

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA UÇUCU KÜL VE KALKER
TOZU KULLANIMININ DURABİLİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmail ALTINDAĞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA UÇUCU KÜL VE KALKER
TOZU KULLANIMININ DURABİLİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmail ALTINDAĞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Gör. Ünal Anıl Doğan

HAZİRAN 2019



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501161065 numaralı Yüksek Öğrencisi İsmail ALTINDAĞ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA UÇUCU KÜL VE KALKER TOZU KULLANIMININ DURABİLİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Ünal Anıl DOĞAN**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Mustafa Hulusi ÖZKUL**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nabi YÜZER

Yıldız Teknik Üniversitesi



ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hayata geçmesine olanak veren, yürütücüsü olduğu TÜBİTAK projesinde bursiyer olarak bana yer veren, çalışmanın konusu hakkında beni yönlendiren, deneysel ve teorik çalışmalarında bilgi ve birikimlerini benden esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa Hulusi ÖZKUL'a sonsuz teşekkür ederim.

Lisans bitirme projesinde olduğu gibi yüksek lisans programında da bana danışmanlık yapmayı kabul eden, daha en başında yüksek lisans programına başlamamda büyük destekte bulunan, durabilite konusunun betonun diğer özellikleri kadar önemli bir konu olduğunu fark etmemi sağlayan, ders aşamasından tez aşamasına ve deneysel çalışmalara kadar her zaman deneyimlerini paylaşmaktan kaçınmayan sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Ünal Anıl DOĞAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca sahip olduğu tüm bilgi ve birikimlerini, değerli görüşlerini benimle paylaşmaktan kaçınmayan, akademik çalışmalar dışında da her zaman yanımda olan değerli deneyimlerini benimle paylaşan Sayın Yük. Müh. Cengiz ŞENGÜL'e, tavsiyelerini benden esirgemeyen, her türlü sorumda usanmadan bana cevap veren değerli hocam Doç. Dr. Hakan Nuri ATAHAN'a, engin tecrübeleriyle inşaat mühendisliği hakkında bana birçok bilgi katan Sayın Yük. Müh. Hayati HİLMİOĞLU'na ve yüksek lisans eğitimimin başından beri birlikte çalıştığımız, birlikte geçirdiğimiz bu iki sene boyunca sadece akademik konular değil her türlü ihtiyacımda yanımda olan ve desteğini benden esirgemeyen, tez çalışmam esnasında elinden gelen her türlü yardımı yapan değerli dostum Arş. Gör. Sidar Nihat BIÇAKÇI'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Doğduğum günden bugüne kadar her zaman yanımda olan, çok değerli desteklerini benden esirgemeyen, maddi ve manevi olarak hep arkamda olan başta annem Hanife ALTINDAĞ olmak üzere tüm aileme teşekkür ve minnetlerimi sunarım. Ayrıca birlikte geçirdiğimiz her anı güzel ve keyifli kılan, zor anlarımda yanımda durup beni destekleyen, entelektüel birikimiyle bana yeni ufuklar açan çok sevgili hayat arkadaşım Cansu SEZER ALTINDAĞ'a en içten ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2019

İsmail Altındağ
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
SEMBOLLER.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı ve Metodoloji.....	2
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	3
2.1 Kendiliğinden Yerleşen Beton	3
2.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonların Bileşenleri.....	4
2.2.1 Çimento.....	4
2.2.2 Agregası.....	4
2.2.3 Beton karışım suyu.....	5
2.2.4 Kimyasal ve mineral katkıları	5
2.3 Durabilite.....	9
2.3.1 Fiziksel ve mekanik etkiyle hasar oluşumu	10
2.3.2 Kimyasal etkiyle hasar oluşumu	13
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	17
3.1 Kullanılan Malzemeler	17
3.1.1 Çimento.....	17
3.1.2 Karışım suyu	17
3.1.3 Agregası.....	17
3.1.4 Kimyasal katkıları	19
3.1.5 Mineral katkıları.....	19
3.2 Beton Karışımları	20
3.3 Beton Üretimi	23
3.4 Beton Deneyleri.....	23
3.4.1 Taze beton deneyleri	23
3.4.2 Sertleşmiş beton deneyleri	24
4. DENEY SONUÇLARI VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	29
4.1 Taze Beton Deneyleri	29
4.1.1 Yayılma deneyi sonuçları.....	29
4.1.2 Taze birim ağırlık	32
4.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri	32
4.2.1 Basınç dayanımı	32
4.2.2 Kılcal su emme.....	33
4.2.3 Basınç altında su geçirimsizliği.....	35

4.2.4	Vakumlu su emme deneyi	37
4.2.5	Donma çözünme deneyi	38
4.2.6	Karbonatlaşma Deneyi	40
4.2.7	Magnezyum sülfat deneyi	42
4.2.8	Hızlı klorür iyonu geçirimsizliği	43
4.2.9	Elektriksel özdirenç	45
5.	SONUÇLAR.....	47
6.	KAYNAKLAR.....	49
	ÖZGEÇMİŞ.....	55



KISALTMALAR

KYB	: Kendiliğinden yerleşen beton
SCC	: Self compacting concrete
UK	: Uçucu kül
KT	: Kalker tozu
GB	: Geleneksel beton
EFNARC	: European Federation of National Associations Representing for Concrete
ASTM	: American Society For Testing And Materials
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
C₂S	: Dikalsiyum Silikat
C₃S	: Trikalsiyum Silikat
CSH	: Kalsiyum Silikat Hidrat
CH	: Kalsiyum Hidroksit
C₃A	: Trikalsiyum Aliminat
CO₂	: Karbon Dioksit
NaOH	: Sodyum Hidroksit
NaCl	: Sodyum Klorür
KSS	: Karbonatlaşma Katsayısı



SEMBOLLER

q	: Birim alanda emilen kılcal su miktarı
k	: Kılcallık katsayısı
t	: zaman
V	: Volt
Ω	: Ohm
ρ	: Özdirenç
I	: Akım Şiddeti
kHz	: Kilohertz
L	: Yol
pH	: Asitlik Derecesi
V	: Hız



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1: Uçucu küllü beton karışımlar.	22
Çizelge 3.2: Maksimum agregâ boyutu 22 mm olan geleneksel betonun karışımı.	22
Çizelge 3.3: Kalker tozlu beton karışımları.	23
Çizelge 4.1: Uçucu kül içeren karışımların yayılma deneyi sonuçları.	29
Çizelge 4.2: Kalker tozlu karışımların yayılma deneyi sonuçları.	30
Çizelge 4.3: beton gruplarının taze birim ağırlıkları.	32



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Betonda hasar oluşum mekanizması [2].	11
Şekil 3.1: Agrega karışım ve referans granülometri eğrileri.	18
Şekil 3.2 Agregaların elek analizleri ve karışım oranları.	18
Şekil 3.3 : Kalker tozu tane boyu dağılımı.	19
Şekil 3.4: Uçucu kül özellikleri.	20
Şekil 3.5: Kalker tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri.	21
Şekil 4.1:Uçucu küllü karışımların yayılma deneyi (soldan sağa doğru 350-0, 350-36, 350-72 ve 350-108).	31
Şekil 4.2: Kalker tozu içeren karışımların yayılma deneyleri (soldan sağa doğru 350-0, 350-36, 350-72 ve 350-108).	31
Şekil 4.3: Basınç dayanımı ortalamaları.	32
Şekil 4.4: Uçucu küllü karışımların kılcal su emme kat sayıları.	33
Şekil 4.5: Kalker tozlu karışımların kılcal su emme kat sayıları.	34
Şekil 4.6: Referans betonları ve UK, KT gruplarının kılcallık kat sayıları.	34
Şekil 4.7: Uçucu küllü karışımların basınçlı su geçirimsizliği sonuçları	35
Şekil 4.8: Kalker tozlu karışımların basınçlı su geçirimsizliği sonuçları.	36
Şekil 4.9: Geleneksel beton, UK ve KT gruplarının basınçlı su geçirimsizlikleri.	37
Şekil 4.10: Geleneksel beton, UK ve KT gruplarının vakumlu su emme yüzdeleri.	38
Şekil 4.11: Donma çözünme etkisinde basınç dayanımları.	38
Şekil 4.12: Donma çözünme etkisinde basınç dayanımları.	39
Şekil 4.13: Yüzdece basınç dayanım kayıpları.	40
Şekil 4.14: Kütle kaybı yüzdeleri.	41
Şekil 4.15: Karbonatlaşma katsayıları.	42
Şekil 4.16: Ultra ses geçiş hızları.	42
Şekil 4.17:Çevrimlere göre numune ağırlıkları.	43
Şekil 4.18: Klorür iyonu geçirimsizliğine göre Coulomb değerleri.	44
Şekil 4.19 Beton gruplarının ortalama elektriksel özdirenç değerleri.	45



KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA UÇUCU KÜL VE KALKER TOZU KULLANIMININ DURABİLİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ÖZET

Geçtiğimiz 50 yıla kadar betonarme yapılarda betonun gerekli mekanik dayanımı sağlaması performansı için yeterli görülmüştür. Ancak ilerleye zamanda mekanik dayanımın yanında betonun zamana ve çevre şartlarına olan dayanıklılığı (durabilite) konusu da dikkate alınmaya başlanmıştır. Bu sebeple betonarme tasarımlarda yeni katkıları kullanılmaya başlanmıştır.

Dayanıklılık problemlerinden bir tanesi de betonun iyi yerleştirilememesidir. Kalıba iyi yerleşmeyen beton boşluklara sebep olmakta, bu da betonun durabilitesini etkilemektedir. Bu yerleştirme sorununu azaltmak ve su altında beton dökümü gerçekleşirken betonun bütünlüğünü kaybetmemesi için kendiliğinden yerleşen beton teknolojisi geliştirilmiştir. Kendiliğinden yerleşen beton içerdiği ince malzemeler sebebiyle akışkan ve viskozitesi yüksek bir kıvama sahiptir. Kalıba kendi ağırlığı dışında herhangi bir işlem uygulanmadan rahatça ve boşluksuz bir şekilde yerleşir. Karışımda kullanılan farklı mineral ve kimyasal katkıları ise KYB'lerin özelliklerini değiştirmektedir.

Bu çalışmada KYB betonlarının üretiminde kullanılan uçucu kül ve kalker tozunun betonun durabilite özelliklerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca bu özellikler geleneksel beton ile de kıyaslanmıştır. Bu amaçla maksimum agrega boyutu 22 mm olan bir geleneksel beton, maksimum agrega boyutu 16 mm olan ve mineral katkı içermeyen bir KYB ve içerisinde 36, 72 ve 108 dm³/m³ hacimde kalker tozu ve uçucu kül içeren KYB'ler üretilmiştir. Bu grupların hepsinde çimento dozajı 350 kg/m³ olup su/çimento oranı ise 0,51 olarak sabit tutulmuştur.

Beton gruplarının taze halde çökme-yayılma ve taze birim ağırlıkları ölçülmüştür. Tüm gruplarda işlenebilirlik ve birim ağırlıklar istenilen düzeylerde elde edilmiştir.

Sertleşmiş betonlarda ise durabilite özelliklerini belirlemek için standartlardan ve literatürdeki yöntemlerden faydalanarak bir dizi deney yapılmıştır. Bu deneyler; kılcal su emme deneyi (ASTM C 1585-3), basınç altında su geçirimsizliği (TS EN 12390-8), vakumlu su emme deneyi, donma-çözünme deneyi, karbonatlaşma deneyi (TS EN 14630), magnezyum sülfat deneyi (TS EN 1367-2), hızlı klorür iyonu geçirimsizliği (ASTM C 1202-18) ve elektriksel özdirenç ölçüm (4 elektrotlu Wenner) deneyidir.

Deneylerden elde edilen veriler genel olarak bakıldığında mineral katkı kullanımının betonun durabilite özelliklerinde iyileştirme yaptığı görülmüştür. Özellikle uçucu kül kullanımı betonun geçirimsizlik ve su emme deneylerinde geleneksel beton ve mineral katkı içermeyen GB'ye göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Özellikle uçucu kül kullanımı kalker tozuna göre betonun geçirimsizlik özelliklerini daha iyi iyileştirmiştir. Geleneksel betonda agregaya göre daha geçirimsiz olan ve boşluk bulunduran çimento matrisi uçucu külün puzolanik ve filler özelliklerinden dolayı daha geçirimsiz hale gelmiştir.

EFFECTS OF USAGE FLYING ASH AND LIME STONE POWDER IN SELF COMPACTING CONCRETE TO DURABILITY PROPERTIES

SUMMARY

It has been commonly accepted for last 50 years that mechanical strength of concrete is enough for structures. Not only importance of mechanical strength but also importance of strength against environmental and over time effect (durability) has been discovered. Because of this reason, new chemical and mineral admixtures has been started to use.

One of the durability problems is compaction of concrete properly. Insufficient compaction of concrete to molds causes pores in concrete and pores reduce strength and durability of concrete. To avoid this compaction problem and produce concrete under water, self-compaction concrete (SCC) technology has been developed. SCC has high viscosity and high fluid consistency. SCC can be compacted to molds with very low porosity without any vibration or compaction operation.

To provide superior properties of SCC than traditional concrete, some chemical and mineral admixtures are needed. Super plasticizers are the most important chemical admixtures. Flying ash, different types of slags, silica fume, metakaolin, limestone powder are common mineral admixtures. Different chemical and mineral admixtures affect the properties of SCC.

In this experimental research, effects of usage flying ash and limestone powder in SCC were investigated and compared with conventional concrete and SCC without any mineral admixtures. With this purpose several concrete groups were produced. To compare with SCC's, a conventional concrete (CC) that has 22 mm maximum aggregate size and a SCC that has 16 mm max aggregate size and without any mineral admixtures. Furthermore, with addition 36, 72 and 108 dm³/m³ fly ash and limestone powder to 350 dm³/m³ cement;

6 different group of SCCs were produced. Water/cement ratio of all these group is 0,51 and cement dosage is $350 \text{ dm}^3/\text{m}^3$.

After production, in fresh condition, unit weight and slump-flown values of concrete were measured. All groups provide expected units weight values and workability conditions. After that, hardened concrete specimens were cured 90 days inside water at laboratory condition.

To determine durability properties of concrete groups several experiments were applied with help of standards and methods that used in literature. Alignment of experiments are capillary water absorption test (ASTM C 1585-3), permeability under pressure test (TS EN 12390-8), compressive strength test (TS EN 12390-3), water absorption with vacuum test, freezing-thaw test, carbonation test (TS EN 14630), magnesium sulphate test (TS EN 1367-2), rapid chloride permeability test (ASTM C 1202-18) and resistivity test.

Experimental studies have showed fallowing statements:

1. Compressive strength test results have indicated that mineral admixture increases strength of concrete for same W/C ratio with compare CC and SCC that has any mineral admixtures. If we compare effects of fly ash and limestone powder, fly ash has better effect to compressive strength for same water/fine material ratio.
2. Mineral admixtures fill pores in concrete and block transportation of deleterious materials inside concrete. Capillary water absorption test, permeability under pressure test and water absorption with vacuum test have shown that increasing mineral admixture ratio decreases the permeability of concrete. For same water/fine material ratio, it has been determined that flay ash and limestone powder have similar effect of permeability properties.
3. Usage of fly ash has increased freeze/thaw resistance of concrete according to loss of weight and loss of compressive strength compare with references groups. Unlikely, limestone powder has negative effect on freeze/thaw properties of concrete. References groups has better freeze/thaw resistance unlike concrete groups which insists limestone powder.

4. Increasing limestone powder ratio has decreased carbonation coefficient of concrete with compare with references groups. But fly ash has negative effect on carbonation resistance. Usage of fly ash has increased carbonation coefficient. Fly ash has reacted with CaOH which occurred after hydration of cement. So, CO₂ molecules can penetrate inside of concrete without crossing with CaOH. Even if fly ash fills pores in concrete, CO₂ molecules can react with deeper CaOH from surface.
5. After numerous cycles of MgSO₃ solution, no considerable differences have been determined between concrete ultrasound velocity with compared from beginning of cycles. But it has been seen that mineral admixtures increased the ultrasound velocity of concrete than references groups.
6. Limestone powder has no considerable improvement on concrete with a bit reduction in terms of chloride resistance. But, increasing fly ash ratio also increased chloride resistance of concrete with compare references groups CC and SCC that has no mineral admixtures.
7. With similarly rapid chloride permeability test, fly ash has improved resistivity of concrete about 5 times than reference CC and SCC. Limestone powder has similar results with reference SCC. But, compare with reference CC, resistivity values have decreased almost ½ with lime stone powder.

In generally, it has been found usage of mineral admixtures has positive effects on durability properties of SCC. Especially, usage of fly ash in SCC showed very high performance about durability compare with CC and SCC that has any mineral admixtures.

In comparison with limestone powder, fly ash showed reasonably better performance to develop durability of concrete. It can be explained with filler and pozzolanic properties of fly ash. In contrast to limestone powder, fly ash has pozzolanic property. This property provides to bind free CaOH that presents in cement matrix. It can assert that fly ash decreases porosity and permeability of concrete. Concrete that has less pores, has superior resistance against hazardous chemicals and environmental effects.



1. GİRİŞ

Beton geçtiğimiz yüzyıl boyunca ve günümüzde de kullanılan en yaygın yapı malzemesidir. Tek katlı yapılardan yüzlerce metre uzunluktaki gökdelenlere kadar her boyutta yapıda kullanılmaktadır. Bu geniş kullanım yelpazesi doğrultusunda betondan beklenen özellikler farklılık göstermektedir. Betondan beklenen performans, projenin kapsamı dışında günün teknolojik ve çevresel şartları da göz önünde bulundurulduğunda değişmektedir.

Güncel olarak literatürde betondan beklenen 3 temel özellik vardır. Bunlardan ilki taze beton özelliği olan işlenebilirlik; diğer ikisi ise sertleşmiş beton özellikleri olan dayanıklılık (durabilite) ve dayanımdır. Beton dizaynı yapılırken bu 3 ana özellik doğrultusunda beton bileşimleri değişim göstermektedir.

Taze beton özelliği olan işlenebilirlik göz önüne alınırsa; bu doğrultuda yapılan en büyük gelişme süper ve hiper akışkanlaştırıcı teknolojisinin geliştirilmesi ve kendiliğinden yerleşen betonların (KYB) üretilmesidir. KYB'ler herhangi bir vibrasyon uygulanmadan kendi ağırlıkları ile kalıba yerleşen betonlardır [1]. Aynı zamanda yüksek viskoz özelliğe sahip olmalarından dolayı ayrışma sorunu da çözülmüş olur.

Yapılar kullanım süreleri boyunca ölü ve hareketli yükler dışında çevresel faktörlerin kimyasal ve fiziksel aşındırma etkisine maruz kalırlar. Betonun servis süresi boyunca çevre koşullarının yıpratıcı etkilerine karşı gösterdiği direnci durabilite ya da dayanıklılık olarak tanımlanır [2]. Diğer bir tanımlamayla donma-çözünme, asit etkisi, klorür iyonu etkisi, karbonatlaşma, sülfat etkisi, alkali-silika reaksiyonu gibi etkiler altında beton ve beton içerisindeki donatılar tasarım özelliklerinin yitirip kullanılamaz hale gelebilirler.

Bu çevresel etkilerin aşındırma etkisine karşı betonun korunması amacıyla zaman içerisinde çeşitli çözüm yolları bulunmuştur. Bu çözüm yollarından en başta gelen ise

su/çimento oranını düşürmek gelmektedir. Beton karışımındaki su/çimento oranını düşürmek betonun geçirimsizlik oranına etkiyen en önemli faktördür [3].

Geçtiğimiz son 40 yıl içerisinde su/çimento oranını düşürmenin dışında doğal ve yapay puzolanların kullanılması betonun geçirimsizliğinin düşürülmesinde oldukça faydalı olmuştur [4-7]. Puzolonlar hidrasyon ürünü olan serbest kireçle reaksiyona girerek ve aynı zamanda fiziksel olarak boşlukları doldurmaları (filler etkisi) ile betonun geçirimsizliğini büyük ölçüde azaltmaktadır. Aynı zamanda puzolanlar KYB'lerin viskozite özelliklerini de iyileştirmektedir [8].

1.1 Tezin Amacı ve Metodoloji

Bu çalışmada uçucu kül ve kalker tozu ilavesi ile üretilen kendiliğinden yerleşen betonun durabilite özelliklerindeki değişimi incelemektir. Bu amaçla kalker tozu ve uçucu kül içeren iki ayrı ana grup kendiliğinden yerleşen beton üretilmiştir. Bu ana grupların altında su/çimento oranı sabit tutularak, uçucu kül ve kalker tozu miktarı çimentoya ek olarak 100, 200 ve 300 kg/m³ olarak karışıma eklenerek 6 ayrı üretim yapılmıştır. Bunların dışında ise kontrol amaçlı bir grup geleneksel beton ve bir grup puzolan içermeyen KYB üretimi yapılmıştır. Bu kontrol gruplarında yine su/çimento oranı diğer gruplarla aynı tutulmuştur.

Her grup üretimde 3 adet 15x15x15 cm küp numune, 2 adet 15x15x50 cm dikdörtgen prizma numune, 3 adet 10 cm çapında 20 cm yüksekliğinde silindir numune ve 2 adet 15 cm çapında ve 30 cm yüksekliğinde silindir numune alınmıştır.

Üretimlerde kalıba dökme aşamasından önce yayılma, v hunisi ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Kalıplardan alınan numuneler 90 gün boyunca laboratuvar koşullarında su küründe bekletilmiştir. 90 günlük kür sürelerinden sonra ise numuneler uygun boyutlara getirilip, basınçlı su emme, kılcal su emme, vakumlu su emme, donma-çözünme, magnezyum sülfat etkisinde donma-çözünme, hızlı klorür geçirimsizliği ve karbonatlaşma deneylerine tabii tutulmuştur.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1 Kendiliğinden Yerleşen Beton

Beton daha önce de bahsedildiği gibi günümüzde en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden biridir. Maliyet, üretim kolaylığı ve kolay şekil verilmesi bunun başlıca sebeplerindedir. Ancak her ne kadar kolay şekil verilebilse de betonu kalıba istenildiği gibi kusursuz yerleştirmek büyük dikkat gerektirmektedir.

Gerekli önlemler alınmadan gelişi güzel kalıba dökülen beton keskin köşe ve kenarlara, donatı altlarına ya da sık donatı aralarına yerleşemez. Yerleştirme işlemini kolaylaştırmak amacıyla doğrudan betona ya da kalıba vibrasyon işlemi uygulanır. Vibrasyon işlemi uygun kurallar altında işinde kalifiye elemanlar tarafından yapılmalıdır. Aksi takdirde betonda ayrışma (segregasyon) kaçınılmaz olur. Ayrışma ise betondan istenilen homojen dağılımın gerçekleşmesine engel olur ve betondan istenilen dayanım ve dayanıklılık özellikleri elde edilemez.

Bu yerleştirme ve kıvam sorunları ise yeni bir beton teknolojisinin gelişmesini zorunlu kılmıştır. İlk denemeleri 1980'li yıllarda Japonya'da yapılmıştır. Bir ada ülkesi olan Japonya'da deniz yapıları yaygın kullanılmaktadır. Su altında taze halde su ile teması esnasında bütünlüğünü kaybetmeden beton dökümü yapılması gerekmektedir. Betonun bütünlüğünü koruduğu gibi kalıba yerleştirmesinin de olabildiğince kolay olması gereklidir. Aynı zamanda doğrudan denizin kimyasal ve fiziksel aşındırma etkisine maruz kaldığı için durabilite etkisinin de göz önünde bulundurulması gereklidir. İşte başlıca bu sebepler kendiliğinden yerleşen beton teknolojisini doğurmuştur.

Bu gelişmeler ışında KYB, kendi ağırlığı altında dışarıdan bir müdahale gerektirmeden kalıba yerleşebilen, yüksek koheziona ve ayrışma direncine sahip, yüksek durabilite özellikleri gösteren betonlar olarak tanımlanabilirler. Bu tanımlamadan da anlaşılacağı

gibi geleneksel betonlara göre kullanım alanları daha geniştir. Bunun yanında uygulanan işçilik, maliyet ve zorluk açısından daha azdır. Geleneksel betonun yerine her koşulda kullanılabileceği gibi genellikle yüksek dayanım ve dayanıklılık gerektiren projeler için tercih edilir.

Başlıca KYB'lerden beklenen temel özellikler literatürde şöyle geçmektedir:

- Doldurma yeteneği (döküldükleri kalıbı boşluksuz bir şekilde doldurmalıdır)
- Donatılar arasından geçebilme yeteneği
- Ayrışmaya karşı yüksek direnç [7].

2.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonların Bileşenleri

KYB'ler de geleneksel beton gibi çimento, agrega, su, kimyasal ve mineral katkıların karışımından elde edilir[9]. Ancak geleneksel betondan farklı olarak genellikle su/çimento oranı düşük ve ince malzeme miktarı daha fazladır [7,8].

2.2.1 Çimento

Çimento, ham madde olarak kil ve kalker taşı kullanılarak üretilen hidrolik bir bağlayıcıdır. Kil ve kalker taşı gerekli durumlarda demir cevheri ve kum taşı da karıştırılarak döner fırınlarda 1400-1500 derecelerde pişirilir ve bu pişirme sonrasında klinker elde edilir [9]. Klinkerin ince tanelere öğütülmesiyle çimento üretimi tamamlanır. Öğütme işlemi sırasında bir miktar alçı taşı katılır (%5). Öğütme 5 ila 90 mikron kalınlıklara arası bir incelik elde edilinceye kadar uygulanır. Çimento içerisinde CaO, MgO gibi alkalın bileşenler ve Al₂O₃ ve Fe₂O₃ gibi hidrolik bileşenler barındırır. Bu bileşenler çimentonun bağlayıcılık özelliğini belirler [9].

2.2.2 Agrega

Beton içerisinde dolgu görevi gören, tasarım olarak herhangi bir kimyasal reaksiyon beklenmeyen, doğal ya yapay olarak kullanılan taneli malzemelere agrega denir. Genellikle tercih olarak kum, çakıl ve kırma taş gibi doğal taşlar agrega malzemeleridir. Ayrıca ponza taşı ve bims gibi hafif beton üretiminde kullanılan; hematit, barit ve magnetit

gibi ağır beton üretiminde kullanılan malzemeler de doğal agregası sınıfına girmektedir. Bunların dışında ise yapay olarak yüksek fırın cürufu, genişletilmiş kil agregası, uçucu kül ve perlit beton agregası olarak kullanılmaktadır.

Beton içerisinde kullanılacak agregaların bazı temel özelliklere sahip olması beklenmektedir. Bunların başında gerekli dayanıma sahip olmaları gelir. Agregalar basınç ve aşınmaya karşı belir bir dayanıma sahip olmalıdırlar [10]. Diğer bir özellik ise agregaların beton bileşenlerinden herhangi biriyle zararlı kimyasal reaksiyonlarda bulunmamasıdır. Aranacak bir diğer özellik ise agregaların organik malzeme içermemesidir [10]. TS 706 EN 12620+A1 kodlu standartta beton agregaları için gerekli olan şartları ve zorunlulukları belirtilmiştir [11].

2.2.3 Beton karışım suyu

Beton karışım suyu temel olarak beton içerisinde iki ana işlevde bulunur. Bunlardan ilki çimentoyla hidrasyon tepkimesi verip çimento hamurunu oluşturmaktır. Böylece beton bileşenleri arasındaki boşluklar dolup, birbirlerine bağlanıp sağlam bir yapı oluşturur. İkincisi ise betonun boşluksuz bir şekilde yerleştirilmesini sağlayan işlenebilirlik suyudur [12].

TS EN 1008' e göre standart içme suyu herhangi bir test uygulamadan beton için karışım suyu olarak kullanılabilir. Ancak yine aynı standartta göre içme suyu dışındaki suların beton içerisinde kullanılabilmesi için renk, koku, asit içeriği, askıda katı madde durumu, katı-sıvı yağ içeriği, deterjan içeriği ve organik madde içeriği gibi durumların belirlenmesi için test edilmelidir ve aranacak şartları sağlamalıdır [13].

2.2.4 Kimyasal ve mineral katkıları

Beton üretiminde kullanılan 3 temel malzeme olan su, çimento ve agregaların yanında gelişen teknolojinin de etkisiyle 4. bileşen olarak kimyasal ve mineral katkıları da beton

üretiminin değişmez bir parçası haline gelmiştir. Bu katkı malzemeleri taze ve sertleşmiş halde bazı beton özelliklerini iyileştirmektedir. Bazı durumlarda ise priz süresi ayarlama da kullanılmaktadırlar.

2.2.4.1 Kimyasal katkılar

Betonun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerini iyileştirmek için üretilmiş kimyasal malzemelerdir [14]. Bu katkılar iyi dizayn edilmiş bir betonun özelliklerini iyileştirirler, ancak kötü dizayna sahip bir betonda taze ve sertleşmiş haldeki özelliklere iyileştirmede bulunmazlar. Hatta bazı durumlarda bu özellikleri kötüleştirirler.

Kimyasal katkıların bazı kullanım amaçlarını şöyle sıralayabiliriz:

- Su azaltma
- Priz hızlandırma ya da geciktirme
- Su tutma
- Kohezyon artırma
- Pompalanabilirlik
- Sus kusmanın kontrolü
- Erken yaşlarda mukavemet artırma
- Basınç, çekme ya da eğilme dayanımını artırma
- Donma-çözünme direncini artırma
- Geçirimliliği azaltma
- Beton ve donatı arası aderansı artırma
- Erken yaşlardaki hidrasyon ısısını düşürme.

Bu amaçla kullanılan kimyasal katkılar akışkanlaştırıcılar, süper akışkanlaştırıcılar (SAK), viskozite düzenleyiciler, hava sürükleyiciler, priz geciktiriciler, priz hızlandırıcılar, su iticiler ve köpük kesiciler olarak sınıflandırılabilir [15].

Bunlardan en çok kullanılan süper akışkanlaştırıcılar ve viskozite düzenleyiciler aşağıda açıklanmıştır.

Süper akışkanlaştırıcı katkılar

Süper akışkanlaştırıcı katkıları beton içerisindeki ince malzemelerin su ihtiyacını azaltarak su/bağlayıcı oranını düşürmektedir. En çok kullanılan polimer süper akışkanlaştırıcılar ise korboksilat esaslı olanlardır, ancak sülfonatmelamin formaldehit ve naftalin formaldehit benzeri polimerler de kullanılmaktadır.

Süper akışkanlaştırıcılar iki ana etki ile su ihtiyacını azaltırlar. Bunlardan birincisi dispersiyon diye tanımlanan ve ilk kuşak akışkanlaştırıcılarda da bulunan etkidir. SAK bu etki ile ince malzemelerin etrafını absorbe olarak sarar ve aynı elektriksel yük ile yükler. Bu yükleme durumu sebebiyle ince tanelerin arası açılmaktadır. İkinci etki ise sadece SAK'da bulunan siterik etkidir. Bu etki mekanizması ise SAK'da bulunan uzun polimer zincirlerinin fiziksel olarak ince malzemeleri birbirlerinden uzak tutmasıdır.

Viskozite düzenleyici katkıları

Viskozite düzenleyici katkıları (VDK) genel anlamda beton kohezyonunu arttırmaktır. Bu sayede beton bileşenleri birbirinden ayrılmadan bütün olarak hareket eder. Ayrıca agregalar çimento hamuru içerisinde homojen olarak askıda kalırlar. Bu etkilerin yanında terleme miktarını da azaltmaktadırlar.

Beton içerisinde kullanılan VKD; mikrobik kaynaklı polisakkaritler, selüloz türevleri, akrilik bazlı polimerler ve ana bileşen olan akrilimit içeren sodyum akrilitlerdir. Bu değişik kimyasal içeriklere göre VDK'nın etki mekanizmaları değişiklik göstermektedir. Ancak genel olarak VDK polimerleri emilen su moleküllerinin etrafını sarmakta ve aynı zamanda birbirleriyle etkileşimde bulunarak suyun hareketini kısıtlamaktadırlar. Bu kısıtlama ise jel oluşturmaktadır. Bu da çimento hamurunun viskozitesini artırır.

2.2.4.2 Mineral katkıları

Mineral katkıları KYB'ler de kullanılan akışkanlaştırıcılar sebebiyle yaşanan ayrışma problemlerini çözmek ve aynı zamanda bir miktar çimento ile yer değiştirilerek hem ekonomik hem de ekolojik bir avantaj sağlamak için mineral katkıları kullanılmaktadır [16,17]. Mineral katkıları puzolanik özellikte olanlar ve filler özellikte olanlar olmak üzere iki gruba ayrılabiliriz.

Puzolanlar tek başına hiç ya da çok az bağlayıcı özelliğe sahip olmayan ancak çimentonun su ile hidratasyonu sonrası oluşan serbest kireç tepkime vererek bağlayıcı özellik kazanan içlerinde aktif silis içeren malzemelerdir [16,17,18]. Serbest kireç ile tepkime vermesi için aynı zamanda suya da ihtiyaç duyarlar.

Puzolonlar hem beton içerisinde zayıf bir yapı oluşturan ve suyla yıkanabilen kireci bağlar hem de bu reaksiyon sonrası oluşturduğu CSH ile dayanıma katkıda bulunurlar [18,19]. Puzolanik reaksiyonun gerçekleşmesi için öncelikle çimento hidratasyonu olmalıdır. Bu da puzolanlar betonun geç yaş dayanımına katkıda bulunmaktadır.

Kireç bağlayıcı özelliğinin yanında puzolan kullanımı hidratasyon ısısının düşürülmesinde de etkilidir. Belli bir miktar çimento yerine puzolanik malzemelerin kullanılması kütle betonları ve sıcak havada dökülecek betonlarda hidratasyon ısısının düşürülmesinde büyük fayda sağlamaktadır. Bunların yanında betonun geçirimsizliğini de azalttıkları için durabilite özelliklerine büyük katkıda bulunmaktadır.

Puzolanik malzemeler yapay ve doğal olarak iki sınıfa ayrılırlar. Bunlardan yapay olanlara örnek olarak en yaygın kullanılanlar bazı endüstrilerin yan ürünü olarak elde edilen uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı ve pirinç kabuğu külüdür. Doğal olanlara ise volkanik küller ve volkanik tüfler örnek verilebilir.

Filler mineral katkılardan en bilineni ise kalker tozudur. Bu malzemede puzolanik reaksiyon görülmez sadece beton içerisindeki boşlukları doldururlar ve CSH çekirdek yapısını oluşturup hidratasyon reaksiyonunun hızlandırırlar. Bunun yanında taze halde betonun viskozitesini arttırırlar [21].

Kalker tozunun kimyasal yapısı %95-97 arasında CaCO_3 'den oluşmaktadır. CaCO_3 ise kireç taşı, mermer ve tebeşir gibi karbonatlı kayaların temel mineralidir. Ülkemiz de bu kayaların endüstride kullanımı yaygın olduğu için yan ürün olarak ortaya çıkan kalker tozu ciddi miktarlara ulaşmaktadır. Kalker tozu kullanımı hem betonun özelliklerini iyileştirmekte hem de ekolojik fayda sağlamaktadır [21,22].

2.3 Durabilite

Geçmişte betonarme yapılar mekanik yükler altında yeterli dayanımı sağlamaları için tasarlandı ve yapıldı. Çekme, eğilme, kesme ve özellikle basınç gerilmeleri altında yeterli dayanımı sağlayan binalar kullanım için uygun görülüp yapılmıştır. Ancak günümüzde sadece bu mekanik etkileri karşılamaları dışında en az bu etkiler kadar ciddiye alınması gereken bir etki olan zaman ve çevre şartlarının da beton üzerindeki etkisinin dikkate alınması gerektiği fark edilmiştir [2].

Yakın geçmişte betonarme yapıların mekanik etkiler dışında zaman ve çevre etkilerine karşı beklenen servis ömrü boyunca özelliklerini koruması kavramı olan durabilite kavramı ortaya çıkmıştır [2,23-27]. Durabilite diğer isimlendirmelerle kalıcılık ve dayanıklılık olarak da adlandırılabilir.

Betonarmenin yapı malzemesi olarak kullanılması yapıların inşa süresini kısaltmış, işçilik maliyetlerini düşürmüş ve çok farklı amaçlar için kullanılacak değişik boyutlarda yapıların yapılmasına olanak tanımıştır. Termodinamik yasalarına göre malzemeler doğada bulunan en düşük enerjili hallerine geçme durumuna eğilimlidirler [28]. Geçmişte inşa edilen yapılarda genellikle doğal taşlar temel malzeme olarak kullanılmıştır. Bu doğal taşlar ise yıllarca doğada binlerce yıl içerisinde oluşmuş ve termodinamik açıdan en kararlı hallerinde bulunmaktadırlar. Bu sebeple geçmişte inşa edilmiş birçok taş yapı günümüze kadar yüzlerce hatta binlerce yıldır varlıklarını sürdürmüşlerdir.

Betonun durabilitesine etkileyen en önemli faktör betonun içerisinde bulunan boşluklardır. Betona zarar verebilecek maddeler bu boşluklar sayesinde betonun iç kısımlarına ilerlemektedir. Bu boşluk oranına etkileyen en önemli faktör ise su/çimento oranıdır [23-27]. Bu oranın dışında ise üretilen betonun kalıba yerleştirme esnasında en az boşluk bırakıp en yoğun haline getirilmesi gerekmektedir. Kalıplama aşamasından sonra ise betonun bakımı ihmal edilmemeli ve kür koşulları yerine getirilmelidir. Bu önlemler alınarak beton en az boşluk bırakılacak şekilde üretilmiş olur. Bunun dışında ise çeşitli kimyasal ve mineral katkıların kullanımı beton içerisindeki boşluk miktarını azaltmaktadır.

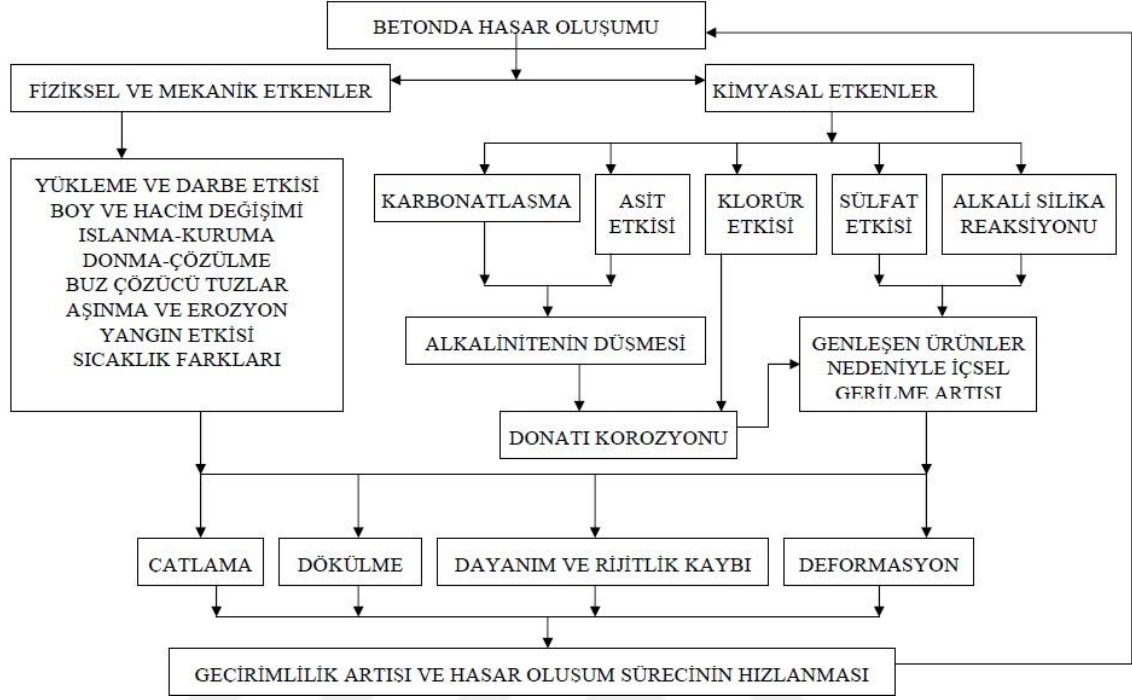
Zararlı maddelerin beton içerisine taşınma mekanizmaları 3 gruba ayrılır. Bunlar emilim difüzyon ve geçirimsizliktir[28]. Bu 3 yolla yabancı malzemeler doğrudan ya da dolaylı olarak beton içerisine taşınır.

Emilim beton yüzeyine temas eden suyun beton içerisine giren miktarına denilmektedir. Kılcal su emme ve yüzeyden su emme yöntemleriyle bulunabilir. Yabancı maddelerin beton içerisine konsantrasyon farkından dolayı girmesine difüzyon denir. Difüzyon suda çözülmüş maddelerin beton içerisine taşınması (iyonik difüzyon) ya da gazların doğrudan beton içine girmesi şeklinde olabilir. İyonların su içerisine taşınması için beton içerisindeki boşlukların su ile dolu olması gerekirken gazların difüzyonu için bu boşlukların kuru olması gerekmektedir. Gaz ve sıvıların basınç altında betonun içerisine taşınması is geçirimsizlik olarak adlandırılır. Bu taşınma modellenirken basınç kullanılması beton boşluklarını değiştirebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Durabilite açısından betonda meydana gelebilecek hasar mekanizmaları şekil 2.1’de gösterilmiştir.

2.3.1 Fiziksel ve mekanik etkiyle hasar oluşumu

Bazı fiziksel ve mekanik etkiler betonun içerden ya da dışardan hasar almasına sebep olur. Bu hasarlar betonun içerisinde ya da dışarısında çatlak ve dökülme gibi hasarların oluşmasını sağlar. İlerleyen bölümlerde en sık görülen fiziksel ve mekanik hasarlardan bazıları açıklanmıştır.



Şekil 2.1: Betonda hasar oluşum mekanizması [2].

2.3.1.1 Aşınma ve erozyon

Beton yüzeylerinin kuru etki ile yapısının bozulup kütle kaybetmesine aşınma denir. Yaya ve araç trafiği, ağır ve sert maddelerin beton üzerinde sürüklenmesi aşınmalara yol açar [28].

Erozyon ise askı halinde katı partiküller bulunduran sıvı ya da gazların yüksek hızlarla beton yüzeyinden akarak yüzeyi çizmesi olayıdır. Bu olaya en çok su yapılarında ve şiddetli rüzgara maruz kalan yapılarda rastlanır.

Genellikle dayanım arttıkça bu iki abrasif etkiye karşı olan direnç de artmaktadır. Betonun üretiminde segregasyonu engellemek, terlemeyi kontrol altına almak, perdahlama işleminin düzgün yapılması gibi işlemler bu zararlı etkileri azaltacaktır.

2.3.1.2 Donma-çözünme etkisi

Kurak iklimlerde hava sıcaklığının eksi ve artı derecelere çıkıp inmesiyle ortaya çıkan bir hasar şeklidir. Donarak katılaştıran suyun hacmi yaklaşık %9 oranında artmaktadır. Beton içerisindeki kılcal boşluklarda bulunan su donduğu zaman hacmi genişler. Boşluklar tamamen buz ile dolduğu zaman büyüyecek bir hacim kalmadığı zaman buldukları boşluk çeperlerine baskı yaparlar ve bir gerilme oluşur. Bu gerilme değeri yeterince büyüdüğünde ise betonda çatlaklar oluşur. Bu etki yüzeye yakın yerlerde olduğunda gözle görülen dökülmeler oluşur [29].

Donma çözünme etkisine karşı alınacak en iyi önlem beton içerisinde oluşturulacak yapay küresel hava boşluklarıdır. Bu işleme hava sürüklenme işlemi adı verilir. Oluşturulan yapay hava boşlukları çatlarda ya da boşluklarda oluşan buz külesinin ilerlemesi için gerekli boş hacmi oluşturup hasarı engeller.

2.3.1.3 Buz çözücü tuzların etkisi

Soğuk iklimlerde yolların buz tutmasını engellemek için suyun donma noktasını düşüren tuzlar kullanılır. Bu tuzların bir kısmı beton tarafından emilir ve bu bölgelerde yüksek bir osmotik basınç yaratır. Bu basınç sebebiyle su donmanın başladığı en soğuk yere doğru hareket eder. Bu sebeple donma-çözünme etkisinin verdiği hasarda artma meydana gelir.

Bu olaydan farklı olarak beton yüzeyine atılan tuz yüzeydeki buzun çözünerek termal bir şok yaşanmasına sebep olur. Betonun yüzey ve iç yüzey arasında oluşan bu sıcaklık farkı gerilmelere yol açar ve yüzeyde çatlaklar görülür.

2.3.1.4 Yüksek sıcaklık ve yangın etkisi

Beton genel olarak yangın dayanımı yüksek olan, ısı iletkenliği çok düşük olan bir yapı malzemesidir. Bu özellikleriyle içerisindeki donatıları yangın etkisinden korumaktadır. Hatta 100-200 °C derecelere 1 saat gibi kısa süreler maruz kaldığında belli bir miktar dayanım kazancı görülmektedir.

Sıcaklığın 300 °C derece üzerine çıktığı durumlarda ise içyapının bozulup betonda dökülmelerin olduğu gözlenmiştir. Özellikle yeterli pas payı bırakılmayan betonarme elemanlarda donatıya ulaşan sıcaklık ısı iletkenliği yüksek olan donatıya ulaşır. Çelik donatılar hem ısı sebebiyle dayanım kaybına uğrar hem de bu ısıyı ilettikleri için hasarın boyutunu arttıırırlar.

2.3.2 Kimyasal etkiyle hasar oluşumu

2.3.2.1 Alkali-silika reaksiyonu

Alkali-silika reaksiyonu (ASR) temel olarak çimentoda bulunan alkali oksitlerle (Na_2O , K_2O) agregalarda bulunan reaktif silisin tepkime vermesiyle oluşur [30]. Bu tepkimeden ortaya alkali-silikat jeli ortaya çıkar. Bu jel su varlığında suyu çekerek şişer ve hacim artışına sebep olur. Hacim artışından dolayı beton yüzeyinde “harita” şeklinde çatlaklar oluşur. Tespit edilmesi zor bir hasar türüdür. İlk olarak 1940 yılında Stanton tarafından açıklanmıştır.

Bu zararlı reaksiyon çimentonun alkali içeriği, agregaların granülometrisi ve reaktif silis miktarı, boşluklarda bulunan suyun alkali içeriği, ortamın sıcaklığı ve beton içerisindeki boşluklarda suyun taşınma mekanizmalarına doğrudan bağlıdır.

Bu reaksiyonun önüne geçmek için aktif silis içermeyen agrega kullanmak, çimentodaki alkali miktarını kısıtlamak ya da beton içerisindeki su taşınımını engellemek yeterli olacaktır. Bu 3 etkenden herhangi biri olmadığında bu reaksiyon gerçekleşmez ya da hızı oldukça düşük olur.

2.3.2.2 Karbonatlaşma

Atmosferdeki CO_2 'in beton içerisine difüzyon yolu ile girip beton içyapısında bulunan serbest kireçle ($\text{Ca}(\text{OH})$) tepkimeye girip CaCO_3 oluşturmasına karbonatlaşma denir [31]. Atmosferde yaklaşık olarak %0,03 oranında bulunan CO_2 , betonarme yapıların iç ortamlarında %1 oranlarına kadar çıkmaktadır. Bu açıdan yapıların iç kısmında daha şiddetli olmakla birlikte sürekli olarak gerçekleşen bir reaksiyondur.

Karbonatlaşma reaksiyonu sırasında hidratasyon ürünlerinden en zayıf olan Ca(OH) bağlanarak görece daha sert olan CaCO_3 'e dönüşerek bir miktar dayanım artışına ve geçirimsizliğin azalmasına sebep olur[29]. Ancak bu reaksiyonun asıl tehlikeli sonucu bu reaksiyonda betonun alkalinitesinin düşmesidir. Ca(OH) betondaki alkaliniteyi sağlayan temel unsurdur. Bu sayede çelik donatılarda bir pasivasyon tabakası oluşur ve donatıyı korozyona karşı korur. Karbonatlaşma sonunda betonun pH değeri yaklaşık 12,6 değerinden yaklaşık 8,3 değerine iner (formül 2.1). Bu düşük pH değeri ise pasivasyon tabakasının ortadan kalkmasına ve korozyonun başlaması için yeterlidir.

Ayrıca bu reaksiyon sonrasında hamurda bir miktar büzülme meydana gelir. Bu büzülmede mikro çatlakların oluşmasına sebep olur.

Karbonatlaşmanın önüne geçmek için beton içerisine difüzyonun gerçekleşmesini engellemek yeterli olacaktır.

2.3.2.3 Klorür etkisi

Klorür iyonlarının betonun dayanıklılığında doğrudan etkisi yoktur. İçerisinde donatı bulunmayan betonların servis ömrü klorür iyonları tarafında dikkate alınmayacak kadar az etkilenir. Klorür iyonlarının asıl etkisi donatılar üzerinedir [32].

Klorür iyonları asit karakterli oldukları için ortamın pH değerini düşürürler. Bu da korozyonun başlamasına sebep olur. Ayrıca ortamın elektriksel iletkenliğini arttırdıkları için korozyonun etkisini arttırmış olurlar. Ancak en önemli işlevleri donatıya ulaştıklarında pasivasyon tabakasını kaldırmalarıdır.

Klorür iyonları O_2 ve (OH) iyonlarına göre metal tarafından daha hızlı emilmektedir. Bu sayede katalizör görevi görüp korozyon hızını arttırmaktadırlar.

Klorür korozyonun karbonatlaşma korozyonundan daha tehlikeli olmasının sebebi lokal olarak çalışmasıdır. Belli bir lokal bölge üzerinde hızla çalışarak kesit kayıplarına yol açarlar.

Beton içerisinde klor iyonu sağlayacak bir yapı olmadığından genellikle dışardan betonun içerisine taşınımı söz konusudur. Bu yüzden genellikle su yapılarında ya da klorür iyonu içeren yer altı suyuna maruz kalan yapılarda gözlenir.

2.3.2.4 Sülfat etkisi

Betonun içerisine giren sülfat iyonlarının çimento hamuru bileşenleriyle yaptığı zararlı kimyasal reaksiyonları tanımlamak için sülfat etkisi kavramı kullanılır. Özellikle $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve C_3A ile sülfat iyonlarının tepkimesinde beton içerisinde hacim artışına sebep olan ürünler ortaya çıkar.

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile sülfat iyonlarının tepkimesinde yaklaşık olarak %124 oranında; C_3A ile sülfat iyonlarının tepkimesinde ise %227 oranında bir hacim artışı gözlenir. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile yapılan tepkimeden se C_3A ile yapılan tepkime bu orandan da görüleceği gibi daha zararlıdır. C_3A ile sülfat iyonlarının tepkimesinde ortaya etrenjit adı verilen bileşen ortaya çıkar. Bu ürün ciddi bir hacim artışına sebep olur [33].

Hacim artışının sonucunda betonda köşe ve kenarlardan başlayarak dökülmeler ve çatlaklar görülür. Hasarın ilerlemesi durumunda betonda kırılma, yumuşama, rijitlik kaybı ve dayanım kaybı görülür. Beton bütünlüğünü kaybettiği için elle ufalanacak duruma gelir.

Sülfat iyonları genelde yer altı suyu ya da deniz suyundan betona taşınır. Üzerinde çalılık dışında bitki yetişmeyen ve yüzeyinde beyaz tuz lekeleri görülen topraklar genellikle sülfat içeren topraklardır.

Sülfat etkisine karşı çimento içeriğinde bulunan C_3A miktarı sınırlandırılır. TS EN 206-1 (2002) standartına göre bu oran %5 olarak belirtilmiştir. Bu orana uyan çimentolara ise sülfata dayanıklı çimento denilmektedir.

2.3.2.5 Asit etkisi

Betonun içyapısı bazik karakterde olduğu için asitlere karşı dirençleri azdır. Asitler çimentonun bağlayıcı özellikteki kalsiyum bileşenlerini (CSH , CH ve CAH) kalsiyum

tuzlarına dönüştürür. Bu kalsiyum tuzları suda yavaş ve hızlı çözündükleri için zamanla beton hasar alır.

Oluşan kalsiyum tuzlarının çözünebilirliği hasar oluşumunda etkilidir. Örneğin hidroklorik asit, nitrik asit ve sülfürik asit kolay çözünebilen tuzlar meydana getiriler.



3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışma İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarın'da yapılmıştır. Bu bölümde üretilen beton grupları ve numuneler üzerinde yapılan durabilite deneyleri detaylı olarak anlatılmaktadır.

3.1 Kullanılan Malzemeler

3.1.1 Çimento

Çimento olarak CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır [9,34].

3.1.2 Karışım suyu

Beton karışım suyu olarak TS EN 1008'e göre içilebilecek durumda olan standart şebeke suyu kullanılmıştır [13,34].

3.1.3 Agregalar

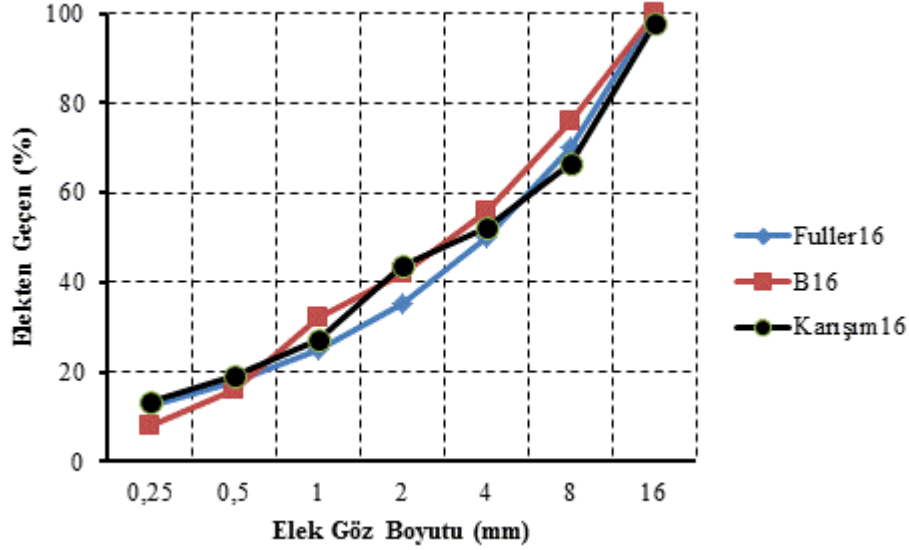
Karışımlarda 4 çeşit agregalar kullanılmıştır. Bunlardan ikisi iri agregalar, ikisi ince agregadır. İri agregalar olarak kalker bazlı, maksimum çapı 10 ve 16 olan kırmataş 1 ve kırmataş 2 kullanılmıştır. Özgül ağırlıkları sırası ile kırmataş 1 için 2,72 kg/dm³ ve kırmataş 2 için 2,71 kg/dm³'tür. İnce agregalar ise özgül ağırlığı 2,68 kg/dm³ olan kalker bazlı kırma kum; özgül ağırlığı 2,68 kg/dm³ olan doğal kumdur.

Agrega karışımları Fuller Parabolü kullanılarak hesaplanmıştır. Aşağıda denklem 3.1 Fuller Parabolü'nü göstermektedir [11,34].

$$p_i = 100 (d_i / D_{\max})^{1/2} \quad (3.1)$$

Bu denklemde p_i elekten geçen malzeme yüzdesini, D_{max} maksimum agrega çapını ve d_i elek göz boyutunu göstermektedir.

Şekil 3.1’de agregaların karışım ve referans granülometri eğrileri; şekil 3.2’ de agregaların elek analizi ve karışım oranları verilmiştir.



Şekil 3.1: Agrega karışım ve referans granülometri eğrileri.

Elekten Geçen Malzeme (%)								
		Fuller 16	B16	Doğal Kum	Kırma Kum	Kırmataş 1	Kırmataş 2	Karışım
Elek Boyutu	0.25	15.8	17.4	85	5	0	0	27
	0.5	22.4	24.6	100	15	0	0	34
	1	31.6	34.8	100	25	0	0	37
	2	44.7	49.2	100	53	0	0	45
	4	63.2	69.6	100	91	6	0	58
	8	89.4	90	100	98	63	0	84
	16	100	100	100	100	100	100	100
		Karışım Oranları		0.3	0.28	0.42	0	

Şekil 3.2 Agregaların elek analizleri ve karışım oranları.

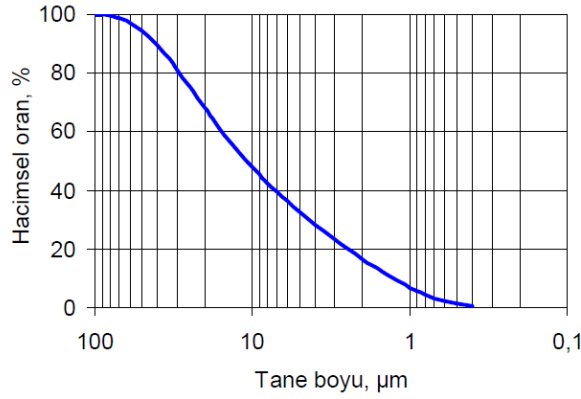
3.1.4 Kimyasal katkılar

Karışımlarda özgül ağırlığı $1,03 \text{ kg/dm}^3$ olan polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı ve özgül ağırlığı $1,01 \text{ kg/dm}^3$ olan polisakkarit esaslı vizkosite düzenleyici katkı kullanılmıştır [15,34].

3.1.5 Mineral katkılar

3.1.5.1 Kalker tozu

%98,5 CaCO_3 bileşimli, özgül ağırlığı $2,77 \text{ kg/dm}^3$ olan kalker tozu kullanılmıştır [34]. Ortalama tane boyutu 11 mikron, en büyük tane boyutu ise 65 mikrondur. Şekil 3.2’de tane boyutu dağılımı ve şekil 3.5 de bazı fiziksel ve kimyasal özellikler verilmiştir.



Şekil 3.3 : Kalker tozu tane boyu dağılımı.

3.1.5.2 Uçucu kül

Çatalağzı Termik Santralinden temin edilen, özgül ağırlığı $2,27 \text{ kg/dm}^3$ olan F tipi uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu külün özellikleri şekil 3.4’ de verilmiştir [18,34].

3.2 Beton Karışımları

Çalışma kapsamında toplamda 8 grup beton karışımı tasarlanmıştır [34]. Gruplar kalker tozlu ve uçucu küllü olmak üzere iki ayrı ana gruba ayrılmıştır. Her iki ana grup için ise 3 ayrı dozajda mineral katkı kullanılarak toplamda 6 grup beton tasarımı yapılmıştır. Bunların dışında ise referans olarak kullanılmak üzere bir grup maksimum agrega boyutu 16 mm olan KYB ve bir grup da maksimum agrega boyutu 22 mm olan geleneksel beton tasarımı yapılmıştır.

Standartlara Uygunluk Sınırları							
Oksit (%)	Uçucu Kül	TS EN 450	TS EN 197-1		TS 639	ASTM C 618	
			V	W		F	C
SiO ₂	58,75						
Al ₂ O ₃	25,24						
Fe ₂ O ₃	5,76						
S+A+F	89,75						
CaO	1,46						
MgO	2,22						
SO ₃	0,08	<3,00					
K ₂ O	4,05						
Na ₂ O	0,6						
KK	1,12	<5,00	<5,00	<5,00	<10,00	<5,00	<6,00
Cl	0,015	<0,10					
Serb. CaO	0,13	<1,00					
Reak. SiO ₂	34,18	>25,00	>25,00	>25,00			
Reak. CaO	0,65			<10,00	<10,00		

Şekil 3.4: Uçucu kül özellikleri.

Beton tasarımları yapılırken, çimento dozajı tüm grup betonlarda 350 kg/m³, su miktarı ise 178 kg/m³ olarak alınmıştır. Yani su/çimento oranı 0,51 tüm gruplarda sabit kalmıştır.

Mineral katkı kullanımları, uçucu kül ve kalker tozu miktarları ayrı ayrı 100, 200 ve 300 kg/m³ olarak değiştirilmiştir. Referans gruplarında ise mineral katkı kullanılmamıştır.

Fizisel Özellikler	Özgül Ağırlık (kg/dm³)	2,77		Parlaklık L*, a*, b* (DIN 6174)	98.0 / 0.08 / 1.0
Kimyasal Analiz	CaCO ₃ (%)	98,5	Beyazlık	Brightness (Ry, C/2°, DIN 53163) (%)	94
	MgCO ₃ (%)	1,5		Sarılık İndeksi (DIN 6167)	2,5
	Fe ₂ O ₃ (%)	0,05		Genel Üretim Özellikleri	Kütle Yoğunluğu (ISO 787/11) (g/ml)
	HCl içerisinde çözünmeyen içerik (%)	1	PH (ISO 787/9)		9,5
İncelik	100 µm elek üzerinde kalan (ISO 787/7) (%)	0,1	Yağ Emilimi (ISO 787/5)	11 g/ 100 g	
	Top Cut d%98 (µm)	65		VO Emilimi (ISO 787/5)	14 g/100g
	Ortalama Partikül boyutu (µm)	11			
	2 µm ' den küçük partikül miktarı (%)	17			

Şekil 3.5: Kalker tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Beton gruplarının isimlendirmeleri aşağıdaki gibi yapılmıştır:

350-0-16 : Maksimum agreg a çapı 16 mm olan referans KYB

350-0-22 : Maksimum agreg a çapı 22 mm olan geleneksel beton

350-36-16-UK : Maksimum agreg a çapı 16 olan ve 82 kg UK içeren KYB

350-72-16-UK : Maksimum agreg a çapı 16 olan ve 164 kg UK içeren KYB

350-108-16-UK : Maksimum agreg a çapı 16 olan ve 246 kg UK içeren KYB

350-36-16-KT : Maksimum agreg a çapı 16 olan ve 100 kg KT içeren KYB

350-72-16-KT : Maksimum agregâ çapı 16 olan ve 200kg KT içeren KYB

350-108-16-KT : Maksimum agregâ çapı 16 olan ve 300 kg KT içeren KYB.

Betonların karışım oranları tablo 3.4, tablo 3.5 ve tablo 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.1: Uçucu küllü beton karışımlar.

Numune Kodu	350-0-16	350-36-16- UK	350-72-16- UK	350-108-16- UK
Ağırlık (kg)				
Çimento	350	350	350	350
Su	178	178	178	178
Uçucu Kül	0	82	164	246
Doğal Kum	537	509	483	454
Kırma Kum	513	486	461	433
Kırmataş 1	389	368	348	328
Kırmataş2	390	369	349	330
Akışkanlaştırıcı katkı	5,25	6,48	7,71	5,96
Vizkozite Düzenleyici	3,15	2,59	0,00	0,00
Su/Çimento Oranı	0,508	0,508	0,508	0,508
Su/Bağlayıcı Oranı	0,508	0,412	0,346	0,298

Çizelge 3.2: Maksimum agregâ boyutu 22 mm olan geleneksel betonun karışımı.

Numune Kodu	
350-0-22	
Çimento	350
Su	178
Kırma Kum	719
Kırmataş 1	392
Kırmataş 2	747
Akışkanlaştırıcı Katkı	2,8

Çizelge 3.3: Kalker tozlu beton karışımları.

Numune Kodu	350-0-16	350-36-16- KT	350-72-16- KT	350-108-16- KT
Ağırlık (kg)				
Çimento	350	350	350	350
Su	178	178	178	178
Kalker Tozu	0	100	200	300
Doğal Kum	537	509	483	454
Kırma Kum	513	486	461	433
Kırmataş 1	389	368	348	328
Kırmataş2	390	369	349	330
Akışkanlaştırıcı katkı	5,25	6,75	6,66	6,31
Vizkozite Düzenleyici	3,15	2,7	0	0/0
Su/Çimento Oranı	0,508	0,508	0,508	0,508
Su/Bağlayıcı Oranı	0,508	0,395	0,323	0,273

3.3 Beton Üretimi

Üretim için 35 dm³ kapasiteli beton mikseri kullanılmıştır. Üretilecek numune sayısına göre karışımlar 30 dm³ üretilecek şekilde oranlanmıştır. İlk önce agregalar tane boyutuna göre iri agregadan ince agregaya doğru sıralanacak şekilde mikserde konulup 2 dakika boyunca karıştırılmış ve karışım suyunun 4'te 3 ü eklenip 2 dakika daha karıştırılmıştır. Ardından çimento ve varsa mineral katkı eklenip 1 dakika daha karıştırılmıştır. Son olarak akışkanlaştırıcı ve gerekli ise viskozite düzenleyici katkı eklenip 3 dakika boyunca karıştırılmıştır.

3.4 Beton Deneyleri

3.4.1 Taze beton deneyleri

Beton üretiminden hemen sonra taze birim ağırlık ve yayılma deneyi yapılmıştır.

3.4.1.1 Yayılma deneyi

TS EN 12350-8: Slump-flow test for self-compacting concrete (flow diameter test) standartına uygun olarak yapılmıştır [35].

3.4.1.2 Taze birim ağırlık

Üretimden hemen sonra taze haldeki beton hacmi bilenen bir kaba alınıp üstü düzeltilip ağırlığı alınmıştır. Ağırlık hacme bölünüp birim ağırlık elde edilmiştir.

3.4.2 Sertleşmiş beton deneyleri

3.4.2.1 Basınç dayanımı deneyi

Betonun en önemli özelliği olan basınç karşısında gösterdiği performansı belirlemek için yapılan deneydir [36]. Betonun üzerine gelen taşıya bileceği maksimum basınç dayanımını ifade etmektedir. TS EN 12390-3 (2010) standardına göre test edilmiştir. Her beton grubundan 3'er adet 7X7X7 cm boyutlarında küp numune kullanılmıştır.

3.4.2.2 Kılcal su emme

Betonun kılcal boşlukları geçirimsizlik açısından önem teşkil etmektedir. Suyun kılcallık ile beton içerisine taşınmasını modelize eden bu deney TS EN 480-5' e göre yapılmıştır [37,38]. 100 mm çapında ve 100 mm yüksekliğinde silindir numuneler kullanılmıştır. Etüv kurusu haline getirilen numunelerin suyla temas edecekleri taban alanına dik olan yan yüzleri su geçirimini engelleyecek şekilde 2-3 cm yüksekliğinde kaplanmalıdır. Uygulama kolaylığı açısından parafin kullanmak su geçirimini engelleyecektir. Numunelerin başlangıç ve belli aralıklarla su emdikten sonraki ağırlıkları alınıp denklem 3.1'den faydalanılarak kılcallık katsayısı hesaplanmıştır.

$$q^2 = k.t \quad (3.1)$$

Denklemde q birim alanda emilen su miktarı (cm^3/cm^2) ve t süreyi (dakika) göstermektedir.

3.4.2.3 Basınç altında su geçirimsizliği

TS EN 12390-8 (2002)'den faydalanılarak sertleşmiş betonun basınç altında su geçirimsizliği tespit edilmek için kullanılmıştır [39]. Etüv kurusu haline getirilen 100 mm çapında ve 100 mm yüksekliğinde numuneler 72 saat boyunca 5 bar su basıncına maruz bırakılmıştır. 72 saat sonunda numuneler yarılarak su işleme yüksekliği ölçülmüştür.

3.4.2.4 Vakumlu su emme deneyi

Sertleşmiş betonun boşluk miktarını ölçmek için kullanılan yöntemlerden biri de vakumlu su emme deneyidir [40,41]. 100 mm çapında 5 mm yüksekliğindeki numuneler önce 2 saat boyunca 105 °C derecedeki etüvde bekletilmiştir. Daha sonra 3 saat boyunca hava vakumu uygulana numuneler ağırlıkları alınıp 48 saat boyunca su içerisinde bekletilmiştir. Su emmiş ağırlığı alınıp ilk ağırlığına göre yüzde emdiği su miktarı hesaplanmıştır.

3.4.2.5 Donma-çözünme deneyi

Soğuk iklimlerde donma-çözünme hasarına maruz kalacak betonlar için önemli bir parametre olan donma-çözünme dayanımı literatürde farklı deney yöntemleri ile incelenmiştir. Bu çalışmada hem donma çözünme etkisini hem de buz çözücü tuzların etkisini modelize etmek için 7x7x7 cm boyutlarındaki küp numuneler 24 saatlik çevrimler yapılacak şekilde %2'lik NaCl çözeltisinde bekletilmiştir [29,42]. Sıcaklık 24 saat boyunca -18 °C derecede, 24 saat boyunca da laboratuvar şartları altında 24 °C derecede bekletilmiştir. Deney süresince aralıklı olarak numunelerin ağırlık ve basınç dayanımları ölçülmüştür.

3.4.2.6 Karbonatlaşma deneyi

Karbonatlaşma beton içerisindeki çelik donatıların korozyonu açısından önemli bir parametredir. Karbonatlaşmanın derinliği TS EN 14630 (2012)' den faydalanılarak ölçülmüştür [43]. 15x15x15 cm boyutundaki küp numuneler 12 ay boyunca atmosfer şartlarında bekletilmiştir. Daha sonra numuneler yüzeyden iki eksende kesilerek

fenolftaleyn çözeltisi sürülmüştür. Dış yüzeyden beton içerisinde oluşan pembe renge kadar olan uzunluk ölçülüp karbonatlaşma derinliği ölçülmüştür.

3.4.2.7 Magnezyum sülfat deneyi

Agregalar için magnezyum sülfat deneyi standarttı olan TS EN 1367-2' den faydalanılarak yapılmıştır [44,45]. $MgSO_3$ tuzunun kristalizasyon etkisiyle betona verdiği hasar tespit edilmeye çalışılmıştır. Sulu çözelti halinde bulunan $MgSO_3$ çözeltisinde bekletilen numunelerin içerisine $MgSO_3$ taşınması sağlanmış ve etüvde kurutma yoluyla $MgSO_3$ 'ın kristalize olup hacim artışı nedeniyle betona hasar vermesi sağlanmıştır.

Deney için 7x7x15 cm'lik prizma numuneler hazırlanmıştır. Numuneler etüv kurusu haline getirilip %20'lik $MgSO_3$ çözeltisinde 7 saat bekletildikten sonra 18 saat boyunca 70 °C derece etüvde tutulmuştur. Böylece 24 saat süreli bir çevrim yapılmıştır. Her 5 çevrimde bir ultra ses geçiş süresi ve numune ağırlıkları ölçülmüştür. Ayrıca çözelti her çevrimde bir yenilenmiştir.

3.4.2.8 Hızlı klorür iyonu geçirimsizliği

Hem beton içerisindeki boşlukların tayini hem de beton donatısı için zararlı olan klorür iyonlarının beton içerisine penetrasyonun ölçmek amacıyla yapılmıştır. Deneyde ASTM C1202-18 standardından faydalanılmıştır [46].

Deney için 100 mm çapında ve 50 mm yüksekliğindeki silindir numuneler kullanılmıştır. Silindir numunelerin yan yüzeyleri poliüretan mastik ile kapatılıp geçirimsiz hale getirilmiştir. Kaplama yapılan numunelere 2 saat boyunca hava vakumu uygulanmıştır. Daha sonra vakum kabına su eklenerek 3 saat boyunca numunelere vakum altında su emdirilmiştir. Vakum işlemlerinden sonra numuneler deney hücrelerinin arasına bağlanmış ve herhangi bir çözelti sızıntısı olmayacak şekilde silikon ile izole edilmiştir. Daha sonra hücrelerden birisine NaCl (kütlece %3) ve diğerine ise NaOH (0,3 N) çözeltisi konulmuştur. İki hücreye de yerleştirilen elektrotlar sayesinde hücrelere 60 V' lik bir gerilim uygulanmıştır. Bu işlem 6 saat boyunca devam ederken her 30 dakikada sistemden geçen akım okunmuştur.

Deney sonunda ise gecen akım (A) ve süre (dakika) grafiği çizilip grafiğin altında kalan alan hesaplanıp Coloumb değeri hesaplanmıştır.

3.4.2.9 Elektriksel özdirenç

Betonun geçirimlilik, klorür iyonuna direnci ve korozyona karşı direnci gibi konularda bilgi sahibi amacıyla yapılan bir deneydir [47]. Özdirencin artması betonun iç yapısının iyileşmesin ve boşluk yapısının azalmasının bir göstergesidir [30]. Dolayısıyla özdirenç arttıkça, klor geçirimliliği azalmaktadır. Wenner hesap yöntemi esas alınarak hesaplanır. Deney aleti 4 adet eşit aralıklarla dizilmiş elektrot yardımıyla yüzeysel elektriksel öz direnci ölçer. Bu elektrotlardan dıştan iki tanesi akım verir; içten 2 tanesi de oluşan gerilimi ölçer. Denklem 3.2 kullanılarak hesap yapılır.

$$\rho=2.\pi.a.R \quad (3.2)$$

Burada ρ elektriksel öz direnç (ohm.m), a elektrotlar arası mesafe (m) ve R ise ölçülen direnci (ohm) göstermektedir.

Deney için kullanılan numuneler 24 saat boyunca su da bekletilmiş ve 4 ayrı yüzeyden, her yüzeyden ikişer okuma olmak üzere toplam 8 okuma alınmıştır.



4. DENEY SONUÇLARI VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde üretilen beton gruplarına yapılan taze ve sertleşmiş beton deneylerinin sonuçları verilmiştir. Sonuçlara göre ise betonun dayanıklılığı ile ilgili çıkarımlarda bulunulmuştur.

4.1 Taze Beton Deneyleri

4.1.1 Yayılma deneyi sonuçları

Üretilen KYB'lerin yayılma değerleri ve süreleri tablo 4.1 ve tablo 4.2' de verilmiştir.

Uçucu küllü karışımlarda T50'ye varma sürelerinde bir değişiklik olmamıştır. 350 kg/dm³ çimentoya ek olarak eklenen 36 dm³ uçucu kül ilavesinde toplam yayılma değişmemiş ve her iki grupta EFNARC'a göre SF2 sınıfında kalmaktadır [48]. Ancak 72 dm³ uçucu kül eklenmesinde SF2 sınıfı değişmemiş, yayılma miktarı artmıştır [48]. 108 dm³ uçucu kül eklenmesinde ise hem yayılma miktarı artmış hem de SF3 sınıfına çıkmıştır [48].

Çizelge 4.1:Uçucu kül içeren karışımların yayılma deneyi sonuçları.

Numune Kodu	T50 (s)	Toplam Yayılma (cm)	Toplam Yayılma (s)
350-0-16	2	72	16
350-36-UK-16	2	72	26
350-72-UK-16	2	73	13
350-108-UK-16	2	82	40

Kalker tozlu üretimlerde kalker tozu ilavesi ile yayılma değerlerinde artış görülürken T50 değerine ulaşma süresi artmıştır. 100 ve 200 kg/dm³ kalker tozu ilavesinde yayılma sınırı değişmemiş ve SF2 sınıfında kalmıştır. Ancak 300 kg/dm³ ilavesinde bir üst sınıf olan SF2 sınıfına çıkmıştır.

Şekil 4.1 ve şekil 4.2 de yapılan yayılma deneyleri ölçümleri verilmiştir. Şekil 4.1’de soldan sağa doğru 350-0, 350-36, 350-72 ve 350-108 kodlu uçucu küllü karışımlar gösterilmiştir.

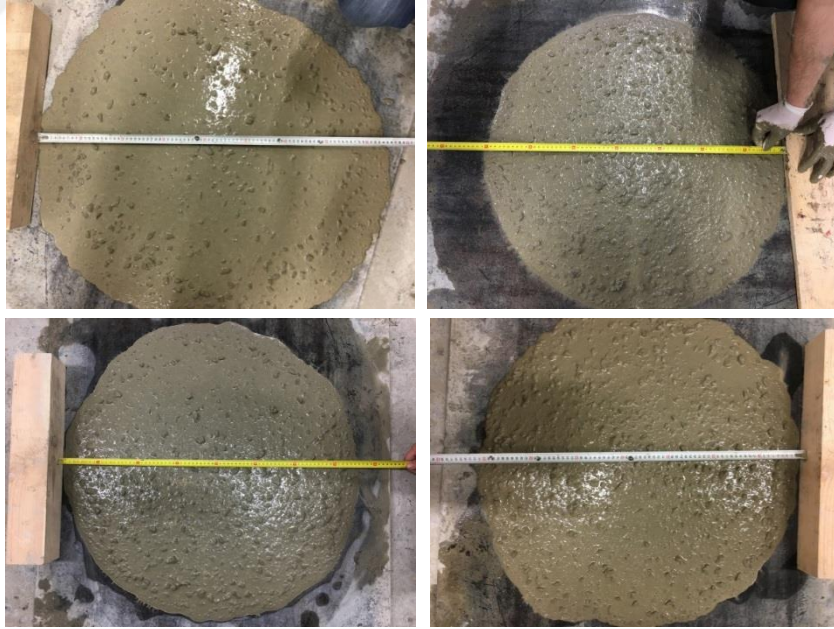
Şekil 4.2’de ise soldan sağa doğru doğru 350-0, 350-36, 350-72 ve 350-108 kodlu kalker tozlu karışımlar gösterilmiştir.

Çizelge 4.2: Kalker tozlu karışımların yayılma deneyi sonuçları.

Numune Kodu	T50 (s)	Toplam Yayılma (cm)	Toplam Yayılma (s)
350-0-16	2	72	16
350-36-KT-16	2	71	39
350-72-KT-16	3	75	37
350-108-KT-16	3	87	60



Şekil 4.1:Uçucu küllü karışımların yayılma deneyi (soldan sağa doğru doğru 350-0, 350-36, 350-72 ve 350-108).



Şekil 4.2: Kalker tozu içeren karışımların yayılma deneyleri (soldan sağa doğru 350-0, 350-36, 350-72 ve 350-108).

4.1.2 Taze birim ağırlık

Üretimden hemen sonra taze haldeki betonun birim ağırlıkları tablo 4.3'te verilmiştir.

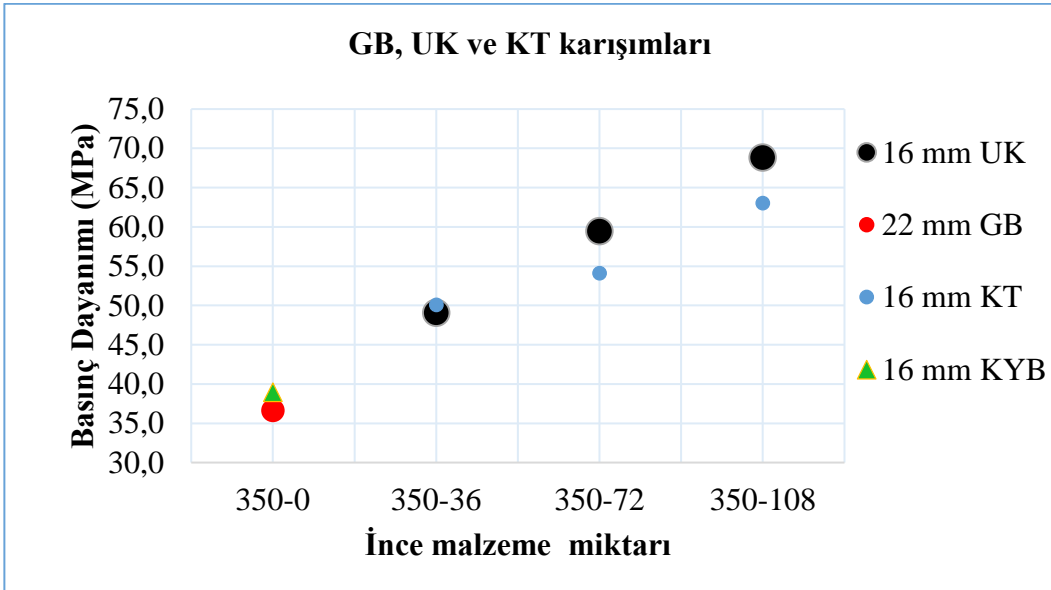
Çizelge 4.3: beton gruplarının taze birim ağırlıkları.

Numune kodu	Birim ağırlık (gr/dm ³)
350-0-16	2,35
350-36-UK-16	2,35
350-72-UK-16	2,33
350-108-UK-16	2,33
350-36-KT-16	2,42
350-72-KT-16	2,41
350-108-KT-16	2,41
350-0-22	2,39

4.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri

4.2.1 Basınç dayanımı

Beton gruplarının basınç dayanımı ortalamaları aşağıda verilmiştir (Şekil 4.3).



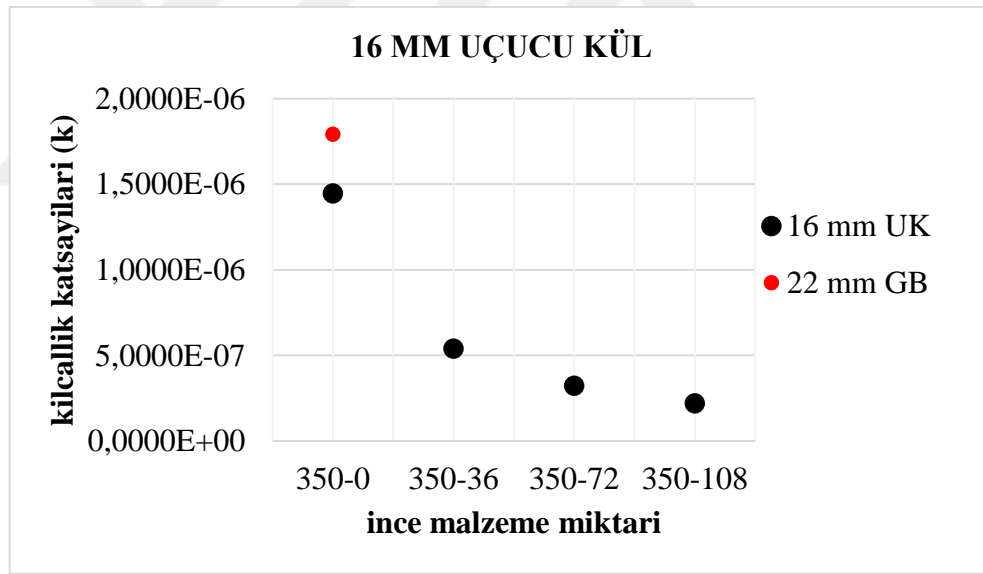
Şekil 4.3: Basınç dayanımı ortalamaları.

GB ve referans KYB gruplarının basınç dayanımlarının birbirlerine yakın değerler verdiği belirlenmiştir. Referans KYB grubunun GB grubuna göre bir miktar daha yüksek sonuç vermesi, yerleşmeden dolayı ortaya çıkabilecek boşlukların azalması ile açıklanabilir.

Artan mineral katkı oranının betonun basınç dayanımını arttırdığı belirlenmiştir. Uçucu kül ve kalker tozu katkısı kendi aralarında karşılaştırıldığında ise uçucu külün kalker tozuna göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

4.2.2 Kılcal su emme

Üretilen beton gruplarının kılcal su emme katsayıları aşağıda verilmiştir (şekil 4.3 ve şekil 4.4).

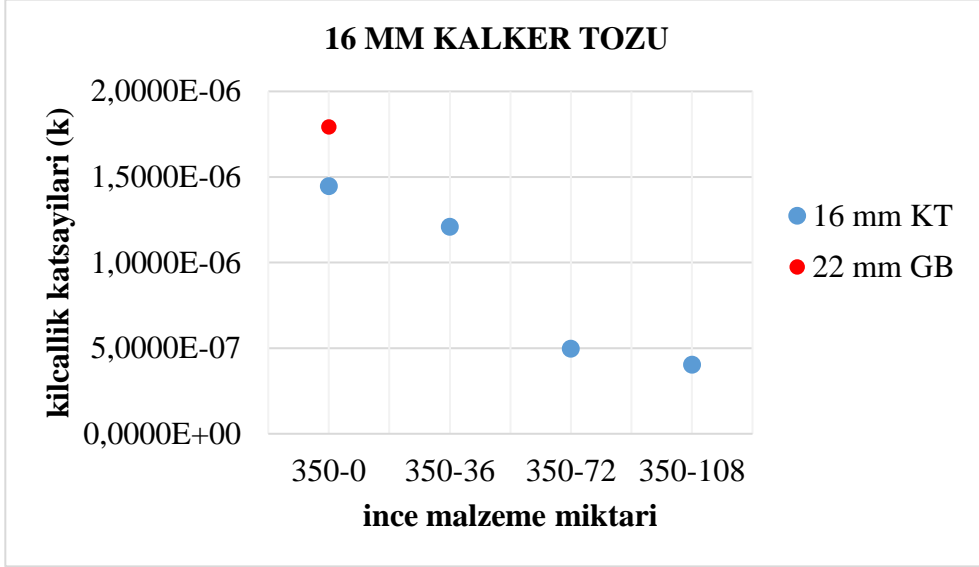


Şekil 4.4: Uçucu küllü karışımların kılcal su emme kat sayıları.

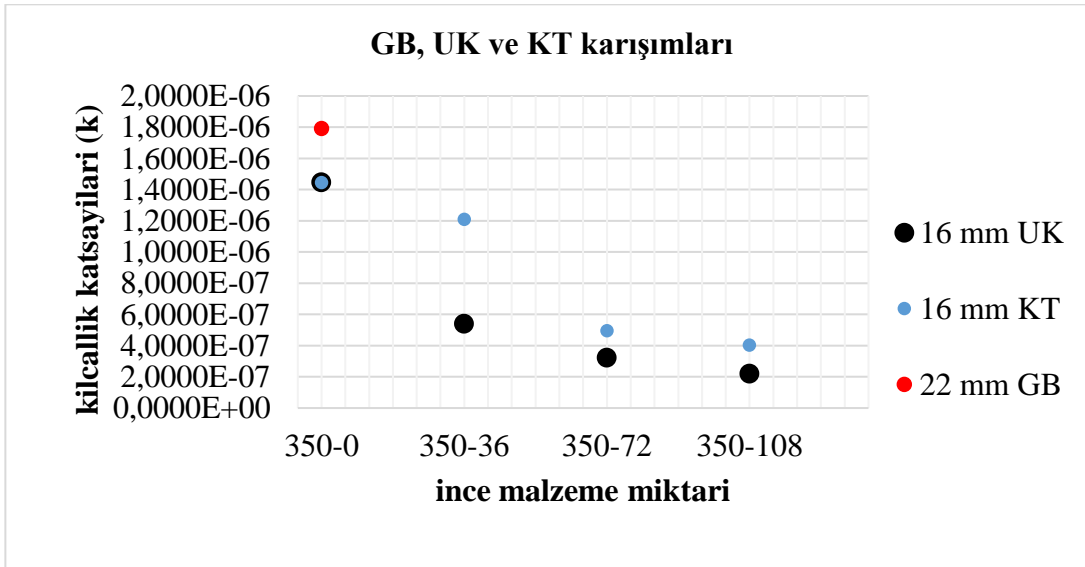
Uçucu küllü karışımlarda uçucu kül miktarı arttıkça kılcallık katsayısında azalma görülmüştür. Bu durumu uçucu külün puzolanik ve filler etkisiyle açıklayabiliriz. Çimento hidrasyonu sonrası açığa çıkan serbest kireci bağlayan uçucu kül, aynı zamanda filler etkisiyle de kılcal boşlukları doldurduğunu söyleyebiliriz.

Kalker tozlu karışımlarda da uçucu küle benzer şekilde kalker tozu miktarı arttıkça kılcallık katsayısında azalma görülmüştür. Bu da kalker tozunun filler özelliği sayesinde kılcal boşlukları doldurduğunu göstermektedir.

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi kalker tozlu ve uçucu küllü karışımlar aynı grafikte karşılaştırıldığında, kılcallık katsayılarının aynı hacimde mineral katkı kullanımında uçucu küllü karışımlarda daha düşük olduğu görülmektedir. Bu farkın sebebi uçucu külün puzolaznik ve filler etkisine aynı anda sahip olması, ama kalker tozunda sadece filler etkisi olması ile açıklanabilir. 22 mm geleneksel betonun kılcallık katsayısı ise diğer gruplara göre beklendiği gibi daha yüksek değer vermiştir.



Şekil 4.5: Kalker tozlu karışımların kılcal su emme kat sayıları.

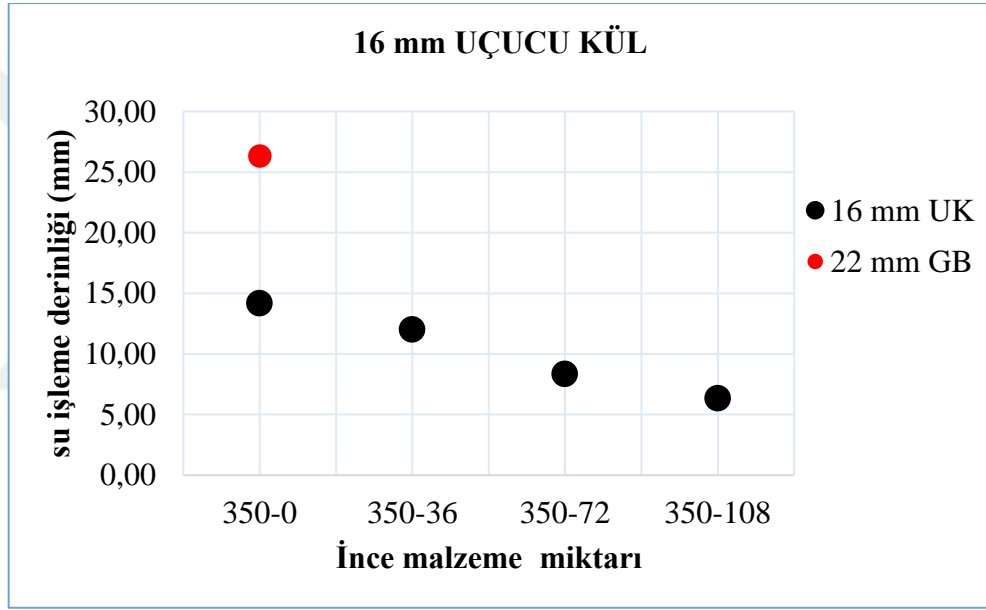


Şekil 4.6: Referans betonları ve UK, KT gruplarının kılcallık kat sayıları.

4.2.3 Basınç altında su geçirirliği

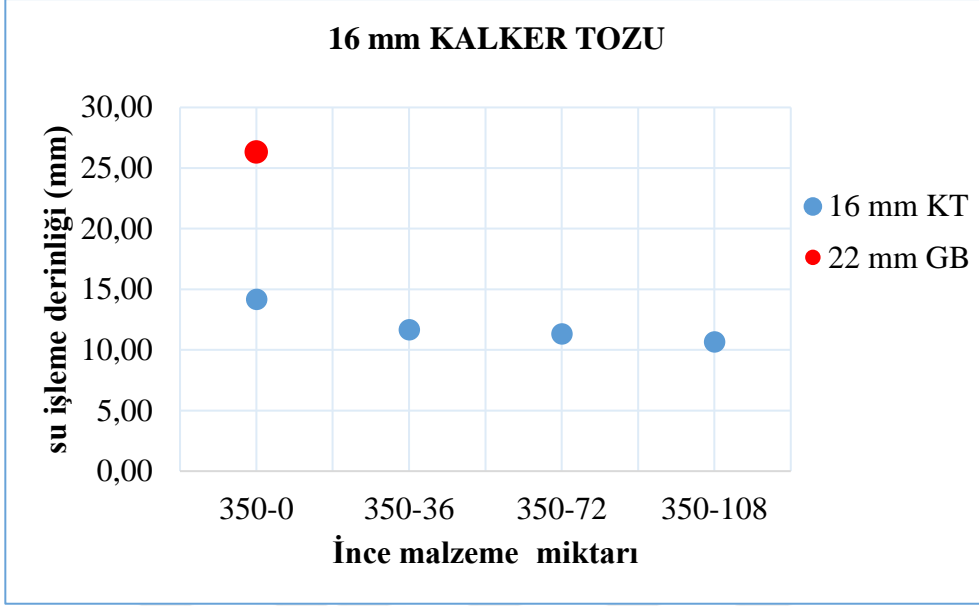
Beton içerisindeki boşlukları tayin etmek için kullanılan bu deneyde bulunan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

şekil 4.6’ da görüldüğü gibi uçucu kül kullanımını arttıka, beton içerisine basınç altında ilerleyen su yüksekliği de giderek azalmıştır. Özellikle geleneksel betonla karşılaştırıldığında uçucu kül kullanılmayan KYB’ den başlayarak ciddi su işleme yüksekliği farkları görülmektedir.



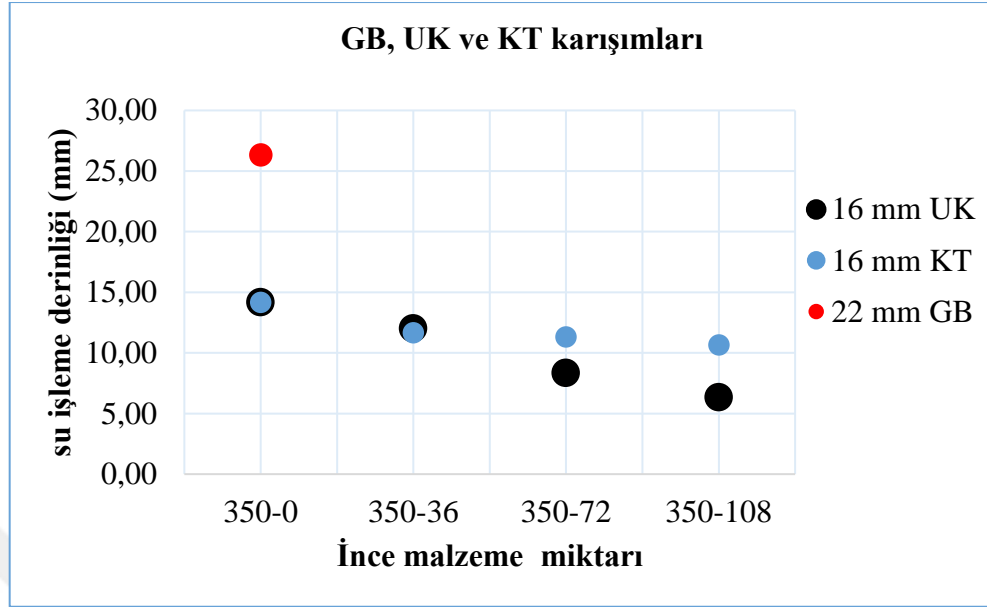
şekil 4.7: Uçucu küllü karşımların basınçlı su geirirliği sonuçları

Kalker tozlu karşımlarda geleneksel betona göre ciddi bir fark olmasına rağmen, KYB’lerin kendi arasında önemli bir fark görülmese de artan kalker tozu oranıyla basınçlı su geçirim yüksekliği bir miktar azalmıştır (şekil 4.7).



Şekil 4.8: Kalker tozlu karışımların basınçlı su geçirimsizliği sonuçları.

Bütün grupları aynı anda değerlendirirsek geleneksel betonun en yüksek basınçlı su geçirim yüksekliğine sahip olduğunu şekil 4.8’ den rahatlıkla görebiliriz. KYB’lerde mineral katkı kullanımının su yüksekliğini oldukça düşürdüğü grafikten görülebilir. Uçucu kül kullanımının kalker tozuna göre su yüksekliğini daha iyi azalttığı gözlenmiştir. Bu durum yine uçucu külün puzolanik özelliği ile açıklanabilir.



Şekil 4.9: Geleneksel beton, UK ve KT gruplarının basınçlı su geçirimsizlikleri.

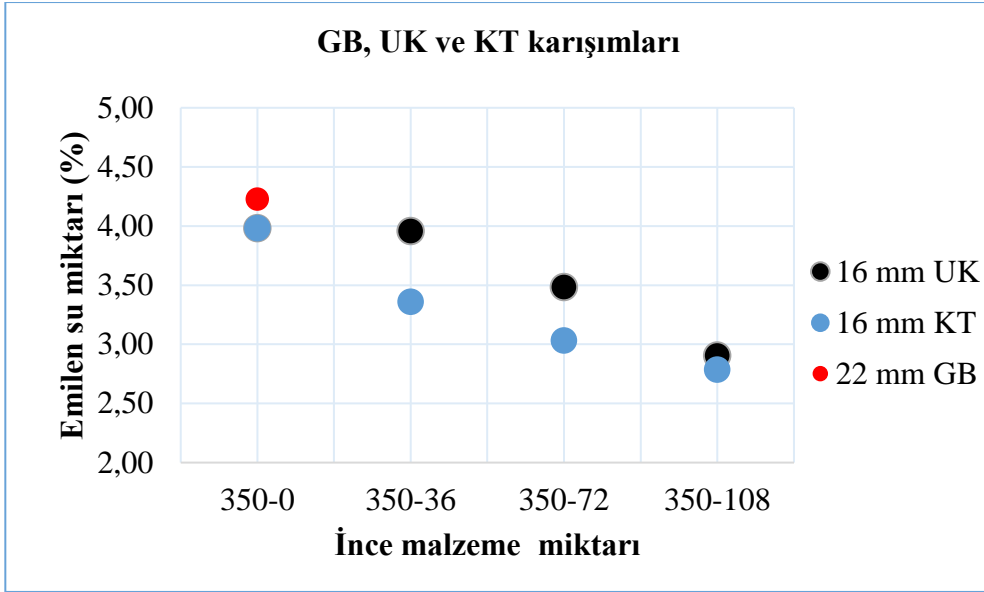
4.2.4 Vakumlu su emme deneyi

Tüm beton grupları incelendiğinde yüzdece vakumlu su emme değeri beklendiği gibi 22 mm agregayla üretilen geleneksel beton yüzdece vakumlu su emme değeri açısından diğer beton gruplarından daha fazla su emmiştir. Bu yerleştirmeden dolayı olan boşluklara bağlanabilir (şekil 4.9).

Uçucu küllü karışımlarda; sadece 350 kg/dm³ çimento ile üretilen KYB'ler ile 350 kg/dm³ çimentoya ek olarak eklenen 82 kg/dm³ beton grupları arasında kayda değer bir değişim gözlenmemiştir. Ancak 164 ve 246 kg/dm³ eklemelerde su emme oranı azalmıştır (şekil 4.9).

Kalker tozlu üretimlerde çimentoya eklenen 100, 200 ve 300 kg/dm³ kalker tozu miktarlarında su emmenin giderek azaldığı görülmüştür (şekil 4.9).

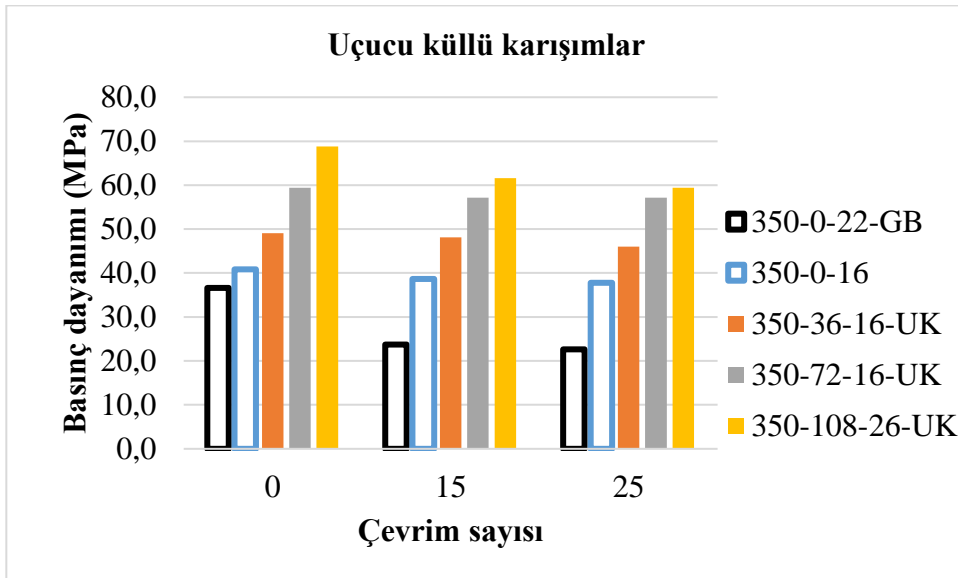
Sonuçları yukarıda verilen ilk iki deneye göre gözlenen farklılık ise genel olarak UK'lı karışımların KT'li olanlara göre daha fazla su emmesi olmuştur (şekil 4.9).



Şekil 4.10: Geleneksel beton, UK ve KT gruplarının vakumlu su emme yüzdeleri.

4.2.5 Donma çözünme deneyi

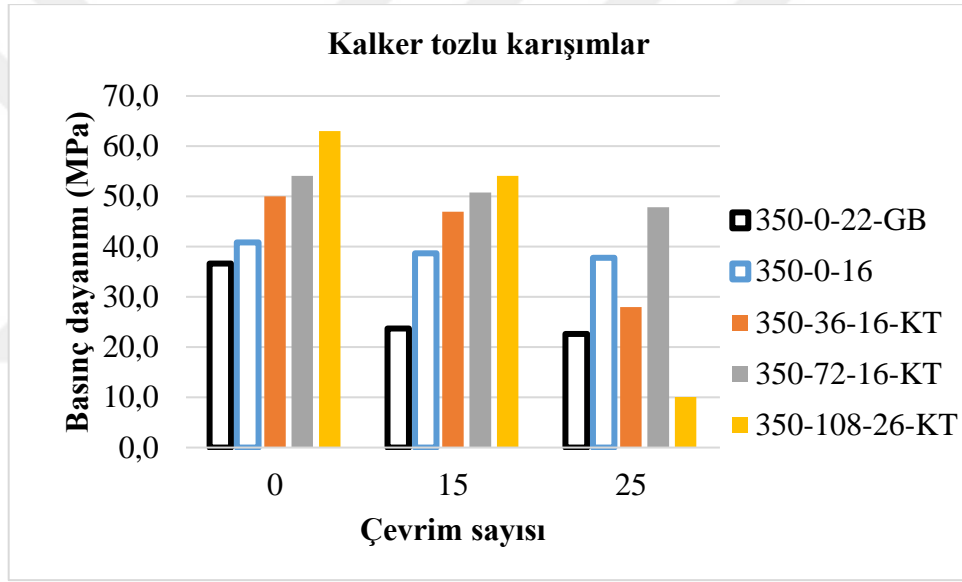
Uçucu kül kullanılan karışımlarda çevrimlerden elde edilen basınç dayanımları şekil 4.10'da verilmiştir. Donma-çözünme etkisine maruz kalmamış değerlerde UK miktarı



Şekil 4.11: Donma çözünme etkisinde basınç dayanımları.

arttıkça basınç dayanımının arttığı görülmektedir. Çevrim sayısının artması ise dayanımları başlangıçtaki sıralamaya uygun şekilde bir miktar her grup için azaldığı görülmektedir. Yüzdesel olarak azalmalar şekil 4.12’de verilmiştir.

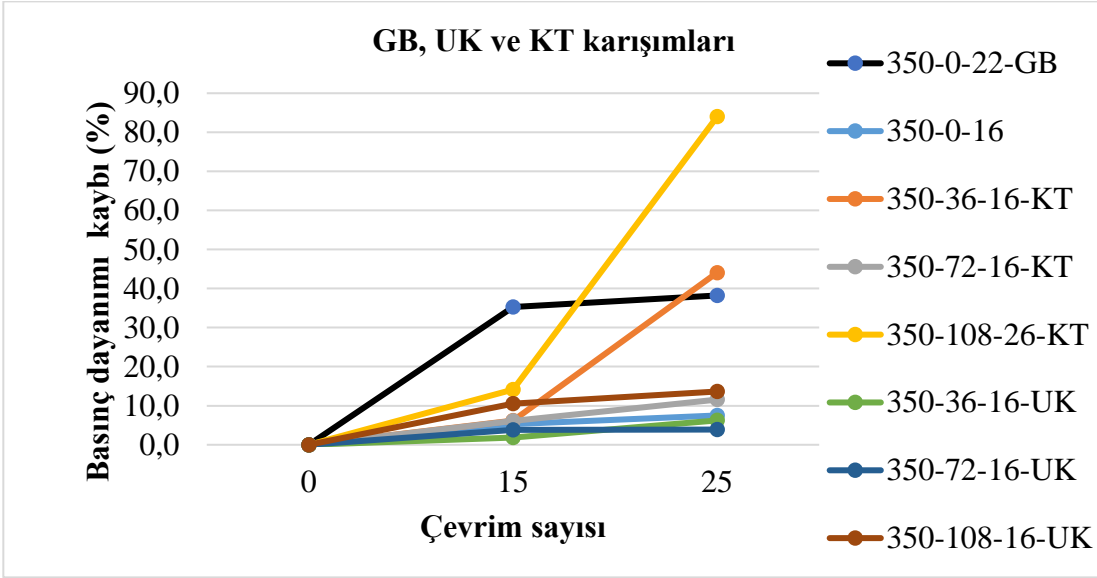
Kalker tozlu karışımlarda ise yine donma-çözünme etkisine maruz kalmamış numunelere bakıldığında kalker tozu kullanımı basınç dayanımı arttırmıştır (şekil 4.11). 15. çevrim dayanımları çevrim yapılmamış dayanımlara paralelken 25. Çevrimde 36 ve 72 dm³ kalker tozu kullanılan gruplarda diğer gruplara göre ciddi düşüş gözlenmiştir.



Şekil 4.12: Donma çözünme etkisinde basınç dayanımları.

Tüm grupların kendi arasında karşılaştırıldığında yüzde en fazla dayanım kaybının 108 dm³ kalker tozu eklenen grupta olduğu görülmektedir. Daha sonra 22 mm agregalı geleneksel beton ve 36 dm³ kalker tozu eklenen betonun yüksek yüzdelere sahip olduğu görülmektedir. Burada kalker tozu eklenen gruplar arasında bir bağıntı kurmanın zor olduğu görülmektedir. 0, 36, 72 ve 108 dm³’e doğru artan kalker tozu ilavesi önce dayanım kaybı yüzdesini 36 dm³ için ciddi bir artış göstermiş, 72 dm³ için kalker tozu katılmamış gruba yakın bir değer vermiştir. 108 dm³ kalker tozu ilavesi kütle kaybı yüzdesini en yüksek değer olan %80 mertebelerine çekmiştir (şekil 4.12).

Diğer beton grupları incelendiğinde ise bu grupların dayanım kayıplarının %15'i geçmediği görülmüştür. Özellikle uçucu kül gruplarının %10'luk dayanım kaybını geçemedikleri şekil 4.12'den görülmektedir. Geleneksel betonda ise 15. çevrime kadar yüksek oranda bir kütle kaybı varken 15 ve 25. Çevrim arasında kayda değer bir fark yoktur.



Şekil 4.13: Yüzdece basınç dayanım kayıpları.

Donma çözünme etkisi altındaki kütle kaybı yüzdelerine bakılacak olursa, yüzdece basınç dayanımı kaybına paralel bir gidişat görülmektedir. Yüzdece en fazla kayıp yine 108 dm³ kalker tozu kullanılan grupta olduğu görülmektedir (şekil 4.13). İkinci olarak en yüksek kütle kaybı değeri 36 dm³ kalker tozu eklenen grupta görülmüştür. Geleneksel beton grubu ise basınç dayanımı kaybı yüzdesine göre çok daha az miktarda kütle kaybı yüzdesine sahiptir.

Diğer grup betonların kütle kaybı yüzdeleri ise %1 seviyelerinde kalmıştır. Özellikle uçucu kül grupların %0,5 seviyelerinde kalmışlardır.

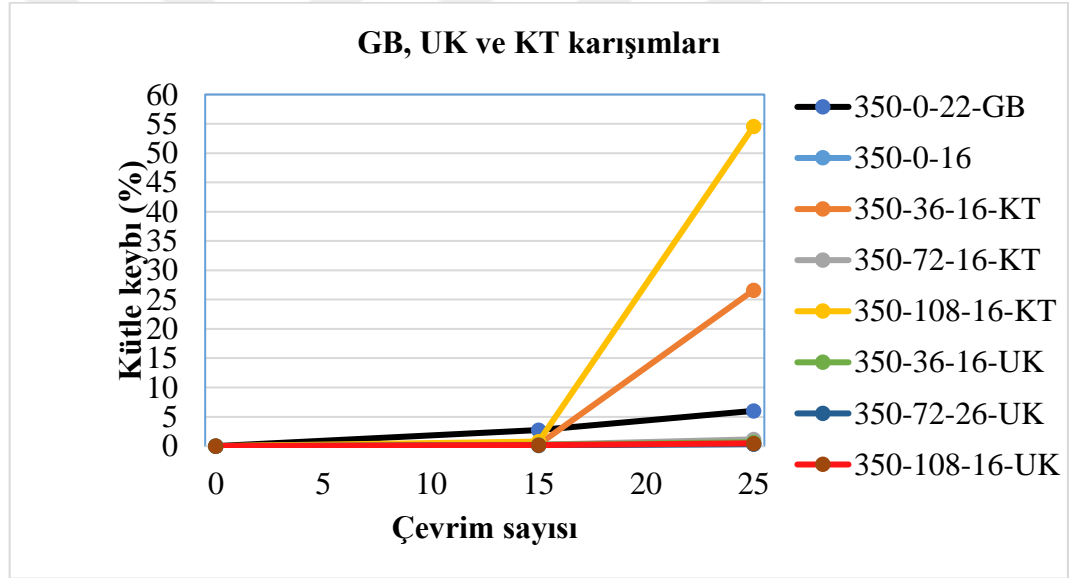
4.2.6 Karbonatlaşma Deneyi

Karbonatlaşma derinliklerinden hesaplanan karbonatlaşma katsayıları (KKS) incelediğinde 22 mm agregalı geleneksel beton ve 16 mm agregalı mineral katkı

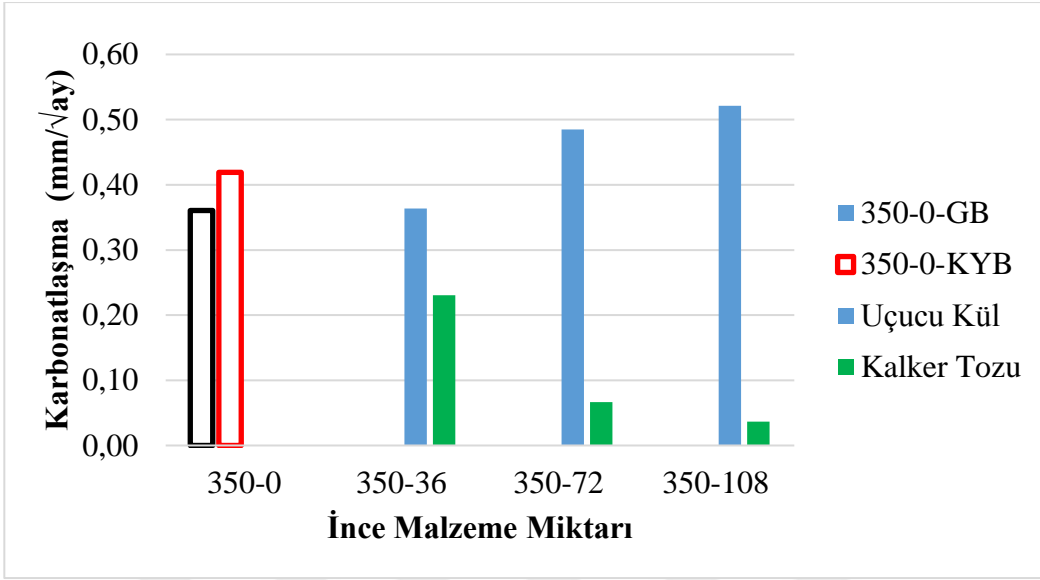
içermeyen KYB arasında dikkate değer bir fark olmamasına rağmen geleneksel betonun karbonatlaşmasının daha az olduğu görülmektedir (şekil 4.14).

Uçucu küllü karışımlarda ise uçucu kül miktarı arttıkça karbonatlaşma derinliğinin de arttığı gözlenmiştir. 36 dm³ UK ilavesinde referans betonlarına göre daha az olan KKS, 72 ve 108 dm³ ilavelerde artarak büyümüştür.

Kalker tozlu karışımlarda ise şekil 4.14' de de görüldüğü gibi kalker tozu ilavesinin KKS'yi azalttığı görülmüştür. 36 dm³'lük ilaveden itibaren eklenen kalker tozu hacmi KKS'yi yaklaşık olarak yarı yarıya azaltmıştır.



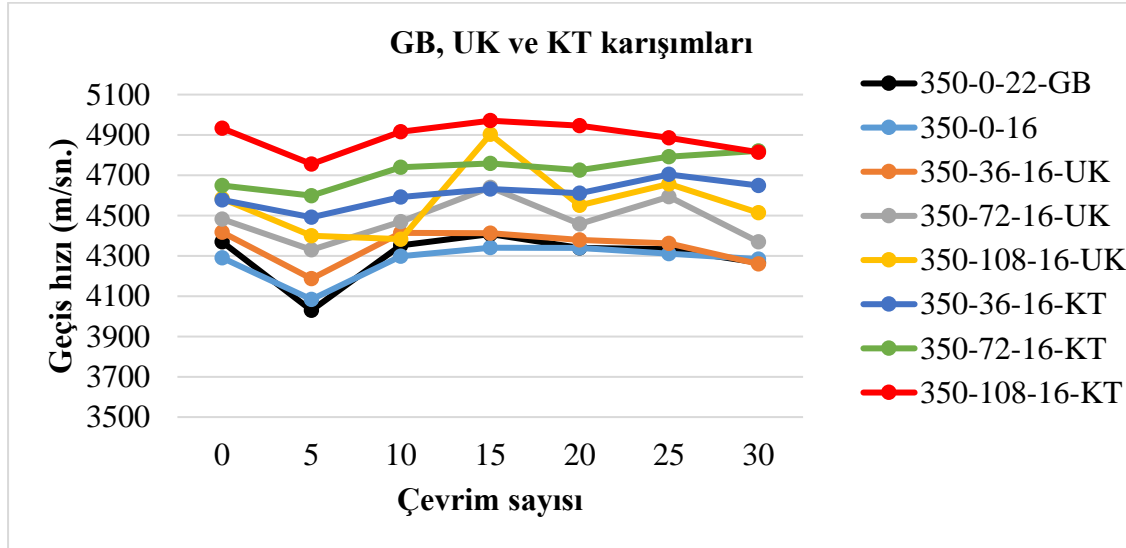
Şekil 4.14: Kütle kaybı yüzdeleri.



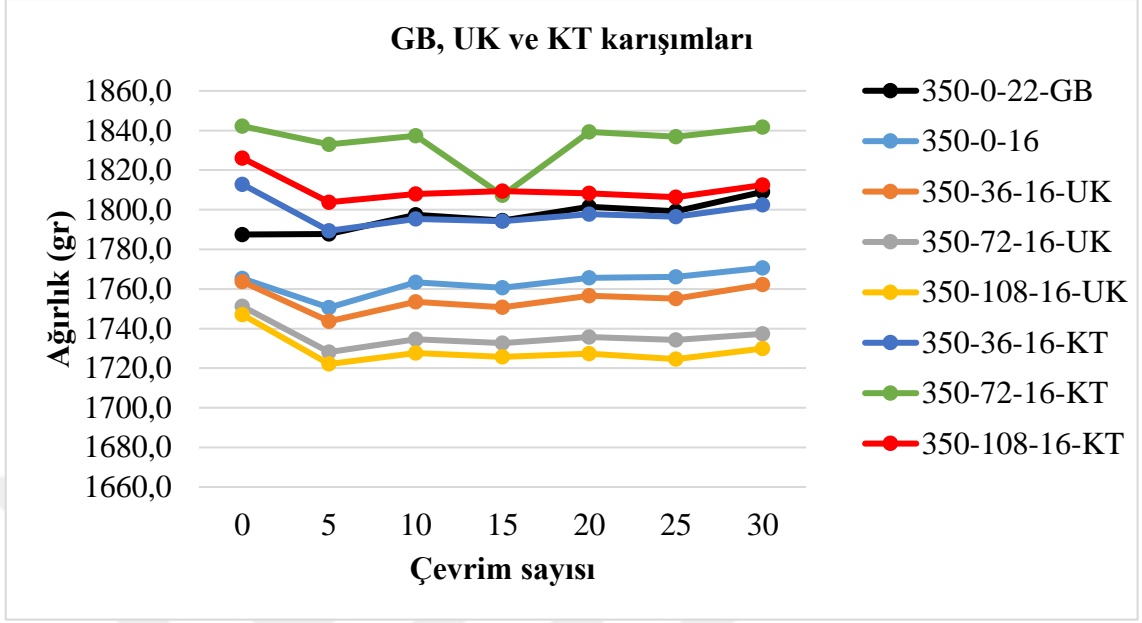
Şekil 4.15: Karbonatlaşma katsayıları.

4.2.7 Magnezyum sülfat deneyi

30 günlük çevrimden sonra beton grupları üzerinde yapılan ultra ses geçiş hızları ve numune ağırlıkları aşağıda verilmiştir (şekil 4.15 ve şekil 4.16).



Şekil 4.16: Ultra ses geçiş hızları.



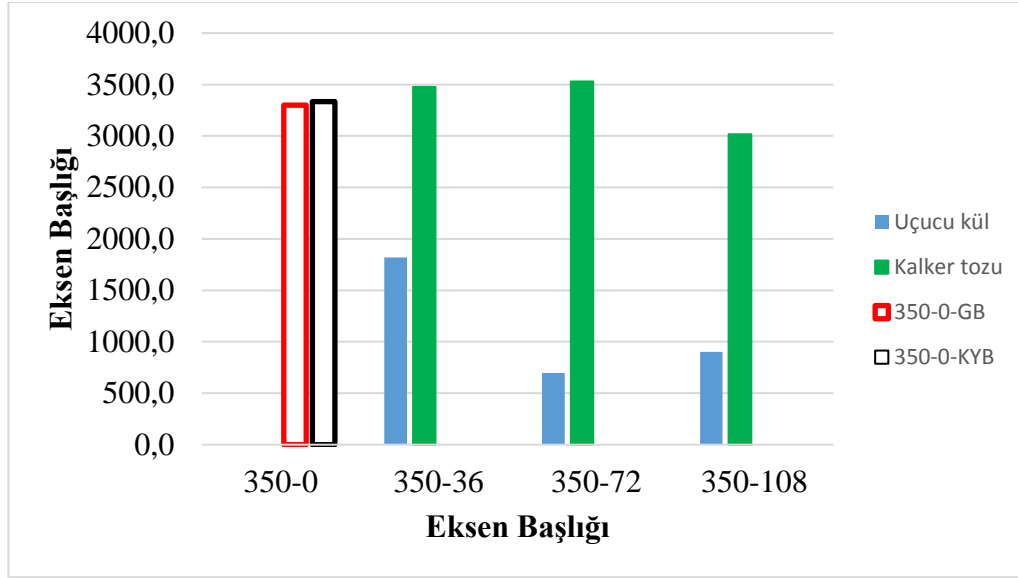
Şekil 4.17:Çevrimlere göre numune ağırlıkları.

Beton gruplarının ultra ses geçiş hızlarına bakıldığında kayda değer bir değişim görülmemiştir (şekil 4.15). Beklendiği gibi geleneksel beton ve mineral katkı içermeyen KYB en düşük ultra ses geçiş hızlarına sahiptirler. Uçucu küllü ve kalker tozlu numunelere kendi aralarında bakıldığında ise mineral katkı miktarı arttığında ultra ses geçiş hızının arttığı gözlenmiştir. Genel ortalamalara bakılırsa aynı hacimdeki mineral katkılı üretimlerde kalker tozlu gruplar uçucu küllü üretimlere göre daha yüksek ultrases geçiş hızları vermiştir.

30 günlük çevrim süresince ölçülen ağırlık değerlerine bakıldığında ise hiçbir beton grubunda kayda değer bir değişim gözlenmemiştir (şekil 4.16).

4.2.8 Hızlı klorür iyonu geçirimsizliği

6 saatlik toplam deney süresince numuneden geçen akımlar toplanıp şekil 4.17' de gösterilen Coulomb değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.18: Klorür iyonu geçirimsizliğine göre Coulomb değerleri.

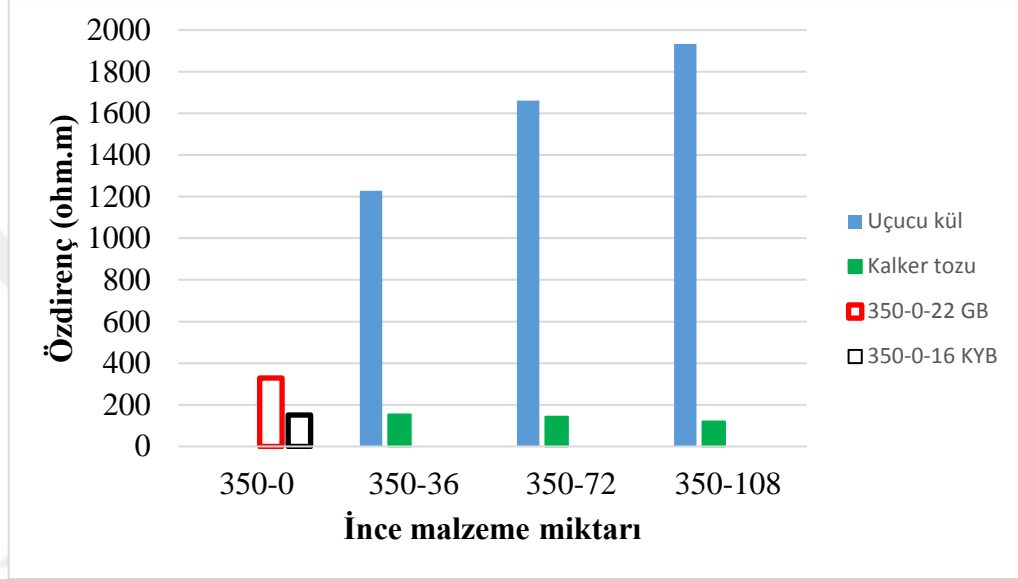
Referans grupları olarak üretilen 350-0-16 KYB ve 350-0-GB gruplarının değerlerinin birbirine yakın ve 3300 değerlerinde kaldığı görülmektedir. Bu değerler ile hızlı klorür iyonu geçirimsizlik sınıfı olarak “orta” (moderate) sınıfında kaldıkları görülmektedir.

Kalker tozu kullanılarak üretilen gruplarda ise 36 ve 72 dm³ kalker tozu ilavesi Coulomb değerini 3500 seviyesine çıkarmıştır ama geçirimsizlik sınıfı değişmemiştir. Ancak 108 dm³ kalker tozu ilavesinde Coulomb değeri 3000 seviyesine inmiştir ve yine geçirimsizlik sınıfı değişmemiştir. Bu sonuçlara göre kalker tozu ilavesinin klorür iyonlarına karşı betonun direncinde kayda değer bir iyileştirme yapmadığı görülmüştür.

Uçucu kül kullanımı ise kalker tozuna göre betonun klorür iyonu geçirimsizliğine önemli derecede iyileştirmelerde bulunmuştur. 36 dm³ uçucu kül kullanımı Coulomb değerini 1800 seviyelerine indirmiş ve hızlı klorür iyonu geçirimsizlik sınıfı olarak “düşük” (low) sınıfında kalmıştır. 108 dm³ uçucu kül ilavesi ise klorür iyonu geçirimsizliğini daha da düşürerek 900 değerlerine inmiştir. Bu değerlerde hızlı klorür iyonu geçirimsizlik sınıfı olarak “çok düşük” (very low) sınıfına girmektedir. Bu sonuçlar göz önüne alınırsa uçucu kül kullanımı betonun hızlı klorür iyonun geçirimsizliğini kullanım miktarıyla doğru orantılı olarak arttırmaktadır.

4.2.9 Elektriksel özdirenç

Beton grupları üzerinde yapılan elektriksel özdirenç ölçümleri ortalamaları şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.19 Beton gruplarının ortalama elektriksel özdirenç değerleri

Geleneksel beton ve mineral katkı içermeyen KYB karşılaştırıldığında, KYB'nin özdirenç değerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Bu sonuç GB'de kullanılan en büyük agrega çapının 22 mm olması ile açıklanabilir.

Artan kalker tozu ilavesi referans betonlarına göre betonun öz direnç değerini düşürmüştür. Bu sonuçlar hızlı klor geçirimliliği deney sonuçları ile örtüşmektedir. Bu veriler doğrultusunda kalker tozunun betonun elektriksel özdirenç özelliklerine olumlu etkisinin olmadığını anlaşılmaktadır.

Uçucu kül kullanımı ise kalker tozunun aksine betonun özdirenç özelliklerini dikkate değer şekilde iyileştirmektedir. Artan uçucu kül ilavesi betonun özdirenç değerini arttırmıştır. Bu uçucu külün puzolanik özelliği sayesinde beton boşluklarını doldurması ile açıklanabilir.



5. SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmalardan aşağıdaki sonuçlara varılabilir:

1. Basınç dayanımı sonuçlarına bakıldığında, aynı su/çimento oranı için mineral katkıların geleneksel beton ve mineral katkı içermeyen kendiliğinden yerleşen betonlara göre daha yüksek değerler verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca kalker tozu ve uçucu kül kendi aralarında karşılaştırıldığında aynı su/ince malzeme oranında uçucu kül kalker tozuna göre daha iyi performans göstermiştir.
2. Kılcal su emme ve basınçlı su geçirimsizlik deneylerinin sonuçları incelendiğinde mineral katkıların betonun boşluklarını daha iyi doldurup dolayısı ile beton içerisinde olası yabancı madde taşınımını azalttığı gözlenmiştir. Kullanılan mineral katkı oranı arttıkça betonun geçirimsizliğinin azaldığı gözlenmiştir. Uçucu kül ve kalker tozlu gruplar kendi aralarında aynı su/ince malzeme oranına göre karşılaştırıldığında ise değerlerin birbirine yakın olduğu, uçucu küllü grupların bir miktar daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.
3. Vakumlu su emme deneyinin sonuçlarına göre yine artan mineral katkı kullanımının betonun geçirimsizlik özelliğini azalttığı görülmüştür. Vakumlu su emme yüzdelere bakıldığında kalker tozlu ve uçucu küllü grupların eşit su/ince malzeme oranında birbirlerine yakın değerler verdiği görülmüştür. Ancak basınçlı su geçirimsizlik ve kılcal su emme sonuçlarının aksine kalker tozlu karışımlar uçucu küllü karışımlardan daha iyi sonuç vermiştir.
4. Donma-çözünme etkisi altında uçucu kül kullanımının betonun basınç dayanımı ve kütle kaybı açısından performansını arttırdığı gözlenmiştir. Ancak kalker tozu kullanımı, donma çözünme etkisinde basınç dayanımı ve kütle kayıpları göz önüne alınırsa betonun performansında düşüş gözlenmiştir.

5. Artan uçucu kül kullanımı ile betonun karbonatlaşmaya göre dayanıklılığını azaltırken artan kalker tozu kullanımı ile artmıştır. Bu etki uçucu külün beton içerisindeki serbest Ca(OH) ' ları bağlayarak CO_2 moleküllerinin beton içerisine tepkimeye girmeden ilerlemesine izin vermesiyle açıklanabilir. Uçucu külün aksine artan kalker tozu kullanımı betonun karbonatlaşma dayanımını azalttığı görülmüştür.
6. Beton gruplarının MgSO_3 deneyi sonuçlarında tüm grupların ultra ses geçiş hızlarının birbirlerine çok yakın olduğu gözlenmiştir. Ancak mineral katkı kullanılan gruplarda ses geçiş hızlarının, GB ve mineral katkı içermeyen KYB'ye göre bir miktar daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
7. Klorür iyonları etkisinde beton gruplarının performansına bakıldığında 36 dm^3 'lük kalker tozu ilavesi, GB ve mineral katkı içermeyen KYB'ye göre klor iyonu geçirimsizliğini bir miktar artırmıştır. 108 dm^3 ilave ise bir miktar azaltmakla birlikte bu iki sonuç da birbirine çok yakın çıkmıştır. Ancak artan uçucu kül ilavesi ile betonun klor iyonu geçirimsizliğini katsayısında ciddi azalma görülmüştür.
8. Hızlı klor geçirimsizlik deneyine benzer şekilde elektriksel özdirenç özellikleri de uçucu kül ilavesi ile iyileşme göstermiştir. Kalker tozu ilavesi ise referans KYB'ye benzer sonuçlar vermiş olsa da geleneksel betonla karşılaştırıldığında, özdirenç değerlerinde yarı yarıya bir azalma görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

- [1] **M.H. Ozkul**, “Beton Teknolojisinde bir devrim: Kendiliğinden Yerleşen-Sıkısan Beton”, THBB Hazır Beton Dergisi, Sayı 52, ss. 64-71, 2002.
- [2] **DOGAN, Ü.A.**, (2008). Beton bileşim parametrelerinin geçirimsizlik özellikleri ve gömülü çelik donatı korozyonuna etkisi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [3] **Neville, A.M.**, (2000). Properties of Concrete, Pearson Prentice Hall, Essex.
- [4] **Pal, S.C., Mukherjee A. ve Pathak S.R.**, 2002 Corrosion behavior of reinforcement in slag concrete, ACI Materials Journal, **99**, No. 6, pp. 521-527.
- [5] **Song, H.M., Jang, J.C., Saraswathy, V. ve Byun, K.J.**, 2007 An estimation of the diffusivity of silica fume concrete, Building and Environment, 42,1357-1367.
- [6] **Thomas, M.D.A., Matthews, J.D. & Haynes, C.A.**, 1989, The effect of curing on the strength and permeability of PFA concrete, Proc. 3rd CANMET/ACI Int. Conf. On The Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag & Natural Pozzolans in Concrete, ACI SP-114, pp.191-217.
- [7] **Ozkul, M. H.**, (1997). Kendiliğinden yerleşen betonların genel özellikleri, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, İstanbul, sf 119-134
- [8] **Geiker, M.**, Self-compacting concrete (SCC), Editor(s): Sidney Mindess, In Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete, Woodhead Publishing, 2008,
- [9] **TS EN 196-1/10**, (2016). Çimento deney metotları Bölüm:1 / Bölüm:10, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [10] **Sims I., Lay J., Ferrari J.**, 15 - Concrete Aggregates, Editor(s): Hewlett P. C., Liska M., Lea's Chemistry of Cement and Concrete (Fifth Edition), Butterworth-Heinemann, 2019, Pages 699-778.

- [11] **TS 706 EN 12620+A1,(2009)**. Beton agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [12] **Aİtcin P.-C.**, 5 - Water and its role on concrete performance, Editor(s): Aİtcin P.-C., Flatt R. J., Science and Technology of Concrete Admixtures, Woodhead Publishing, 2016, Pages 75-86.
- [13] **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.
- [14] **Yaphary Y. L., Lam R. H.W., Lau D.**, Chemical Technologies for Modern Concrete Production, Procedia Engineering, Volume 172, 2017, Pages 1270-1277.
- [15] **TS EN 934-2**, (2013). Kimyasal katkıları- Beton, harç ve şerbet için- Bölüm:2 Beton kimyasal katkıları- Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [16] **Lohtia R. P., Joshi R. C.**, 10 - Mineral Admixtures, Editor(s): V.S. Ramachandran, Concrete Admixtures Handbook (Second Edition), William Andrew Publishing, 1996, Pages 657-739.
- [17] **Cyr M.**, 8 - Influence of supplementary cementitious materials (SCMs) on concrete durability, Editor(s): F. Pacheco-Torgal, S. Jalali, J. Labrincha, V.M. John, In Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, Eco-Efficient Concrete, Woodhead Publishing, 2013, Pages 153-197,
- [18] **ASTM C 618**, (2003). Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete. The American Society for Testing and Materials, Pennsylvania.
- [19] **Nguyen T. B. T, Chatchawan R., Saengsoy W., Tangtermsirikul S., Sugiyama T.**, Influences of different types of fly ash and confinement on performances of expansive mortars and concretes, Construction and Building Materials, Volume 209, 2019, Pages 176-186,
- [20] **Cho Y. K., Jung S. H., Choi Y. C.**, Effects of chemical composition of fly ash on compressive strength of fly ash cement mortar, Construction and Building Materials, Volume 204, 2019, Pages 255-264,

- [21] **Akkaya, Y. ve Kesler Y.E.**, (2012). Mikrokalsit katkısının beton işlenebilirliğine, mekanik özelliklerine ve dayanıklılığına etkisi, İMO Teknik Dergi, Türkiye.
- [22] **Wang D., Shi C., Farzadnia N., Shi Z., Jia H.**, A review on effects of limestone powder on the properties of concrete, *Construction and Building Materials*, Volume 192, 2018, Pages 153-166.
- [23] **Aİtçin P.C.**, 17 - The Influence of the Water/Cement Ratio on the Sustainability of Concrete, Editor(s): Peter C. Hewlett, Martin Liska, *Lea's Chemistry of Cement and Concrete (Fifth Edition)*, Butterworth-Heinemann, 2019, Pages 807-826
- [24] **Claisse P.A.**, Chapter 25 - Durability of concrete structures, Editor(s): Peter A. Claisse, *Civil Engineering Materials*, Butterworth-Heinemann, 2016, Pages 259-274.
- [25] **Claisse P.A.**, Chapter 26 - Production of durable concrete, Editor(s): Peter A. Claisse, *Civil Engineering Materials*, Butterworth-Heinemann, 2016, Pages 275-286,
- [26] **J. Bai**, 10 - Durability of sustainable concrete materials, Editor(s): Jamal M. Khatib, In *Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, Sustainability of Construction Materials*, Woodhead Publishing, 2009, Pages 239-253
- [27] **Odler I.**, *Dauerhaftigkeit von Beton (Durability of Concrete)*: By Jochen Stark and Bernd Wicht, Birkhauser Verlag, Basel, Switzerland, 2001; 340 pages, 221 figures, 42 tables (in German), *Cement and Concrete Research*, Volume 33, Issue 10, 2003, Page 1708.
- [28] **Baradan B., Yazıcı H., ÜN H.**, *Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)*, Türkiye Hazır Beton Birliği, 2015.
- [29] **Khayat, K.H. and Persson, B.**, (2007). Frost durability and salt scaling of SCC, *Durability of Self-Compacting Concrete. RİLEM TC 205* pp. 119-120.
- [30] **Reinhardt H. W., Özkan H., Mielich O.**, Changes in mechanical properties of concrete due to ASR, *Hormigón y Acero*, Volume 69, Supplement 1, 2018, Pages 15-19.
- [31] **Taylor H.F.**, *Cement Chemistry (Second ed.)*, Thomas Telford ,(1997) ,P 359.

- [32] **Shi X., Xie N., Fortune K., Gong J.**, Durability of steel reinforced concrete in chloride environments: An overview, *Construction and Building Materials*, Volume 30, 2012, Pages 125-138,
- [33] **Sun D., Wu K., Shi H., Miramini S., Zhang L.**, Deformation behaviour of concrete materials under the sulfate attack, *Construction and Building Materials*, Volume 210, 2019, Pages 232-241,
- [34] **TS EN 206**, (2002). Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [35] **TS EN 12350**, (2011). Testing fresh concrete - Part 8: Self-compacting concrete - Slump-flow test, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [36] **TS EN 12390-8**, (2010). Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 8: Basınç altında su işleme derinliğinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [37] **TS EN 480-5**, (2008). Kimyasal katkıları- Beton, harç, şerbet için- Deney metodları- Bölüm 5: Kılcal Su Emme Tayini Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [38] **ASTM C 1585-13**, (2013). Standart Test Method for Measurement of Rate of Absorbtion of Water by Hydraulic-Cement Concretes. The American Society for Testing and Materials, Pennsylvania.
- [39] **TS EN 12390-8**, (2010). Testing hardened concrete - Part 8: Depth of penetration of water under pressure, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [40] **Li, Y.**, (2015). Method of vacuum water absorbtion to determine the porosity of hardened concrete, *International Journal of Structural and Civil Research*, Beijing University of China, Beijing, China.
- [41] **Audenaert, K. and Schutter, G. D.**, (2007). Relation between vacuum water absorbtion and porosity of SCC, Magnel Laboratory for Concrete Research, Glent University, Belgium
- [42] **Bassouni M.T., and Sonebi, M.**, (2010). Effect of freezing-thawing cycles on the resistance of Self Consodilating Concrete to sulfate attack, RILEM, Montreal, Canada.
- [43] **TS EN 14630**, (2012). Products and systems for the protection and repair of concrete structures -Test methods - Determination of carbonation depth in hardened concrete by the phenolphthalein, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- [44] **TS EN 1367-2**, (2011). Agregaların ısı ve bozunma özellikleri için deneyler- Bölüm 1: Magnezyum Sülfat Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [45] **ASTM C 88**, (2018). Standart Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate. The American Society for Testing and Materials, Pennsylvania.
- [46] **ASTM C 1202**, (1997). Standart test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration, The American Society for Testing and Materials, Pennsylvania.
- [47] **RILEM TC 154-EMC**, Recommendations of RILEM TC 154-EMC: Electrochemical techniques for measuring metallic corrosion Half-cell potential measurements - Potential mapping on reinforced concrete structures, Materials and Structures. Volume 36, 2003 , Pages 461-471.
- [48] **EFNARC**, (2005). The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. European Federation of National Associations Representing for Concrete. Europe
- [49] **Dogan, U. A. and Sengul, O.**, (2004). Mechanical properties and durability of polymer modified concretes. International Congress on Polymers in Concrete, Berlin, Germany.
- [50] **Deckzo, J. A. and Vachon, M.**, (2006). Self-Consolidating Concrete. The American Society for Testing and Materials, Pennsylvania.
- [51] **Tarhan, M.**, (2004). Mineral katkıların yüksek dayanımlı betonların mekanik davranışına ve hızlı klorür yayılımına etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [52] **EN 1992-1-1**, (2004). Eurocode 2: Design of Concrete Structures-Part 1-1: General rules and rules for building. European Council of Civil Engineers, Europe
- [53] **Şengül, Ö., Taşdemir, M. A., Koç, İ., Tarhan, M., Erenoğlu, T.**, “ Doğal ve Endüstriyel Mineral Katkıların İçeren Betonların Tasarımı, Mekanik Özellikleri ve Dürabilitesi”, 7. Ulusal Beton Kongresi, 28-30 Kasım 2007, Maya Basın Yayın 2007 İstanbul, S. 291-300.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : İsmail ALTINDAĞ
Doğum Tarihi ve Yeri : 03.06.1991 ÇİFTLİK /NİĞDE
E-posta :altindagi@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Lise** : 2009, Bahçelievler Dede Korkut Anadolu Lisesi, Fen Bilimleri

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 01.2019'dan beri Fibrobeton Yapı Elemanları San. İnş. Ve Tic. A.Ş.'de İnşaat Mühendisi olarak çalışmakta.
- 04.2017- 07.2018 arasında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yapı malzemeleri Laboratuarında TÜBİTAK 1001 projesinde çalıştı.