

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN YÜKSEK DAYANIMLI BETONLARIN
DEPREME DAYANIKLILIK AÇISINDAN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Zafer GARİP**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Deprem Mühendisliği

OCAK 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN YÜKSEK DAYANIMLI BETONLARIN
DEPREME DAYANIKLILIK AÇISINDAN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Zafer GARİP
(501061233)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Aralık 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Ocak 2011

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Yılmaz AKKAYA (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Kadir GÜLER (İTÜ)
Prof. Dr. Fevziye AKÖZ (YTÜ)**

OCAK 2011

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu çalışmamın başlangıcından itibaren bana her türlü yardım ve desteği sağlayan, çalışmalarım sırasında değerli önerileriyle yol gösteren ve yardımını esirgemeyen saygıdeğer hocam ve tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Yılmaz AKKAYA' ya,

Gerek tez çalışmamda gerekse öğrencilik hayatımda bana yardımcı olan ve her türlü imkanı sağlayan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet Ali TAŞDEMİR ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Beyza TAŞKIN' a,

Deneysel çalışmalarım sırasındaki yardımları dolayısıyla tüm İ.T.Ü. Marmaray Yapı Malzemesi Laboratuvarı çalışanlarına,

Gerek öğrencilik hayatımda gerekse çalışmalarım sırasında yanımda olarak her türlü yardımı ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Yüksek Kimyager Ebru ÖZKAN' a,

Beni bugünlere getiren, hayatım boyunca maddi ve manevi desteği ile hep yanımda olan ve tecrübeleriyle beni aydınlatan, başta canım ağabeyim Dr. Mimar Ervin GARİP olmak üzere, annem Hanife GARİP, babam Lütfi GARİP ve ablam Dr. Mimar Banu GARİP' e

Sonsuz teşekkürler...

Ocak 2011

Zafer GARİP
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI VE GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 Normal Betonlar	4
2.2 Özel Betonlar.....	4
2.3 Yüksek Dayanımlı Betonlar	5
2.4 Kendiliğinden Yerleşen Betonlar (KYB).....	5
2.4.1 Kendiliğinden yerleşen betonların özellikleri	9
2.4.1.1 Doldurma yeteneği	9
2.4.1.2 Ayrışmaya karşı direnç	10
2.4.1.3 Geçiş yeteneği	11
2.4.2 Kendiliğinden yerleşen betonların deney yöntemleri	12
2.4.2.1 Çökme-yayılma deneyi	13
2.4.2.2 V-hunisi deneyi	15
2.4.2.3 L-kutusu deneyi.....	16
2.4.2.4 U-kutusu deneyi	17
2.4.3 Lif katkılı kendiliğinden yerleşen betonlar	18
2.5 Yüksek Dayanıma Sahip Kendiliğinden Yerleşen Betonların Yapıya Etkisi	19
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	21
3.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	21
3.1.1 Çimento.....	21
3.1.2 Cüruf	22
3.1.3 Silis dumanı.....	23
3.1.4 Agrega	23
3.1.5 Akışkanlaştırıcı katkı	24
3.2 Karışım Oranları.....	25
3.3 Üretimde İzlenen Sıra.....	27
3.4 Numune Şekil ve Boyutları	27
3.5 Numunelerin Kodlanması	28
3.6 Taze Beton Deneyleri	29
3.6.1 Birim ağırlık.....	29
3.6.2 Hava miktarı.....	29
3.6.3 Serbest yayılma	30

3.6.4 V-hunisi	31
3.6.5 L-kutusu	31
3.6.6 U-kutusu	32
3.7 Sertleşen Beton Deneyleri	33
3.7.1 Dayanım gelişimi	33
3.7.1.1 Basınç gelişimi	33
3.7.1.2 Yarmada-çekme gelişimi.....	33
3.7.1.3 Elastisite modülü (EM) gelişimi	34
3.7.2 RILEM net eğilme dayanımı gelişimi	35
3.7.3 RILEM kırılma enerjisi gelişimi	36
3.7.4 Adyabatik ısı	36
3.7.5 Termal genleşme katsayısı	37
3.7.6 Rötire deneyi	37
3.7.7 Sünme.....	38
3.8 Sertleşmiş Beton Deneyleri	38
3.8.1 Su geçirimsizliği.....	38
3.8.1.1 Basınçlı su emme	38
3.8.1.2 Yüzeysel su emme.....	39
3.8.1.3 Kılcal su emme.....	39
3.8.2 Klorür geçirimsizliği	40
3.8.2.1 Hızlı klorür geçirimsizliği	40
3.8.2.2 Yavaş klorür geçirimsizliği	40
3.8.3 Donma-çözülme	41
4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER.....	43
4.1 Taze Beton Deney Sonuçları	43
4.2 Sertleşen Beton Deney Sonuçları	44
4.3 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları	52
5. PROJE ÇALIŞMASI	59
5.1 Materyal ve Metot	59
5.2 Proje Sonuçları	60
6. SONUÇLAR VE KARŞILAŞTIRMALAR	65
6.1 Değerlendirme ve Öneriler	59
KAYNAKLAR.....	69
EKLER.....	73

KISALTMALAR

KYB	: Kendiliğinden yerleşen beton
EM	: Elastisite modülü
YPB	: Yüksek performanslı betonlar
A	: Ayazağa
C	: Cebeci

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Tanımlanmış hataları düzeltebilecek olası eylemler	12
Çizelge 2.2 : Deney yöntemleri ve kabul edilebilir değerler	13
Çizelge 3.1 : Portland çimentosunun fiziksel özellikleri	21
Çizelge 3.2 : Portland çimentosunun kimyasal özellikleri	21
Çizelge 3.3 : Portland çimentosunun basınç dayanımı	22
Çizelge 3.4 : Cürufun fiziksel özellikleri	22
Çizelge 3.5 : Cürufun kimyasal özellikleri	22
Çizelge 3.6 : Cebeci ve Ayazağa betonlarına ait agrega deneyleri ve sonuçları	23
Çizelge 3.7 : Agregaların elek analizi sonuçları	24
Çizelge 3.8 : Ayazağa ve Cebeci başlangıç karışım tasarımları	25
Çizelge 3.9 : Cebeci karışım tasarımı	26
Çizelge 3.10 : Ayazağa karışım tasarımı	26
Çizelge 3.11 : Ayazağa ve Cebeci betonları karışım oranları	26
Çizelge 4.1 : Taze haldeki beton özellikleri	43
Çizelge 4.2 : V-hunisi, L-kutusu ve U-kutusu deney sonuçları	44
Çizelge 4.3 : Ayazağa betonu eğilme deneyi sonuçları	48
Çizelge 4.4 : Cebeci betonu eğilme deneyi sonuçları	48
Çizelge 4.5 : Lifli Ayazağa betonu eğilme deneyi sonuçları	49
Çizelge 4.6 : Basınçlı su emme deney sonuçları	53
Çizelge 4.7 : Yüzeysel su emme deney sonuçları	53
Çizelge 4.8 : Betonların kılcal su emme değerleri	54
Çizelge 4.9 : Hızlı klor deney sonuçları	55
Çizelge 4.10 : Donma çözülme deneyi sonunda oluşan dökülmeler	56
Çizelge 5.1 : 6 katlı yapı için hesaplanan beton, kalıp ve demir metrajları	60
Çizelge 5.2 : 21 katlı yapı için hesaplanan beton, kalıp ve demir metrajları	60
Çizelge 5.3 : İki yapı tipi için elde edilen yapı maliyetleri	61
Çizelge 5.4 : 21 katlı yapıya ait deprem yükleri sonuçları	62
Çizelge 5.5 : 6 katlı yapıya ait deprem yükleri sonuçları	62
Çizelge A.1 : Ayazağa betonuna ait donma çözülme deneyi ultra ses hızı sonuçları	78
Çizelge A.2 : Cebeci betonuna ait donma çözülme deneyi ultra ses hızı sonuçları	79

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Kendiliğinden yerleşen betonların özellikleri.	7
Şekil 2.2 : Slump hunisi ve yayılma tablası.....	14
Şekil 2.3 : Yayılma Tablasında D1 ve D2 yayılma çapları.	15
Şekil 2.4 : V-hunisi detaylı ölçüleri ve örnek resim.	16
Şekil 2.5 : L-kutusu deney düzeneği ve örnek resim.	17
Şekil 2.6 : U-kutusu deney düzeneği ve örnek resim.	18
Şekil 3.1 : Silindir numune boyutları.....	28
Şekil 3.2 : Küp numune boyutları.....	28
Şekil 3.3 : Prizma numune boyutları.	28
Şekil 3.4 : Birim ağırlığı ölçmekte kullanılan hacmi belli kap.....	29
Şekil 3.5 : B tipi hava ölçme aleti.....	30
Şekil 3.6 : Yayılmasını tamamlamış kendiliğinden yerleşen beton.....	30
Şekil 3.7 : Betonla doldurulmuş V-hunisi.	31
Şekil 3.8 : L-kutusu deneyi.....	32
Şekil 3.9 : U-kutusu	32
Şekil 3.10 : Dayanım gelişiminde kullanılan pres makinesi ve numune başlığı	33
Şekil 3.11 : Yarmada çekme deney düzeneği.....	34
Şekil 3.12 : Elastisite modülü deney çerçevesi.....	35
Şekil 3.13 : RILEM 3 noktalı eğilme deneyi düzeneği	35
Şekil 3.14 : RILEM eğilme deneyi	36
Şekil 3.15 : Adyabatik ısı deney düzeneği	36
Şekil 3.16 : Termal genleşme deney numuneleri.....	37
Şekil 3.17 : Rötire deneyi numune çerçeveleri	37
Şekil 3.18 : Sünme ve rötire numune kapları.....	38
Şekil 3.19 : Basınçlı su emme test düzeneğine yerleştirilmiş numuneler.....	39
Şekil 3.20 : Yüzeysel su emme deney düzeneği ve numuneler.....	39
Şekil 3.21 : Hızlı klor deneyinde kullanılan çözelti hücreleri....	40
Şekil 3.22 : Donma çözülme test düzenekleri	41
Şekil 4.1 : Ayazağa ve Cebeci basınç dayanımı sonuçları..	45
Şekil 4.2 : Ayazağa ve Cebeci yarmada çekme dayanımı sonuçları... ..	45
Şekil 4.3 : Ayazağa ve Cebeci elastisite modülü gelişimi	46
Şekil 4.4 : Ayazağa betonuna ait gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	46
Şekil 4.5 : Cebeci betonuna ait gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	47
Şekil 4.6 : Lif katkılı Ayazağa betonuna ait gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	47
Şekil 4.7 : Ayazağa ve Cebeci betonlarının adyabatik ısı değerleri	49
Şekil 4.8 : Ayazağa ve Cebeci termal genleşme katsayıları	50
Şekil 4.9 : Ayazağa betonuna ait sünme deneyi sonuçları.....	50
Şekil 4.10 : Cebeci betonuna ait sünme deneyi sonuçları	51
Şekil 4.11 : Ayazağa betonuna ait rötire deneyi sonuçları	51
Şekil 4.12 : Cebeci betonuna ait rötire deneyi sonuçları	52
Şekil 4.13 : Ayazağa numunelerinin basınç altında emdiği su miktarı.	52
Şekil 4.14 : Cebeci numunelerinin basınç altında emdiği su miktarı	52

Şekil 4.15 : Ayazağa ve Cebeci betonlarının kılcal su emme değerleri	55
Şekil 4.16 : Ayazağa betonunun Cl^- içeriği	56
Şekil 4.17 : Cebeci betonunun Cl^- içeriği	56
Şekil 4.18 : Donma çözülme deneyi ile Ayazağa numunelerinde oluşan dökülmeler	57
Şekil 4.19 : Donma çözülme deneyi ile Cebeci numunelerinde oluşan dökülmeler	57
Şekil A.1 : Ayazağa betonuna ait sünme deneyi grafikleri.....	75
Şekil A.2 : Cebeci betonuna ait sünme deneyi grafikleri	76
Şekil A.3 : Ayazağa betonuna ait rötre deneyi grafikleri	77
Şekil A.4 : Cebeci betonuna ait rötre deneyi grafikleri	77
Şekil B.1 : 6 katlı binanın kalıp planı	80
Şekil B.2 : 21 katlı binanın kalıp planı	81

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN YÜKSEK DAYANIMLI BETONLARIN DEPREME DAYANIKLILIK AÇISINDAN İNCELENMESİ

ÖZET

Ülkemizde yapıların büyük bir bölümü betonarme taşıyıcı sistem ile tasarlanmıştır. Betonarme elemanlar, beton ve çelik donatının birleşimi olarak tarif edilebilir. Beton ise çimento, su ve agreganın karışımından oluşan yapay taştır. Son yıllarda teknolojinin gelişmesi betonun inşaatın çok farklı alanlarında ve çok daha verimli bir şekilde kullanılmasına olanak sağlamıştır.

Yapıların inşası sırasında, kalifiye işçi yetersizliği ve beton tasarımcılarıyla yapı mühendisleri arasındaki iletişim zayıflığı nedenleriyle, karmaşık ve fazla donatılı betonlarda ortaya çıkan durabilite problemleri, mühendisleri yeni arayışlara itmiştir. Bu arayışlar sonucunda kendiliğinden yerleşme özelliğine sahip betonun ilk adımları Japonya’ da atılmış oldu.

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) gerek işlenebilirlik özellikleri, gerek dayanım ve dayanıklılık özellikleri açısından özel bir beton türü olup yüksek performanslı beton sınıfına girmektedir. KYB özellikle hazır-beton sektörü, onarım-güçlendirme işleri ve prefabrike sektörü başta olmak üzere inşaatın değişik dallarında giderek daha fazla uygulama alanı bulmaktadır. Vibratör gerektirmeden kolay yerleşebilmesi, yüksek ayrışma direncine sahip oluşu, yüksek dayanıklılık özelliği gibi nedenlerle yüksek başarılı (performanslı) beton üretimine olanak veren KYB, ülkemizde de tanınmaya ve kullanılmaya başlamıştır. KYB’ un bileşimi, etkin bir süper akışkanlaştırıcı yanında toplam ince malzeme miktarı, viskozite artırıcı katkı kullanımı, su/bağlayıcı oranı, maksimum agrega boyutu, kum/toplam agrega oranı ve toplam iri agrega miktarı gibi parametreler açısından geleneksel betondan farklılıklar gösterir. Ayrıca bu betonlarda çimento ve süper akışkanlaştırıcı katkı uyumu ayrı bir önem taşır.

Son yıllarda yaşanan depremler ve felaketler ülkemizde beton kalitesinin önemini gündeme getirmiştir. Mevcut yapılar incelendiğinde, beton dayanımlarının oldukça düşük ve dış etkilere karşı dayanıksız oldukları belirlenmiştir. Geliştirilen deprem yönetmeliği ile birlikte, yapılarda kullanılacak minimum beton sınıfına kısıtlama getirilerek, yüksek dayanım ve durabilite koşullarını sağlayacak betonların kullanılması amaçlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında; kendiliğinden yerleşen yüksek dayanımlı beton tasarımı ve üretimi yapılmıştır. Çimento, cüruf, silis dumanı, doğal kum, kırma kum 1 numara kırma taş ve akışkanlaştırıcı kimyasal katkıdan oluşan 2 tip beton karışımı yapılmıştır. Ayazağa ve Cebeci olarak isimlendirilen bu iki karışımda, kırma kum ve 1 numara kırma taşın dışındaki diğer malzemeler ortak kullanılmıştır. Bu iki tip betonun kendiliğinden yerleşme özelliğini belirlemek amacıyla yapılan işlenebilirlik deneylerinin yanı sıra, taze halde, sertleşen halde ve sertleşmiş haldeki betonlarda çeşitli testler yapılmıştır. Bu deneylerle, betonların dayanım, geçirimsizlik ve dayanıklılık özellikleri incelenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda, kendiliğinden yerleşen Cebeci ve Ayazağā tip betonlarının yüksek işlenebilirlik özelliklerine sahip olduğu belirlenmiştir. Sertleşen beton deney sonuçlarına göre C90 beton özelliğē gösteren bu karışımlardan Cebeci tipinin daha yüksek elastisite modülü değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Sertleşmiş haldeki deneylerde ise, her iki betonun da düşük geçirimsilik özelliğē gösterdiğē; ancak, Cebeci karışımının su geçirimsiliğinin Ayazağā karışımına oranla biraz fazla olduğu belirlenmiştir. Donma çözölme deneyinden elde edilen sonuçlar ise, her iki beton tipi için de oldukça düşük değerlerdir. Yapılan tüm deneyler sonucunda, Ayazağā ve Cebeci betonları yüksek dayanım ve durabilite özellikleri göstermiştir.

Ayrıca yapılan bir proje çalışması kapsamında, C90 beton özelliklerine sahip Cebeci tipi beton ile, C35 beton tipi kıyaslanmıştır. Ön inceleme niteliğē taşıyan bu proje çalışmasında, betonarme çerçeve ve perdeli taşıyıcı sisteme sahip, biri 6 katlı diğeri ise 21 katlı olan iki farklı binanın proje hesabı yapılmıştır. Toplamda 4 adet çalışma yapılmıştır. Yüksek dayanımlı beton kullanımıyla deprem kuvvetlerindeki değışimin yanı sıra, iki farklı beton tipinin kullanılmasıyla, kesit değışimleri ile birlikte beton kalıp ve metrajlarda oluşan değışimler elde edilmiştir.

INVESTIGATION OF EARTHQUAKE RESISTANCE OF HIGH STRENGTH SELF-COMPACTING CONCRETES

SUMMARY

Most of the buildings in our country are designed with reinforced concrete system. Reinforced concrete elements can be described as a combination of concrete and steel reinforcement. Concrete is an artificial Stone composed of a mixture of cement, water and aggregate. In recent years, concrete is used in many different construction areas and more efficiently by the development of technology.

During the construction of buildings, because of the lack of skilled workers and the weak communication between designers and structural engineers, there occurred some durability problems in complex and densely reinforced concrete elements. These problems have pushed the engineers to new searches. As a result of these efforts, a concrete with the ability of self compaction was developed in Japan.

Self-compacting concrete (SCC) can be mentioned as a high-performance concrete because of its workability, strength and durability properties. Self-compacting concrete (SCC) finds many application fields in civil engineering, especially in ready-mixed concrete, repairing-retrofitting and precast industry. Easy placing and compacting without any vibration, high segregation resistance and durability properties, result in the production of high performance concretes. Recently, SCC has become well known and found application in Turkey. SCC design deviates from those of traditional concretes with respect to not only an effective superplasticizer requirement but also other parameters, such as total fine material, viscosity enhancing agent, water/binder ratio, max. aggregate size, sand/total aggregate ratio and total coarse aggregate content. It is also important to have both cement and superplasticizer to become in compatibility.

Earthquakes and disasters have brought out the importance of concrete quality. When existing structures are analyzed, it is observed that concrete strengths were quite low and susceptible to external influences. Development of Turkish Earthquake Code, has brought a restriction in use of the minimum concrete class. It is intended to use concrete with high strength and durability properties.

In this study; high-strength self-compacting concrete is designed and produced. Cement, slag, silica fume, natural sand, crushed sand, no. 1 crushed stone and superplasticizer are mixed to have 2 types of concrete. These two mixtures are called Ayazağa and Cebeci. In these mixtures crushed sand and no. 1 crushed stone are selected from different quarries. Several experiments are performed to determine the development of the concretes in fresh, hardening and hardened states. By these experiments, the strength, permeability and durability properties of the concretes are examined.

As a consequence, it is determined that self compacting concretes; Ayazağa and Cebeci both have high workability properties. As a result of hardening concrete tests,

all the concretes produced, have C90 properties. It is observed that, Cebeci type concrete has higher modulus of elasticity value. However, on the basis of hardened concrete experiments, all the concrete types have low water permeability properties, it is determined that Cebeci mixture is a little more permeable than Ayazağa. According to the freeze and thaw experiments, both concrete types have low values. As a result of all these experiments, Ayazağa and Cebeci type concretes showed high strength and durability properties.

In addition to the scope of a project work, Cebeci type concrete having C90 properties is compared with a C35 concrete. As a preliminary examination, two buildings with different floor plan are analysed. Both of the two buildings have a structural system combined with reinforced concrete frame and shear walls. One of the buildings has 6 floors, the other one has 21 floors. A total of 4 studies have been done. Changes in earthquake forces in the use of high-strength concrete are examined. Also the changes in cross-sections, concrete formwork and quantity surveys were obtained.

1. GİRİŞ

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde bir katkı maddesini harmanlayarak elde edilmiş ve oranları dikkatle ayarlanmış bir karışımı, istenilen şekil ve boyutta kalıplar içine boşluksuz olarak yerleştirmek ve uygun bakım koşulları altında sertleştirmek yolu ile elde edilen kompozit bir malzemedir [1].

Günümüzde betonun en yaygın kullanımı, 1850' li yıllarda "betonarme" nin icadı ile başlamıştır. Dünyada hazır beton sektörünün gelişmesiyle birlikte, sektöre hammadde sağlayan diğer sektörler de gelişmiştir. Bunlardan en önemlilerinden birisi de katkı sektörüdür. Beton katkıları, temel olarak beton özelliklerinin iyileştirilip geliştirilmesinde ve özellikle çevre koşullarına daha dayanıklı beton üretiminde kullanılmaktadır. 1970'li yılların başında, düşük su/çimento oranında, betonun işlenebilirliğini arttıran, akışkanlaştırıcı veya süper akışkanlaştırıcılar kullanılmaya başlanmıştır [2-4]. 1986 yılında Tokyo Üniversitesi'nde, kendiliğinden yayılabilen ve sıkışan beton üzerinde araştırmalar yapılmaya başlanmış ve böylece KYB tasarımının ilk adımları atılmıştır [5-7].

Kendiliğinden yerleşen betonlar yüksek işlenebilirlikleri sayesinde herhangi bir vibrasyon gerektirmeksizin kendi ağırlığı ile istenilen yere boşluksuz yerleşebilen, bu işlem sırasında ve sonrasında terleme ve segregasyon gibi problemlere neden olmayan betonlardır. Kendiliğinden yerleşen beton vibrasyon gerektirmediği için gürültü kirliliğinin ortadan kaldırılması, işçiliğin azaltılması, daha hızlı üretime olanak sağlamasının yanında iri agrega hacminin sınırlandırılması, en büyük agrega dane boyutunun azaltılması ve etkin bir süperakışkanlaştırıcı kullanılmasıyla akıcılık kazanıp sık donatılar arasından geçerek dar kesitlerde çalışma imkanı ve istenilen kalıpta boşluksuz beton üretimi sağlamaktadır [8].

1980' lerden itibaren polimer esaslı, 1990' lardan itibaren de polikarboksilat eter esaslı süperakışkanlaştırıcıların geliştirilmesi ile düşük su/bağlayıcı oranında yüksek işlenebilirlikte beton üretilmesinin mümkün olması ile KYB üretiminde büyük gelişme sağlanmıştır.

KYB’larda yüksek işlenebilirlik süperakışkanlaştırıcılarla sağlanırken ayrışmaya (segregasyona) karşı direnç sağlamak ve betonun kararlılığını (stabilitesini) korumak amacıyla viskozite arttırıcı katkı kullanımı veya ince malzeme miktarının arttırılması uygulanan yöntemlerdir.

20. yüzyılın sonlarına doğru lifli betonlar üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Gevrek bir malzeme olan betona karışım sırasında lif ilave edilmesiyle daha sünek bir yapı oluşturularak betonun bazı mekanik özelliklerinde iyileşme beklenir. Çelik lifler; betonda dayanımı, çatlak kontrolünü, şekil değiştirme kapasitesini, darbe dayanımını arttırırken, polimer esaslı lifler ise plastik rötre çatlaklarını azaltmakta ve betonun durabilitesini arttırmaktadır.

Bu çalışma kapsamında; öncelikle yüksek dayanım ve durabilite özelliklerine sahip kendiliğinden yerleşen beton üretimi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, Ayazağa ve Cebeci olmak üzere iki tip beton karışımı tasarlanmış ve üretilmiştir. Betonların işlenebilirlik, mukavemet, geçirimsizlik ve dış etkilere dayanıklılık özelliklerini incelemek amacıyla taze, sertleşen ve sertleşmiş haldeki beton deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda betonların mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca ön inceleme niteliği taşıyan bir proje çalışması yapılarak, C35 ve C90 olmak üzere iki farklı dayanıma sahip betonla tasarlanan 6 ve 21 katlı iki binanın deprem yüklerinde ve maliyetlerinde meydana gelen değişim incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI VE GENEL BİLGİLER

Bugünkü anlamıyla çimentonun, betonun ve betonarmenin ortaya çıkması 19. yüzyılı bulmuştur. 20. yüzyıla birlikte hızla gelişmeye başlayan beton, ucuzluğu, kolay şekil verilebilmesi, fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklı olması nedeniyle günümüzde en çok tercih edilen yapı malzemesi halini almıştır [9].

Beton; kum, çakıl veya kırma taş ve çimento ile suyun gerektiğinde bazı katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilir. Başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun su ile kimyasal reaksiyona girmesi (hidratasyon) sebebiyle, istenilen şekli alarak sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir [1]. Agregat olarak isimlendirilen kum, çakıl ve kırma taş, tane boyutlarına bağlı olarak iri ve ince olarak sınıflandırılır. Ayrıca, betonun niteliklerinde istenilen yönde değişiklik sağlamak için çeşitli beton katkı maddeleri (kimyasal katkılar) kullanılabilir.

Bağlayıcı özelliğe sahip olan çimento betonu teşkil eden en önemli maddedir. Çimento ile suyun kimyasal reaksiyona girmesi sonucu çimento hamuru oluşur. Betonda sürekli fazı oluşturan bu hamur, dağınık faz olarak bilinen agregaların çevresini sararak aralarındaki boşlukları doldurur ve bu agregaları bir arada tutarak bağlayıcılık sağlar. Bu nedenle de beton, kompozit bir malzeme olarak tanımlanabilmektedir [9].

Farklı kullanım amaçlarına göre üretilen betonun ekonomik olmasının yanı sıra, taze haldeyken işlenebilirliğinin yüksek olması, sertleşmiş halde ise yeterli mekanik dayanıma ve çevre koşullarına dayanıklılığa yani durabiliteye sahip olması beklenir. Betonlar, basınç dayanımlarına ve birim ağırlıklarına göre sınıflandırılabilir [10].

Betonlar birim ağırlıklarına göre üç ana gruba ayrılabilir.

- Hafif Beton: Etüv kurusu durumdaki birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 800 kg/m^3 ile 2000 kg/m^3 arasında olan betonlardır.
- Normal Beton: Etüv kurusu durumdaki birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 2000

kg/m³ ile 2600 kg/m³ arasında olan betonlardır.

- Ağır Beton: Etüv kurusu durumdaki hacim kütlesi (yoğunluğu), 2600 kg/m³, ten büyük olan betonlardır.

Betonlar basınç dayanımlarına göre üç gruba ayrılabilir.

- Düşük Dayanımlı Betonlar: Basınç dayanımları 20 MPa' dan az olan betonlardır.
- Normal Dayanımlı Betonlar: Basınç dayanımları 20 MPa ile 50 MPa arasında olan betonlardır.
- Yüksek Dayanımlı Betonlar: Basınç dayanımları 50 MPa' dan fazla olan betonlardır [10].

2.1 Normal Betonlar

Betonun etüv kurusu durumundaki birim hacim kütlesine göre yapılan sınıflandırmada, yoğunluğu 2000 kg/m³ ile 2600 kg/m³; basınç dayanımlarına göre sınıflandırıldığında ise 20MPa ile 50MPa arasında basınç değerlerine sahip olan betonlara normal betonlar denir [10, 11]. Bu tip betonların üretimi, malzeme temini ve uygulanması kolay ve hızlıdır. Bunlarla birlikte ekonomik ve seri üretimi yapılan bu tip betonlar bina, yol, köprü ve barajlarda yaygın olarak kullanılan yapı malzemesidir.

2.2 Özel Betonlar

Günümüzde kullanım alanlarında ortaya çıkan ihtiyaçlar nedeni ile çeşitli özellikleri geliştirilmiş veya üretim ve uygulama teknikleri farklı bazı özel betonlar yaygın biçimde kullanılmaktadır. Özel betonlar; oluşan ihtiyaca göre normal betonlara kıyasla basınç, çekme, eğilme dayanımı, süneklik, kimyasal dayanıklılık gibi niteliklerin geliştirilmesi amacıyla ortaya çıkmışlardır. Üretilen betonların kullanım amacına yönelik olarak tasarımının yapılması ve ekonomik olması çok önemlidir. Bu betonlara örnek olarak kendinden yerleşen betonlar, hafif agregalı betonlar, gaz betonları, ağır betonlar, lif donatılı betonlar verilebilir. Betonların çeşitli özelliklere sahip olmalarının yanı sıra servis ömrü süresince dayanıklı yani yüksek durabiliteli olmaları da amaçlanmaktadır.

Yüksek performanslı lif donatılı betonlar hem fiziksel hem de kimyasal etkilere karşı normal betonlara kıyasla daha iyi bir dayanıklılığa sahiptir. Yüksek dayanımlı betonlarda kullanılan polipropilen lifler, yüksek sıcaklıklarda eriyerek su buharının çıkmasını sağlar. Böylece beton yüzeyindeki dökülmeleri engelleyerek yangına karşı dayanıklılık sağlar [12].

2.3 Yüksek Dayanımlı Betonlar

Basınç dayanım sınıfı C50/60'dan yüksek olan normal beton veya ağır betonlara ve basınç dayanım sınıfı LC50/55'den daha yüksek olan hafif betonlara "Yüksek Dayanımlı Betonlar" denir [11]. Yüksek dayanımlı betonlar, beton içyapısının geliştirilmesiyle elde edilir. Agreganın kalitesinin artırılması, su çimento oranının düşürülmesi ve çimento hamuru ile agregalar arasındaki boşluk hacminin azaltılması beton dayanımını arttıran özelliklerdir. Betondaki en zayıf halka çimento hamuru ile agreganın taneleri arasındaki temas yüzeyidir. Silis dumanı gibi filler malzemelerin kullanılmasıyla çimento hamuru ile agregalar arasındaki boşluk hacmi azaltılabilir, böylece durabilite iyileştirilir ve dayanım yükseltilir [12]. Yüksek dayanımlı betonlarda silis dumanı gibi filler malzemelerin yanı sıra süper akışkanlaştırıcılar, hava sürükleyiciler ve viskozite arttırıcılar gibi katıklar da kullanılır.

Normal betonlardan daha üstün mekanik özelliklere, içyapıya ve durabiliteye sahip olan yüksek dayanımlı betonlar, bu özelliklerinden dolayı çok yüksek yapılarda, uzun köprülerde ve öngerilmeli beton elemanlarda kullanılırlar.

2.4 Kendiliğinden Yerleşen Betonlar (KYB)

Kalifiye işçi yetersizliği ve beton tasarımcılarıyla yapı mühendisleri arasındaki iletişim zayıflığı nedenleriyle, karmaşık ve fazla donatılı betonlarda ortaya çıkan durabilite problemleri, mühendisleri yeni arayışlara itmiştir. Bu sorunların çözülmesine yönelik araştırmalarla birlikte kendiliğinden yerleşen betonun gelişimi 80'li yılların ortasında Japonya'da başlamıştır [13].

Her ne kadar kendiliğinden yerleşen beton kavramı 1986 yılında Profesör Hajime Okamura tarafından açıklanmış olsa da, ilk uygulama 1988 yılında Profesör Ozawa tarafından Tokyo Üniversitesinde yapılmıştır [5, 14].

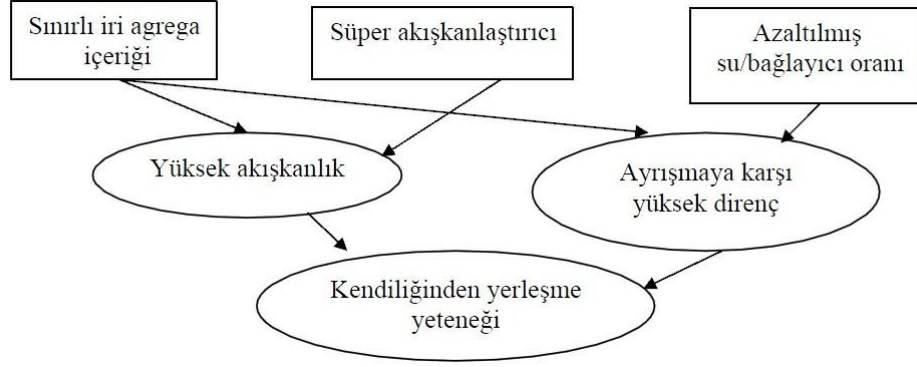
KYB' ler, yüksek işlenebilirlikleri sayesinde herhangi bir vibrasyona veya sıkıştırmaya gerek duymayan, kendi ağırlığı ile donatılar arasından geçerek istenilen yere boşluk bırakmaksızın yerleşebilen betonlardır. Ayrıca KYB' ler akışkanlıkları ve ayrışmaya karşı dirençleri sayesinde, homojen dağılıma sahip boşluksuz bir yapı oluşturur [14]. KYB' lere bu özellikler yeni kuşak süper akışkanlaştırıcıların kullanımıyla sağlanmaktadır. Bu tip kimyasal katkıları sayesinde betondaki su miktarı azaltılabilir.

Yüksek işlenebilirlik, terlemeye ve ayrışmaya karşı direnç gibi özelliklerin yanı sıra Kendiliğinden Yerleşen Beton'un avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [4].

- İnşaatda daha hızlı üretim
- Şantiyede işçilikte azalma
- Daha iyi yüzey bitişi
- Kolay yerleştirme
- Dayanıklılıkta artış
- Tasarımda özgürlük
- Daha dar kesitlerle çalışma imkanı
- Gürültü seviyesinde (vibrasyonda) azalma
- Daha iyi çalışma ortamı

Normal betonlardan farklı olarak kendiliğinden yerleşen betonlarda işlenebilirliğe ve ayrışma direncine doğrudan etki eden bazı durumlar mevcuttur. Bunlar; karışımdaki ince malzeme miktarı, su/çimento oranı, iri agrega miktarı ve boyutu ve kullanılan süper akışkanlaştırıcı miktarıdır. Karışımdaki su/ince malzeme oranının yüksek olması, ayrışmaya neden olabilir. Bu oranın düşük olması ise betonun doldurma yeteneğini kısıtlayabilir. Terlemeyi engellemek ve ayrışmaya karşı direnci korumak için su/çimento oranı azaltılmalıdır. Sık donatıya sahip kalıplar içinden geçerken, agregaların çarpışmaları artar, bu da taneler arasındaki sürtünmenin artmasına ve ayrışmaya neden olur. Bu nedenle karışımdaki iri agrega miktarının azaltılması, bağlayıcı hacminin de artırılması gerekmektedir. Bağlayıcı miktarı da uçucu kül, silis dumanı gibi ince malzemelerin kullanılmasıyla artırılabilir. Fakat bu malzemelerin artırılması, karışımdaki suyun bir kısmını emebileceğinden, betonun

işlenebilirliğine olumsuz etki edebilir. Dolayısıyla kendiliğinden yerleşen betonlarda süper akışkanlaştırıcı katkıları önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu tip katkıların kullanılması betonun yeterli akışkanlığa ve viskozitenin devamına olanak sağlar.



Şekil 2.1 : Kendiliğinden yerleşen betonların özellikleri [15].

KYB karışımları, doldurma ve geçiş yeteneklerinden başka ayrışmaya karşı direnç, sertleşmiş özellikler, ekonomi ve istikrar göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır. KYB’ da ince agreganın granülometrisi, yüksek çimento ve bağlayıcı malzeme hacmi gibi karışım oranlarındaki farklılıklar da mekanik özellikler üzerinde önemli rol oynar [16].

Kendiliğinden yerleşen beton tasarımında, işlenebilirliğin yanı sıra betonun dayanıklılığını da koruyacak malzemelerin çeşit ve oranlarının seçimine dikkat edilmelidir. Betonda hem ayrışmayı önleyen hem de akışkanlığı sağlayan tasarım yapılması çok önemlidir. Bu konuyu araştırmak amacıyla ülkemizde ve dünyada birçok çalışma yapılmıştır [16].

Okamura ve Ozawa yaptıkları çalışmalarda, iri agrega miktarını katı hacmin %50’ si değerinde, ince agrega miktarını da harç fazının %40’ ı değerinde sabit tutarak su/pudra oranına karar vermeyi amaçlamışlardır. Bunun için de akış tablası kullanarak yapılan seri testler sonucunda su/pudra oranının hacimce 0,9-1,0 arasında olduğu durumda kendiliğinden yerleşme özelliğinin elde edildiğini görmüşlerdir. Katkı dozajına ise taze beton üzerinde yapılan yayılma deneyleri ile karar verilmesi gerektiğini belirtmişlerdir [17].

Bornemann ve Schmidt tarafından Kassel Üniversitesinde [18], Şengül, Yılmaz ve diğerleri tarafından İTÜ’ de yapılan çalışmalarda [19-21] hacimce su/pudra oranı

0,52' de sabit, su/çimento oranı ağırlıkça 0,24 den 0,38 e yükselirken (çimento/pudra oranı 0.73'den 0.48'e azalırken) çimento dozajı da 950 kg/ m^3 den 310 kg/ m^3 'e düşerken basınç dayanımı ve elastisite modülü sabit kalmaktadır.

2003 yılında Sonebi Mohammed tarafından uçucu kül kullanılarak bazı deneysel çalışmalar yapılmıştır. Üretilen betonun, engellere sahip kalıpları doldurması ve akıcılığıyla yerleşmesi incelenmiş ve herhangi bir ayrışma veya engelden geçememe durumu gözlenmemiştir. Bunu sağlayan, üretilen beton içeriğindeki ince malzeme ve çimento miktarlarının fazla olmasıdır [22].

Felekoğlu ve Baradan' ın 2004 yılında yaptıkları deneylerde, çimento miktarının sabit tutulmasıyla, akışkanlaştırıcı katkı miktarı arttırılıp su miktarı azaltıldıkça yayılma değerlerinin yaklaşık aynı kaldığı ancak viskozitenin hızla arttığı gözlenmiştir. Yapılan diğer deneylerde ise, çimento miktarı ve agrega gradasyonu sabit tutulup, su/toz oranı arttırılarak, akışkanlaştırıcı katkı miktarı azaltıldığında taze betonun geçiş yeteneğinin arttığı gözlenmiştir [23].

Normal betonlara kıyasla, işlenebilirliği fazla olan kendiliğinden yerleşen betonlar mekanik özellikler açısından da üstün bir yapıya sahiptir. Ayrıca tasarımlarda çeşitli liflerin kullanılması, bu mekanik özellikleri daha da geliştirmektedir. Fakat işlenebilirliğin düşmemesi açısından kullanılan lif miktarına ve şekline dikkat edilmelidir.

Betonda lif kullanımının amacı yük altında oluşan çatlakların, mikro düzeyden başlayarak kontrol edilebilmesidir. Oluşan her boyuttaki çatlağın önlenmesi için yine farklı boyutlarda lif kullanılabilir. Yüksek dayanımlı çelik lifler büyük çatlakları, zayıf polipropilen vb. lifler ise mikro çatlakların başlangıcını ve gelişimini kontrol eder [24]. Küçük boyuttaki lifler, büyük boyutlu liflere kıyasla matrisin her tarafına dağılabildiklerinden, mikro çatlakların başlamasını ve gelişimini kontrol edebilirler. Büyük boyutlu lifler ise ancak çatlaklar gelişip makro düzeye geldiğinde etkili olabilirler [25].

Grünwald ve Walraven' in yaptıkları çalışmalar sonucunda kullanılan lif miktarı ile birlikte, taze haldeki kendiliğinden yerleşen betonun yayılma alanının azaldığı, T_{50} sürelerinin ise arttığı gözlenmiştir. Sertleşmiş haldeki betonların normal betonlara göre, eğilme altındaki davranışlarının önemli ölçüde daha iyi sonuç verdiği, oluşan

ilk çatlakla birlikte taşıma kapasitelerinin arttığı ve kırılma enerjilerinde standart sapmanın da düştüğü gözlenmiştir [17].

Yıldırım ve Berbergil' in yaptıkları çalışmalarda, sabit su/çimento oranında lif ilave edilmesiyle işlenebilirliğin arttırılmasının, kullanılan süper akışkanlaştırıcının miktarının arttırılmasıyla sağlanacağı ve lif miktarının artmasıyla katkının kullanım miktarının da artacağı görülmüştür. Fakat lif miktarına göre katkı miktarının da döngü şeklinde arttırılması betonda ayrışmaya neden olmaktadır [26]. Özetle, gevrek bir malzeme olan betona karışım sırasında lif ilave edilmesiyle daha sünek bir yapı oluşturularak betonun bazı mekanik özelliklerinde iyileşme beklenir. Fakat betonun işlenebilirlik kapasitesinde azalma olmaması açısından, kullanılan lif miktarına ve şekline dikkat edilmelidir.

2.4.1 Kendiliğinden yerleşen betonların özellikleri

KYB yüksek dayanımlarının yanı sıra durabilite koşullarını da sağladığından “Yüksek Performanslı Betonlar” (YPB) olarak adlandırılır [12].

Bu betonlardan 3 özellik beklenir:

- Taze beton halinde yüksek işlenebilirlik
- Sertleşen beton halinde ilk kusurlardan uzak olması
- Sertleşmiş beton halinde dış kuvvetlere ve dış etkilere karşı korunabilir olması

Düşük su/toz oranına sahip yüksek performanslı betonlar, bu özelliklerinden dolayı yüksek durabiliteli beton olarak da tanımlanabilir [27].

Kendiliğinden yerleşen betonların taze haldeki işlenebilirlik özellikleri betonun dayanıklılık performansına etki eden parametrelerdir. Kendinden yerleşme özelliğini belirleyen etkenler ise; doldurma yeteneği, ayrışmaya karşı direnç ve geçiş yeteneğidir [15].

2.4.1.1 Doldurma yeteneği

Doldurma yeteneği, betonun kendi ağırlığı ile uğradığı şekil değiştirme olarak tanımlanabilir. Şekil değiştirme, betonun ne kadar yayıldığı ve bu yayılma hızının ne olduğu ile değerlendirilebilir. Betonun doldurma yeteneğini ölçmek için kullanılan en yaygın yöntem çökme-yayılma deneyidir. Yayılma tablasında, yayılma çapı ve bu çapa ulaşmak için geçen süre ölçülebilmektedir. T₅₀ süresi plastik viskozite ve akış

noktası arasındaki ilişkiyi en iyi gösteren değerdir. Şekil değiştirme hızı ve kapasitesi arasında sağlanacak denge ile betonda iyi bir doldurma yeteneği elde edilebilir.

Betonun kolay şekil değiştirebilmesi için, içsel sürtünmelerin azaltılmasının yanı sıra, çimento hamurunun da yeterli akıcılığa sahip olması gerekmektedir. Süper akışkanlaştırıcı katkı miktarı iyi ayarlandığında, ayrılmaya neden olmadan akıcılığı sağlayabilmektedir. Beton karışımında kullanılan kaba ve ince agrega miktarının azaltılması ve bağlayıcı malzeme miktarının artırılması, doldurma yeteneğinin geliştirilmesinde etkili olabilir [13]. Kullanılacak olan çimento ve diğer ince malzemelerin kaynaşması da içsel sürtünmeyi azaltan bir etkidir [28].

2.4.1.2 Ayrışmaya karşı direnç

Kararlılık, betonun çeşitli dış etkilere maruz kalmasına rağmen homojenliğini ve özelliklerini koruyabilmesi olarak tanımlanabilir. Ayrıca kararlılık, karışımın ayrılmaya ve terlemeye olan direnci olarak da görülebilir. Ayrışma (segregasyon), taze haldeki betonun bileşenlerini oluşturan malzemelerin dağılım düzeninin homojen olmayan bir şekilde dağılması olarak tanımlanabilir. Normal akışta ayrışma göstermeyen taze beton, sık donatıya sahip kalıba dökülürken iri agregaların dağılmasıyla üniformluğunu kaybedebilir. Bu da, sertleşen betonda çatlaklara, boşluklara neden olduğu gibi dayanımın betonda homojen olarak dağılmamasına yol açar. Ayrışmalar farklı çeşitlerde olabilir:

- Su ve katı malzemelerin ayrışması (terleme)
- Çimento hamuru ile agreganın ayrışması
- Kaba agreganın ayrışması
- Hava boşluklarının homojen dağılmaması

Betonda terleme, karışım içindeki serbest suyun bağımsız halde yer değiştirmesi anlamına gelir. Terlemeyi engellemek için hareketli su miktarının azaltılması gerekir. Toz malzeme kullanımı, suyun tutunabileceği daha geniş yüzey alanı yarattığından serbest su miktarı da azaltılmış olur. Buna karşın azalan su miktarı ile betonda plastik kıvam kaybı gözlemlenebilir. Viskozite arttırıcı katkı maddeleri kullanılarak plastik kıvam korunabilir [27].

Betonun kararlılığını koruyabilmek için katı maddelerin ayrışması ve terlemesi azaltılmalıdır. Bu işlem aşağıda sıralanan maddeler dikkate alınarak yapılabilir [29].

- Katı maddelerin ayrılmasını azaltmak,
- Agreganın içeriğini sınırlandırmak,
- En büyük agrega boyutunu azaltmak,
- Su bağlayıcı oranını düşürmek,
- Viskoziteyi arttırmak,
- Serbest terlemeyi azaltmak,
- Su içeriğini düşürmek,
- Su/bağlayıcı oranını düşürmek,
- Yüksek özgül yüzey alanına sahip bağlayıcılar seçmek.

2.4.1.3 Geçiş yeteneği

Geçiş yeteneği, kendiliğinden yerleşen betonun, donatılar arasındaki dar açıklıklardan ayrışma ya da tıkanma olmaksızın akabilmesi olarak tanımlanabilir [30]. Donatılar arasından geçiş yeteneği, kendiliğinden yerleşen betonun dayanımını ve durabilitesini doğrudan etkileyen, son doldurma kapasitesini belirler [31]. Beton doldurulurken oluşan tıkanmalar, akış yeteneğinden çok karışımdaki iri agreganın sık donatılar arasından geçememesinden ve beton döküm işleminin yüksekten yapılmasından kaynaklanmaktadır.

Geçiş yeteneğini uygun agregalar ve kohezyon belirler. Bu özellikleri iyileştirmek için de dikkate alınması gereken durumlar aşağıda sıralanmıştır.

Kohezyonu arttırmak için;

- Su/bağlayıcı oranını düşürmek
- Viskoziteyi arttırmak
- Düşük iri agrega hacmi kullanmak
- En büyük iri agrega çapını azaltmak

Kendiliğinden yerleşme yeteneğini üç özellik ile tanımlanabilir; doldurma yeteneği, ayrışmaya karşı direnç ve geçiş yeteneği. Beton karışımında yapılacak değişikliklerin bu üç özelliğe ne şekilde etki edeceği aşağıda verilen çizelgeyle özetlenebilir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 : Tanımlanmış hataları düzeltebilecek olası eylemler [30].

Olası Eylemler		Etkiler					
		Doldurma Yeteneği	Geçiş Yeteneği	Ayrışma Direnci	Dayanıklılık	Rötre	Sünme
a	Yüksek Viskozite						
a1	su miktarını arttırmak	+	+	-	-	-	-
a2	hamur hacmini arttırmak	+	+	+	+	-	-
a3	akışkanlaştırıcı katkıyı arttırmak	+	+	-	+	0	0
b	Düşük Viskozite						
b1	su miktarını azaltmak	-	-	+	+	+	+
b2	hamur hacmini azaltmak	-	-	-	-	+	+
b3	akışkanlaştırıcı katkıyı azaltmak	-	-	+	-	0	0
b4	viskozite değiştirici katkıyı arttırmak	-	-	+	0	0	0
b5	ince bağlayıcılar kullanmak	+	+	+	0	-	-
b6	ince kum kullanmak	+	+	+	0	-	0
c	Yüksek Esneme Değeri						
c1	akışkanlaştırıcı katkıyı arttırmak	+	+	-	+	0	0
c2	hamur hacmini arttırmak	+	+	+	+	-	-
c3	harç hacmini arttırmak	+	+	+	+	-	-
d	Ayrışma						
d1	hamur hacmini arttırmak	+	+	+	+	-	-
d2	harç hacmini arttırmak	+	+	+	+	-	-
d3	su miktarını azaltmak	-	-	+	+	+	+
d4	ince bağlayıcılar kullanmak	+	+	+	0	-	-
e	Hızlı İşlenebilirlik Kaybı						
e1	reaksiyonu yavaş çimento kullanımı	0	0	-	-	0	0
e2	geciktiriciyi arttırmak	0	0	-	-	0	0
e3	farklı akışkanlaştırıcı katkı kullanmak	?	?	?	?	?	?
e4	filler malzemenin değiştirilmesi	?	?	?	?	?	?
f	Tıkanma						
f1	maksimum agrega boyutunu azaltmak	+	+	+	-	-	-
f2	hamur hacmini arttırmak	+	+	+	+	-	-
f3	harç hacmini arttırmak	+	+	+	+	-	-
g	Yanlış Sonuç						
g1	test koşullarını kontrol etmek	değ.	değ.	değ.	değ.	değ.	değ.
(0) anlamlı bir sonuç yok		(?) tahmin edilemeyen etki		(+) beton için iyi bir sonuç			
(-) beton için kötü bir sonuç		(değ.) değişken					

2.4.2 Kendiliğinden yerleşen betonların deney yöntemleri

KYB, TS EN 206-1'deki en yüksek kıvam değerinden daha yüksek kıvama sahiptir [11]. Bu nedenle de, bu standartta tarif edilmemiş bazı özelliklere sahip olmalıdır. Bir betona "KYB" denilebilmesi için aşağıdaki özelliklerin ölçülmesi ve ölçüm sonuçlarının da verilen sınır değerlerin içinde kalması gerekir.

Bu özellikler;

- Doldurma yeteneği
- Geçiş yeteneği
- Ayırmaya karşı direnç

KYB' ların üretiminden sonra ilk ölçülebilen özelliği işlenebilirliktir. Slump testi basit olduğundan işlenebilirliği ilk ölçen deney yöntemidir. Fakat tam olarak betonun özelliklerini yansıtamaz. Dolayısıyla bu parametrelerin ölçülmesi için bazı deney metotları geliştirilmiştir. Tüm bu özelliklerin her birini tek bir deney yöntemi ile belirlemek mümkün değildir. Bazen iki bazen daha fazla deney yöntemi kullanmak gerekir. Bu yöntemler ve kabul edilebilir limit değerler Çizelge 2.2' de verilmiştir.

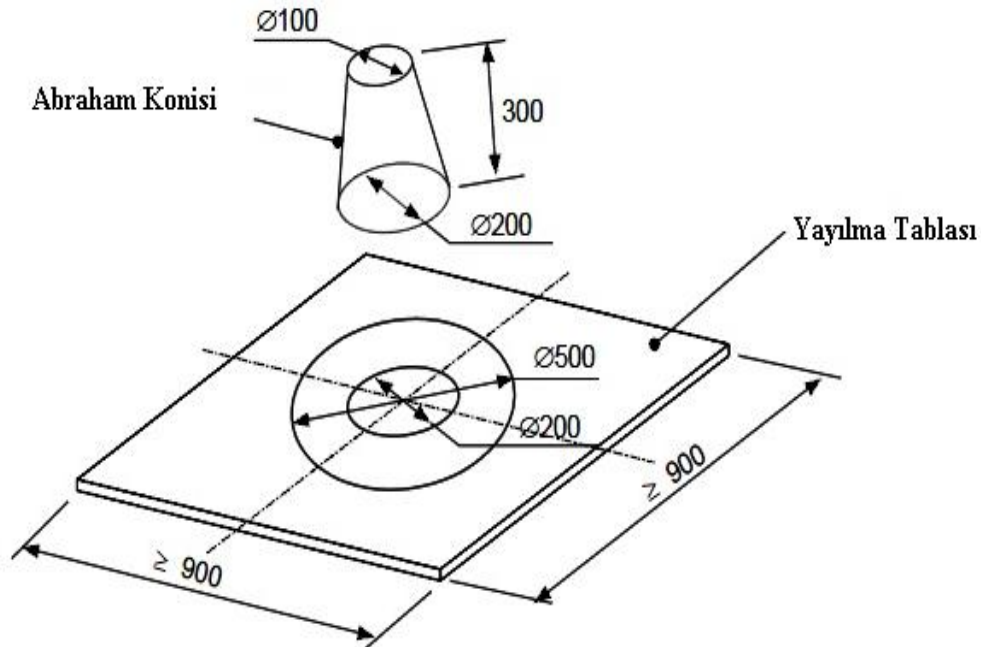
Çizelge 2.2 : Deney yöntemleri ve kabul edilebilir değerler [32].

Deney Yöntemi	Ölçülecek Özellik	Birim	Sınır Değer	
			En Küçük	En Büyük
Yayılma tablasında yayılma	Doldurma yeteneği	mm	650	800
Yayılma tablasında ilk 50 cm yayılma için geçen süre	Doldurma yeteneği	sn	2	5
V-hunisi	Doldurma yeteneği Ayırmaya karşı direnç	sn	6	12
U-kutusu Yükselme ölçümü (H)	Geçme yeteneği	mm	30	-
Doldurma kutusu	Geçme yeteneği	%	90	100

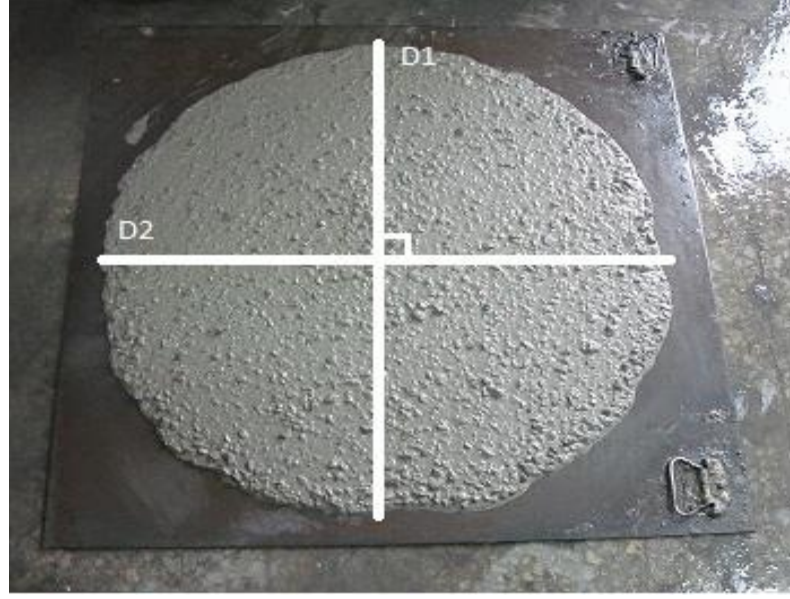
2.4.2.1 Çökme-yayılma deneyi

Betonun kendiliğinden yayılma özelliğini yani “doldurma kabiliyetini” ölçmek için kullanılan en yaygın yöntemdir. Bu yöntem, hiçbir engelin bulunmadığı durumda, betonun kendi ağırlığı ile serbest olarak deforme olabilme yeteneğini incelemek amacıyla uygulanır. Donatıların bulunduğu kalıpta ise, beton serbestçe bu özelliği gösteremez [33]. Taze haldeki KYB' un şekil değiştirme hızı ve numunenin kendi ağırlığı ile yayılarak oluşturacağı çap belirlenir. Kolay uygulanabilir olan çökme-yayılma deneyi laboratuvar ortamında uygulanabildiği gibi şantiye alanında da yapılabilir. Sağlıklı veriler elde edebilmek için bu deney en az iki kişiyle yapılmalıdır. Deney aletleri olarak slump hunisi, en az 80*80 cm ölçülerde yayılma

tablası, bir adet kronometre ve metre kullanılır. Üzerinde 20 cm ve 50 cm çaplı iki daire çizilmiş olan yayılma tablası mutlaka düz bir zemine yerleştirilmeli ve yüzeyi ıslaklık bırakılmadan nemlendirilmelidir. Detaylı ölçüleri Şekil 2.2’ de gösterilen slump hunisi yayılma tablasının ortasına yerleştirildikten sonra içine beton doldurulur ve yüzey tesfiyesi yapılır. Daha sonra tablaya dik şekilde çekilen huniyle birlikte kronometre başlatılır. Yayılmaya başlayan betonun 50 cm’ lik daireye gelene kadar geçen zaman (sn) olan T_{50} süresi ölçülür. Hiçbir müdahale yapılmadan betonun yayılmasına izin verilir. İlerleme durduğunda, Şekil 2.3’ te gösterildiği gibi son yayılma çapı birbirine dik iki ölçümle elde edilirken, bu yayılma oluşana kadar geçen süre not edilir. Elde edilen deney sonuçlarına göre, betonun akışkanlığına ve doldurma kabiliyetine ilişkin değerlendirmeler yapılabilir. Buna göre verilen sınır değerlerde belirtilen 600 mm’ lik yayılma miktarı aşıldığında kendiliğinden yerleşebilirlik sağlanmış demektir. Buna ek olarak, saniye olarak ölçülen T_{50} süresi, yerleşmenin en hızlı olduğu durumda gözlenir. Bu sürenin az ya da fazla olması betonun viskozitesine bağlıdır. T_{50} zamanının 3-6 sn arasında olması önerilir. Yayılma çapının ise 600 mm ile 800 mm arasında olması beklenir. Çökme-yayılma deneyi hızlı ve kolay uygulanabilir bir deney olduğundan, hem laboratuvar ortamında hem de sahada rahatlıkla uygulanabilir [34].



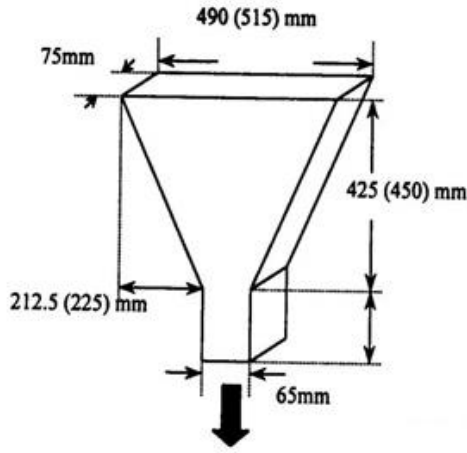
Şekil 2.2 : Slump hunisi ve yayılma tablası [35].



Şekil 2.3 : Yayılma Tablasında D1 ve D2 yayılma çapları.

2.4.2.2 V-hunisi deneyi

KYB' nin dar bir kesitten kendi ağırlığı altında geçiş yeteneğini incelemek amacıyla yapılan bir deneydir. Betonun akış hızının ölçüldüğü bu deneyde, belirli aralıklarla belirlenen akış sürelerinin kullanılmasıyla ayrışma direnci hakkında da bilgi edinilebilir. Ayrıca ölçülen akış zamanı değerinin kısa veya uzun olması, betonun viskozitesi hakkında fikir sahibi olunmasını sağlayabilir. Deney düzeneği isminden de anlaşılacağı gibi V şeklinde dikdörtgen kesitli bir huniden oluşmaktadır. Yaklaşık 12 litrelik hacime sahip olan bu huninin detaylı ölçüleri ve örnek resmi Şekil 2.4' te gösterilmiştir. Daralan huninin alt kısmında betonun akmasını sağlayan bir kapak bulunmaktadır. Deney yapılmadan önce düzeneğin iç kısmı ıslaklık olmayacak şekilde nemlendirilmelidir. Üst yüzeye kadar betonla doldurulan huninin alt kapağı açılarak betonun akışa geçmesi sağlanır ve süre başlatılır. Akış sırasında hiçbir müdahale yapılmadan, alt kesitten ışığın görüldüğü ana kadar geçen süre ölçülür. Akış süresince, bloklanma nedeni ile engellenme gözlemlenir ise not edilir. V-hunisi deneyinde bu sürenin 10-12 saniye civarında olması beklenir. Ayrıca belirli zaman aralıklarında tekrarlanan deneylerde ölçülen akış süreleri arasında oluşacak fark, betonun ayrışma direnci hakkında bilgi vermektedir [36]. V-hunisi testinde geçiş yeteneği ve viskozite gözlemlenebilir. Fakat bu test ile başka viskozite deneyleri arasında farklılık olabilir. Bunun sebebi ise, karışımdaki agrega miktarı, boyutu ve dağılımı ile hamur miktarıdır [37].

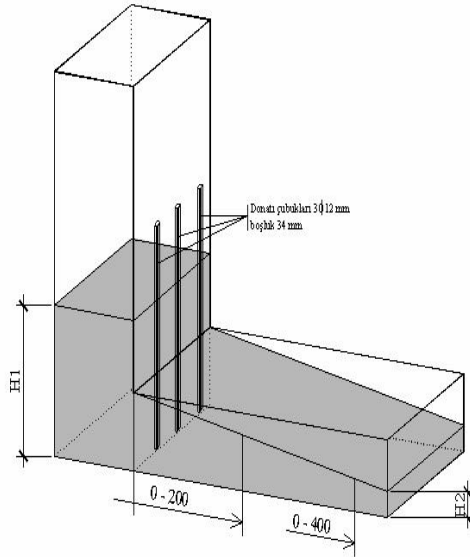


Şekil 2.4 : V-hunisi detaylı ölçüleri ve örnek resim.

2.4.2.3 L-kutusu deneyi

Bu deney düzeneği, ilk olarak Sonebi tarafından su altı betonları ile ilgili yapılan çalışmalarda, betonun akış kabiliyetini değerlendirmek için tasarlanmış olan L-Flow adlı deney düzeneği esas alınarak oluşturulmuştur. İlerleyen yıllarda Petersson tarafından geliştirilerek günümüzdeki halini alması sağlanmıştır. Bu deneyde amaç, KYB' ların yerleşme yeteneğinin, doldurma yeteneğinin, geçiş yeteneğinin ve ayrışmaya karşı direncinin L şeklindeki bir kutu içerisinde gözlenmesidir. Deney düzeneğinde bulunan donatıların serbest akışa etkisini tayin etmek mümkündür [38].

Kare kesite sahip L şeklinde bir kutu olan bu düzeneğin alt açıklığında 12 mm çapında ve 34 mm aralıklarla dikey şekilde konmuş çelik donatı yerleştirilmiştir. Başlangıçta bu açıklık sürgülü bir kapakla kapatılmıştır. Deneye başlamadan önce, düzeneğin iç yüzeyleri nemlendirilir. Düşey kutu yaklaşık 12 litre taze beton ile herhangi bir şişleme yapılmadan doldurulur. Sürgülü kapak yukarıya çekilmek suretiyle deneye başlanır ve herhangi bir müdahale yapılmadan betonun kendi ağırlığıyla yatay kesitli kutuda akması sağlanır. Bu test sırasında iki ölçüm gerçekleştirilir. Birinci ölçüm önceden kutunun yatay haznesine işaretlenen 20 cm ve 40 cm'lik mesafelere ulaşma süreleri olan T_{20} ve T_{40} ' ın tespitidir. İkinci ölçüm ise akışın bitmesiyle taze betonun L-kutusunun son ve baş kısımlarındaki yükseklikleri arasındaki orandır. Bu engelleme oranı, yatay kutunun sonundaki beton yüksekliği olan H_2 ' nin düşey doğrultudaki en büyük yükseklik olan H_1 ' e bölünmesiyle elde edilir (H_2/H_1). Engelleme oranı ile birlikte T_{20} ve T_{40} süreleri karışımın tıkanma olasılığı ile ilgili bilgi edinilmesini sağlar. Bu değerlerin tümü Şekil 2.5' te gösterilmiştir.

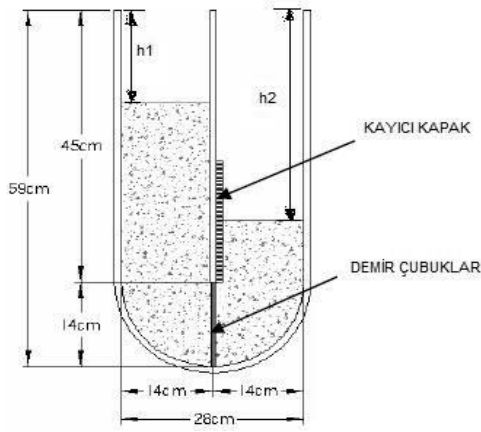


Şekil 2.5 : L-kutusu deney düzeneği ve örnek resim.

Bu değerler için belirtilmiş olan bazı sınır değerler mevcuttur. H_2/H_1 oranının 0,8 ile 1,0 arasında olması, T_{20} süresinin 1,5 saniyeden, T_{40} süresinin de 3,5 saniyeden az olması önerilmektedir [34].

2.4.2.4 U-kutusu deneyi

Bu deney yöntemi, kendiliğinden yerleşen betonlarda ve su altı betonlarında, geçiş yeteneği ve doldurma kapasitesini belirlemek amacıyla uygulanmaktadır. U kutusu, U şeklinde bir düzenek olup, ortadan bir bölmeyle ikiye ayrılmıştır. Bölmenin altında 19 cm' lik bir boşluk bulunmaktadır. Bu boşluk sürgülü bir plaka ile kapatılabilmektedir. Ayrıca bu açıklığın bulunduğu bölgede düşey doğrultuda aralarında 35 mm mesafe bulunan çelik donatılar vardır. Deneye başlanmadan önce, alt bölümdeki kapak kapatılmalı ve düzeneğin iç yüzeyi nemlendirilmelidir. Bölmelerden birine yaklaşık 20 litre beton doldurulur ve bir dakika kadar bekletilir. Kapağın açılmasıyla birlikte hiçbir müdahale yapılmadan betonun kendi ağırlığı ile akışına izin verilir. Belirli bir seviyeye kadar diğer bölmeyi dolduran betonun, bu işlemi gerçekleştirene kadar geçen süre ve iki bölmedeki beton seviyeleri ölçülür. Her iki haznedeki beton yükseklikleri üç farklı noktadan ölçülür ve ortalama değerler kullanılarak yükseklik farkı hesaplanır. Ayrıca iki yükseklik arasındaki oran kullanılarak da değerlendirme yapılabilir. Buna göre yapılacak değerlendirmede h_1/h_2 oranının 1,0' a yakın olması beklenir (Şekil 2.6). Elde edilen değerler betonun hem engellerden geçme yeteneği hem de doldurma yeteneği hakkında bilgi vermektedir [30, 33, 38].



Şekil 2.6 : U-kutusu deney düzeneği ve örnek resim.

2.4.3 Lif katkılı kendiliğinden yerleşen betonlar

Kendiliğinden yerleşen betonlar, yüksek dayanımları ve durabiliteleri sayesinde yüksek performanslı beton olarak da adlandırılabilir. Basınç yüklemesi altındaki bir betonda en yüksek gerilmeye kadar yutulan bağıl enerji basınç dayanımındaki artış ile azalmaktadır. Öte yandan basınç dayanımı arttıkça “yarılma çekme dayanımı/ basınç dayanımı” oranı azalmaktadır. Diğer bir deyişle basınç dayanımı arttıkça beton gevrek bir davranış sergilemektedir [39]. Dış yükler altında gevrek davranış sergileyen yalın beton karışımına süneklik kazandırmak için çelik veya sentetik lif ilave edilebilir. Lif katkılı betonlar günümüzde tünel yapıları, prefabrike elemanlar ve endüstriyel zeminlerde kullanılmaktadır [40].

Gevrek bir malzeme olan betona sünek bir yapı kazandırmak amacıyla yapılan lif ilavesiyle, betonun bazı mekanik özelliklerinde iyileşme yaratılabilir. Lif kullanımı betonda dayanımı, çatlak kontrolünü, şekil değiştirme kapasitesini ve durabilitayı arttırmak mümkündür. Bunun için çelik veya sentetik lifler kullanılmaktadır. Çelik lifler; tip, boyut, narinlik oranı (boy/çap), geometrik özellikler, çekme dayanımı ve lif-matris aderansı gibi parametrelerle tanımlanırlar. Kullanılacak lif miktarı da bu özellikler dikkate alınarak belirlenmelidir. Sentetik lif çeşidi olan polipropilen lifler ise özellikle erken yaştaki rötre çatlaklarının önlenip durabilitenin artırılması amacıyla kullanılır [41]. KYB’ lerde su/bağlayıcı oranının düşük olması, terlemeyi önleyici katkı kullanılması ve uçucu kül veya silis dumanı kullanılarak ince malzeme miktarının artırılması ve böylece terlemenin neredeyse tamamen yok olması betonu plastik rötreye karşı hassas bir duruma getirmektedir. Bu nedenle oluşabilecek plastik rötre çatlaklarını önlemek amacıyla çok az miktarda

da olsa polipropilen lif kullanılması çatlakları önlemede ve betonun durabilitesinin artması yönünde önemli yararlar sağlamaktadır [42].

Yapılan deneylerde, kendiliğinden yerleşen beton karışımlarında kullanılan çelik lif ve polipropilen liflerin, betonun işlenebilirliğine etki ettiği görülmüştür. Özellikle çelik liflerin betonun işlenebilirlik parametrelerini polipropilen liflere oranla daha fazla azalttığı gözlenmiştir [26, 43]. Ayrıca karışımda kullanılan liflerin betonun enerji yutma kapasitesini arttırdığı gözlenmiştir [21].

Çelik lifler ve sentetik lifler karışımlarda ayrı ayrı kullanılabildiği gibi, birlikte de kullanılmaktadır. Bu tip karışımlarda, makro ölçüdeki çelik lifler, yapıda oluşan makro boyuttaki çatlakları, mikro boyutlu sentetik lifler ise, çatlaklar büyümeden etkili olurlar. Polimer esaslı sentetik liflerin boyutları küçük olduğu için, matrisin içinde her yere kolayca dağılabildiklerinden çatlakların başlamasını ve gelişmesini kontrol edebilirler. Ayrıca düşük erime sıcaklığına sahip bu tip liflerin yangına karşı direnç sağladıkları da bilinmektedir.

2.5 Yüksek Dayanıma Sahip Kendiliğinden Yerleşen Betonların Yapıya Etkisi

Son yıllarda yaşanan depremlerle birlikte, yapılarda kullanılan beton kalitesi büyük önem kazanmıştır. Kalitesiz bir beton düşey yükler altında yeterli gibi görünebilir; fakat yatay yüklerin etkimesi durumunda, betonun ufalanıp dağıldığı ve donatı ile aderansı sağlayamadığı gözlenmektedir. Kaliteli bir beton ise, basınç gerilmelerine dayanıklı olmasının yanı sıra, donatıyı sararak sıyrılmasına engel olan ve dış etkilere karşı dayanıklı olan betondur.

Kaliteli betonlar, yüksek mukavemet özelliklerinin yanı sıra, durabilite, geçirimsizlik vb. gibi birçok yönden yarar sağlayan betonlardır. Dayanımı yüksek bir yapı inşa edilmesi, iyi kalitede malzeme kullanılarak mümkün olacaktır. Bu malzemelerin büyük bir kısmını da beton oluşturmaktadır. Bu nedendir ki, kaliteli bir beton yapının kalitesi ve ömrünü direkt olarak arttırmaktadır. Beton kalitesinin artmasıyla yapı maliyetinde de artış olacağı düşüncesi yaygın bir görüş olsa da, yapılan çalışmalar, yapıların tasarruf sağlanarak da yapılabileceğini göstermiştir. Ergün ve Lüle (2008) ve Özkan (2004) yaptıkları çalışmalarda, beton dayanım sınıfının artmasıyla, kullanılan demir ve beton miktarında gözle görülür bir azalma meydana geldiğini; ancak bir noktadan sonra bu değerlerin dengelendiğini belirtmişlerdir.

Kesit küçülmelerine imkan veren yüksek dayanımlı betonların kullanılmasıyla, yapıya etkiyen deprem yükünün azaldığı, aynı zamanda yapı maliyetinin düştüğü anlaşılmaktadır. Kalite artarken maliyetin artmaması hatta azalması, bize dayanımı yüksek bir yapının tasarruf sağlanarak da yapılabileceğini göstermektedir [44, 45].

Yapılarda daha yüksek sınıflarda betonların kullanılmasıyla, kesitler daralacak ve binaların kullanım alanları genişleyecektir. Ağır ve hantal yapılar yerine hafif ve narin yapılar yapıldıkça, deprem etkisine dayanıklı, yıkılma riski az binalar ortaya çıkacaktır.

Kendiliğinden yerleşme özelliğine sahip betonların, yüksek dayanımlarının yanı sıra homojen ve sürekli olması nedeni ile dış etkilere karşı dayanıklı olması önemli bir tercih sebebidir. Yapı ömrüne doğrudan etki eden bu özellikler sayesinde, kendiliğinden yerleşen betonlar yaygın kullanım alanlarına sahiptir. Bu tip betonlar kullanılarak yapılan yapıların deprem etkisinde güvenli bir davranış sergilediği bilinmektedir. Ayrıca depremde hasar gören yapıların güçlendirilmesinde büyük kolaylık sağlamaktadır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

3.1.1 Çimento

Ayazağa ve Cebeci karışımlarında Set Çimento ürünü olan CEM I 52,5 tipinde çimento kullanılmıştır. Her iki tip betonda çimento miktarı 425 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Bu çimento tipinin fiziksel özellikleri, kimyasal özellikleri ve basınç dayanımı sırasıyla Çizelge 3.1, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3’ te verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Portland çimentosunun fiziksel özellikleri.

Fiziksel Özellikler (TS EN 197-1)	Birim	Sonuçlar
Blaine Özgül Yüzey	cm^2/gr	3830
$\mu 90$ Elekte Kalan	%	0,1
$\mu 40$ Elekte Kalan	%	4,0
Priz Başlangıcı	Dakika	130
Priz sonu	Dakika	200
Hacim Genleşmesi	Mm	2
Özgül Ağırlık	gr/cm^3	3,15

Çizelge 3.2 : Portland çimentosunun kimyasal özellikleri.

Kimyasal Özellikler (TS EN 197-1)	Birim	Sonuçlar
SiO_2	%	21,25
Al_2O_3	%	4,90
Fe_2O_3	%	3,00
CaO	%	64,66
MgO	%	1,14
K_2O	%	0,71
Na_2O	%	0,29
SO_3	%	2,41
Kızdırma Kaybı	%	1,86

Çizelge 3.3 : Portland çimentosunun basınç dayanımı.

Basınç Dayanımı (TS EN 197-1)	N/mm²
2 günlük	28,0
7 günlük	48,7
28 günlük	63,9

3.1.2 Cüruf

Çalışmada, Ereğli Demir Çelik fabrikasında üretilen öğütülmüş %100 cüruf kullanılmıştır. Her iki beton tipi için de cüruf miktarı 100 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Öğütülmüş cürufa ait fiziksel ve kimyasal özellikler sırasıyla Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5’ te verilmiştir.

Çizelge 3.4 : Cürufun fiziksel özellikleri.

Fiziksel Özellikler (TS EN 197-1)	Birim	Sonuçlar
µ40 Elekte Kalan	%	1,00
µ90 Elekte Kalan	%	0,00
Özgül Ağırlık	gr/cm ³	2,89
Blaine Özgül Yüzey	cm ²	3838

Çizelge 3.5 : Cürufun kimyasal özellikleri.

Kimyasal Özellikler (TS EN 197-1)	Birim	Sonuçlar
SiO₂	%	39,99
AlO₃	%	14,50
Fe₂O₃	%	0,90
CaO	%	33,43
MgO	%	5,58
SO₃	%	0,00
K₂O	%	0,82
Na₂O	%	0,70
Kızdırma Kaybı	%	0,38

3.1.3 Silis dumanı

Deneylerde çimentoya ek olarak puzolanik etkisi bulunan Elkem marka ithal silis dumanı da kullanılmıştır. Ayazağa ve Cebeci karışımlarında kullanım miktarı 25kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Silis dumanının özgül ağırlığı $2,26\text{ g/cm}^3$ tür.

3.1.4 Agregası

Üretilen betonlarda agrega olarak; doğal kum, kırma kum ve 1 numara kırma taş kullanılmıştır. Ayazağa ve Cebeci betonlarında kullanılan doğal kum aynı olup, kırma kum ve 1 numara kırma taş farklılık göstermektedir. Karışımlarda 559 kg/m^3 doğal kum, 211 kg/m^3 kırma kum ve 967 kg/m^3 1 numara kırma taş kullanılmıştır. Beton karışımlarındaki agregalara ait bazı deney sonuçları Çizelge 3.6' da ve elek analizi sonuçları da Çizelge 3.7' de verilmiştir.

Çizelge 3.6 : Cebeci ve Ayazağa betonlarına ait agrega deneyleri ve sonuçları.

Deney Adı	Birim	Cebeci			Ayazağa		Test Standardı
		D. Kum	K. Kum	No: 1	K. Kum	No: 1	
Agregaların Kum Eşdeğerliği Deneyi	-	92,00	72,00	-	76,00	-	TS EN 933-8
Agregaların Metilen Mavisini Deneyi	g(boya)/kg	0,70	0,50	-	0,70	-	TS EN 933-9
Agregaların Gevşek Yığın Yoğunluğu Tayini (ρ_b)	mgram/ m^3	1,42	1,50	1,34	1,51	1,35	TS EN 1097-3
Boşluk Hacmi Tayini (v)	%	45,00	43,00	50,00	43,00	50,00	
Agregaların YKSD Tane Yoğunluğu Tayini (ρ_{ssd})	mgram/ m^3	2,61	2,69	2,71	2,69	2,71	TS EN 1097-6
Agregaların Kuru Tane Yoğunluğu Tayini (ρ_p)	mgram/ m^3	2,58	2,65	2,70	2,65	2,69	
Su Emme Oranı Tayini	%	1,20	1,40	0,60	1,40	0,70	

D.Kum: Doğal Kum, K.Kum: Kırma Kum, No: 1: 1 numara Kırma Taş

Çizelge 3.7 : Agregaların elek analizi sonuçları.

Agregaların Tane Boyutu Dağılımı (TS 3530 EN 933-1)					
Elek Altı Kümülatif Yüzdesi (% , ağırlıkça)					
Elek Boyutu (mm)	Cebeci			Ayazağa	
	D. Kum	K. Kum	No: 1	K. Kum	No: 1
16,00	100	100	100	100	100
8,00	100	100	51	100	54
4,00	100	87	2	92	3
2,00	100	57	1	60	2
1,00	100	29	1	39	0
0,50	98	17	0	22	0
0,25	19	8	0	10	0
0,125	2	6	0	4	0
0,063	1	2	0	2	0

D.Kum: Doğal Kum, **K.Kum:** Kırma Kum, **No: 1:** 1 Numara Kırma Taş

3.1.5 Akışkanlaştırıcı katkı

Beton karışımlarında kullanılan kimyasal katkılar çok küçük dozajda bile yüksek yayılma gösteren, basınç dayanımını ise çok az etkileyen özelliğe sahiptir. Bu kimyasallar, beton üretiminde genellikle sabit işlenebilirlikte su kesme amacıyla kullanılmaktadır. Yüksek işlenebilirliğe sahip kendiliğinden yerleşen uygulamalarında ise sadece işlenebilirliği arttırmak amacıyla da kullanılabilirler.

Beton karışımlarında kullanılan kimyasal katkılar çimento ile temel olarak fiziksel bir etkileşime girer. Bu etki ile çimentonun hidrasyon hızını ve oranını değiştirebilir. Kimyasal katkılar, her ne kadar çimento hamuru ile kimyasal bir etkileşime girmese de, dolaylı yoldan hidrasyonu yavaşlatabilir ya da hızlandırabilir [46].

Bu çalışmada su ihtiyacını büyük oranda azaltan kendiliğinden yerleşen betonlar için üretilmiş yeni nesil bir süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi olan, Grace firmasının ürettiği ADVA Flow 450 katkı kullanılmıştır. Polikarboksilat esaslı bir madde olan bu katkı, Ayazağa karışımında çimento miktarının %1,20' si, Cebeci karışımında ise çimento miktarının %1,10' u kadar kullanılmıştır. Özgül ağırlığı 1,11 g/cm³ olan bu katkı, homojen bir yapıya sahip olmasının yanı sıra %43 oranında katı madde içermektedir.

3.2 Karışım Oranları

İstenilen dayanım ve durabilite özelliklerini elde etmek için yapılan tasarımlar sonucunda, hem Ayazağa karışımı için hem de Cebeci karışımı için karışım tasarımı belirlenebilmiştir. Kullanılan malzemelerin özellikleri dikkate alınarak yapılan başlangıç tasarımı Çizelge 3.8’ de gösterildiği gibi her iki karışım tipi için de ortak belirlenmiştir. Sadece kullanılan akışkanlaştırıcı miktarı değişiklik göstermektedir.

Çizelge 3.8 : Ayazağa ve Cebeci başlangıç karışım tasarımları.

1m ³ için kg değerleri									
Kayıt No	Çimento	Su	Doğal Kum	Kırma Kum	1 No. K.taş	Silika	Cüruf	Katkı	Birim Ağırlık
Ayazağa	425	150	559	211	967	25	100	6,9	2443
Cebeci	425	150	559	211	967	25	100	6,33	2443

Yüksek dayanım ve kendiliğinden yerleşme özelliği amaçlanan bu çalışmada, betonun geçiş yeteneğini arttırmak için en büyük iri agrega boyutuna sınır getirilmiştir. Bu nedenle de karışımlarda iri agrega olarak sadece 1 numara kırma taş kullanılmıştır. Terlemeyi azaltmak amacıyla karışım suyu miktarı azaltılmış, cüruf ve silis dumanı gibi yüzey alanı geniş bağlayıcılar kullanılarak fazla suyun emilimi sağlanmıştır. Ayrıca azaltılan su-bağlayıcı oranı ile birlikte kohezyonu arttırılan betonun geçiş yeteneği ile birlikte ayrışmaya karşı direnci de iyileştirilmiştir. Süper akışkanlaştırıcı madde kullanımı ile betonun akışkanlığı oldukça geliştirilmiş, taze haldeki numunelerde terleme ve ayrışma olmamasına dikkat edilmiştir.

Karışımlarda kullanılan doğal kum, kırma kum ve 1 no. kırma taş gibi malzemelerin miktarı, her beton dökümünden önce rutubet düzeltmeleri yapılarak tekrar belirlenmiştir. Bu malzemeler tartılmadan önce harmanlanarak karıştırılmıştır. Her harmandan alınan numuneler etüvde kurutulduktan sonra içerdiği nem miktarı belirlenmiş ve buna göre gerekli düzeltmeler yapılarak karışım tasarımı oluşturulmuştur. Cebeci ve Ayazağa tip betonları için kullanılan karışım tasarımları Çizelge 3.9 ve 3.10’ da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9 : Cebeci karışım tasarımı.

1m³ için kg değerleri									
Kayıt No	Çimento	Su	Doğal Kum	Kırma Kum	1 No. K.taş	Silika	Cüruf	Katkı	Birim Ağırlık
1177 C	425	129	580	212	967	25	100	6,33	2443
1178 C	425	133	576	211	967	25	100	6,33	2443
1179 C	425	133	575	212	968	25	100	6,33	2443
1192 C	425	120	589	212	966	25	100	6,33	2443

Çizelge 3.10 : Ayazağa karışım tasarımı.

1m³ için kg değerleri									
Kayıt No	Çimento	Su	Doğal Kum	Kırma Kum	1 No. K.taş	Silika	Cüruf	Katkı	Birim Ağırlık
1174 A	425	110	576	230	970	25	100	6,9	2443
1176 A	425	135	560	224	967	25	100	6,9	2443
1180 A	425	118	577	228	963	25	100	6,9	2443
1181 A	425	118	577	228	963	25	100	6,9	2443
1196 A	425	125	589	209	963	25	100	6,9	2443

Normal betonlara göre içeriğinde yapılan değişiklikler sebebiyle, kendiliğinden yerleşen betonların yapımında kullanılan malzemeler ve bu malzemelerin birbirlerine oranları büyük önem kazanmaktadır. Ayazağa ve Cebeci karışımlarında su/çimento, su/bağlayıcı, ince agregalı/iri agregalı ve hamur hacmi/agrega hacmi oranları belirlenmiştir. Her iki tip beton için elde edilen değerler Çizelge 3.11’ de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11 : Ayazağa ve Cebeci betonları karışım oranları.

Karışım Oranları				
Tip	S/Ç	S/B	İn.A/İr.A.	H/A
Ayazağa	0,35	0,27	0,80	0,28
Cebeci	0,35	0,27	0,80	0,28

S/Ç : Su/Çimento
S/B : Su/Bağlayıcı
İn.A./İr.A. : İnce Agregalı/İri Agregalı
H/A : Hamur Hacmi/Agrega Hacmi

3.3 Üretimde İzlenen Sıra

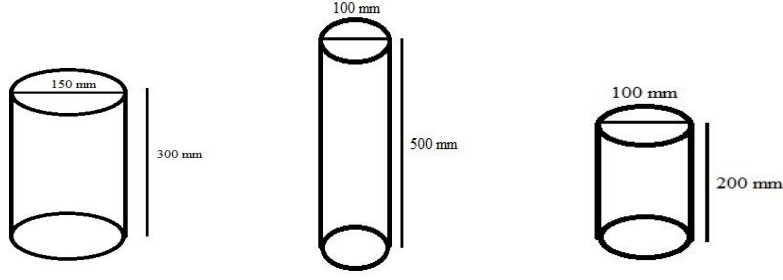
- Çimento, cüruf, iri ve ince agregalardan oluşan kuru karışımın 60 saniye süre ile karıştırılması,
- Mikro silika ve karışım suyunun bir kısmının ayrı bir karıştırıcıda 60 saniye süre ile karıştırılması,
- Karışım suyuyla karıştırılan mikro silikanın kuru karışıma ilave edilmesi ve yaklaşık 30 saniye karıştırılması,
- Kalan suyun karıştırma sırasında yavaş yavaş ilave edilmesi,
- Akışkanlaştırıcı katkının ilave edilmesi ve karışımın 5 dakika süre ile karıştırılması,
- Lifli karışımlarda, liflerin katılması ve 2 dakika süre ile karıştırılması,
- Birim ağırlık ve hava içeriği testlerinin yapılması,
- Çökme-yayılma, V-Hunisi, U-Kutusu, L-Kutusu deneylerinin yapılması,
- Betonun numune kalıplarına alınması
- Kalıplara alınan numunelerin bir gün sonra kalıplardan çıkarılması,
- Kalıplardan çıkarılan numunelerin deney zamanına kadar kür odasında tutulması,

3.4 Numune Şekil ve Boyutları

Yüksek dayanımlı, kendiliğinden yerleşen beton elde etmek amacıyla numunelere tüm beton deneyleri yapılmıştır. Bu nedenle de üretilen her parti betondan alınan numuneler değişiklik göstermiştir. Yapılan deneylere göre farklı boyutlarda numuneler alınmıştır. Numune kalıpları betonla doldurulmadan önce mutlaka temizlenmiş ve iç yüzeyleri yağlanmıştır.

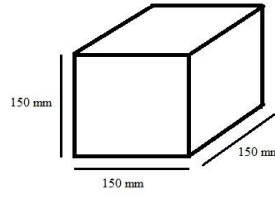
Üçer adet 150x300 mm silindir numuneler, basınç, yarma-çekme, elastisite modülü, donma-çözünme, adiyabatik ısı ve düzlemsel kesit ile hava boşluklarının incelenmesi deneylerinde kullanılmıştır. Düzlemsel kesit deneyinde silindir numuneden kesilen 100x20x200 mm ölçülerindeki numuneler kullanılmıştır.

Üçer adet 100x500 mm silindir numuneler rötire ve sünme deneyinde kullanılmıştır. Üçer adet 100x200 mm silindir numunelerle ya da bu numunelerden alınan karot örnekleriyle hızlı klor geçirimliği, yavaş klor geçirimliği ve kılcal su emme deneyleri yapılmıştır.



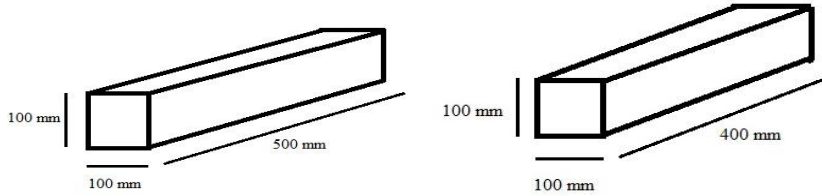
Şekil 3.1 : Silindir numune boyutları.

Üçer adet 150x150x150 mm küp numuneler, basınçlı su emme ve yüzeysel su emme (İSAT) deneylerinde kullanılmıştır.



Şekil 3.2 : Küp numune boyutları.

En az üçer adet olmak üzere 100x100x500 mm prizmatik numuneler eğilme ve RILEM kırılma enerjisi testlerinde kullanılmıştır. Üçer adet 100x100x400 mm prizmatik numuneler termal genleşme deneyinde kullanılmıştır.



Şekil 3.3 : Prizma numune boyutları.

3.5 Numunelerin Kodlanması

Bu çalışmada Ayazağa ve Cebeci olmak üzere iki tip beton üretilmiştir. Yüksek dayanıma sahip kendiliğinden yerleşen beton özelliklerine sahip bu iki tip karışımda kullanılan 1. no kırma taş ve kırma kum dışındaki tüm bileşenler ortaktır. Her iki tip beton karışımının kodlanmasında önce FC harfleri sonra da beton döküm numaraları kullanılmıştır. Yapılan deneylerde kullanılan beton tipini ayırt edebilmek için de Cebeci' yi belirtmek için C, Ayazağa' yı belirtmek için ise A harfi kullanılmıştır. Buna göre FC1174 A, 1174 döküm numarasına sahip Ayazağa tip karışım ve

FC1177 C Cebeci tip karışımı ifade etmektedir. Farklı döküm zamanlarına sahip olmalarına rağmen aynı özellikleri taşıdıklarından, tüm A harfli karışımlar Ayazağa, tüm C harfli karışımlar ise Cebeci olarak belirtilmiştir.

3.6 Taze Beton Deneyleri

3.6.1 Birim ağırlık

Taze betonun birim ağırlığı (yoğunluğu) belirli bir hacimdeki betonun ağırlığının ölçülmesiyle hesaplanabilmektedir. Pratikte, genellikle hava miktarını ölçmeden önce numune kabındaki betonun ağırlığı bulunularak birim ağırlık hesap edilir. Birim ağırlık hazırlanacak olan betonun hacmini saptamakta kullanılır. Bu deney genellikle betondaki hava miktarını ölçmede kullanılan aletle yapılmaktadır. Yaklaşık 8 litrelik hacme sahip kaba, herhangi bir vibrasyon ya da şişleme işlemi yapılmadan beton numunesi doldurularak tartım yapılmıştır. Kabin darası çıkarıldıktan sonra bulunan beton ağırlığı kap hacmine oranlanarak betonun birim ağırlığı elde edilmiştir. Bu deney TS EN 12350-6 standardına bağlı kalınarak yapılmıştır.



Şekil 3.4 : Birim ağırlığı ölçmekte kullanılan hacmi belli kap.

3.6.2 Hava miktarı

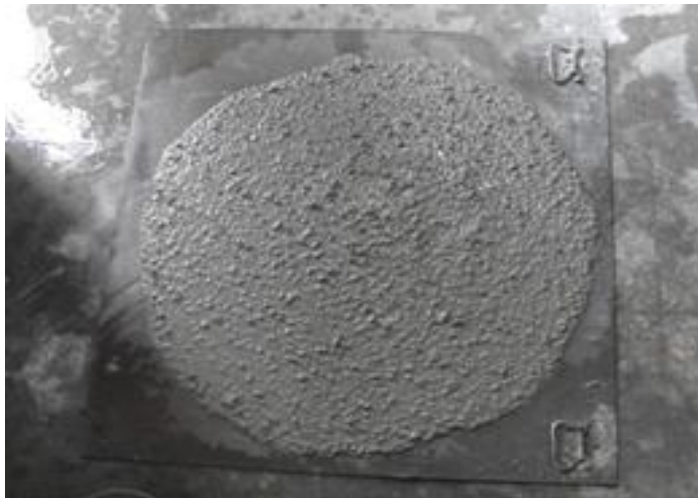
Taze betondaki hava hacmini ölçmek, A ya da B tipi hava ölçerler kullanılarak yapılabilmektedir. Yapılan çalışmalarda B tipi hava ölçer tercih edilmiştir. Birim ağırlığı ölçülen beton, kaptan çıkarılmadan alet kapağı kapatılarak sabitlenmiştir. Düzeneğin içine dolana kadar su enjekte edildikten sonra, vana kapatılarak hava pompalanmıştır. Hava göstergesindeki ibrenin ucundaki değer okunarak, taze beton içindeki hava miktarı not edilmiştir. Bu deney TS EN 12350-7 standardına bağlı kalınarak yapılmıştır.



Şekil 3.5 : B tipi hava ölçme aleti.

3.6.3 Serbest yayılma

Üretilen kendiliğinden yerleşen betonların hiçbir engelin bulunmadığı durumda, kendi ağırlığı altında serbest halde deforme yeteneğini ölçmek amacı ile serbest yayılma deneyi uygulanmıştır. Bu deneyde yayılma hunisi ve yayılma tablası kullanılmıştır. Düz bir zeminde yapılan deneyde, yayılmanın 50 cm' lik çapa ulaşma süresi olan T_{50} süresi, son yayılma süresi olan T_{son} ve son yayılma çapı ölçülmüştür. Yayılma çapı, birbirine dik iki çapın ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Yapılan deneylerde, T_{50} süresinin düşük, son yayılma çapının da 60 cm' den yüksek olması amaçlanmıştır. Ayrıca betonda ayrışma ve terleme olup olmadığı gözlenmiştir. Bu deney TS EN 12350-2 standardına bağlı kalınarak yapılmıştır.



Şekil 3.6 : Yayılmasını tamamlamış kendiliğinden yerleşen beton.

3.6.4 V-hunisi

Üretilen kendiliğinden yerleşen betonun dar bir kesitten kendi ağırlığı altında geçiş yeteneğini incelemek amacı ile üretilen taze betonlara V-Hunisi testi uygulanmıştır. 12 litre hacimli huni şeklindeki deney düzeneğinin alt kısmında 5*5 cm kapak bulunmaktadır. Herhangi bir şişleme ya da vibrasyon yapılmadan doldurulan taze beton numunesinin kendi ağırlığı ile akmasına izin verilmiştir. Alt kapağın açılmasından sonra betonun boşalmasına kadar geçen süre tespit edilmiştir.



Şekil 3.7 : Betonla doldurulmuş V-hunisi.

3.6.5 L-kutusu

Üretilen kendiliğinden yerleşen betonun akış yeteneğini ve tıkanma riskini değerlendirmek amacıyla betona L-Kutusu deneyi uygulanmıştır. L şeklinde olan deney düzeneğinin düşey kısmı 60 cm, yatay kısmı ise 80 cm' dir. Düşey kısımdan yatay kısma geçiş bölgesinde 3 adet 12 mm' lik donatı bulunmaktadır. Aynı bölgede bulunan kapak kapatılarak, düşey kısma herhangi bir şişleme ya da vibrasyon uygulanmadan doldurulan beton numunesinin yatay bölgeye geçişi engellenmiştir. Ara kapağın açılmasıyla taze betonun kendi ağırlığı ile akmasına izin verilmiştir. Akış sırasında yatay haznede 20cm ve 40 cm' lik mesafelere ulaşım süreleri not edilmiştir. Akış tamamlandıktan sonra ise kutunun her iki ucundaki beton yükseklikleri ölçülerek yükseklik farkları hesaplanmıştır.



Şekil 3.8 : L-kutusu deneyi.

3.6.6 U-kutusu

Üretilen kendiliğinden yerleşen betonun akış yeteneğini ve doldurma kapasitesini incelemek amacı ile U-Kutusu testi uygulanmıştır. 60 cm yüksekliğe sahip U şeklindeki bu deney düzeneği iki hazneye sahiptir. Hazneler arasında 4 adet 12 mm'lik donatı bulunmaktadır. Aynı bölgede bir de düşey doğrultuda kaydırılabilir bir kapak mevcuttur. Ara kapak kapalı tutularak haznelerden birine herhangi bir şişleme ya da vibrasyon işlemi yapılmadan taze beton numunesi doldurulmuştur. İki hazne arasındaki kapak açılarak betonun diğer hazneyi doldurmasına izin verilmiştir. Bu test sonunda iki haznedeki beton yüksekliği ve bu yükseklikler arasındaki fark tespit edilmiştir.



Şekil 3.9 : U-kutusu.

3.7 Sertleşen Beton Deneyleri

3.7.1 Dayanım gelişimi

3.7.1.1 Basınç gelişimi

Üretilen kendiliğinden yerleşen beton numuneleri 15 cm çapında ve 30 cm yüksekliğindeki silindir kalıplara alınmıştır. Bir gün kadar silindir kalıplarda bekletilen beton numuneleri, kalıplardan çıkarıldıktan sonra kür odasına alınarak, deneyin yapılacağı güne kadar bekletilmiştir. Basınç gelişimini izlemek için belirli günlerde basınç testi uygulanmıştır. Bu nedenle, üretilen betonun 0,5 gün (12 saat), 0,75 gün (18 saat), 1 gün, 2 gün, 3 gün, 7 gün, 14 gün, 28 gün ve 56 gün basınç dayanımlarını test etmek üzere numuneler alınmıştır. Belirli iki test zaman aralığında, basınç mukavemetlerinde ani yükseliş gözlenen numunelerde, bu iki zaman aralığındaki gelişimi daha somut inceleyebilmek için ayrıca test uygulanmıştır. Her test zamanı için üçer adet silindirik numune kullanılmıştır. Deneyde kullanılacak her numunenin alt ve üst yüzeylerine başlıklama yapılmıştır. Bu iş için de hazır kükürt karışımı kullanılmıştır. Kıvam sağlanana kadar ısıtılıp eritilen bu karışım, yüzeyleri temizlenip kurutulan numunelere uygulanmıştır (Şekil 3.10). Yapılan testler sonucunda da beton basınç dayanım sınıfı belirlenmiştir. Basınç dayanım testleri 200 tonluk pres makinesi yardımıyla yapılmıştır. Bu deney TS EN 12390-3 standardına bağlı kalınarak yapılmıştır.



Şekil 3.10 : Dayanım gelişiminde kullanılan pres makinesi ve numune başlığı.

3.7.1.2 Yarmada-çekme gelişimi

Üretilen kendiliğinden yerleşen beton numuneleri, basınç gelişiminde uygulandığı gibi, 15*30 cm silindir kalıplara doldurulmuştur. Bir gün kadar silindir kalıplarda bekletilen bu beton numuneleri, kalıplardan çıkarılarak kür odasına alınmıştır. Yine

basınç gelişimi testlerinde olduğu gibi, bu numuneler, test gününe kadar bu odada tutulmuştur. Numuneler, betonun yarmada-çekme dayanımını ölçmek için 0,5. gün (12 saat), 0,75. gün (18 saat), 1. gün, 2. gün, 3. gün, 7. gün, 14. gün ve 28. günlerde test edilmiştir. Test düzeneğiyle yatay şekilde konan numunelere yükleme makinesinde, çıtalar yardımı ile çapları doğrultusunda çizgisel yük uygulanmıştır. Her test zamanı için hazırlanan üç numunenin yük değerleri kullanılarak, betonun yarmada-çekme dayanımı ölçülmüştür. Bu deneyde 200 tonluk pres makinesi kullanılmıştır. Veriler bilgisayara aktarılmış, elde edilen sonuçlar not edilmiştir. Bu deney TS EN 12390-6 standardına bağlı kalınarak yapılmıştır.



Şekil 3.11 : Yarmada çekme deney düzeneği.

3.7.1.3 Elastisite modülü (EM) gelişimi

Üretilen kendiliğinden yerleşen beton numuneleri, diğer iki deneyde olduğu gibi silindirik kaplara alınmıştır. Bir gün bekletildikten sonra kalıplarından çıkarılan numuneler, test zamanına kadar kür odasında tutulmuştur. Bu numuneler 0,5 gün, 0,75 gün, 1 gün, 2 gün, 3 gün, 7 gün, 14 gün, 28 gün ve 56 gün testlerinde kullanılmıştır. Deneylerde numunelere düşey yer değiştirmeyi okumak amacı ile çerçeve takılmış ve deney sırasında değişen yük ve şekil değiştirme miktarları belirlenmiştir. Gerilme-şekil değiştirme eğrisi kullanılarak, betonun elastisite modülü bulunmuştur. Her test zamanı sonuçlarına göre, üretilen betonun elastisite modülü gelişimi incelenmiştir. Bu deneyde, basınç dayanımı ve yarma-çekme dayanımının yapıldığı 200 tonluk pres kullanılmıştır. Bu deney NT BUILD 205 standardına bağlı kalınarak yapılmıştır.



Şekil 3.12 : Elastisite modülü deney çerçevesi.

3.7.2 RILEM net eğilme dayanımı gelişimi

Eğilme deneyinde, 10 cm* 10 cm* 50cm' lik prizmatik kiriş numuneleri kullanılmıştır. Bir gün bekletildikten sonra kalıptan çıkarılan numuneler, ortalarına 5 cm' lik çentikler açıldıktan sonra test zamanına kadar kür odasında tutulmuştur. Üretilen beton numuneleri 1 gün, 3 gün, 7 gün, 14 gün ve 28 gün testlerinde kullanılmıştır. Eğilme deneyi, malzemenin ortasında tekil yük uygulanmasıyla oluşan 3 noktalı deney düzeneği ile gerçekleştirilmiştir. Numunelere önceden açılan çentiğe yakın olmak üzere bir korniyer yerleştirilmiştir. Yük altında numunede oluşan sehim miktarını ölçmek amacıyla bu korniyere degecek şekilde LVDT yerleştirilmiştir. Deney esnasında numuneye uygulanan yük ve bu yük ile birlikte oluşan sehim miktarı kaydedilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda numunenin yük-deplasman grafiği çizilmiştir. Elde edilen bu grafik kullanılarak betonun net eğilme dayanım gelişimi izlenmiştir. Bu deneyde her test zamanı için en az üç numune kullanılarak, kendiliğinden yerleşen yüksek dayanımlı betonun davranışı incelenmiştir.



Şekil 3.13 : RILEM 3 noktalı eğilme deneyi düzeneği.

3.7.3 RILEM kırılma enerjisi gelişimi

Eğilme deneyinde kullanılan prizmatik kiriş numunelerine ait yük ve deplasman değerleri kaydedilmiştir. Daha sonra bu veriler kullanılarak yük-sehim grafikleri elde edilmiştir. Bu grafiklerin altında kalan alan hesaplanarak, kiriş kırılırken yapılan iş dolayısıyla da harcanan enerji bulunmuştur. Sünekliği artan malzemenin, yaptığı sehim dolayısıyla da yuttuğu enerji artmaktadır. Bu tez çalışmasında yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen betonların kırılma enerjileri incelenmiş ve kıyaslanmıştır.



Şekil 3.14 : RILEM eğilme deneyi.

3.7.4 Adyabatik ısı

150x300 mm ölçülerindeki silindir numunelere, Dinç Makine deney düzeneğinde Quasi adyabatik kalorimetresi kullanılarak adyabatik ısı testi uygulanmıştır. İzole bir kap ve bu kabın dış yüzeyine monte edilmiş alıcıdan oluşan bu düzenek sayesinde sertleşmekte olan betonun sıcaklık değişimi belirli zaman aralıklarıyla kayıt altına alınmıştır. Bu veriler kullanılarak betonun 0.5, 1, 2, 3, 7 ve 14. yaşlarındaki adyabatik ısı değerleri elde edilmiştir. Bu deney NT BUILD 388 standardına bağlı kalınarak yapılmıştır.



Şekil 3.15 : Adyabatik ısı deney düzeneği.

3.7.5 Termal genleşme katsayısı

Üç adet 100x100x400 mm ölçülerindeki prizmatik numuneye konan betonun Humboldt deney düzeneği yardımıyla, termal genleşme katsayısının bulunması amaçlanmıştır. 5° C, 20 °C ve 30 °C' lik havuzlarda tutulan numunelerin testleri 1, 3 ve 7. günlerde yapılarak genleşme miktarı ölçülmüştür. Ortalama genleşme miktarı belirlenerek, betonun termal genleşme katsayısı bulunmuştur. Bu deney TI-B 101 standardına bağlı kalınarak yapılmıştır.



Şekil 3.16 : Termal genleşme deney numuneleri.

3.7.6 Rötire deneyi

Üç adet 100x500 mm ölçülerindeki silindirik numunelere konan betona, Utest deney düzeneği ile rötire (büzülme) testi uygulanmıştır. Sertleşmeye başlayan betonun hiçbir yük uygulanmadan sıcaklık değişimleri ve deformasyonları incelenmiştir. Yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen betonun erken yaş rötresi incelenmiştir. Deney sabit sıcaklık ve nem değerine sahip laboratuvar odasında yapılmıştır. Alınan üç adet beton numunesi folyoya sarılarak düzeneğe konmuştur. Numunelere yerleştirilen alıcılar sayesinde betonun sıcaklık değişimi ve deformasyon miktarı kaydedilmiştir. Bu veriler kullanılarak betonun zamana bağlı sıcaklık değişimi, büzülmeyle ilgili gerilmenin zamanla değişimi ve büzülmeyle ilgili gerilmenin beton yaşı ile değişimi grafikleri oluşturulmuştur. Bu deneyde TI-B 102(95) kullanılmıştır.



Şekil 3.17 : Rötire deneyi numune çerçeveleri.



Şekil 3.18 : Sünme ve rötre numune kapları.

3.7.7 Sünme

Sabit yük altında betonda meydana gelen şekil değiştirmeyi belirlemenin amaçlandığı bu deneyde, 100x500 mm ölçülerde üç adet silindir numune kullanılmıştır. Yükleme çerçevesi ve veri toplama ünitesinden oluşan bu deney düzeneğinde her çerçeveye ayrı basınç ayarlanabilmektedir. Alıcılar sayesinde de uygulanan basınç miktarı ve numunede oluşan şekil değiştirme ölçülebilmektedir. Sertleşen iki beton numunesine basınç dayanım testlerinde elde edilen değerlerin en fazla %40' ı kullanılarak, 5 adet yükleme yapıp bırakılmıştır. Kalan bir numuneye de artan şekilde yükleme yapılmıştır. Yapılan yüklemelerle yüksek dayanımlı betonların erken yaştaki sünme miktarı incelenmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak, uygulanan yükün beton yaşına bağlı olarak değişimi ve bu yükleme ile oluşan gerilimin yine beton yaşına bağlı olarak değişimi grafikleri elde edilmiştir. Bu deney TI-B 102(95) standardına bağlı kalınarak yapılmıştır.

3.8 Sertleşmiş Beton Deneyleri

3.8.1 Su geçirimsizliği

3.8.1.1 Basıncı su emme

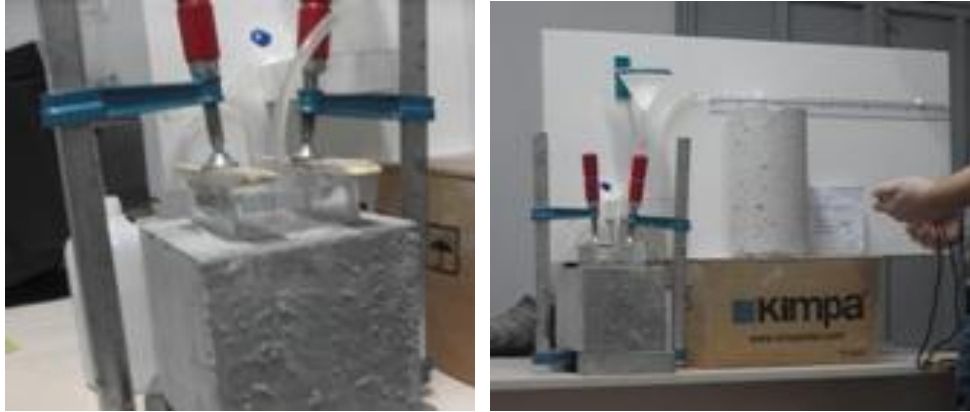
Üç adet 150x150x150 mm ölçülerdeki numuneler kullanılarak yapılan basınçlı su emme testinde Testform deney düzeneği kullanılmıştır. Bu deneyde beton numunelerinin basınçlı su etkisi altında su işleme derinliğinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Numuneler 72 saat süre ile 5 bar su basıncı altında tutulmuştur. Deney sonunda ortadan ikiye yarılan numunelerde basınç altında işleyen su derinliği ölçülerek ortalama derinlik saptanmıştır. Bu deney BS EN 12390-8 standardına bağlı kalınarak yapılmıştır.



Şekil 3.19 : Basınçlı su emme test düzeneğine yerleştirilmiş numuneler.

3.8.1.2 Yüzeysel su emme

ISAT deneyi olarak bilinen bu deneyde, Controls test düzeneği kullanılmıştır. Üç adet 150x150x150 mm ölçülerdeki beton numunelerinin kullanıldığı bu deneyde beton yüzeyinde biriken suların beton içersine girişini incelemek amaçlanmıştır. Bu deneyle birlikte betonun birim alandan emdiği su miktarı zamana bağlı olarak bulunmuştur. Aynı deney, üç adet hava kurusu ve üç adet etüv kurusu beton numunesi ile yapılmıştır. Bu deney BS 1881-5 standardına bağlı kalınarak yapılmıştır.



Şekil 3.20 : Yüzeysel su emme deney düzeneği ve numuneler.

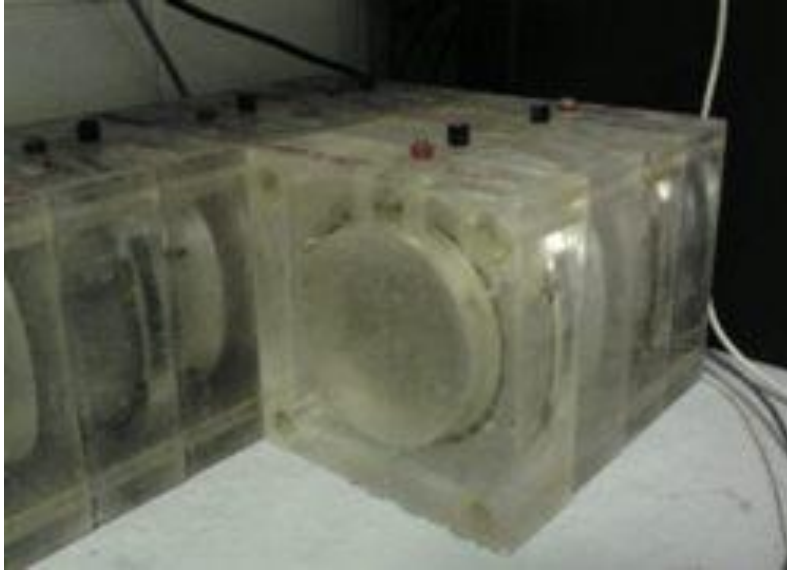
3.8.1.3 Kılcal su emme

Üç adet 100 mm çaplı silindir numuneler kullanılarak yapılan kılcal su emme deneyinde, beton numunelerinin emdiği su miktarı belirlenmiştir. Etüvde kurutulan deney numunelerinin yan yüzleri epoksili karışımla kaplanmıştır. Böylece, numunelerin alt yüzeyden kontrollü şekilde su emmelerine izin verilmiştir. Su içinde bekletilen numuneler belirli zaman aralıklarında tartılarak, emilen su miktarı belirlenmiştir. Bu deney ASTM C1585-04 standardına bağlı kalınarak yapılmıştır.

3.8.2 Klorür geçirimsiliği

3.8.2.1 Hızlı klorür geçirimsiliği

102 mm çapında ve 51 mm kalınlığında silindir şeklinde 3 numunenin kullanıldığı bu deneyde, German Instruments test düzeneği kullanılmıştır. Numunelerin eğrisel yüzeyi epoksi ile kaplanarak geçirimin sadece dairesel yüzeyden olması sağlanmıştır. Suyu doymuş hale getirilen numuneler, bir tarafında 0,3 N NaOH diğer tarafında %3' lük NaCl çözeltisi bulunan deney hücresi içerisine yerleştirilmiştir. Deney sonunda numuneden geçen toplam akım (Coulomb), akım-zaman grafiği altında kalan alan hesaplanarak belirlenmiştir. Bu deney ASTM C1202 standardına bağlı kalınarak yapılmıştır.



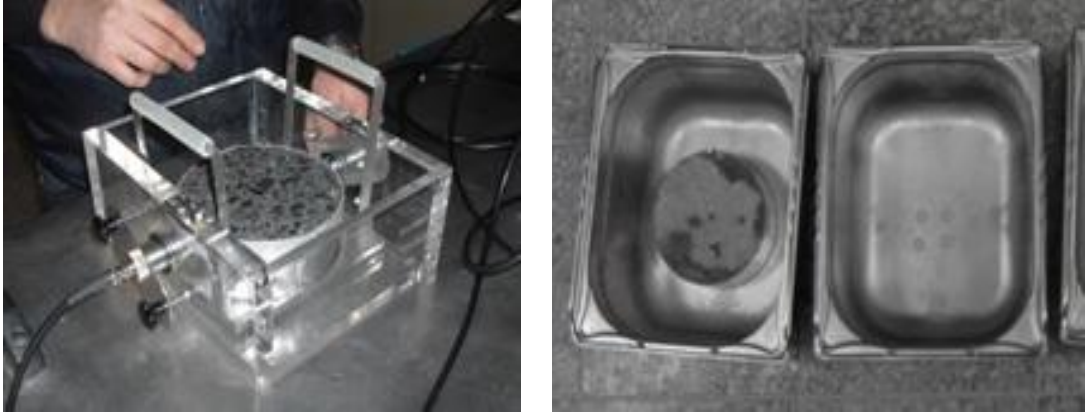
Şekil 3.21 : Hızlı klor deneyinde kullanılan çözelti hücreleri.

3.8.2.2 Yavaş klorür geçirimsiliği

100 mm çapında ve 52 mm kalınlığında silindir şeklinde 3 numune kullanılarak yapılan bu deneyde, betonun klorür geçirgenliği ve bu geçirimin seviyesi incelenmiştir. Numuneler 165g/l' lik solüsyon bulunan havuzda tutulmuş ve klor iyonlarına maruz bırakılmıştır. Geçirimsiliğin olduğu yüzeyden farklı kalınlığa sahip tabakalar şeklinde toz örnekler alınmıştır. Her katman ayrı ayrı klor içeriği ölçülmek üzere saklanmıştır. Her numune için sekiz tabaka alınmıştır. Yapılan ölçümlerle, beton içeriğindeki klorür konsantrasyonunun katmanlara göre değişiminin belirtildiği grafikler elde edilmiştir. Bu deney NT BUILD 443 standardına bağlı kalınarak yapılmıştır.

3.8.3 Donma-çözölme

Bu deneyde 150x50 mm ölçülerinde 5 adet silindir numune kullanılmıştır. Deneye başlamadan önce numuneler ortam kurusuna gelene kadar bekletilmiştir. Yan yüzeyden emişi engellemek için, epoksili alüminyum folyo kaplanmıştır. Dış ortamdan yalıtılmış olan ve iç sıcaklığını -20 °C ile +20 °C arasında ayarlanabilen kaba konan numuneler, günde 2 döngü şeklinde bu sıcaklıklara ulaşmıştır. 14 gün süren bu deney sırasında, beton numuneleri toplam 28 döngüye maruz kalmıştır. 4, 6, 14 ve 28. Günlerde kaptan çıkarılan numunelerin ölçümleri yapılmıştır. Betonun ağırlık kayıplarını ölçmek için, numuneler alttan 0,5-1,0 cm yüksekliğinde %3' lük tuzlu su içine konulmuştur. Gramajı alınmış filtre kağıdı ile donma çözölmeden sonraki dökölmeler süzölür, etövde kurutulan filtre kağıdı tartılarak dökölmeler ölçölür. Ayrıca ses dalgaları ile, donma çözölmenin betona etkisi incelenmiştir.



Şekil 3.22 : Donma çözölme test düzenekleri.

4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

4.1 Taze Beton Deney Sonuçları

Yapılan bu tez çalışmasında, Cebeci ve Ayazağa olarak adlandırılan iki tip yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen beton üretimi yapılmıştır. Her iki beton karışımı için taze halde iken çeşitli deneyler uygulanmıştır. Karışımı yapılan betonun öncelikle sıcaklığı, hava muhtevası ve birim ağırlığı gibi testleri yapılmıştır. Daha sonra çökme-yayılma deneyi ile birlikte betonun serbest yayılma miktarı ve T_{50} süresi belirlenmiştir. Bu testlerin ardından kendiliğinden yerleşen betonların işlenebilirliğini ölçmek amacıyla V-Hunisi, L-Kutusu ve U-Kutusu deneyleri yapılmıştır.

Üretilen taze haldeki Cebeci ve Ayazağa tip betonlarının sıcaklık ölçümleri, hava muhtevası, serbest yayılma ve birim ağırlık deney sonuçları numune kodlarıyla birlikte Çizelge 4.1’ de belirtilmiştir. Listelenen deney sonuçları incelendiğinde Ayazağa ve Cebeci değerlerinin birbirine çok yakın hatta aynı olabildikleri görülmektedir. Lif katkısının Ayazağa karışımında son yayılma çapını düşürdüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.1 : Taze haldeki beton özellikleri.

Kayıt No	Yayılma Süresi	Son Yayılma	Yayılma Süresi	Boşluk Oranı	Birim Ağırlık	Ortam Sıcaklığı	Beton Sıcaklığı	
	T50 (sn)	(cm)	(dk,sn)	(% hacim)	kg/m³	°C	°C	
Ayazağa	1174 A	7	72	1dk 35sn	1,8	2420	15,7	21,8
	1176 A	7	72	1dk 48sn	...	2432	13,5	22,5
	1180 A	7	74	1dk 40sn	1,5	2453	9,8	21,5
	1181 A	6	75	1dk 35sn	1,6	2422	9,4	21,1
	Lifli A	8	65	1dk 15 sn	...	2410	14,4	21,2
	1196 A	7	73	1dk 47 sn	1,8	2434	17,1	21,9
Cebeci	1177 C	8	75	1dk 35sn	1,6	2448	11,2	18,4
	1178 C	6	73	1dk 34sn	1,5	2434	16,6	21,8
	1179 C	7	72	1dk 55sn	1,6	2450	12,9	21,4
	1192 C	7	75	1dk 34sn	1,6	2443	16,8	21,2

Kendiliğinden yerleşen betonların işlenebilirlik özelliklerinin ölçülebilmesi için V-hunisi, L-kutusu ve U-kutusu deneyleri yapılmıştır. Ayırışma direnci, doldurma yeteneği ve geçiş yeteneği gibi işlenebilirlik özelliklerinin incelendiği bu deneylere ait sonuçlar her iki beton tipi için de belirlenmiş olup Çizelge 4.2’ de listelenmiştir. Bu verilerden anlaşıldığı üzere viskoz özelliğe sahip her iki beton tipinin de işlenebilirlik özelliklerinin iyi olduğu; ancak akış hızlarının düşük olduğu görülmüştür.

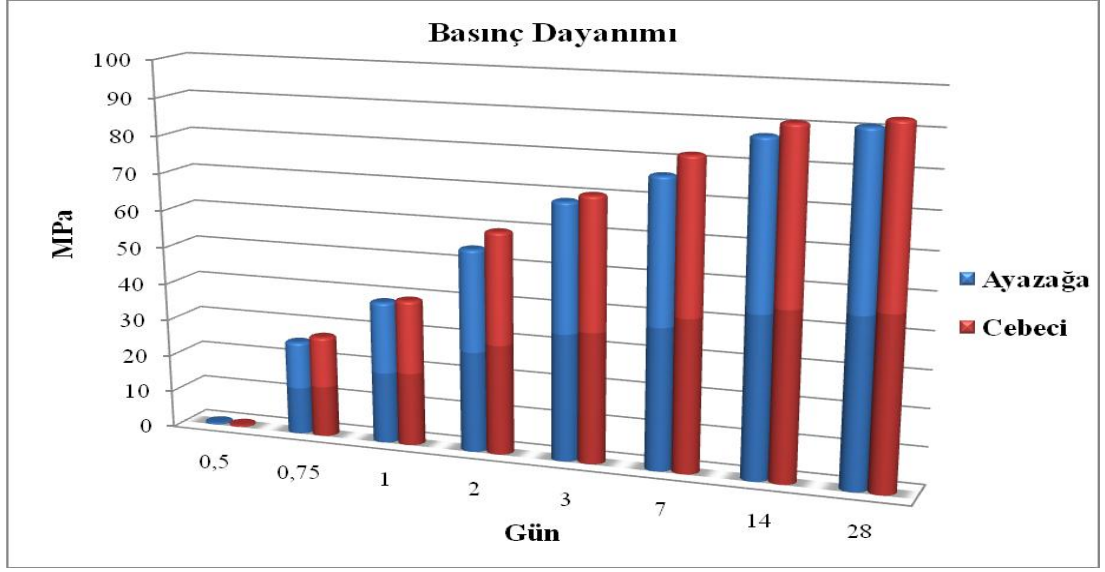
Çizelge 4.2 : V-hunisi, L-kutusu ve U-kutusu deney sonuçları.

	V-Hunisi	L-Kutusu		U-Kutusu	
Karışım Tipi	Sn	H ₁ (cm)	H ₂ /H ₁	H ₁ (cm)	H ₂ /H ₁
		H ₂ (cm)		H ₂ (cm)	
Ayazağa	40	12	0,79	34	1,0
		9,5		34	
Cebeci	49	12	0,83	34	1,0
		10		34	

4.2 Sertleşen Beton Deney Sonuçları

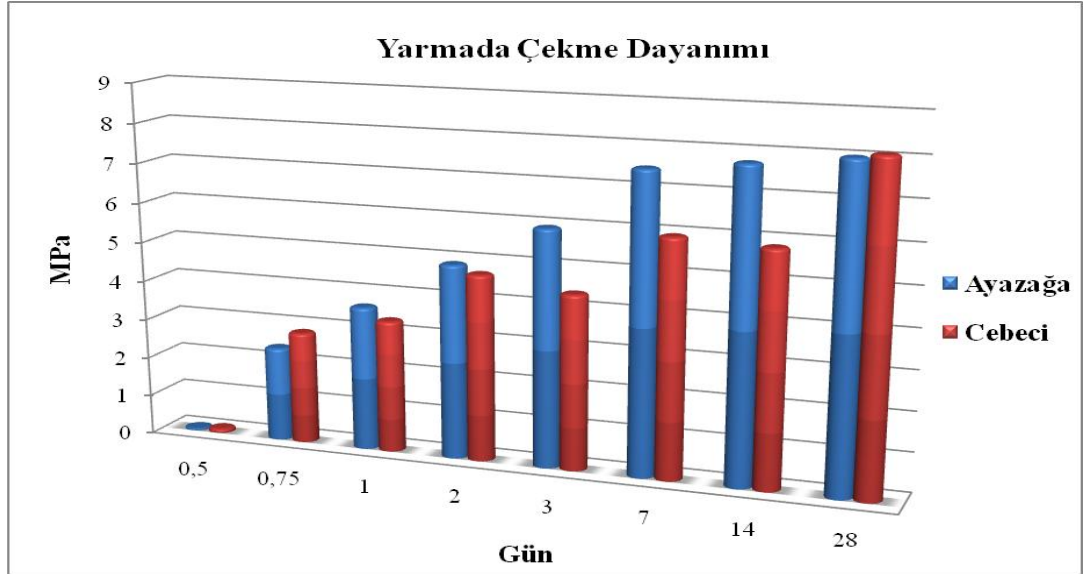
Yüksek dayanım ve durabilite özelliklerinin amaçlandığı bu çalışmada, üretilen kendiliğinden yerleşen betonun dayanım gelişimi incelenmiştir. Bu nedenle de basınç, yarmada çekme ve elastisite modülü deneyleri yapılarak, sertleşen betonların dayanım gelişimi ve dayanım sınıfı belirlenebilmiştir. Silindir numunelerin kullanıldığı bu deneylerde 0.5, 0.75, 1, 2, 3, 7, 14, 28 ve 56. günlerde testler yapılmıştır. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde betonun 12 saat basınç dayanımı ile 18 saat basınç dayanımı arasında büyük bir fark olduğu gözlenmiştir. 6 saatlik bir süre içerisinde gözlenen bu önemli yükselişi izlemek için ayrıca 15 saatlik bir deney daha yapılmıştır.

Betonun dayanım gelişimini ifade eden basınç, yarmada çekme ve elastisite modülü deney sonuçları Ayazağa ve Cebeci tip betonları için kıyaslamalı olarak Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3’ te verilmiştir.



Şekil 4.1 : Ayazağa ve Cebeci basınç dayanımı sonuçları.

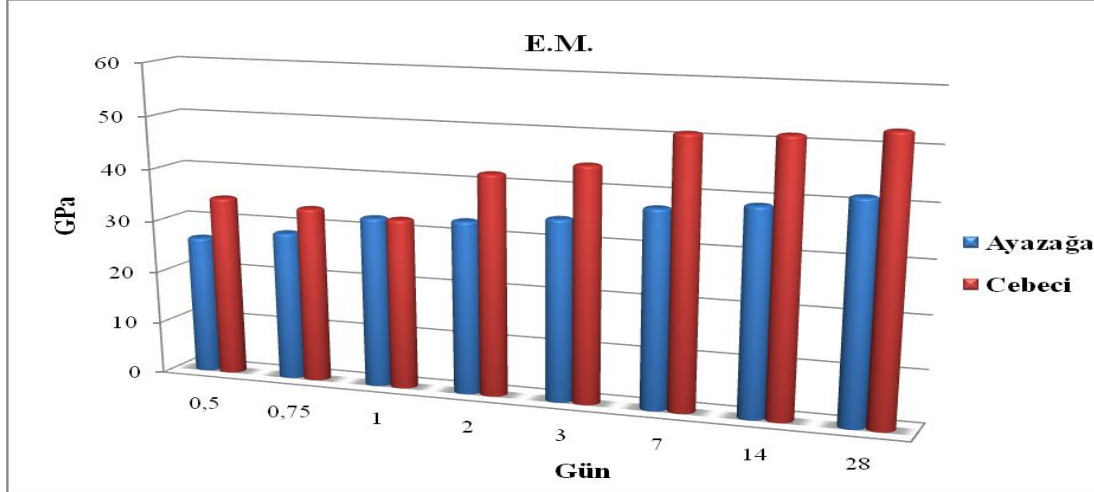
Her iki tip betonun 12 saat ile 18 saat arasında basınç dayanımlarındaki ani gelişmenin incelenebilmesi için 15. saatlerde FC1176 A ve 1178 C karışımlarından testler yapılmıştır. Bu test sonuçlarına göre Ayazağa tipi karışımın basınç dayanımı 3,0 MPa, Cebeci tipi karışımın ise 6,3 MPa olarak elde edilmiştir. Dayanım gelişimi incelendiğinde Ayazağa ve Cebeci’ den elde edilen değerler arasındaki farkın büyük olmadığı saptanmıştır.



Şekil 4.2 : Ayazağa ve Cebeci yarmada çekme dayanımı sonuçları.

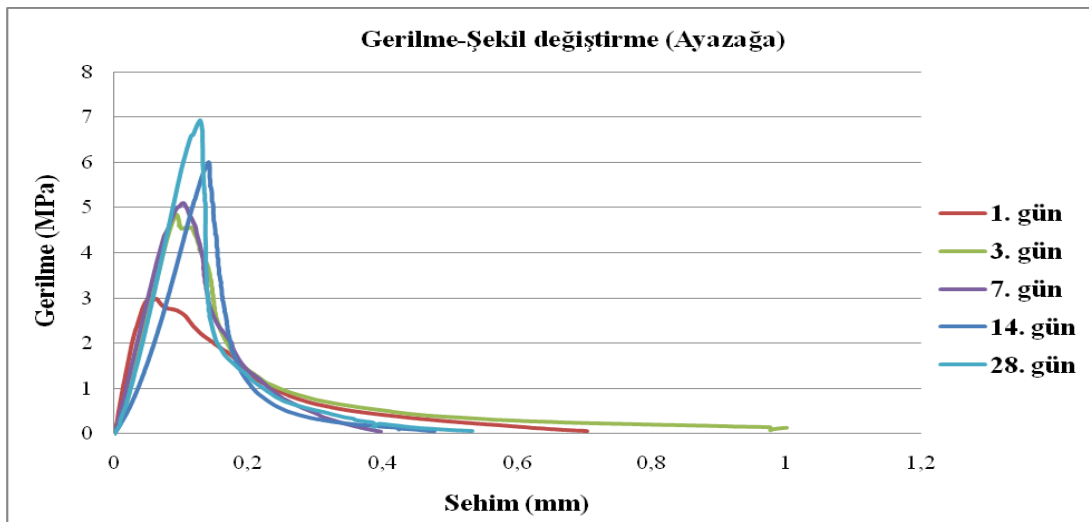
Yarmada çekme deney sonuçlarına göre 3, 7 ve 14. Günlerde Ayazağa tipi karışımın Cebeci’ ye oranla daha yüksek dayanıma sahip olduğu anlaşılmaktadır. Diğer günlerde ise değerlerin yüksek ancak birbirine yakın olduğu gözlenmiştir.

Betonların dayanım gelişimini incelemek amacıyla yapılan bir diğer test olan ve betonun karakteristik özelliklerinden birini temsil eden Elastisite Modülü deney sonuçlarında her iki karışıma ait elastisite modüllerinin oldukça yüksek olduğu ancak Cebeci tipi betonun üstünlüğü göze çarpmaktadır. Cebeci değerlerinin yüksek olmasının nedeni iki karışım arasındaki agrega farklılığı olarak düşünülebilir.

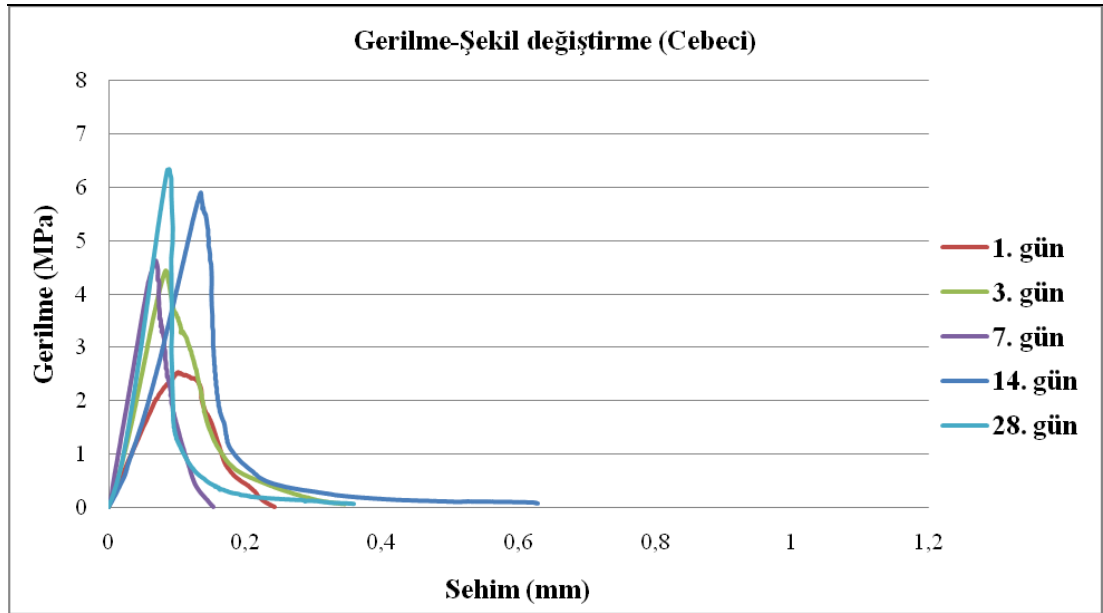


Şekil 4.3 : Ayazağa ve Cebeci elastisite modülü gelişimi.

Cebeci ve Ayazağa betonlarının eğilme dayanım gelişimini ve kırılma enerjisi gelişimini incelemek amacıyla 3 noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. 100x100x500 mm boyutlarındaki numunelerin 1, 3, 7, 14 ve 28. günlerde testleri yapılmıştır. Yükleme altında numunelerde meydana gelen sehim miktarı belirlenerek, betonların her yaş için gerilme-şekil değiştirme grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 4.4 ve Şekil 4.5).

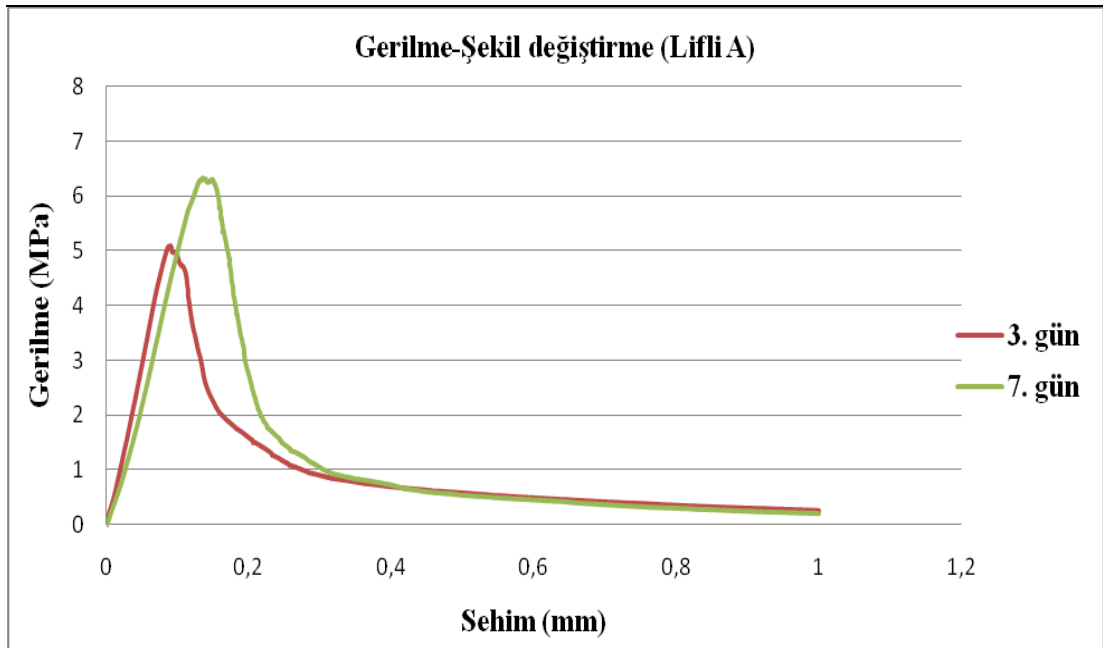


Şekil 4.4 : Ayazağa betonuna ait gerilme-şekil değiştirme grafiği.



Şekil 4.5 : Cebeci betonuna ait gerilme-şekil değiştirme grafiği.

Üretilen kendiliğinden yerleşen betonlara lif katkısının etkisini incelemek amacıyla, Ayazağa karışımına polimer esaslı lif ilave edilmiştir. Yapılan bu karışımında, 2,10 kg/m³ lif, kullanılmıştır. İşlenebilirliği iyileştirmek için ise katkı miktarı 1,5 kg/m³ artırılarak 8,4 kg/m³ oranına yükseltilmiştir. Lif katkılı Ayazağa tipi betonun enerji yutma kapasitesini incelemek amacıyla üç noktalı eğilme testi yapılmıştır. Bu deney sonunda elde edilen veriler kullanılarak betonun 3 ve 7. günlerine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 : Lif katkılı Ayazağa betonuna ait gerilme-şekil değiştirme grafiği.

Yapılan deney sonucunda elde edilen veriler kullanılarak, Ayazağa, Cebeci ve Lifli Ayazağa betonuna ait net eğilme dayanımları ve kırılma enerjileri hesaplanmıştır (Çizelge 4.3, 4.4 ve 4.5). Eğrilerin altında kalan alanlar hesaplanarak kırılma sürecinde harcanan enerji aşağıdaki bağıntı kullanılarak elde edilmiştir.

$$GF = (W_o + mg \delta_o) / A_t \quad (4.1)$$

GF= Kırılma enerjisi (N/m)

W_o= Gerilme-şekil değiştirme eğrisi altında kalan alan (Nm)

m= Kirişin mesnetler arasında kalan ağırlığı (kg)

g= Yer çekimi ivmesi (9,81 m/s²)

δ_o= Kirişin göçme sırasındaki son sehim değeri (m)

A_t= Etkin kesit alanı (m²)

Numunelerin net eğilme dayanımları aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır.

$$F_{net} = (3PL) / 2BD^2 \quad (4.2)$$

P= Kırılma yükü (N)

L= Mesnetler arası uzaklık (mm)

B= Numune kesitinin genişliği (mm)

D= Numune kesitinin yüksekliği (mm)

F_{net}= Net eğilme dayanımı (MPa)

Çizelge 4.3 : Ayazağa betonu eğilme deneyi sonuçları.

Ayazağa					
Eğilme Deneyi Sonuçları	1. gün	3. gün	7. gün	14. gün	28. gün
Gf, N/m	106,701	150,738	111,438	104,820	121,880
Net Eğilme Dayanımı, Mpa	3,04	4,84	5,09	6,00	6,93

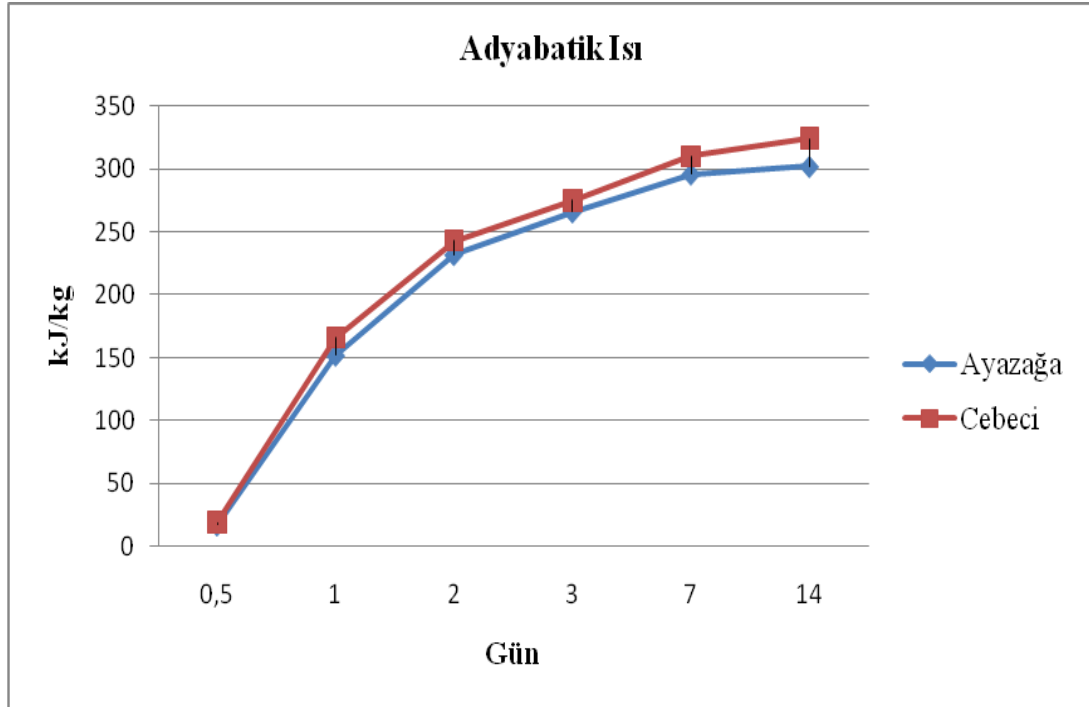
Çizelge 4.4 : Cebeci betonu eğilme deneyi sonuçları.

Cebeci					
Eğilme Deneyi Sonuçları	1. gün	3. gün	7. gün	14. gün	28. gün
Gf, N/m	50,330	75,240	45,964	102,049	61,948
Net Eğilme Dayanımı, Mpa	2,53	4,44	4,62	5,90	6,33

Çizelge 4.5 : Lifli Ayazağa betonu eğilme deneyi sonuçları.

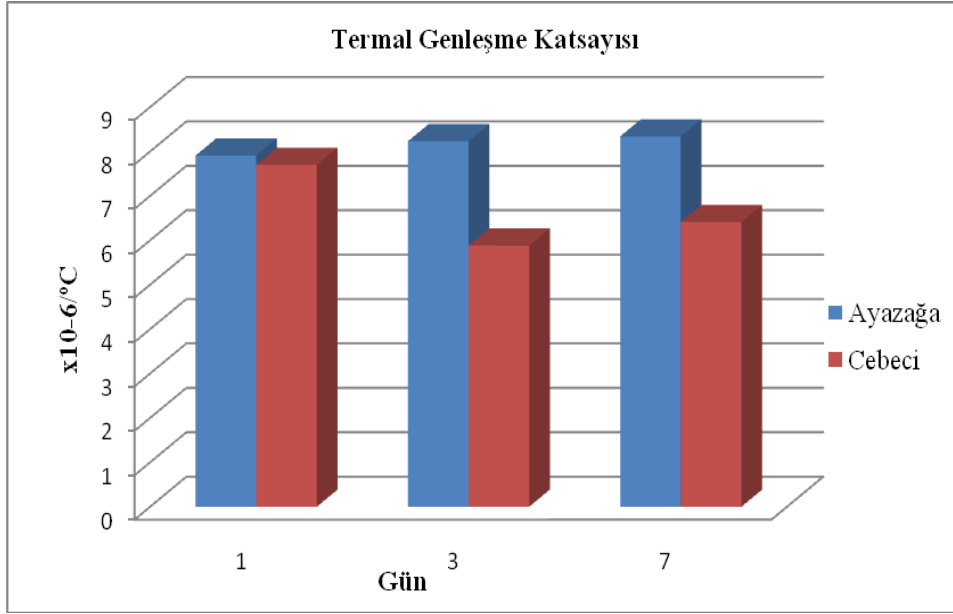
Lifli Ayazağa		
Eğilme Deneyi Sonuçları	3. gün	7. gün
Gf, N/m	172,362	204,859
Net Eğilme Dayanımı, Mpa	5,09	6,33

Betonun sertleşmesi sırasında ortaya çıkan ısı gelişiminin incelendiği adyabatik ısı deneyinde, quasi adyabatik kalorimetresi kullanılmıştır. Yapılan test sonucunda elde edilen veriler kullanılarak, betonun sertleşme sırasında ortaya çıkardığı enerjinin zamanla değişimi belirlenmiştir. Şekil 4.7’ de verilen sonuçlar ele alındığında Cebeci ve Ayazağa tip betonların birbirine yakın değerlere sahip olduğu görülebilmektedir.



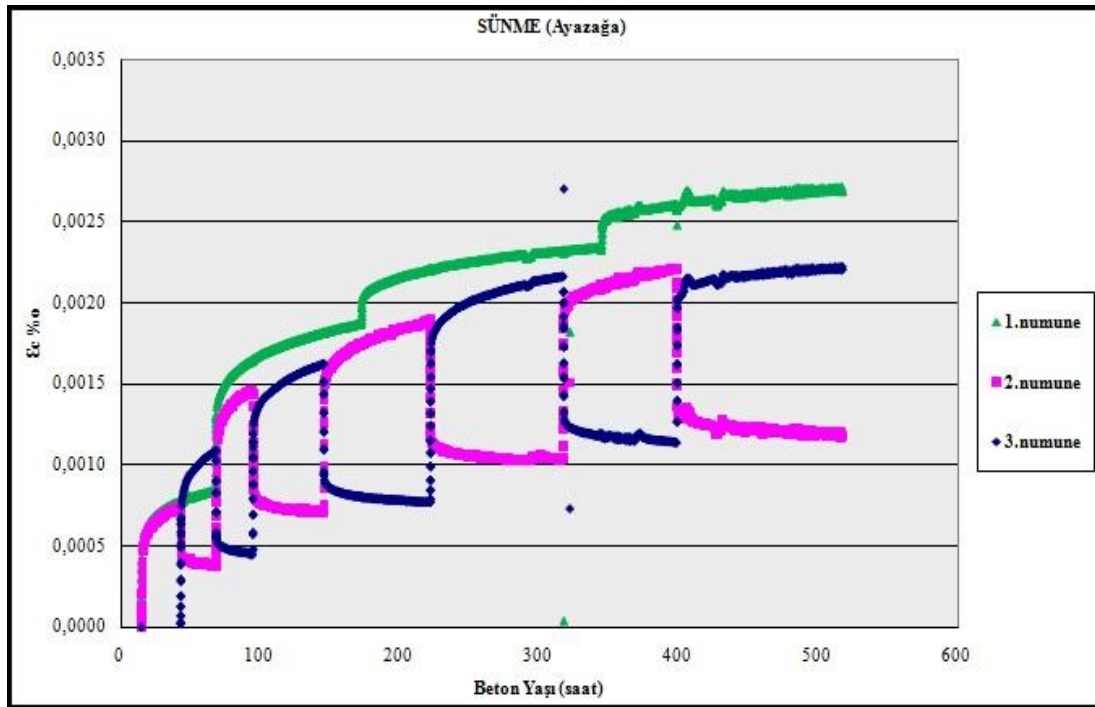
Şekil 4.7 : Ayazağa ve Cebeci betonlarının adyabatik ısı değerleri.

Termal genleşme katsayısı, üretilen her iki tip beton için sıcaklık derecesi başına şekil değiştirme olarak belirlenmiştir. Üç numune ile yapılan bu deneyde ortalama değerler kullanılarak 1, 3 ve 7. günler için kıyaslama tablosu oluşturulmuştur (Şekil 4.8). Ayazağa tip betonuna ait genleşme katsayısının Cebeci’ ye oranla yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

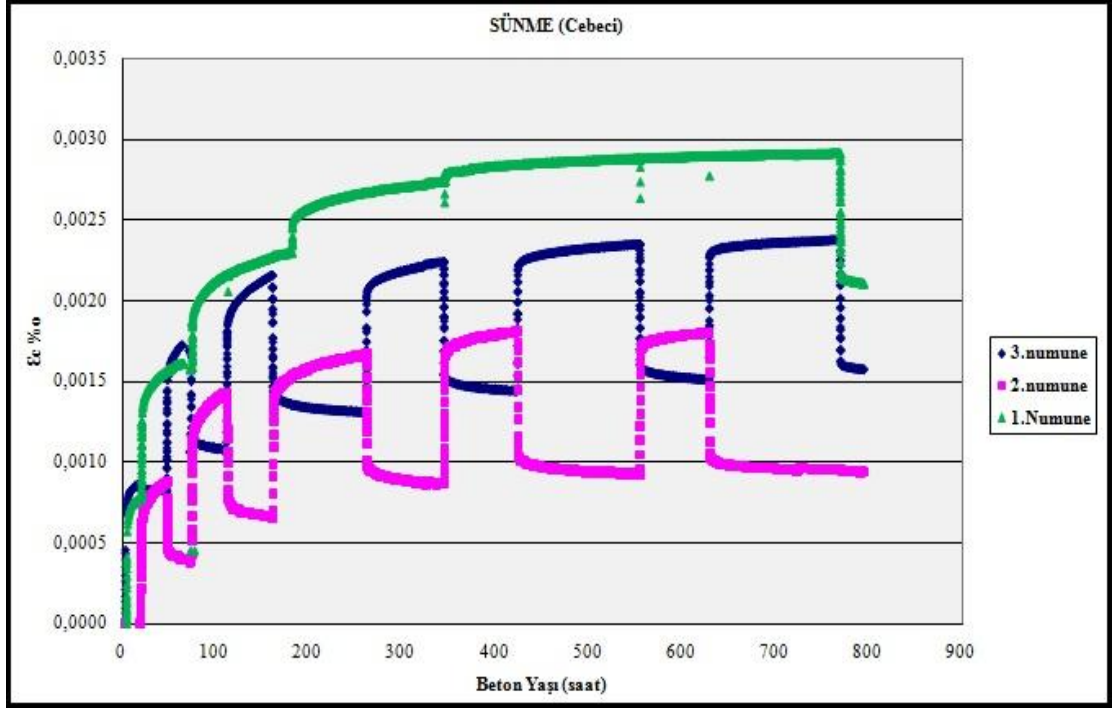


Şekil 4.8 : Ayazağa ve Cebeci termal genleşme katsayıları.

Sabit yük altında artan şekil değiştirmeyi incelemek amacıyla yapılan bu deneyde 100x500 silindirik numuneler kullanılmıştır. 1. numunelerde artan yükleme, 2 ve 3. numunelerde ise yükleme ve boşaltma uygulanmıştır. Beton yaşına bağlı şekil değiştirmelerin araştırıldığı sünme deneyi sonuçları Ayazağa betonu için Şekil 4.9’ da, Cebeci betonu için Şekil 4.10’ da belirtilmiştir. Her iki tip beton için de ortaya çıkan değerlerin yüksek ve birbirine yakın olduğu grafiklere yansımıştır.

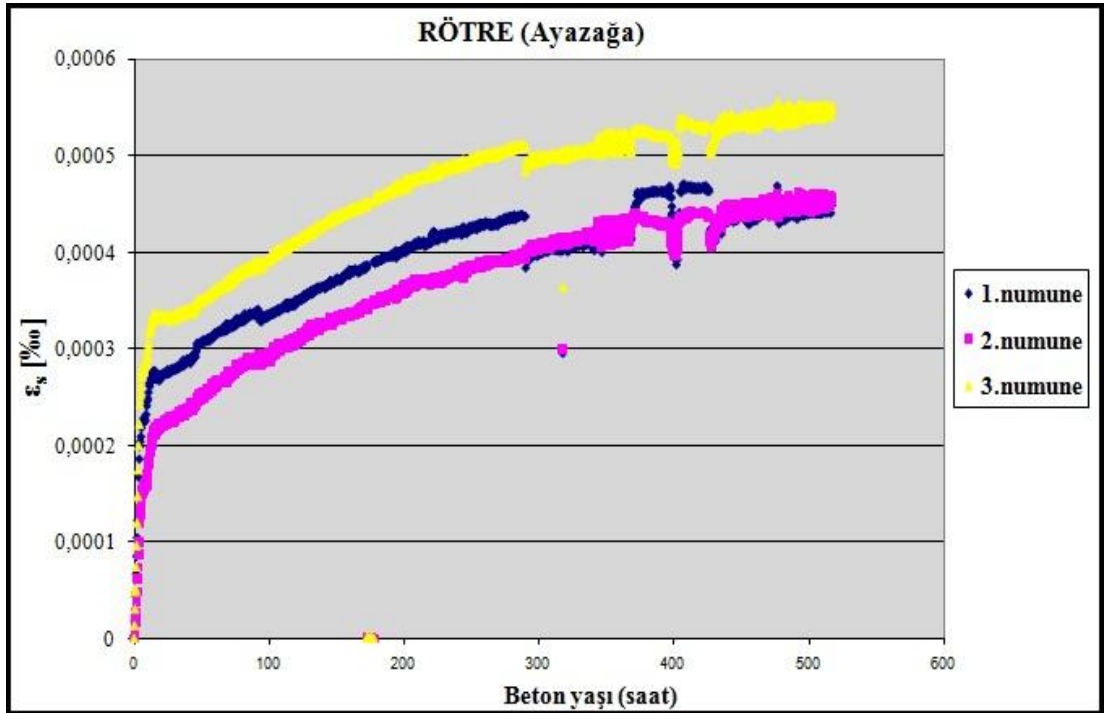


Şekil 4.9 : Ayazağa betonuna ait sünme deneyi sonuçları.

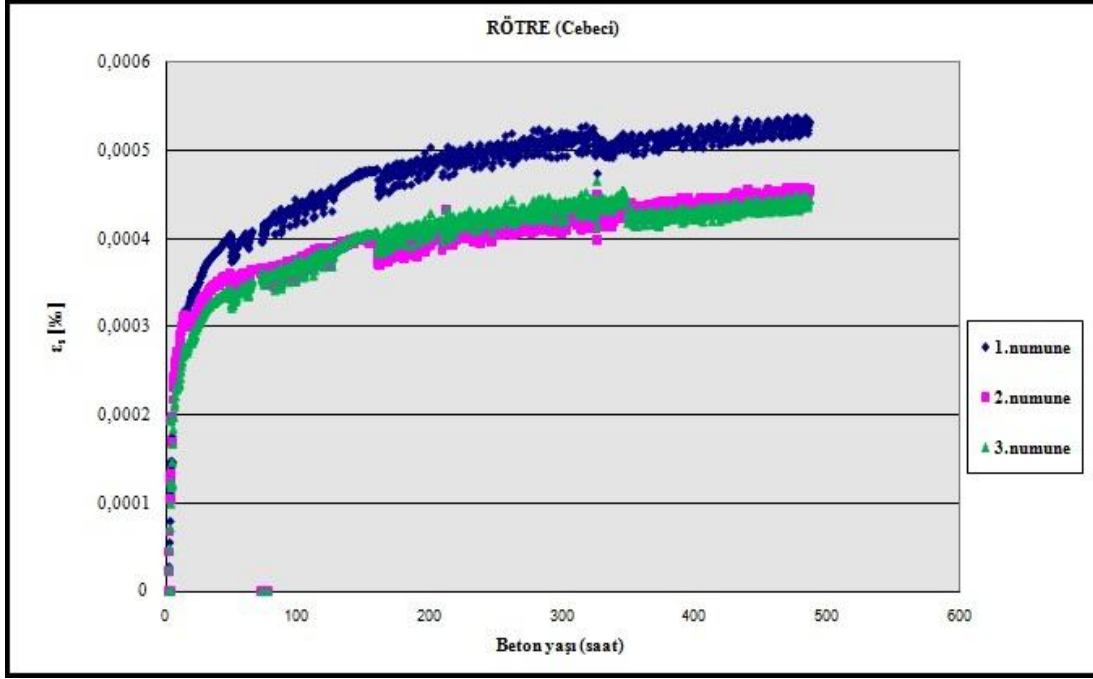


Şekil 4.10 : Cebeci betonuna ait sünme deneyi sonuçları.

Rötre deneyinde ise numunelerin, hiçbir yük uygulanmadan sıcaklık değişimleri ve deformasyonları incelenmiştir. Üçer numune kullanılarak yapılan bu test sonucunda elde edilen deformasyon miktarının beton yaşına göre değişimi belirlenmiştir. Ayazağa ve Cebeci tip betonların deney sonuçları Şekil 4.11 ve 4.12’ de verilmiştir.



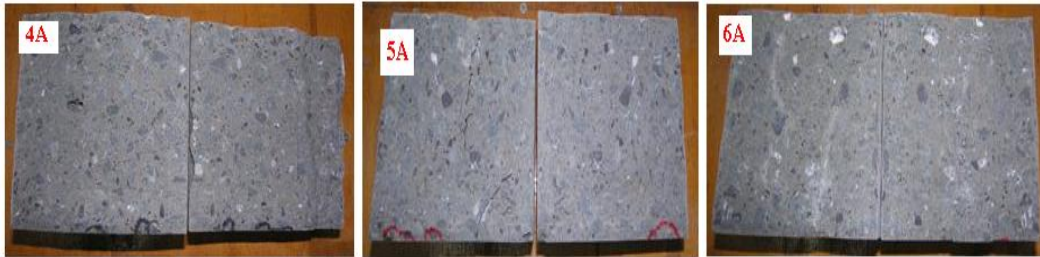
Şekil 4.11 : Ayazağa betonuna ait rötre deneyi sonuçları.



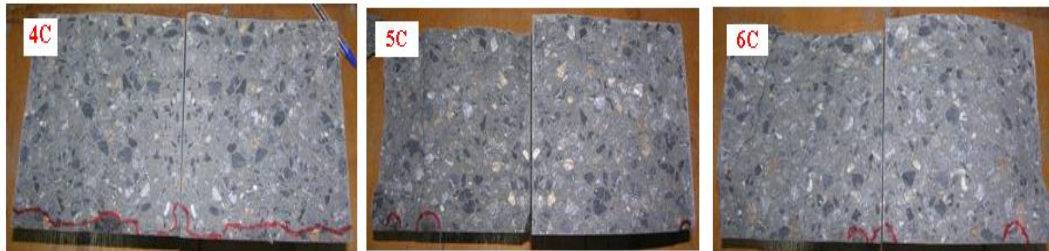
Şekil 4.12 : Cebeci betonuna ait rötre deneyi sonuçları.

4.3 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

Basınç altında su işleme derinliğinin tayin edildiği basınçlı su emme testinde, üç gün süreyle basınçlı suya maruz bırakılan numuneler, pres yardımıyla yarılarak suyun işleme derinliği belirlenmiştir. Suyun emildiği bölgeler işaretlenerek ölçümler yapılmıştır.



Şekil 4.13 : Ayazağa numunelerinin basınç altında emdiği su miktarı.



Şekil 4.14 : Cebeci numunelerinin basınç altında emdiği su miktarı.

Belirli aralıklarla yapılan ölçümlerin yanı sıra, maksimum değerler de not edilerek hesaba katılmıştır. Elde edilen verilen doğrultusunda her numunenin ortalama su emme derinliği hesaplanmıştır. İlk veriler belirli aralıklarla ölçülen değerlerin ortalaması, ikinci veriler ise maksimum derinlikler katılarak hesaplanan değerlerdir (Çizelge 4.6). Her iki tip betonun düşük su geçirimsizliğine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca Cebeci tipi betona ait derinliklerin, Ayazağa karışımına oranla iki kat fazla olduğu da gözden kaçmamaktadır.

Çizelge 4.6 : Basınçlı su emme deney sonuçları.

<i>Ayazağa</i>				
	4. numune	5. numune	6. numune	Genel Ortalama
Ortalama	2,000	2,875	0,000	1,625
Derinlik (mm)	3,083	4,000	0,000	2,361
<i>Cebeci</i>				
	4. numune	5. numune	6. numune	Genel Ortalama
Ortalama	5,500	1,833	2,917	3,417
Derinlik (mm)	7,583	2,500	3,857	4,647
Basınç altında su işleme derinliğinin tayini				

Yüzeysel su emme deneyinde, her beton tipi için üçer numune kullanılmıştır. Bu test önce oda koşullarında yüzeyi kurutulan numunelerle, daha sonra da etüvde kurutulan numunelerle yapılmıştır. 7,6x7,6 cm ölçülerdeki su emme kabının kullanıldığı bu testte okumalar 10, 30 ve 60. dakikalarda yapılmıştır. Her iki koşul için de elde edilen veriler hesaplanarak, Ayazağa ve Cebeci betonlarının yüzey başlangıç absorpsiyon değerleri belirlenmiştir (Çizelge 4.7). Basınçlı su emme testlerinden alınan sonuçlarda olduğu gibi yüzeysel su emme testinde de Cebeci değerlerinin yüksek olduğu gözlenmiştir.

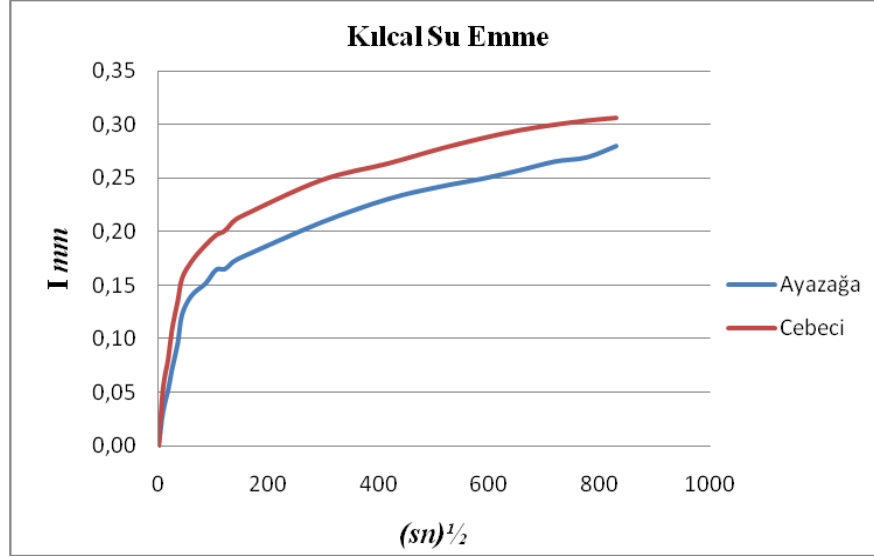
Çizelge 4.7 : Yüzeysel su emme deney sonuçları.

<i>Hava Kurusu İSAT Değeri: Yüzey Başlangıç Absorpsiyon Değeri (ml/m²/s)</i>			<i>Etüv Kurusu İSAT Değeri: Yüzey Başlangıç Absorpsiyon Değeri (ml/m²/s)</i>		
Dakika	Ayazağa	Cebeci	Dakika	Ayazağa	Cebeci
10	0,00515	0,00773	10	0,08069	0,08928
30	0,00229	0,00515	30	0,03605	0,03949
60	0,00143	0,00401	60	0,02003	0,02375

Kılcal su emme deneyinde ise, 100 mm çapa sahip numunelerin serbest halde sadece alt yüzeyinden emilen su derinliği ölçülmüştür. Belirli zaman aralıklarında tartılan numunelerin ağırlığında meydana gelen değişimler not edilmiştir. Bu değerler kullanılarak Cebeci ve Ayazağa betonlarının absorpsiyon değerleri elde edilmiştir (Çizelge 4.8). Aynı zamanda emilen suyun zaman fonksiyonuna bağlı grafiği oluşturulmuştur (Şekil 4.15). Diğer su emme deneylerinde olduğu gibi bu deneyde de Cebeci betonuna ait değerler, Ayazağa değerlerinden yüksek çıkmıştır.

Çizelge 4.8 : Betonların kılcal su emme değerleri.

Süre (sn)	$(sn)^{1/2}$	I mm (Ayazağa)	I mm (Cebeci)
0	0	0,00	0,00
60	8	0,03	0,05
300	17	0,05	0,08
600	24	0,07	0,11
1200	35	0,10	0,14
1800	42	0,12	0,16
3600	60	0,14	0,17
7200	85	0,15	0,19
10800	104	0,16	0,20
14400	120	0,17	0,20
18000	134	0,17	0,21
21600	147	0,18	0,21
86400	294	0,21	0,25
172800	416	0,23	0,26
259200	509	0,24	0,28
345600	588	0,25	0,29
432000	657	0,26	0,30
518400	720	0,27	0,30
604800	778	0,27	0,30
691200	831	0,28	0,31



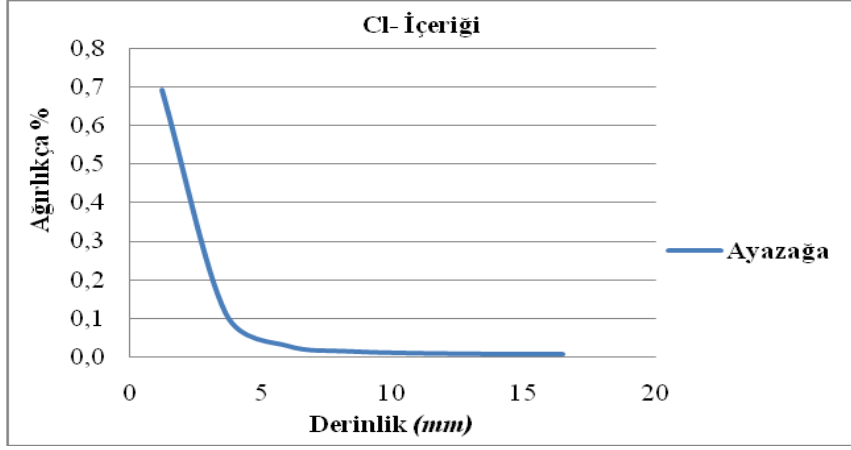
Şekil 4.15 : Ayazağa ve Cebeci betonlarının kılcal su emme değerleri.

Sertleşmiş haldeki betonun klor geçirimliliğini belirlemek amacıyla iki adet deney yapılmıştır: hızlı klor ve yavaş klor. Hızlı klor deneyinde numuneler bir tarafında 0,3 N NaOH diğer tarafında %3' lük NaCl çözeltisi bulunan deney hücresi içerisine yerleştirilmiştir. Deney sonunda da numuneden geçen akım (Kulomb) ölçülmüştür. Geçen akım miktarına göre sınıflandırma yapıldığında, her iki beton tipinin de çok düşük değerlere sahip olduğu belirlenmiştir.

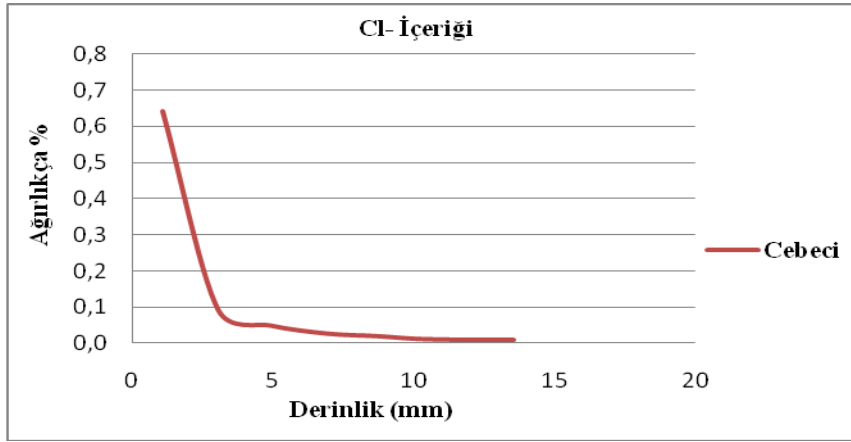
Çizelge 4.9 : Hızlı klor deney sonuçları.

<i>Ayazağa</i>				<i>Cebeci</i>			
Numune No	Çap (mm)	Geçen Yük (kulomb)	Klorür İyonu Geçirgenlik Sınıfı	Numune No	Çap (mm)	Geçen Yük (kulomb)	Klorür İyonu Geçirgenlik Sınıfı
1	100	366	Çok Düşük	1	100	306	Çok Düşük
2	100	357	Çok Düşük	2	100	272	Çok Düşük
3	100	382	Çok Düşük	3	100	286	Çok Düşük

Bir diğer deney yöntemi olan yavaş klorür iyonu geçirimliliğinde ise, 165g/l' lik NaCl solusyonunda tutulan numunelerin içerdiği Cl⁻ iyonu miktarı ölçülmüştür. Solüsyondan çıkarılan numunelerden tabakalar halinde toz örnekler alınmıştır. Bu toz örnekler kullanılarak kimyasal deney yapılarak Cl⁻ iyonunun işlediği derinlik tespit edilmiştir. Elden edilen veriler kullanıldığında klorür iyonu yüzdesinin derinlikle değişim grafiği oluşturulmuştur. Sonuçlar, Cebeci ve Ayazağa beton tipleri için yaklaşık değerlerdedir (Şekil 4.16 ve 4.17).



Şekil 4.16 : Ayazağa betonunun Cl⁻ içeriği.



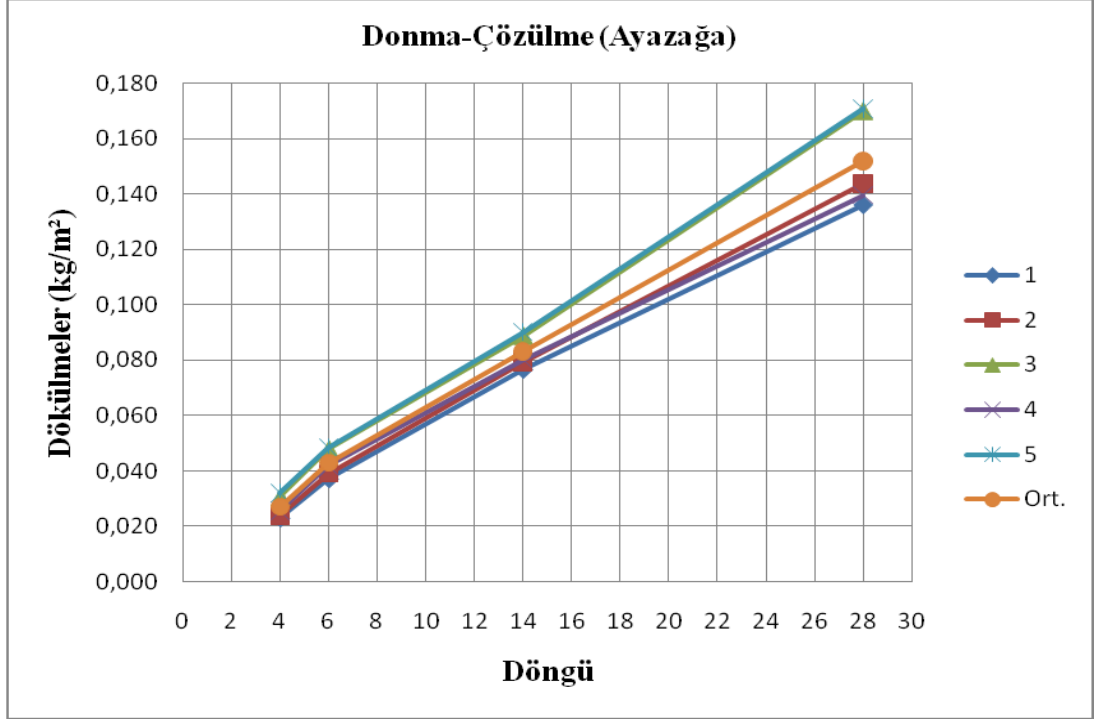
Şekil 4.17 : Cebeci betonunun Cl⁻ içeriği.

Sıcaklık değişimleriyle, betonda oluşan aşınmaların incelendiği donma-çözülme deneyinde, -20°C ile +20°C arasında değişen döngüler sonucunda numunelerde oluşan dökülme miktarı ölçülmüştür. 4, 6, 14 ve 28. döngüler sonunda, numuneler izole kaptan çıkarılarak dökülmeler ölçülmüştür. Daha önce tartılan filtre kağıtlarının kullanıldığı bu testte, kağıt içerisinde kalan net dökülmeler belirlenmiştir. Her döngü için yapılan tartımlar not edilerek beş numunenin ortalama değerleri hesaplanmıştır.

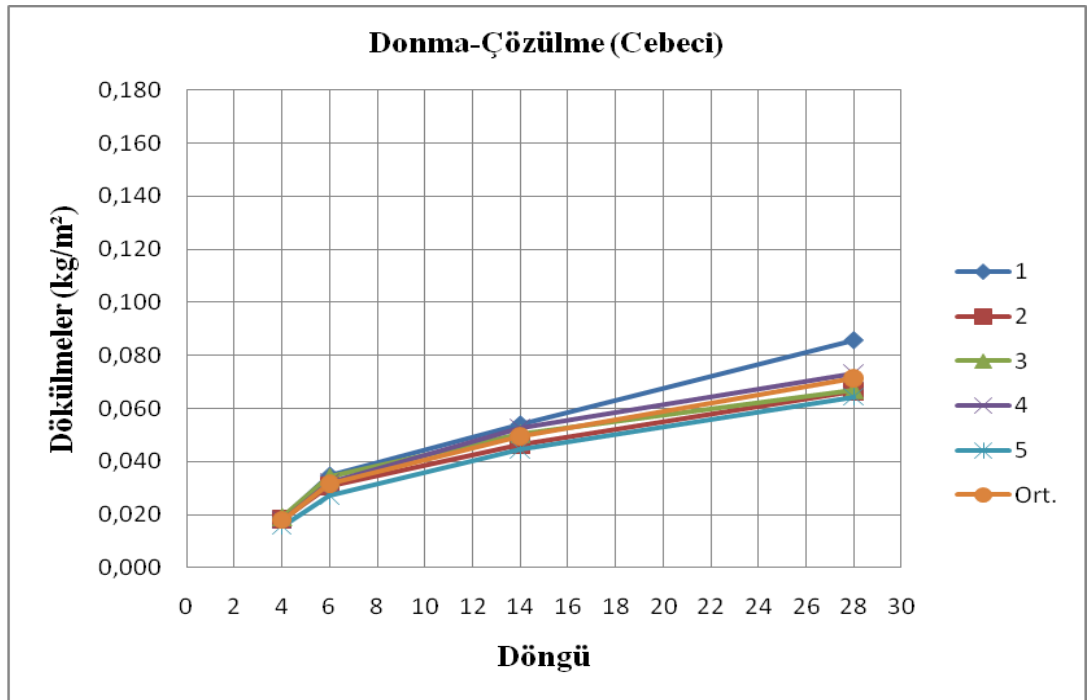
Çizelge 4.10 : Donma çözülme deneyi sonunda oluşan dökülmeler.

Dökülmeler (kg/m ²) (Cebeci)					Dökülmeler (kg/m ²) (Ayazağa)				
No	4	6	14	28	No	4	6	14	28
1	0,019	0,035	0,054	0,086	1	0,057	0,001	0,002	0,003
2	0,018	0,031	0,046	0,066	2	0,113	0,001	0,002	0,003
3	0,019	0,034	0,050	0,067	3	0,170	0,001	0,002	0,003
4	0,018	0,032	0,053	0,073	4	0,226	0,001	0,002	0,003
5	0,016	0,027	0,045	0,064	5	0,283	0,001	0,002	0,003
Ort.	0,018	0,032	0,050	0,071	Ort.	0,170	0,001	0,002	0,003

Bu veriler kullanılarak Cebeci ve Ayazağa betonlarında her döngü sonunda oluşan birim alandaki dökülmeler belirlenebilmiştir (Şekil 4.18 ve 4.19). İki beton tipine ait dökülmelerin oldukça az olmasının yanı sıra, Ayazağa değerlerinin Cebeci değerlerinden daha yüksek olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.18 : Donma çözülme deneyi ile Ayazağa numunelerinde oluşan dökülmeler.



Şekil 4.19 : Donma çözülme deneyi ile Cebeci numunelerinde oluşan dökülmeler.

5. PROJE ÇALIŞMASI

Ülkemizde betonarme taşıyıcı sistem ile tasarlanan binalar önemli bir yer teşkil etmektedir. Betonarme yapılar, beton ve çelik donatının birleşiminden oluşur. Beton ise, çimento su ve agreganın karışımından oluşan yapay taş olarak tanımlanabilir. Betonda aranan özellikler; mukavemet, dış etkilere dayanıklılık ve geçirgen olmayan boşluksuz bir yapıda olmasıdır [47].

Beton malzeme sınıfının yükselmesi betonarme elemanlarının donatı korozyonu, betonun donma-çözülme, asit ve tuz etkisi bakımından dayanıklılığı kısaca durabiliteyi de artırmaktadır [48].

Ön inceleme niteliği taşıyan bu proje çalışmasında, betonarme çerçeve ve perdeli taşıyıcı sisteme sahip, biri 6 katlı diğeri ise 21 katlı olan iki farklı binanın proje hesabı iki farklı beton sınıfı ile toplamda 4 adet çalışma yapılmıştır. Her proje için BÇIII çeliği sabit kalmış, fakat kullanılan beton sınıfı değişiklik göstermiştir. İlk beton sınıfı C35, diğeri ise bu tez çalışması kapsamında üretilen kendiliğinden yerleşen C90 sınıfı Cebeci betondur.

Bu proje çalışmasında, dayanım ve durabilite farkları büyük olan iki tip beton ile tasarlanan projelerde meydana gelebilecek deprem etkilerindeki değişikliğin incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra, yapı maliyetinde ne gibi bir değişikliğin oluşacağı merak konusu olmuştur.

5.1 Materyal ve Metot

Bu çalışmada, biri 445 m² taban alana sahip 6 katlı, diğeri ise 593 m² kesit alana sahip 21 katlı bir bina olan, betonarme çerçeve ve çekirdek bölgesinde perdeli 2 yapı kullanılmıştır. Her iki yapı da hem C35, hem de C90 beton sınıfı ile projelendirilmiştir. Statik ve betonarme hesap ticari bir paket program ile yapılmıştır. Proje kriterleri olarak şu veriler kullanılmıştır: Yapıların 1. Derece deprem bölgesinde olduğu, yerel zemin sınıfı Z4, T_A ve T_B değerlerinin sırasıyla 0,2 ve 0,9 sn, bina önem katsayısı 1, yapı davranış katsayısı 7 ve çözüm esası olarak mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır. 6 katlı yapıda, taşıyıcı sistem kesitleri, her iki

katta bir değişmekte olup, 21 katlı yapıda bu kesit değişimleri her 5 katta bir olacak şekilde uygulanmıştır.

Çözölen toplam 4 projenin, beton demir ve kalıp metrajları yapılmış, Bayındırlık Bakanlığı Resmi Birim Fiyatları ile çarpılarak yapıların kaba inşaat maliyetleri bulunmuştur.

Çözölen her proje için deprem yükleri hesaplanarak, beton kalitesinin değişmesi ile meydana gelen değişiklikler incelenmiştir.

5.2 Proje Sonuçları

Farklı kat planlarına sahip, biri 6 katlı diğer 21 katlı olan iki yapının beton sınıflarının değişkenlikleri ile elde edilen projelerin beton, demir ve kalıp metrajı yapılmıştır. Kullanılan C35 sınıfı betonun elastisite modöü 33,2 GPa, basınç dayanımı 35MPa ve eksenel çekme dayanımı 2,1 MPa’ dır. Bu tez çalışmasında üretilen C90 sınıfı betonun ise, elastisite modöü 53,0 GPa, basınç dayanımı 90MPa ve eksenel çekme dayanımı ise 5,3 MPa’ dır.

Hesaplamalar sonucunda elde edilen metrajlar, 6 kat için Çizelge 5.1’ de, 21 kat için Çizelge 5.2’ de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : 6 katlı yapı için hesaplanan beton, kalıp ve demir metrajları.

6 kat	Beton (m ³)	Kalıp (m ²)	Demir (t)
C35	598,4	4291,4	65,0
C90	593,3	4276,3	60,6

Çizelge 5.2 : 21 katlı yapı için hesaplanan beton, kalıp ve demir metrajları.

21 kat	Beton (m ³)	Kalıp (m ²)	Demir (t)
C35	3730,7	22082,0	469,7
C90	3619,0	21854,8	429,4

Sonuçlar incelendiğinde, beton ve kalıp metrajlarındaki farkın %1 ile %3 arasında olduğu ancak demir metrajının %7 ile %9 oranında azalabildiği görölmüştür. Beton dayanımının artması, yapıda kullanılan malzeme miktarlarında tasarruf sağladığı

bilinmektedir. Ancak, bir yerden sonra bu tasarrufun kaybolacağını söyleyebiliriz. Buna sebep olarak da şartnamelerin vermiş olduğu kısıtlamalar gösterilebilir. Bir noktadan sonra kesitlerde gerçekleşecek küçülmelere şartnameler ve yönetmelikler izin vermemektedir.

Bayındırlık Bakanlığı Resmi Birim Fiyatlarına göre yapılan keşif fiyatlarına %10 nakliye, %18 KDV, %1x12 aylık artış eklenerek toplam maliyet hesaplanmıştır. Bayındırlık fiyatlarına göre; 16.059/2 poz numaralı BS35 hazır beton 87,00 TL, 21.011 poz numaralı düz yüzeyle betonarme kalıbı 19,00 TL, 04.251 ve 04.252 poz numaralı betonarme demiri 975,00 TL’ dir. C90 betonuna ait bayındırlık fiyatı bulunmadığından, üretici firma olan Set Beton’ dan alınan birim fiyat olan 98,00 TL esas alınmıştır. Bu değerler kullanılarak elde edilen yapı maliyetleri Çizelge 5.3’ te belirtilmiştir.

Çizelge 5.3 : İki yapı tipi için elde edilen yapı maliyetleri.

TL	6 kat	21 kat
C35	286.350,60	1.747.545,12
C90	288.539,52	1.727.892,91

Birim fiyatındaki farka rağmen, kesitlerde az da olsa meydana gelen küçülmeler sebebiyle metrajların azalması toplam keşif miktarına yansdığından, C90 betonu ile yapılan hesapların, C35 değerlerine oldukça yakın olduğu görülebilmektedir. Kendiliğinden yerleşme özelliği bulunan C90 betonu aynı zamanda yüksek durabiliteye sahip olduğundan, yapı ömrüne büyük bir katkı sağlayacaktır.

Yüksek dayanımın yanı sıra kendiliğinden yerleşme özelliği bulunan betonların kullanılmasıyla, daha fazla özen ve dikkat gerektiren projelerde, beton dökümünden kaynaklanan hatalar asgari düzeye indirilebilmektedir. Üretim hızının artması ve işçi sayısındaki azalma maliyetlerin düşmesinde etkili olacaktır. Tasarımda özgürlük ve daha iyi koşullarda üretim yapılması, kendiliğinden yerleşen betonların diğer avantajları olarak sıralanabilir.

Bu proje çalışması kapsamında, iki farklı yapının C35 ve C90 betonları kullanılarak yapılan tasarımında mod birleştirme yöntemi kullanılarak elde edilen deprem yükleri belirlenmiştir (Çizelge 5.4 ve 5.5).

Çizelge 5.4 : 21 katlı yapıya ait deprem yükleri sonuçları.

Deprem Yüğü (t)				
Kat	"X" yönü		"Y" yönü	
	C35	C90	C35	C90
21	151,21	156,05	139,66	150,03
20	148,17	154,57	140,21	152,43
19	134,93	142,21	129,55	142,26
18	125,39	133,30	121,48	134,45
17	117,04	125,45	114,22	127,30
16	109,24	118,00	107,30	120,35
15	103,55	112,62	102,32	115,35
14	96,48	105,54	95,87	108,50
13	89,65	98,53	89,54	101,60
12	83,03	91,55	83,32	94,67
11	76,56	84,54	77,16	87,66
10	73,31	78,96	74,15	82,11
9	66,91	71,61	67,80	74,75
8	60,24	64,01	61,16	67,10
7	53,25	56,14	54,18	59,12
6	45,92	48,03	46,80	50,79
5	40,33	40,60	41,08	43,04
4	32,12	32,06	32,61	33,99
3	23,72	23,50	23,87	24,80
2	15,35	15,15	15,16	15,80
1	7,30	7,33	6,94	7,42
Σ	1653,68	1759,73	1624,38	1793,50

Çizelge 5.5 : 6 katlı yapıya ait deprem yükleri sonuçları.

Deprem Yüğü (t)				
Kat	"X" yönü		"Y" yönü	
	C35	C90	C35	C90
6	106,70	105,68	99,65	97,97
5	78,40	77,75	81,58	80,50
4	57,02	56,30	62,74	62,34
3	42,85	42,64	45,94	46,11
2	31,37	31,44	29,86	30,32
1	17,05	17,59	13,63	14,15
Σ	333,39	331,39	333,40	331,39

6 katlı yapıya ait deprem yükleri değerlendirildiğinde, elde edilen sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda; yapı periyotları 6 katlı yapı için C35 betonda 0,72 sn, C90 betonda 0,68 sn, 21 katlı yapı için C35 betonda 2,04 sn, C90 betonda 1,82 sn olarak elde edilmiştir. Periyotlardaki bu farklılıklar nedeni ile 6 katlı yapıda deprem yükleri C90 betonda daha düşük, 21 katlı yapıda ise C35 betonda daha düşüktür.

6. SONUÇLAR VE KARŞILAŞTIRMALAR

Yüksek dayanıma sahip kendiliğinden yerleşen betonların deprem açısından incelenmesi amacı ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan ve biri 6 diğeri 21 katlı iki farklı yapının hesaplamalarından elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Kendiliğinden yerleşen Ayazağa ve Cebeci betonlarından, 72cm ile 75 cm arasında yayılma elde edebilmek için, Ayazağa karışımında bağlayıcı malzemelerin %1,2' si, Cebeci karışımında ise %1,1' i kadar akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Her iki karışımında kullanılan malzemelerden sadece kırma kum ve 1 numara kırma taş farklı ocaklardan temin edilmiştir. Bu da bize kendiliğinden yerleşen betonlarda farklı agrega kullanımının akışkanlaştırıcı madde miktarını etkilediğini göstermektedir.

Bu çalışmada üretilen kendiliğinden yerleşen Ayazağa ve Cebeci betonlarının işlenebilirlik özellikleri incelendiğinde, her iki betonun da yüksek doldurma ve geçiş yeteneğine sahip olduğu görülmüştür. Ancak akış sürelerine bakıldığında bu değerlerin yüksek olduğu belirlenmiştir. Karışımlarda kullanılan bağlayıcı malzeme miktarının artırılması, su/çimento oranının azaltılmasıyla daha kohezif bir yapıya sahip olmaları nedeniyle, bu betonların akış sürelerinin arttığı düşünülmektedir.

Ayazağa ve Cebeci betonlarının dayanım gelişimi incelendiğinde, 18 saat sonunda toplam basınç dayanımlarının %25' ini elde ettikleri görülmüştür. 12 saatlik dayanımların 0,5 MPa olduğu düşünüldüğünde, 6 saatlik sürede dayanımlarda meydana gelen yükseliş gözden kaçmamaktadır.

Her iki beton tipine ait elastisite modülü deney sonuçları incelendiğinde, Ayazağa karışımına ait değerlerin Cebeci değerlerinden yaklaşık %20 daha düşük olduğu belirlenmiştir. Farklı agrega kullanımının elastisite modülü değerlerine etki ettiği belirlenmiştir.

Yarmada çekme deneyinde 3, 7 ve 14. günlere ait sonuçların Ayazağa betonunda Cebeci'den yüksek, diğer günlerde ise birbirine yakın olduğu saptanmıştır. Dayanım gelişimindeki bu farklılıkların, kullanılan agrega tipinden meydana geldiği belirlenmiştir.

Yapılan üç noktalı eğilme deneyi sonuçlarına göre, Ayazağa karışımına ait net eğilme dayanımı ve kırılma enerjisi değerlerinin Cebeci değerlerinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Agregada tipindeki farklılık nedeniyle daha yüksek dayanım değerlerine sahip olan Cebeci tipi betonun, beklendiği gibi daha gevrek bir yapıya sahip olduğu, bu nedenle de enerji yutma kapasitesinin Ayazağa tipi betona oranla daha düşük olduğu saptanmıştır.

Diğer sertleşen beton deneyleri kapsamında yapılan, adyabatik ısı, termal genleşme, rötre ve sünme testlerine ait sonuçlar incelendiğinde elde edilen değerlerin her iki beton tipi için birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Kendiliğinden yerleşen Ayazağa ve Cebeci betonlarının geçirimsizlik özelliklerinin incelendiği üç su emme deneyinde de, her iki betonun düşük geçirimsizlik gösterdiği; ancak Cebeci değerlerinin az da olsa Ayazağa değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Donma çözülme deney sonuçlarında ise, Ayazağa betonuna ait dökülmeler, Cebeci betonuna ait dökülmelerin yaklaşık 2 katıdır. Yine de her iki betona ait sonuçlar oldukça düşüktür.

Yapılan tüm deneyler sonucunda, kendiliğinden yerleşen Ayazağa ve Cebeci betonlarının yüksek işlenebilirlik özelliğinin yanı sıra, yüksek dayanıma ve durabiliteye sahip oldukları gözlenmiştir. Her iki beton da C90 beton sınıfı özelliği göstermiştir.

Yapılan proje çalışması kapsamında, C35 beton ile C90 beton özelliği gösteren Cebeci betonu kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde beton ve kalıp metrajlarındaki farkın %1 ile %3 arasında olduğu ancak demir metrajının %7 ile %9 oranında azalabildiği görülmüştür. Beton dayanımının artması, yapıda kullanılan malzeme miktarlarında tasarruf sağladığı bilinmektedir. Ancak, bir yerden sonra bu tasarrufun kaybolacağı söylenebilir. Buna sebep olarak da şartnamelerin vermiş olduğu kısıtlamalar gösterilebilir. Kesitlerde gerçekleşecek küçülmelere bir noktadan sonra şartnameler ve yönetmelikler izin vermemektedir.

Bayındırlık Bakanlığı Resmi Birim Fiyatları kullanılarak hesaplanan yapı maliyetlerinin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. Bu hesaplara kendiliğinden yerleşen beton kullanıldığında işçilik maliyetinde oluşacak azalma yansıtılmamıştır. Bu sonuçlara dayanarak, yüksek dayanımlı betonların kullanımıyla yapı maliyetinde artış olmadan çok katlı yapıların yapılabilmesi söylenebilir.

Yapılan proje çalışmasında hesaplanan deprem yüklerinin 6 katlı yapıda birbirine yakın değerler olduğu gözlenmiştir. Ancak 21 katlı yapıya ait sonuçlar incelendiğinde, Cebeci değerlerinin yaklaşık %5 fazla olduğu tespit edilmiştir. Yapı peryotlarındaki farklılıklar nedeniyle, 21 katlı yapıda C90 betonuna ait deprem yükleri C35 betonundan yüksek hesaplanmıştır.

6.1 Değerlendirme ve Öneriler

Yapılan deneyler sonucunda agrega seçiminin beton tasarımında önemli bir yere sahip olduğu görülmüştür. Ayazağa ve Cebeci tipi betonların dayanım gelişiminde meydana gelen farklılıklar bunun en önemli göstergesidir.

Yüksek durabilite özelliklerine sahip betonlarla yapılacak yapıların uzun ömürlü ve depreme karşı daha dayanıklı olacağı söylenebilir.

Yüksek dayanımlı betonların kullanımıyla yapı maliyetinde artış olmadan çok katlı yapıların yapılabileceği söylenebilir.

Daha sonraki çalışmalarda, yüksek dayanım ve durabilite özelliklerine sahip betonlara çeşitli lif katkılarının etkisi daha detaylı bir şekilde incelenebilir.

Ayrıca; bu çalışma kapsamında yapılan hesaplamalar, farklı çerçeve sistemler, farklı paket programlar ve uygun gerilme bloğu kullanılarak çeşitlendirilebilir. Böylelikle kendiliğinden yerleşen yüksek dayanımlı beton kullanımının depreme dayanıklılık açısından incelendiği konularda daha detaylı bilgi edinilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Kocataşkın, F.**, 1991. Betonun Dünü Bugünü Yarını, 2. *Ulusal Beton Kongresi*, Yüksek Dayanımlı Beton, (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası), 23-42.
- [2] **Özyıldırım, Ç. and Lane, D.S.**, 2003. Investigation of Self Compacting Concrete, *Transportation Research Board*, Washington USA.
- [3] **EFNARC.**, 2005. “The European Guidelines for Self Compacting Concrete Specification, Production and Use”, Self-Compacting Concrete European Project Group, <<http://www.efnarc.org>>, Eylül 2010.
- [4] **Okamura, H. and Ouchi, M.**, 1999. Self Compacting Concrete: Development, Present Use and Future, In Self Compacting Concrete: *Proceedings of the First International RILEM Symposium*, A. Skarendahl, O. Petersson, Eds. RILEM Publications, Cachan Cedex, France.
- [5] **Ozawa, K., Maekawa, K., Kunishima, M. and Okamura, H.**, 1989. Development of High Performance Concrete Based on the Durability Design of Concrete Structures, In *Proceedings of the Second East-Asia and Pasific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-2)*, **1**, 445-450.
- [6] **Ozawa, K., Tagtermsirikul, S. and Maekawa, K.**, 1992. Role of Materials on the Filling Capacity of Fresh Concrete, In *Proceedings of the Fourth CANMET and ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete*, American Concrete Institute, 212-137.
- [7] **Bickley, J., Khayat, K. H. and Lessard, M.**, 2000. Performance of Self Consolidating Concrete for Casting Basement and Foundation Walls, *ACI Materials Journal*, 97, **(3)**, 374-380.
- [8] **Gaimster, R., Dixon, N.**, 2003. Self-Compacting Concrete, in *Advanced Concrete Technology*.
- [9] **Erdoğan, T. Y.**, 2003. *Beton*, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını.
- [10] **Özkul, H., Taşdemir, M., A., Tokyay, M. ve Uyan, M.**, 1999. Her Yönüyle Beton, THBB, İstanbul.
- [11] **TSEN206-1.**, 2002. Beton Özellikleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [12] **Taşdemir, M. A. ve Bayramov, F.**, 2002. Yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı, *İtühergisi/d Mühendislik*, **1**, **(2)**, 125-144.

- [13] **Ozawa, K., Maekawa, K., and Okamura, H.,** 1992. Development of High Performance Concrete, *Journal of the Faculty of Engineering, The University of Tokyo (B)*, **XLI**, (3), 381-439.
- [14] **Okamura, H.,** 1997. Self-compacting high-performance concrete, *Concrete International*, **19 (7)**, pp. 50-54.
- [15] **Skarendahl, A. and Petersson, O., eds.** 2000. Self-Compacting Concrete, *State-of-the Art report of RILEM TC 174-SCC*, RILEM Publications, Report **23**, 154p, Cachan Cedex.
- [16] **Koehler, E. P. and Fowler, D. W.,** 2007. Proportioning SCC Based on Aggregate Characteristics. In *5th International RILEM Symposium on Self Compacting Concrete (SCC 2007)*, 3-5 September, Eds. De Schutter, G. and Boel, V., Rilem Proceedings, **54**, **1**, 67-72.
- [17] **Grünewald, S. and Walraven, J. C.,** 2001. Parameter-study on the influence of steel and coarse aggregate content on the fresh properties of self-compacting concrete., *Cement and concrete Research*, **31**, (**12**), 1793-1798.
- [18] **Bornemann, R. and Schmidt, M.,** 2002. The Role of Powders in Concrete, *6th International Symposium on Utilization of High Strength/High Performance Concrete*, Leipzig June,
- [19] **Şengül, C.,** 2005. Kendiliğinden Yerleşen Çelik Lif Donatılı Betonların Mekanik Davranışına Su/İnce Malzeme Oranının ve Lif Dayanımının Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [20] **Yılmaz, B. , Dinç, A., Şengül, C., Akkaya, Y. ve Taşdemir, M.A.,** 2007. Su/çimento Oranı ve Çelik Lif Dayanımının Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik ve Mekanik Davranışına Etkileri. 2. *Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, 12-13 Nisan, TMMOB İnşaat ve Kimya Mühendisleri Odaları, s. 141-160.
- [21] **Yılmaz, B. , Dinç, A., Şengül, C., Akkaya, Y. ve Taşdemir, M.A.,** 2007. Effects Of Cement/Powder Ratio On Workability and Mechanical Behaviour Of SCFRCs. *International Conference on "Advances in Cement Based Materials and Applications in Civil Infrastructure - (ACBM-ACI)"* Lahore, December 12-14, 11 pp.
- [22] **Sonebi, M.,** 2004. Medium strength self-compacting concrete containing fly ash: Modelling using factorial experimental plans, www.sciencedirect.com, *Cement and Concrete Research*, **34**, 1199-1208.
- [23] **Felekoğlu, B. Ve Baradan, B.,** 2004. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özellikleri, *Beton Kongre Bildiri*, İstanbul.
- [24] **Qian, C., Stroven, P., Dalhuisen, D. H. and Moczko, A.,** 2000. Fracture Properties and Acoustic Emission Response of Hybrid Polypropylene-Steel Fibre Reinforced Concrete. *Fifth RILEM Symposium on Fibre-Reinforced Concretes (FRC)*, 491-500, Lyon, France.

- [25] **Betterman, L. R., Ouyang, C. and Shah, S. P.**, 1995. Fiber-Matrix Interaction in Microfiber-Reinforced Mortar, *Advanced Cement Based Materials*, 2, 53-61.
- [26] **Yıldırım H., Sertbaş Burcu. ve Berbergil V.**, 2006. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Polipropilen ve Çelik Lif Kullanılmasının İşlenebilirliğe Etkisi.
- [27] **Okamura, H. and Ouchi, M.**, 2003. Self Compacting Concrete, *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1, (1), Japan Concrete Institute.
- [28] **Edamatsu, Y., Nishida, N. and Ocuhi, M.**, 1999. A rational mix-design method for self-compacting concrete considering interaction between coarse aggregate and mortar particles. *Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self Compacting Concrete*, Stockholm, Sweden 309-320.
- [29] **Gürdal, H. ve Yüceer, Z.**, 2004. Türkiye ve Dünyada Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları, *Beton 2004 Kongresi Bildirimleri*, 244-254.
- [30] **EFNARC**, 2002. Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete, Şubat.
- [31] **Noguchi, T., Oh, S., G. and Tomosawa, F.**, 1999. Rheological Approach to Passing Ability Between Reinforcing Bars of Self-Compacting Concrete. *Proceedings of the First International RILEM Symposium*, 59-60, Stockholm, Sweden.
- [32] **Aykan, G., Gurol, G., Tezel, O. O. ve Yuceer, Z.**, 2004. Kendiliğinden Yerleşen Beton Deney Metotları ve Uygulama Örnekleri. *Hazır Beton Kongresi*, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 266-276.
- [33] **Bartos, P., J., M., Sonebi, M. and Tamim, A., K.**, Workability and Rheology of Fresh Concrete: Compendium of Tests, *RILEM Technical Committee TC 145-WSM Workability of Special Concrete Mixes*.
- [34] **Arbelaez Jaramilo, C.A., Rigguera Victor, J.W., Marti Vargas, J.R., Serna Ros, P. and Pinto Barbosa, M.**, 2003. Reduced Models Test for The Characterization of the Rheologic Properties of Self Compacting Concrete, *3rd International Symposium on Self-compacting Concrete*, 17- 20 August, Reykjavik, Iceland.
- [35] **Testing-SCC**, 2005. Guidelines For Testing Fresh Self-Compacting Concrete, September.
- [36] **Bartos, Peter. J.M.**, 2005. Testing-SCC: Towards New european Standarts For Fresh SCC, *First International Symposium on Design, Performance and Use of Self Compacting Concrete SCC*, China, 26-28 May, Changsa, Hunan, China.
- [37] **Wüstholtz, T.**, 2003. Fresh Properties Of Self-Compacting Concrete (SCC), *Otto-Graf-Journal*, 14, 186.
- [38] **Özkul, M. H.**, 2002. Beton Teknolojisinde Bir Devrim: Kendiliğinden Yerleşen- Sıkışan Beton, *Hazır Beton*, 64-71, Temmuz- Ağustos.

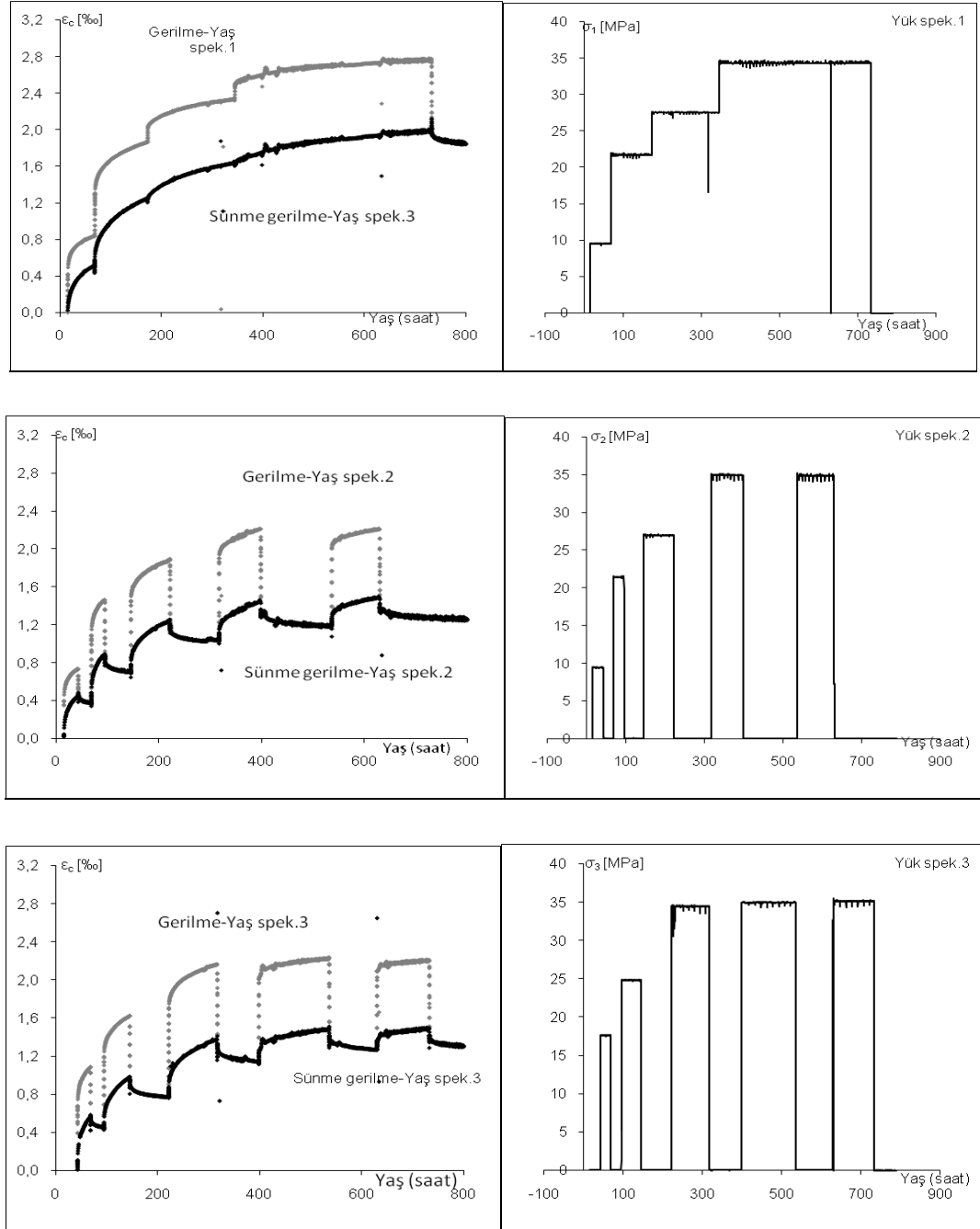
- [39] **Taşdemir, M. A., Taşdemir, C., Akyüz, S., Jefferson, A. D., Lydon, F. D. and Barr, B. I. G.,** 1998. Evaluation of Strains at Peak Stresses in Concrete: A Three-Phase Composite Model Approach, *Cement and Concrete Composites*, **20**, 301- 318.
- [40] **Akkaya, Y., Peled, A. and Shah, S. P.,** 2000. Parameters Related to Fiber Length and Processing in Cementitious Composites, *Materials and Structures*, **33**, 515-524.
- [41] **ACI 544.1R-96,** 1996. *State of the Art Report On Fibre Reinforced Concrete*.
- [42] **Alkan G.,** 2004. Polipropilen Lifli Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [43] **Subaşı, S. ve Emiroğlu, M.,** 2008. Lif Kullanılan Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda İşlenebilirlik ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki Analizi *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi Science and Eng. J of Fırat Univ.* **20 (3)**, 527-539.
- [44] **Ergün, A. ve Lüle, A.,** 2008. Kısa Bildiri Betonarme Yapıların Projelendirilmesinde Beton Sınıfı Değişiminin İncelenmesi, *İMO Teknik Dergi*, 4357-4362, **287**.
- [45] **Özkan, Ö.,** 2004. Beton Sınıflarının Karkas Yapı Maliyetlerine Etkisi, *Teknoloji*, **7, (1)**, 171-179.
- [46] **Türkel, S. ve Felekoğlu, B.,** 2004. Aşırı Dozda Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı Kullanımının Taze ve Sertleşmiş Betonun Bazı Özellikleri Üzerine Etkisi, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, **6, (1)**, 77-89, Ocak.
- [47] **Swamy, R., N.,** "Design For Durability nad Strength Through the Use of Flay-Ash and Slag in Concrete", *3rd CAN-MET/ACI Intern Conf On Advances in Concrete*.
- [48] **Akman, S.,** 1990. Yapı Malzemeleri, *İTÜ İnşaat Fak. Matbaası*, İstanbul

EKLER

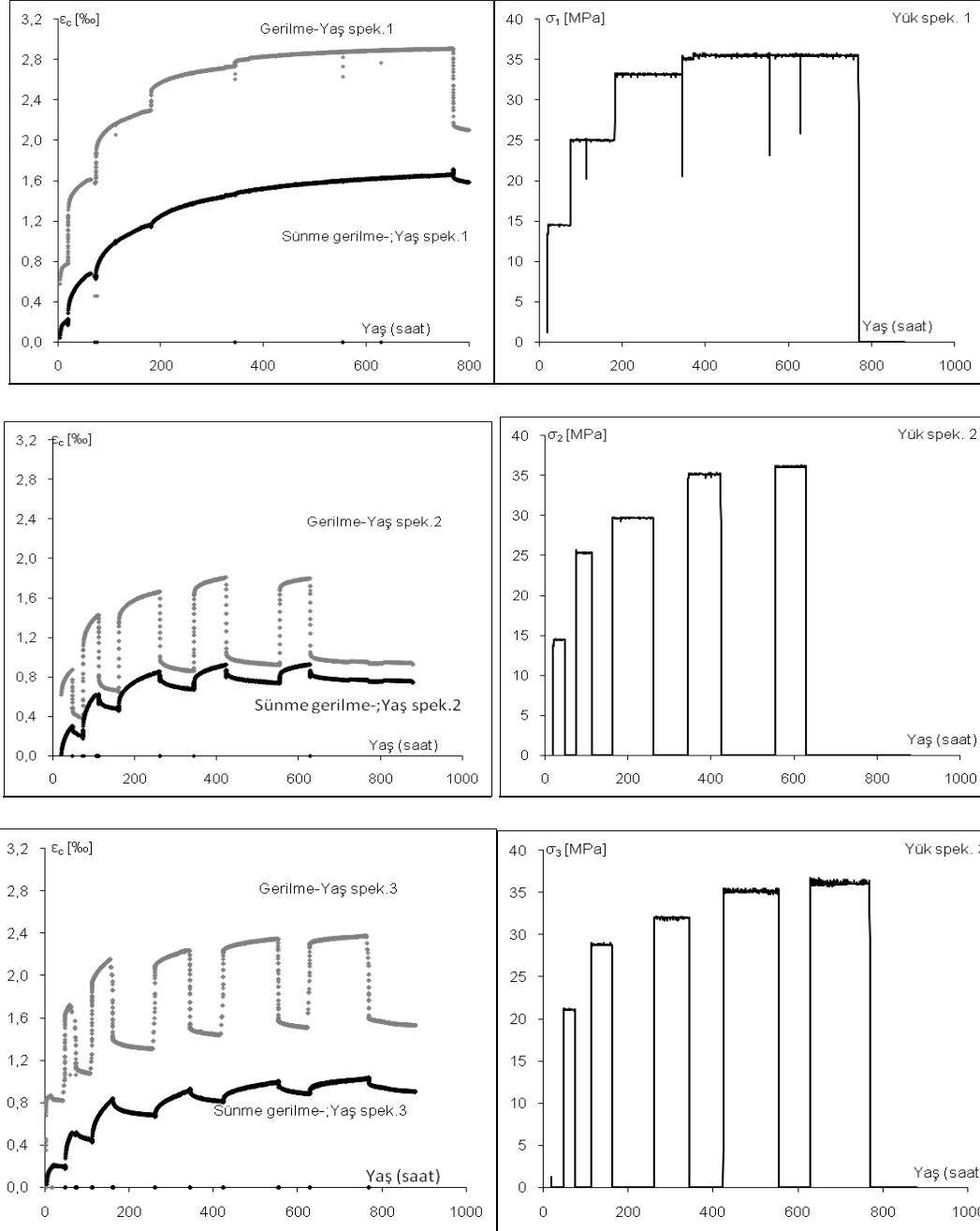
EK A.1 : Deney sonuçları

EK B.1 : Kat planları

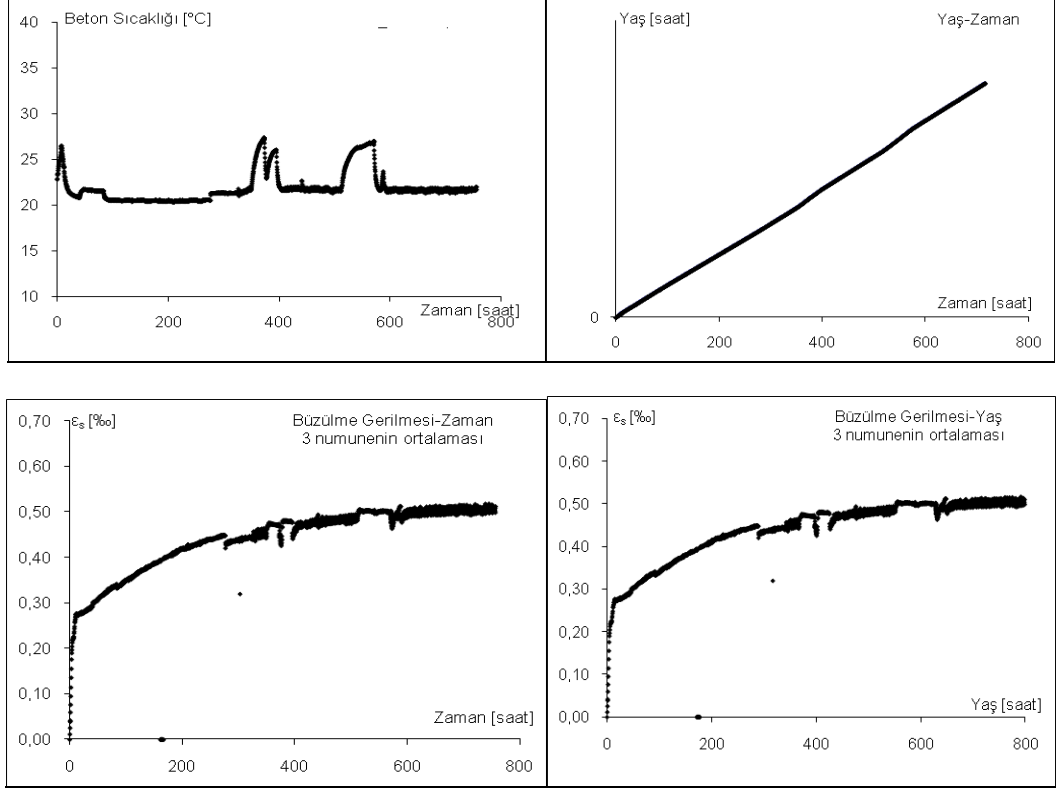
EK A.1



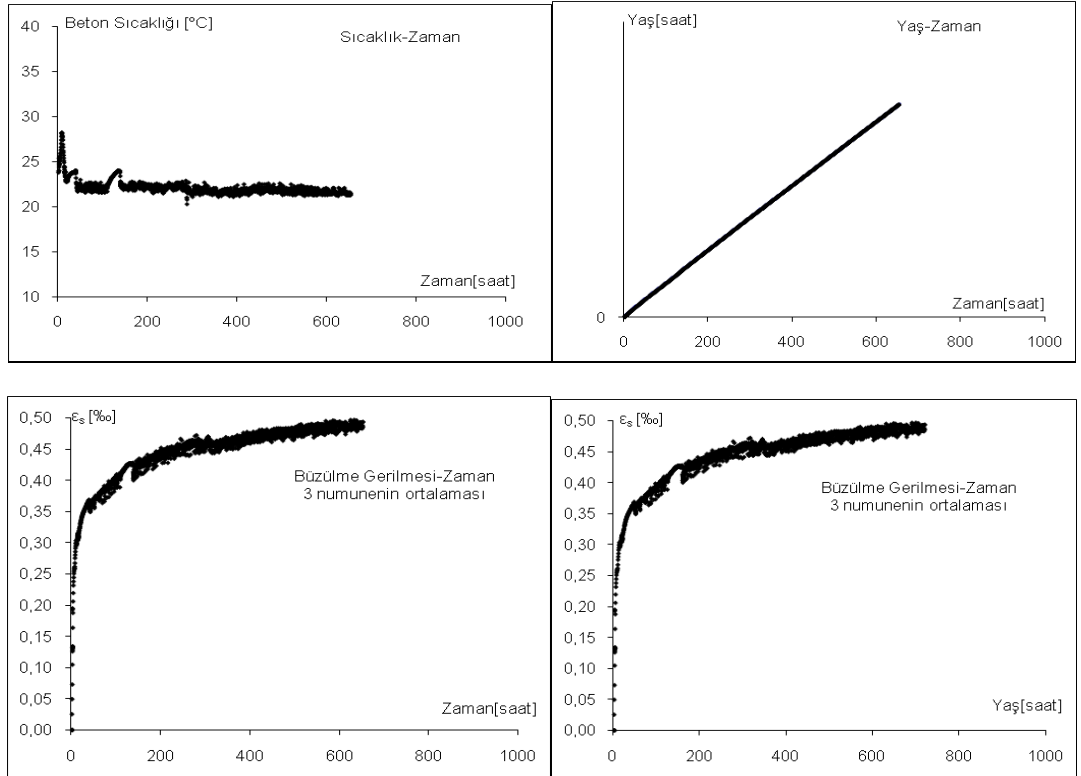
Şekil A.1 : Ayazağa betonuna ait sünme deneyi grafikleri.



Şekil A.2 : Cebeci betonuna ait sünme deneyi grafikleri.



Şekil A.3 : Ayazağa betonuna ait rötre deneyi grafikleri.



Şekil A.4 : Cebeci betonuna ait rötre deneyi grafikleri.

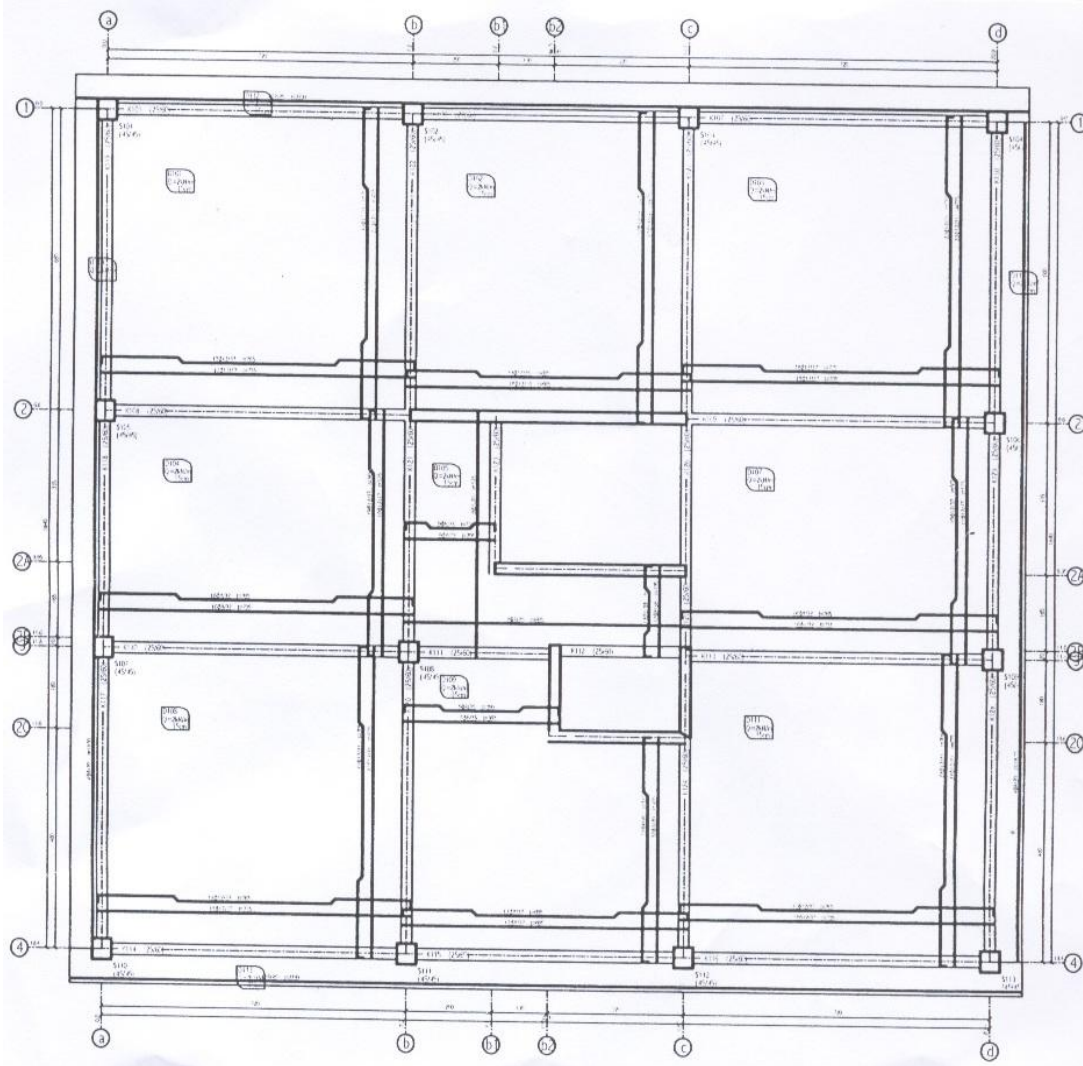
Çizelge A.1 : Ayazağa betonuna ait donma çözülme deneyi ultra ses hızı sonuçları.

No	4. döngü			6. döngü			14. döngü			28. döngü			56. gün		
	ms. 1	ms. 2	ort.	ms. 1	ms. 2	ort.	ms.1	ms. 2	ort.	ms. 1	ms. 2	ort.	ms. 1	ms. 2	ort.
1	33,4	33,4	33,4	32,5	32,3	32,4	32,2	32,3	32,3	32,4	32,1	32,3	32,4	32,6	32,5
2	33,3	33,7	33,5	32,6	32,4	32,5	32,2	32,5	32,4	32,5	32,4	32,5	32,5	32,5	32,5
3	33,4	33,8	33,6	32,5	32,7	32,6	32,7	32,4	32,6	32,4	32,7	32,6	32,6	32,8	32,7
4	33,8	33,6	33,7	32,7	32,7	32,7	32,2	32,5	32,4	32,4	32,2	32,3			
5	33,7	33,7	33,7	32,8	32,9	32,9	32,1	32,3	32,2	31,9	32,1	32,0			
Ort.	33,5	33,6	33,6	32,6	32,6	32,6	32,3	32,4	32,3	32,3	32,3	32,3	32,5	32,6	32,6

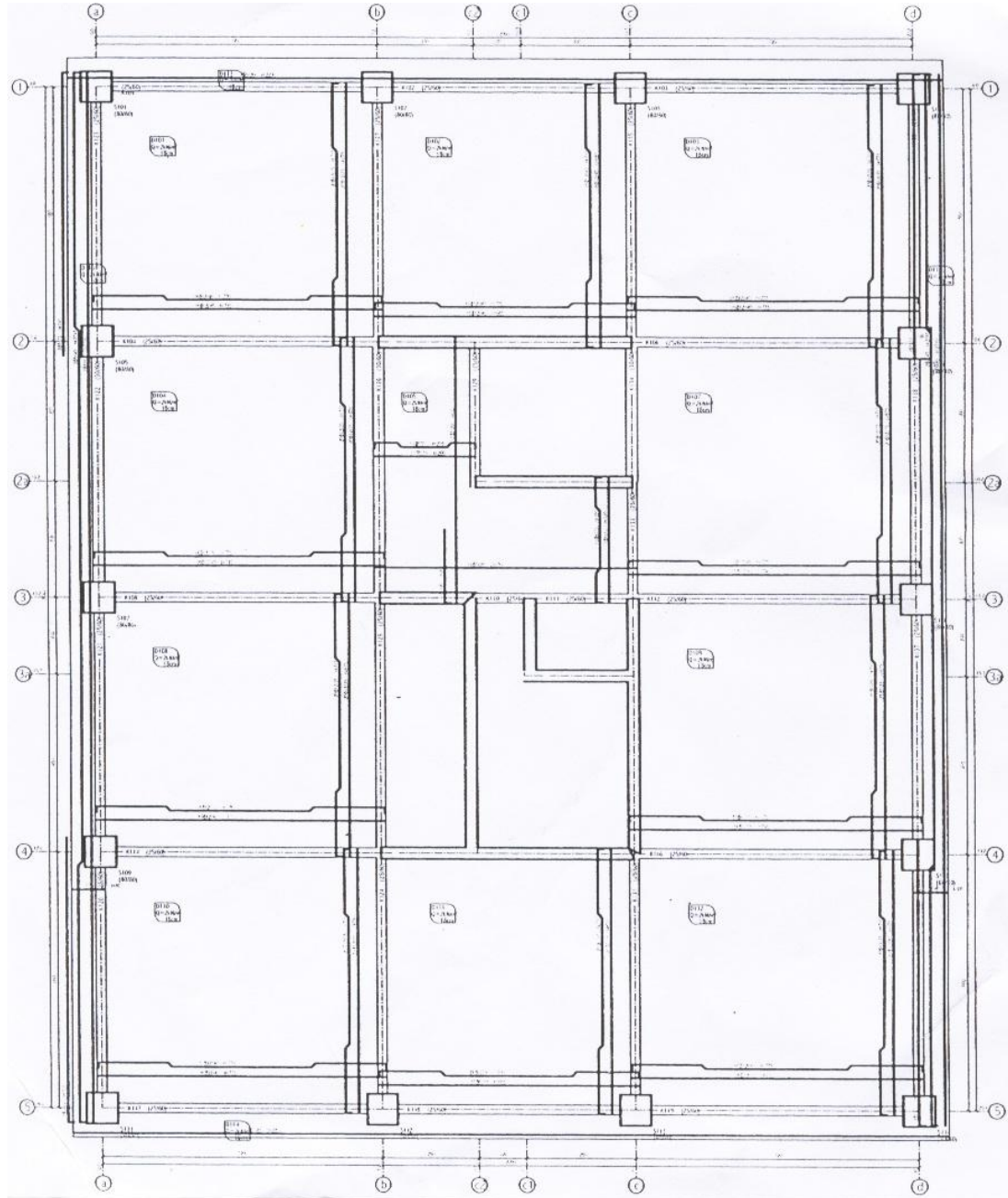
Çizelge A.2 : Cebeci betonuna ait donma çözünme deneyi ultra ses hızı sonuçları.

No	4. döngü			6. döngü			14. döngü			28. döngü			56. gün		
	ms. 1	ms. 2	ort.	ms. 1	ms. 2	ort.	ms.1	ms. 2	ort.	ms. 1	ms. 2	ort.	ms. 1	ms. 2	ort.
1	30,7	30,9	30,8	30,6	30,8	30,7	30,5	30,7	30,6	30,8	30,9	30,9	31,1	31,0	31,1
2	30,9	30,8	30,9	30,9	30,6	30,8	30,7	30,4	30,6	30,5	30,9	30,7	30,9	30,8	30,9
3	30,8	30,7	30,8	30,4	30,7	30,6	30,4	30,6	30,5	30,6	30,7	30,7	30,8	31,0	30,9
4	30,5	30,8	30,7	30,5	30,5	30,5	30,2	30,3	30,3	30,5	30,5	30,5			
5	30,8	30,7	30,8	30,7	30,9	30,8	30,6	30,7	30,7	30,7	30,6	30,7			
Ort.	30,7	30,8	30,8	30,6	30,7	30,7	30,5	30,5	30,5	30,6	30,7	30,7	30,9	30,9	30,9

EK B.1



Şekil B.1 : 6 katlı binanın kalıp planı.



ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Zafer GARİP

Doğum Yeri ve Tarihi: Bulgaristan / 25.03.1984

Adres: 19 Mayıs Mahallesi Şeker Sokak Öztürk Apartmanı No:8/8

Şişli / İSTANBUL

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi

