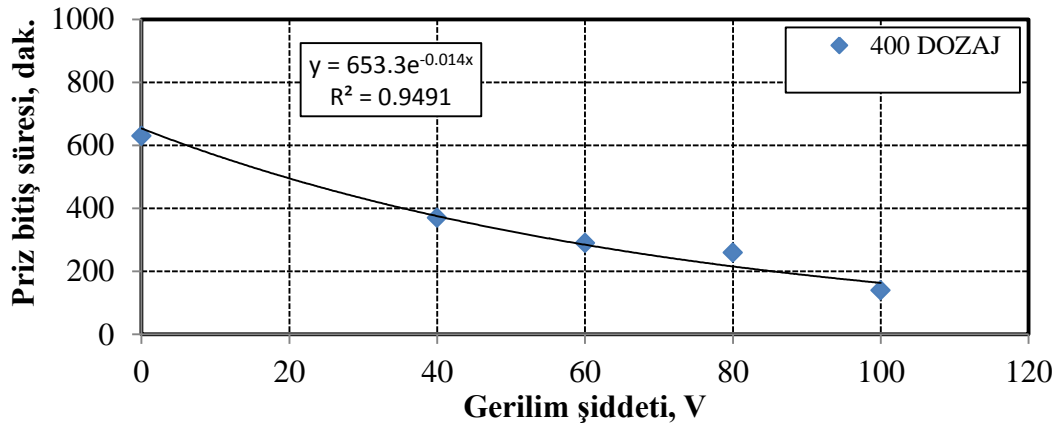
Şekil 4.37 250 dozajlı betonların gerilim şiddetine göre priz bitiş süreleri.



Şekil 4.38 300 dozajlı betonların gerilim şiddetine göre priz bitiş süreleri.



Şekil 4.39 350 dozajlı betonların gerilim şiddetine göre priz bitiş süreleri.



Şekil 4.40 400 dozajlı betonların gerilim şiddetine göre priz bitiş süreleri.

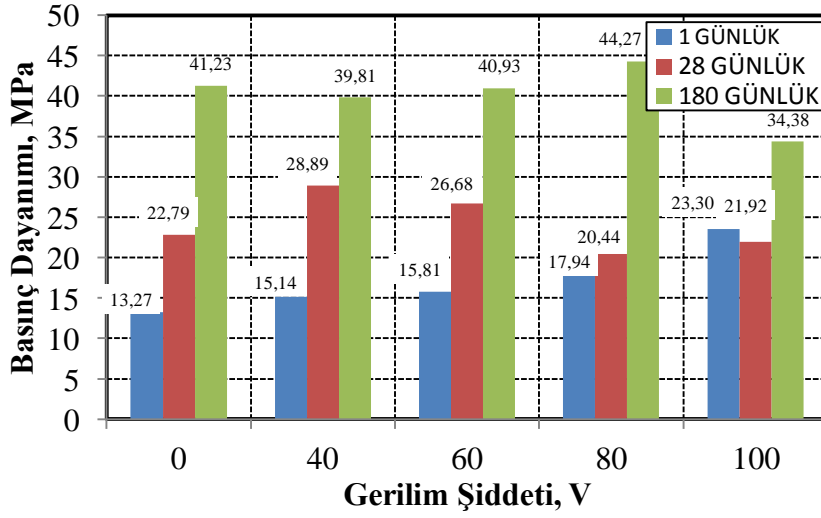
Çizelge 4.8 Priz bitiş süresi ve korolasyon katsayısının gerilim şiddetine göre belirlenmesi.

Dozaj	Priz bitiş süresi (gün)	R <sup>2</sup>
250	$y=759x23e^{-0.012x}$	0.9974
300	$y=663x76e^{-0.01x}$	0.9555
350	$y=664x18e^{-0.01x}$	0.9841
400	$y=653x3e^{-0.014x}$	0.9491

#### 4.21 Betonlarda 1, 28 ve 180. Günlerdeki Basınç Dayanımı Karşılaştırması

Betonlarda ilk günde, 28 günde ve 180. gündeki basınç dayanımı karşılaştırması yapabilmek için Şekil 4.41 hazırlanmıştır. 1. günde betona uygulanan gerilim şiddeti arttıkça betonların basınç dayanımında artış gözlenmiştir. Betonların 28 günlük basınç dayanımları ise şahit beton numunesine göre genel olarak düşük değerler almıştır. Yalnızca 40 V AC gerilim uygulanan betonlarda şahit betona göre daha yüksek basınç dayanımı elde edilmiştir. Betonların ileriki yaşlardaki basınç dayanımlarını karşılaştırabilmek amacıyla 300 dozajlı s/ç oranı 0.65 olan seriler üretilerek sırasıyla 0, 40, 60, 80 ve 100 V uygulanmıştır. Üretilen betonlar 28 gün TS standartlarına uygun kür edildikten sonra havuzdan çıkartılarak 5 ay süreyle oda koşullarında bekletilmiş, 180. günde basınç testi yapılmıştır. 180 günlük betonların şahit numuneye göre basınç dayanımlarında çok büyük kayıplar yaşanmamıştır. Yalnızca 100 V gerilim uygulanan betonda şahit betona göre yaklaşık 7 MPa düşüş gözlenmiştir. Buradan 10 x 10 x 35 cm boyutlu betonlara 80 V' a kadar gerilim uygulaması ile basınç dayanımı kaybı yaşanmadan hızlandırılmış kür yapılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

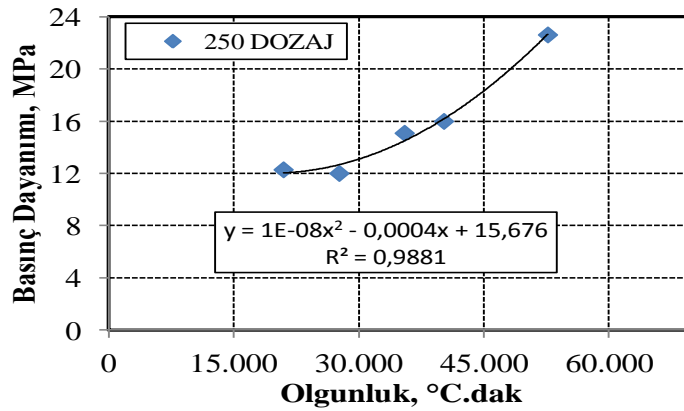




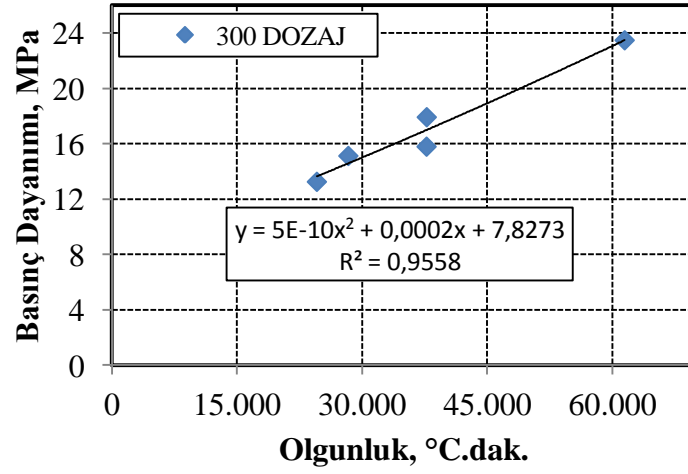
Şekil 4.41 300 Dozajlı betonların 1, 28 ve 180. günlerdeki basınç dayanımları.

#### 4.22 Betonda Olgunlukla Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

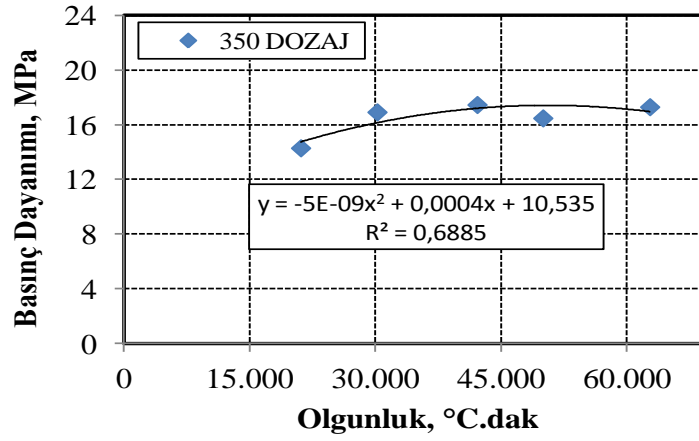
Betonlarda gerilim şiddetine göre (0, 40, 60, 80, 100 V) 1 günlük (720 dakika) olgunluk ile 1 günlük basınç dayanımı arasında ilişki kurmak için X eksenini olgunluk Y eksenini ise basınç dayanımı olacak şekilde gerilim şiddetine göre grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 4.42 - Şekil 4.45). Grafikler içinde eğim çizgisi oluşturulması sonucu 250, 300, 350 ve 400 dozajlı betonların olgunluklarına göre basınç dayanımları denklemleri elde edilmiş ve modellenmiştir. Buradan betonlarda sıcaklık ölçümü yapılması ile olgunluk hesap edilebileceği, olgunluğun hesaplanması ile de basınç dayanımının yaklaşık olarak belirlenebileceği sonucuna ulaşılmıştır.



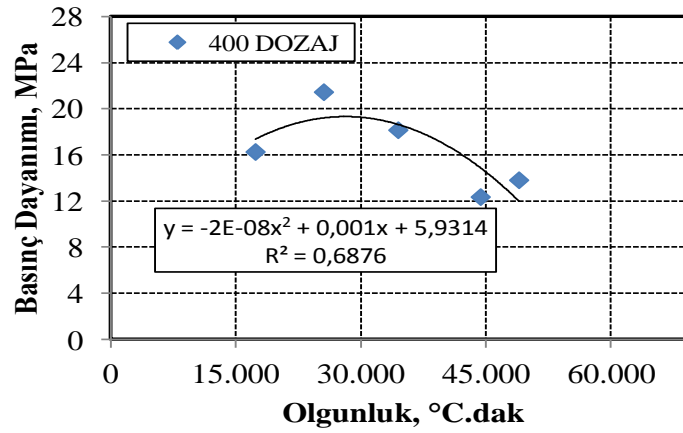
Şekil 4.42 250 Dozajlı betonların olgunluk ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.



Şekil 4.43 300 Dozajlı betonların olgunluk ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.

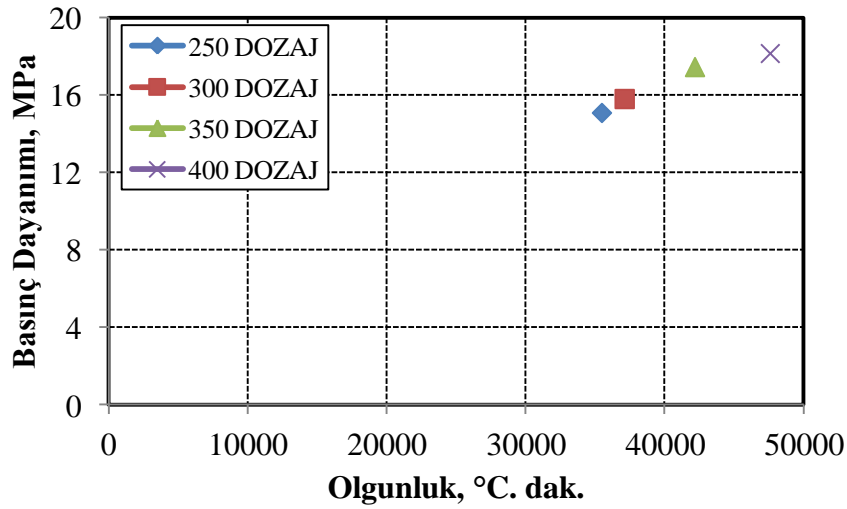


Şekil 4.44 350 Dozajlı betonların olgunluk ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.



Şekil 4.45 400 Dozajlı betonların olgunluk ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.

Betonlarda dozajın olgunluk ile basınç dayanımına etkisini araştırmak için 250, 300, 350 ve 400 dozajlı 60 V gerilim uygulanan betonların 1 gün (720 dakika) sonundaki olgunlukları, bir gün sonundaki basınç dayanımlarıyla karşılaştırılarak Şekil 4.46 oluşturulmuştur. Sonuç olarak dozajının artması ile hem olgunlukta hem de bir günlük basınç dayanımında artışa neden olmuştur. Bu durum 60 V gerilim uygulanan betonlarda, beton içindeki çimento miktarının artması sonucu beton iç sıcaklığının artmasıyla açıklanabilir. Farklı dozajlı betonların olgunluklarına göre basınç dayanımları Çizelge 4.9’ da gösterilmiştir.



Şekil 4.46 Farklı dozajlı betonların olgunlukları ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.

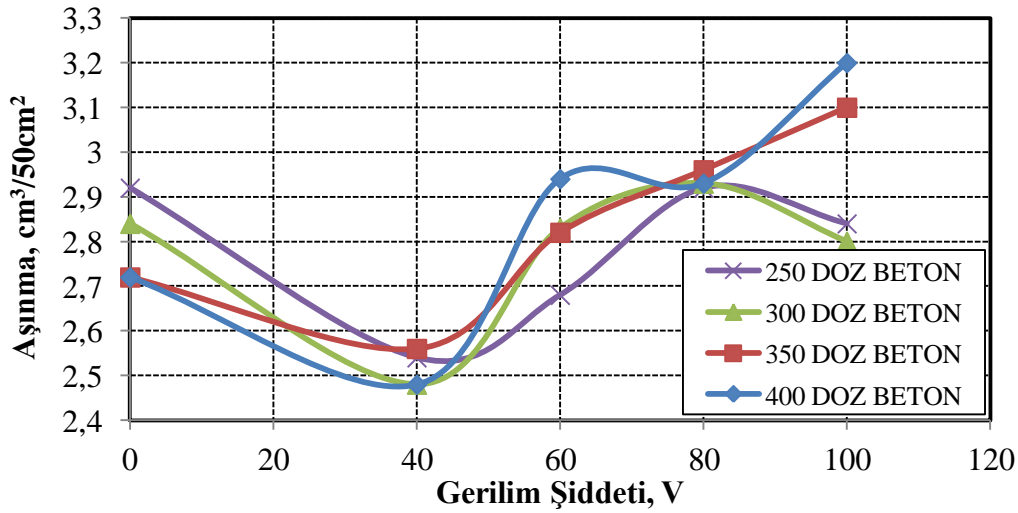
Çizelge 4.9 60 V gerilim uygulanan betonlarda olgunluk-basınç dayanımı ilişkisi.

Dozaj	Olgunluk (°C.dak.)	Basınç dayanımı (MPa)
250	35474	15,09
300	37110	15,81
350	42173	16,92
400	47589	18,16

#### 4.23 Aşınma Deneyi

Tüm dozajlarda 40 V gerilim uygulandığında en düşük aşınma değerine ulaşılmıştır (Şekil 4.47). 250, 300, 350 ve 400 dozajlı betonlara 40 V AC gerilim uygulaması ile şahit numunelerine göre sırası ile % 13.01, 12.67, 5.88 ve 8.82 oranında daha düşük aşınma meydana gelmiştir. Genel olarak betonlar üzerine 40 V üzeri gerilim uygulandığında numunelerin aşınma miktarları artmıştır. Örnek olarak 60 V gerilim

uygulanan 250, 300, 350 ve 400 dozajlı betonların aşınma değerleri 40 V gerilim uygulanan numunelere göre sırasıyla % 5.51, 54.43, 10.15 ve 18.54 daha yüksek çıkmıştır. Şahit numunelerde dozaj arttıkça aşınma miktarlarının azaldığı tespit edilmiştir. 250 ve 300 dozajlı betonların 80 V' tan 100 V' a doğru gerilim şiddeti arttıkça aşınma değerinde düşüş gözlenirken 350 ve 400 dozajlı betonlarda ise aşınma değerlerinde artış meydana gelmiştir. Bu durum 250 ve 300 dozajlı betonlarda porozitenin en yüksek değerlere yaklaşması, 350 ve 400 dozajlı betonlarda ise uygulanan gerilim şiddetinin artması ile porozitenin yükselmeye devam etmesi sebebinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

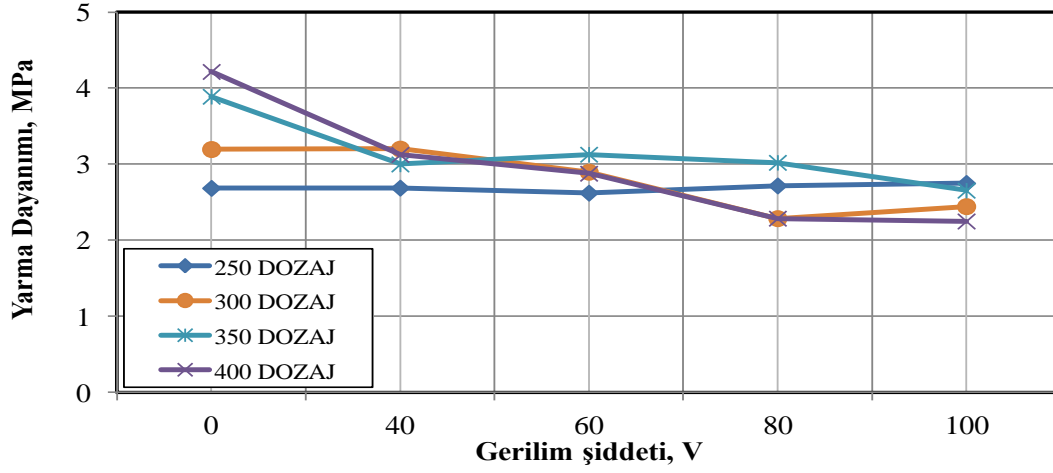


Şekil 4.47 Betonlarda dozaja ve uygulanan gerilim şiddetine göre aşınma miktarları.

#### 4.24 Yarma Dayanımı

Gerilim uygulanmayan betonların dozaja göre yarma dayanımları küçükten büyüye sırasıyla 250, 300, 350 ve 400 şeklinde sıralanmıştır. Tüm dozajlar için betonlar üzerine uygulanan gerilim şiddetleri arttıkça yarma dayanımlarında genel olarak düşüşler gözlenmiştir. 250 ve 300 dozajlı betonlarda 40 V gerilim uygulaması ile yarma dayanımında kayıp meydana gelmemiştir. 300 dozajlı betonlara sırasıyla 40, 60, 80 ve 100 V gerilim uygulaması ile yarma dayanımlarında % 0, 9.40, 10.03 ve 23.19 azalma meydana gelmiştir. Dozajın ve gerilim şiddetinin artması sonucu yarma dayanımlarında düşüş gözlenmesi betonlarda porozitenin artmasıyla açıklanabilir. Betonların yarma

dayanımlarını karşılaştırmak amacıyla Şekil 4.48 hazırlanmıştır.

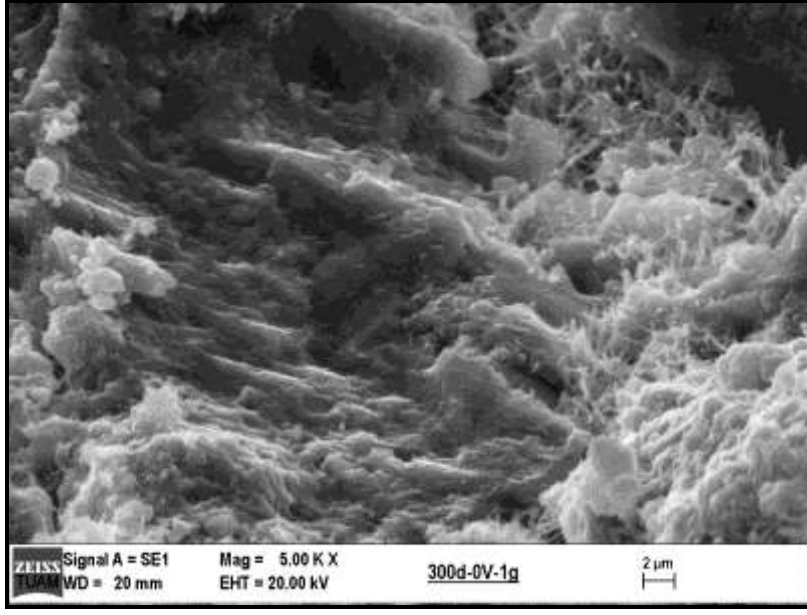


Şekil 4.48 Betonlarda dozaja ve uygulanan gerilim şiddetine göre yarma dayanımı.

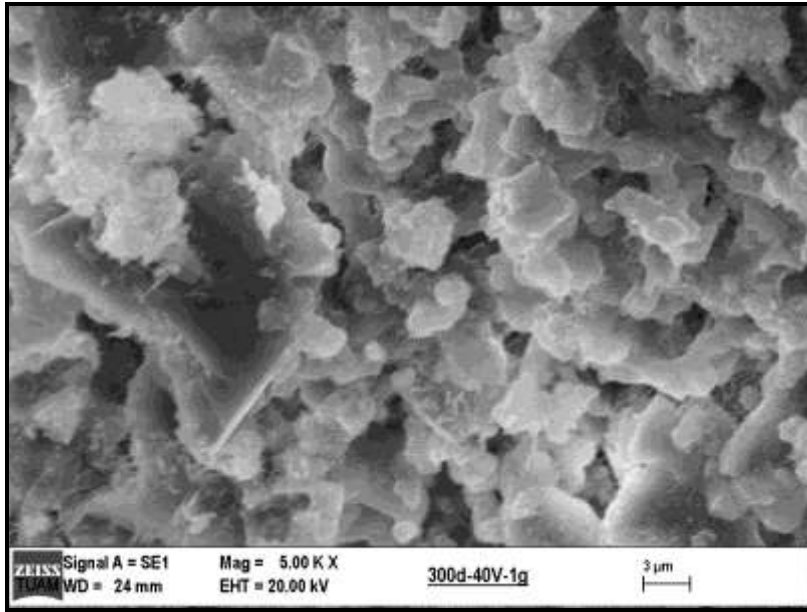
## 4.25 Betonlarda 1 Günde ve 6 Ayda Mikro İnceleme

### 4.25.1 Bir Günlük Betonlarda SEM Analizi

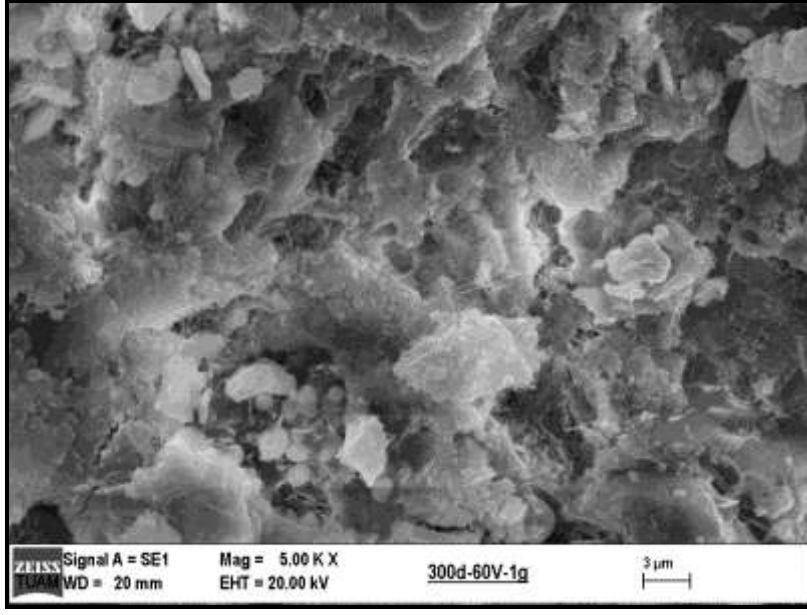
S/ç oranları 0.65 olan 300 dozajlı betonlara sırasıyla 0, 40, 60, 80 ve 100 V AC gerilim uygulanmış, 1 günlük betonların 5000 kat büyütülmesi sonucu SEM görüntüleri Şekil 4.49, Şekil 4.50, Şekil 4.51, Şekil 4.52 ve Şekil 4.53' da gösterilmiştir. Şahit numunede 1 gün sonunda reaksiyonların yeni başladığı, betonlar üzerine uygulanan gerilim şiddeti arttıkça reaksiyonların hızlandığı gözlenmiştir. Bu durum betonlara uygulanan gerilim şiddetinin artmasıyla beton iç sıcaklığı artması ve hidrasyon hızının artmasıyla açıklanabilir. Betonlara yalnızca 40 V gerilim uygulandığında bile şahit numuneye göre çok belirgin farklar gözlenmiştir. Betonlara 60 ve 80 V AC gerilim uygulanması sonucu hidrasyon reaksiyonları biraz daha hızlanmıştır. Betonlara 100 V AC gerilim uygulandığında reaksiyon hızı çok yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum tezin diğer bölümlerindeki sonuçlarla örtüşmektedir.



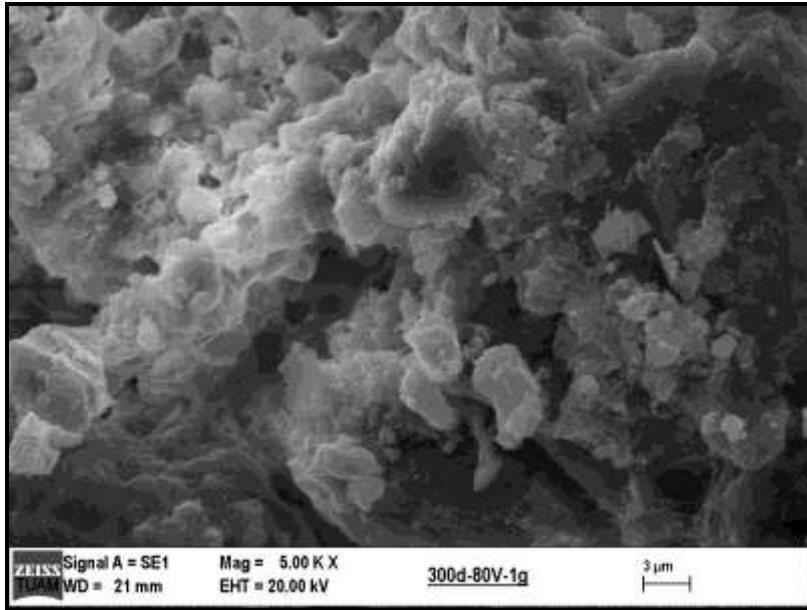
Şekil 4.49 300 dozaj şahit 1 günlük betonda SEM görüntüsü.



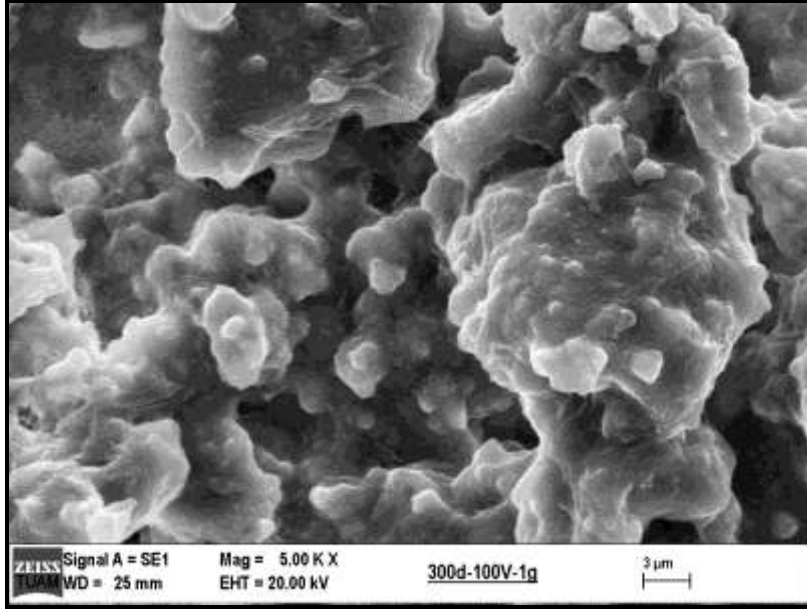
Şekil 4.50 300 dozaj 40 V gerilim uygulanan 1 günlük betonda SEM görüntüsü.



Şekil 4.51 300 dozaj 60 V gerilim uygulanan 1 günlük betonda SEM görüntüsü.



Şekil 4.52 300 dozaj 80 V gerilim uygulanan 1 günlük betonda SEM görüntüsü.

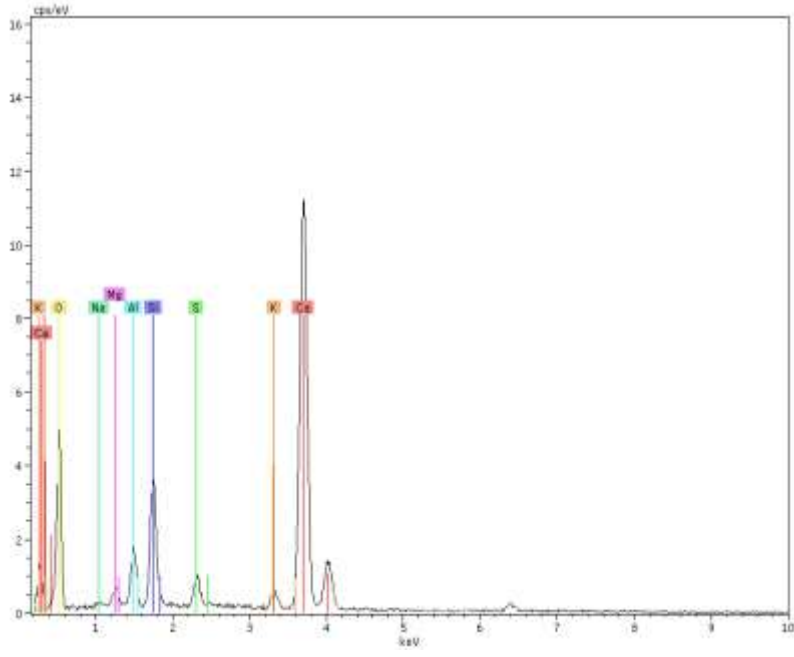


Şekil 4.53 300 dozaj 100 V gerilim uygulanan 1 günlük betonda SEM görüntüsü.

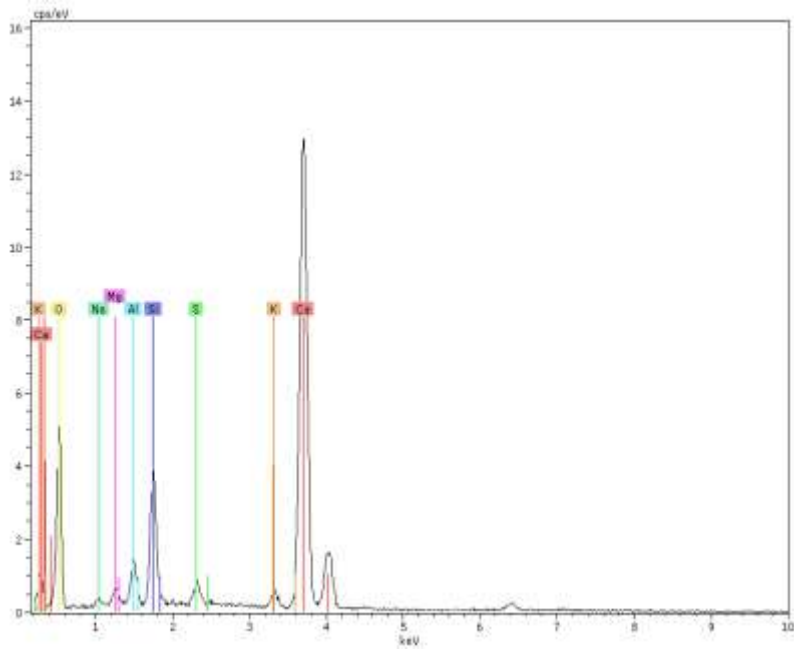
#### 4.25.2 Bir Günlük Betonlarda EDS Analizi

Çimento ile suyun birleşmesinden itibaren ilk 10 dakikada Kalsiyum (Ca) ve Hidroksil (OH) iyonları solisyon içerisinde girer (Wei *et al.* 2006). Daha sonara yarı kristal kalsiyum hidrat jelleri (C-S-H) çökmesi dışında Ca ve OH konsantrasyonları yavaş yavaş artmaya devam etmektedir (Buenfeld *et al.* 1987, Li *et al.* 2007). Çimento bazlı malzemelerde hidrasyon derecesi; oluşan hidrasyon ürünleriyle ve ürünlerin boşluk yapısıyla doğrudan ilişkilidir (Levita *et al.* 2000). C-S-H jelleri beton ve diğer çimento bazlı malzemelerde mühendislik performansında en önemli rolü oynamaktadır. Araştırmanın daha kapsamlı olması için 300 dozajlı s/ç oranları 0.65 olan sırasıyla 0, 40, 60, 80 ve 100 V gerilim uygulanmış 1 günlük betonlarda EDS analizi yapılmıştır. Şekil 4.54 – Şekil 4.58’ de görülen kalsiyum (Ca), silisyum (Si), sodyum (Na), alüminyum (Al), magnezyum (Mg) ve kükürt (S) tepe noktalarının milyonda bir parça (ppm) cinsinden element sayılarını ifade etmektedir (Kırgız 2011). Klinkerin ana fazları Çizelge 4.10’ da gösterilmiştir. Çizelge 4.10’ dan de görüleceği üzere çimentonun hidrasyonunda en etkili elementler Kalsiyum ve Silisyumdur. Chuanlin (2014) yapmış olduğu araştırmada Ca/Si oranının artması C-S-H jellerinin oluşumunun artmasına neden olduğunu belirlemiştir. Betonlara uygulanan gerilim şiddeti 0 V’ tan 80 V’ a kadar artmasıyla karışım içindeki Ca/Si oranının artmasına sebep olmuş, dolayısıyla; C-S-H jellerinin daha çabuk ve daha fazla oluşmasına sebep olmuştur (Çizelge 4.11).

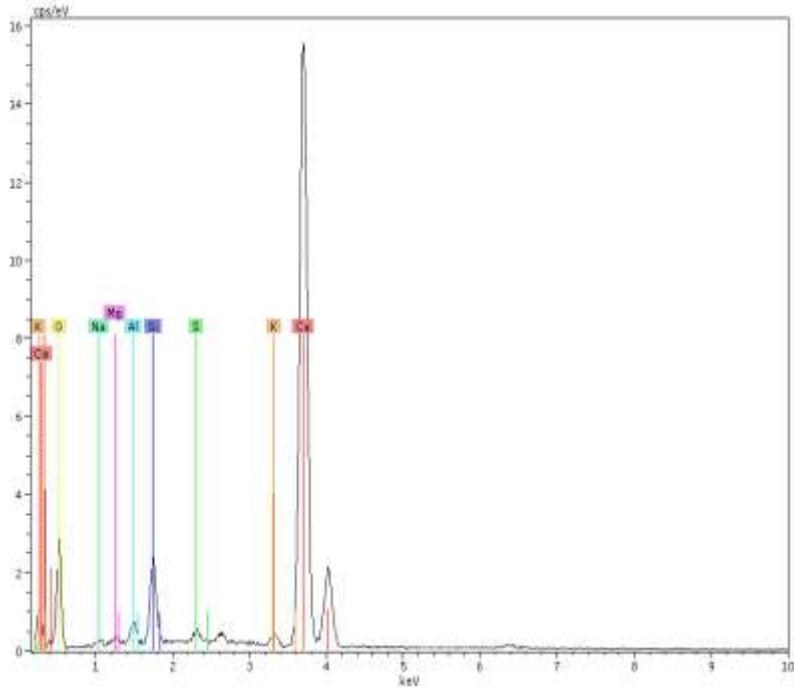




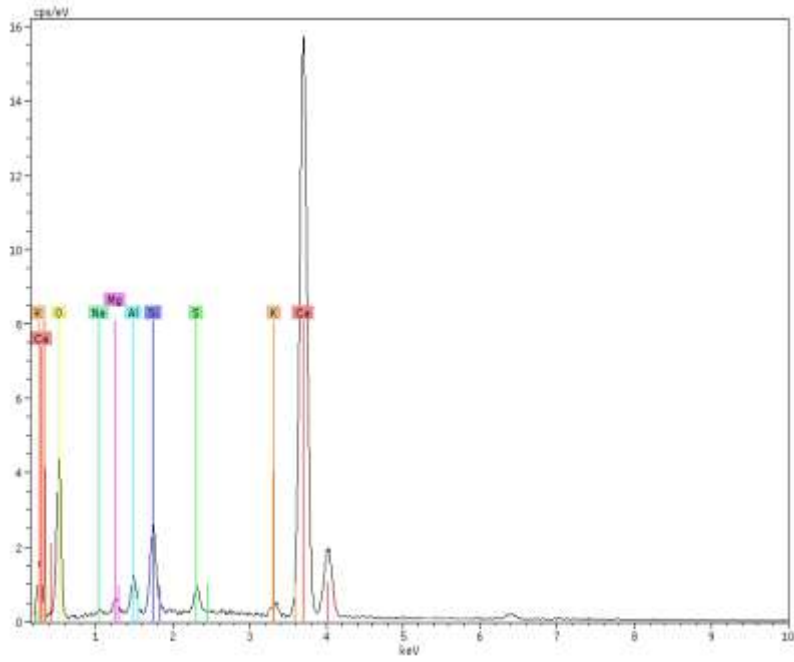
Şekil 4.54 300 dozaj şahit 1 günlük betonda EDS analizi.



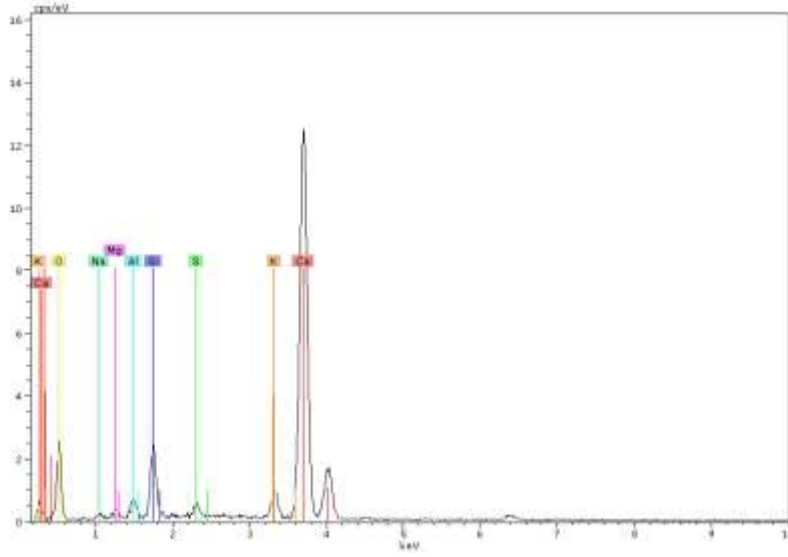
Şekil 4.55 300 dozaj 40 V gerilim uygulanan 1 günlük betonda EDS analizi.



Şekil 4.56 300 dozaj 60 V gerilim uygulanan 1 günlük betonda EDS analizi.



Şekil 4.57 300 dozaj 80 V gerilim uygulan 1 günlük betonda EDS analizi.



Şekil 4.58 300 dozaj 100 V gerilim uygulanan 1 günlük betonda EDS analizi.

Çizelge 4.10 Klinkerin ana fazları.

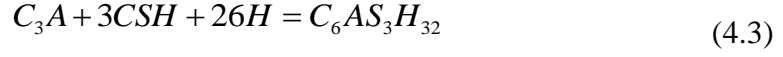
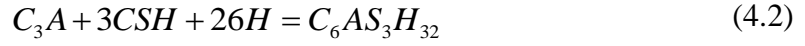
İsim	Kimyasal Formül	Kısaltma
Alit	3CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S
Belit	2CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S
Aluminat	3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A
Ferrit	4CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF

Çizelge 4.11 Bir günlük betonların uygulanan gerilim şiddetine göre EDS analizi.

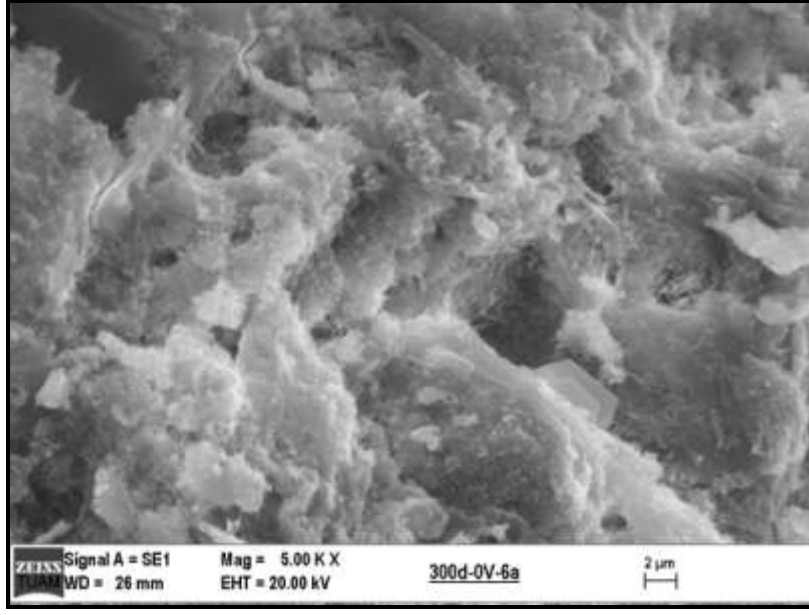
Gerilim (V)	Kimyasal Analiz (%)								
	O <sub>2</sub>	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ca/Si
0	74.04	0.79	1.10	2.26	5.01	0.99	0.40	15.41	3.07
40	73.53	0.80	1.03	1.79	4.91	0.81	0.31	16.83	3.42
60	73.36	0.64	0.76	1.21	3.11	0.74	0.24	19.94	6.14
80	69.09	0.49	0.35	0.81	3.40	0.72	0.17	24.96	7.34
100	68.70	0.30	0.38	0.95	4.06	0.66	1.89	23.85	5.87

#### 4.25.3 Altı Aylık Betonlarda SEM Analizi

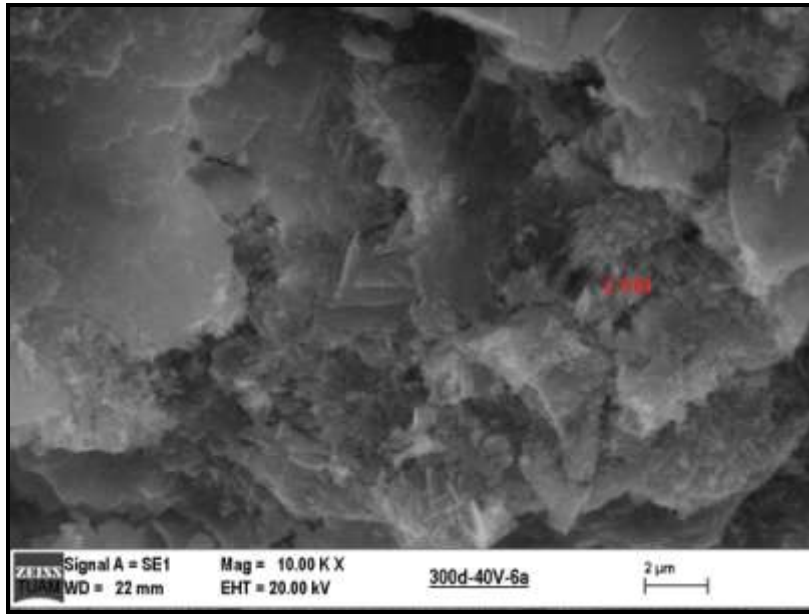
Betonların ileriki yaşlardaki mikro yapısındaki değişimi gözlemek için 300 dozajlı s/ç oranları 0.65 olan betonlara 1 gün süreyle sırasıyla 0, 40, 60, 80 ve 100 V AC gerilim uygulanmıştır. Kalıplardan çıkartılan betonlar 28 gün kür edildikten sonra 5 ay boyunca oda koşullarında bekletilmiş ve SEM incelemesi yapılmıştır (Şekil 4.59- Şekil 4.63). Çimentonun hidretasyon reaksiyonları aşağıdaki gibi oluşmaktadır.



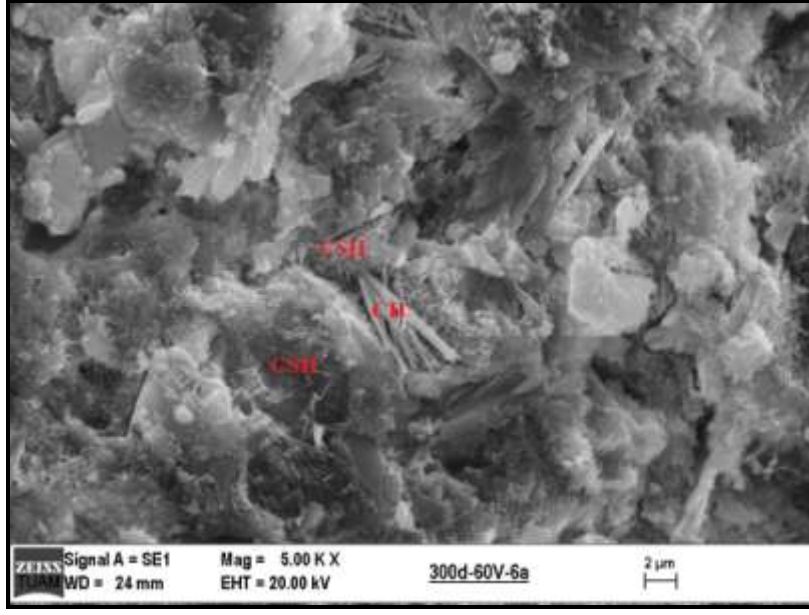
Hem  $C_3S$  hem de  $C_2S$  bir miktar su ile birleştiğinde, ortaya çıkan hidrasyon ürünleri  $CH$  ve  $C_3S_2H_3$ ' dir.  $CH$ , kalsiyum hidroksittir ( $Ca(OH)_2$ ).  $CH$  çimento dayanıklılığını etkileyen en önemli parametredir. Su ile etkileşince çözünmektedir ve çimentonun boşluklu yapısının temel sebebini oluşturmaktadır.  $C_3S_2H_3$  tobermorit (C-S-H jeli) olarak adlandırılmaktadır. Çimento hamurunun dayanım kazanması C-S-H jelleri miktarına bağlıdır. İlk zamanlarda  $C_3S$  ana bileşenin hidrasyonu  $C_2S$  ana bileşenin hidrasyonundan daha hızlı yer aldığı için  $C_3S$ ' in ilk zamanlarda dayanım artışına katkısı daha çok olmaktadır.  $C_3A$  ve su arasındaki reaksiyonlar çok büyük bir hızla meydana gelerek yüksek ısı çıkartmakta ve kalsiyum-alümino-hidratları oluşturmaktadır.  $C_3A$ ' nın hidrasyonu sonu sonucu  $C_4ASH_{12}$  ve  $C_6AS_3H_{32}$  (etrenjit) oluşmaktadır. Bu kristalin oluşması çimento hamurunun içerisinde çok büyük genleşmelere yol açmakta, sertleşmiş çimentonun çatlamasına neden olmaktadır (Erdoğan, 2003). Şahit betonun 6 aylık sem görüntüsü incelendiğinde çimento hamurunun dayanım kazanmasında en etkili hidrasyon ürünü olan C-S-H jellerinin olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.59). 40 V gerilim uygulanan betonlarda C-S-H jellerinin oluşumu şahit betona göre daha fazla olduğu görülmüştür (Şekil 4.60). 60 V gerilim uygulanan betonda C-S-H ürünlerinin olduğu 40 V gerilim uygulanan betona göre daha net görülmüştür (Şekil 4.61). Tobermorit jellerinin yanı sıra  $CH$  olduğu görülmüştür. 80 V gerilim uygulanan betonda C-S-H jellerinin birbirine daha geçtiği, hidrasyon reaksiyonlarının daha verimli gerçekleştiği ve  $CH$ ' ların olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.62). 100 V gerilim uygulanan betonda ise C-S-H ve  $CH$ ' ın oluşumu net bir şekilde görülmüştür (Şekil 4.63). Buradan uzun vadede uygulanması gereken optimum gerilim şiddetinin 60 ve 80 V olacağı sonucuna ulaşılmıştır.



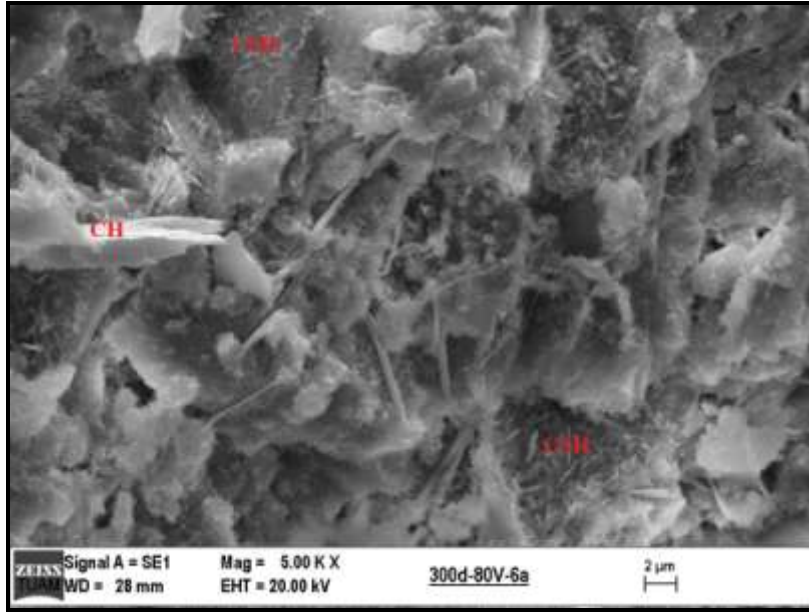
Şekil 4.59 300 dozaj şahit 6 aylık betonda SEM görüntüsü.



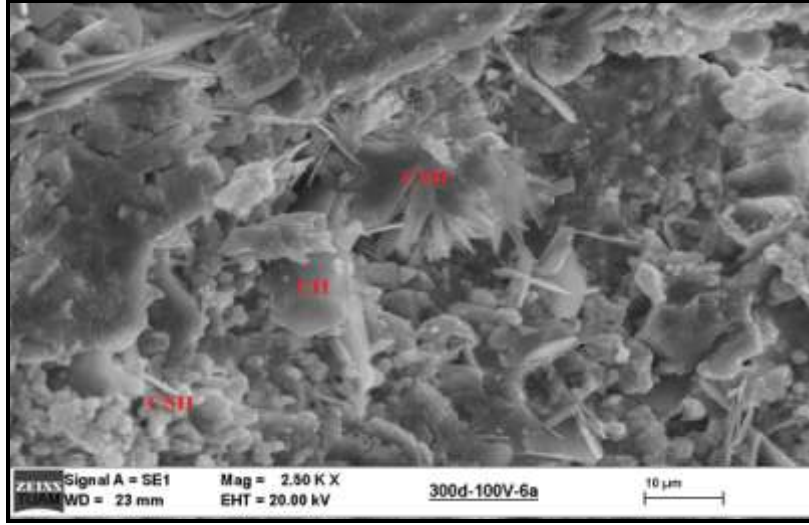
Şekil 4.60 300 dozaj 40 V gerilim uygulanan 6 aylık betonda SEM görüntüsü.



Şekil 4.61 300 dozaj 60 V gerilim uygulanan 6 aylık betonda SEM görüntüsü.



Şekil 4.62 300 dozaj 80 V gerilim uygulanan 6 aylık betonda SEM görüntüsü.



Şekil 4.63 300 dozaj 100 V gerilim uygulanan 6 aylık betonda SEM görüntüsü.

#### 4.26 Gözlemsel İnceleme

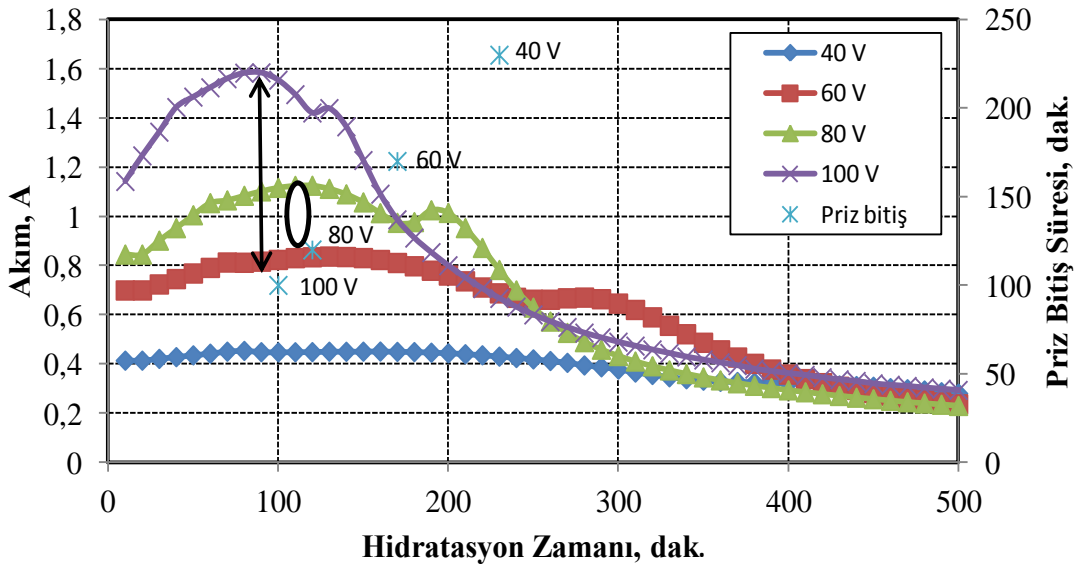
S/ç oranları 0.65 olan 300 dozajlı betonlar 15 x 15 x 60 cm boyutundaki 3 adet kalıba doldurulmuştur. Kalıpların bir tanesine 2 adet plaka saplanmış, bir tanesine 4 adet plaka saplanmış ve AC güç kaynağından 80 V gerilim uygulanmıştır. Diğer plaka ise gerilim uygulanmadan oda koşullarında priz alması sağlanmıştır. 1 gün sonunda gerilim uygulanan betonların rengi gerilim uygulanmayan betonun renginden farklı olduğu görülmüştür (Resim 4.1). 1 gün sonra elle ve gözle yapılan incelemede gerilim uygulanan betonlarda sertleşmenin tamamlandığı gerilim uygulanmayan numunede ise sertleşmenin henüz tamamlanmadığı gözlenmiştir.



Resim 4.1 80 V AC gerilim uygulanan 1 günlük betonların görünümü.

#### 4.27 Betonlarda Hidratasyon Süresince Çekilen Akım ile Priz Süresi Tahmini

S/ç oranı 0.65 olan 300 dozajlı 10 x 10 x 35 cm boyutlarındaki betonlara sabit frekansta (50 Hz) sırasıyla 40, 60, 80 ve 100 V AC gerilim uygulanmıştır. Hidratasyon süresince akım kaydederek kullanılarak betonlar üzerinden geçen akımlar kaydedilerek Şekil 4.64 oluşturulmuştur. Beton üzerine uygulanan gerilim şiddeti arttıkça çekilen akım miktarının da arttığı belirlenmiştir. Şekil 4.64 incelendiğinde tüm gerilim şiddetlerinde beton üzerinden geçen akım 2 kez pik yapmıştır. Birinci pik' in betonun yaklaşık olarak priz sona erme süresi olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.64 incelendiğinde sıcaklık ölçümü ile belirlenen priz bitiş sürelerinin betonlar üzerinden geçen akımın ilk pik yaptığı dakikaya kadar geçen süreler hemen hemen aynı dakikalar olduğu belirlenmiştir. Buradan hidratasyon süresince betonlardan geçen akımı ölçerek priz sona erme süresi hakkında bilgi edinilebilir.



Şekil 4.64 300 dozajlı betonlarda hidratasyon süresince gerilim şiddetine göre çekilen akımlar.

#### 4.28 Maliyet Analizi

Betonlar üzerine uygulanan gerilim şiddeti arttıkça priz sona erme süresi kısalsa da harcanan enerji artmaktadır. Betonların kullanım amacına göre maliyetin önemli olmadığı çabuk tamirat gerektiren işlemlerde yüksek gerilim uygulanarak betonlar daha kısa sürede servis edilebilir. Diğer durumlarda ise betonlar üzerine daha uzun süre ile



daha düşük gerilim uygulamak suretiyle daha az enerji harcanır. Farklı gerilim şiddeti uygulanan betonlarda priz sona erme süresine kadar geçen zamanda harcanan elektrik enerjileri Çizelge 4.12’ de karşılaştırılmıştır.

**Çizelge 4.12** Farklı gerilim şiddeti uygulanan betonlarda harcanan elektrik enerjisi.

<b>Gerilim (V)</b>	<b>Priz bitiş (Saniye)</b>	<b>Maliyet (Mega Joule)</b>	<b>Maliyet (kWh)</b>
40	15600	3,695	1,026
60	10800	5,008	1,391
80	8400	5,413	1,503
100	6600	5,990	1,664

#### **4.29 Hızlandırılmış Kürde Boyut Etkisi ve Yerinde Uygulanabilirliği**

Buraya kadar betonların içerisine birbiriyle bağlantısız bakır levha gömülmek suretiyle betonlarda elektriksel kür yapılıp yapılamayacağı araştırılmıştır. Elektriksel kürün yerinde uygulanabilirliğini araştırmak için 15 x 15 x 60 cm’ lik plastik kalıbın içerisine etriyeli donatı konulmuştur. Altta ve üste 2’şer adet 80 mm’ lik çapa sahip S420 nervürlü çelik kullanılmıştır. Etriyeler her 10 cm’ de bir hazırlanarak ince tel yardımıyla sabitlenmiştir. Kalıp yan kenarlarında 2.5’ ar cm pas payı bırakılmıştır (Resim 4.2). 300 dozaj s/ç oranı 0.65 olan beton hazırlanarak kalıp doldurulmuş ve vibrasyon uygulanmıştır.



**Resim 4.2** Donatılı beton hazırlanması.

Betonda elektriksel kür işlemi yapmak için ilk olarak AC güç kaynağının pozitif (+) kutbu doğrudan betonun içinden çıkan donatının bir ucuna, AC güç kaynağının negatif (-) kutbu ise numunenin diğer ucundaki donatıya bağlanarak AC güç kaynağı çalıştırılmıştır. Ancak; kısa bir süre sonra kısa devre meydana gelmiş ve AC güç kaynağı gerilim vermeyi otomatik olarak durdurmuştur.

Kısa devre yaşanmaması için sisteme ampül bağlanması düşünülmüştür (Resim 4.3). Ampül sisteme önce seri bağlanmış Ancak; plastik kıvamdaki betonun elektriksel direnci çok düşük olması sebebiyle 150 V gibi yüksek gerilimde bile akım beton içerisinde hiçbir etki göstermeden beton üzerinden geçip ampülü yakmıştır. Daha sonra ampülün sisteme paralel bağlanması düşünülmüştür. Ancak yine verimli bir sonuca ulaşamamıştır. Son olarak beton içine sistemden bağımsız olarak 5cm x 10cm' lik 2 adet bakır levha saplanmış ve AC güç kaynağından gelen pozitif (+) ve negatif (-) uçlar saplanan bakır levhalara bağlanmıştır. 40 V AC gerilim uygulanarak sistem çalıştırılmıştır (Resim 4.4). Sistem kısa devre yapmadan verimli bir şekilde çalıştığı gözlenmiştir. Plakaların nerelere gömülmesi gerektiğini belirlemek için önce AC güç kaynağının pozitif ve negatif uçları birbirine yakın olacak şekilde plakalar yerleştirilmiştir. Betonarme sistemin AC güç kaynağından çok yüksek akım çektiği gözlenmiştir. Beton içine gömülecek plakalar arası mesafe uzaklaştıkça AC güç kaynağından daha düşük akım çektiği ve daha verimli sonuçlar elde edilebileceği

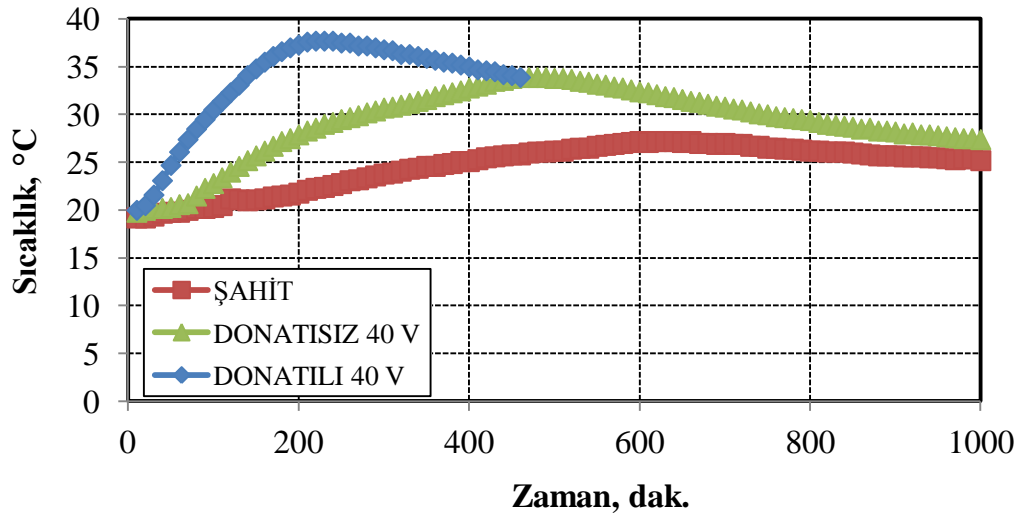
sonucuna ulaşılmıştır. Donatılı betonda sıcaklık ölçümü yapılarak, priz sona erme süresi 250 dakika olarak belirlenmiştir (Şekil 4.65). Donatısız 40 V gerilim uygulanan ve şahit betonlarda priz bitiş süreleri sırasıyla 510 ve 630 dakika olduğu görülmüştür. Sonuç olarak betonarme elemanlar betona zarar vermeden ve sertleşme sonrası basit tamirat gerektiren beton içerisine plaka gömülmesi suretiyle elektriksel kür yapılabilir.



**Resim 4.3** Betonarme sisteme ampül bağlanması.



**Resim 4.4** Betonarme sisteme AC gerilim uygulanması.



Şekil 4.65 300 dozaj 40 V gerilim uygulanan donatılı ve şahit betonda priz süresi.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

### 5.1 Tartışma

Bu çalışmada çimento esaslı beton harcına ve betona AC gerilim uygulanarak betonun içeriği ve gerilim şiddeti değiştirilerek kür süresini kısaltmak hedeflenmiştir. Bu araştırmalar sonucunda elde edilen sonuçlar bir önceki bölümde geniş şekilde ele alınmıştır. Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde tartışılmıştır.

**i.** Tüm dozajlar için sırasıyla 0, 40, 60, 80 ve 100 V AC gerilim uygulaması ile gerilim şiddeti arttıkça priz sona erme süresi kısaltılabilir. Beton üzerine elektrik akımı uygulaması sonucu hidrasyon süresi ile uygulanan gerilim şiddeti ilişkilendirilebilir. Deneysel sonuçları (Salem ve Ragai, 2000) tarafından yapılan çalışmalarda olduğu gibi; çimento pastasının, harcın ve betonun elektrik iletkenliği ile hidrasyon süresinin arasında yakın ilişki bulunmaktadır.

**ii.** Numuneler üzerine uygulanan gerilim şiddeti arttıkça hidrasyonun ilk aşamasındaki akım geçişi daha yüksek iken sertleşme sonrasındaki akım geçiş oranındaki azalma oranı olgunluk-zaman grafikleri incelendiğinde daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu sonuç McCarter vd. (2013) yapmış oldukları araştırma ile örtüşmektedir. McCarter vd. (2013) betondaki kısa ve uzun dönemli kür döneminde priz alma ve sertleşme süresince iletkenlikteki ısı azalmasını incelemişler, elektriksel özelliğin çimento bağlayıcının hidrasyon süresini belirlemede kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca elektriksel özellik ölçümleri sonucu hidrasyon ve puzolonik reaksiyonların boşluk yapılarını geliştirdikleri yorumunu yapmışlardır.

**iii.** Betonlara AC gerilim uygulanarak aynı zamanda sıcaklık ölçümü yapılarak priz sona erme süreleri belirlenmiştir. Gerilim uygulanan betonlar ile şahit numuneler karşılaştırıldığında gerilim uygulanan numunelerin gerilim uygulanmayan numunelere göre çok daha erken sürede priz aldığı görülmüştür. Sanish vd (2013) erken yaştaki hidrasyon ürünlerini belirlemede elektrik akımı uygulaması ile; mineral katkı,

kimyasal katkı, katkısız çimento pastası ve betonların boşluk yapı özelliklerini araştırmışlardır. Çimento pastası ve çimento esaslı harcın priz başlama ve priz sona erme süreleri elektriksel özellik ile tahmin edilen metotlarla benzerlik gösterdiği, elektriksel iletkenliğin priz alma işleminde bir araç olarak kullanılabilceği sonucuna ulaşmışlardır. Bu sonuç tezdeki elde edilen sonuçla örtüşmektedir.

**iv.** Betonlara uygulanan frekans şiddeti arttıkça 1 günlük ve 28 günlük basınç dayanımlarında da genel olarak artışlar gözlenmiştir. Ancak 250 Hz frekans şiddetinde en olumlu sonuçlar gözlenmiştir. 250 Hz 80 V AC gerilim uygulanan betonların 1 günlük basınç dayanımları 50, 100 ve 500 Hz 80 V AC gerilim uygulanan basınç dayanımlarından sırası ile % 16.83, 6.12 ve 3.5 yüksek çıkmıştır. Bu durum 250 Hz frekans şiddetinde diğer frekans şiddetlerine göre daha düşük beton iç sıcaklığa sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Yapılan bazı araştırmalar 45-50 °C üzerindeki beton iç sıcaklıklarında betonun dayanım kazanma hızının artmasında çok etkili olmadığı belirlenmiştir (Mindess ve Young 1981, Neville ve Brooks 1987). Bu durum tez sonuçlarıyla örtüşmektedir.

**v.** Gerilim uygulanmayan betonlara belirli oranlarda hiperakışkanlaştırıcı (% 0, % 0.5, % 1, % 1.5) konulduğunda 1 günlük basınç dayanımları açısından % 0.5 oranında en yüksek basınç dayanımı elde edilmiştir. Bu durum beton içine % 0.5 oranından fazla miktarda hiperakışkanlaştırıcı konulduğunda betonlarda hidrasyonun ilk aşamalarında kuma meydana getirmesinden kaynaklanmaktadır. Gerilim uygulanmayan betonların 28 günlük basınç dayanımları açısından ise beton içerisindeki hiperakışkanlaştırıcı oranının artması ile betonların 28 günlük basınç dayanımlarında artış gözlenmiştir. Gerilim uygulanan hiperakışkanlaştırıcılı betonlarda ise 28 günlük basınç dayanımlarında ciddi düşüşe sebep olmuştur. Bu durum betonun içine hiperakışkanlaştırıcı konulması, oranının artırılması ve gerilim uygulanması neticesinde beton iç sıcaklığını arttırmasından kaynaklanmaktadır.

**vi.** Betonlarda plakalar arası mesafe kısılmasını ile priz süresinin kısaltılabileceği görülmüştür. Plakalar arası mesafe arttıkça beton iç sıcaklıklarında artış meydana gelmiştir. Bu durum plaklar arası mesafe uzaması sonucunda plastik kıvamdaki betonun

daha çok iletkenlik göstermesinden kaynaklanmaktadır.

**vii.** S/ç oranının artmasıyla gerilim uygulanmayan betonların basınç dayanımında düşüş gözlenmiştir. Bu durum önceki yapılan araştırmalarla örtüşmektedir. Betonun s/ç oranının artması sonucu boşluk oranı artmakta ve dolayısıyla basınç dayanımı azalmaktadır. Gerilim uygulanan betonların 1 günlük basınç dayanımlarında AC akımın betonun hidratasyon ısısını yükseltmesinden dolayı artışlar gözlenmiştir. Ancak; 28 günlük basınç dayanımlarında ise düşüşler gözlenmiştir. En fazla düşüş en yüksek s/ç oranına sahip (0.70) betonlarda gözlenmiştir. Bu durum hidratasyon süresince betona gerilim uygulanması sonucu beton iç sıcaklığın en fazla; s/ç oranına sahip (0.70) olan karışımda arttığı ve buharlaşmanın en fazla bu orana sahip betonlarda görülmesinden kaynaklanmaktadır. Betonlara AC gerilim uygulandığında, 28 günlük basınç dayanımı açısından en verimli sonuçlar s/ç oranı 0.55 olan betonlarda görülmüştür.

**vii.** Genel olarak tüm dozajlar için 40 V AC gerilim uygulandığında 28 günlük basınç dayanımı için en verimli sonuçlar elde edilmiştir. 40 V üzeri gerilimlerde ise basınç dayanımlarında beton iç sıcaklıklarında aşırı yükselmelere neden olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum ACI 116 R standardına göre betonun hidratasyon ısısı 100 °F (38 °C) olduğunda beton dayanım kaybetmeden priz sona erme süresinin kısaltılabileceği sonucuyla örtüşmektedir.

**vii.** Betonlar üzerine uygulanan AC gerilim şiddeti arttıkça bir önceki gerilim şiddetine göre daha kısa sürede olgunluk kazanıp, betonlar daha kısa sürede priz almıştır. Aynı gerilim şiddeti uygulanmış 250, 300, 350 ve 400 dozajlı betonların olgunlukları karşılaştırıldığında dozaj arttıkça betonların daha kısa sürede olgunluk kazandığı görülmüştür.

**ix.** Beton sıcaklığı ile priz süresi arasında ilişki kurulabilir. Çimento pastasının priz süresi – zaman ve sıcaklık – zaman grafikleri üst üste çakıştırılarak, priz süresi ile çimento pastasının sıcaklığı arasında yakın ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Priz sona erme süresi ile sıcaklık – zaman grafiğindeki pik yaptığı dakika hemen hemen aynı dakikalara karşılık geldiği gözlenmiştir. Bu nokta çimento pastasının priz sona erme

süresidir. Dolayısıyla betonda priz alma süresi boyunca sıcaklık ölçümü yaparak priz sona erme süresi ve olgunluk hakkında yorum yapılabilir. Solgaard vd. (2014) araştırmalarında betonun elektriksel direnci ile nem içeriği ve sıcaklığın etkili olduğu sonucuna ulaşmışlar ve betonda elektriksel direncin sıcaklık üzerindeki etkisini modellemişlerdir. Dolayısı ile betonda hidratasyon süresine bağlı olarak sıcaklık ölçümü yapılarak priz sona erme süresi ilişkilendirilebilmektedir.

**x.** Gerilim uygulanan betonlarda gerilim uygulanmayan betonlara göre daha çabuk olgunluk kazandığı görülmüştür. Kalıp sökme süresini belirlemek amacıyla çeşitli hasarsız yöntemler kullanılarak betonun dayanımı hakkında fikir edinilebilir (Topçu, 2002 a ve b). Gerilim şiddeti uygulanan betonlarda frekans şiddetine göre olgunluk büyüklükleri sırasıyla 500, 50, 100 ve 250 Hz şeklinde sıralanmıştır.

**xi.** Bu tez sonucunda elektriksel direncin ve priz sona erme süresinin; uygulanan gerilim şiddetine, hiperakışkanlaştırıcı katkı miktarına, çimento tipine, porozite oranına bağlı olduğuna ulaşılmıştır. Bu araştırma neticesinde McCarter vd. (2014) yaptıkları çalışmayla benzer sonuçlar elde edilmiştir. McCarter vd. (2014) beton karışımlarındaki elektriksel iletkenlik oranının ilave katkı kullanarak ve ilave katkı kullanmadan -30 °C ile 70 °C aralığında araştırmışlardır. Sonuç olarak betonun iletkenlik ve aktivasyon enerjileri; katkı tipine, boşluk suyunun fiziksel durumuna ve termal çevrimine göre değişebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

**xii.** Bu araştırma sonucunda s/ç oranının priz sona erme süresini değiştirmemektedir. Bu sonuç; Junior vd. (2016) yapmış oldukları araştırmanın sonucuyla örtüşmektedir. Junior vd. (2016) s/ç oranıyla betonun elektriksel direnci arasında ilişki olup olmadığını araştırmışlardır. Sonuç olarak; aynı çimento tipiyle üretilen betonlarda s/ç oranının elektriksel direnç üzerinde etkili olmadığını belirlemişlerdir.

**xiii.** Gerilim uygulanmayan betonlarda s/ç oranının artmasıyla betonların olgunluklarının arttığı görülmüştür. Aynı durum gerilim uygulanan numunelerde de görülmüştür. Betonlara 80 V AC gerilim uygulandığında bir önceki s/ç oranına göre olgunlukları fark edilebilir şekilde yüksek çıktığı görülmüştür. Hem



hiperakışkanlaştırıcı konulan hem de gerilim uygulanan betonlarda ve hiperakışkanlaştırıcı konulup gerilim uygulanmayan betonlarda; hiperakışkanlaştırıcı oranının olgunluğa büyük etkisi olmadığı görülmüştür.

**xiv.** Betonlarda yapılan 28 günlük basınç dayanımlarından elde edilen sonuçlar ile boşluk oranı deneyinden elde edilen sonuçlar örtüşmektedir. Dozaja göre gerilim uygulanmayan numunelerin 28 günlük basınç dayanımları küçükten büyüye doğru 250, 300, 350 ve 400 şeklinde sıralanmıştır. Aynı numunelerin poroziteleri küçükten büyüye doğru 400, 350, 300 ve 250 şeklinde sıralanmıştır. Numunelerin porozite oranları artması neticesinde 28 günlük basınç dayanımlarında düşüşler gözlenmiştir. Yine tüm dozajlar için 40 V AC gerilim uygulandığında boşluk oranları en düşük değerler alırken 28 günlük basınç dayanımları en yüksek değerler almıştır. 60 V ve üzeri gerilim şiddetlerinde ise 28 günlük basınç dayanımlarında düşüşler gözlenmiştir.

**xv.** Tüm dozajlarda 40 V gerilim uygulandığında en düşük aşınma değerlerine ulaşılmıştır. Bu sonuç yapılan diğer deneylerle örtüşmektedir (Basınç dayanımı, porozite, ultrases vb.).

## **5.2 Tez Çalışmasında Elde Edilen Sonuçlar**

Yapılan araştırmalarda elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

**i.** Betonlara AC gerilim uygulanarak beton iç sıcaklığı artmakta hidrasyon ürünleri daha çabuk oluşmakta, priz süresi kısalmaktadır.

**ii.** Boyutu 10 x 10 x 35 cm olan 300 dozajlı betonlar için optimum uygulanması gereken gerilim şiddeti 60 V ile 80 V arasında olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

**iii.** Betonlarda gerilim şiddeti ve dozaj arttıkça priz süresi kısalmaktadır.

**iv.** Gerilim uygulanan betonlarda betona farklı oranlarda hiperakışkanlaştırıcı konulması sonucu hiperakışkanlaştırıcının priz süresi üzerinde etkisi olmamıştır. Ayrıca frekansın

priz süresi üzerinde etkisi olmadığı görülmüştür. Ancak; 250 Hz frekans şiddetinde basınç dayanımı açısından en verimli sonuçlara ulaşılmıştır. Gerilim uygulanan betonlarda s/ç oranının ve çimento tipinin priz süresine etkisi olmadığı belirlenmiştir.

**v.** Beton üzerine elektrik akımı uygulaması sonucu hidratasyon süresi ile uygulanan gerilim şiddeti ilişkilendirilebilir.

**vi.** Betona gerilim uygulanması ve gerilim şiddetinin artırılması sonucu betonun olgunluğu artırılabilir.

**vii.** Betonda sıcaklık ölçümü yapılarak priz sona erme süresi belirlenebilir.

**viii.** Betonda hiperakışkanlaştırıcı oranının artırılması ve gerilim uygulanması sonucu beton iç sıcaklığında yüksek miktarda artış gözlenmiş olup 1 günlük basınç dayanımında artış gözlenirse de 28 günlük basınç dayanımında düşüşler gözlenmiştir. Hiperakışkanlaştırıcı oranları % 0.5, 1 ve 1.5 olan betonların 1 günlük basınç dayanımları şahitlerine göre sırasıyla % 30,90, 24,87 ve 61,49 artmıştır. Hiperakışkanlaştırıcı oranları % 0.5, 1 ve 1.5 olan betonlara 80 V gerilim uygulanması sonucu betonların basınç dayanım kayıpları sırasıyla % 13.64, 28.56 ve 32.00 olmuştur.

**ix.** Boyutu 10 x 10 x 35 cm olan betonlarda tüm dozajlar için optimum uygulanması gereken gerilim şiddetinin genel olarak 40 V olacağı belirlenmiştir.

**x.** 80 V AC gerilim uygulanan 15 x 15 x 15 cm, 15 x 15 x 30 cm ve 15 x 15 x 60 cm boyutlarındaki betonlarda da priz sona erme süreleri sırasıyla 330, 340 ve 380 dakika olarak belirlenmiştir. Priz sona erme dakikasındaki beton iç sıcaklıkları is sırasıyla 53.5, 58.3 ve 61.6 °C olarak ölçülmüştür. Buradan plakalar arası mesafe azaldıkça betonların priz süresi kısaldığı ve beton iç sıcaklığının daha düşük değerler aldığı görülmüştür. En verimli sonuçlar plakaların 15 cm mesafede gömülmesi ile meydana gelmiştir.

**xi.** Betonda sıcaklık ölçümü yapılarak olgunlukları hesap edilebilir.

**xii.** Betonda sıcaklık-zaman ve priz süresi grafikleri üst üste çakıştırıldığında priz süresinin pik yaptığı nokta ile sıcaklığın en yüksek değerleri aldığı noktaların hemen hemen aynı dakikalar olduğu görülmüştür. Bu noktanın priz bitiş noktası olduğu tespit edilmiştir. Betonların priz başlangıç süresi ise penetrasyon deneyi sayesinde belirlenebilir.

**xiii.** Betonların olgunlukları ile priz süresi arasında ilişki bulunmaktadır. Dolayısıyla betonlarda hidratasyon başlangıcından itibaren sıcaklık ölçümü yapılarak priz sona erme süresi hakkında yorum yapılabilir.

**xiv.** 28 günlük basınç dayanımı açısından optimum uygulanması gereken gerilim şiddeti 40 V' tur. 300 dozajlı betonlar için 40 ve 60 V AC gerilim uygulandığında 28 günlük basınç dayanımı % 21.11 ve 14.58 artarken, 80 V ve 100 V AC gerilim uygulandığında 28 günlük basınç dayanımı şahit numunelere göre sırasıyla % 11.49 ve 3.96 azalmıştır. Bu sebeple 10 x 10 x 35 cm boyutlarındaki betonlara 60 V ve üzeri gerilim uygulandığında beton iç sıcaklıklarında çok fazla artış meydana geldiğinden 28 günlük basınç dayanımı açısından verimli sonuçlar elde edilememiştir.

**xv.** Betonlarda tüm dozajlar için minimum porozite 40 V gerilim uygulanan numunelerde gözlenmiştir. 250, 300, 350 ve 400 dozajlı betonlarda 40 V AC gerilim uygulandığında porozite açısından şahitlerine göre sırasıyla % 2.83, % 20.22, % 6.87 ve % 2.93 oranlarında düşüşler meydana gelmiştir. Tüm dozajlar için minimum su emme oranı 40 V gerilim olan betonlarda görülmüştür.

**xvi.** Dozaj ve gerilim şiddeti arttıkça ultraseslerde artış görülmüştür. 250, 300, 350 ve 400 dozajlı betonlarda en yüksek ultrases geçişleri sırasıyla 40, 40, 40 ve 60 V gerilim uygulandığında meydana gelmiştir.

**xvii.** Gerilim uygulanmayan betonlarda s/ç oranının artması sonucu betonların 1 günlük basınç dayanımlarında düşüşler gözlenmiştir. Gerilim uygulanan numunelerde ise s/ç oranı arttıkça şahit numunelere göre basınç dayanımında daha çok artış gözlenirse de 0.70 gibi yüksek s/ç oranında basınç dayanımı çok düşük değerler aldığı için kullanılmasının

uygun olmadığı belirlenmiştir. 28 günlük basınç dayanımlarında ise en verimli sonuçlar s/ç oranı 0.55 olan betonlarda görülmüştür. Aynı çimento tipiyle üretilen betonlarda s/ç oranının priz sona erme süresi üzerinde etkili olmadığı sonucuna ulaşılmıştır

**xviii.** Şahit numunelerde dozaj arttıkça yüzey aşınması azalmaktadır. 40 V AC gerilim uygulandığında en düşük aşınma değerlerine ulaşılmıştır. Tüm dozajlar için numune üzerine uygulanan gerilim şiddeti arttıkça aşınmalar genel olarak artmaktadır.

**xix.** S/ç oranları 0.65 olan 300 dozajlı betonlar üzerine 1 gün süre ile 40 V, 60 V, 80 V ve 100 V gerilim uygulaması sonucu sırasıyla 4, 5, 12 ve 16 günlük basınç dayanımları elde edilmiştir.

**xx.** Boyutu 10 x 10 x 35 cm olan betonların 180. gündeki basınç dayanımları incelendiğinde 80 V' a kadar gerilim uygulaması ile basınç dayanımı kaybı yaşanmamıştır.

**xxi.** Betonda çok yüksek iç sıcaklık oluşturan gerilim şiddeti kullanımı uygun değildir. Betonda 28 günlük basınç dayanımı kaybı olmadan beton içindeki çimento miktarı, gerilim şiddeti, elektrotlar arası uzaklıklar değiştirilerek optimum en yüksek sıcaklık değerine ulaşılarak hızlandırılmış kür yapılabilir. 250, 300, 350 ve 400 dozajlı betonlarda optimum en yüksek iç sıcaklıklar sırasıyla 60, 60, 60 ve 40 V AC gerilim uygulandığında elde edilmiştir.

**xxii.** Betonlardaki yapılan mikro inceleme neticesinde 1 günlük betonlarda en verimli sonuç 80 V gerilim uygulandığında; 6 aylık betonlarda ise 60 ve 80 V gerilim uygulandığında elde edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

**xxiii.** Betonlar üzerine uygulanan gerilim şiddeti arttıkça priz sona erme süresi kısalsa da harcanan enerji artmaktadır. Betonların kullanım amacına göre maliyetin önemli olmadığı çabuk tamirat gerektiren işlemlerde yüksek gerilim uygulanarak betonlar daha kısa sürede servis edilebilir.

**xxiv.** Betonlarda hidratasyon süresince üzerinden geçen akım gözlenerek priz bitiş süresi tahmin edilebilir

**xxv.** Yapılan deneyler neticesinde elektriksel kürün yerinde uygulanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Betona uygulanan diğer kür yöntemlerinden farklı olarak hem prefabrik yapı elemanı hem de yerinde dökülmüş betona elektriksel gerilim uygulanmak suretiyle betonun iç ısı arttırılıp, hidratasyon ürünlerinin çabuk oluşmasını sağlayarak hızlandırılmış kür işlemi gerçekleştirilebilir. Uzun yıllar önce denenmiş ancak detaylı bir şekilde incelenmemiş olan betona elektriksel kür uygulanarak hızlandırılmış kür işlemi beton bileşen ve boyutlarının da etkisinin incelenmesi sonucu bu araştırma özgünlük taşımaktadır.

## 6. KAYNAKLAR

- Akman, M. S. (1987). Beton katkı maddelerinin ana işlevleri ve yan etkileri, İTÜ İnşaat Fakültesi, Malzeme Seminerleri, İstanbul.
- Akman, M. S. (1996). Süper akışkanlaştırıcı katkıların taze beton işlenebilmesindeki sorunları, *İMO*, 4. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 55-71.
- Altun, İ.A. ve Sert, Y. (2004). Utilization of weathered phosphogypsum as set retarder in Portland cement. *Cement and Concrete Research*, **34**: 677-680.
- Alvarez, G.L. Nazari, A. Bagheri, A. Sanjayan, J.G. Lange, C.D. (2017). Microstructure, electrical and mechanical properties of steel fibers reinforced cement mortars with partial metakaolin and limestone addition. *Construction and building materials*, **135**: 8-20.
- American Concrete Institute (1980). Manuel of Concrete Practice, Part 1, America.
- ASTM International, ASTM C1074-14: Estimating Concrete Strength by the Maturity Method, 2011. West Conshohocken, PA.
- Aydın, K. K. Uyan, M. Baş, S. (1996). Betonda kıvam kaybının süper akışkanlaştırıcı katkılarla iyileştirilmesi, *İMO*, 4. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul. 73-80.
- Backe, K.R., Lile, O.B. and Lyomov, S.K. (2001). Characterizing curing cement slurries by electrical conductivity, *SPE Drilling and Completion*, **16**: 201-207.
- Bilim, N., Özkan, İ. (2006). Yapay model kaya malzemesindeki yapısal farklılıkların elektriksel iletkenlik yöntemi ile tespiti, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi*, **21**: 3-4.
- Bredenkamp, S., Kruger, K.J., Bredenkamp, G.L. (1993). Direct electric curing of concrete, *Magazine of Concrete Research*, **45**: 71-74.
- Buenfeld, N.R. Newman, J.B. (1987). Examination of three methods for studying ion diffusion in cement pastes, mortars, and concrete, *Mater Struct*, **20**: 3-10.

- Canbaz, M., Akçay, M., Ergin, S. (2018). Effect of curing with electrical resistance on the concrete properties, *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, **23**: 431-440.
- Caymaz, M. (2009). Baritin beton agregası olarak kullanılabilirliği ve kalker ile dere malzemesi agregalarıyla karşılaştırılması, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Chuanlin, C. (2014). Microstructure and mechanical properties of fly ash blended cement pastes, *Construction and Building Materials*, **73**: 618-625.
- El-Dieb, A., El-Ghareeb, M., Abdel-Rahman, M.A.H., Nasr, E.S.A. (2018). Multifunctional electrically conductive concrete using different fillers, *Journal of Building Engineering*, **15**: 61-69.
- Erdoğan, T. Y. (1995). Çimentolar. Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul, 120s.
- Erdoğan, T. Y. (1997). Admixtures for Concrete. *Middle East Technical University*, Ankara. **113**: (6) 975-429.
- Erdoğan, T.Y. (2003). Beton. *ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş.* Ankara, 741s.
- Ghoddousi, P. Saadabadi, L.A. (2017). Study on hydration products by electrical resistivity for self- compacting concrete with silica fume and metakaolin. *Construction and Building Materials*. **154**: 219-228.
- Hammond, E. Robson, T. (1955). Comparison of electrical properties of various cement and concrete. *The engineer*. **199**: 78-80 and 114-115.
- Heikal, M. (2004). Effect of calcium formate as an accelerator on the physicochemical and mechanical properties of pozzolanic cement pastes, *Cement and Concrete Research*, **34**: 1051-1056.
- Hongyan, M., Dongshuai, H., Jun, L. and Zongjin L. (2014). Estimate the relative electrical conductivity of C-S-H gel from experimental results. *Construction and building materials*, **71**: 392-396.

- Hu, C.L. Han, Y.G. Gao, Y.Y. Zhang, Y.M. Li, Z.J. (2014). Property investigation of calcium-silicate-hydrate (C-S-H) gel in cementitious composites, *Materials Characterization*, **95**: 9. 29–39.
- İnan, G. Köseoğlu O.E. Ramyar, K. (2004). Süper akışkanlaştırıcı katkının betonun su ihtiyacına ve basınç dayanımına etkisi, *Beton 2004 Kongresi*, İstanbul. 674-681.
- Junior, R.A.M. Lima, M.G. (2016). Electrical resistivity of unsaturated concrete using different types of cement. *Construction and building materials*, **7**: 11-16.
- Karagüler, M. Terzi, F. ve Kuloğlu, Ş. (2004). Renklendirici katkıların mimari beton özelliklerine etkisi, *Beton 2004 Kongresi*, İstanbul. 532-541.
- Kırgız, (2011). İkameli ve katkılı çimento pastalarının hidrasyon bileşimlerinin taramalı elektron mikroskobu kullanılarak belirlenmesine ilişkin literatür araştırması. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Eskişehir. **24**: 1.
- Koleva, D.A., Copuroglu, O., Vanbreugel, K., Ye, G. and Wit, J.H.W. (2008). Electrical resistivity and microstructural properties of concrete materials in conditions of current flow. *Cement and Concrete Composites*. **30**: 731-744.
- Kurbetci, Ş. ve Öztekin E. (2001). Beton basınç dayanımının tahmininde kullanılacak sıcak su yönteminin geliştirilmesi. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, **4**: 2517-2526.
- Kurbetci, Ş. ve Öztekin E. (2004). Değiştirilmiş sıcak su yöntemi ile beton basınç dayanımının tahmini. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, **1**: 3145-3153.
- Leivo, M. (1996). Radio wave heating of concrete. *Cement and Concrete Research*, **26**: 677-682.
- Levita, G., Marchetti, A., Gallone, G., Princigallo, A. and Guerrini, GL. (2000). Electrical properties of fluidified Portland cement mixes in the early stage of hydration. *Cement and Concrete Research* **30**: 923-930.



- Li, Z., Xiao, L., Wei, X. (2007). Determination of concrete setting time using electrical resistivity measurement. *Journal of Materials in Civil Engineering* **19**: (5)423.
- Liao, Y. Wei, X. and Li, G. (2011). Early hydration of sulfoaluminate cement through electrical resistivity measurement and microstructure investigations. *Construction and Building Materials*. **25**: 1572-1579.
- Loyssi, H. Ghods, P. Alizadeh, A.R. Salehi, M. (2015). Electrical resistivity of concrete. <http://www.concreteinternational.com>, 01.05.2015
- Luo, Y. Gan, Y. Xu, J. Yan, Y. Shi, Y. (2017). Effect of electric field intensity and frequency of AC electric field on the small-scale ethanol diffusion flame behaviors, *Applied Thermal Engineering*, **115**: 1330-1336.
- Madeiros-Junior, R.A.D., Lima, M.G.D., Madeiros, M.H.F.D., Real, L.V. (2014). Investigation of the compressive strength and electrical resistivity of concrete with different cement types, *Revista Alconpat*, **4**: 116-132.
- Mather, K. (1986). Effects of accelerated curing procedures on nature and properties of cement and cement-fly ash pastes. *American Concrete Institute*, **95**: 155-172.
- McCarter, W.J., Chrisp, T. M., Starrs. G. Adamson, A. Basheer, P.A.M. Nanukuttan, S.V. Srinivasan, S. and Green, C. (2013). Characterization of physio-chemical processes and hydration kinetics in concretes containing supplementary cementitious materials using electrical property measurements. *Cement and Concrete Research*, **50**: 26-33.
- McCarter, W.J., Chrisp, T. M., Starrs. G. and Blewett, J. (2003). Characterization and monitoring of cement-based systems using intrinsic electrical property measurements. *Cement and Concrete Research*, **33**: 197-206.
- McCarter, W.J., Starrs, G., Chrisp, T.M., Basheer, P.A.M., Nanukuttan, S.V. and Srinivasan, S. (2015). Conductivity/activation energy relationships for cement-based materials undergoing cyclic thermal excursions. *Journal Material Structure*, **50**: 1129-1140.

- McIntosh, J.D. (1949). Electrical curing of concrete, *Magazine of Concrete Research*, **1**: 21-28.
- Mindess, S. and Young, J.F. (1981). Concrete practice-hall. New Jersey.
- Monticelli, C. Frignani, A. and Trabanelli, G. (2000). A Study on corrosion inhibitors for concrete application, *Cement and Concrete Research*, **30**: 635-642.
- Moradi, F. Hajiloo, H. Ghods, P. Alizadeh, A. (2017). Early age electrical resistivity behavior of various concrete mixtures subject to low temperature cycling, *Cement and Concrete Composites*, **83**: 323-334.
- Morsy, M. S. (1998). Effect of temperature on electrical conductivity of blended cement pastes. *Cement and Concrete Research*. **29**: 603-606.
- Neville, A.M and Brooks, J.J. (1987). Concrete technology. Longman Scientific and Technical, John Wiley and Sons. Inc, New York.
- Obla, K., Hong, R., Sherman, S. (2018). Relating the electrical resistance of fresh concrete to mixture proportions, *Advances In Civil Engineering Materials*, **7**: 71-86.
- Özcan, F. (2005). Silis dumanı içeren harç ve betonların özellikleri ve hızlandırılmış kür ile dayanım tayini, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Öztekin, E. (1987). Accelerated strength testing of Portland- pozzolan cement concretes by the warm water method. *ACI Materials Journal*, **84**: 51-54.
- Pavlenko, S.I. (1994). Heat treatment of fine- grained cementless concrete based on high-calcium fly ash and slag from thermal power plants. *Materials and Structures*, **153**: 657-674.
- Polder, R.B. (1995). Chloride diffusion and resistivity testing of five concrete mixes for marine environment, proceedings of RILEM, international workshop on chloride penetration into concrete. St-Remy-les-Chevreuses.

- Polder, R.B. (2001). Test Methods for on site measurement of resistivity of concrete- a RILEM TC- 154 technical recommendation. *Construction and Building Materials*, **15**: 125-131.
- Postalcıoğlu, B. (1986). Beton. *Matbaa Teknisyenleri Basımevi*, İstanbul, **1**: 170s,
- Princigallo, A. van Breugel, K. and Levita, G. (2003). Influence of the aggregate on the electrical conductivity of Portland cement concretes. *Cement and Concrete Research*. **33**: 1755-1763.
- Prudencio, L.R. (1998). Accelerating admixtures for shotcrete. *Cement and Concrete Composites*, **20**: 213-219.
- Sağlık, A. (2005). Beton ve kimyasal katkı teknolojisinde yeni gelişmeler ve standartlar, TMMOB, KMO ve İMO, Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, Ankara. 83-117.
- Salem T.M. (2002). Electrical conductivity and rheological properties of ordinary Portland cement-silica füme and calcium hydroxide-silica füme pastes. *Cement and Concrete Composites*,**32**: 1473-1481.
- Salem, M. Ragai, M. (2000). Electrical conductivity of slag cement kiln dust-silica fume pastes at different porosities, *Cement and Concrete Research*. 781-787.
- Sanish, K.B. Neithalath, N. Santhamam, M. (2013). Monitoring the evolution of material structure in cement pastes and cconetes using electrical property measurements. *Construction and Building Materials*, **49**: 288-297.
- Saul, A.G.A. (1951). Principles Underlying the Steam Curing of Concrete at Atmospheric Pressure, *Magazine of Concrete Research*, **6**: 127-140.
- Schwarz, N. Dubois, M. and Neithalath, N. (2007). Electrical conductivity based characterization of plain and coarse glass powder modified cement pastes. *Cement and Concrete Composites*. **29**: 656-666.

- Solgaard, A.O.S. Geiker, M. Edvardsen, C. Küter, A. (2014). Observations on the electrical resistivity of steel fibre reinforced concrete, *Materials and Structures*, **47**: 335-350.
- Şahin, R. Taşdemir, M.A. Gül, R. ve Çelik, C. (2003). Betonun don hasarlarının mekanik deneylerle analizi, TMMOB, İMO, 5. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul. 333-343.
- Tokay, M. (1999). Strength prediction of fly ash concretes by accelerated testing. *Cement Concrete Research*, **29**: 1737-1741.
- Topçu, İ. B. (2002). Maturity in Fresh Concrete and Determination of Stripping Time for Different Cement Mortars, 17<sup>th</sup> International Congress of the Precast Concrete Industry, İstanbul.
- Topçu, İ. B. Karakurt, C. (2002). Farklı Çimentolar ile Üretilen Betonlarda Olgunluk Kavramı, ECAS Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Topçu, İ. B. ve Akman, A., (2002). Betonda Olgunluk Kavramı ve Kalıp Sökme Süreleri, *İMO Eskişehir Bülteni*, **14**: 28-39.
- Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T. and Hocoğlu, İ. (2012). Electrical conductivity of setting cement paste with different mineral admixtures. *Construction and Building Materials*, **28**: 414-420.
- Tomlinson, D., Moradi, F., Hajiloo, H., Ghods, P., Alizadeh, A. (2017). Early age electrical resistivity behaviour of various concrete mixtures subject to low temperature cycling. *Cement and Concrete Composites*. **83**: 323-334.
- TS 24 (1985). Çimentoların Fiziki ve Mekanik Deney Metodları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 2987 (2017). Betonda priz süresinin penetrasyon direncinin ölçülmesi yöntemi ile tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS 3323 (2017). Beton – Basınç deney numunelerinin hazırlanması, hızlandırılmış küre tabi tutulması deneyleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3453 (1981). Beton Elemanlarda Büzülme Oranı (Rötre) Tayini Metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 706 (2003). Beton Agregaları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1008 (2003). Beton karma suyu- numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6 (2002). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler- Bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranı tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 12350-2 (2010). Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-6 (2010). Beton – Taze beton deneyleri – Bölüm 6: yoğunluk. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-7 (2010). Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 7: Sertleşmiş beton yoğunluğunun tayini Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-6 (2010). Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm: 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 13791 (2010). Basınç dayanımının yapılar ve öndökümlü beton bileşenlerde yerinde tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 196-1 (2016). Çimento deney metotları – Bölüm 1: Dayanım tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197-1 (2012). Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS EN 934-2 + A1 (2014). Kimyasal katkılar – Beton, harç ve şerbet için- Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları- Tarifeler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Uyan, M. Özkul, H. (1985). Beton katkı maddeleri ve Türkiye`de durumu, Akdeniz Üniversitesi, Isparta Müh. Fak., II. Mühendislik Haftası Bildirileri, Isparta.
- Wei, X. and Li, Z. (2006). Early hydration process of Portland cement paste by electrical measurement. *J Mater Civ Eng*, **18**: (1) 99-105.
- Wilson, J.G., Gupta, N.K. (1996). Assessment of structure formation in fresh concrete by measurement of it's electrical resistance, *Building Research*, **4**: 209-212.
- Whittington, H.W., McCart, J. and Forde, M.C. (1981). The conduction of electricity through concrete. *Magazine of Concrete Research* **33**: (114), 48-60.
- Xiao, L., Li, Z., Wei, X. (2007). Selection of superplasticizer in concrete mix design by measuring the early electrical resistivities of pastes, *Cem Concr Comp*, **29**: 350-356.
- Xiao, L., Wei, X., Tian, K. (2010). Prediction of compressive strength of Portland cement paste based on electrical resistivity measurement, *Adv. Cem. Research*, **22**: 165-170.
- Yıldırım, H. Gülseren, H. Uyan, M. ve Kemerli, M. K. (2003). Geçirimsizlik sağlayan katkı türlerinin beton geçirimsizlik özelliklerine etkisi, TMMOB, İMO, 5. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul. 123-131.
- Yıldırım, H. Yorulmazel, V. Ardaç, E. (1996). Süper ve normal akışkanlaştırıcı katkıların çimento ile uyumu, İMO, 4. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul. 25-33.
- Yio, M.H.N. Phelan, J.C. Wong, H.S. and Buenfeld, N.R. (2014). Determining the slag fraction, water/binder ratio and degree of hydration in hardened cement pastes, *Cement and Concrete Research*. **56**: 171–181.

Yim, H.J. Kim, J.H. Shah, S.P. (2014). Ultrasonic monitoring of the setting of cement based materials: Frequency dependence. *Construction and Building Research*. **65**: 518-525.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İSMAİL HOCAOĞLU  
Doğum Yeri ve Tarihi : İZMİR/06.06.1984  
Yabancı Dili : İNGİLİZCE  
İletişim (Telefon/e-posta) : 02722133330/afyonbeton@hotmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Afyon Kocatepe Anadolu Lisesi, (1999-2002)  
Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi, İnş. Müh. (2003-2008)  
Yüksek Lisans : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnş. Müh. (2009-2012)  
Doktora : Afyon Kocatepe Üniversitesi, İnş. Müh. (2014-2018)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Eskişehir Anadolu Yapı Denetim (2008/2009)  
Proje Bürosu ve Müteahhitlik (2009/2011)  
Afyonkarahisar Belediyesi (2011/Devam ediyor)

Yayımları (SCI) : Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T., Hocaoğlu, İ. (2016). Electrical resistivity of fly ash blended cement paste at hardening stage. *Materials Science, Kuans University of Technology*, **22**: 458-462.

Uygunoglu, 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.

Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler: Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T., Hocaoğlu, İ. (2018). Yüksek fırın cüruf katkılı çimento pastalarının elektriksel özdirençlerinin araştırılması, Politeknik, <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>.



Uluslararası Konferans ve Sempozyumlar: Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T., Hoccoğlu, İ. (2014). Electrical resistivity of fly ash blended cement paste at herdening stage, International Civil Engineering and Architecture Sym, 17-20 May, Side, Antalya, Turkey.

Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T., Hoccoğlu, İ. (2015). Effect of steel fiber content on electrical resistivity of concrete, Mesleki Eğitimde I. Uluslararası Yapı ve Elektrik Uygulamaları alıştayı.

Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., Hoccoğlu, İ. (2016). Monitoring of initial setting time of silica fume blended cement paste by electrical resistivity measurements, Third International Scientific Meeting on Civil En, E-GTZ 2016, 2-4 Jun, Bosna Hersek, Tuzla.

Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., Hoccoğlu, İ., Selçuk, B. (2016). Kırma kumlu taze harlara elektriksel yntemle hızlandırılmış kr uygulaması, 8. Uluslararası Kırma taş Sempozyumu, 13-14 Ekim, Ktahya- Türkiye, 271-274.

Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., Hoccoğlu, İ. (2017). The impact of stress intensity on setting time and porosity cement based mortars at different sizes, 1st International Conference Construction Material, 19-21 April, Zadar, Coratia.

Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., Hoccoğlu, İ., (2017). Electrical curing application on cement based mortar with different stress intensity, 3rd International Sustainable Buildings Symposium, Dubai.

Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., Hoccoğlu, İ. (2017). Electrical resistivity of different dosage on cement based mortar with different stress intensity, International conference on civil and environmental, Nevşehir, Turkey, 8-10 May, 3272-3280.

Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., Hoccoğlu, İ. (2017). Electrical curing application on cement based mortar with different stress intensity, Proceedings of 3rd International Sustainable Buildings Symposium (ISBS 2017), Editors: Seyhan Fırat, John Kinuthia, Abid Abu- Tair, Springer International Publishing, e-Book ISSN: 978-3-319-6, 2018.

Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., Hocaoğlu, İ., Çınar, E. (2018). The impact of stress intensity on porosity and tensile splitting strength of different dosage concretes, International conference on civil and environmental, İzmir Çeşme, Turkey, 24-27 Nis, 163.

Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., Hocaoğlu, İ., Çınar, E. (2018). The impact of stress intensity on mechanical abrasion resistance of different dosage concretes, International conference on civil and environmental, İzmir Çeşme, Turkey, 24-27 Nis, 179.

Hakemlikler

: The Open Civil Engineering Journal

Projeler

: Afyon Kocatepe Üniversitesi 16. Fen Bil. 43 numaralı BAP projesi doktora desteği

216M528 numaralı 1002 Tübitak projesinde bursiyer olarak