

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇİMENTO TİPİ VE BETON KALİTESİNİN
BETONUN GEÇİRİMLİLİĞİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI

Farhad GHAJERİ

Kasım, 2019

İZMİR

ÇİMENTO TİPİ VE BETON KALİTESİNİN BETONUN GEÇİRİMLİLİĞİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Malzemesi Programı

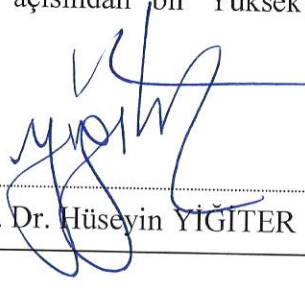
Farhad GHAJERİ

Kasım, 2019

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

FARHAD GHAJERİ, tarafından **DOÇ. DR. HÜSEYİN YİĞİTER** yönetiminde hazırlanan **"ÇİMENTO TİPİ VE BETON KALİTESİNİN BETONUN GEÇİRİMLİLİĞİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Hüseyin YİĞİTER

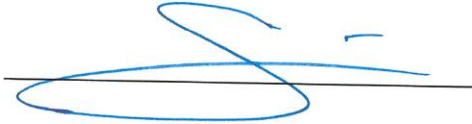
Yönetici


Prof. Dr. Halit YAZICI

Jüri Üyesi


Prof. Dr. Şemsi YAZICI

Jüri Üyesi


Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı bana öneren, tez çalışması boyunca danışmanlığımı yürüten, bana her konuda destek çıkan ve hep güler yüzüyle karşılayan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Hüseyin YİĞİTER' e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımın ve derslerimin her aşamasında bana destek çıkan ve her türlü yardımı benden esirgemeyen hocama, Sayın Prof. Dr. Halit YAZICI' ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde en büyük emeğe sahip olan maddi ve manevi olarak her zaman desteklerini gördüğüm annem Rouhangiz SEDGHI, babam Mohammadamin GHAJERI" e sonsuz teşekkür ederim.

Bu projede bana yardımcı olan tüm hocalarım, arkadaşlarım ve Dokuz Eylül Üniversitesi' ne sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Farhad GHAJERİ

ÇİMENTO TİPİ VE BETON KALİTESİNİN BETONUN GEÇİRİMLİLİĞİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Beton inşaat mühendisliği uygulamalarında en çok kullanılan yapı malzemesidir. Kalıcı ve uzun ömürlü beton ve betonarme yapılar için betonun geçirimliliği anahtar rol üstlenmektedir. Betonun geçirimliliğini etkileyen faktörler ise betonun boşluk yapısı, mikro ve makro düzeyde çatlak yapısı, bileşim oranları, çimento tipi ve beton sınıfı ile betonun bulunduğu ortam şartları olarak özetlenebilir. Bu çalışma kapsamında çimento tipi, mineral katkı kullanımı ve beton sınıf özelliklerinin betonların geçirimliliği üzerinde etkisi, toplam su emme, kılcal su emme, hava geçirimlilik deneyi, basınçlı su geçirimlilik, ultrases, klor geçirimlilik, elektriksel direnç deneyleri ile incelenmiştir. Çalışma sonucunda, çimento tipinin ve sınıf dayanımının geçirimlilikte etkin olduğu, mineral katkı kullanımının geçirimsizliği oldukça geliştirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca kullanılan bazı test yöntemlerinin sonuçları arasında oldukça iyi ilişkiler ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: Çimento tipi, beton dayanım sınıfı, mineral katkı, geçirimlilik

INVESTIGATION OF EFFECT OF CEMENT TYPE AND CONCRETE QUALITY ON THE PERMEABILITY OF CONCRETE

ABSTRACT

Concrete is the most commonly used construction material in civil engineering applications. Permeability of concrete plays a key role to perform a durable concrete or reinforced concrete structure. Pore structure, micro or macro cracks, mixture proportions, cement type, concrete class and the environmental conditions are affecting parameters of the concrete permeability. In this study, effects of cement type, mineral admixture and concrete class on the permeability of concrete were investigated by water absorption, capillarity, air permeability, water permeability, ultrasound, chloride permeability, electrical resistivity test methods. Test results showed that cement type and concrete class have effective parameters on permeability, and mineral admixture usage has enhanced the impermeability. On the other hand convenient correlations were established between some certain permeability test methods.

Keywords: Cement type, concrete class, mineral admixture, permeability

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xiii

BÖLÜM BİR – GİRİŞ 1

1.1 Beton	1
1.1.1 Betondaki Boşluklar	1
1.1.2 Çimentonun Hidratasyon Ürünleri	2

BÖLÜM İKİ – GEÇİRİMLİLİK 4

2.1 Betonun Basınç Dayanımı ve Sınıfları	8
2.2 Betonun Ara Yüzey Bölgesi (AYB).....	9
2.3 Betonda Kullanılan Agregalarda Dikkate Alınacak Özellikler	10
2.3.1 Agrega Çeşitleri	10
2.4 Betonun Karma Suyu	12
2.4.1 Suyun Miktarı	12
2.4.2 Suyun Kalitesi.....	12
2.5 Betonun Katkı Maddeleri	13
2.5.1 Kimyasal Katkılar	13
2.5.2 Geçirimsilikte Etkisi Olan Mineral Katkılar	14

BÖLÜM ÜÇ - GEREÇ VE YÖNTEMLER 21

3.1 Kullanılan Malzemeler	21
3.2 Kullanılacak Analiz ve Test Yöntemleri	30

3.3 Yapılan Deneyler.....	31
3.3.1 Basınç Dayanımları	31
3.3.2 Hava Geçirimsiliği	31
3.3.3 Rezistivite Ölçümleri	33
3.3.4 Ultrases Ölçümleri	35
3.3.5 Hızlı Klor Geçirimsiliği	35
3.3.6 Toplam Su Emme	37
3.3.7 Kılcal Su Emme.....	38
3.3.8 Su Geçirimsiliği	39
 BÖLÜM DÖRT - BULGULAR VE TARTIŞMA.....	41
4.1 Basınç Dayanımları	41
4.2 Hava Geçirimsilik Sonuçları.....	43
4.3 Rezistivite Ölçüm Sonuçları	45
4.4 Ultrases Sonuçları.....	48
4.5 Hızlı Klor Geçirimsiliği Sonuçları.....	50
4.6 Toplam Su Emme Sonuçları.....	52
4.7 Kılcal Su Emme Sonuçları	55
4.8 Su Geçirimsiliği Sonuçları.....	58
4.9 Yapılan Deneylerin Diğer Deneyler ile İlişkilerinin İncelenmesi.....	64
4.9.1 Basınç Dayanım ve Diğer Deneylerle Elde Edilen İlişki	64
4.9.2 Kılcal Su Emme ve Diğer Deneylerle Elde Edilen İlişki	65
4.9.3 Toplam Su Emme ve Diğer Deneylerle Elde Edilen İlişki.....	67
4.9.4 Su Geçirimsilik ve Diğer Deneylerle Elde Edilen İlişki	68
4.9.5 Klor Geçirimsiliği ve Diğer Deneylerle Elde Edilen İlişki.....	69
4.9.6 Direnç ve Diğer Deneylerle Elde Edilen İlişki	70
4.9.7 Ultrasonik ve Diğer Deneylerle Elde Edilen İlişki	71
4.9.8 Hava Geçirimsilik ve Diğer Deneylerle Elde Edilen İlişki.....	72

BÖLÜM BEŞ – SONUÇLAR.....	73
----------------------------------	-----------

KAYNAKLAR	75
------------------------	-----------

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Betondaki ve çimento hamurundaki boşluklar	1
Şekil 1.2 Hidratasyon derecesine bağlı olan s/ç oranı.....	3
Şekil 1.3 S/Ç oranına bağlı olarak çimento hamurunun geçirimlilik katsayısının değişimi	3
Şekil 2.1 Boşluklar	5
Şekil 2.2 Klor geçirimlilik ve beton sınıfı.....	6
Şekil 2.3 Elektrik rezistiviteyle betonun kalite sınıfının ilişkisi	6
Şekil 2.4 Kılcal su emme ve betonun sınıfı.....	7
Şekil 2.5 Filtrasyon deney birinci metot	7
Şekil 2.6 Ödometre kontrollü ikinci deney	8
Şekil 2.7 Ara yüzey geçiş bölgesi	9
Şekil 2.8 Su geçirimliliği	11
Şekil 2.9 Klor geçirimliliği	11
Şekil 2.10 Su emme silis dumanı ile yapılan betonda.....	15
Şekil 2.11 Su emme 28 günde ve bakteri yoğunluğunda	15
Şekil 2.12 Su emme 91 günde ve bakteri yoğunluğunda	15
Şekil 2.13 Klor geçirimliliği 28 gün	16
Şekil 2.14 Klor geçirimliliği 91 gün	16
Şekil 2.15 Klor geçirimliliği 91 silis dumanı	16
Şekil 2.16 Su emme miktarı	17
Şekil 2.17 Klorür miktarı	17
Şekil 2.18 Elektrik direnç ve hava geçirimlilik ve elektrik dirençle beton direnci....	19
Şekil 2.19 Basınç dayanımla ultra ses ve hava geçirimlilikle toplam su emme	20
Şekil 3.1 Hava geçirimlilik ölçümleri	31
Şekil 3.2 Hava geçirimlilik düzeneği	32
Şekil 3.3 Hava geçirimlilik numunelerin üzerinde yapılırken	32
Şekil 3.4 Rezistivite (elektriksel direnç) ölçümleri.....	33
Şekil 3.5 Rezistivite (elektriksel direnç) düzeneği.....	34
Şekil 3.6 Rezistivite (elektriksel direnç) ölçümleri yapılırken.....	34

Şekil 3.7 Ultrases geçiş hızı deneyi	35
Şekil 3.8 Hızlı klor geçirimsliliği deney düzeneği	36
Şekil 3.9 Hızlı klor geçirimsliliği deney düzeneği (deney esasında).....	37
Şekil 3.10 Numuneler toplam su emme testinde tartılırken.....	38
Şekil 3.11 Numunelerin kılcal su emme testi.....	39
Şekil 3.12 Su geçirimslilik deney düzeneği.....	40
Şekil 4.1 C25/30 sınıflı betonların bağlayıcı tipi ve zamana göre basınç dayanımları.....	42
Şekil 4.2 C40/50 sınıflı betonların bağlayıcı tipi ve zamana göre basınç dayanımları.....	43
Şekil 4.3 C25/30 sınıflı betonların hava geçirimslilik deney sonuçları.....	43
Şekil 4.4 C25/30 sınıflı betonların hava geçirimslilik deneyi CEMI ile kıyasla yüzdeleri	44
Şekil 4.5 C40/50 sınıflı betonların hava geçirimslilik deney sonuçları.....	44
Şekil 4.6 C40/50 sınıflı betonların hava geçirimslilik deneyi CEMI ile kıyasla yüzdeleri.....	45
Şekil 4.7C25/30 sınıflı betonların rezistivite deney sonuçları	46
Şekil 4.8 C25/30 sınıflı betonların rezistivite deneyi CEMI ile kıyasla yüzdeleri....	46
Şekil 4.9 C40/50 sınıflı betonların rezistivite deney sonuçları	47
Şekil 4.10 C40/50 sınıflı betonların rezistivite deneyi CEMI ile kıyasla yüzdeleri ..	47
Şekil 4.11 C25/30 sınıflı betonların ultrases geçiş hızı değerleri.....	48
Şekil 4.12 C25/30 sınıflı betonların ultrases geçiş hızı değerleri CEMI ile kıyasla yüzdeleri.....	49
Şekil 4.13 C40/50 sınıflı betonların ultrases geçiş hızı değerleri.....	49
Şekil 4.14 C40/50 sınıflı betonların ultrases geçiş hızı değerleri CEMI ile kıyasla yüzdeleri.....	50
Şekil 4.15 C25/30 sınıflı betonların hızlı klor geçirimslilik değerleri.....	51
Şekil 4.16 C25/30 sınıflı betonların hızlı klor geçirimslilik değerleri CEMI ile kıyasla yüzdeleri	51
Şekil 4.17 C40/50 sınıflı betonların hızlı klor geçirimslilik değerleri.....	51
Şekil 4.18 C40/50 sınıflı betonların hızlı klor geçirimslilik değerleri CEMI ile kıyasla yüzdeleri.....	52

Şekil 4.19 Numuneler toplam su emme testinde tartılırken.....	53
Şekil 4.20 C25/30 sınıflı betonların toplam su emme yüzdesi.....	53
Şekil 4.21 C25/30 sınıflı betonların toplam su emme deneyi CEMI ile kıyasla yüzdesi	54
Şekil 4.22 C40/50 sınıflı betonların toplam su emme yüzdesi.....	54
Şekil 4.23 C40/50 sınıflı betonların toplam su emme deneyi CEMI ile kıyasla yüzdesi	54
Şekil 4.24 Numunelerin kılcal su emme testi.....	55
Şekil 4.25 C25/30 numunelerin kılcal su emme grafiği.....	56
Şekil 4.26 C25/30 numunelerin kılcal su emme deneyi CEMI ile kıyasla yüzdeleri.	56
Şekil 4.27 C40/50 numunelerin kılcal su emme grafiği.....	57
Şekil 4.28 C40/50 numunelerin kılcal su emme deneyi CEMI ile kıyasla yüzdeleri	57
Şekil 4.29 Su geçirimsizlik deneyinde adım adım yaptıklarımız.....	59
Şekil 4.30 C25/30 numuneler kırıldıktan sonra	60
Şekil 4.31 C40/50 numuneler kırıldıktan sonra	61
Şekil 4.32 C25/30 sınıflı betonların su geçirimsizlik deney sonuçları.....	62
Şekil 4.33 C25/30 sınıflı betonların su geçirimsizlik deney CEMI ile kıyasla yüzdeleri	62
Şekil 4.34 C40/50 sınıflı betonların su geçirimsizlik deney sonuçları.....	63
Şekil 4.35 C40/50 sınıflı betonların su geçirimsizlik deney CEMI ile kıyasla yüzdeleri	63
Şekil 4.36 Basınç dayanım ve ultrases ilişkisi.....	64
Şekil 4.37 Kılcal su emme ve resistivite ilişkisi.....	65
Şekil 4.38 Kılcal su emme ve klor geçirimsizliği ilişkisi.....	65
Şekil 4.39 Kılcal su emme ve su geçirimsizlik ilişkisi.....	66
Şekil 4.40 Kılcal su emme ve toplam su emme ilişkisi.....	66
Şekil 4.41 Toplam su emme ve direnç ilişkisi.....	67
Şekil 4.42 Toplam su emme ve klor geçirimsizlik ilişkisi.....	67
Şekil 4.43 Toplam su emme ve su geçirimsizlik ilişkisi.....	68
Şekil 4.44 Su geçirimsizlik ve direnç ilişkisi.....	68
Şekil 4.45 Su geçirimsizlik ve klor işleme derinliği ilişkisi.....	69
Şekil 4.46 Klor işleme derinliği ve direnç ilişkisi.....	69

Şekil 4.47 Direnç ve klor işleme derinliği ilişkisi.....	70
Şekil 4.48 Direnç ve su geçirimsliliği ilişkisi.....	71
Şekil 4.49 Ultrason ve dayanım ilişkisi.....	71

TABLÖLER LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1 Kapiler boşlukların bloke edilmesi için gerekli süre-S/Ç ilişkisi	2
Tablo 2.1 Betonun sınıfları ve dayanımları.....	9
Tablo 2.2 28 gün farklı agrega ile yapılan betonun geçirgenliği gözenekli kür zamanında.....	18
Tablo 2.3 Yapılan deneylerin sonuçları	18
Tablo 3.1 Normal Portland çimentosunun (CEM I 42,5 R) özellikleri.....	22
Tablo 3.2 Katkılı çimentonun (CEM II / A-M (P-L) 42,5 R) özellikleri.....	23
Tablo 3.3 Sülfata dayanıklı çimentonun (CEM I 42,5 R-SR 5) özellikleri.....	24
Tablo 3.4 Orhaneli uçucu külünün özellikleri.....	25
Tablo 3.5 Kullanılan agregaların tane büyüklüğü dağılımı	26
Tablo 3.6 Agregaların yoğunluk ve su emme değerleri	27
Tablo 3.7 C25/30 sınıfı betonların karışım oranları.....	29
Tablo 3.8 C40/50 sınıfı betonların karışım oranları.....	30
Tablo 3.9 Hava geçirimsizlik deneyi için beton kalite indeksleri	32
Tablo 3.10 Korozyon riski açısından rezistivite ölçümlerinin değerlendirilmesi	33
Tablo 3.11 Hızlı klor geçirimsizliği sınıflandırması	36
Tablo 4.1 C25/30 sınıfı betonlara ait değişik yaşlardaki basınç dayanımı değerleri .	41
Tablo 4.2 C40/50 sınıfı betonlara ait değişik yaşlardaki basınç dayanımı değerleri .	42

BÖLÜM BİR

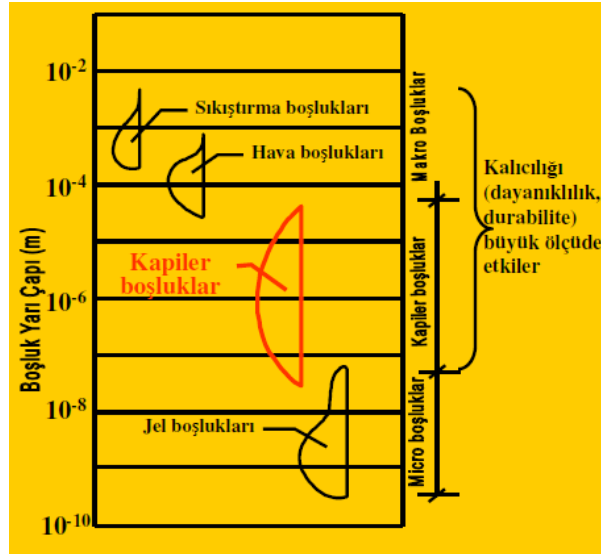
GİRİŞ

Bu tez çalışması, 112M899 numaralı “Beton Kalitesinin ve Çimento Türünün Betonun Deniz Suyu Dayanıklılığına ve Beton İçine Gömülü Çelik Donatının Korozyona Etkisinin Gerçek Deniz Ortamında İncelenmesi” başlıklı TÜBİTAK projesinin bir bölümüdür. Tez kapsamında çimento tipinin, mineral katkı kullanımının ve beton kalitesinin betonun geçirimsizliğine etkileri incelenmiştir.

1.1 Beton

Beton inşaat mühendisliği uygulamalarında en çok kullanılan yapı malzemesidir. Kalıcı ve uzun ömürlü beton ve betonarme yapılar için betonun geçirimsizliği anahtar rol üstlenmektedir. Betonun geçirimsizliğini etkileyen faktörler ise betonun boşluk yapısı, mikro ve makro düzeyde çatlak yapısı, bileşim oranları, çimento tipi ve beton sınıfı ile betonun bulunduğu ortam şartları olarak özetlenebilir. Betonun ana maddeleri ince agreg, iri agreg, çimento, su ve bazı katkılardır (Baradan ve diğer.,2010).

1.1.1 Betondaki Boşluklar



Şekil 1.1 Betondaki ve çimento hamurundaki boşluklar (Baradan ve diğer., 2010)

Sırayla makro boşlukları, kapiler boşluklar ve mikro boşluklar olarak gruplandırılabilir. Kalıcılığı büyük ölçüde etkileyenler kılcal (kapiler) ve makro boyutta olanlardır. Betonun makro adlandırıldığı boşluklar sıkıştırma boşlukları ve hava boşluklarıdır. Çimento hamurunda serbest kireç (Ca(OH)_2) alkaliler ($\text{Na}_2\text{O.K}_2\text{O}$) ve bazı önemsiz bileşenler, hidrate olmamış çimento ve taze hamurun içindeki suyun bıraktığı gözenekler vardır. Bu boşluklara kapiler boşluklar adı verilir. Kapiler boşluklar oranı su/çimento oranına ve hidrasyon derecesine bağlı olarak çimento hamuru hacminin yüzde 40'ına kadar çıkabilir. Jel boşlukları ise çimentonun hidrasyonu sonucunda oluşan jellerin yapısında yer alan boşluklardır.

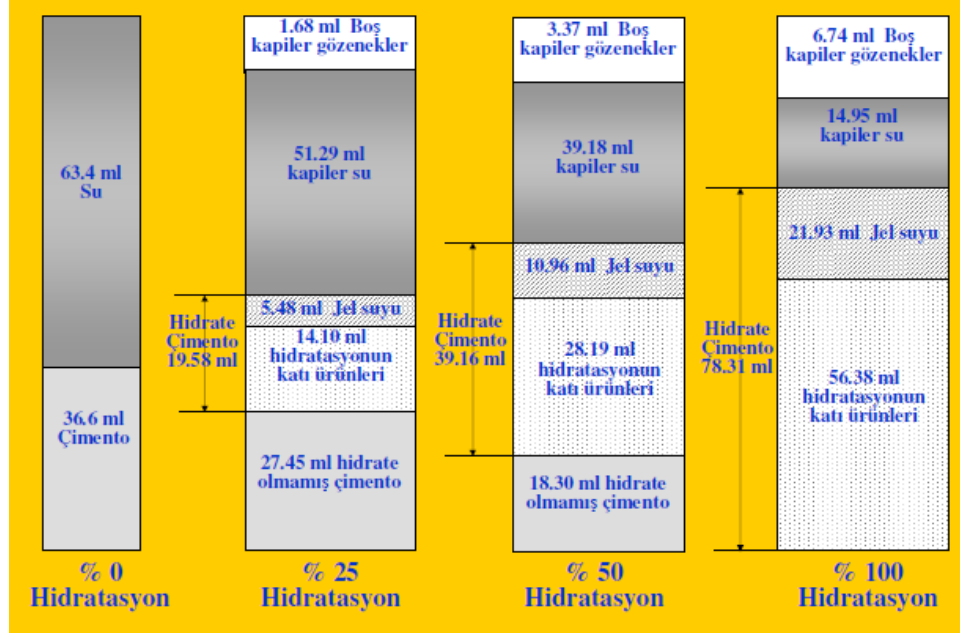
Tablo 1.1 Kapiler boşlukların bloke edilmesi için gerekli süre-S/Ç ilişkisi

Su/Çimento	Kapiler boşlukların blok edilmesi için gerekli olgunluk süresi
0,40	3 gün
0,45	7 gün
0,50	14 gün
0,60	6 ay
0,70	1 yıl
0,70'in üstü	İmkansız

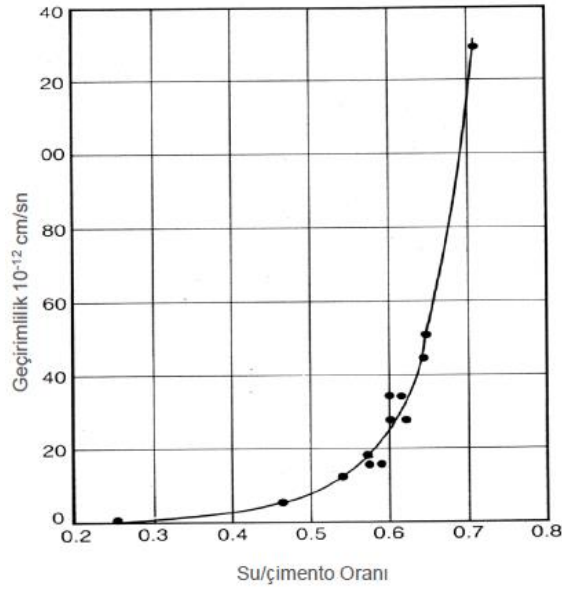
1.1.2 Çimentonun Hidrasyon Ürünleri:

Betonun ve sertleşmiş çimento hamurunun mekanik özelliklerinden birçoğu kimyasal Yapısından çok hidrate ürünlerin koloidal boyuttaki fiziksel yapısına bağlıdır. Bu nedenle çimento jel yapısını iyi tanımak gerekir. Portland çimentosu hammaddeleri kireç (CaO), silika (SiO_2), Alümin (Al_2O_3) ve demir oksit tir (Fe_2O_3). Bu bileşenler döner fırında yüksek sıcaklıkta (1350-1450) kendi aralarında birleşerek daha complex ürünler meydana getirirler. Karma oksit adı verilen çimentonun birçok özelliğini belirleyen bu bileşenlerden önemlileri tri kalsiyum silikat (C_3S) ve di kalsiyum silikat (C_2S) tri kalsiyum alüminat (C_3A) ve tetra kalsiyum alümino ferrit (C_4AF) olmaktadır. Bu karma oksitler su ile yaptıkları reaksiyonlar sonucu oluşan kalsiyum silikat Hidrat eler (CSH) ve kalsiyum alüminat hidratelerin (CAH) değişik ürünlerine topluca jel adı verilir. Çimento hamurunun geçirimsizliğini etkileyen en önemli parametre s/ç oranıdır. Çimento hamurunun s/ç oranı azaldıkça zamana bağlı

olarak geçirimsizlikte meydana gelen düşüşün çok daha hızlı gerçekleştiği görülür yani S/Ç oranının artması ve kılcal çatlaklar oluşması geçirimsizliğin yol açmasına yol açmaktadır.



Şekil 1.2 Hidratasyon derecesine bağlı olan s/ç oranı (Baradan ve diğer., 2010)



Şekil 1.3 S/Ç oranına bağlı olarak çimento hamurunun geçirimsizlik katsayısının değişimi (Baradan ve diğer., 2010)

BÖLÜM İKİ

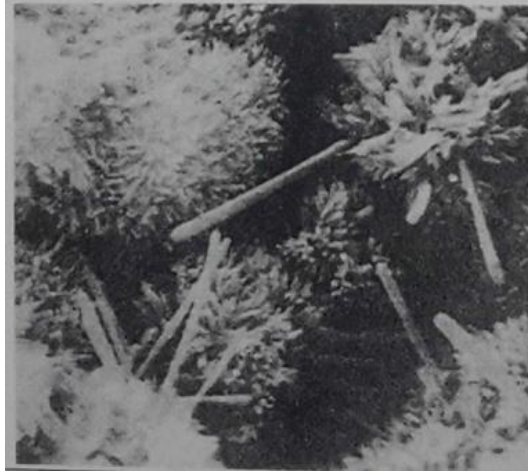
GEÇİRİMLİLİK

Bu bölümde betonun geçirimliliğinin hakkında genel bilgiler ve farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Geçirimsizlik dışarıdan başka bir malzemenin diğer malzemenin içine girmesi olarak tanımlanabilir. Beton içine su geçişi geçirimsizliğe bir örnektir. Çimento jeli çok düşük geçirimsizliğe sahipken çimento hamurunun geçirimsizliği çok daha yüksektir. Bu yüzden çimento hamurunun geçirimsizliğinin büyük oranda kapiler boşluklara bağlı olduğu söylenebilir. Betonun dayanıklılığında tek başına en etkili olan parametre su-çimento oranıdır. S/Ç oranı arttıkça, çimento hamurunun gözenekliliği ve dolayısıyla betonun geçirimsizliği artar. Ayrıca yeterli miktarda çimento hamuru da bulunmalıdır. Geçirimsizliği yüksek olan betonlara zararlı sıvı ve gazların nüfuz etmesi çok daha kolaydır. Ayrıca, S/Ç oranı yüksek olan betonun dayanımı düşük olacağından, çeşitli kimyasal ve fiziksel etkilerle beton içinde meydana gelebilecek içsel gerilmelere yeterli direnç gösteremeyecek ve çatlayacaktır (Baradan ve diğer., 2010).

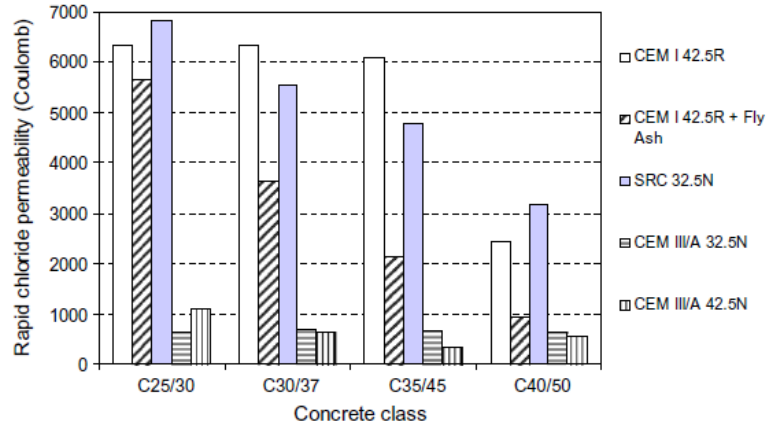
Kaliteli Betonda Geçirimsizliği Azaltmak için:

- İyi malzeme seçimi
- İyi üretmek
- İyi taşımak
- İyi yerleştirmek
- İyi sıkıştırmak ve
- İyi kür yapmak önemli ve dikkate alınması gereken konulardır.

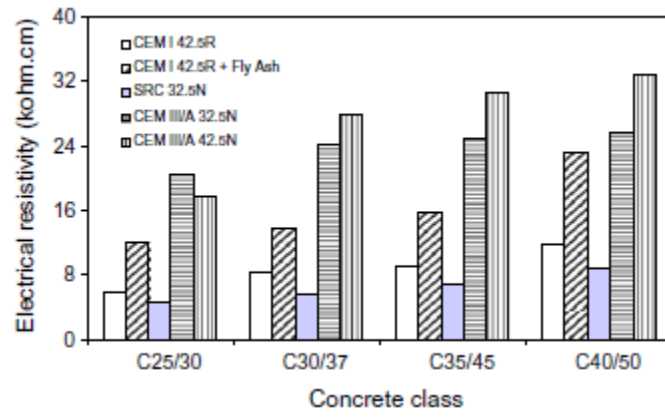


Şekil 2.1 Boşluklar (Baradan ve diğer., 2010)

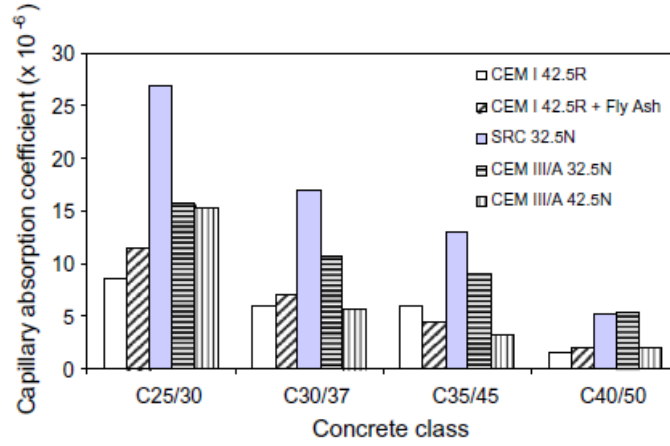
Yıldırım, Ilıca, ve Şengül, (2011) betonun farklı çimento tipleri ve farklı katkı çimentolar ile betonun klorür geçirimliliğini araştırmışlar. Bu çimentolar granül maden eritme ocağı cürufu çimento iki farklı türlerden (CEMIII/A32,5N ve CEMIII/A42,5N), bir sülfata dayanıklı çimento (SRC 32,5) ve Portland çimentosu uçucu kül ile harmanlanmış; bütün bunlar sıradan Portland çimentosu (CEMI42,5R) ile karşılaştırıldığında her bir bağlayıcı için sonuç olarak bunların karışımları elde edilmiştir. Daha sonra hızlı klorür iyonu deneyleri yapılmıştır. Buna ek olarak, elektriksel direnç ve kılcal su emme deneyleri yapılmıştır. Maden eritme ocağı cürufu çimento, klorür girmesine karşı en yüksek dirence sahip olmuştur. Test sonuçları klorür geçirgenliği ve elektrik arasındaki güçlü ilişkiyi doğrulamıştır. Deney sonuçlarında kılcal su emmesi çok ve basınç dayanımı düşük olan beton C25/30 ve C40/50 ise en az su emen beton olmuştur. Klorür geçirimliliğinde de durum benzerdir. Elektrik rezistivite ise 25/30'te düşük C40/50'de yüksektir.



Şekil 2.2 Klor geçirimlilik ve beton sınıfı (Yıldırım ve diğer., 2011)

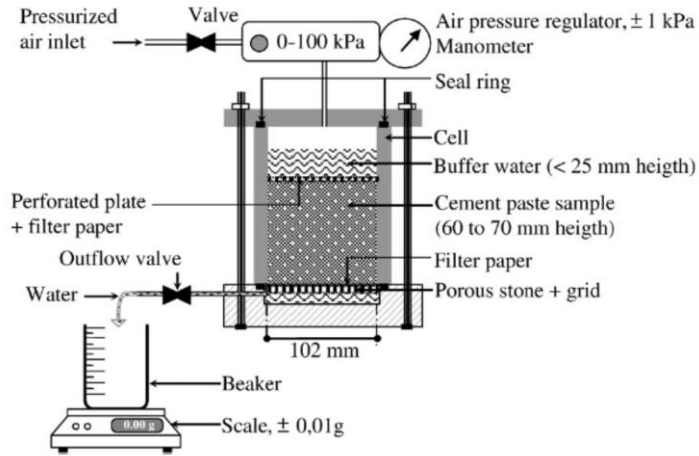


Şekil 2.3 Elektrik rezistiviteyle betonun kalite sınıfının ilişkisi (Yıldırım ve diğer., 2011)

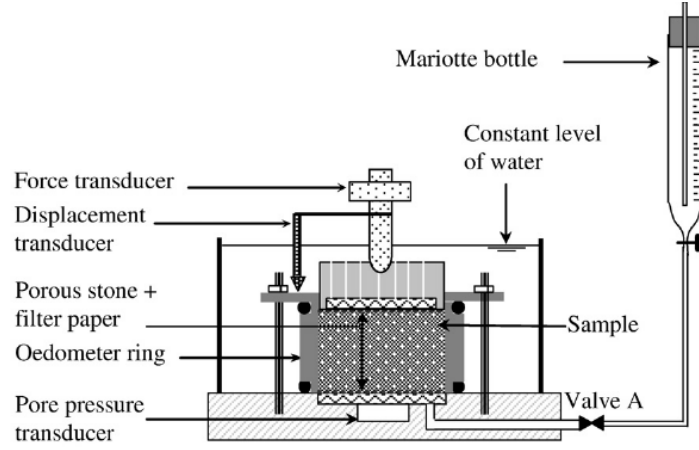


Şekil 2.4 Kılcal su emme ve betonun sınıfı (Yıldırım ve diğer., 2011)

V. Picandet, D. Rangeard, A. Perrot, ve T. Lecompte, (2011) yaptıkları çalışmada taze çimento harcının iki farklı metotla geçirirliğini araştırmışlar. Bu çalışmada birinci metotta filtre kağıtlar kullanarak numuneye hava basıncı yapmışlar (Şekil 2.5) ve ikinci metotta mekanik basınç uygulamışlar (Şekil 2.6). Her iki metotta da suyun numunenin içindeki hava boşluklarını doldurmasını sağlamışlar ve zamana bağlı olarak suyun geçtiği miktarı ölçüp ve numunenin zaman geçtikçe sertleştiği için daha az geçirgenleştiğini elde etmişler.



Şekil 2.5 Filtrasyon deney birinci metot (Picandet ve diğer., 2011)



Şekil 2.6 Ödometre kontrollü ikinci deney (Picandet ve diğer., 2011)

S. Tsivili ve diğer. (1999) yaptıkları çalışmada Portland kireçtaşılı çimentonun betonun geçirimliliğinde etkisini araştırmışlar. Bu çalışmada Portland çimentoya altı farklı yüzdelerde kireçtaşı karıştırıp (%10-35) böylece betonun su ve hava geçirimliliğini ve kılcal su emme ve gözenekliliğine etkisini araştırmışlar ve elde ettikleri sonuçlara göre kireçtaşı beton (PLC) normal betona (OPC) göre rekabet edilebilir özellikler göstermektedir. PLC dayalı Beton normal OPC betona göre daha yüksek değerler sergilemektedir. Kireçtaşı ilavesi su geçirgenliği ve beton kılcal geçirgenlik üzerinde olumlu etkisi vardır. % 15 kireçtaşı ilavesi betonun boşluklarını etkilemiyor.

2.1 Betonun Basınç Dayanımı ve Sınıfları

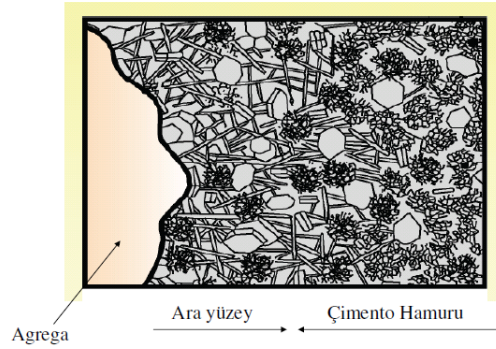
Betonun tüm mekanik mukavemetleri (basınç, çekme, eğilme, kayma, burulma) arasında en önemli ve değerli en büyük olanı basınç dayanımıdır.

Tablo 2.1 Betonun sınıfları ve dayanımları (Baradan ve diğer., 2010)

YENİ BETON SINIFLARI (TS EN206-1)		
Beton sınıfı	En düşük karakteristik silindirik dayanımı $f_{ck,sil}$ (N/mm ²)	En düşük karakteristik küp dayanımı $f_{ck,küp}$ (N/mm ²)
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

2.2 Betonun Ara Yüzey Bölgesi (AYB)

Arayüzey-Geçiş Bölgesi



Şekil 2.7 Ara yüzey geçiş bölgesi (Baradan ve diğer., 2010)

İri Agreganın etrafını saran 10-50µm kalınlığındaki geçiş bölgesidir. Bu bölge betonun diğer kısımlarından daha zayıf ve betonun kırılması bu zayıf bölgeye oldukça bağlıdır. Mekanik özelliklere etkisi beklenenden daha fazladır.

2.3 Betonda Kullanılan Agregalarda Dikkate Alınacak Özellikler

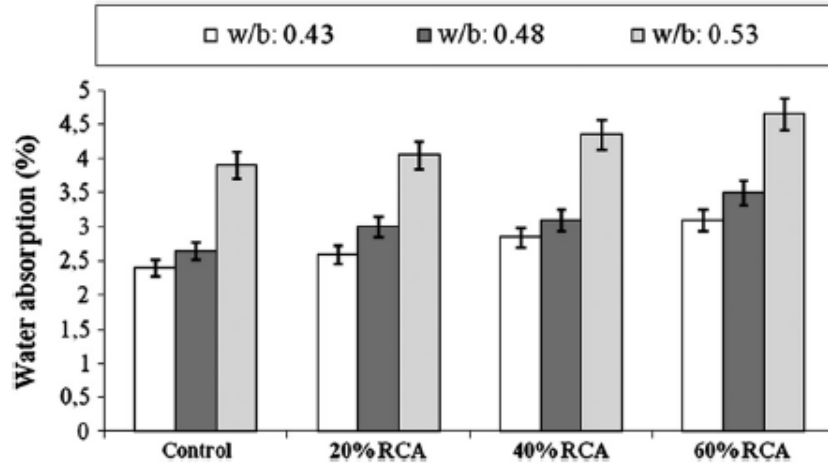
- Ekonomi
- Rijitlik, Elastisite Modülü
- Boyutsal stabilite
- Aşınma dayanıklılığı

2.3.1 Agregalar Çeşitleri

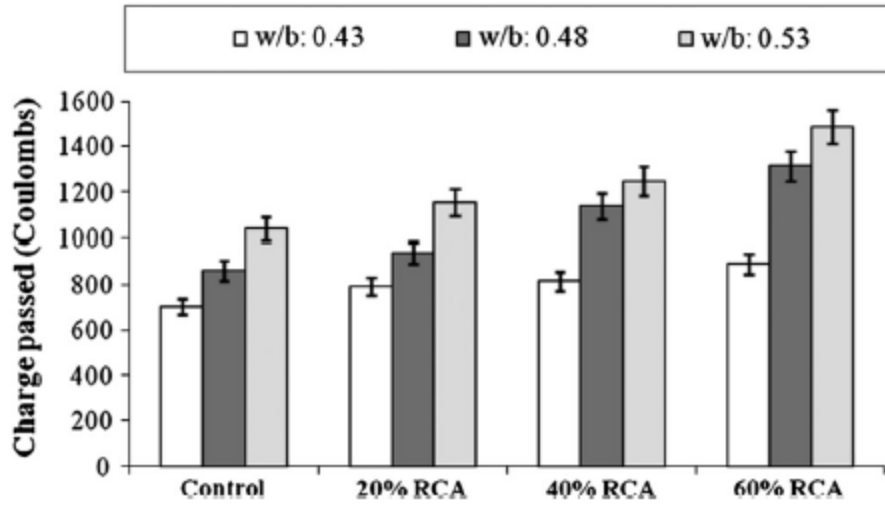
- Doğal agregalar
- İşlenmiş agregalar (kırmı taş agregalar)
- Yapay(sentetik) agregalar

Agrega taneleri çimento hamurunun zamana bağılı olarak gösterebileceğı hacim değışikliliğı (büzulme, genleşme) ve buna bağılı olarak oluşabilecek çatlakları azaltır. Agregaların mekanik özelliklerinin (basınç dayanımları ve aşınmaya dayanımları ve parçalanmaya karşı dayanımları) ve temiz olmalarının (kil ve silt ve diğır ince maddelerin bulunmaması) betonun geçirimliliğinde önemli rolü vardır.

Tuyan, Mardani-Aghabaglou, ve Ramyar, (2014) yaptıkları çalışmada kendiliğinden yerleşen betonda geri dönüşüm beton agregalarının kullanımı 3 farklı yüzdede (% 20, 40 ve % 60) kireçtaşı agregası yerine kullanmışlar. 3 farklı su/bağlayıcı oranındaki betonlarda etkisini araştırmışlar ve elde ettikleri sonuca göre geri dönüşümlü agregalı betonda geçirimliliğı artmaktadır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Su geçirimsizliği (Tuyan ve diğer., 2014)



Şekil 2.9 Klor geçirimsizliği (Tuyan ve diğer., 2014)

Yang ve diğer., (2009) yaptıkları çalışmada Portland çimentosu harcına farklı oranlarda stiren butadien kauçuk lateksi (SBR) modifiye edilmiş farklı yüzdelerde (% 2, 6, 8, 10, 12 ve 16) polimer / çimento (P / C) kütle oranlarına sahip harç örnekler üzerinde klorür geçirgenliği ve mikro yapı değerlendirme yaparak iyi sonuçlar elde etmişler. SBR lateksi, genel iyonik geçirgenliği ile birlikte klorür penetrasyon direncini geliştirmiş ve iyon ulaşım direncini arttırarak elektrik kapasitesi azalmaktadır. Ayrıca taramalı elektron mikroskobu kullanarak karotların polimer

yüzdeleri arttıkça numunelerin içyapısı daha dolgun ve daha az gözenekli görünmektedir.

2.4 Betonun Karma Suyu

Su beton üretiminde ve bakım aşamasında ve hatta servis ömrü boyunca sürekli değişkenlik göstermektedir örneğin gereğinden fazla kullanılacak su, betonun dayanım ve dayanıklılığını olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle suyun miktarı ve hatta kalitesi beton üretimi için önemli rol oynar.

2.4.1 Suyun Miktarı

- Teorik formüller
- Tablolar
- Mühendislik önsezisi “deneyim”
- Deneme yanılma

2.4.2 Suyun Kalitesi

- Temiz
- İçilebilir
- Berrak
- Kokusuz

Banthiat, Biparva, ve Mindess (2005) yaptıkları çalışmada betonun erken yaşta belli bir basınç altında su geçirgenliğini araştırmışlar. Bu çalışmada iki aynı numuneyi 1 ve 3 gün de belli yük altında (0,2fu ve 0,3fu ve 0,4fu) su geçirgenliğini ölçümleri yapmışlar ve elde ettikleri sonuca göre basınç yükü arttıkça geçirgenliğinde arttığını elde etmişler.

2.5 Betonun Katkı Maddeleri

Kaliteli, güvenilir ve ekonomik bir beton üretmek için sadece çimento, su ve agrega yeterli değil bunun için katkı maddeleri beton karışımına önceden veya sonradan eklenen çimento agrega ve su dışındaki maddeler olarak tanımlanmaktadır. Katkı maddelerin bilinçli ve dozunda kullanılması halinde sağladığı teknik ve ekonomik avantajlar için katkılı beton üretimi çok önemli ve dikkate alınmalı mevzudur. Bu esnada Modern beton yapmak için katkı maddeleri iki ana guruba bölünebilir (Baradan ve diğer., 2010).

G. Amadi ve Amadi-Oparaeli, (2018) yapıları çalışmada katkı maddelerin betonun basınç dayanımı ve geçirgenliğinin üzerindeki etkisini araştırmışlar. Bu çalışmada bir kontrol karışımından ve dört değiştirilmiş karışımdan oluşan beş karışım kullanmışlar hızlandırıcı, su geçirmez, iki süper akışkanlaştırıcı, yani - sülfonatlanmış naftalin formaldehit kondensatları (SNF) ve bir poli karboksilat eter (PCE) kullanılmıştır ve yapılan deneylerden elde ettikleri sonuçlara göre hızlandırıcılar, süper akışkanlaştırıcılar gibi katkılar; yani sülfonatlı naftalin formaldehit kondensatları (SNF) ve polikarboksilat eter (PCE), su çimento oranındaki azalmaya rağmen birleştirildiğinde, kontrol betona kıyasla daha yüksek bir basınç dayanımı, daha düşük yüzey emilimi ve daha düşük geçirgenlik sağladı. Su geçirmezlik katkıları, su çimento oranı azalmaya rağmen, kontrol karışımından daha az basınç dayanımı sağlamıştır. Bununla birlikte, düşük su emme değerleri ve basınç altında su için referans karışımdan daha düşük gerçek geçirgenlik değerleri verdi.

2.5.1 Kimyasal Katkılar

Taze beton karışımına bir takım özellikler vermek amacıyla çok az miktarda (çimento ağırlığının %0,1-5' arasında) taze beton karışımına katılır.

2.5.2 Geçirimsizlikte Etkisi Olan Mineral Katkılar

Betonun geçirimsizliğini azaltmakla baya etkisi olan ve hatta hidrasyon ürünlerinin oluşumunu sağlayan katkı olarak mineral katkıları adlandırılır.

Bu mineraller doğal pozolanlar ve yapay pozolanlar olarak adlandırılır bunlardan doğal pozolanlar olarak:

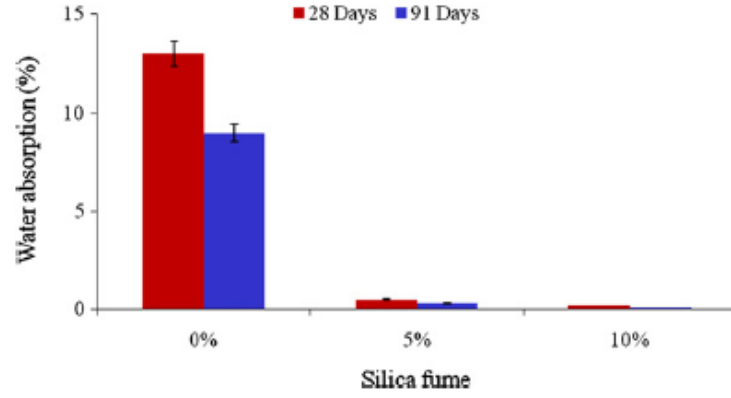
- Tras
- Volkanik tüf
- Volkanik cam

Yapay pozolanlar ise;

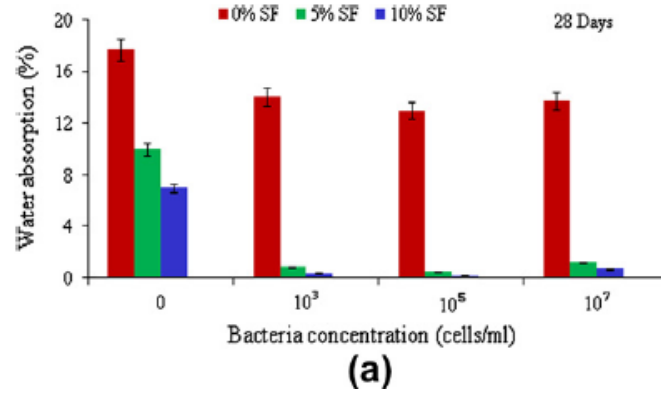
- Uçucu kül
- Silika tozu
- Yüksek fırın cürufu
- Pişmiş kil

Betonun geçirimsizliğini azaltan malzemeler dolgu vazifesi gören ve ilave hidrasyon ürünleri oluşumunu sağlayan mineral katkılarıdır.

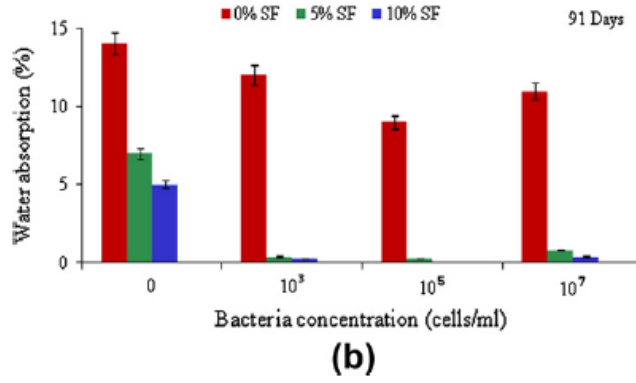
Chahal, Siddique, ve Rajor, (2012) yaptıkları çalışmada ureolytic bakterinin (*Sporosarcina pasteurii*) silis dumanı ile yapılan betonda basınç dayanım, su emme ve betonun hızlı klorür geçirgenliğini araştırmışlar. Üç bakteriyel konsantrasyonları optimize edilmiştir (10^7 hücre / ml 10^5 ve 10^3) ve beton yapımında yapılan çimento (%0 ve % 5 ve % 10) ağırlıkla silis dumanı ile karıştırılmıştır. 28 ve 91 gün basınç dayanımı ve su emme ve hızlı klorür geçirgenliği yapılmıştır. Test sonuçları beton *S. Pasteurii* dahil basınç deformasyon gelişmiş olduğunu göstermiştir (Şekil 2.10-15).



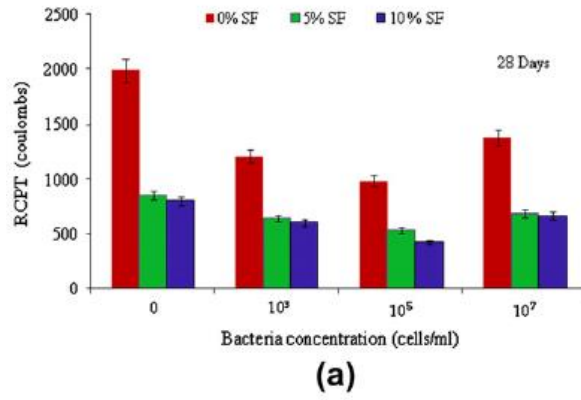
Şekil 2.10 Su emme silis dumanı ile yapılan betonda (Chahal ve diğer., 2012)



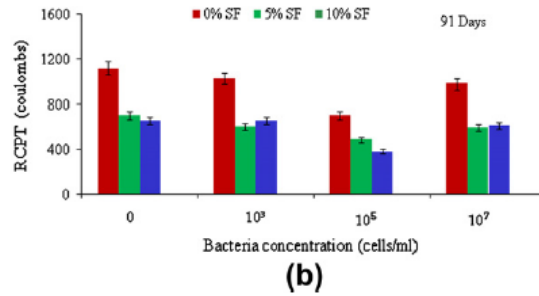
Şekil 2.11 Su emme 28 günde ve bakteri yoğunluğunda (Chahal ve diğer., 2012)



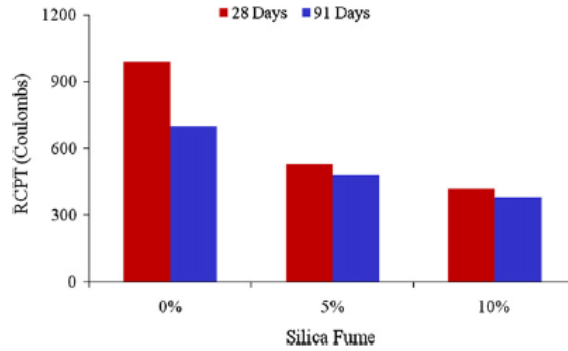
Şekil 2.12 Su emme 91 günde ve bakteri yoğunluğunda (Chahal ve diğer., 2012)



Şekil 2.13 Klor geçirirliğı 28 gün (Chahal ve diğer., 2012)



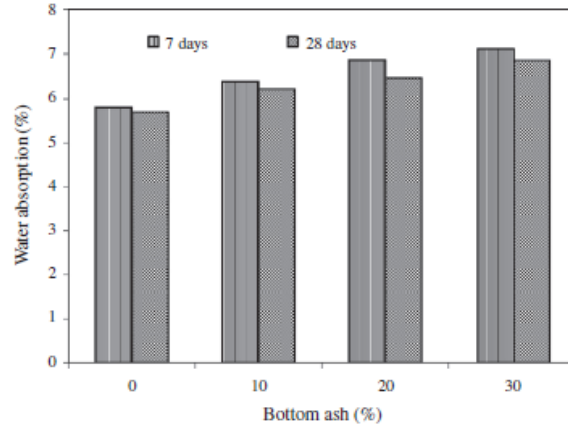
Şekil 2.14 Klor geçirirliğı 91 gün (Chahal ve diğer., 2012)



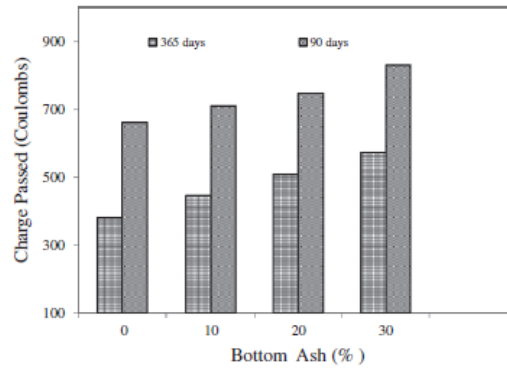
Şekil 2.15 Klor geçirirliğın ve silis dumanı (Chahal ve diğer., 2012)

Siddique, (2013) yaptıkları çalışmada kendiliğinden yerleşen beton özelliklerini incelemek amacıyla taban kömür külü ile betonu karıştırıp ve betonun geçirgenliğini araştırmışlar. karışımlar üç kömür yüzdelerde (0, 10, 20 ve 30) birlikte hazırlanmış ve betonun klorür ve su emme miktarı yapılmıştır. Bu deneyde 28 günlük basınç dayanımında 35,2 MPa. Kendiliğinden yerleşen beton kül ile yapılan karışımlarında çok düşük klorür geçirgenliği direnci elde edilmiştir. Su emme ise belirli bir yaşta kül

içeriği artışı ile arttığı karışımları bununla birlikte, yaş arttıkça su emme azalmıştır (Şekil 2.16, 2.17).



Şekil 2.16 Su emme miktarı (Siddique, 2013)



Şekil 2.17 Klorür miktarı (Siddique, 2013)

Lian ve Zhuge, (2010) yaptıkları çalışmada geçirgen kaldırımın yüksek gözeneklilik ve geçirgenliği nedeniyle bu deneyde 3 tür agrega sırayla dolomit ve kuvarz ve kireçtaşı farklı boyutlarda kullanmışlar ve en yüksek sonucu dolomit vermiştir. Silis dumanı karışımlarda yalnız başına etkili olmadı ama süper akışkanlaştırıcı kullanarak ayrışma azalıp daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 2.2).

Tablo 2.2 28 gün farklı agrega ile yapılan betonun geçirgenliği gözenekli kür zamanında (Lian ve Zhuge, 2010)

Permeability of porous concrete made with different aggregates at 28 day curing time.

Permeability (mm/s)						
Quartzite		Dolomite			Limestone	
A1	A2	B1	B2	B3	C1	C2
27.47	13.67	19.87	8.51	14.78	13.27	15.99

Beglarigale ve diğer., (2014) yaptıkları çalışmada iki farklı sınıflı beton (C25/30 VE C40/50). Bunlarda uçucu kül dozajı farklı ve yüzde 15 ve yüzde 30 bulunmaktadır. Birbirleri ile basınç dayanım, klor işleme derinliği, toplam su emme, kılcal su emme, hava geçirimlilik, direnç ve ultrason test yöntemleri ilişkileri araştırılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. Yüksek basınç dayanımlı betonla daha düşük olan betonun geçirimliliğinin farkı görülmektedir. Bu deneylerde elde edilen sonuçlara göre UK'lı betonlar daha az geçirimli olduğu tespit edilmiştir. (Tablo 2.3).

Tablo 2.3 Yapılan deneylerin sonuçları (Beglarigale ve diğer., 2014)

Mix Type	Compressive Strength, MPa	Cl Ion Penetration, Coulomb	Total water absorption, %	24 h Capillary suction, g/cm ²	Air permeability, 10 ⁻¹⁶ .m ²	Resistivity, m	Ultrasonic velocity, km/s
C25/30	31,1	5995,5	7,99	0,723	0,101	54,286	4,073
C25/30-FA15	31,4	3281	7,28	0,605	0,060	106,667	4,035
C25/30-FA30	30,0	2359	7,18	0,580	0,058	134,000	4,085
C40/50	52,4	5811	6,96	0,497	0,063	58,167	4,393
C40/50-FA15	49,1	2392	6,18	0,261	0,051	142,000	4,360
C40/50-FA30	42,6	1443	5,62	0,255	0,040	238,333	4,168

Test sonuçları arasındaki ilişkiler:

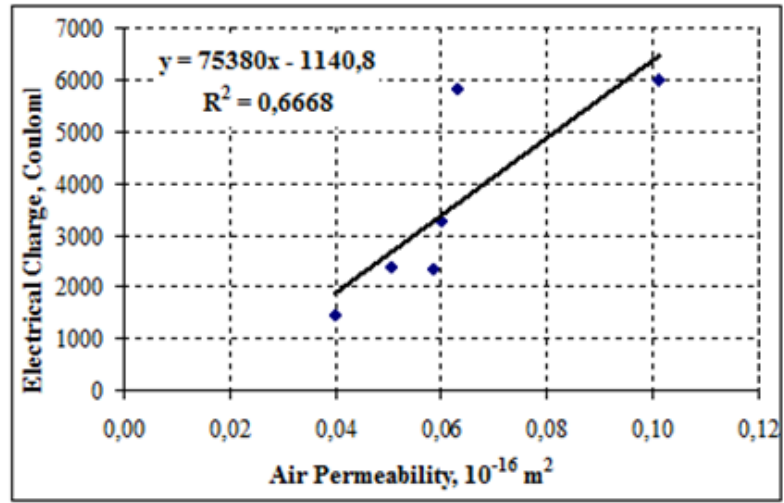
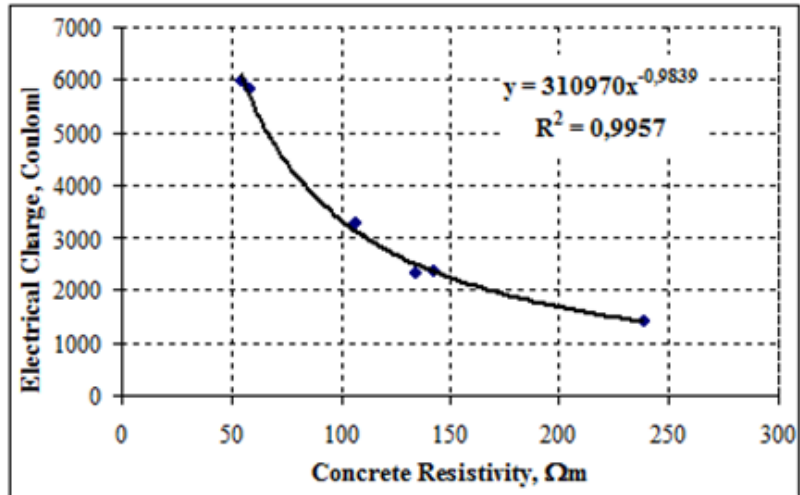
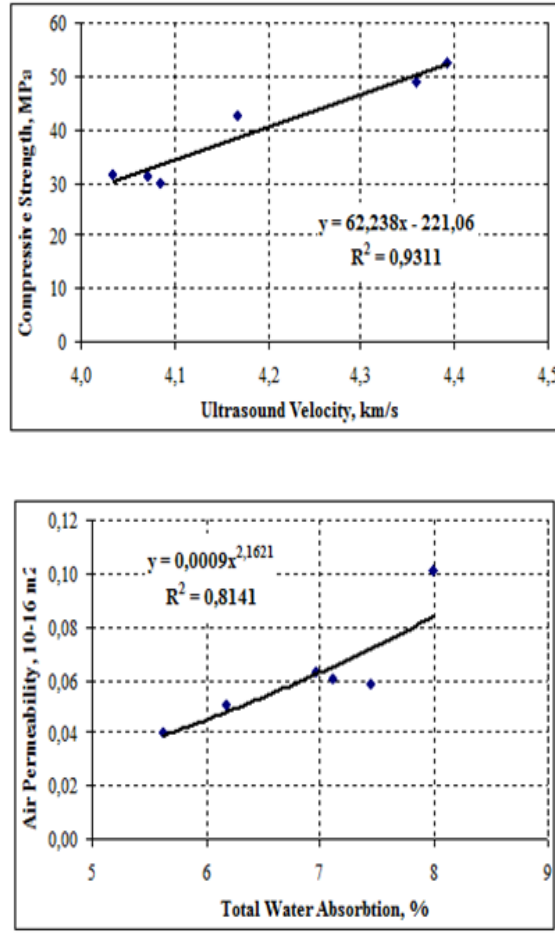


Figure ... Relation between air permeability



Şekil 2.18 Elektriksel direnç ve hava geçirimlilik ve beton dayanımı



Şekil 2.19 Basınç dayanımla ultra ses ve hava geçirirmlilikle toplam su emme

Acharya ve Patro, (2015) yapmış oldukları çalışmada dört ferrokrom külünü (FA) dört farklı yüzde oranında (% 10,% 20,% 30 ve % 40) ve % 7 kireci normal Portland çimentosuna katarak betonun basınç dayanımı, ayrılma gerilme dayanımı, elastikiyet modülü, ultrasonik hızı ve su geçirirmliliği araştırılmıştır. Test sonuçları erken yaşta betonun FA ve kireç içermesi basınç dayanımını artmaktadır. % 10 FA ve % 7 kireç içeren beton karışımında dayanıklılık ve dayanıklılık özelliklerinde maksimum artış gözükmeaktadır. FA ve kireç içermesi ultrasonik hızını arttırıp ve su geçirgenliğini azaltmaktadır. Agrega ve çimento hamurunun arasındaki bağ iyileştirmektedir. XRD test sonuçlarına bakarak basınç dayanımı, çekme dayanımı, elastikiyet modülü, su geçirgenliği ve ultrasonik hızı arasında iyi bir ilişki görülmektedir.

BÖLÜM ÜÇ

GEREÇ VE YÖNTEMLER

Daha öncede belirtildiği gibi bu tez çalışması kapsamında 112M899 numaralı TÜBİTAK projesinde elde edilen beton kalitesinin ve çimento türünün betonun deniz suyu dayanıklılığına ve beton içine gömülü çelik donatının korozyona etkisinin gerçek deniz ortamında incelenmesi başlıklı olduğu projede beton kalitesi ve çimento tipinin betonun geçirimsizliğinde etkisini de incelenmiştir. Çalışmada hazır beton sektöründe kullanımı bulunan iki farklı beton sınıfında (C25/30 ve C40/50) üç farklı çimento türü (CEM I 42,5 R, CEM II / A-M (P-L) 42,5 R, SDC 42,5 R) ve bunlara uçucu kül ikamesi ile hazırlanan toplam 12 farklı karışımın performansı ölçülmüş ve kıyaslanmıştır.

Bu deneysel çalışmada ulaşılmak istenen hedefler aşağıda sıralanmıştır:

- Beton kalitesinin betonun geçirimsizliğinde etkisi
- Çimento tipinin betonun geçirimsizliğinde etkisi
- Mineral katkı ikamesinin betonun geçirimsizliğinde etkisi

3.1 Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin özellikleri bu bölümde sunulmaktadır.

Çimento

Proje kapsamında üç farklı çimento ile üretilmiş betonların dayanıklılık özellikleri incelenmektedir. Normal Portland çimentosu (CEM I 42,5 R), katkılı çimento (CEM II / A-M (P-L) 42,5 R) ve sülfata dayanıklı çimentonun (CEM I 42,5 R-SR 5) fiziksel ve kimyasal özellikleri sırasıyla Tablo 3.1, Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'te aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.1 Normal Portland çimentosunun (CEM I 42,5 R) özellikleri

Bileşen	Birim	CEM I 42,5 R
SiO ₂	%	19,07
Al ₂ O ₃	%	5,61
Fe ₂ O ₃	%	2,91
CaO	%	62,28
MgO	%	0,87
SO ₃	%	2,75
Na ₂ O	%	0,61
K ₂ O	%	0,67
KK	%	4,82
Çözünmeyen Kalıntı	%	1,09
Özgül Ağırlık	g/cm ³	3,10
Blaine	cm ² /g	4780
90 mµ Bakiye	%	0,0
45 mµ Bakiye	%	1,2
Priz başlangıcı	sa:dk	03:05
Priz sonu	sa:dk	04:10
Su ihtiyacı	%	31,6
Genleşme	mm	0,2

Tablo 3.2 Katkılı çimentonun (CEM II / A-M (P-L) 42,5 R) özellikleri

Bileşen	Birim	CEM II A-M(P-L) 42,5 R
SiO ₂	%	23,17
Al ₂ O ₃	%	6,16
Fe ₂ O ₃	%	2,82
CaO	%	56,57
MgO	%	0,84
SO ₃	%	3,08
Na ₂ O	%	0,74
K ₂ O	%	0,86
KK	%	4,90
Katkı	%	18,07
Özgöl Ağırlık	g/cm ³	3,02
Blaine	cm ² /g	5070
90 mµ Bakiye	%	0,2
45 mµ Bakiye	%	2,8
Priz başlangıcı	sa:dk	03:05
Priz sonu	sa:dk	04:00
Su ihtiyacı	%	33,15
Genleşme	mm	0,30

Tablo 3.3 Sülfata dayanıklı çimentonun (CEM I 42,5 R-SR 5) özellikleri

BİLEŞEN	Birim	CEM I 42,5 R-SR 5
SiO ₂	%	19,66
Al ₂ O ₃	%	3,98
Fe ₂ O ₃	%	4,15
CaO	%	64,82
MgO	%	0,99
SO ₃	%	2,45
Na ₂ O	%	0,09
K ₂ O	%	0,61
S.CaO	%	1,46
KK	%	2,76
Çözünmeyen Kalıntı	%	2,65
C ₃ A	%	3,53
Özgül Ağırlık	g/cm ³	3,15
Blaine	cm ² /g	3790
45 µ Bakiye	%	7,6
Priz Başı	sa:dk	200
Priz Sonu	sa:dk	255
Su İhtiyacı	%	26,4
Genleşme	mm	1,3

Uçucu Kül

Deneyssel programda sadece çimento bağlayıcılı betonların yanında çimento yerine %20 uçucu kül (UK) ikamesi yapılan betonlarda üretilmiştir. Orhaneli Termik santralinden temin edilen uçucu külün özellikleri Tablo 3.4'te verilmiştir. Kullanılan UK, ASTM C618'e göre %10'dan daha düşük CaO oranına sahip olduğundan düşük kireçli sınıfta yer aldığı söylenebilir.

Tablo 3.4 Orhaneli uçucu külünün özellikleri

	Limit değeri	Sapma	Standard No	Deney Sonuçları
KIZDIRMA KAYBI	Max % 5	%7'ye kadar milli esaslara göre kabul edilir.	EN 196-2	0,73
İNCELİK 45 mikron elek bakiyesi	20-40	% ±10	EN 451-2	32,9
KLORÜR	Max % 0,1		EN 196-21	0,018
SERBEST KALSİYUM OKSİT (S.CaO)	Max %1	S.CaO=%1-2,5 ise genişleme deneyi uygulanır.	EN 451-1	0,10
REAKTİF KALSİYUM OKSİT (R.CaO)	Max %10		EN 196-2	4,38
KÜKÜRT TRİOKSİT (SO ₃)	Max % 3		EN 196-2	0,88
GENLEŞME	Max 10mm	%30 küllü çimento karışımının genişmesi max 10mm olabilir.	EN 196-3	-
AKTİVİTE ENDEKSİ (Puzzolanik Aktivite)	28 Günlük aktivite min 75 90 Günlük aktivite min 85		EN 196-1	7 Günlük =79,8 28 Günlük =88,2 90 Günlük =95,7
YOĞUNLUK (g/m ³)	2000-2400 (g/m ³)	±200 Kg/m ³	EN 196-6	2210

Agrega

Beton karışımlarında üç farklı tane büyüklüğüne sahip agrega kullanılmıştır. Elek analizi sonucunda 0-5 mm kum, 5,6-11,2 mm iri agrega ve 11,2-22,4 mm iri agreganın tane büyüklüğü dağılımı Tablo 3.5’te verilmektedir. Kullanılan agregaların yoğunluk ve su emme değerleri ise Tablo 3.6’ da sunulmaktadır.

Tablo 3.5 Kullanılan agregaların tane büyüklüğü dağılımı

Elek açıklığı, Mm	Elekten geçen, %		
	0-5 mm Kum	5,6-11,2 mm İri agrega	11,2-22,4 mm İri agrega
45,0			
31,5			
22,4			100
16,0		100	63
11,2		93	6
8,0		49	-
5,6	100	13	
4,0	92	2	
2,0	61	1	
1,0	40	-	
0,5	28		
0,250	19		
0,150	14		
0,063	7		
Elek altı	-		

Tablo 3.6 Agregaların yoğunluk ve su emme değerleri

	0-5 mm Kum	5,6-11,2 mm İri agrega	11,2-22,4 mm İri agrega
KYD Yoğunluk	2,65	2,69	2,70
Su emme, %	1,95	0,75	0,42

Süperakışkanlaştırıcı

Beton karışımları gruplar halinde aynı dozaj ve aynı su/bağlayıcı oranlarına sahip olması nedeni ile tüm betonların benzer işlenebilirlik değerlerine sahip olması için farklı oranlarda su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkı kullanılması gerekmiştir. Kullanılan akışkanlaştırıcı miktarları beton karışım oranları tablosunda verilmektedir.

Deneylerde kullanılan su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkı İdea Gantre 171 ticari markası ile bulunan, modifiye polikarboksilat esaslı, katı madde oranı %25,66 olan bir süperakışkanlaştırıcı katkı malzemesidir. Yoğunluk değeri 1,090 olup pH değeri 5,90'dır.

Beton Karışımları

Deneyisel çalışmalarda beton sınıfı ana değişkenlerden biridir. Hazır beton sektöründe yaygın olarak kullanılan normal dayanım sınıfı olan C25/30 ve nispeten daha yüksek mukavemetli C40/50 sınıfları için tasarımlar yapılmıştır. C25/30 sınıfı betonlarda çimento dozajı 350 kg/m^3 olup su/bağlayıcı madde oranı (s/b) 0,56 olarak seçilmiştir. C40/50 sınıfı betonlarda ise çimento dozajı 450 kg/m^3 , su/bağlayıcı madde oranı 0,43'tür.

Programda bir diğer ana değişken çimento tipidir. Çimento tipinin betonun her iki sınıf beton Portland çimentosu (CEM I 42,5 R), katkılı çimento (CEM II / A-M (P-L) 42,5 R) ve sülfata dayanıklı çimento (CEM I 42,5 R-SR 5) olmak üzere üç farklı çimento türü ile beton numune üretimi yapılmıştır. Ayrıca, sözü edilen beton karışımlarına %20 oranında çimento yerine uçucu kül ikamesi ile beton karışımları

tekrarlanmıştır. C25/30 sınıfı uçucu kül kullanılan betonlarda s/b oranı 0,56 olup su/çimento oranı (s/ç) 0,70'dir. C40/50 sınıfı betonlarda ise bu oranlar sırasıyla 0,43 ve 0,54'dür, Toplamda 12 farklı karışımın performansı ölçülmektedir.

Sözü edilen betonlara ait karışım oranları kesin olarak belirlenmeden önce birçok deneme yapılmıştır. Bu denemelerde amaç değişik bağlayıcı tiplerine bağlı olarak dozaj, s/ç oranı, s/b oranı, hedef işlenebilirlik için gerekli süper akışkanlaştırıcı katkı miktarının belirlenerek dayanım mertebelerinin ayarlanmasıdır. Kesinleşmiş beton karışım oranları aşağıdaki tablolarda sunulmuştur.

İncelenen beton karışımları bağlayıcı malzeme tipine göre kodlanmıştır. Buna göre, CEMI bağlayıcı maddesi yalnızca CEM I 42,5 R çimentosu olan betonu, CEMII ise bağlayıcı malzemesi yalnızca CEM II / A-M (P-L) 42,5 R çimentosu olan betonu ifade etmektedir. SRC kodu ise bağlayıcı madde olarak yalnızca sülfata dayanıklı çimento CEM I 42,5 R-SR 5 olan betonu ifade etmektedir. Kodlamalardaki F harfi, ilgili çimento dozajının %20 azaltılarak yerine uçucu kül kullanılmasını ifade etmektedir. Aynı kodlama her iki beton mukavemet sınıfı için kullanılmıştır.

C25/30 sınıfı betonlara ait karışım oranları Tablo 3.7'de, C40/50 sınıfı betonlara ait karışım oranları ise Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.7 C25/30 sınıfı betonların karışım oranları

Bileşenler	KARIŞIMLAR					
	CEMI	CEMII	SRC	CEMI-F	CEMII-F	SRC-F
Çimento	350	350	350	280	280	280
Uçucu kül	-	-	-	70	70	70
Su	196	196	196	196	196	196
SA	0,35	1,40	0,00	0, 5	1,40	0,35
Kum	906	906	906	889	889	889
5/12	398	398	398	391	391	391
12/22	491	491	491	481	481	481
Toplam	2341	2342	2341	2307	2308	2307
s/ç	0,56	0,56	0,56	0,70	0,70	0,70
s/b	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
SA, %	0,10	0,40	0,00	0,10	0,40	0,10
Hava, %	2,0	2,1	1,4	1,8	1,5	2,1
Çökme, cm	20	20	20	21	20	21

Tablo 3.8 C40/50 sınıfı betonların karışım oranları

Bileşenler	KARIŞIMLAR					
	CEMI	CEMII	SRC	CEMI-F	CEMII-F	SRC-F
Çimento	450	450	450	360	360	360
Uçucu kül	-	-	-	90	90	90
Su	194	194	194	194	194	194
SA	1,80	2,70	0,90	1,80	2,25	0,90
Kum	836	836	836	809	809	809
5/12	419	419	419	405	405	405
12/22	473	473	473	460	460	460
Toplam	2374	2375	2373	2320	2320	2319
s/ç	0,43	0,43	0,43	0,54	0,54	0,54
s/b	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
SA, %	0,40	0,60	0,20	0,40	0,50	0,20
Hava, %	2,1	2,3	2,0	1,8	1,7	1,8
Çökme, cm	21	21	21	21	21	21

3.2 Kullanılacak Analiz ve Test Yöntemleri

- Basınç dayanımı
- Hızlı klor geçirimliliği deneyi
- Hava geçirimlilik deneyi
- Rezistivite ölçümü
- Ultrason deneyi
- Kılcal su emme
- Toplam su emme
- Su geçirimlilik deneyi

3.3 Yapılan Deneyler

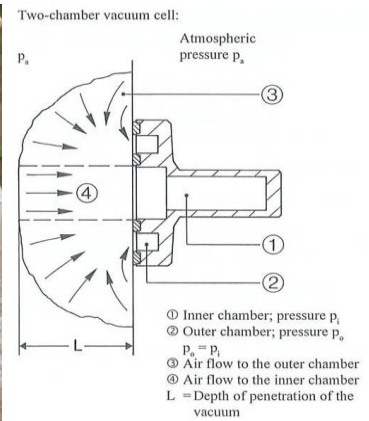
Toplam 12 karışımdan alınan 15 cm ayrıtlara sahip beton küp numuneler deney yaşına kadar standart su kürüne tabi tutulmuştur.

3.3.1 Basınç Dayanımları

Toplam 12 karışımdan alınan 15 cm ayrıtlara sahip beton küp numuneler değişik yaşlarda basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Özellikle mineral katkı (uçucu küllü) betonların dayanım gelişiminin nispeten yavaş olması nedeni ile örnekler benzer dayanımlara gelinceye kadar dayanım gelişimi takip edilmiştir.

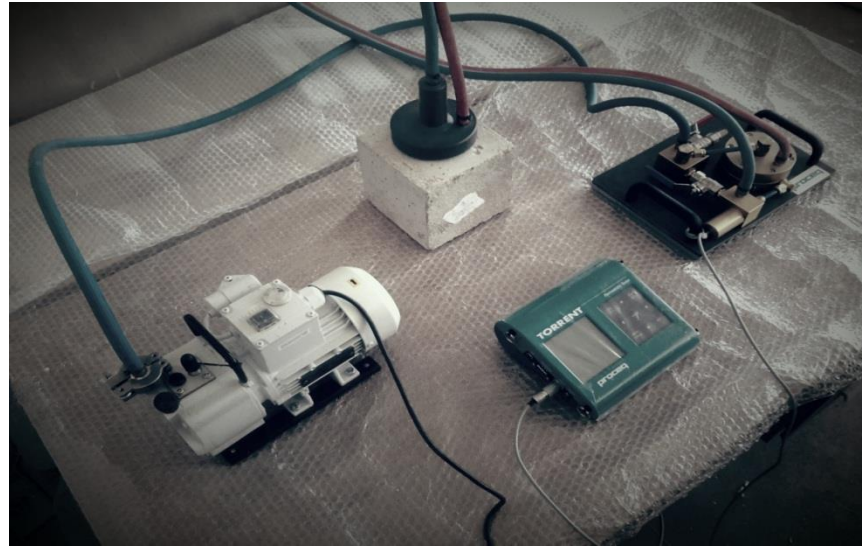
3.3.2 Hava Geçirirliği

Beton karışımlarının hava geçirirliği ölçümleri Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3' te görülen Torrent Permeabilite Ölçer ile belirlenmiştir. Cihaza bağlanan vakum pompası beton bünyesinde vakum oluşturmaktadır. Yöntemde hava geçirirliği, beton yüzeyine yerleştirilen iç içe geçmiş iki odacıklı bir vakum hücresi kullanılarak ölçülmektedir. Dış hücre hava akışının düzenli olmasını, bir diğer deyişle merkezdeki hücredeki hava akımının beton yüzeyine dik olmasını sağlarken, merkezdeki hücreden geçen hava miktarı ölçülmektedir. Test sonucu hava geçirirliği katsayısı k_t olarak ifade edilmekte ve 10^{-16} m^2 biriminde verilmektedir. Test sonuçlarına göre betonun kalite sınıflarını belirleyen kalite indeksleri Tablo 3.11'de verilmiştir (Torrent, 1992).

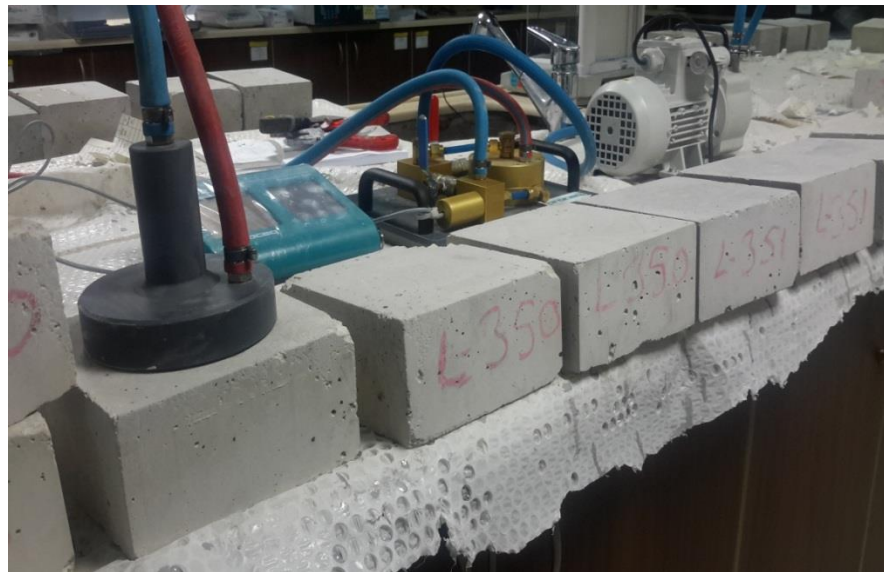


Tablo 3.9 Hava geçirirnililik deneyi için beton kalite indeksleri (Torrent, 1992)

Beton kalitesi	İndeks	k_T . [10^{-16} m ²]
Çok kötü	5	>10
Kötü	4	1,0–10
Orta	3	0,1–1,0
İyi	2	0,01–0,1
Çok iyi	1	<0,01



Şekil 3.2 Hava geçirirnililik düzeneği (Kişisel arşiv, 2013)

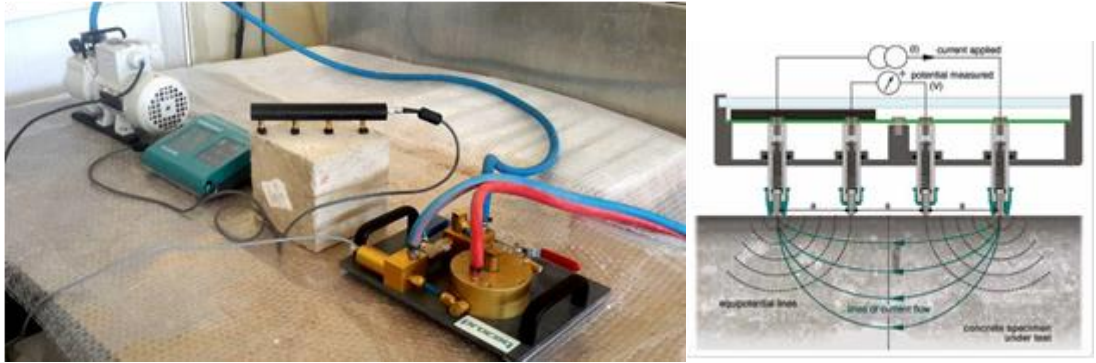


Şekil 3.3 Hava geçirirnililik numunelerin üzerinde yapılırken (Kişisel arşiv, 2013)

Proje çalışması kapsamında hava geçirimsizlik deneyleri 15x15x7,5 cm boyutlu kare prizma örnekler üzerinde yapılmıştır. Numuneler kür sürecini tamamladıktan sonra ölçümler yapılmıştır. Deney yöntemi tahribatsız bir yöntemdir.

3.3.3 Rezistivite Ölçümleri

Beton karışımlarında rezistivite (elektriksel direnç) ölçümleri Venner prob kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.10). Betonun elektriksel direnci ölçülürken dıştaki iki proba bir akım uygulanıp, içteki iki prob arasındaki potansiyel farkı ölçülmektedir. Beton rezistivitesi $\rho = 2\pi aV/I$ formülü ile hesaplanmaktadır. Burada ρ rezistivite, a probalar arası mesafe, V ölçülen potansiyel ve I uygulanan akımdır.

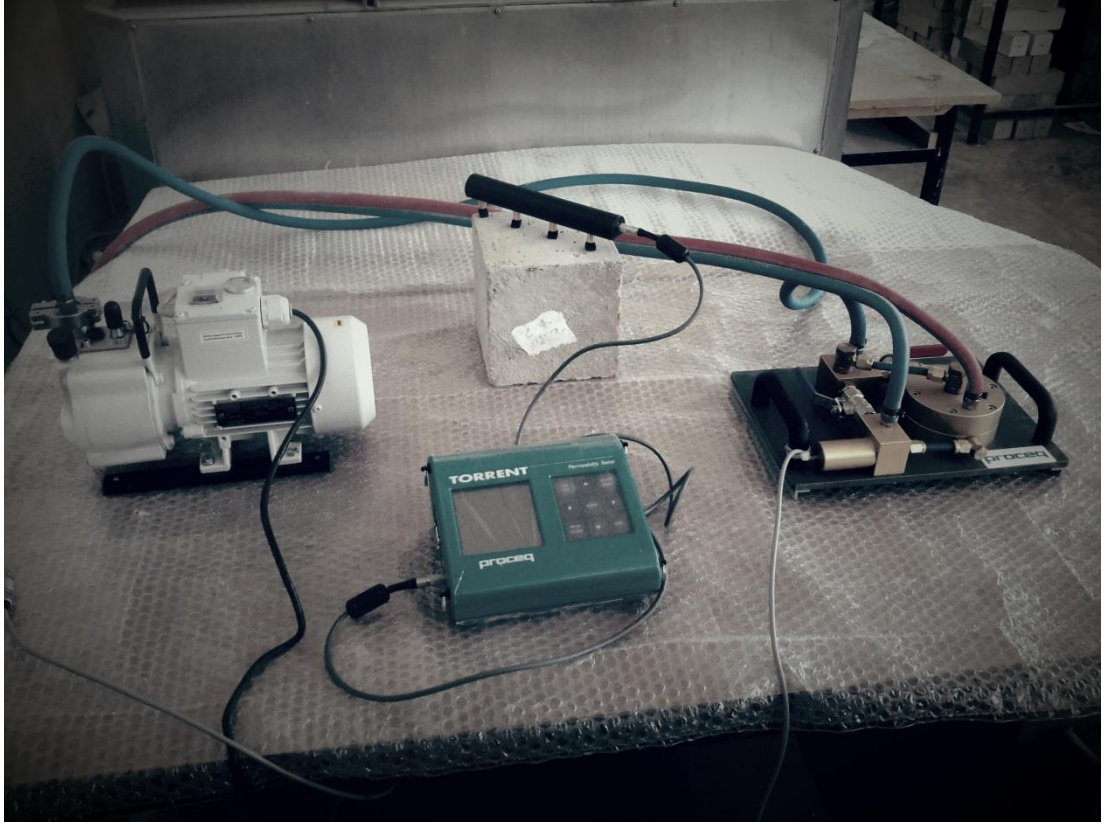


Şekil 3.4 Rezistivite (elektriksel direnç) ölçümleri (Kişisel arşiv, 2013)

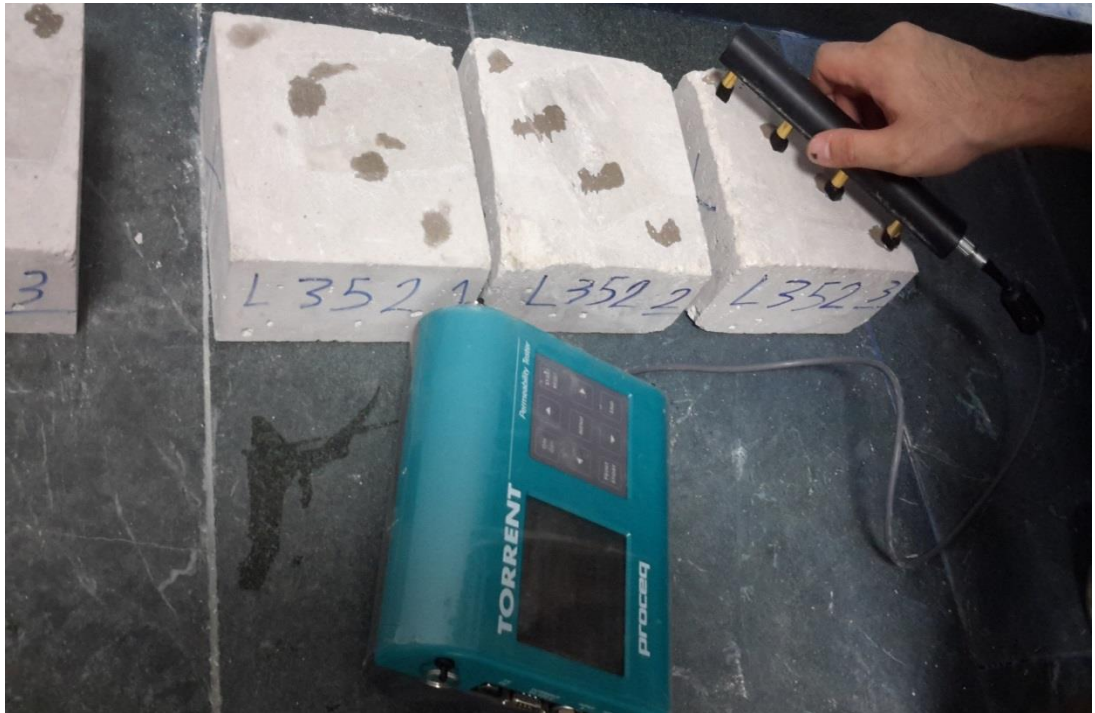
Çalışma kapsamında elektriksel direnç ölçümü deneyleri kür sürecini tamamlayan 15x15x7,5 cm boyutlu kare prizma örnekler üzerinde yapılmıştır. Deney yöntemi tahribatsız bir yöntemdir.

Tablo 3.10 rezistivite ölçümlerinin değerlendirilmesi

Rezistivite değerleri	Geçirimsizlik Riski
$\geq 100 \text{ k}\Omega\text{cm}$	İhmal edilebilir
50 - 100 $\text{k}\Omega\text{cm}$	Düşük
10 - 50 $\text{k}\Omega\text{cm}$	Orta risk
$\leq 10 \text{ k}\Omega\text{cm}$	Yüksek risk



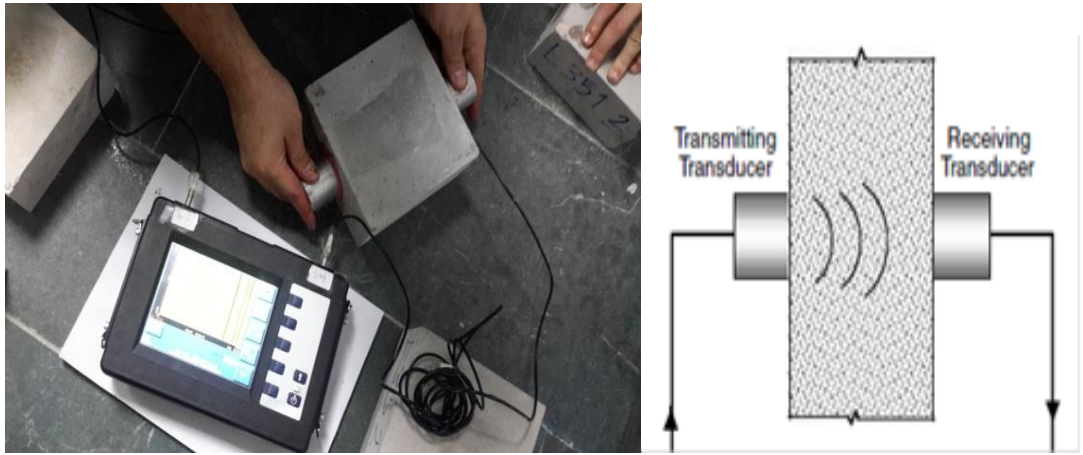
Şekil 3.5 Rezistivite (elektriksel direnç) düzeneği (Kişisel arşiv, 2013)



Şekil 3.6 Rezistivite (elektriksel direnç) ölçümleri yapılırken (Kişisel arşiv, 2013)

3.3.4 Ultrases Ölçümleri

Betonda ultrases ölçümleri kalite açısından betonun belirli bir süreç içinde takip edilmesinde iyi bir izleme aracıdır. Ultrases geçiş hızı deneyinde bir verici ünite ultrases dalgasını beton bünyesinden bir başka alıcı üniteye göndermektedir (Şekil 3.17). Cihaz ses dalgasının alıcı üniteye ulaşma zamanını ölçmektedir. Dolayısıyla ultrases hızı; $V = L/t$ İfadesi ile hesaplanabilir. Burada V ultrases hızı, L Üniteler arası mesafe, t ise ultrases dalgasının alıcı üniteye ulaşma zamanıdır.

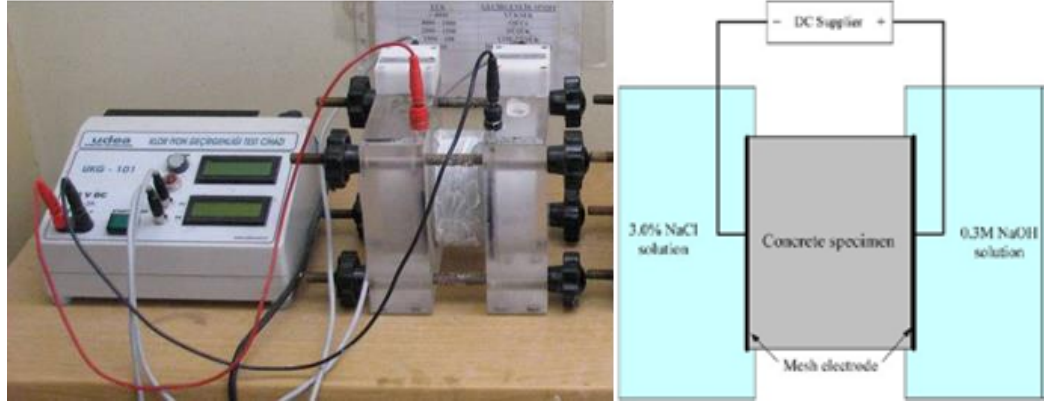


Şekil 3.7 Ultrases geçiş hızı deneyi (Kişisel arşiv, 2013)

Deneyisel çalışma kapsamında ultrases geçiş hızı ölçümleri 15x15x7,5 cm boyutlu kare prizma örnekler üzerinde yapılmıştır. Deney yöntemi tahribatsız bir yöntemdir.

3.3.5 Hızlı Klor Geçirirliği

İncelenen beton karışımları üzerinde ASTM C 1202 standardına göre hızlı klor geçirirliği deneyi yapılmıştır. Şekil 3.22’de hızlı klor iyonu geçirirliği deney düzeneği görülmektedir. 100 mm çapında, 50 mm kalınlığında silindirik beton numunelerin klor geçirirlilik değerleri belirlenmiştir. Numuneler kür periyodu tamamlandıktan sonra suya doymun hale getirilmiştir. Numuneler test cihazına yerleştirilmiş, içerisinde NaCl ve NaOH çözeltileri bulunan hücreler arasında 60 V DC potansiyel altında 6 saatlik süre zarfında geçen toplam elektriksel yük miktarı (Coulomb) belirlenmiştir (ASTM C 1202).

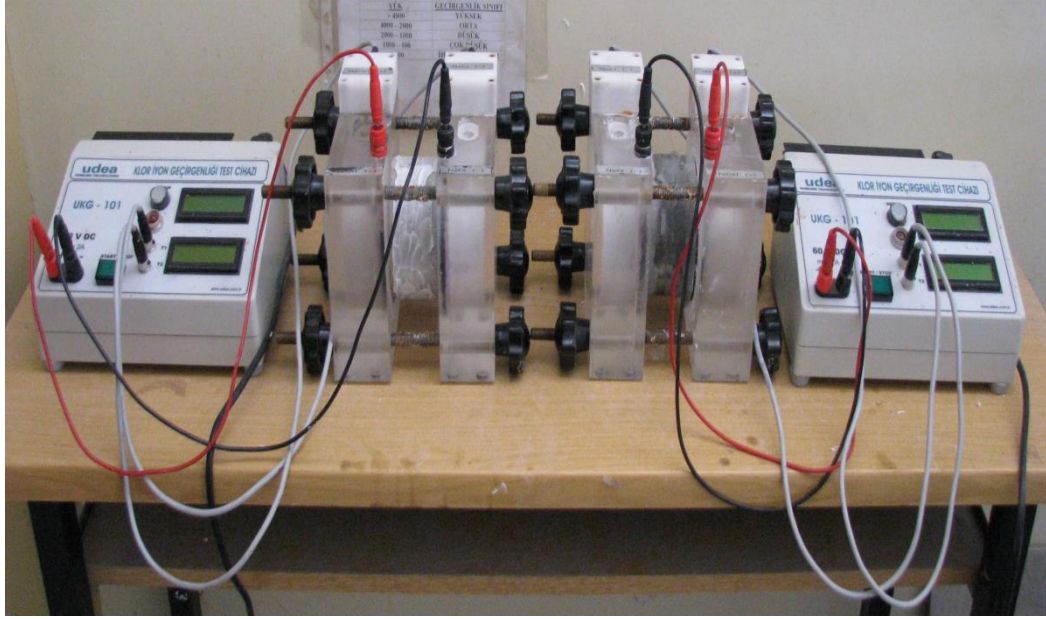


Şekil 3.8 Hızlı klor geçirirnililiği deney düzeneği (Kişisel arşiv, 2013)

Test sonucu elde edilen elektriksel yük değeri betonun klor geçirirnililiği ile ilişkilidir. Söz konusu sınıflandırma Tablo 3.11’ de verilmiştir.

Tablo 3.11 Hızlı klor geçirirnililiği sınıflandırması (ASTM C1202)

Geçen elektriksel yük (coulomb)	Klor geçirirnililik sınıfı
> 4,000	Yüksek
2,000-4,000	Orta
1,000-2,000	Düşük
100-1,000	Çok düşük
< 100	İhmal edilebilir



Şekil 3.9 Hızlı klor geçirimsizliği deney düzeneği (deney esnasında) (Kişisel arşiv, 2013)

3.3.6 Toplam Su Emme

İncelenen beton karışımları üzerinde çalıştığımız projeye ek olarak toplam su emme geçirimsizliği deneyi de yapılmıştır. 7,5x7,5x30 cm çapında, prizmatik beton numunelerin toplam su emme geçirimsizlik değerleri belirlenmiştir. Numuneler kür periyodu tamamlandıktan sonra suya doygun hale getirilmiştir. Numuneler iyice temizledikten sonra dikkatle tartılmıştır. Numuneler tartıldıktan sonra 100 derece fırında 24 saat boyunca tamamen kuru hale geldikten sonra tekrardan dikkatle tartılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Numuneler toplam su emme testinde tartılırken (Kişisel arşiv, 2013)

3.3.7 Kılcal Su Emme

İncelenen beton karışımları üzerinde çalıştığımız projeye ek olarak kılcal su emme geçirimliliği deneyi de yapılmıştır. 7,5x7,5x30 cm çapında, prizmatik beton numunelerin kılcal su emme geçirimlilik değerleri belirlenmiştir. Numuneler kür periyodu tamamlandıktan sonra 24saat boyunca 100 derece fırında tamamen kuru hale getirilmiştir. Numuneler fırından çıktıktan sonra iyice temizlenip dikkatle tartılmıştır. Sonraki adımda numuneler çelik bir tepside 3-4 mm kadar suyla temas halinde tutulup ve 30, 60, 90, 120, 150, 210, 270, 330 ve 1440 dakika aralıklarla tepside çıkarılıp iyice temizleyip ve numunenin üzerindeki suyu alıp ve dikkatle tartılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 Numunelerin kılcal su emme testi (Kişisel arşiv, 2013)

3.3.8 Su Geçirirnililiği

İncelenen beton karışımları üzerinde çalıştığımız projeye ek olarak su geçirirnililik deneyleri 20x10 cm boyutlu silindir örnekler üzerinde yapılmıştır. Numuneler kür sürecini tamamladıktan sonra ölçümler yapılmıştır. Deney yöntemi tahribatsız bir yöntem olup, ancak deney bittikten sonra numuneleri basınç altında kırarak suyun beton içerisine ne kadar sızdığını tayin edilmiştir. Bu deneyde örneklerin üzeri su doldurulup ve basınçlı hava ile suyun örnekten geçirilmesine çalışılır. Ancak havanın su içine girmemesine dikkat edilmelidir. Aksi takdirde su içindeki basınç azalır örnekten suyun geçmesi azalır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Su geçirirlik deney düzeneği (Kişisel arşiv, 2013)

BÖLÜM DÖRT

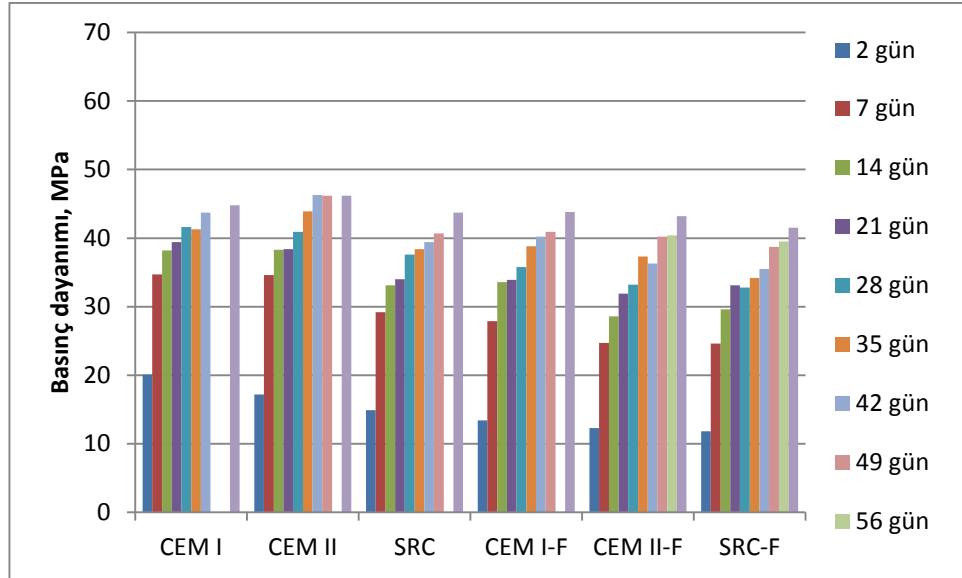
BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Basınç Dayanımları

C25/30 sınıfı betonlara ait değişik yaşlardaki basınç dayanımı değerleri Tablo 4.1’de ve Şekil 4.1’de, C40/50 sınıfı betonlara ait değişik yaşlardaki basınç dayanımı değerleri ise Tablo 4.2’de ve Şekil 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.1 C25/30 sınıfı betonlara ait değişik yaşlardaki basınç dayanımı değerleri

Beton yaşı	Basınç Dayanımları (MPa)					
	CEMI	CEMII	SRC	CEMI-F	CEMII-F	SRC-F
2 gün	20,1	17,2	14,9	13,4	12,3	11,8
7 gün	34,7	34,6	29,2	27,9	24,7	24,6
14 gün	38,2	38,3	33,1	33,6	28,6	29,6
21 gün	39,4	38,4	34,0	33,9	31,9	33,1
28 gün	41,6	40,9	37,6	35,8	33,2	32,8
35 gün	41,3	43,9	38,4	38,8	37,3	34,2
42 gün	43,7	46,3	39,4	40,2	36,3	35,5
49 gün		46,2	40,7	40,9	40,2	38,7
56 gün					40,4	39,5

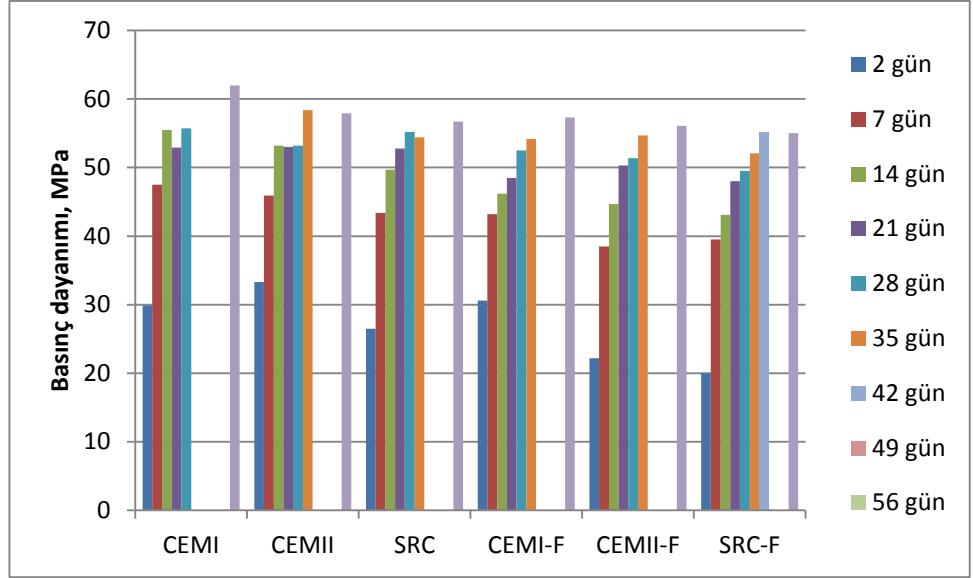


Şekil 4.1 C25/30 sınıfı betonların bağlayıcı tipi ve zamana göre basınç dayanımları

Basınç dayanımı verilerine bakıldığında, beklendiği üzere zamanla dayanım değerlerinin arttığı, bu artışın katkılı çimento içeren betonlarda ve uçucu küllü betonlarda puzolanik aktivite ile daha uzun sürdüğü söylenebilir. Uzun dönemde ise dayanımlar 41,5 ile 46,2 MPa arasında olup benzer mertebelerdedir.

Tablo 4.2 C40/50 sınıfı betonlara ait değişik yaşlardaki basınç dayanımı değerleri

Beton yaşı	Basınç Dayanımları (MPa)					
	CEMI	CEMII	SRC	CEMI-F	CEMII-F	SRC-F
2 gün	29,9	33,3	26,5	30,6	22,2	20,0
7 gün	47,5	45,9	43,4	43,2	38,5	39,5
14 gün	55,5	53,2	49,7	46,2	44,7	43,1
21 gün	52,9	53,0	52,8	48,5	50,3	48,0
28 gün	55,7	53,2	55,2	52,5	51,4	49,5
35 gün		58,4	54,4	54,2	54,7	52,1
42 gün						55,1

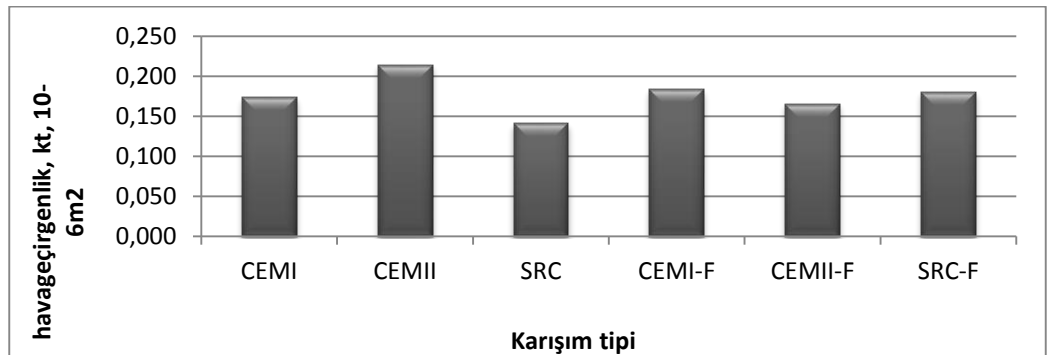


Şekil 4.2 C40/50 sınıflı betonların bağlayıcı tipi ve zamana göre basınç dayanımları

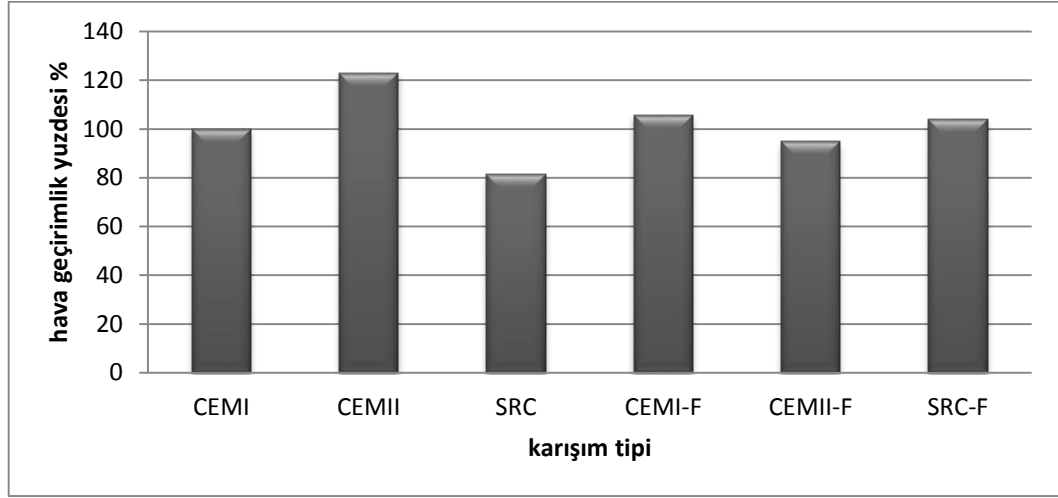
C40/50 sınıfı betonların uzun dönemli dayanımları 55 – 62 MPa arasındadır. Yüksek dayanımlı betonlarda dayanım gelişimi bağlayıcı tipine göre daha az değişmektedir.

4.2 Hava Geçirimsizlik Sonuçları

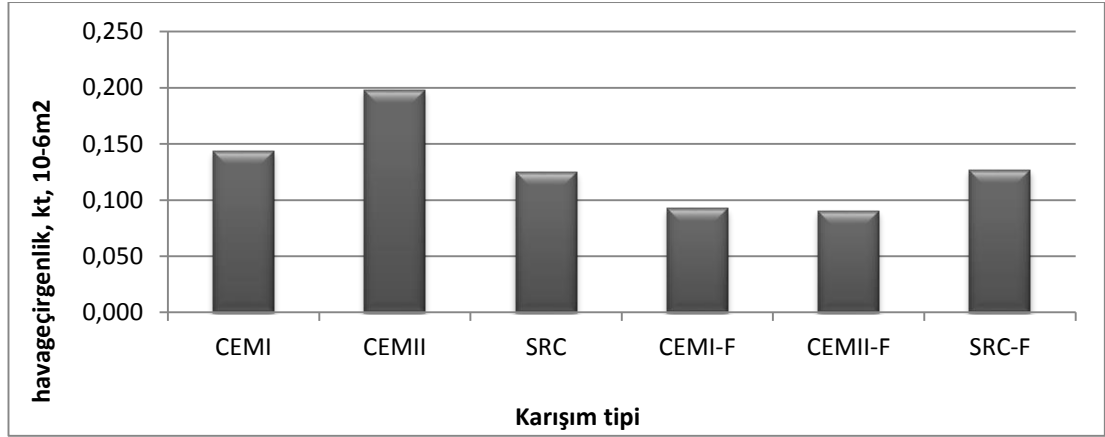
Deney yöntemi tahribatsız bir yöntem olup, İncelenen beton karışımları üzerinde elde edilen hava geçirimsizlik deney sonuçları Şekil 4.3 den Şekil 4.6'da görülmektedir. Test sonuçları üç numunenin ortalaması şeklinde verilmiştir.



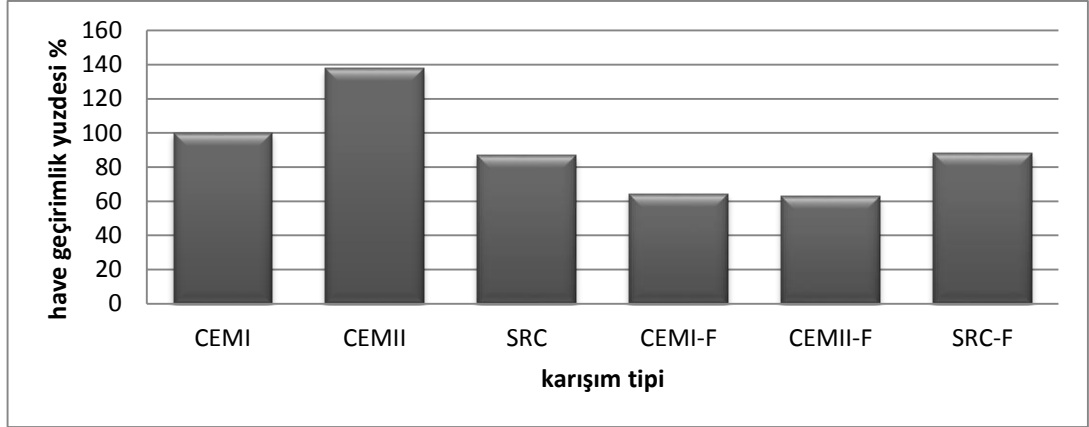
Şekil 4.3 C25/30 sınıflı betonların hava geçirimsizlik deney sonuçları



Şekil 4.4 C25/30 sınıflı betonların hava geçirimsizlik deney CEMI ile kıyasla yüzdeleri



Şekil 4.5 C40/50 sınıflı betonların hava geçirimsizlik deney CEMI ile kıyasla yüzdeleri

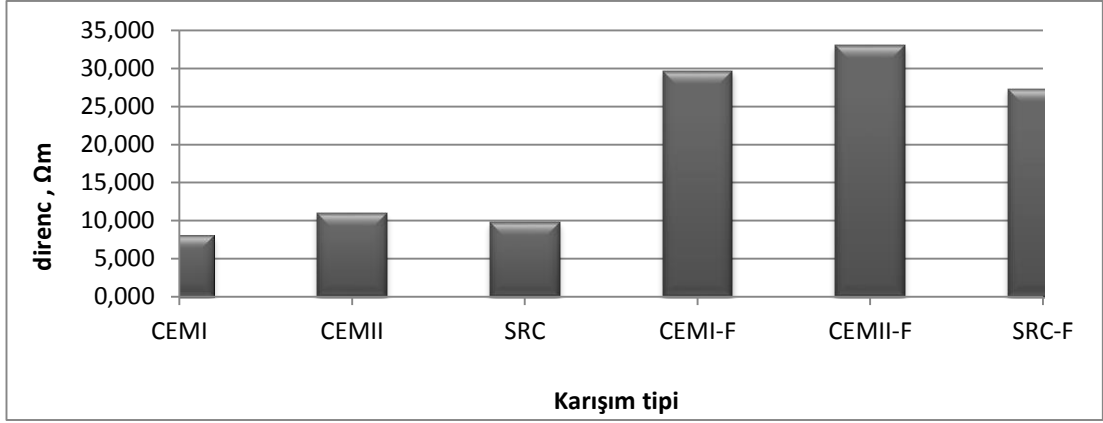


Şekil 4.6 C40/50 sınıflı betonların hava geçirimsizlik yüzde sonuçları

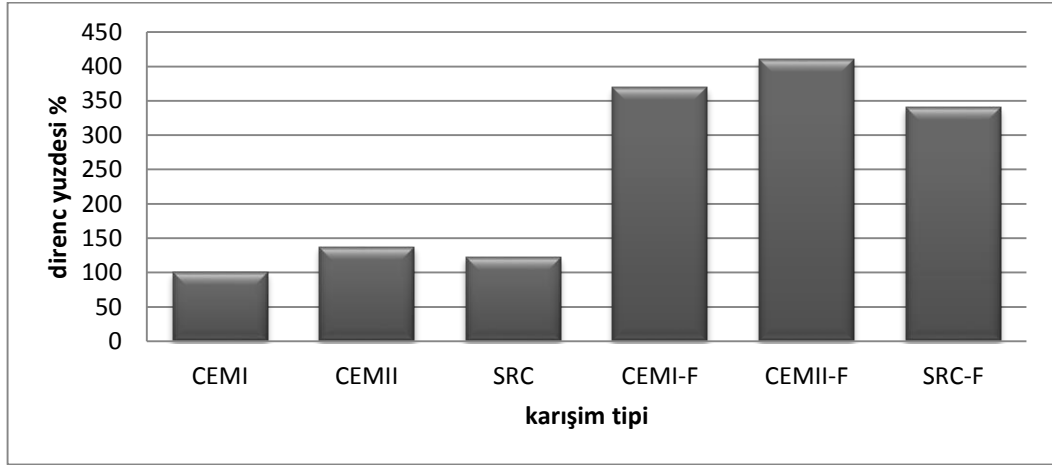
Hava geçirimsizlik deney sonuçlarına genel olarak bakıldığında tüm beton karışımlarının indeksinin 3 olduğu ve geçirimsizlik açısından orta kalitede yer aldığı söylenebilir. C40/50 sınıfında CEMI-F ve CEMII-F kodlu karışımların indeks değeri 2 olup geçirimsizlik açısından iyi kalite sınıfına yükselmiştir. Uçucu kül kullanımı açısından bakıldığında C25/30 sınıfı betonlarda kül kullanımının hava geçirimsizlik mertebesini pek değiştirmedığı, C40/50 sınıfı betonlarda ise geçirimsizlik değerlerini azaltarak indeks değerini değiştirdiği görülebilir.

4.3 Resistivite Ölçüm Sonuçları

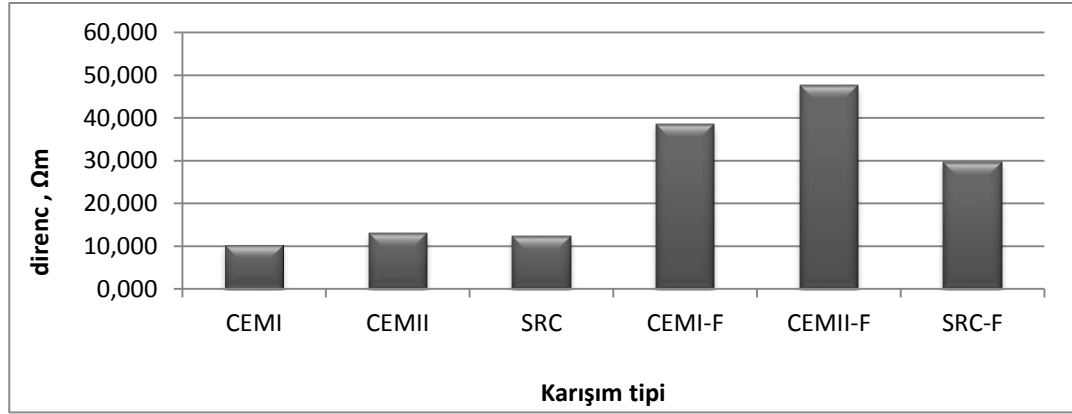
Çalışma kapsamında elektriksel direnç ölçümü deneyleri kür sürecini tamamlayan 15x15x7,5 cm boyutlu kare prizma örnekler üzerinde yapılmıştır. Deney yöntemi tahribatsız bir yöntem olup, İncelenen beton karışımları üzerinde elde edilen elektriksel direnç deney sonuçları Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'de görülmektedir. Test sonuçları üç numunenin ortalaması şeklinde verilmiştir.



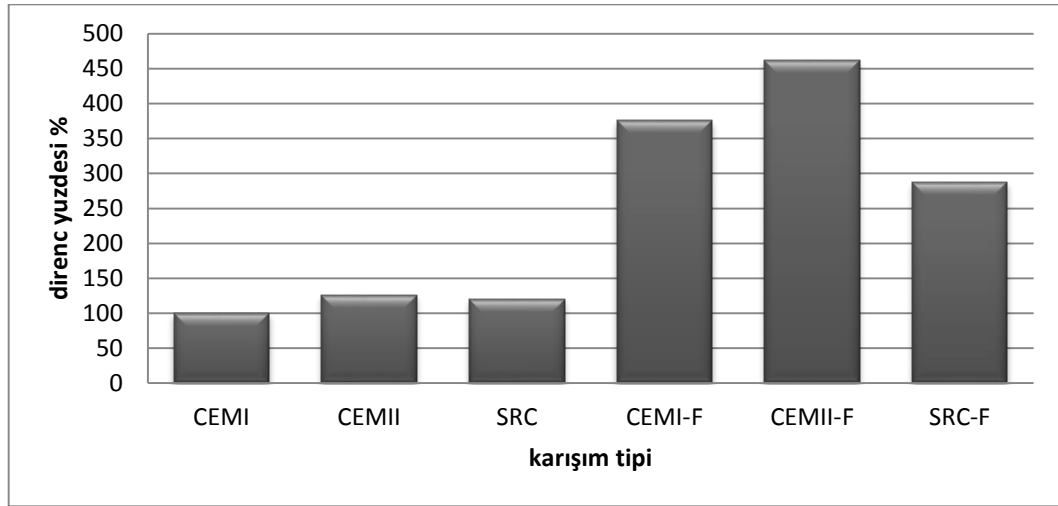
Şekil 4.7 C25/30 sınıflı betonların rezistivite deney sonuçları



Şekil 4.8 C25/30 sınıflı betonların rezistivite deneyi CEMI ile kıyasla yüzde sonuçları



Şekil 4.9 C40/50 sınıflı betonların rezistivite deney sonuçları

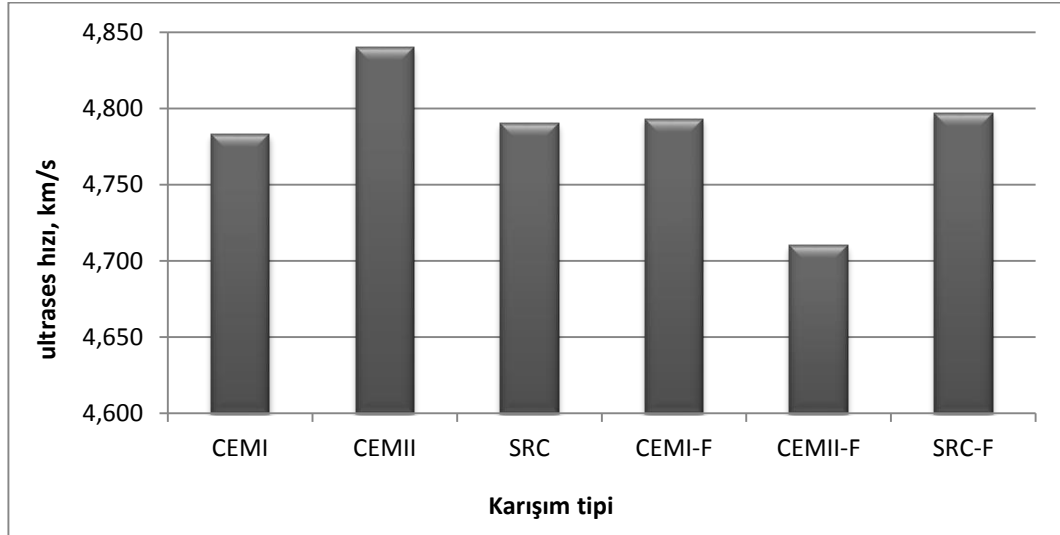


Şekil 4.10 C40/50 sınıflı betonların rezistivite deney CEMI ile kıyasla yüzde sonuçları

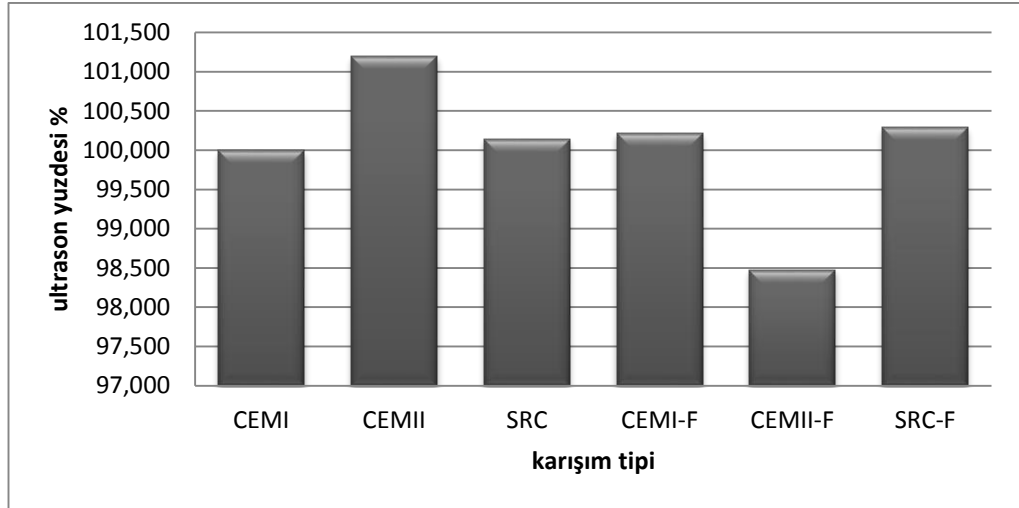
Elektriksel direnç ölçüm sonuçları oldukça çarpıcı şeklide kendini göstermektedir. Her iki beton sınıfı için uçucu kül kullanımı direnç değerlerini belirgin şekilde arttırmıştır. Diğer yandan beton sınıfının C25/30'dan C40/50'ye değişmesi yine rezistivite değerlerini arttırmıştır. Ayrıca C25/30 ve C40/50 için farklı grafikler yaparak diğer çimento tiplerinin CEMI e göre (CEMI i 100 farz ederek) direnç yüzde farkını elde ettik.

4.4 Ultrases Sonuçları

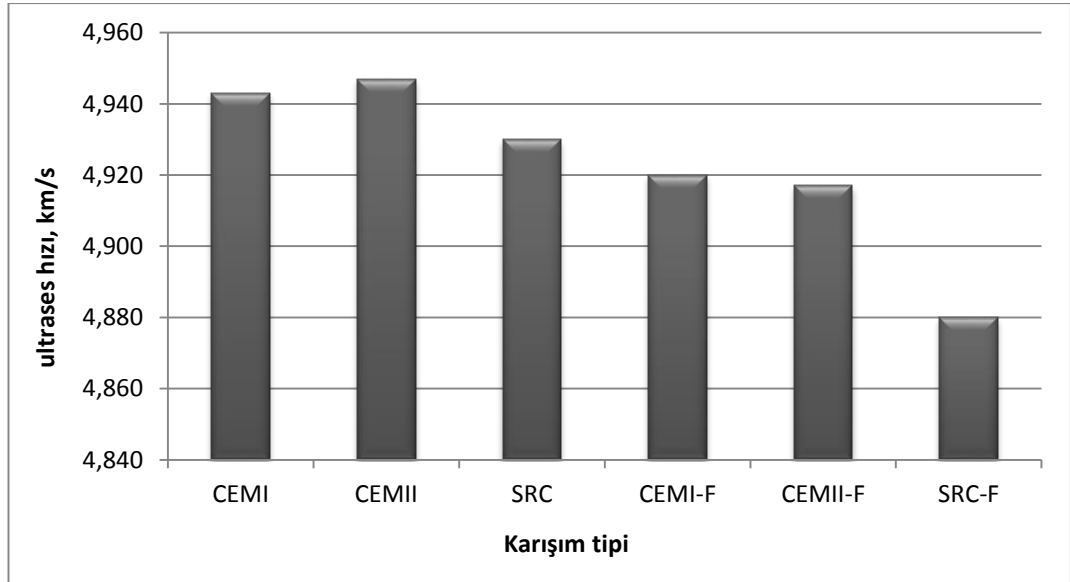
İncelenen beton karışımları üzerinde elde edilen ultrases geçiş hızı deney sonuçları Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de görülmektedir. Test sonuçları üç numunenin ortalaması şeklinde verilmiştir



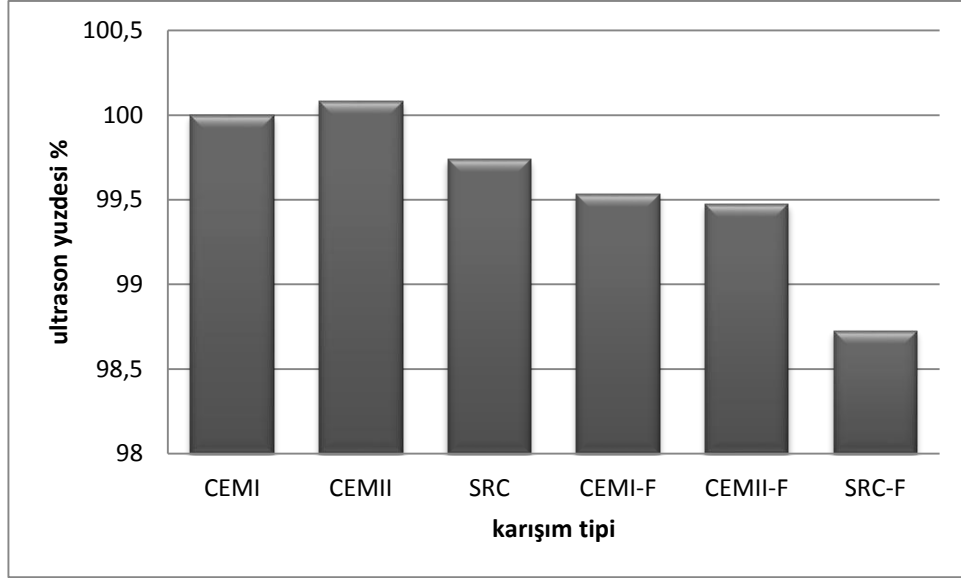
Şekil 4.11 C25/30 sınıflı betonların ultrases geçiş hızı değerleri



Şekil 4.12 C25/30 sınıflı betonların ultrases CEMI ile kıyasla geçirimlilik yüzdeleri



Şekil 4.13 C40/50 sınıflı betonların ultrases geçiş hızı değerleri

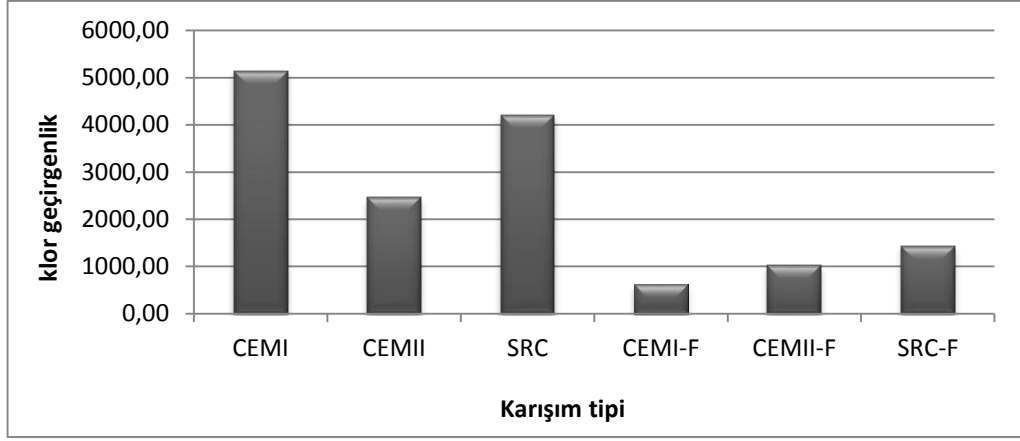


Şekil 4.14 C40/50 sınıflı betonların ultrases geçirirliğı CEMI ile kıyasla yüzdeleri

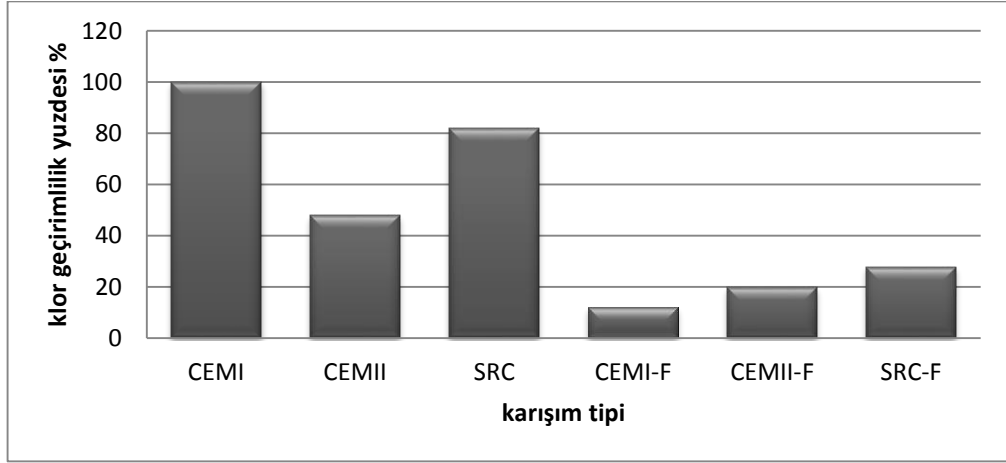
Betonda ultrases verileri ile basınç dayanımı arasında iyi bir korelasyon olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla benzer dayanım mertebesindeki betonların ultrases verilerinin de benzer mertebede olması beklenen bir sonuçtur. C25/30 sınıfı betonlarda ultrases geçiş hızı 4,71 - 4,84 km/s, C40/50 sınıfı betonlarda ultrases geçiş hızı 4,88 - 4,95 km/s aralığında tespit edilmiştir. Ayrıca C25/30 ve C40/50 için farklı grafikler yaparak diğer çimento tiplerinin CEMI ile kıyaslayarak (CEMI i 100 farz ederek) yüzde kaç geçirgen olduklarını elde ettik.

4.5 Hızlı Klor Geçirirliğı Sonuçları

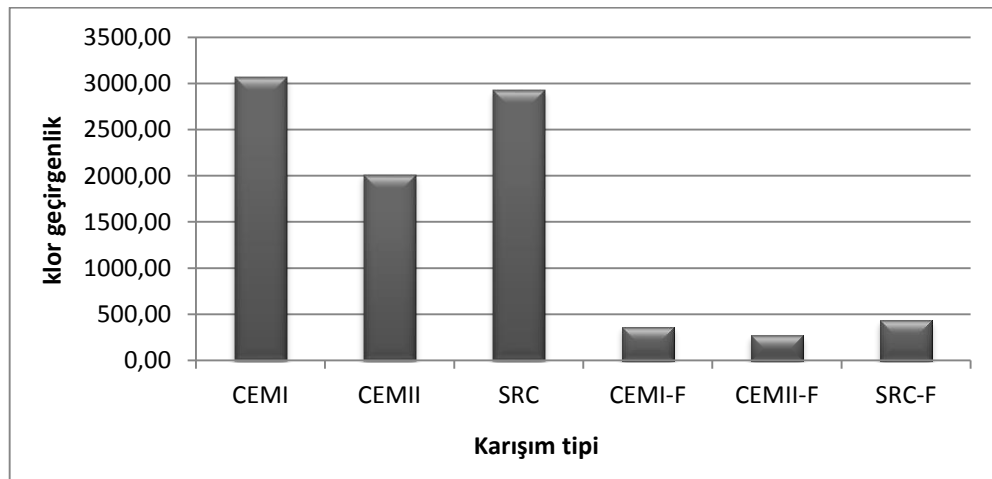
Deneyisel çalışma kapsamında hızlı klor geçirirliğı ölçümleri 10/5 cm boyutlu silindirik disk numuneler üzerinde yapılmıştır. Numune dökümlerinden sonra ilgili kür periyodunu tamamlayan örnekler hızlı klor geçirirlilik deneyine tabi tutulmuş olup her ölçüm için üç numune kullanılmıştır. Bu dönem içerisinde hızlı klor geçirirliğı ölçümleri tamamlanmıştır. İncelenen beton karışımları üzerinde elde edilen klor geçirirlilik deneyi sonuçları Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da görülmektedir. Test sonuçları üç numunenin ortalaması şeklinde verilmiştir.



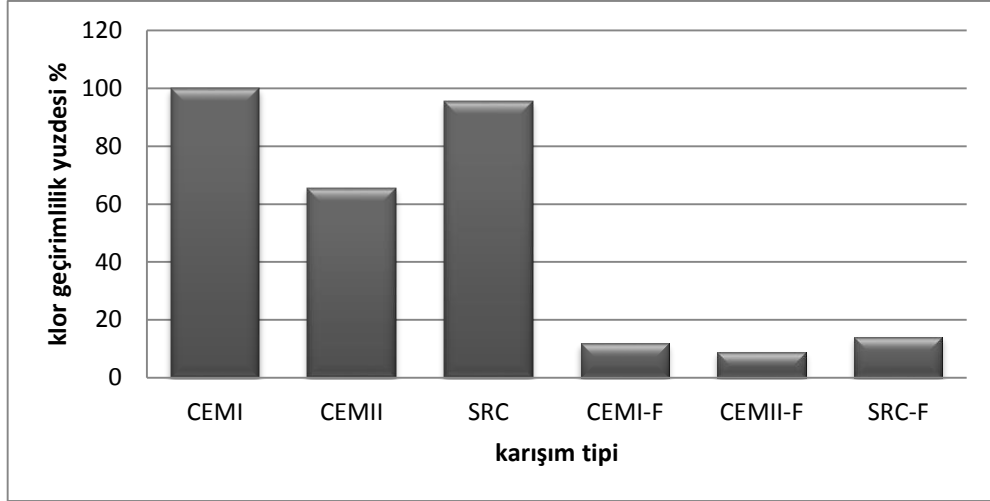
Şekil 4.15 C25/30 sınıflı betonların hızlı klor geçirimlilik değerleri



Şekil 4.16 C25/30 sınıflı betonların hızlı klor geçirimliliği CEMI ile kıyasla yüzdeleri



Şekil 4.17 C40/50 sınıflı betonların hızlı klor geçirimlilik değerleri



Şekil 4.18 C40/50 sınıflı betonların hızlı klor geçirimliliği CEMI ile kıyasla yüzdeleri

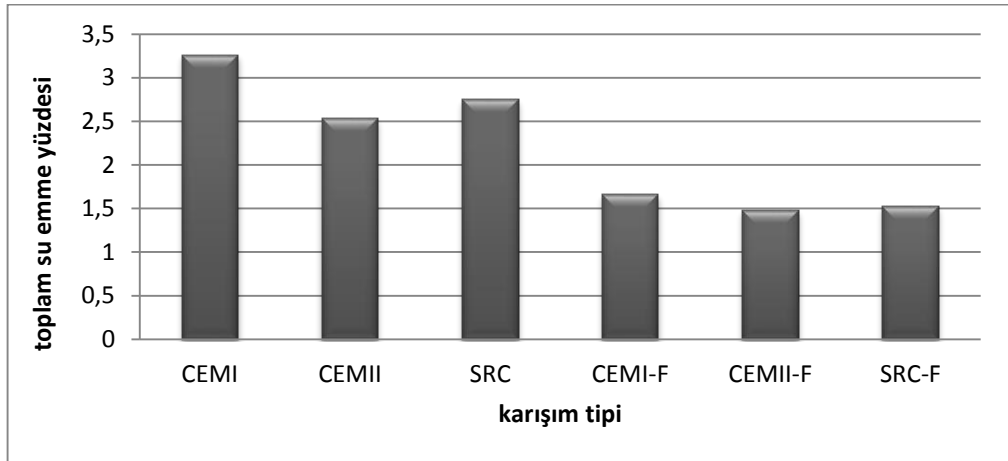
Hızlı klor geçirimlilik ve rezistivite (elektriksel direnç) deneyleri sonuçları arasında çok güçlü bir korelasyon olduğu anlaşılmaktadır. Her iki beton sınıfı için uçucu kül kullanımı klor geçirimlilik değerlerini belirgin şekilde azaltmıştır. Diğer yandan beton sınıfının C25/30'dan C40/50'ye değişmesi yine klor geçirimlilik değerlerini düşürmüştür. Ayrıca C25/30 ve C40/50 için farklı grafikler yaparak diğer çimento tiplerinin CEMI ile kıyaslayarak (CEMI i 100 farz ederek) yüzde kaç geçirgen olduklarını elde ettik.

4.6 Toplam Su Emme Sonuçları

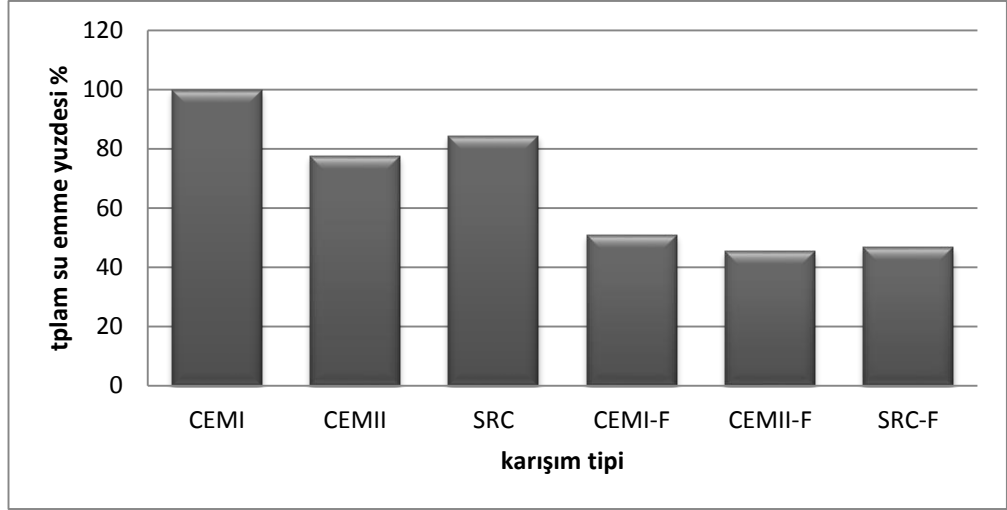
Numuneler kür periyodu tamamlandıktan sonra suya doygun hale getirilmiştir. Numuneler iyice temizledikten sonra dikkatle tartılmıştır. Numuneler tartıldıktan sonra 100 derece fırında 24 saat boyunca tamamen kuru hale geldikten sonra tekrardan dikkatle tartılmıştır. Şekil 4.11 bir sonraki adımda numunelerin suya doygun ve tamamen kuru ağırlıklarının farkını bulup numunelerin toplam su emme yüzdelerini belirledik (Şekil 4.12 ve Şekil 4.13).



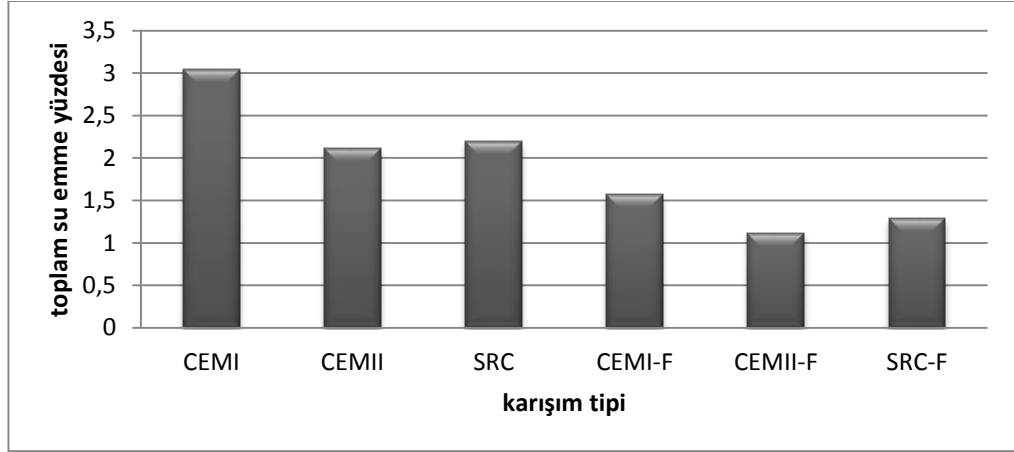
Şekil 4.19 Numuneler toplam su emme testinde tartılırken (Kişisel arşiv, 2013)



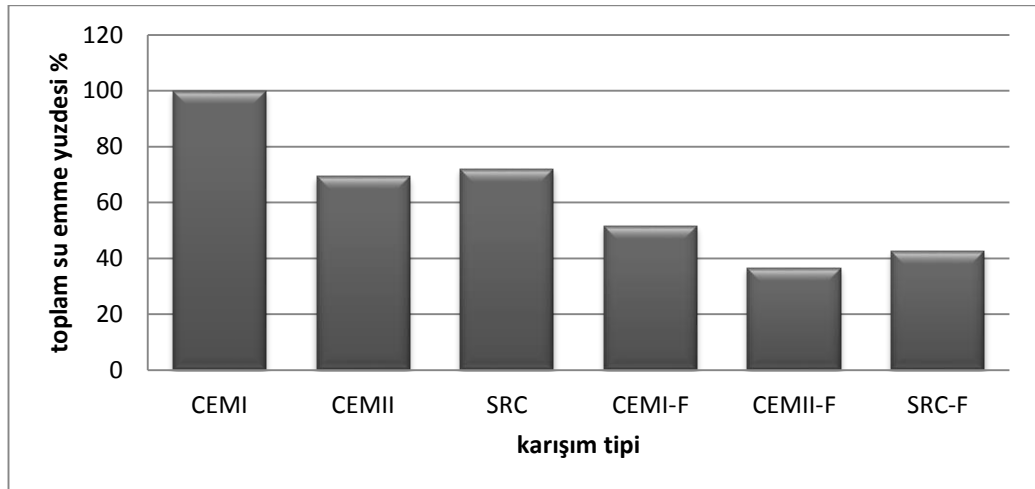
Şekil 4.20 C25/30 sınıflı betonların toplam su emme yüzdesi



Şekil 4.21 C25/30 sınıflı betonların toplam su emme CEMI ile kıyasla yüzdesi



Şekil 4.22 C40/50 sınıflı betonların toplam su emme yüzdesi



Şekil 4.23 C40/50 sınıflı betonların toplam su emme CEMI ile kıyasla yüzdesi

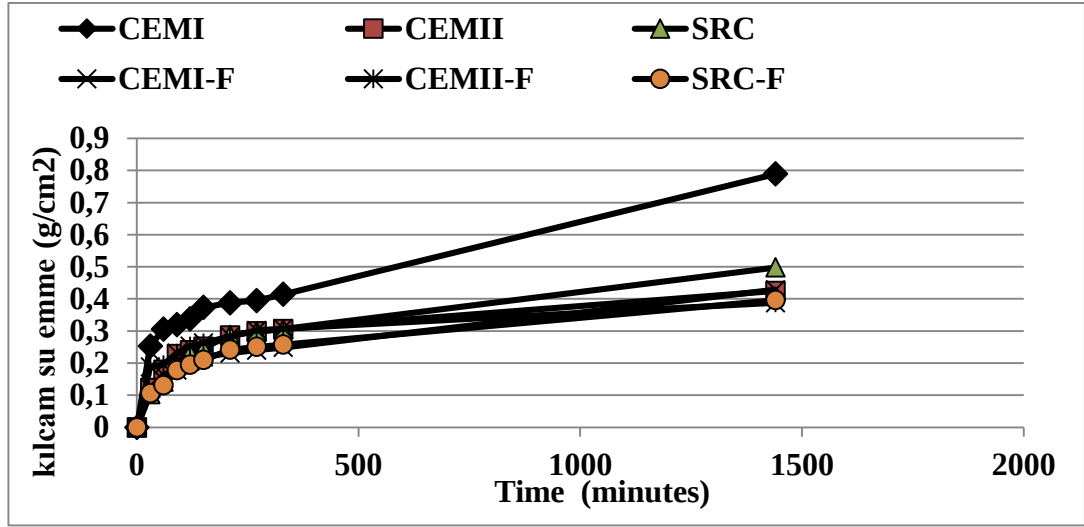
Toplam su emme geçirimsizlik ve rezistivite (elektriksel direnç) deneyleri sonuçları arasında çok güçlü bir korelasyon olduğu anlaşılmaktadır. Her iki beton sınıfı için uçucu kül kullanımı toplam su emme deneyinde belirgin şekilde azaltmıştır. Diğer yandan beton sınıfının C25/30'dan C40/50'ye değişmesi yine toplam su emme değerlerini düşürmüştür. Ayrıca C25/30 ve C40/50 için farklı grafikler yaparak diğer çimento tiplerinin CEMI ile kıyaslayarak (CEMI i 100 farz ederek) yüzde kaç geçirgen olduklarını elde ettik.

4.7 Kılcal Su Emme Sonuçları

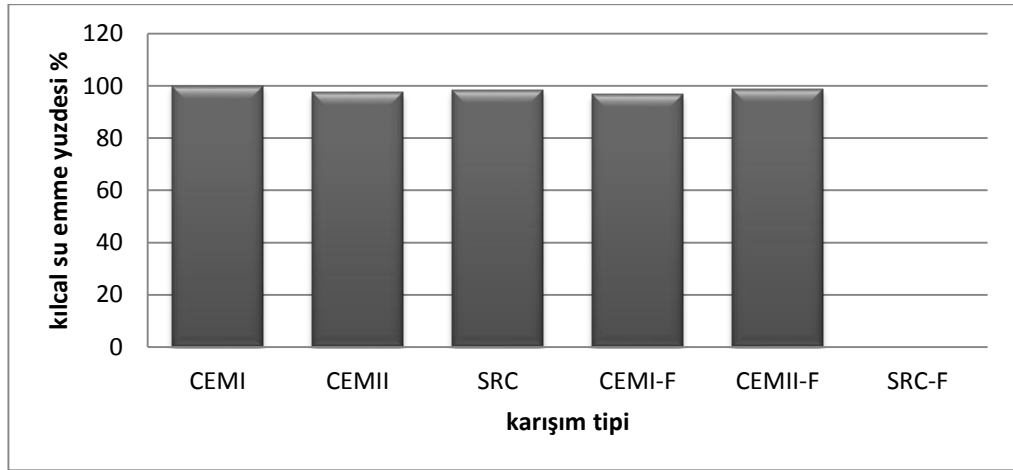
Numuneler kür periyodu tamamlandıktan sonra 24saat boyunca 100 derece fırında tamamen kuru hale getirilmiştir. Numuneler fırından çıktıktan sonra iyice temizlenip dikkatle tartılmıştır. Sonraki adımda numuneler çelik bir tepside 3-4 mm kadar suyla temas halinde tutulup ve 30, 60, 90, 120, 150, 210, 270, 330 ve 1440 dakika aralıklarla tepside çıkarılıp iyice temizleyip ve numunenin üzerindeki suyu alıp ve dikkatle tartılmıştır. Şekil (4.24) ve daha sonra numune kütleindeki değişim belirlendi. Şekil (4.25) ve şekil (4.27).



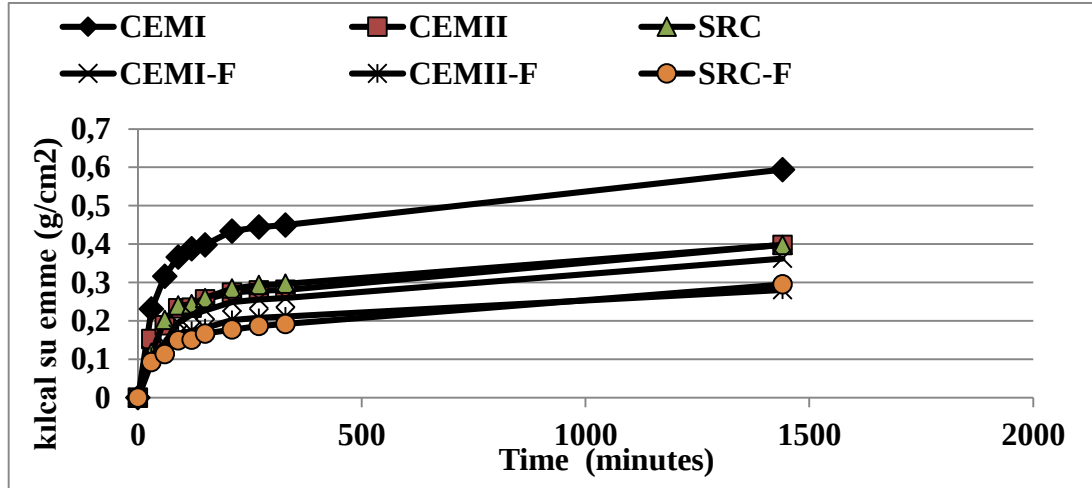
Şekil 4.24 Numunelerin kılcal su emme testi (Kişisel arşiv, 2013)



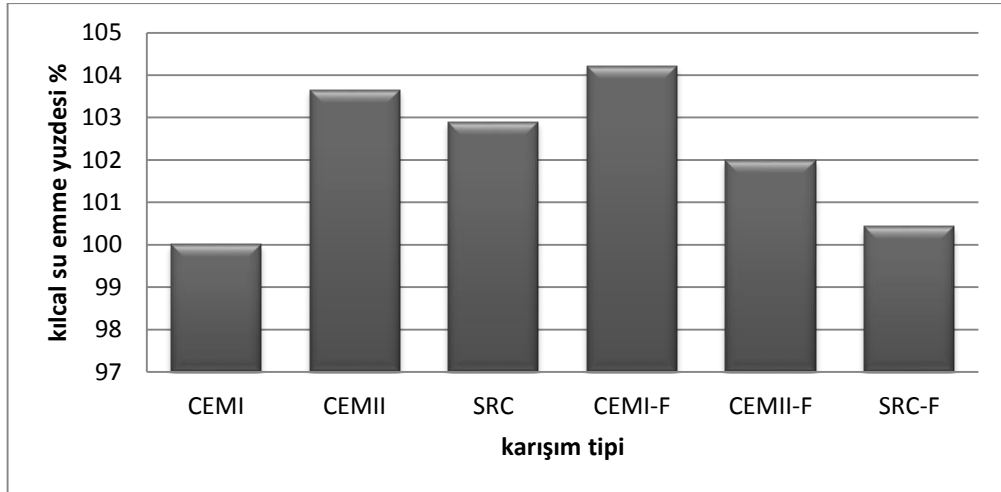
Şekil 4.25 C25/30 numunelerin kılcal su emme grafiği



Şekil 4.26 C25/30 numunelerin kılcal su emme 24 saat sonra CEMI ile kıyasla yüzdeleri



Şekil 4.27 C40/50 numunelerin kılcal su emme grafiği



Şekil 4.28 C40/50 numunelerin kılcal su emme 24 saat sonra CEMI ile kıyasla yüzdeleri

Kılcal su emme geçirimsizlik ve toplam su emme deneyleri sonuçları arasında çok iyi bir ilişki olduğu anlaşılmaktadır. Her iki beton sınıfı için uçucu kül kullanımı kılcal su emme deneyinde belirgin şekilde azaltmıştır. Diğer yandan beton sınıfının C25/30' dan C40/50' ye değişmesi yine kılcal değerlerini düşürmektedir. Ayrıca C25/30 ve C40/50 için farklı grafikler yaparak diğer çimento tiplerinin CEMI ile kıyaslayarak (CEMI i 100 farz ederek) 24 saat deneyden sonra yüzde kaç geçirgen olduklarını elde ettik.

4.8 Su Geçirirnililiği Sonuçları

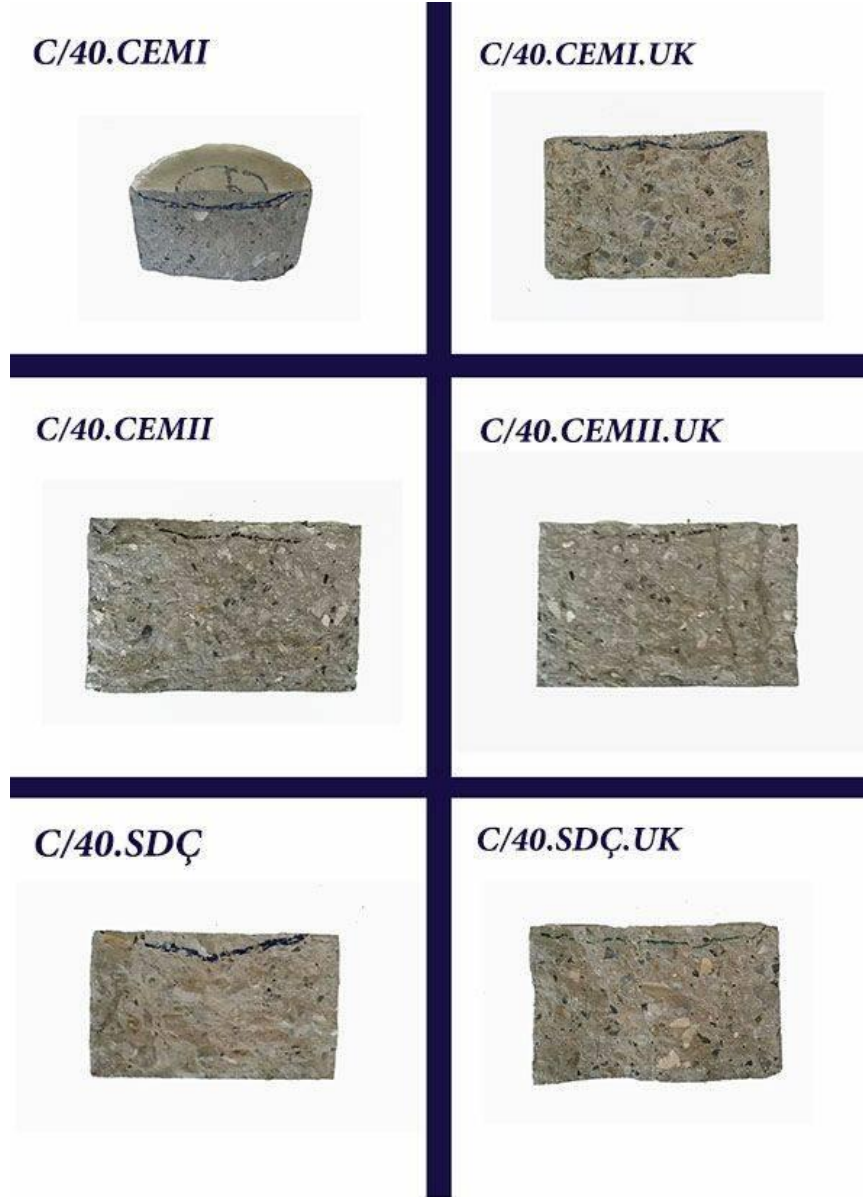
İncelenen beton karışımıları üzerinde su geçirirnililiği deneyi yapılmıştır. Şekil 4.17’de su geçirirnililiği deney düzeneği görölmektedir. 20 cm çapında, 10 cm kalınlığında silindirik beton numunelerin su geçirirnililik derinliği belirlenmiştir. Numuneler kür periyodu tamamlandıktan sonra suya doygun hale getirilmiştir. Numuneler test cihazına yerleştirmeden sonra numunenin kenardan boş kısımlarını kireçle kapladıktan sonra numunenin üzerinin belli bir kısmını eritilmiş parafin ile kaplayarak suyun sadece belli bir kısımdan numuneye basınç olmasını sağladık sonra deneyi 5 atmosfer hava basıncıyla 3 gün süreyle suyun numuneden geçmesini sağladı.



Şekil 4.29 Su geçirimsizlik deneyinde adım adım yaptıklarımız (Kişisel arşiv, 2013)

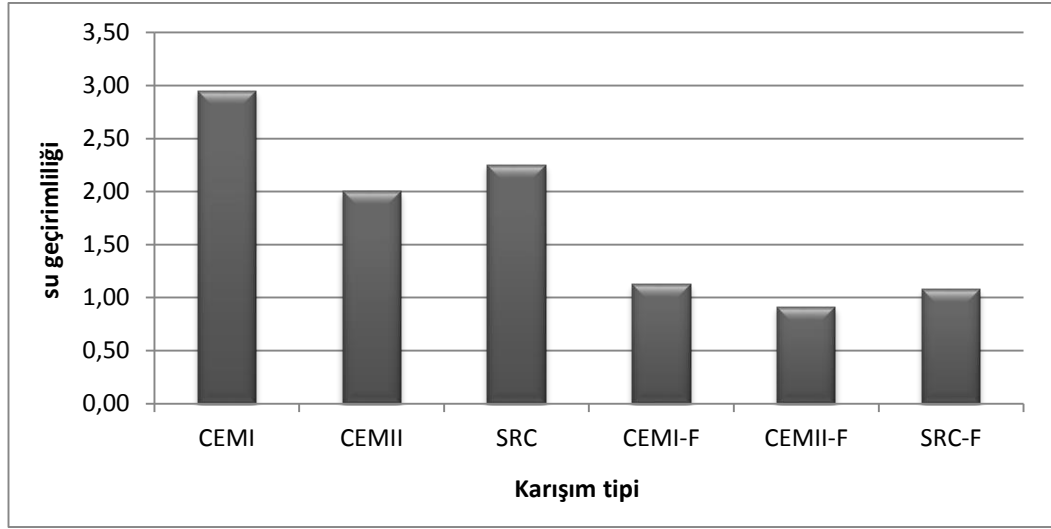


Şekil 4.30 C25/30 numuneler kırıldıktan sonra (Kişisel arşiv, 2013)

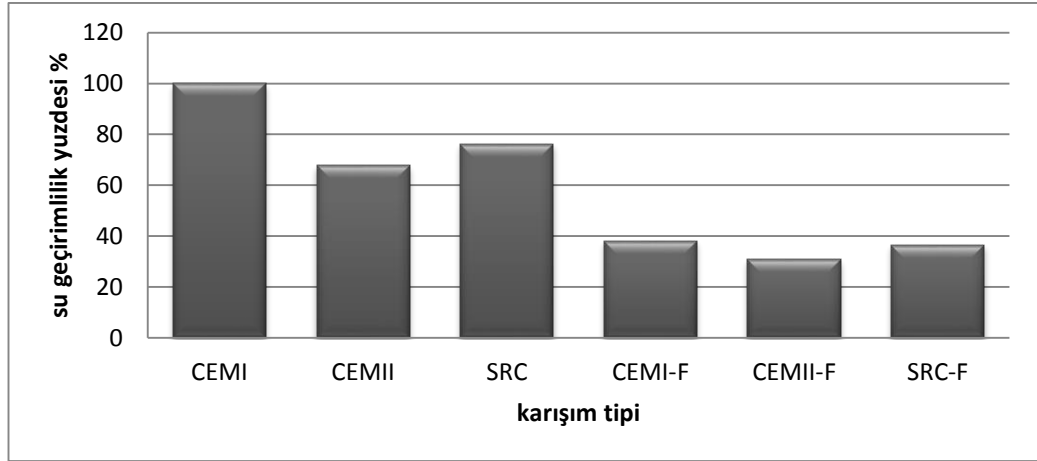


Şekil 4.31 C40/50 numuneler kırıldıktan sonra (Kişisel arşiv, 2013)

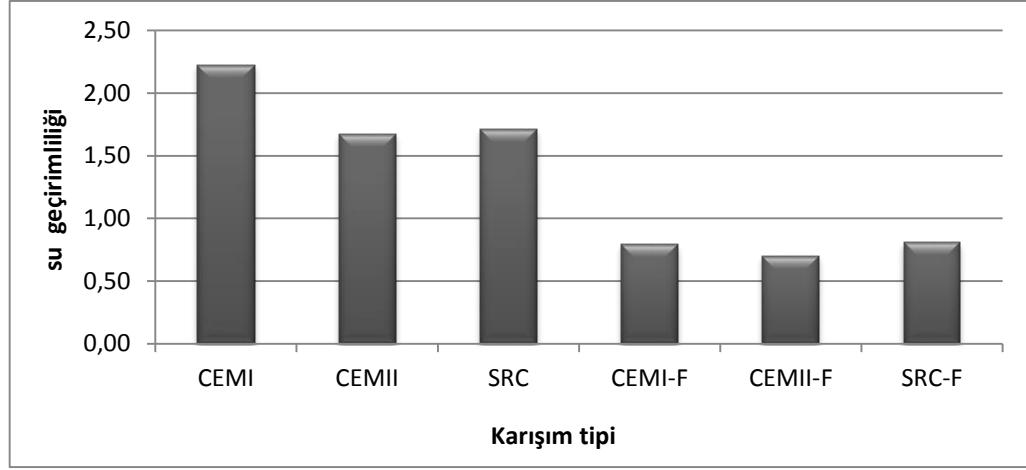
Proje çalışması kapsamında su geçirimsizlik deneyleri 20x10 cm boyutlu silindirik örnekler üzerinde yapılmıştır. Numuneler kür sürecini tamamladıktan sonra ölçümler yapılmıştır. Deney yöntemi tahribatsız bir yöntem olup, ancak deney bittikten sonra numuneleri basınç altında kırarak suyun beton içerisine ne kadar sızdığını tayin edilmiştir. İncelenen beton karışımları üzerinde elde edilen su geçirimsizlik deney sonuçları Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de görülmektedir. Test sonuçları iki numunenin ortalaması şeklinde verilmiştir.



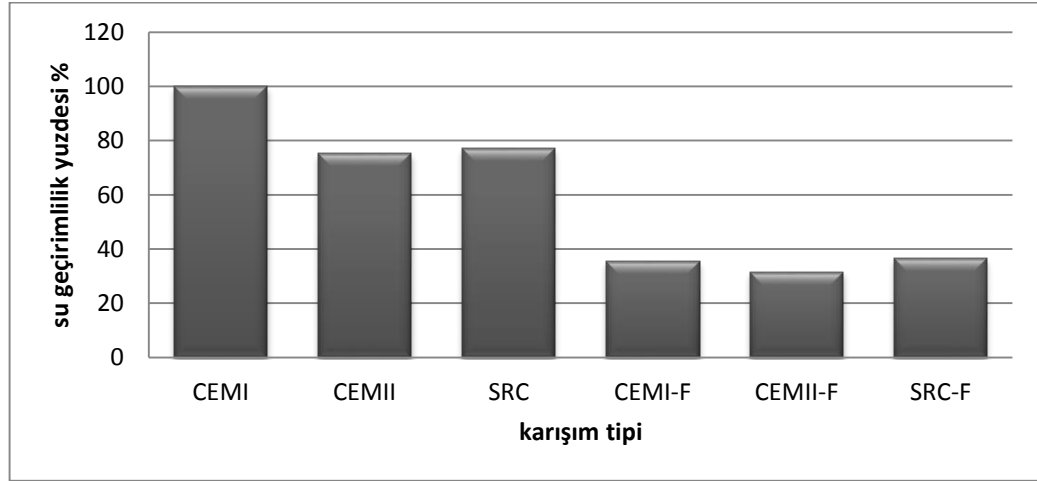
Şekil 4.32 C25/30 sınıflı betonların su geçirimsizlik deney sonuçları



Şekil 4.33 C25/30 sınıflı betonların su geçirimsizlik CEMI ile kıyasla yüzdeleri



Şekil 4.34 C40/50 sınıflı betonların su geçirimsizlik deney sonuçları



Şekil 4.35 C40/50 sınıflı betonların su geçirimsizliği CEMI ile kıyasla yüzdeleri

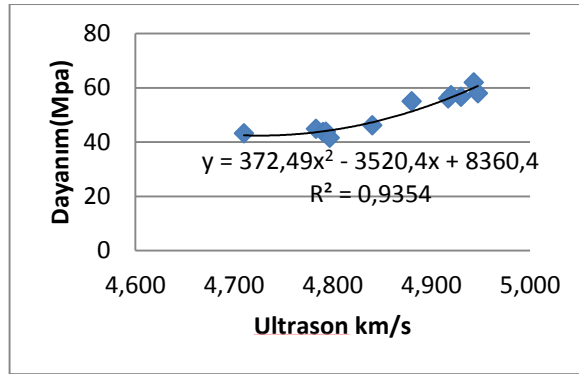
Su geçirimsizlik ölçüm sonuçları baya kendini göstermektedir. Her iki beton sınıfı için uçucu kül kullanımı geçirimsizlik değerlerini belirgin şekilde azaltmıştır. Diğer yandan beton sınıfının C25/30'dan C40/50'ye değişmesi yine geçirimsizlik değerlerini azaltmıştır. Ayrıca C25/30 ve C40/50 için farklı grafikler yaparak diğer çimento tiplerinin CEMI ile kıyaslayarak (CEMI'i 100 farz ederek) yüzde kaç geçirgen olduklarını elde ettik.

4.9 Yapılan Deneylerin Diğer Deneyler ile İlişkilerinin İncelenmesi

Yapılan deneylerde elde edilen sonuçları birbiriyle karşılaştırarak deneylerin arasındaki ilişkilerini bulmaya çalıştık ve aşağıda anlattığımız sonuçları elde ettik. Deneylerin ilişkisi dediğimizden anlam yani bir deneyin başka bir deney ile iyi bir ilişkileri olduğundan anlam şu ki örneğin eğer bir numunenin basınç dayanımı iyi olursa aynı numunenin ultra son deneyi de iyi olmalıdır ve bunların arasında iyi bir ilişki olması demek anlamındadır. Deneylerde elde edilen R sayısı ne kadar 1 adedine yakın olursa o kadar iyi bir ilişkilerinin olmasını göstermektedir.

4.9.1 Basınç Dayanım ve Diğer Deneylerle Elde Edilen İlişki

Dayanım ve diğer deneylerle elde edilen ilişkiler aşağıda gösterilmektedir.

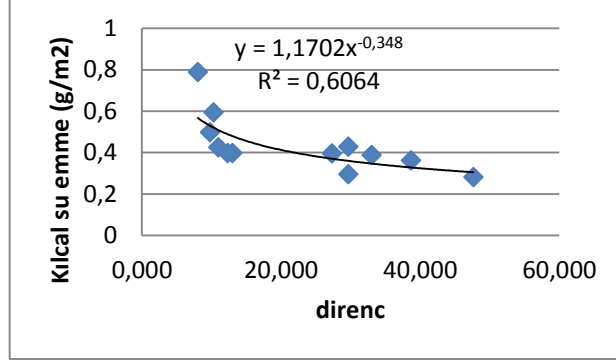


Şekil 4.36 Basınç dayanım ve ultrases ilişkisi

Yukarıdaki grafiğe baktığımızda görüldüğü gibi basınç dayanımı ve ultrases arasında iyi bir ilişki bulunmaktadır ve basınç dayanımın başka hiç bir deneyle iyi ilişkisi göstermemektedir. Yanın yaptığımız betonların dayanıma gisterdikleri davranışın aynısını ultrason deneyi için aynı davranışı göstermektedir.

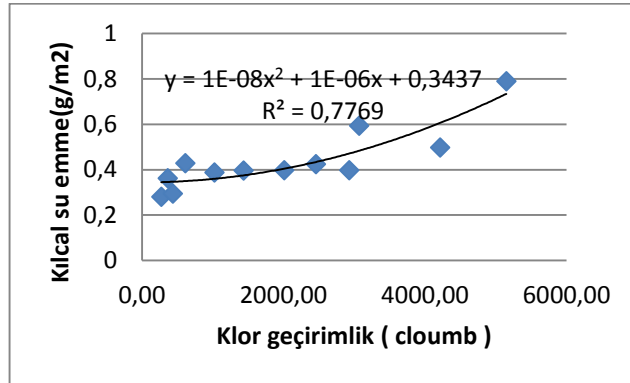
4.9.2 Kılcal Su Emme ve Diğer Deneylerle Elde Edilen İlişki

Kılcal su emme ve diğer deneylerle elde edilen ilişkiler aşağıda gösterilmektedir.



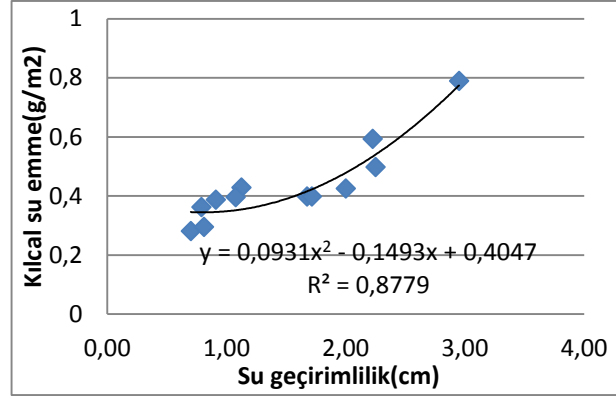
Şekil 4.37 Kılcal su emme ve resistivite ilişkisi

Yukardaki grafiğe dayanarak kılcal su emme ve direnc arasında normal ve iyiye doğru bir ilişki gösterilmektedir. Demek ki betonlarımızın kılcal su emme deneyine gösterdikleri davranış direnç deneyine gösterdikleri davranışa baya yakındır.



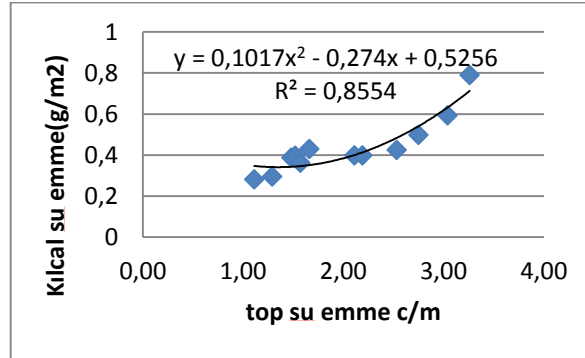
Şekil 4.38 Kılcal su emme ve klor işleme derinliği ilişkisi

Kılcal su emme ve klorgeçirimliliği grafiğine bakarak iki test arasında iyiye doğru bir ilişki gözükmemektedir. Demek ki betonlarımızın kılcal su emme deneyine gösterdikleri davranış klor geçirimlilik deneyine gösterdikleri davranışa baya yakındır.



Şekil 4.39 Kılcal su emme ve su geçirimsizlik ilişkisi

Kılcal su emme ve su geçirimsizlik arasında iyi bir ilişki olduğu gözüküyor yukardaki ilişkiye dayanarak betonlarımızın kılcal su emme deneyine gösterdikleri davranış su geçirimsizlik deneyiyle aynıdır.

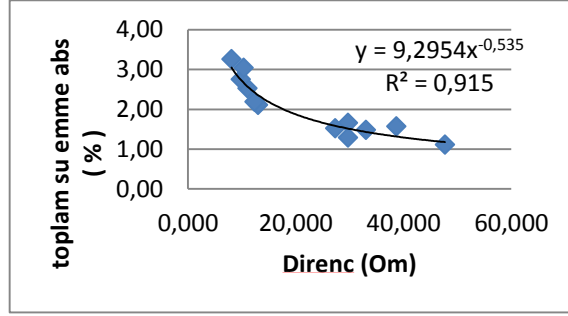


Şekil 4.40 Kılcal su emme ve toplam su emme ilişkisi

Kılcal su emme ve kılcal su emme ilişkileride baya iyiye doğru bir ilişki gözüküyor. Yukardaki grafiklere göre kılcal su emme ile su geçirimsizlik ve toplam su emme arasında iyiye doğru bir ilişki görülmektedir.

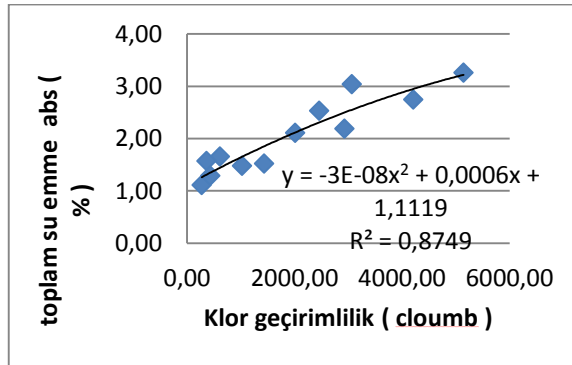
4.9.3 Toplam Su Emme ve Diğer Deneylerle Elde Edilen İlişki

Toplam su emme ve diğer deneylerle elde edilen ilişki Şekil 4.38- 4.40' de gösterilmektedir.



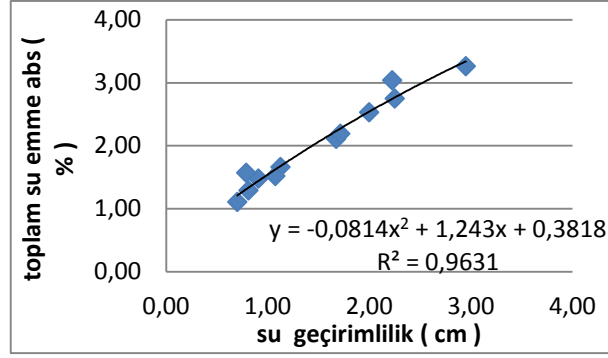
Şekil 4.41 Toplam su emme ve direnç ilişkisi

Toplam su emme ile direnç arasında guclu bir ilişki olduğunu görüyoruz. Demek ki betonlarımızın toplam su emme deneyine gösterdikleri davranış direnç deneyine gösterdikleri davranışa baya yakındır.



Şekil 4.42 Toplam su emme ve klor geçirimlilik ilişkisi

Görüldüğü gibi toplam su emme ve klor geçirimlilik arasında iyi bir ilişki var. Grafikten anlaşılan şu ki betonlarımızın toplam su emme deneyine gösterdikleri davranış klor geçirimliliğine gösterdikleri davranışa baya yakındır.



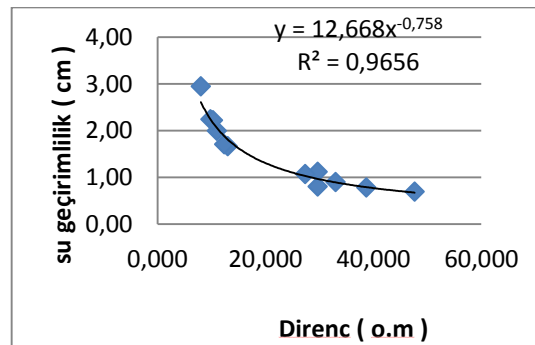
Şekil 4.43 Toplam su emme ve su geçirimsilik ilişkisi

Toplam su emme ve su geçirimsilik arasında baya iyi bir ilişki vardır. Elde ettiğimiz grafiğe baktığımızda betonlarımızın toplam su emme deneyine gösterdikleri davranış su geçirimsilik deneyine gösterdikleri davranışa hemen hemen aynıdır.

Yukardaki grafiklerde gördüğünüz gibim toplam su emme ile direnç ve su geçirimsiliği ve klor geçirimsilik ve önceden gördüğümüz toplam su emme arasında iyi bir ilişki görünüyor.

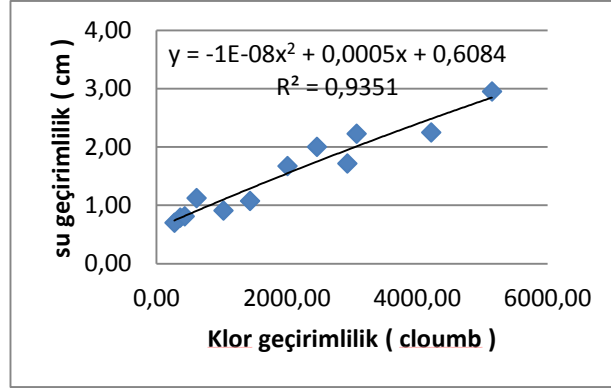
4.9.4 Su Geçirimsilik ve Diğer Deneylerle Elde Edilen İlişki

Su geçirimsilik ve diğer deneylerle elde edilen ilişki Şekil 4.41- 4.42' da gösterilmiştir.



Şekil 4.44 Su geçirimsilik ve direnç ilişkisi

Su geçirimsilik ve direnç arasında iyi bir ilişki tespit edildi. Demek ki betonlarımızın su geçirimsilik deneyine gösterdikleri davranış direnç deneyine gösterdikleri davranışa hemen hemen aynıdır.



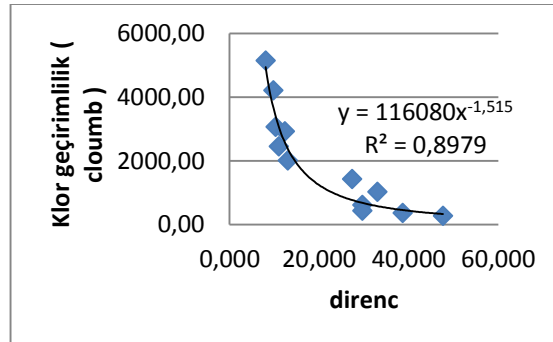
Şekil 4.45 Su geçirimsizlik ve klor işleme derinliği ilişkisi

Su geçirimsizlik ve klor geçirimsizlik arasında baya iyi ilişki gösterilmektedir. Yukardaki grafiğe baktığımızda betonlarımızın su geçirimsizlik deneyine gösterdikleri davranışla klor geçirimsizlik deneyine gösterdikleri davranışa çok yakındır ve aynı davranışı göstermektedir.

Su geçirimsizlik ve diğer deneylerin arasındaki ilişkiye baktığımızda direnç, klor geçirimsizliği, toplam su emme arasında yakın bir ilişki vardır.

4.9.5 Klor Geçirimsizliği ve Diğer Deneylerle Elde Edilen İlişki

Klor geçirimsizliği ve diğer deneylerle elde edilen ilişki Şekil 4.43' de gösterilmektedir.



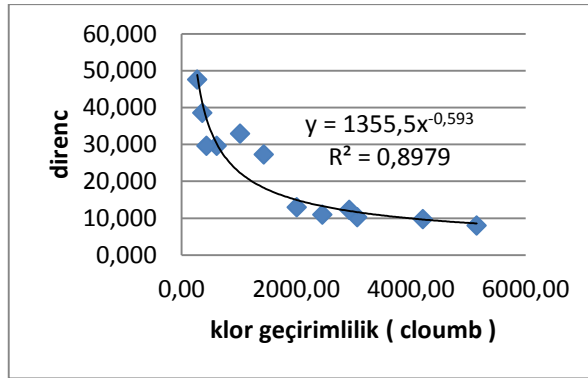
Şekil 4.46 Klor işleme derinliği ve direnç ilişkisi

Klor geçirimlilik ve direnç arasında iyi bir ilişki gözüküyor. Yukardaki grafiğe baktığımızda betonlarımızın klor geçirimlilik deneyine gösterdikleri davranışla direnç deneyine gösterdikleri davranışa çok yakındır ve aynı davranışı göstermektedir.

Yukardaki grafiklere göre ve önceden yaptığımız deneylere dayanarak klor işleme derinliği ile direnç, su geçirimlilik, toplam su emme ve kılca su emme arasında yine iyi bir ilişki görülmektedir.

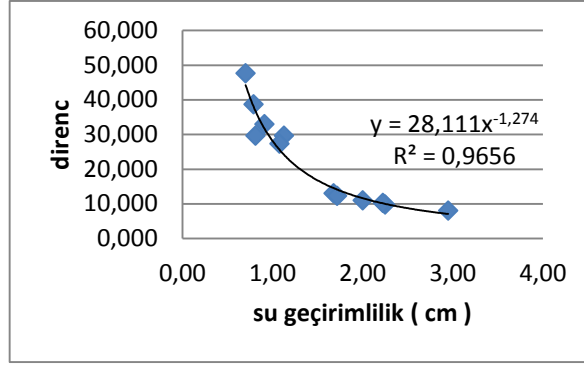
4.9.6 Direnç ve Diğer Deneylerle Elde Edilen İlişki

Direnç ve diğer deneylerle elde edilen ilişki Şekil 4.44-4.45’de gösterilmiştir.



Şekil 4.47 Direnç ve klor işleme derinliği ilişkisi

Direnç ve klor geçirimlilik arasında yine iyi bir ilişki bulundu. Yukardaki grafiğe baktığımızda betonlarımızın direnç deneyine gösterdikleri davranışla klor geçirimlilik deneyine gösterdikleri davranışa çok yakındır ve aynı davranışı göstermektedir.



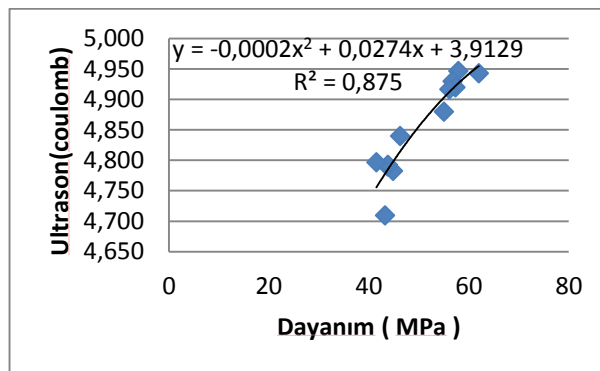
Şekil 4.48 Direnç ve su geçirirlik ilişkisi

Direnç ve su geçirirlik grafiğine bakarak baya iyi bir ilişkileri olduğunu elde ediyoruz. Yukardaki grafiğe baktığımızda betonlarımızın direnç deneyine gösterdikleri davranışla su geçirirlik deneyine gösterdikleri davranışa çok yakındır hemen hemen aynı davranışı göstermektedir.

Elde ettiklerimize baktığımızda direnç ile klor işleme derinliği, su geçirirlik, toplam su emme, kılcal su emme arasında yine iyi bir ilişki var.

4.9.7 Ultrasonik ve Diğer Deneylerle Elde Edilen İlişki

Ultrasonik ve diğer deneylerle elde edilen ilişki Şekil 4.46 de gösterilmektedir.



Şekil 4.49 Ultrason ve dayanım ilişkisi

DeneYlerin grafiklerini karşılaştırdığımızda ultrason deneyi sadece dayanım ile iyi bir ilişkileri olduğunu elde ettik. Yukarıda da gördüğümüz gibi betonlarımızın ultrason deneyi dayanım deneyiyle davranışla iyi bir ilişkileri tespit edilmiştir.

4.9.8 Hava Geçirimsilik ve Diğer Deneylerle Elde Edilen İlişki

Hava geçirimsilik ve diğer deneylerle elde edilen grafikleri bir biriyle ilişkilerinin nasıl olduğunu bulmak için karşılaştırdığımızda hava geçirimsilik deneyinin iyi bir deney olmadığını ve diğer deneyler ile hiç bir ilişkisi olmadığını elde ettik.

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar aşağıda özet olarak sunulmuştur.

- Farklı bağlayıcı türleri ile üretilmiş aynı bağlayıcı dozajına ve aynı su/bağlayıcı malzeme oranına sahip betonların benzer mertebelerde dayanım göstermesi için gerekli kür süreleri farklılık arz etmektedir. Dayanım artışı katkılı çimento içeren betonlarda ve uçucu küllü betonlarda puzolanik aktivite ile daha uzun sürdüğü söylenebilir. Yüksek dayanımlı betonlarda dayanım gelişimi bağlayıcı tipine göre daha az değişmektedir.
- Mineral katkı içermeyen betonlarda klor işleme derinliği değerleri fazla, uçucu küllü betonlarda klor işleme derinliği değerleri daha düşük kalmıştır. Çimento tipi açısından değerlendirildiğinde CEM II en az düzeyde, daha sonra CEM I ve en çok klorür işleyen bağlayıcı türünün SRC olduğu görülmektedir. C40/50 sınıfı betonlarda ölçülen klor işleme derinliği değerleri C25/30 sınıfına göre daha düşük mertebelerdedir.
- Karışımlarının indeksinin 3 olduğu ve geçirimsizlik açısından orta kalitede yer aldığı söylenebilir. C40/50 sınıfında CEMI-F ve CEMII-F kodlu karışımların indeks değeri 2 olup geçirimsizlik açısından iyi kalite sınıfına yükselmiştir.
- Her iki beton sınıfı için uçucu kül kullanımı, elektriksel direnç değerlerini belirgin bir şekilde arttırdığı görülmüştür. Beton sınıfının C25/30'dan C40/50'ye değişmesi yine rezistivite değerlerini arttırmıştır.

- Betonda ultrases verileri ile basınç dayanımı arasında iyi bir korelasyon tespit edilmiştir.
- Her iki beton sınıfı için uçucu kül kullanımı klor geçirimsizlik değerlerini belirgin şekilde azaltmıştır. Beton sınıfının C25/30'dan C40/50'ye değişmesi klor geçirimsizlik değerlerini oldukça düşürmüştür.
- Her iki beton sınıfı için uçucu kül kullanımı toplam su emme deneyinde belirgin şekilde azaltmıştır. Diğer yandan beton sınıfının C25/30'dan C40/50'ye değişmesi yine toplam su emme değerlerini düşürmüştür.
- Kılcal su emme geçirimsizlik ve toplam su emme deneyleri sonuçları arasında çok iyi bir ilişki olduğu anlaşılmaktadır. Her iki beton sınıfı için uçucu kül kullanımı kılcal su emme deneyinde belirgin şekilde azaltmıştır. Diğer yandan beton sınıfının C25/30'dan C40/50'ye değişmesi yine kılcal su emme değerlerini düşürmektedir.
- Su geçirimsizlik ölçüm sonuçları her iki beton sınıfı için uçucu kül kullanımı geçirimsizlik değerlerini belirgin şekilde azaltmıştır.
- Su geçirimsizlik, toplam su emme, kılcal su emme ve klor geçirimsizlik ise yakın bir ilişkileri görülmektedir. Diğer bir deyişle beton numuneleri sözü edilen deneylerde benzer davranış göstermiştir.
- Hava geçirimsizlik deney sonuçları ile diğer deneylerin sonuçları arasında anlamlı ilişki tespit edilememiştir.

KAYNAKLAR

- Acharya, P. K., ve Patro, S. K. (2015). Effect of lime and ferrochrome ash (FA) as partial replacement of cement on strength, ultrasonic pulse velocity and permeability of concrete. *Construction and Building Materials*, 94, 448-457.
- Amadi, I. G., ve Amadi-Oparaeli, K. I. (2018). Effect of Admixtures on Strength and Permeability of Concrete. *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*, 7(7), 1-9.
- ASTM (American Society for Testing and Materials) (2005) Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration. ASTM, West Conshohocken, Pennsylvania, ASTM C 1202-05.
- Banthia, N., Biparva, A., ve Mindess, S. (2005). Permeability of concrete under stress. *Cement and Concrete Research*, 35(9), 1651-1655.
- Baradan, B., Yazıcı, H., ve Ün, H. (2010). *Beton ve betonarme yapılarda kalıcılık (durabilite)*. İstanbul: Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları.
- Beglarigale, A. Ghajeri, F. Yiğiter, H. ve Yazıcı, H. (2014). Permeability Characterization of Concrete Incorporating Fly Ash, *11th International Congress on Advances in Civil Engineering- ACE 2014*, 1-7.
- Chahal, N., Siddique, R., ve Rajor, A. (2012). Influence of bacteria on the compressive strength, water absorption and rapid chloride permeability of concrete incorporating silica fume. *Construction and Building Materials*, 37, 645-651.
- Lian, C., ve Zhuge, Y. (2010). Optimum mix design of enhanced permeable concrete—an experimental investigation. *Construction and Building Materials*, 24(12), 2664-2671.

- Picandet, V., Rangeard, D., Perrot, A., ve Lecompte, T. (2011). Permeability measurement of fresh cement paste. *Cement and Concrete Research*, 41(3), 330-338.
- Siddique, R. (2013). Compressive strength, water absorption, sorptivity, abrasion resistance and permeability of self-compacting concrete containing coal bottom ash. *Construction and Building Materials*, 47, 1444-1450.
- Tsivilis, S., Chaniotakis, E., Batis, G., Meletiou, C., Kasselouri, V., Kakali, G., ve Psimadas, C. (1999). The effect of clinker and limestone quality on the gas permeability, water absorption and pore structure of limestone cement concrete. *Cement and Concrete Composites*, 21(2), 139-146.
- Tuyan, M., Mardani-Aghabaglou, A., ve Ramyar, K. (2014). Freeze–thaw resistance, mechanical and transport properties of self-consolidating concrete incorporating coarse recycled concrete aggregate. *Materials & Design*, 53, 983-991.
- Yang, Z., Shi, X., Creighton, A. T., ve Peterson, M. M. (2009). Effect of styrene–butadiene rubber latex on the chloride permeability and microstructure of Portland cement mortar. *Construction and Building Materials*, 23(6), 2283-2290.
- Yildirim, H., Ilica, T., ve Sengul, O. (2011). Effect of cement type on the resistance of concrete against chloride penetration. *Construction and Building Materials*, 25(3), 1282-1288.