

**UÇUCU KÜL VE ANTİFRİZ KATKILI BETONLARIN BASINÇ  
DAYANIMI ÜZERİNE DON ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Hilmi Duygu EKMEKÇİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
YAPI EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2010  
ANKARA**

Hilmi Duygu EKMEKÇİ tarafından hazırlanan Uçucu Kül ve Antifriz Katkılı Betonların Basınç Dayanımı Üzerine Don Etkisinin Araştırılması adlı bu tezin Yüksek Lisans olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ .....  
Tez Danışmanı, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ .....  
Yapı Eğitimi, Gazi Üniversitesi  
Doç. Dr. İ. Özgür YAMAN .....  
İnşaat Mühendisliği, ODTÜ  
Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK .....  
Yapı Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Tarih: ...../...../.....

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU .....  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hilmi Duygu EKMEKÇİ

# UÇUCU KÜL VE ANTİFRİZ KATKILI BETONLARIN BASINÇ DAYANIMI ÜZERİNE DON ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Hilmi Duygu EKMEKÇİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2010

## ÖZET

Bu çalışmada, uçucu kül (UK) ve antifriz (AF) katkıli betonların basınç dayanımı üzerine don etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla UK, ağırlıkça çimento ile %15 ve %30 oranlarında yer değiştirilerek beton karışımına ilave edilmiştir. Üretilen beton karışımlarında su/bağlayıcı (s/b) oranı, çimento, süperakışkanlaştırıcı (SA) ve AF miktarı sabit alınmıştır. Üretilen beton karışımları üzerinde taze beton deneyleri yapıldıktan sonra 10x20 cm boyutlu silindir beton numuneleri elde edilmiştir. Silindir beton numuneleri deney gününe kadar standart kür ortamında bekletilmiştir. Numuneler üzerinde 3, 7, 28 ve 90 gün yaşlarda basınç dayanımı ve birim hacim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Üretilen betonlardan elde edilen deney sonuçları hem birbirleriyle hem de kontrol betonu değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak en uygun deney sonuçları %15 UK ikameli betonlarda elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 714.1.143  
Anahtar Kelimeler : Beton, kimyasal katkı, mineral katkı, basınç dayanımı, don etkisi.  
Sayfa Adedi : 63  
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ

**INVESTIGATION OF FREEZING PROPERTIES ON COMPRESSIVE  
STRENGTH OF CONCRETE WITH FLY ASH AND ANTIFREEZE  
ADMIXTURES**

**(M. Sc. Thesis)**

**Hilmi Duygu EKMEKÇİ**

**GAZI UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
June 2010**

**ABSTRACT**

In this study, the influence of freezing on compressive strength of concrete with fly ash (FA) and antifreeze (AF) admixtures was investigated. For this purpose, FA was replaced by 15% and 30% weight of cement. In the concrete mixtures produced, w/c ratio and amount of cement, superplasticiser (SP) and AF were kept constant. After fresh concrete experiments were done on the concrete mixtures produced, cylinder concrete specimens of 10x20 cm size were obtained. Cylinder specimens were kept in standard curing environment until test day. Compressive strength and unit volume weight tests were carried out on the concrete specimens at 3, 7, 28 and 90-day ages. Test results obtained from concretes produced were compared with each other as well as with the values of control concrete. As a result, the best test results were obtained with 15% FA replacement concretes.

**Science Code : 714.1.143**  
**Key Words : Concrete, chemical admixtures, mineral additives, compressive strength, freezing effect.**  
**Page Number : 63**  
**Advisor : Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ**

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ'a, Yapı Eğitimi Bölüm Başkanı Prof. Dr. Metin ARSLAN'a, Bölüm Başkan Yardımcısı Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK'e, ayrıca eğitime verdiği büyük destekten ötürü Millî Eğitim Bakanlığı Erkek Teknik Öğretim Genel Müdürlüğü Yatırım Şubesi Müdürü Mehmet Ali ADAK'a, Erkek Teknik Öğretim Genel Müdürlüğü'nde görevli tüm çalışma arkadaşlarıma, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli eşim, kızım İrem ve oğlum Görkem'e, çok değerli bilgi ve becerilerinden faydalandığım meslektaşlarım Kadir YANARDAĞ, Dr. Mustafa ÇULLU ve Burak ÖZDEMİR'e, Ankara Set Çimento, Set Beton ve Çolakoğlu-2 termik santrali yönetici ve çalışanları ile deney çalışmalarında yardımcı olan öğrencilerime teşekkürü bir borç bilirim.

**İÇİNDEKİLER**

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Beton ve Bileşenleri.....	3
2.1.1. Agregası.....	3
2.1.2. Çimento.....	6
2.1.3. Su.....	7
2.1.4. Katkı maddeleri.....	9
2.2. UK, SA ve AF ile Yapılan Önceki Çalışmalar.....	20
2.3. Donma-Çözülme ile İlgili Önceki Çalışmalar.....	22
3. MATERYAL VE METOT.....	24
3.1. Materyal.....	24
3.1.1. Agregası.....	24
3.1.2. Çimento.....	25
3.1.3. Su.....	26
3.1.4. Uçucu kül (UK).....	26
3.1.5. Süper akışkanlaştırıcı (SA).....	27
3.1.6. Antifriz (AF).....	28

	<b>Sayfa</b>
3.2. Metot.....	29
3.2.1. Deney programı .....	30
3.2.2. Taze beton deneyleri.....	32
3.2.3. Sertleşmiş beton deneyleri.....	36
4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	41
4.1. Taze Beton Özellikleri.....	41
4.1.1. Çökme (slump).....	41
4.1.2. Ve-Be.....	41
4.1.3. Hava miktarı.....	41
4.1.4. Birim ağırlık.....	42
4.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri.....	43
4.2.1. Basınç dayanımı.....	44
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	52
5.1. Sonuçlar.....	52
5.2. Öneriler.....	52
KAYNAKLAR.....	54
EKLER.....	60
Ek-1. Acık hava kalıptarihleri ve sıcaklıklar.....	61
Ek-2. 3,7,28 ve 90 günlük basınç deneyi sonuçları.....	62
Ek-3. 7,28 ve 90 günlük basınç deneyi sonuçları.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	64

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Kullanıldıkları yerlere göre agregaların $D_{maks}$ değerleri .....	4
Çizelge 2.2. Çimento dayanım sınıfları .....	7
Çizelge 2.3. Suların zararlık dereceleri için sınır değerleri .....	8
Çizelge 2.4. Yüksek oranda su azaltıcı / SA katkıların özellikleri (Eşit kıvamda) .....	13
Çizelge 2.5. Yüksek oranda su azaltıcı / SA katkıların özellikleri (Eşit s/ç oranında) .....	14
Çizelge 2.6. SA bir katkıdan istenen mukavemet şartları .....	17
Çizelge 3.1. Agregaların deneylerle belirlenen elek analizi sonuçları .....	25
Çizelge 3.2. CEM I 42.5R Çimentosunun özellikleri .....	26
Çizelge 3.3. UK'nın (Çolakoğlu-2 termik santrali) kimyasal analizi ve fiziksel Özellikleri .....	27
Çizelge 3.4. SA katkının özellikleri .....	28
Çizelge 3.5. AF katkının özellikleri .....	28
Çizelge 3.6. Deney programı .....	31
Çizelge 3.7. 1 m <sup>3</sup> beton karışımına giren malzeme miktarları (kg/m <sup>3</sup> ) .....	32
Çizelge 3.8. Ankara son 33 yıllık meteorolojik ortalamaları .....	38
Çizelge 3.9. Deney tarihlerinde meydana gelen hava şartları .....	39
Çizelge 4.1. Taze beton deney sonuçları .....	42
Çizelge 4.2. Sertleşmiş beton deney sonuçları .....	43

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Su azaltıcı katkı maddelerinin etkinliği.....	12
Şekil 3.1. Beton karışımlarında kullanılan agrega'nın granülometri eğrisi.....	25
Şekil 4.1. 3 günlük numunelerin basınç dayanımları.....	45
Şekil 4.2. 7 günlük numunelerin basınç dayanımları.....	46
Şekil 4.3. 28 günlük numunelerin basınç dayanımları.....	48
Şekil 4.4. 90 günlük numunelerin basınç dayanımları.....	49
Şekil 4.5. %15 UK için karşılaştırmalı basınç değerleri.....	50
Şekil 4.6. %30 UK için karşılaştırmalı basınç değerleri.....	51

**RESİMLERİN LİSTESİ**

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 3.1. Slump deneyinin yapılışı .....	35
Resim 3.2. Taze betonun Ve-Be süresi tayini deneyinin yapılışı.....	36
Resim 3.3. Taze betonun hava miktarı tayini deneyinin yapılışı .....	36
Resim 3.4. Basınç dayanımı deneyinin yapılışı.....	37
Resim 3.5. Beton numunelerinin çözülme ortamı.....	40

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>D<sub>maks</sub></b>	Agrega en büyük tane çapı
<b>MPa</b>	Mega paskal

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>UK</b>	Uçucu kül
<b>SA</b>	Süper akışkanlaştırıcı
<b>AF</b>	Antifriz
<b>SD</b>	Silis dumanı
<b>s/ç</b>	Su/çimento oranı
<b>s/b</b>	Su/bağlayıcı oranı
<b>HS</b>	Hava sürükleyici
<b>YDB</b>	Yüksek dayanımlı beton
<b>SD</b>	Silis dumanı
<b>PÇ</b>	Portland çimentosu
<b>DKY</b>	Doygun kuru yüzey
<b>KB</b>	Kontrol betonu
<b>GD</b>	Gün donma
<b>GK</b>	Gün kalıp
<b>D1/K2</b>	Donma 1 gün/Kalıpta 2 gün
<b>D1/K6</b>	Donma 1 gün/Kalıpta 6 gün
<b>D3/K0</b>	Donma 3 gün/Kalıpta 0 gün
<b>D3/K4</b>	Donma 3 gün/Kalıpta 4 gün

## 1. GİRİŞ

Günümüzde inşaat sektöründe en çok kullanılan yapı malzemelerinden biri betondur. 150 yıldır üretilen betonlarda bağlayıcı madde olarak çimento kullanılmaktadır. Bununla birlikte alternatif bağlayıcılar ya da çimentoyla yer değiştirebilecek malzemelere yönelik araştırmalarda devam etmektedir. Betonun üretimi sırasında doğal kaynakların mümkün olduğu kadar az kullanılması, elde edilen betonların güvenli ve dayanıklı olması da çok önemlidir.

1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi sonrasında araştırmacılar, çimentonun daha ucuza üretiminin gerçekleştirilebilmesi ve enerji maliyetinin azaltılması yönünde çalışmalar yapmıştır. Ekonomik, teknolojik ve ekolojik açıdan değerlendirildiğinde beton içerisinde çimento ile yer değiştirebilecek katkı maddelerinin bulunmasının önemi büyüktür. Kullanılacak katkıların puzolanik özelliğinin bulunmasının betona teknik açıdan daha fazla avantaj kazandırdığı bilinmektedir. Bu katkı maddelerinin endüstriyel atık malzeme olması ise enerji, ekonomi, çevre kaynaklarının korunması vb. açılardan yararlı olmaktadır.

Betonda puzolanların kullanılmasının bir dezavantajı çok ince taneli olması sebebiyle beton karışım suyunu emmesi ve işlenebilirliği azaltmasıdır. Süper akışkanlaştırıcı (SA) katkı maddelerinin bulunmasıyla birlikte bu etki de ortadan kalkmıştır [1].

SA katkılı çimento ve betonlar yüksek dayanım ve dayanıklılık isteyen yerlerde kullanılmaktadır. Uygulama alanları yerinde dökülmüş veya prefabrik, yüksek dayanımlı ve erken dayanımı yüksek beton elemanları, ağır aşınmaya maruz döşemeler ve yol kaplamaları, erozyona ve oyulmaya maruz hidrolik yapılar, zararlı kimyasallara maruz betonlar, deniz yapıları vb. sayılabilir [1].

Bu alışmada, Türkiye'de beton üretiminde yaygın olarak kullanılan uçucu kül (UK) ve SA ile kiş mevsiminde betona katılan antifriz (AF) katkıların birlikte kullanımının beton özelliklerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Beton ve Bileşenleri

Beton genel olarak çimento, agrega (iri-ince), su ve katkı maddelerinin uygun oranlarda karıştırılması ile elde edilen öncelikle plastik kıvamda, döküldüğü kalıbın şeklini alarak zaman içerisinde sertleşen ve dayanım kazanan kompozit bir yapı malzemesidir [2, 3]. Bu bölümde beton bileşenleri hakkında bilgiler verilmiştir.

#### 2.1.1. Agregas

Betonun ana iskeletini oluşturan, toplam beton hacminin yaklaşık %60-80'i oranında yeri işgal eden mineral kökenli, taneli malzeme agregas olarak isimlendirilir. Agregalar elde edilışlerine göre doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır [3, 4].

Beton üretiminde kullanılacak agregaların bazı özelliklerinin üretilecek betonun kalitesinde etkili olduğu yapılan araştırmalarda görülmüştür. Bu özellikler; silt ve kil kirliliği olmaması, maksimum tane çapının SA kullanılmadığında 10–16 mm, SA kullanıldığında ise 25 mm alınması, iyi bir aderans için kırma taş agregas kullanılması, şekli bozuk tanelerin %5'i geçmemesi, düşük s/ç oranlı karışımlarda bir miktar su emen agregas seçilmesi, kaba agregas mekanik özelliklerinin istenilen düzeyde olması, ince agregas olarak düşük s/ç oranları için kaba kum, SA kullanılacaksa ince kum kullanılabileceği belirtilmiştir [3, 5]. Agregas içerisinde iri tanelerin fazla olması karma suyu miktarının ve işlenebilirliğin azalmasına, kompasite ve dayanımın artmasına neden olmaktadır [3, 4].

Yapıda kullanılacak olan agreganın maksimum tane çapı yapı durumunun izin verdiği en büyük değer olmalıdır. Agregaların kullanılacağı yerlere göre  $D_{maks}$  değerleri Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kullanıldıkları yerlere göre agregaların  $D_{maks}$  değerleri [6]

Yapı elemanı kesitinin en dar boyutu cm	Agrega en büyük tane büyüklüğü (en fazla) (mm)			
	Donatılı perde, kiriş ve kolonlar	Sık donatılı döşemeler	Seyrek donatılı ve donatısız döşemeler	Donatısız perdeler
6-14	16	16	32	16
15-29	32	32	63	32
30-74	63	63	63	63

İyi bir beton üretiminde kullanılacak agrega,

- Sağlam olmalı, aşınmamalı, suyun etkisiyle yumuşamamalı ve dağılmamalı,
- Çimento bileşenleriyle zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemeli,
- Tanelerin biçimi ve dokusu iyi olmalı,
- Granülometrisi amaca ve standartlara uygun olmalı,
- Agregada içinde zararlı maddeler bulunmamalıdır [7].

#### Agregaların fiziksel özellikleri

Agregaların fiziksel özellikleri denildiğinde başlıca şu özellikler ön plana çıkar; birim ağırlığı, kompasitesi, porozitesi, agreganın su emme kapasitesi, mevcut nem durumu, donma-çözülme ve diğer fiziksel etkilere karşı dayanıklılık.

Agreganın fiziki sağlamlığı, agreganın kökeni, boyutları, taneler içindeki boşlukların toplam hacmi ve bu boşlukların sürekliliği ile ilgilidir [7].

#### Agregaların mekanik özellikleri

Agreganın basınç dayanımının kompasitesi ile yakın bir ilişkisi vardır. Porozitesinin küçük olması, agreganın dayanımını artırır. Kaliteli bir betonda

kullanılacak agreganın elde edildiği kayanın basınç dayanımının en az 600 kgf/cm<sup>2</sup> olması istenir [3, 7].

Agregada çarpma ve aşınma dayanımı genellikle yol ve hava meydanlarında kullanılan betonlarda ön plana çıkmaktadır. Betonun bu etkilere dayanabilmesi için, yapımında kullanılan iri agreganın aşınmaya ve çarpmaya karşı yüksek dayanıma sahip olması gerekir [7].

### Agregaların kompasitesi

Agregaların kompasitesi ile birim hacimdeki agregada tanelerin işgal ettiği hacmin toplamı anlaşılmaktadır. Agreganın kompasitesi; özgül ve birim ağırlıkları kullanılarak hesaplanır. Betonda kullanılacak agreganın kompasitesi denilince akla iki tür kompasite gelmektedir. Birincisi sadece bir agreganın kompasitesi, ikincisi ise agreganın granülometrisinin kompasitesidir.

Beton üretiminde kullanılacak agreganın granülometrisi çok iyi olmalıdır. Granülometri belirlenirken çimentonun kum tanelerinin, kum tanelerinin de çakılların arasında kalan boşlukları doldurduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Agreganın içerisindeki ince tane miktarı arttıkça beton karışım suyu miktarı da artmaktadır.

Bir agreganın kompasitesi düşük ise;

- Üretilen betonun kompasitesi ve mukavemeti düşük olur.
- Kullanılan çimento miktarı artar.
- Betonun maliyeti yükselir.
- Kusurlu malzeme miktarı artar. Bu da işlenebilirlik özelliğine etki yaparak mukavemetin düşmesine neden olur.
- Dış etkilere dayanıklılık azalır [7].

### 2.1.2. Çimento

Beton oluşumunda en büyük rolü üstlenen ve maliyeti yüksek olan elemanlardan birisi çimentodur. Beton üretiminde kullanılan çimento miktarı, agreganın granülometri bileşimi ile yakından ilgilidir. Çimento miktarının minimum değeri, agrega içindeki bütün boşlukları doldurmaya olanak sağlamalıdır. Karışımda kullanılacak çimento miktarının fazla ya da az olması bazı teknik olumsuzlukları meydana getirir. Beton karışımındaki fazla çimento miktarı rötreye, sünmeye, yüzeysel ve kılcal çatlamalara neden olmaktadır. Karışımda kullanılacak çimento taneleri ne kadar ince ise betonun mukavemeti ve su geçirimsizliği de o kadar yüksek olmaktadır [3, 7, 8]. Çimentonun prize başlama süresi 1 saatten az ve priz sonu süresi 10 saatten fazla olmamalıdır [9].

İnşaat sektöründe en çok kullanılan çimento çeşitlerinden biri Portland Çimentosudur (PÇ). PÇ' nin hammaddesi genel olarak kalker, kil ve killi kalkerler olarak üç grupta toplanır. Pişirme sıcaklığını düşürmek amacıyla karışımda alüminyum ve demir oksitlerinin de bulunması gerekir. Pişirme işleminden sonra da az miktarda alçı taşı ilave edilmektedir. Çimento hammaddesi pişirilmesiyle bazı yeni bileşikler ortaya çıkar. Sıcaklık yükseldikçe bu oksitler aralarında kalsiyum alüminatlar, kalsiyum silikatlar gibi yeni bileşikler (karma oksitler) meydana getirirler [7, 10]. PÇ kendi arasında Çizelge 2.2. 'de görüldüğü gibi sınıflara ayrılır.

Çizelge 2.2. Çimento dayanım sınıfları [11]

Dayanım sınıfı	Basınç dayanım sınırları		
	2 gün	7 gün	28 gün
32.5	-	≥ 16	≥ 32.5 ≥ 52.5
32.5 R	≥ 10	-	≥ 32.5 ≥ 52.5
42.5	≥ 10	-	≥ 42.5 ≥ 62.5
42.5 R	≥ 20	-	≥ 42.5 ≥ 62.5
52.5	≥ 20	-	≥ 52.5
52.5 R	≥ 30	-	≥ 52.5

Bu sınıflandırmada 28 günlük minimum basınç dayanımı değerinin yanında belirtilmiş olan “R” harfi, erken dayanım koşulunu getirmektedir. Çizelge 2.2.’de TS EN 197–1 standardındaki dayanım sınıfları ve basınç dayanımı sınırları verilmiştir. Standart da 32.5 ve 42.5 dayanım sınıfı çimentolar için ilk priz süresi en az 60 dakika, 52.5 dayanım sınıfı çimentoların ise en az 45 dakika olarak belirtilmiştir [11].

### 2.1.3. Su

Genel olarak beton üretiminde içilebilir nitelikte olan bütün sular kullanılabilir. Beton karma suyu asidik olmamalıdır. Yani pH=7 ve 7’nin üzerinde olmalıdır. Ancak her zaman bu özellikte su bulmak mümkün olmayabilir [3, 7].

Doğada bulunan sulardan priz geciktirmeleri açısından, ağır metal tuzları ve asitleriyle organik madde içerenlerinden kaçınmak gerekir. Suların zararlık dereceleri Çizelge 2.3.’ye göre değerlendirilebilir [12, 13].

Çizelge 2.3. Suların zararlık dereceleri için sınır değerleri [12, 13]

Sıra no	İncelenen özellikler	Zararlı etkinlik derecesi		
		Zayıf	Kuvvetli	Çok kuvvetli
1	pH değeri	6.5-5.5	5.5-4.5	4.5'den küçük
2	Kireç çözücü (CO <sub>2</sub> mg/l) (Heyer mermer deneyi ile)	15-30	30-60	60'dan büyük
3	Amonyum (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) mg/l	15-30	30-60	60'dan büyük
4	Magnezyum (Mg <sup>+2</sup> ) mg/l	100-300	300-1500	1500'den büyük
5	Sülfat (SO <sub>4</sub> ) mg/l	200-600	600-3000	3000'den büyük

Çizelge 2.3.'de belirtilen madde ve özelliklerden biri zararlı etki düzeyine ulaşıyorsa, suyun zararlı etkinlik derecesi tayininde bu düzeye ait değer esas alınır. İncelenen değerlerden iki veya daha fazlasının söz konusu olması halinde aralarında en yüksek değer esas alınarak zararlık etkinlik derecesi tayin edilir. Suyun zararlı etkinlik derecesinin tayininde esas alınan değer, o derece için Çizelge 2.3.'de belirtilen sınır değerleri aralığının üst dörtte birine yani 3/4'üne ulaşıyorsa, zararlı etkinlik bir üst değere yükseltilir [3, 12, 13].

Beton üretiminde kullanılan karma suyu;

- Bağlayıcı maddenin hidratasyonunu sağlar,
- İri ve ince agrega tanelerini ıslatır,
- Betonun işlenebilme özelliğinin istenilen düzeyde olmasına yardımcı olur,
- Optimum düzeyde su kullanımı ile mukavemeti maksimum düzeyde beton elde edilir [14].

#### 2.1.4. Katkı maddeleri

Betonda kullanılan katkı maddeleri kimyasal ve puzolanik olmak üzere iki grup altında toplanabilir.

##### Kimyasal katkılar

Genel olarak katkı maddeleri, harç ve betonun taze veya sertleşmiş haldeki özelliklerini değiştirmek veya iyileştirmek amacıyla kullanılan organik ve inorganik kökenli maddeler olarak tanımlanmaktadır. Bu katkılar çimento miktarının % oranı cinsinden ve sıvı olanlar karışım suyuna ilave edilerek kullanılırlar [2, 15].

Kimyasal katkı maddeleri;

- Su azaltıcı katkı / akışkanlaştırıcı katkı
- Yüksek oranda su azaltıcı katkı / SA katkı
- Su tutucu katkı
- Hava sürükleyici katkı (HS)
- Priz hızlandırıcı katkı (AF)
- Sertleşme hızlandırıcı katkı
- Priz geciktirici katkı
- Çok amaçlı katkılar

olmak üzere değişik sınıflara ayrılmaktadır [16].

Katkı maddeleri, kullanım amaçlarına göre;

- Beton üretiminde kullanılan çimento miktarından azaltmaya gitmeden veya dayanımdan ödün vermeden elde edilen betonun akıcı ve kolay yerleştirilebilir olmasını sağlamak,

- s/ç oranını düşürerek yüksek dayanımlı beton (YDB) üretmek, işlenebilirliği artırmak,
- s/ç oranı sabit kalmak kaydıyla hem su hem de çimento miktarı azaltılarak tasarruf yapılması durumunda, işlenebilirliği ilk seviyesinde tutabilmek amacıyla kullanılır [15].

#### Süper akışkanlaştırıcı katkılar

Belirli bir beton bileşiminde kıvamı değiştirmeden su miktarının yüksek oranda azalmasını sağlayan veya su miktarı değişmeden çökmeyi/yayılmayı yüksek oranda artıran veya her iki etkiyi birlikte yaratan kimyasal katkılardır [2, 3, 7].

- Temel, döşeme, perde, kolon ve kiriş betonlarında,
- İnce, sık donatılı beton elemanların imalatında,
- Prefabrik beton elemanların üretiminde,
- Köprü ve konsollarda,
- Ön gerilmeli beton imalatında,
- Erken kalıp alınması veya hızlı yükleme yapılması gereken yerlerde,
- Soğuk havalarda erken yüksek dayanım istenen betonun dökümünde, kullanılır [16].

SA katkıları;

- Ayırışma riski olmadan veya karışım suyunu artırmadan, işlenebilirliği kolaylaştırır,
- Betonun yoğun ve düzgün yüzeyli olmasını sağlar,
- Betonun yerleştirilmesini kolaylaştırır, vibrasyon, şişleme ve işçiliği azaltır.

Yüksek oranda su azaltıcı olarak;

- Su miktarını önemli oranda azaltır,
- Kullanım dozuna ve beton bileşime bağlı olarak katkısız betona göre erken ve son dayanımları önemli oranda artırır,
- s/ç oranını azaltarak geçirimsizliği düşürür, dayanıklılığı artırır,
- Azaltılmış su içeriği ve düşük geçirimsizlik sayesinde betonun dona ve suya karşı direncini artırır,
- Betonda karbonatlaşma hızını düşürür,
- Büzülme ve sünmeyi azaltır,
- Betonun erken ve nihai dayanımlarını artırarak ekonomi sağlar [16].

SA karışım suyuna ilâve edilerek veya yeni hazırlanmış düşük çökmeli taze betona doğrudan karıştırılarak kullanılır. Doğrudan taze betona eklendiğinde homojenliği sağlamak için karışım süresi hızlı devirde 3 dakika daha arttırılır. Betonda ayrışmaya sebep olmaması için taze betona ilave edilecek katkı miktarı uygun dozajda olmalıdır [16].

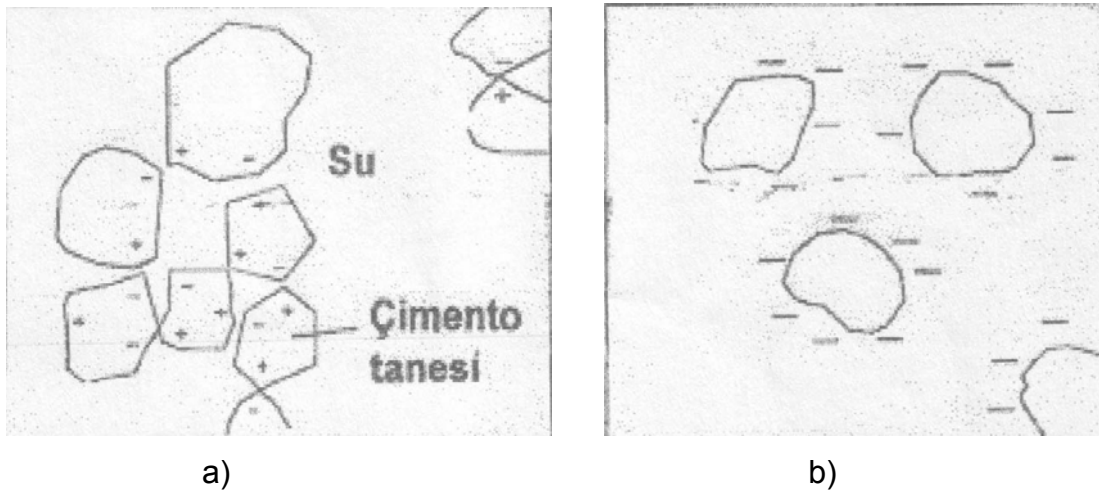
Betonda istenilen performansa bağlı olarak, bağlayıcı dozunun %0.8–3.0 aralığında (100 kg bağlayıcı için 800–3000 gr) kullanılır. Optimum katkı dozu, kullanılan bağlayıcı ve agrega kalitesi ile s/ç oranına göre belirlenir. Bu yüzden ön deneme karışımları yapılarak tespit edilmesi önerilir [16].

SA' lar kimyasal bileşimlerine esas olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılır [17]:

- Yoğun melamin formaldehit sülfonatlar,
- Yoğun naftalin formaldehit sülfonatlar,
- Modifiye edilmiş linyo sülfonatlar,
- Yukarıdakilere çökme kaybını önleyecek maddeler (Örn: Fonksiyonel sülfonik grup ve karboksil grup ile karıştırılarak üretilenler).

SA katkıları, hava sürükleyerek ve çimento tanelerinin topaklaşmalarını önleyerek etkili olurlar [18]. Akışkanlaştırıcı katkı maddeleri, çimento taneleri

tarafından absorbe edilmesi sonucu tane yüzeyine çökelir. Tane yüzeyine çökelen bu maddelerin oluşturduğu film tabakası negatif elektrik yüklüdür. Negatif yükle yüklenen taneler birbirlerini ittiklerinden bu maddelerin dağıtıcı etkisi ortaya çıkar. Bu maddelerin topaklaşmayı önlemeleri ve aynı zamanda tanelerin birbiri üzerinde kaymalarının kolaylaştırdıklarından yağlayıcı etki göstermeleri betonun iç sürtünmesini azaltır. Bu da betonun işlenebilme yeteneğinin artmasına sebep olur. SA katkıları normal akışkanlaştırıcılara göre suyun yüzey gerilimini daha az düşürdüklerinden aşırı miktarda hava sürüklemeyiz. Bu sebeple SA'lar normal akışkanlaştırıcılara göre daha yüksek oranda kullanılabilirler [19, 20, 21].



Şekil 2.1. Su azaltıcı katkı maddelerinin etkinliği a) katkılı b) katkısız [22]

SA katkıları uygulamada genellikle şu amaçlarla kullanılmaktadır:

- Katkısız betonla aynı işlenebilmede olmak şartıyla s/ç oranını azaltarak daha yüksek mukavemet elde etmek.
- Kütle betonlarında hidrasyon ısısını düşürmek için çimento miktarının azaltılması durumunda aynı işlenebilmeyi kazanmak. Katkının bu şekilde diğer beton türleri içinde kullanılması aynı zamanda daha ekonomik bir beton üretiminin sağlanması anlamına gelmektedir.
- Betonarme elemanın kalıp içerisine dökülmesi aşamasında ulaşılamayan

kısımlara kolay yerleşmeyi sağlamak ve işlenebilirliği artırmak amacıyla kullanılır [19, 20, 21].

İlgili standardın SA (tip F) olarak adlandırılan katkı maddelerinde aradığı şartlar Çizelge 2.4 ve Çizelge 2.5 'de verilmiştir [23].

Çizelge 2.4. Yüksek oranda su azaltıcı / SA katkıların özellikleri(Eşit kıvamda) [23]

No	Özellik	Şahit beton	Deney metodu	İstenen değerler
1	Su azaltma	EN 480-1 Şahit beton I	EN 12350-2'ye göre çökme veya EN 12350-5'e göre yayılma	Deneme betonunda şahit betona kıyasla en az % 12
2	Basınç dayanımı	EN 480-1 Şahit beton I	prEN 12390-3:1999	1 günde, deneme betonu, şahit betonun en az % 140'ı 28 günde deneme betonu, şahit betonun en az % 115'i
3	Taze betondaki hava miktarı	EN 480-1 Şahit beton I	EN 12350-7	Üretici tarafından aksi belirtilmedikçe, deneme betonu, şahit betonun hacimce en çok % 2 üzerinde

Çizelge 2.5. Yüksek oranda su azaltıcı / SA katkıların özellikleri  
(Eşit s/ç oranında) [23]

No	Özellik	Şahit beton	Deney metodu	İstenen değerler
1	Kıvamdaki artış	EN 480-1 Şahit beton IV	EN 12350-2'ye göre çökme veya EN 12350-5'e göre yayılma	Başlangıç (30±10) mm olmak üzere, çökme artışı en az 120 mm, başlangıç (350±20) mm olmak üzere, yayılma artışı en az 160 mm
2	Kıvam koruma	EN 480-1 Şahit beton IV	EN 12350-2'ye göre çökme veya EN 12350-5'e göre yayılma	Deneme betonunun katkı katıldıktan 30 dakika sonraki kıvamı, şahit betonun ilk kıvamının altına düşmemelidir.
3	Basınç dayanımı	EN 480-1 Şahit beton IV	prEN 12390-3:1999	28 günde deneme betonu, şahit betonun en az % 90'ı
4	Taze betondaki hava miktarı	EN 480-1 Şahit beton IV	EN 12350-7	Üretici tarafından aksi belirtilmedikçe, deneme betonu, şahit betonun hacimce en çok % 2 üzerinde

#### SA katkıların taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisi

SA katkıları günümüzde değişik amaçlarla beton içerisinde kullanılmaktadır. Burada yapılan en yaygın çalışmalar üzerinde durulmuştur.

a- Su azaltma etkisi; SA katkıların kullanma oranları akıcı veya yüksek mukavemetli beton üretme amacına uygun olarak değişmektedir. Bu katkıları çimento ağırlığının % 0,5 ~ 3 kadar olmalıdır. SA'lar karışım suyu miktarını en az %12 oranında azaltmaktadır. SA'lar YDB üretiminde kullanıldığında istenilen işlenebilirlik için su oranını %25~35 oranlarında düşürebilmektedir. Böylece düşük s/ç oranlı betonlar üretilebilmekte ve YDB elde edilebilmektedir [20-22].

Taner, [24] Yaptığı çalışmada beton karışım suyunu azaltıcı olarak formaldehit melamin sülfonat esaslı, lignosülfonat esaslı ve beton priz süresini geciktirici olarak hidrosikarboksilik asit esaslı katkıların taze betonun hava yüzdesi, kıvam, zamana bağlı çökme kaybı ve sertleşmiş betonun basınç dayanımı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Yüksek oranda su azaltıcı katkının önerilen ortalama miktarının betonda SA etki için yeterli olduğunu ileri sürmüştür. Yalnız ortalama miktarlarda zamana bağlı çökme kaybı fazla olmuştur. Katkının bu miktardan fazla ilavesinde çökme kaybı azalmış ama terlemeye neden olmuştur.

b- İşlenebilmeye etkisi; SA katkı kullanımı betonun iç sürtünmesini azaltması sonucu verilen bir s/ç oranında betonun işlenebilirliğini artırmaktadır. Örneğin 70-80 mm çökmeli bir beton akışkanlaştırıcı sayesinde 200 mm çökmeli bir beton haline gelebilmektedir. Yüksek çökmeli betonlarda ince agrega'nın artırılması ayrışmayı önlemek bakımından faydalı olmaktadır. SA kullanılan betonların işlenebilmesi hem çökme hem de yayılma tablası deneyleriyle ölçülebilmektedir [2, 19, 21, 22].

Yapılan çalışmalarda UK'nin betonun işlenebilirliğini azalttığı, SA kullanımının ise işlenebilirliği kullanılan orana bağlı olarak artırdığı görülmüştür. Kullanılan katkı miktarı arttıkça işlenebilirlik de artmıştır. Ayrıca işlenebilirlikte kullanılan katkının kimyasal esasının da önemli bir etken olduğu belirtilmiştir [21].

c- Hava sürüklemeye etkisi; SA'ların hava sürüklemeye etkisi yapılan çalışmalarda genellikle hava sürükleyici katkılarla beraber kullanıldıklarında denenmiştir. Hava sürükleyici katkıların etkinliği daha çok birlikte kullanıldığı SA katkının esasına bağlıdır. Naftalin-melamin esaslı katkılarda katıldıktan itibaren hemen hava miktarında azalmaya neden olabilirken, linyosülfonat esaslı katkılar ilk anda hava miktarını artırmaktadır [2, 19, 21, 22].

d- Priz sürelerine etkisi; SA'lar önemli derecede olmasa da betonun priz sürelerini azaltan veya artıran yönde etkilemektedir. Bu katkıların priz

sürelerine etkisi kullanılan akışkanlaştırıcı türü ile beton üretiminde kullanılan çimento türüne bağlı olmaktadır. Örneğin  $C_3A$  miktarı çok düşük olan çimentolarda SA'lar priz sürelerini aşırı derecede geciktirebilir [2, 19, 20].

e- Pompalanabilirliğe etkisi; SA ile üretilen akıcı betonlar pompalama için yararlı olmaktadır. Çünkü SA'lı betonlar pompalama basıncını düşürmekte ve böylece pompalanabilen beton miktarı ve mesafesini artırabilmektedir. SA'lı betonlar kontrol betonlarına göre % 10–20 daha düşük pompalama ve hat basıncı ile taze ve sertleşmiş beton özelliklerinde bir bozulma olmadan pompalanabilmektedir [2, 18, 19, 22]. SA katkılı beton üretiminde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri katkı miktarının iyi tespit edilmesidir. Katkı miktarının yeterinden fazla kullanılması durumunda pompalama esnasında beton içerisinde ayrışmaya neden olabilmektedir.

f- Mukavemete etkisi; 28 günlük basınç mukavemetinin 41 Mpa'nın üzerinde olması istenildiğinde, düşük s/ç oranı elde etmek için genellikle SA bir katkı kullanılır. Bu tür bir katkıdan yararlanarak düşük s/ç oranı elde edilmesi sonucu 28 günlük mukavemette % 25 veya daha büyük oranlarda artırılabilir. Bu tür katkının kullanılmasıyla ilk yaşlarda sağlanan mukavemet artış oranları ise 28 günlük artış oranına göre daha büyük olmaktadır. Öte yandan su azaltmadan üretilen akıcı betonların mukavemetlerinin katkısız betona göre arttığı görülmüştür [17].

ASTM C / 494-99 standardına göre SA bir katkıdan istenen mukavemet artışları Çizelge 2.6.' da verilmiştir [25]

Çizelge 2.6. SA bir katkıdan istenen mukavemet şartları [25]

Beton yaşı (gün)	Basınç mukavemeti (min) şahidin %'si olarak		Eğilme mukavemeti (min) şahidin %'si olarak	
	Tip F	Tip G	Tip F	Tip G
1	140	125	-	-
3	125	125	110	110
7	115	115	100	100
28	110	110	100	100

Çizelgenin incelenmesinden de anlaşılacağı üzere SA 'ların eğilme mukavemeti üzerindeki etkinliğinin basınç mukavemetine göre daha az olduğu kabul edilmektedir [2, 15, 20, 21].

#### Puzolanik katkılar

Puzolanik katkılar puzolan özelliğine sahip maddelerdir. ASTM C 618' e göre kendi kendine bağlayıcılığı az olan veya hiç olmayan ancak uygun rutubet şartlarında ve normal ortam sıcaklığında sönmüş kireç ile normal reaksiyona girip bağlayıcı özelliği olan ürünler ortaya çıkaran, ince toz halindeki silisli veya silisli ve alüminli maddelere puzolan denir [25]. Doğal ve yapay olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Tras, diatomit, volkanik kül vb. doğal puzolan, UK, silis dumanı (SD), yüksek fırın curufu vb. yapay puzolanlar arasında yer alırlar [3, 8, 22, 26, 27].

UK'ler, kimyasal kompozisyonlarına göre çeşitli şekillerde sınıflandırılırlar. UK'ler, içerdiği analitik CaO miktarı bakımından;

- CaO miktarı % 10'dan az olanlara düşük kireçli/kalsiyumlu UK,
- CaO miktarı % 10'dan fazla olanlara yüksek kireçli/kalsiyumlu UK,

olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [28].

UK, yapısındaki kireç ve  $SO_3$  miktarına göre ise üç grupta toplanmaktadır. Bunlar;

- Esas yapısı siliko aluminatlardan meydana gelen,  $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$  (S+A+F) toplamı % 70'in üzerinde olan ve genellikle taşkömüründen elde edilen siliko alüminalı UK,
- Genellikle linyit kömüründen elde edilen, S+A+F toplamı % 50 ile % 70 arasında olan ve kireç ile silika miktarı yüksek olan siliko kalsik UK,
- Genellikle linyit kömüründen elde edilen, S+A+F toplamı % 50'in üzerinde olan ve diğerlerine göre daha fazla  $SO_3$  ve CaO ihtiva eden sülfü kalsik UK [28].

Beton üretiminde çimento yerine ağırlıkça %10-20 oranında UK kullanıldığında normal betonlara eşdeğer dayanımlar elde edilmektedir. Ancak UK oranı arttıkça dayanımda azalma meydana gelmektedir. Beton üretiminde çimento yerine ağırlıkça %15 civarında UK kullanıldığında normal betonlara eşdeğer dayanım özellikler sağlanmaktadır. Daha yüksek oranda UK kullanıldığında beton dayanımında azalma oluşmaktadır. Belirtilen oranlarda UK kullanarak üretilecek betonda önemli ölçüde ekonominin sağlanması mümkündür [29, 30].

#### Priz hızlandırıcı katkıları (AF)

Düşük sıcaklıktaki havalarda prizi hızlandırarak yüksek kaliteli beton dökümünü sağlayan, güvenilir ve klorür içermeyen sıvı beton katkıdır. Soğuk veya don riski bulunan, beton dökülmesinin ertelenmesini gerektiren aşağıdaki durumlarda çalışmanın devamlılığını sağlar [31]:

- Hafif don etkisinin gün boyu devam ettiği durumlarda,
- Gece boyunca don beklendiği durumlarda,
- Ani sıcaklık düşmesi olası durumlarda,

Özellikleri;

- Dona karşı dayanımı artırır,
- Beton dayanımını yükseltir,
- Dona karşı dayanım için gereken beton dayanım sınırının (4-5 N/mm<sup>2</sup>) bir an evvel aşılmasını sağlar ve bu süreyi kısaltır [31].

AF karışım suyuna eklenerek veya yeni hazırlanmış düşük çökmeli taze betona doğrudan karıştırılarak kullanılır. Doğrudan taze betona eklendiğinde homojenliği sağlamak için karışım süresi hızlı devirde 3 dakika daha arttırılır. Beton boşaltılmadan önce üniform kıvamda olduğu gözle kontrol edilmelidir [31].

Soğuk havalarda beton dökerken AF kullanılsa bile aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi tavsiye edilmektedir [31]:

- Kalıp ve donatı, su, kar ve buzlanmaya karşı korunmalı, gerektiğinde ön ısıtma ile minimum 0°C'ye getirilmelidir.
- Mümkünse çelik kalıp yerine ahşap kalıp kullanılmalıdır.
- Katkılı çimento kullanımı yerine klinker oranı yüksek çimentolar tercih edilmelidir.
- Kalıplar sıcaklık kayıplarına karşı izole edilmelidir.
- Taze beton sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve beton döküm kalınlığına bağlı olarak en az 5-15°C olmalıdır.
- Sıcaklık ve nem kaybı, betonu örterek veya izole ederek engellenmeli, beton 4-5 N/mm<sup>2</sup> dayanım sınırına ulaşıncaya kadar çok sıkı bir şekilde korunmalıdır.
- AF varilde donmuş ise ortam sıcaklığı yüksek olan bir yerde çözülmeli ve karıştırılmalıdır, doğrudan ateşle temas ettirilmemelidir [31].

## 2.2. UK, SA ve AF ile Yapılan Önceki Çalışmalar

Uyan ve Yıldırım, [19] SA'ların taze betonun işlenebilmesi ile sertleşmiş betonun eğilme ve basınç mukavemeti üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla farklı firmalara ait naftalin kökenli 3 adet katkı iki ayrı dozajlı betonda denenmiştir. Kullanılan katkıların etkisiyle eğilme ve basınç mukavemetlerinde ilk yaşlarda sağlanan artışların ileriki yaşlardaki artış oranlarına göre daha büyük olduğu belirtilmiştir. Kullanılan katkıların aynı esaslı olmalarına rağmen istenilen mukavemet artışlarını ve işlenebilme yönünden aynı etkinliği farklı katkı yüzdelerinde vermeleri çalışmadan çıkan en önemli sonuç olduğu ileri sürülmüştür.

Uyan vd. [32] yaptıkları çalışmada, üç farklı çimento miktarı kullandıkları harç içinde, sabit işlenebilirlikte lignosülfonat, melamin ve naftalin esaslı olmak üzere üç ayrı SA' yı iki farklı oranda kullanmışlardır. Harçların rötre, ağırlık kaybı, eğilme ve basınç dayanımları tespit edilmiştir. Deney sonuçlarına göre genelde kullanılan SA' lar, harçların kuruma rötresini artırmaktadır. SA' lı harçların basınç dayanımları kontrol betonundan daha yüksektir. Bu ise SA' ların yüksek dayanımlı beton elde etmede yararlı ve önemli olduğunu ortaya koymaktadır. SA' ların eğilme dayanımını artırıcı etkisi basınç dayanımına göre daha düşük oranda gerçekleşmiştir.

Uyan vd. [20] çalışmalarında kullanım alanlarının yaygınlığı nedeniyle normal ve SA katkıların etkinlikleri üzerinde durmuştur. Sonuç olarak Türkiye'de kullanılan akışkanlaştırıcı katkıların çoğunluğunun istenilen nitelikleri sağladığı belirlenmiştir.

Yücesoy [33] çalışmasında SA katkıların rötreyi artırdığı sonucunu çıkarmıştır. Rötreyi en az artıran SA katkının ise naftalin kimyasal esaslı olduğunu tespit etmiştir.

Yazıcı [24] çalışmasında, kimyasal esasları aynı olan altı değişik ticari firmaya ait akışkanlaştırıcıların betondaki performanslarını incelemiştir. Üretilen betonlar üzerinde taze beton deneyleri ve basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Sonuç olarak akışkanlaştırıcılar aynı esaslı olmasına rağmen aynı agrega, aynı dozaj ve aynı çimento ile farklı işlenebilme ve dayanım açısından farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bunun haricinde akışkanlaştırıcı katkılı betonlarda üretimden sonraki saatlerde işlenebilme problemleri ile karşılaşılabilen ileri sürülmüştür.

Mehta ve Gjerv [34], yaptıkları çalışmada %30 oranında F sınıfı UK içeren çimentolarla ürettiği betonlarda 7 ve 28 gündeki dayanımlarının düşük, 90 gündeki dayanımlarının ise ancak kontrol betonuna eriştiğini gözlemlemiştir.

Giaccio, Violini, Zappitelli ve Zerbino [35] üç farklı çimento ve iki farklı F sınıfı UK'yu, %20 ve %30 oranlarında basit ikame metoduyla kullanarak 0.55 ve 0.40 s/b oranına sahip betonlar üretmişler, elde ettikleri verilere göre UK'lerin erken yaşlardaki beton mukavemetlerini düşürdüğünü söylemişlerdir. Ancak %20 UK oranına sahip betonlarda ileri yaşlardaki dayanımların arttığı, hatta bazen kontrol betonunun basınç dayanımını aştığı belirtilmiştir. İnceliği fazla olan F sınıfı UK'li betonların basınç dayanımları, diğerlerine oranla daha fazla olmuştur. Kontrol betonunun basınç dayanımını aşan bu mukavemet kazanımı üç farklı çimentodan kiminde 270. günde, kiminde 90. günde oluşurken bir diğerinde 56. günde olmuştur.

Giaccio, Violini, Zappitelli ve Zerbino [35], farklı çimento türleri ile yaptıkları çalışmalarda, ilk elastisite modülü düşük olan UK'li betonların ileri yaşlardaki elastisite modüllerinin kontrol betonuna oranla daha fazla olduğunu görmüşlerdir. Ancak bu artış çok az oranlarda olmuştur, elastisite modülü, pratik anlamda UK'ların kullanımı açısından basınç dayanımı kadar belirgin özelliklere sahip değildir. Elastisite modülü, agrega ve çimentonun belirlediği bir özellik olarak göze çarpmaktadır.

Sivasundaram, Carette ve Malhotra [36], F sınıfı UK'leri basit ikame metodu ile yüksek oranda betonda kullanarak deneyler yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre UK'lerin işlenebilirliği arttırdığını ve su ihtiyacını azalttığını söylemişlerdir.

Çullu [37], farklı kimyasal özelliklere sahip üç adet AF ile 5 farklı sıcaklıkta (0, -5, -10, -15 ve -20°C) hazırlanan ve 28 günden sonra 120 güne kadar H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, NaCl korozif ortamları etkisine ve su kuru (referans)'nde bekletilen betonlar üzerinde; her ısı değeri için uygun AF oranı, görünür boşluk oranı, özgül ağırlık, su emme oranı, birim hacim ağırlık, kapiler su emme, geçirimsizlik (impermeabilite), yarmada çekme dayanımı, basınç dayanımı, statik elastisite modülü, poisson oranı ve donma çözülme dayanımı deneyleri gerçekleştirmiştir. Bütün AF türlerinde sıcaklık azaldıkça basınç dayanımının düştüğü, bütün sıcaklık değerlerinde 28 günlük en iyi basınç dayanımı değerinin %1 AF katkılı betonlarda olduğu ve dona maruz betonlarda suyun donma noktasını etkin şekilde düşüren katkıların kullanılmasını önermektedir.

### **2.3. Donma-Çözülme ile İlgili Önceki Çalışmalar**

Çullu [37], farklı kimyasal özelliklere sahip üç adet AF ile 5 farklı sıcaklıkta (0, -5, -10, -15 ve -20°C) hazırlanan betonlar üzerinde 28 günden sonra 120 güne kadar donma-çözülme dayanımı deneyleri gerçekleştirmiştir. Bütün betonların hedeflenen 300 donma-çözülme evresini tamamlamadan deforme olduğu ve donma çözülme sonunda deformasyonun yapısı, betonun boşluk miktarının azalması ile birlikte parçalanma şeklinde gerçekleştiği sonuçlarına varmıştır. Sıcaklık değerlerinin düşmesi ile AF katkılı betonların fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki belirgin farklar azalmakta, yani AF'nin etkisini gösteremediği sonucuna varmış ve bu nedenle daha düşük sıcaklıklarda performansı yüksek AF katkıları üzerinde detaylı araştırmalar yapılmasını önermiştir.

Haque, Day ve Langan [38], yaptıkları çalışmalarda UK'ların HS ihtiyacını arttırdığını gözlemlemişlerdir. Bu veriden yola çıkarak UK'ların daha az hava oluşmasına neden olarak donmaya karşı dayanıklılığı azalttığı söylenebilir.

Berry ve Malhotra [39] yaptığı çalışmalarda, UK'ların yüksek oranda kullanımının donma çözülme direncini azalttığını ancak HS katkı kullanılarak yapılan çalışmalarda hava miktarı sabit tutulacak şekilde katkı miktarı arttırılırsa, UK'ların olumsuz etkisinin ortadan kalkacağı görülmektedir.

Ünal ve Uygunoğlu [29], UK'lı betonların donma-çözülme etkisinde mekanik özelliklerini araştırmıştır. Ürettikleri betonlarda; s/ç oranı 0.65, çimento 300 kg/m<sup>3</sup> ve 30, 60, 90 ve 120 kg/m<sup>3</sup> oranlarında UK kullanmışlardır. 7 ve 28 günlük numuneler üzerinde bir hafta süre içerisinde 25 donma-çözülme çevrimi uygulanmıştır. Çevrimin tamamlanmasından sonra birim hacim ağırlık, su emme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmış, sonuç olarak UK'nın %10-20 oranında ağırlıkça çimentonun yerine kullanılmasının betonun özelliklerine olumsuz bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır.

### **3. MATERYAL VE METOT**

#### **3.1. Materyal**

Araştırmada kırma agregası, CEM I 42,5R imento, SA ve AF katkı maddeleri, UK ve Ankara Şehir Őebeke suyu kullanılmıştır.

##### **3.1.1. Agregası**

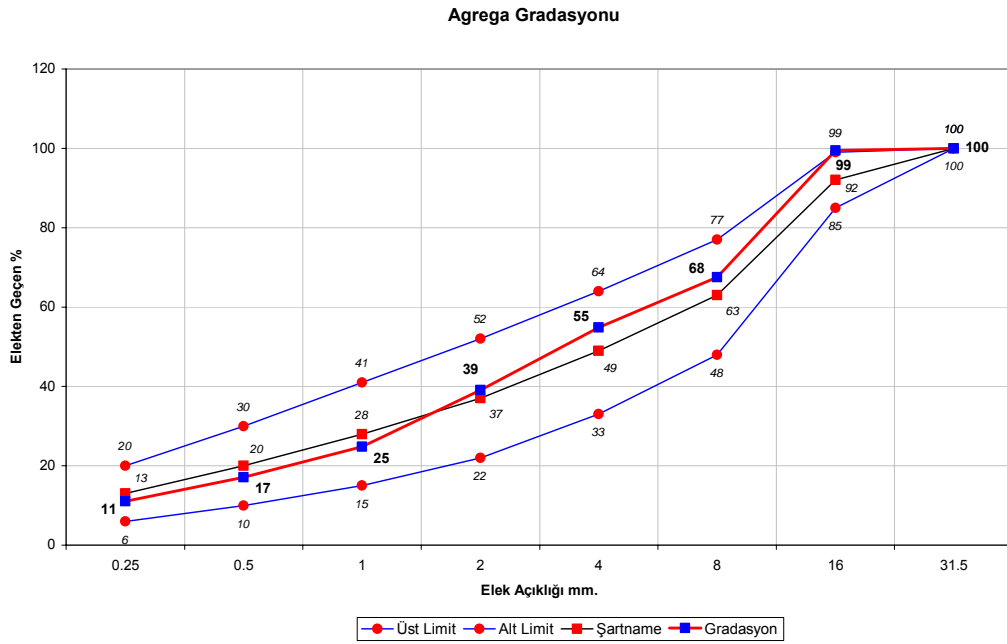
Çalışmada Set Hazır Beton firmasından temin edilen 0-4 mm, 4-16 mm ve 16-22 mm olmak üzere 3 farklı grup kırma agregası kullanılmıştır. TS 707 [40] "Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunelerinin Hazırlanması" standartlarına uygun olarak alınan agregaların özgül ağırlık, su emme deneyleri TS EN 1097-6/2002 [41] "Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini" standardına uygun olarak agregası doğun kuru yüzey (DKY) halindeyken yapılmıştır.

Agregaların deneylerle belirlenen elek analizi sonuçları izelge 3.1. 'de verilmiştir.

Agregaların granölometrik bileşimi, TS 3530 EN 933-1/1999 [42] "Beton Agregaların Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini" standardına uygun olarak belirlenmiş ve elde edilen agregası granölometri eğrisi, TS 802 [6] "Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları" standardında belirtilen  $D_{maks}$  tane büyüklüğü eğrileri ile birlikte Şekil 3.1. 'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Agregaların deneylerle belirlenen elek analizi sonuçları

Agrega elek analizi (% geçen)								
Agrega tipi	Elekler [mm]							
	31,5	16,0	8,0	4,0	2,0	1,0	0,5	0,25
Kırma kum	100	100	100	100	76	54	29	17
Kırmataş no:1	100	100	30	1	0	0	0	0
Kırmataş no:2	100	56	20	0	0	0	0	0
TS 802 [6]	100	85-99	48-77	33-64	22-52	15-41	10-30	6-20
Karışım gradasyonu	100	99	68	55	39	25	17	11



Şekil 3.1. Beton karışımlarında kullanılan agrega'nın granülometri eğrisi

### 3.1.2. Çimento

Çalışmada Set Ankara Çimento fabrikası ürünü CEM I 42.5R çimentosu kullanılmıştır. Çizelge 3.2'de verilen CEM I 42.5R çimentosunun teknik özellikleri Ankara Set Çimento Fabrikası laboratuvarında yaptırılmıştır.

Çizelge 3.2. CEM I 42.5R Çimentosunun özellikleri

Kimyasal kompozisyon (%)		Fiziksel özellikler		Mekanik özellikler		
CaO	62.61	Yoğunluk, g/cm <sup>3</sup>	3.08	Basınç dayanımı (MPa)	2	25.7
SiO <sub>2</sub>	19.92	Özgül yüzey (Blaine), cm <sup>2</sup> /g	2996 (en az 2800)		Gün	(en az 20)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.17	200 µm elek üstü, %	-		7	47,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.31	90 µm elek üstü, %	1.00		Gün	(en az 31.5)
MgO	2.25	Priz başlangıcı, dk	125 (en az 60)		28	49,2
SO <sub>3</sub>	2.85	Priz sonu, dk	190 (en çok 600)		Gün	(en az 42.5)
K <sub>2</sub> O	0.75	Hacim genişmesi, mm	1	Eğilme dayanımı (MPa)	7	7.4
Na <sub>2</sub> O	0.48				28	8.5
K. K.	0.50				Gün	
Ç. K.	0.52					

### 3.1.3. Su

Beton karışımlarının hazırlanmasında karma suyu olarak Ankara şehir içme suyu kullanılmıştır.

### 3.1.4. Uçucu kül (UK)

Beton karışımlarında kullanılan UK Kocaeli Çolakoğlu-2 Termik Santralinden temin edilmiştir. UK'nın kimyasal analizi ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.3.'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. UK'nın (Çolakoğlu-2 termik santrali) kimyasal analizi ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Bileşim	(%)	Fiziksel özellikler	
SiO <sub>2</sub>	36.77	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	2.36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.43		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.70		
CaO	15.90		
MgO	1.70		
K <sub>2</sub> O	0.49	Özgül Yüzey (Blaine) (cm <sup>2</sup> /g)	2600
TiO <sub>2</sub>	1.66		
Na <sub>2</sub> O	0.11		
SO <sub>3</sub>	5.44		
Cl	0.25		

### 3.1.5. Süper akışkanlaştırıcı (SA)

Beton karışımlarında, yüksek oranda su azaltıcı ve erken dayanım sağlayan TS EN 934–2 özelliklerine uygun üretim yapan, piyasada çok tercih edilen bir firmanın ürettiği melamin sülfonat polimeri esaslı SA katkı maddesi kullanılmıştır. Katkının firma tarafından tavsiye edilen miktarı çimento ağırlığının %2 'sidir. Optimum dozaj oranı, çimento, agrega kalitesi, s/ç oranı ve ortam sıcaklığına bağlıdır. SA katkı laboratuara 5'er kg'lık plastik bidonlarda getirilmiş ve karışım suyuna ilave edilerek kullanılmıştır. SA katkıya ait özellikler Çizelge 3.4.'de verilmiştir [16].

Çizelge 3.4. SA katkının özellikleri

Kimyasal kompozisyon	Değer (TS-EN 934-2)
Klorür iyon içeriği	%0.1 (en fazla)
Alkali miktarı	%7 (en fazla) (%Na <sub>2</sub> O eşdeğeri olarak)
Yoğunluk	1.15 – 1.19 kg/l (20°C'de)
pH değeri	7–11
Donma noktası	-10°C

### 3.1.6. Antifriz (AF)

Beton karışımlarında piyasada çok tercih edilen bir firmanın SA kimyasalı ile uyumlu AF katkı maddesi kullanılmıştır. Katkının firma tarafından tavsiye edilen miktarı çimento ağırlığının %1 'dir. Optimum dozaj oranı, çimento, agrega kalitesi, s/ç oranı ve ortam sıcaklığına bağlıdır. AF katkısı laboratuara 5'er kg'lık plastik bidonlarda getirilmiş ve karışım suyuna ilave edilerek kullanılmıştır. AF katkıya ait özellikler Çizelge 3.5.'de verilmiştir [31].

Çizelge 3.5. AF katkının özellikleri

Kimyasal kompozisyon	Değer (TS-EN 934-2)
Klorür iyon içeriği	%0.10 (en fazla)
Alkali miktarı	%3 (en fazla) (%Na <sub>2</sub> O eşdeğeri olarak)
Yoğunluk	1.23 – 1.27 kg/l. (+20°C'de)
pH değeri	6-10
Donma noktası	<-15°C

### 3.2. Metot

Beton deneyleri GÜTEF Yapı Eğitimi Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarında, yapılmıştır. Çalışmada bütün karışımlarda s/b oranı (0,53) sabit tutulmuştur. UK ağırlıkça %15 ve %30 oranında çimento ile ikameli olarak betonda kullanılmıştır. SA çimento ağırlığının %2'si oranında, AF ise %1'i oranında beton karışımına katılmıştır. Taze betonların üretiminde 75 dm<sup>3</sup> kapasiteli laboratuvar tipi betonyer kullanılmıştır. Betonyer içerisine tartılarak alınan agrega karışımı önce kendi içerisinde karıştırılmış daha sonra ise çimento ve UK ilavesiyle kuru beton karışımı hazırlanmıştır [43, 44]. SA ve AF katkıları karışım suyuna katılmış ve daha sonra katkılı karışım suyu kuru karışıma eklenerek beton karışımı elde edilmiştir. Her bir karışımdan 3, 7, 28 ve 90 gün yaşları için toplam 108 adet Ø100x200 mm boyutlarında silindirik beton numunesi hazırlanmıştır. Beton kalıplara alınırken şişleme metodu kullanılmıştır. Don etkisine tabi tutulan beton numuneler, şantiye şartlarında yerine dökülmüş betonda yan kalıpların 7 gün sonra alınması uygulamasından hareketle 7 gün kalıpta bırakılmış ve beton numunelere don etkisi kalıpta gerçekleştirilmiştir. Bu numuneler sıcaklığı 20 °C ± 2 °C olan su tankında kür odasında bekletilmiştir. Betonun şantiye şartlarında yerine veya kalıba dökülmesinden sonra karşılaşılabilecek şartlar gözetilerek donma sıcaklıkları ve süreleri belirlenmiştir. Bu süreler;

- 1 gün donma (kalıpta)-2 gün açık havada çözülme (kalıpta)-Kür (kalıpsız),
- 1 gün donma (kalıpta)-6 gün açık havada çözülme (kalıpta)-Kür (kalıpsız),
- 3 gün donma (kalıpta)-Kür (kalıpsız),
- 3 gün donma (kalıpta)-4 gün açık havada çözülme (kalıpta)-Kür (kalıpsız),

şeklinde planlanmıştır.

Kalıp içerisinde derin dondurucuda donma işlemi beton numunelerinin kalıp içerisine alınmasını müteakip 1 saat içerisinde başlatılmış ve her gün 24 saat üzerinden çevrimsiz sürekli  $-2,5$  °C sıcaklıkta tutularak yapılmıştır. Belirlenen donma süresi sonunda beton numuneleri kalıptan çıkarılmadan açık havada yağmurdan korunaklı bir yerde çözülmeye bırakılmış ve açık hava kalıp şartları meteorolojik olarak kayıt edilmiştir (Resim 3.5.). Açık havada belirlenen sürede bekleyen beton numuneleri daha sonra 3, 7, 28 ve 90 günlük periyotları tamamlamak için kür havuzlarına alınmış ve sertleşmiş beton deneyleri bu kürleme işlemi sonrasında yapılmıştır. Sadece belirlenen numunelerde 3 ve 7 günlük numune yaşlarında kür işlemi öncesi basınç dayanımı ve birim hacim ağırlık değerleri kayıt altına alınmıştır.

Don etkisine maruz beton numuneleri şantiyede karşılaşılabileceği şartları korumak amacıyla kalıptan çıkarılmamıştır. Bilindiği üzere şantiye şartlarında beton yerine döküldükten sonra hava şartlarına maruz kalmakta ve 7 gün sonra yan kalıpları alınmaktadır. Doğal olarak beton kalıp içerisinde donma-çözülme etkisine maruz kalmaktadır.

### **3.2.1. Deney programı**

Çalışmada üretilen bütün betonlar ve bu betonlar üzerinde yapılan taze beton deneylerine ait bilgiler Çizelge 3.6.'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Deney programı

Sıra No	Numune Kodu	Numune Sayısı	UK (%)	SA (%)	AF (%)	Donma Süresi (Gün)	Açık Hava Kalıp Süresi (Gün)	Toplam Kalıp Süresi (Gün)	Standart Kür Süresi (Gün)	Test Yaşı (Gün)
1	1KB15-3	3	15	2	1	-	-	-	3	3
2	2KB15-7	3				-	-	-	7	7
3	3KB15-28	3				-	-	-	28	28
4	4KB15-90	3				-	-	-	90	90
5	5NB15-3	3				1	2	3	-	3
6	6NB15-7	3				1	2	3	4	7
7	7NB15-28	3				1	2	3	25	28
8	8NB15-90	3				1	2	3	87	90
9	9NB15-7	3				1	6	7	-	7
10	10NB15-28	3				1	6	7	21	28
11	11NB15-90	3				1	6	7	83	90
12	12NB15-3	3				3	-	3	-	3
13	13NB15-7	3				3	-	3	4	7
14	14NB15-28	3				3	-	3	25	28
15	15NB15-90	3				3	-	3	87	90
16	16NB15-7	3				3	4	7	-	7
17	17NB15-28	3				3	4	7	21	28
18	18NB15-90	3				3	4	7	83	90
19	19KB30-3	3	30	2	1	-	-	-	3	3
20	20KB30-7	3				-	-	-	7	7
21	21KB30-28	3				-	-	-	28	28
22	22KB30-90	3				-	-	-	90	90
23	23NB30-3	3				1	2	3	-	3
24	24NB30-7	3				1	2	3	4	7
25	25NB30-28	3				1	2	3	25	28
26	26NB30-90	3				1	2	3	87	90
27	27NB30-7	3				1	6	7	-	7
28	28NB30-28	3				1	6	7	21	28
29	29NB30-90	3				1	6	7	83	90
30	30NB30-3	3				3	-	3	-	3
31	31NB30-7	3				3	-	3	4	7
32	32NB30-28	3				3	-	3	25	28
33	33NB30-90	3				3	-	3	87	90
34	34NB30-7	3				3	4	7	0	7
35	35NB30-28	3				3	4	7	21	28
36	36NB30-90	3				3	4	7	83	90

**Beton karışımı**

Beton karışım hesabı, TS 802'ye [6] "Beton Karışım Hesap Esasları" standardına uygun olarak yapılmıştır. Karışım hesapları yapılırken betonun uygulama yerleri dikkate alınarak  $D_{maks}=22$  mm, agrega tane sınıfları 0-4 mm, 4-16 mm, 16-22 mm. olarak alınmıştır. Agrega tane dağılımı %54 kırma kum

(0-4), %20 kırma taş no 1 (4-16), %26 kırma taş no 2 (16-22) ve s/b oranı 0.53 (sabit) olarak hesaplanmıştır. Çizelge 3.7.'de 1 m<sup>3</sup> beton karışımına giren malzeme miktarları verilmiştir.

Çizelge 3.7. 1 m<sup>3</sup> beton karışımına giren malzeme miktarları (kg/m<sup>3</sup>)

MALZEME İÇERİĞİ (%15 UK)		MALZEME İÇERİĞİ (%30 UK)	
Malzemeler	Miktar	Malzemeler	Miktar
Çimento	331	Çimento	273
Su Miktarı	205	Su Miktarı	205
Kırma Kum (0-4) (%)	54	Kırma Kum (0-4) (%)	54
Kırmataş No:1 (4-16) (%)	20	Kırmataş No:1 (4-16) (%)	20
Kırmataş No:2 (16-22) (%)	26	Kırmataş No:2 (16-22) (%)	26
Toplam Agregası (%)	100	Toplam Agregası (%)	100
UK	59	UK	117
Toplam Hava Miktarı (%)	5	Toplam Hava Miktarı (%)	5
Dmaks (mm)	22	Dmaks (mm)	22
SA (%)	2	SA (%)	2
AF (%)	1	AF (%)	1
s/b	0.53	s/b	0.53

### 3.2.2. Taze beton deneyleri

#### Çökme [slump] deneyi

Çökme deneyi TS EN 12350-2'ye [45] uygun olarak yapılmıştır. İlk olarak slump kalıbının iç yüzü ve taban plakası nemlendirilmiştir. Kalıbın iki yanındaki ayak basma parçalarına basılarak taze beton kalıba 3 eşit tabaka halinde dökülmüş ve her tabaka sıkıştırma çubuğu ile 25 kez şişlenmiştir (Resim 3.1.). Slump kalıbının üst yüzeyinde kalan harç sıyrılarak alınmıştır. Taban plakasının üzerine dökülen beton temizlenmiş ve kalıp yukarıya doğru düzgün olarak çekilmiştir. Bu işlemin kesintisiz 150 saniye içinde

tamamlanmasına dikkat edilmiştir. Kalıbın alınmasından sonra kalıp üst yüzey seviyesi ile çöken beton kütesinin en yüksek noktası arasındaki çökme mesafesi (h) ölçülerek kaydedilmiştir. Deney üç tekrarlı olarak yapılmış ve elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması deney sonucu olarak Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

#### Ve-Be deneyi

Ve-Be deneyi TS EN 12350-3' e [46] uygun olarak yapılmıştır. Bu deney işlenebilirliği az olan taze betonun kıvam tayini için uygundur. Deneye başlamadan önce aparat sağlam bir tabana oturtulmuş ve kabın vidalar ile sabitleştirildiği kontrol edilmiştir. Çökme hunisi kabın içerisine yerleştirilerek taze beton huniye 3 tabaka halinde dökülmüştür. Her tabaka 25 kez şişlenerek huniden taşan kısım sıyrılarak alınmıştır. Huni dik olarak çekilerek çıkarılmıştır. Diskin sabitleme vidası gevşetilerek yavaşça yığının üzerine alıştırılıp vibrasyona başlanmıştır (Resim 3.2.). Aynı zamanda saat kontrol edilerek aletin çalışması ile diskin alt yüzeyinin tamamen çimento harç ile kaplandığı andaki süre saniye olarak ölçülmüştür. Sonra alet durdurulmuş ve sonuçlar kaydedilmiştir. Deney üç tekrarlı olarak yapılmış ve elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması deney sonucu olarak Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

#### Hava miktarı deneyi

Taze betonda hava miktarının tayini TS EN 12350-7'ye [47] uygun olarak basınç metodu ile yapılmıştır. Taze beton karışımı ölçme kabına 3 tabaka halinde 25 kez şişlenerek doldurulmuştur (Resim 3.3.). Her tabakanın şişlenmesinden sonra kabın kenarlarına 10-15 kez vurularak beton içinde kalan hava kabarcıkları giderilmiştir. Kabın üzerindeki fazla kısım sıyrılarak alınmıştır. Kapak oturma yeri iyice temizlenerek kapak yerine yerleştirilmiş ve kilitlemiştir. Hava hücresi ile ölçme kabı arasındaki ana hava musluğu kapatılarak kapaktaki boşaltma musluğu açılarak cihaza su ilave edilmiştir.

Bu işlem diğer musluktan su çıkıncaya kadar devam etmiştir. Hava boşaltma musluğu kapatılarak, manometre göstergesi ile basınç çizgisine gelinceye kadar hava pompalanmıştır. 3-5 saniye sonra göstergenin durumunu sabitleştirmek için tekrar hava pompalanmış bazen de boşaltılmıştır. Sonra kapaktaki boşaltma muslukları kapatılmış ve hücre ile kap arasındaki ana hava musluğu açılmıştır. Göstergenin sabitleşmesi sağlandıktan sonra ibrenin gösterdiği hava miktarı okunup % olarak kaydedilmiştir. Deney üç tekrarlı olarak yapılmış ve elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması deney sonucu olarak Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

#### Birim ağırlık deneyi

Taze betonda birim ağırlık deneyi TS 2941 [48]'e uygun olarak yapılmıştır. Deneye başlamadan önce agrega tane büyüklüğüne uygun ölçme kabının boş ağırlığı tartılmış ve kaydedilmiştir. Taze beton karışımı kap içine üç tabaka halinde 25 kez şişlenerek doldurulmuştur. Kabin kenarlarına 10-15 kez vurularak boşluk ve hava varsa giderilmiştir. Betonun yüzeyi sıyırma çubuğu ile sıyırılarak temizlenmiştir. Kap ve sıyrılmış taze beton tartılmış ve kabin ağırlığı düşülerek betonun net ağırlığı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Deney üç tekrarlı olarak yapılmış ve elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması deney sonucu olarak Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

$$B = W_n / V_k$$

Burada:

$$B = \text{Taze betonun birim hacim ağırlığı [kg/m}^3\text{]}$$

$$V_k = \text{Ölçme kabının kalibre edilmiş hacmi [m}^3\text{]}$$

$$W_n = W_d - W_b$$

Burada:

$W_n$  = Ölçme kabındaki betonun net ağırlığı [kg]

$W_d$  = Dolu kap ağırlığı [kg]

$W_b$  = Boş kap ağırlığı [kg]



Resim 3.1. Slump deneyinin yapılışı



Resim 3.2. Taze betonun Ve-Be süresi tayini deneyinin yapılışı



Resim 3.3. Taze betonun hava miktarı tayini deneyinin yapılışı

### 3.2.3. Sertleşmiş beton deneyleri

#### Basınç dayanımı deneyi

Betonların basınç dayanımı deneyi,  $\text{Ø}100 \times 200$  mm' lik silindir numuneler üzerinde TS EN 12390-3 [50] "Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini" standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deney, Auto test 3000 deney cihazında 2.00 kN/sn yükleme hızı ile yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda numunelerin taşıyabileceği maksimum basınç gerilmeleri MPa olarak belirtilmiştir. Numunelerin basınç dayanımı üç numunenin aritmetik ortalaması olarak verilmiştir. Deneyin yapılışı Resim 3.4.'de deney sonuçları ise Çizelge 4.2.'de verilmiştir.



Resim 3.4. Basınç dayanımı deneyinin yapılışı

Bu çalışmada donma-çözülme koşulları betonun şantiyede yerine döküldükten sonra karşılaşılabileceği koşullar oluşturularak yapılmıştır. Hazırlanan beton numuneleri Çizelge 3.4.'de verilen değişken sürelerde don etkisine maruz bırakılmıştır. Donma sıcaklığı olarak meteorolojik uzun yıllar ortalamasından yararlanılmış ve deneyin yapıldığı tarihlerde uzun yıllar ortalamasının en düşük sıcaklığı dikkate alınarak derin dondurucu sıcaklığı  $-2.5^{\circ}\text{C}$  olarak ayarlanmıştır. Çizelge 3.8. 'de Ankara uzun yıllar meteorolojik ortalamaları verilmiştir.

Çizelge 3.8. Ankara son 33 yıllık meteorolojik ortalamaları

ANKARA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1975–2008)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	0.4	1.9	6.0	11.2	15.9	19.9	23.4	22.9	18.5	12.9	6.6	2.3
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.3	6.5	11.6	17.0	22.0	26.3	30.0	29.8	25.9	19.7	12.3	6.1
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-2.9	-2.2	0.8	5.7	9.6	12.9	16.0	15.8	11.7	7.3	2.2	-0.8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.6	4.0	5.6	6.4	8.6	10.4	11.4	10.9	9.4	6.6	4.4	2.4
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.5	10.2	10.2	12.6	12.4	9.3	4.0	3.3	3.7	7.3	9.0	11.1
Ortalama Yağış Miktarı (kg/m <sup>2</sup> )	40.0	32.1	36.1	51.7	49.4	32.8	14.4	12.2	17.8	30.0	37.6	41.1
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1975-2008)												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	16.6	19.9	25.7	30.3	33.0	37.0	40.8	39.0	36.0	32.2	24.4	18.0
En Düşük Sıcaklık (°C)	-21.2	-21.5	-19.2	-6.7	-1.6	5.0	6.8	7.2	2.8	-3.4	-8.8	-14.6

Çözülmede ise beton numuneleri dış ortama bırakılmış ve doğal yollarla çözülme gerçekleştirilmiştir. Çözülme anındaki meteorolojik veriler Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün Ankara Güvercinlik Ölçüm İstasyonu verileri kullanılarak kayıt altına alınmıştır. Bu veriler Çizelge 3.9.'de verilmiştir. Ayrıca deney numunelerinin karşı karşıya kaldığı hava şartları ayrıntılı olarak Ek-1 tabloda verilmiştir.

Çizelge 3.9. Deney tarihlerinde meydana gelen hava şartları

Tarih	İstasyon	Gerçekleşen Sıcaklık		Gerçekleşen Nem		Beklenen Rüzgar Hızı (Km/sa)
		En Düşük (°C)	En Yüksek (°C)	En Düşük (%)	En Yüksek (%)	
25-Şub-10	Yenimahalle/Güvercinlik	2,8	10,5	70	97	11
26-Şub-10	Yenimahalle/Güvercinlik	6	11,4	72	98	17
27-Şub-10	Yenimahalle/Güvercinlik	6	12,2	76	99	7
28-Şub-10	Yenimahalle/Güvercinlik	4,9	13,1	58	86	4
01-Mar-10	Yenimahalle/Güvercinlik	0,3	12,5	54	92	7
02-Mar-10	Yenimahalle/Güvercinlik	4,4	19,7	55	93	9
03-Mar-10	Yenimahalle/Güvercinlik	4,9	9,6	51	95	16
04-Mar-10	Yenimahalle/Güvercinlik	-3	9,7	59	96	24
05-Mar-10	Yenimahalle/Güvercinlik	1,2	12,3	43	69	12
06-Mar-10	Yenimahalle/Güvercinlik	7	10,2	56	98	29
07-Mar-10	Yenimahalle/Güvercinlik	0	8,6	69	95	34
08-Mar-10	Yenimahalle/Güvercinlik	3,7	10,3	45	94	11
09-Mar-10	Yenimahalle/Güvercinlik	8,2	19,8	47	95	27
10-Mar-10	Yenimahalle/Güvercinlik	2,1	14,4	69	83	24
11-Mar-10	Yenimahalle/Güvercinlik	5,7	18,8	58	85	10
12-Mar-10	Yenimahalle/Güvercinlik	5,9	15,7	56	90	21
13-Mar-10	Yenimahalle/Güvercinlik	5,1	12,1	54	92	22
14-Mar-10	Yenimahalle/Güvercinlik	1,3	9,7	46	91	20
15-Mar-10	Yenimahalle/Güvercinlik	3,2	6,5	75	97	18
16-Mar-10	Yenimahalle/Güvercinlik	-2,5	5,9	66	91	10
17-Mar-10	Yenimahalle/Güvercinlik	-6,4	9,2	39	87	20



Resim 3.5. Beton numunelerinin çözüme ortamı

## **4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA**

### **4.1. Taze Beton Özellikleri**

#### **4.1.1. Çökme (slump)**

Taze betonlarda çökme (slump) deneyinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Görüldüğü gibi beton karışımında kullanılan UK, SA, AF miktarları aynı olduğundan ve s/b oranı sabit alındığından çökme değerleri de iki farklı karışım için eşit olarak elde edilmiştir. Hedeflenen beton karışımında; slump'ın (pompa betonu olması planlanarak) en az 11 cm olması gerekmektedir. Üretilen taze betonlarda bu değer %15 UK'lı betonlar için 15 cm, %30 UK'lı beton için 13 cm olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla üretilen taze betonların tamamı pompa betonu özelliği taşımaktadır. Karışımdaki UK miktarı arttıkça çökme yani akışkanlık azalmaktadır. Bunun nedeni UK'nın çimentodan hafif olması dolayısıyla karışıma daha çok ince malzeme girmesidir.

#### **4.1.2. Ve-Be**

Üretilen taze betonlardan elde edilen Ve-Be deneyi sonuçları Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Üretilen taze betonlarda Ve-Be değeri %15 UK'lı betonlar için 8 sn, %30 UK'lı beton için 7 sn olarak elde edilmiştir. Karışımdaki UK miktarı arttıkça Ve-Be süresi azalmaktadır. Bunun nedeni UK'nın çimentodan hafif olması dolayısıyla karışıma daha çok ince malzeme girmesidir.

#### **4.1.3. Hava miktarı**

Üretilen taze betonlardan elde edilen hava miktarı deney sonuçları Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Hava miktarının da TS EN 206-1'e [49] göre donma-çözülme etkisinde en az %4 olması hedeflenmiştir. TS EN 934-2' ye [23] göre

üretici tarafından aksi belirtilmedikçe SA katkıları taze betonun hava miktarını hacimce en çok %2 oranında arttırabilirler. Deneyde kullanılan SA katkıların yaklaşık olarak %0.2 ile %0.7 oranında hava miktarını arttırmaları Halilov [8]'un çalışmasıyla paralellik göstermektedir. Görüldüğü gibi çökme ve Ve-Be sonuçlarında olduğu gibi karışımda UK miktarı arttıkça hava miktarı azalmaktadır. Bu sonucu UK taneciklerinin boşlukları doldurması ile açıklamak mümkündür.

#### 4.1.4. Birim ağırlık

Üretilen taze betonların birim ağırlıkları Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Karışıma giren UK miktarı arttıkça taze betonun birim ağırlığı % 10 dolayında azalmaktadır. Bunun nedeni UK birim ağırlığının çimentodan düşük olması ile açıklanabilir.

Çizelge 4.1. Taze beton deney sonuçları

UK (%)	SA (%)	AF (%)	Slump (cm)	Ve Be (sn)	Birim Hacim Ağırlık (kg/dm <sup>3</sup> )	Hava Miktarı (%)
15	2	1	15	8	2.45	4.2
30	2	1	13	7	2.20	5.7

## 4.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri

Sertleşmiş betonlardan elde edilen deney sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Sertleşmiş beton deney sonuçları

Numune Kodu	UK (%)	SA (%)	AF (%)	Donma Süresi (Gün)	Açık Hava Kalıp Süresi (Gün)	Toplam Kalıp Süresi (Gün)	Standart Kür Süresi (Gün)	Numune Yaşı (Gün)	Basınc Dayanımı (MPa)	DYK Birim Ağırlık (kg/dm <sup>3</sup> )
1KB15-3	15	2	1	-	-	-	3	3	16.40	2.41
2KB15-7				-	-	-	7	7	22.46	2.38
3KB15-28				-	-	-	28	28	29.87	2.40
4KB15-90				-	-	-	90	90	35.17	2.39
5NB15-3				1	2	3	-	3	4.45	2.16
6NB15-7				1	2	3	4	7	13.48	2.26
7NB15-28				1	2	3	25	28	20.85	2.22
8NB15-90				1	2	3	87	90	23.55	2.27
9NB15-7				1	6	7	-	7	11.80	2.21
10NB15-28				1	6	7	21	28	14.74	2.23
11NB15-90				1	6	7	83	90	19.22	2.28
12NB15-3				3	-	3	-	3	3.78	2.25
13NB15-7				3	-	3	4	7	13.75	2.32
14NB15-28				3	-	3	25	28	19.05	2.32
15NB15-90				3	-	3	87	90	24.68	2.33
16NB15-7				3	4	7	-	7	11.32	2.32
17NB15-28				3	4	7	21	28	17.18	2.36
18NB15-90				3	4	7	83	90	22.26	2.38
19KB30-3	30	2	1	-	-	-	3	3	12.86	2.25
20KB30-7				-	-	-	7	7	16.24	2.27
21KB30-28				-	-	-	28	28	25.02	2.28
22KB30-90				-	-	-	90	90	31.09	2.29
23NB30-3				1	2	3	-	3	4.38	2.26
24NB30-7				1	2	3	4	7	8.84	2.27
25NB30-28				1	2	3	25	28	18.73	2.21
26NB30-90				1	2	3	87	90	21.22	2.36
27NB30-7				1	6	7	-	7	8.11	2.25
28NB30-28				1	6	7	21	28	10.36	2.17
29NB30-90				1	6	7	83	90	13.52	2.39
30NB30-3				3	-	3	-	3	3.00	2.10
31NB30-7				3	-	3	4	7	8.84	2.28
32NB30-28				3	-	3	25	28	12.96	2.28
33NB30-90				3	-	3	87	90	16.95	2.31
34NB30-7				3	4	7	0	7	7.15	2.20
35NB30-28				3	4	7	21	28	11.12	2.17
36NB30-90				3	4	7	83	90	14.50	2.21

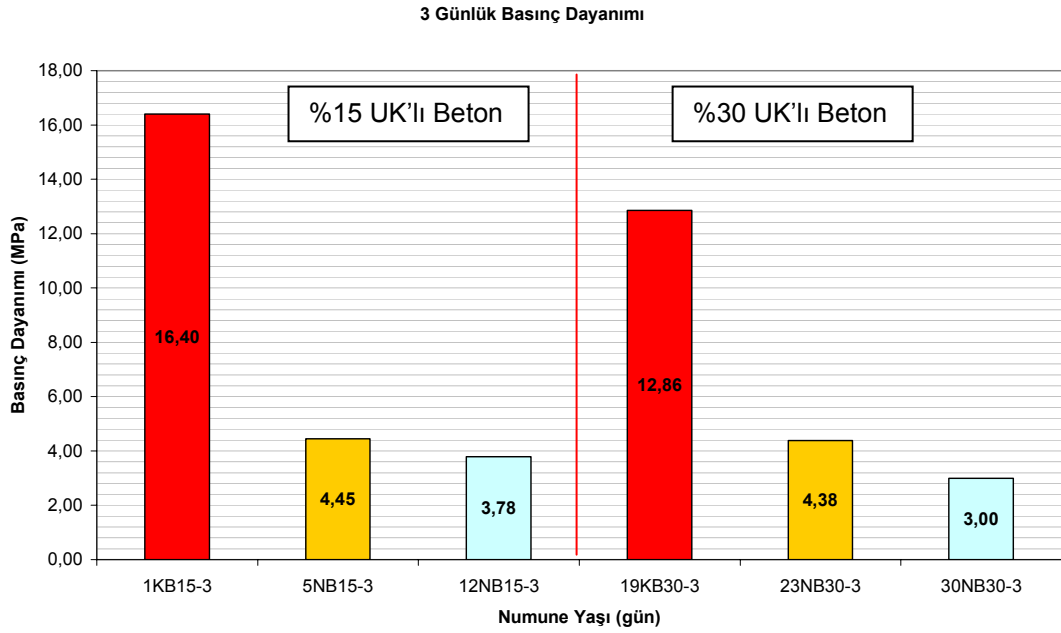
#### 4.2.1. Basınç dayanımı

Üretilen betonların Çizelge 4.2. de verilen deney sonuçlarına göre UK, SA ve AF katkılı betonların numune yaşı - basınç dayanımı ilişkisi Şekil 4.1., Şekil 4.2., Şekil 4.3., Şekil 4.4., Şekil 4.5. ve Şekil 4.6. 'da verilmiştir.

Şekil 4.1.'de 3 günlük beton numunelerin basınç dayanımları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Bu gruptaki betonlarda en yüksek ve en düşük basınç dayanımları sırasıyla %15 UK'lı 1KB15-3 betonu ile %30 UK'lı 30NB30-3 betonunda elde edilmiştir. Beton karışımlarındaki UK miktarı arttıkça basınç dayanımlarının da azaldığı görülmektedir. Bu azalma ortalama %25 dolayında gerçekleşmiştir. Dolayısıyla UK miktarı ile basınç dayanımı arasında ters bir ilişki söz konusudur.

Donma süresi 1 gün, açık hava kalıp süresi 2 gün olan %15 UK'lı 5NB15-3 betonunda basınç dayanımının KB betonuna göre %73 azaldığı görülmüştür. Aynı betonun donma süresi 3 gün ve açık havada kalıpta bekletilmeden basınç dayanımına tabi tutulan %15 UK'lı 12NB15-3 betonunun KB'ye kıyasla basınç dayanımının %77 azaldığı belirlenmiştir.

Donma süresi 1 gün, açık hava kalıp süresi 2 gün olan %30 UK'lı 23NB30-3 betonunda basınç dayanımının KB betonuna göre %66 azaldığı görülmüştür. Aynı betonun donma süresi 3 gün ve açık havada kalıpta bekletilmeden basınç dayanımına tabi tutulan %30 UK'lı 30NB30-3 betonunun KB'ye kıyasla basınç dayanımının %77 azaldığı belirlenmiştir.



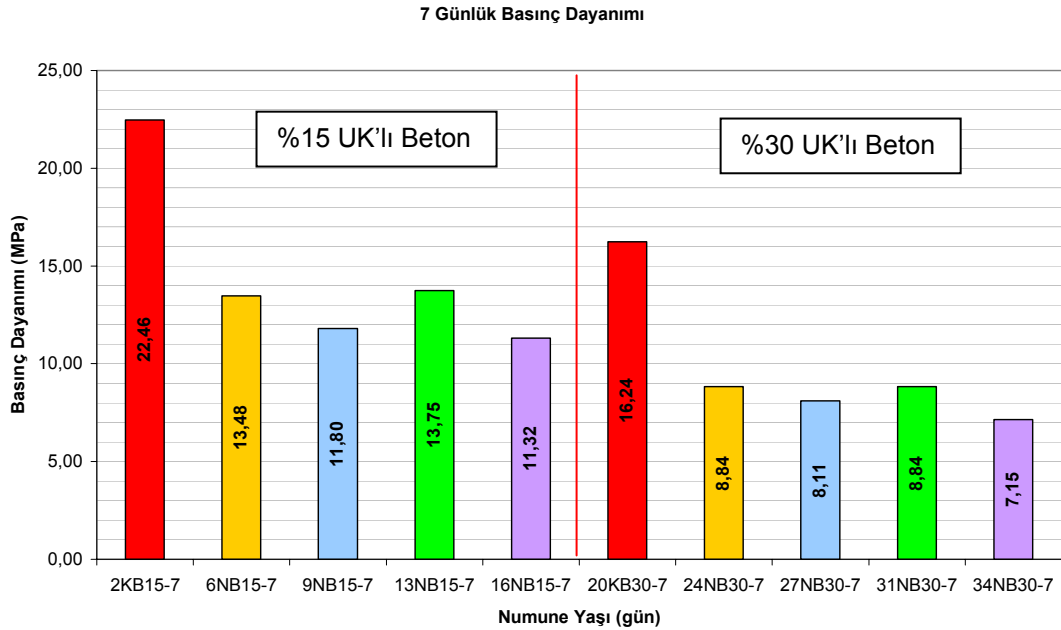
Şekil 4.1. 3 günlük numunelerin basınç dayanımları

Şekil 4.2.'de 7 günlük beton numunelerin basınç dayanımları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Bu gruptaki betonlarda en yüksek ve en düşük basınç dayanımları sırasıyla %15 UK'lı 2KB15-7 betonu ile %30 UK'lı 34NB30-7 betonunda elde edilmiştir. Beton karışımlarındaki UK miktarı arttıkça basınç dayanımlarının da azaldığı görülmektedir. Bu azalma ortalama %25 dolayında gerçekleşmiştir. Dolayısıyla UK miktarı ile basınç dayanımı arasında ters bir ilişki söz konusudur.

Donma süresi 1 gün, açık hava kalıp süresi 2 gün, kür süresi 3 gün olan %15 UK'lı 6NB15-7 betonunda basınç dayanımının KB betonuna göre %40 azaldığı görülmüştür. Donma süresi 1 gün, açık hava kalıp süresi 6 gün olan %15 UK'lı 9NB15-7 betonunda basınç dayanımının KB betonuna göre %48 azaldığı ve aynı betonun donma süresi 3 gün olan ve açık havada kalıpta bekletilmeden 4 gün küre tabi tutulan %15 UK'lı 13NB15-7 betonunda ise basınç dayanımının KB'ye göre %39 azaldığı gözlenmiştir. Donma süresi 3

gün, açık hava kalıp süresi 4 gün olan %15 UK'lı 16NB15-7 betonunda basınç dayanımının KB'ye göre %50 azaldığı görülmüştür.

Donma süresi 1 gün, açık hava kalıp süresi 2 gün, kür süresi 4 gün olan %30 UK'lı 24NB30-7 betonunda basınç dayanımının KB'ye göre %46 azaldığı görülmüştür. Donma süresi 1 gün, açık hava kalıp süresi 6 gün olan %30 UK'lı 27NB30-7 betonunda basınç dayanımının KB'ye göre %50 azaldığı belirlenmiştir. Aynı betonun donma süresi 3 gün olan ve açık havada kalıpta bekletilmeden 4 gün küre tabi tutulan %30 UK'lı 31NB30-7 betonunda ise basınç dayanımının KB'ye göre %46 azaldığı gözlenmiştir. Donma süresi 3 gün, açık hava kalıp süresi 4 gün olan %30 UK'lı 34NB30-7 numune kodlu betonlarda basınç dayanımının KB'ye göre %56 azaldığı görülmüştür.



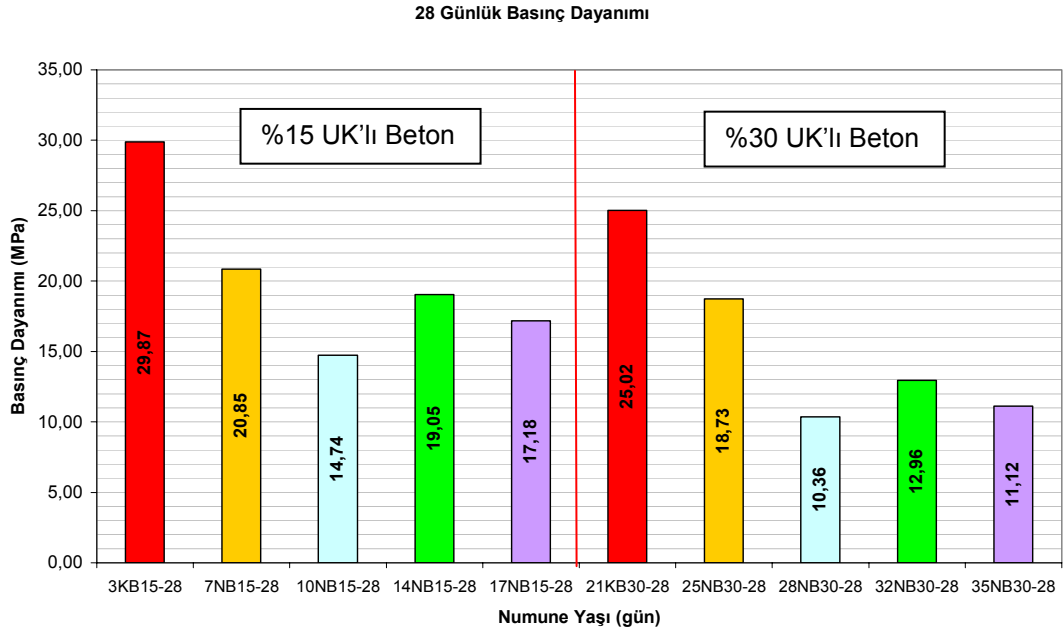
Şekil 4.2. 7 günlük numunelerin basınç dayanımları

Şekil 4.3.'de 28 günlük beton numunelerin basınç dayanımları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Bu gruptaki betonlarda en yüksek ve en düşük basınç dayanımları sırasıyla %15 UK'lı 3KB15-28 betonu ile %30 UK'lı 28NB30-28 betonunda elde edilmiştir. Beton karışımlarındaki UK miktarı arttıkça basınç

dayanımlarının da azaldığı görülmektedir. Bu azalma ortalama %25 dolayında gerçekleşmiştir. Dolayısıyla UK miktarı ile basınç dayanımı arasında ters bir ilişki söz konusudur.

Donma süresi 1 gün, açık hava kalıp süresi 2 gün, kür süresi 3 gün olan %15 UK'lı 7NB15-28 betonunda basınç dayanımının KB'ye göre %30 azaldığı görülmüştür. Donma süresi 1 gün, açık hava kalıp süresi 6 gün olan %15 UK'lı 10NB15-28 betonunda basınç dayanımının KB'ye göre %51 azaldığı belirlenmiştir. Aynı betonun donma süresi 3 gün olan ve açık havada kalıpta bekletilmeden 4 gün küre tabi tutulan %15 UK'lı 14NB15-28 betonunda ise basınç dayanımının KB'ye göre %36 azaldığı gözlenmiştir. Donma süresi 3 gün, açık hava kalıp süresi 4 gün olan %15 UK'lı 17NB15-28 betonunda basınç dayanımının KB'ye göre %43 azaldığı görülmüştür.

Donma süresi 1 gün, açık hava kalıp süresi 2 gün, kür süresi 4 gün olan %30 UK'lı 25NB30-28 betonunda basınç dayanımının KB'ye göre %25 azaldığı görülmüştür. Donma süresi 1 gün, açık hava kalıp süresi 6 gün olan %30 UK'lı 28NB30-28 betonunda basınç dayanımının KB'ye göre %59 azaldığı belirlenmiştir. Aynı betonun donma süresi 3 gün olan ve açık havada kalıpta bekletilmeden 4 gün küre tabi tutulan %30 UK'lı 32NB30-28 betonunda ise basınç dayanımının KB'ye göre %48 azaldığı gözlenmiştir. Donma süresi 3 gün, açık hava kalıp süresi 4 gün olan %30 UK'lı 35NB30-28 betonunda basınç dayanımının KB'ye göre %56 azaldığı görülmüştür.

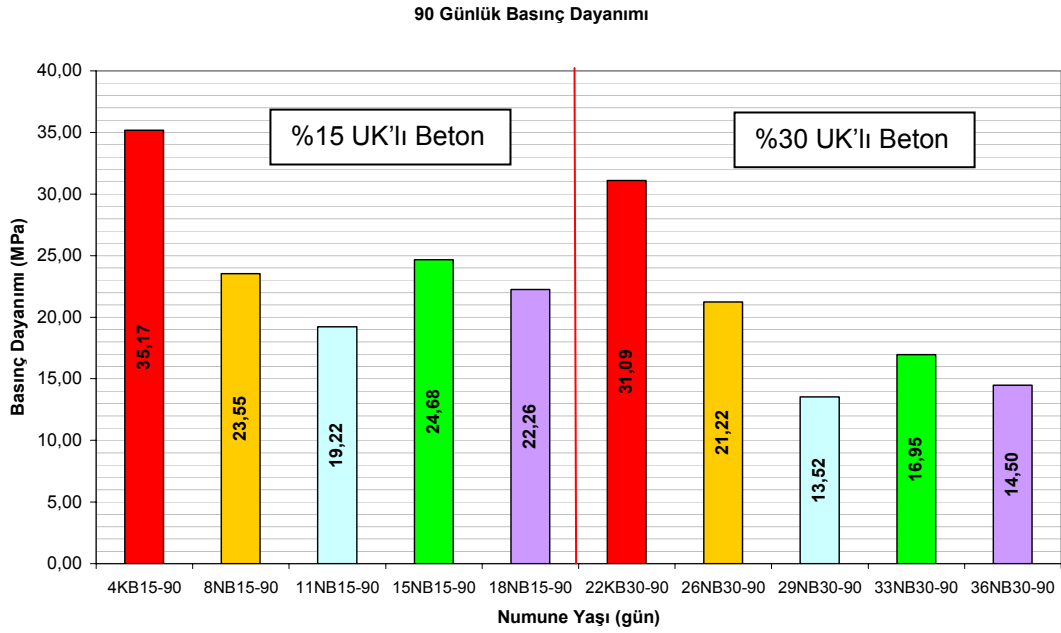


Şekil 4.3. 28 günlük numunelerin basınç dayanımları

Şekil 4.4.'de 90 günlük beton numunelerin basınç dayanımları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Bu gruptaki betonlarda en yüksek ve en düşük basınç dayanımları sırasıyla %15 UK'lı 4KB15-90 betonu ile %30 UK'lı 29NB30-90 betonunda elde edilmiştir. Beton karışımlarındaki UK miktarı arttıkça basınç dayanımlarının da azaldığı görülmektedir. Bu azalma ortalama %25 dolayında gerçekleşmiştir. Dolayısıyla UK miktarı ile basınç dayanımı arasında ters bir ilişki söz konusudur.

Donma süresi 1 gün, açık hava kalıp süresi 2 gün, kür süresi 3 gün olan %15 UK'lı 8NB15-90 betonunda basınç dayanımının KB'ye göre %33 azaldığı görülmüştür. Donma süresi 1 gün, açık hava kalıp süresi 6 gün olan %15 UK'lı 11NB15-90 betonunda basınç dayanımının KB'ye göre %45 azaldığı belirlenmiştir. Aynı betonun donma süresi 3 gün olan ve açık havada kalıpta bekletilmeden 4 gün küre tabi tutulan %15 UK'lı 15NB15-90 betonunda ise basınç dayanımının KB'ye göre %30 azaldığı gözlenmiştir. Donma süresi 3 gün, açık hava kalıp süresi 4 gün olan %15 UK'lı 18NB15-90 betonunda basınç dayanımının KB'ye göre %37 azaldığı görülmüştür.

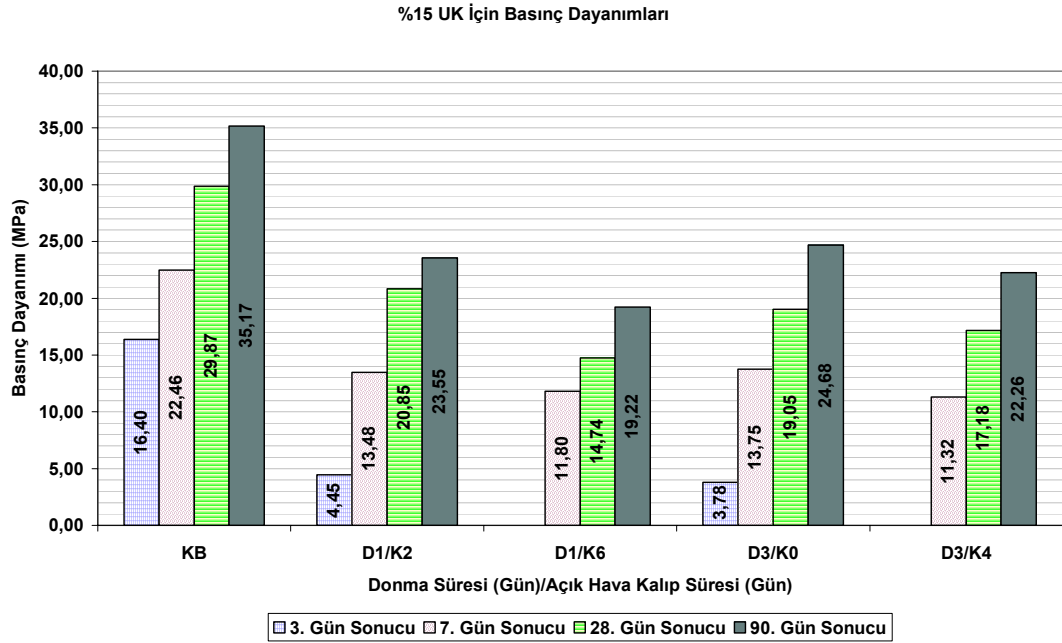
Donma süresi 1 gün, açık hava kalıp süresi 2 gün, kür süresi 4 gün olan %30 UK'lı 26NB30-90 betonunda basınç dayanımının KB'ye göre %32 azaldığı görülmüştür. Donma süresi 1 gün, açık hava kalıp süresi 6 gün olan %30 UK'lı 29NB30-90 betonunda basınç dayanımının KB'ye göre %57 azaldığı belirlenmiştir. Aynı betonun donma süresi 3 gün olan ve açık havada kalıpta bekletilmeden 4 gün küre tabi tutulan %30 UK'lı 33NB30-90 betonunda basınç dayanımının KB'ye göre %45 azaldığı gözlenmiştir. Donma süresi 3 gün, açık hava kalıp süresi 4 gün olan %30 UK'lı 36NB30-90 betonunda ise basınç dayanımının KB'ye göre %53 azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.4. 90 günlük numunelerin basınç dayanımları

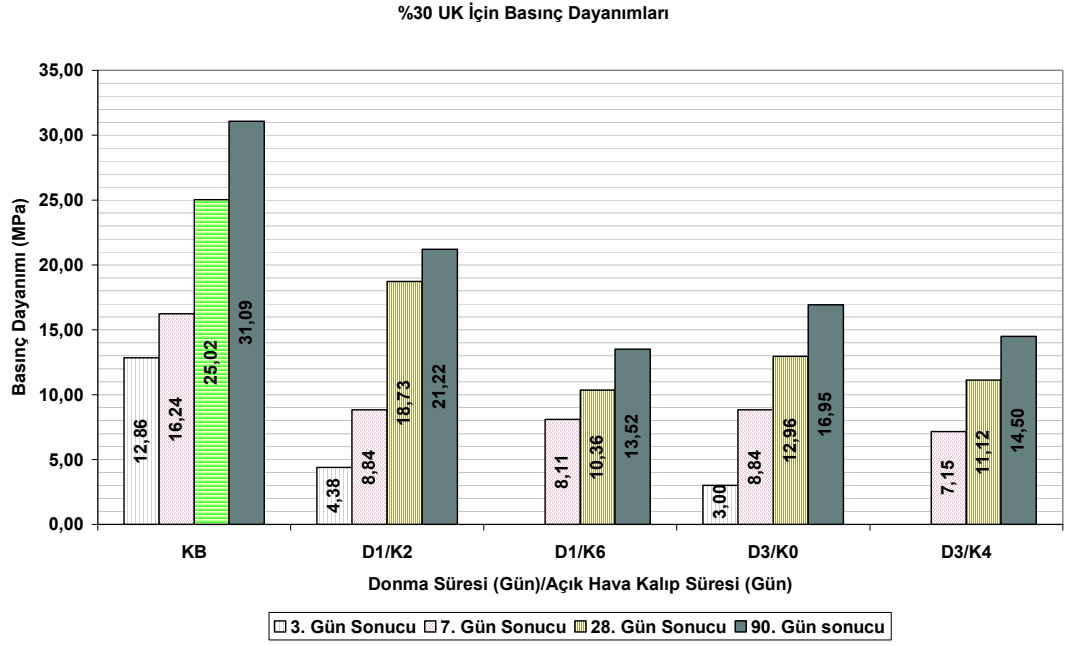
Şekil 4.5' de içeriğinde %15 UK olan beton numunelerinin karşılaştırmalı basınç dayanımları gösterilmiştir. Donma süresi 1 gün, açık hava kalıp süresi 6 gün olan beton numuneleri ile donma süresi 3 gün, açık hava kalıp süresi 4 gün olan beton numunelerinin KB 'ye göre basınç dayanımları en düşük iki grup olduğu görülmektedir. 1 gün ve 3 gün süreyle dona maruz bırakılan betonlarda açık havada kalıp içinde bekletme süresi arttıkça belirgin olarak

basınç dayanımlarının azaldığı görülmektedir. Bu durumun bu tip betonlara kür uygulaması yapılarak giderilebileceği söylenebilir.



Şekil 4.5. %15 UK için karşılaştırmalı basınç değerleri

Şekil 4.6' da içeriğinde %30 UK olan beton numunelerinin karşılaştırmalı basınç değerleri görülmektedir. %15 UK'li betonlarda olduğu gibi donma süresi 1 gün, açık hava kalıp süresi 6 gün olan beton numuneleri ile donma süresi 3 gün, açık hava kalıp süresi 4 gün olan beton numunelerinin KB'ye göre basınç dayanımları en düşük iki grup olduğu görülmektedir. 1 gün ve 3 gün süreyle dona maruz bırakılan betonlarda açık havada kalıp içinde bekletme süresi arttıkça belirgin olarak basınç dayanımlarının azaldığı görülmektedir. Bu durumun bu tip betonlara kür uygulaması yapılarak giderilebileceği söylenebilir.



Şekil 4.6. %30 UK için karşılaştırmalı basınç değerleri

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

%15 ve %30 UK ikameli, SA ve AF katkı ile üretilen ve dona maruz bırakılan beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen bilgiler aşağıda özetlenmiştir:

- Sabit s/b oranıyla üretilen betonlarda %30 UK ikamesinin betonun işlenebilirliğini azalttığı görülmüştür. SA katkı ise işlenebilirliği arttırmıştır.
- Sabit s/b oranıyla üretilen betonlarda UK oranının artırılması durumunda betonun birim ağırlığının % 10 oranında düştüğü görülmüştür.
- Üretilen betonlarda UK oranı arttıkça basınç dayanımlarının azaldığı belirlenmiştir.
- Don etkisine maruz UK, SA ve AF katkılı betonların erken yaşlardaki dayanımlarının düşük olduğu tespit edilmiştir.
- 3 gün don etkisine maruz UK, SA ve AF katkılı betonların basınç dayanımları 1 gün don etkisine maruz aynı betonların dayanımlarına göre azalmaktadır.

Sonuç olarak piyasa şartlarında dona dayanıklı beton istendiğinde hazır beton üreten firmalar tarafından gönderilen katkılı betonların kalıba dökülmesinden sonra don etkisine maruz kalması durumunda betonun basınç dayanımında oldukça yüksek düşüşler olmakta ve istenilen dayanıma ulaşılamamaktadır.

### 5.2. Öneriler

Bu çalışmada hazırlanan beton numuneleri 1 saat içinde kalıp içerisinde derin dondurucuya alınmış ve  $-2.5^{\circ}\text{C}$ 'de dondurulmuştur. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda aşağıdaki hususlar önerilmektedir:

- Kış mevsiminde AF ve UK katkılı beton kullanılması halinde taze betonda AF katkısı var diye düşünülmemeli, yerine dökülmüş ve sıkıştırılmış betonun sıcaklık ve nem kaybı üzeri örtülerek veya izole edilerek engellenmeli, beton 4-5 N/mm<sup>2</sup> dayanım sınırına ulaşınca kadar çok sıkı bir şekilde korunmalı ve kesinlikle donmasına izin verilmemelidir.
- Betonun kalıba dökülme işleminden sonra betonun iç ısı kontrol edilip kayıt altına alınabilir.
- Derin dondurucuda donma işlemi belirli bir periyotta yavaş yavaş yapılmalıdır. Böylece beton doğal şartlara daha yakın don etkisine maruz bırakılabilir.
- Beton numuneleri çelik kalıpta tutulmuş ve donma işlemi beton çelik kalıpta iken yapılmıştır. Aynı çalışma kalıp malzemesinin etkisini görmek amacıyla ahşap kalıp ile yapılarak aradaki farklar belirlenebilir.

## KAYNAKLAR

1. Yeğınobalı, A., "Silis Dumanının Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi", **Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildirileri**, Ankara, 149-167 (1993).
2. Akman, M. S., "Kimyasal katkıların betona uygulanması", **TMMOB İMO 4. Ulusal Beton Kongresi 'Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar'**, İstanbul, 1-11 (1996).
3. Şimşek, O., "Beton ve Beton Teknolojisi" **Seçkin Yayınevi**, Ankara, 77-95, 100-103, 119-186 (2004)
4. Şimşek, O., Dur, A. ve Yaprak, H., "Silis Dumanı ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Harçların özellikleri", **Politeknik Dergisi**, 7 (2): 169-178, 169-178 (2004).
5. Postacıoğlu, B., "Beton, Bağlayıcı maddeler, Agregalar", Cilt 2, **Teknik Kitaplar Yayınevi**, İstanbul, 178-208, 322-388 (1987).
6. TS 802, "Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları", **TSE**, Ankara, 1-15 (2009).
7. Şimşek, O., "Yapı Malzemeleri II" **Ankara Üniversitesi Yayınevi**, Ankara, 74-98 (2000).
8. Halilov, S., "Silis Dumanı ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Lifli Betonların Özellikleri", Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 72-90 (2003).
9. Özden, K., "Betonarme I. Betonarmenin Malzemesi ve Kesit Hesapları", sayı 110, **İTÜ Matbaası**, İstanbul, 27-35 (1993).
10. Yeğınobalı, A., "Portland Çimentosu [Bazı temel bilgiler]", **TÇMB Ar-ge Seminer Notları**, Ankara, 1-15 (1999).
11. TS EN 197-1, "Çimento", **TSE**, Ankara, 1-15 (2002).
12. Akman, M. S., "Yapı Malzemeleri", **İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası**, İstanbul, 1-62 (1990).
13. TS 3440, "Zararlı Kimyasal Etkileri Olan Su, Zemin ve Gazların Etkisinde Kalacak Betonlar İçin Yapım Kuralları", **TSE**, Ankara, 8-12 (1982).
14. Postacıoğlu, B., "Beton, Bağlayıcı maddeler, Agregalar", Cilt 1, **Teknik Kitaplar Yayınevi**, İstanbul, 27-77 (1986).

15. Gül, R., Aydın, C. A., "Akışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Kullanılmasında Göz Önünde Bulundurulması Gereken Hususlar", **Çimento ve Beton Dünyası, TÇMB**, 17-19 (1998).
16. SİKA, "Sikament FFN Süper Akışkanlaştırıcı Beton Katkısı", **Ürün Bilgi Föyü**, (2009)
17. Yanardağ, K., "Silis Dumanı ve Kimyasal Esasları Farklı Süper Akışkanlaştırıcı Katkıların Taze ve Sertleşmiş Beton Özelliklerinin Etkisi", Y. Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 3-9 (2004).
18. Uyan, M., Özkul, H., "Beton Katkı Maddeleri ve Türkiye de Durumu", **Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi, III. Mühendislik Haftası Bildirileri**, Isparta, 13-23 (1985).
19. Uyan, M., Yıldırım, H., "Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Süper Akışkanlaştırıcı Katkıların Etkinliği", **TMMOB İMO 2. Ulusal Beton Kongresi 'Yüksek Dayanımlı Beton'**, İstanbul, 262-279 (1991).
20. Uyan, M., Yıldırım, H. ve Süvari, Y., "Akışkanlaştırıcı Katkıların Etkinliği", **TMMOB İMO 2. Ulusal Beton Kongresi 'Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar'**, İstanbul, 13-23 (1996).
21. Yazıcı, Ş., "Değişik Akışkanlaştırıcıların Betondaki Performansları", **Fen ve Mühendislik Dergisi**, 4, 2, 41-52 (2002).
22. Dur, A., "Silis Dumanı ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Çimento Harçlarının Özellikleri", Y. Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 3-27 (2003).
23. TS EN 934-2, "Kimyasal Katkılar - Beton, Harç ve Şerbet İçin- Bölüm 2: Beton Katkıları-Tarifler ve Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme", **TSE**, Ankara, (2010).
24. Taner, B. B., "Kimyasal Katkıların Çimento Tipi İle İlişkisi", Yüksek Lisans Tezi, **ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 5-18 (1995).
25. ASTM C-494-99, "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete", Concrete and Mineral Aggregates, **Annual Book of ASTM Standards**, Philadelphia, USA, 4 (2): 1-9 (1999).
26. ASTM C 618-91, "Fly Ash And Raw Or Calnined Natural Pozzanal For Use As A Mineral Admixture İn Portland Cement Concrete", **American Society Offesting And Materials**, Philadelphia, 4-9 (1978).

27. Aruntaş, H. Y., Tokyay, M., “Katkılı Çimento Üretiminde Diatomitin Puzolanik Malzeme Olarak Kullanılabilirliği”, **Çimento ve Beton Dünyası**, 1-4, 33-41 (1996).
28. Aruntaş, H. Y., “Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli”, **Gazi Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Dergisi**, 21 (1): 193-203 (2006)
29. Ünal, O., Uygunoğlu T., “Uçucu Küllü Betonların Donma-Çözülme Etkisinde Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, **İMO 17. Teknik Kongre**, 103 (2004).
30. Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., Yeğınobalı, A., “Türkiye’deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri”, **TÇMB**, Ankara, (2003).
31. SİKA, “Sika-Antifreeze %1 Soğuk Havada Beton Dökümü İçin Kimyasal Katkı”, Ürün Bilgi Föyü, (2007)
32. Uyan, M., Karagüler, M. ve Yücesoy, S., “Süper Akışkanlaştırıcı Katkıların Portland Çimento Harçlarının Rötresine Etkisi”, **TMMOB İMO 4. Ulusal Beton Kongresi ‘Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar’**, İstanbul, 81-93 (1996).
33. Yücesoy, S., “Süper Akışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Portland Çimento Harçlarının Rötresine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, 12-25 (1993).
34. Mehta, P.K. ve Gjør, O.E., “Properties of Portland Cement Concrete Containing Fly Ash and Condensed Silica Fume”, **Cement and Concrete Research**, 12, 587-595 (1982).
35. Giaccio, G., Violini, D., Zappitelli ve Zerbino, R., “Compressive Strength and Elastic Properties of Fly Ash Concrete Elaborated with Different Cement Types”, **Supplementary Papers of Third CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Pozzolans in Concrete**, Norveç, 188-202 (1989).
36. Sivasundaram, V., Carrette, G.G. ve Malhotra, V.M., “Properties of Concrete Incorporating Low Quantity of Cement and EBgh Volumes of Low-Calcium Fly Ash”, **Proceedings of Third International Conferences on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Pozzolans in Concrete**, Norveç, 45-73 (1989).
37. Çullu, M., “Antifriz Katkısının Beton Dayanıklılığı Üzerine Etkisi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 3-209 (2009).

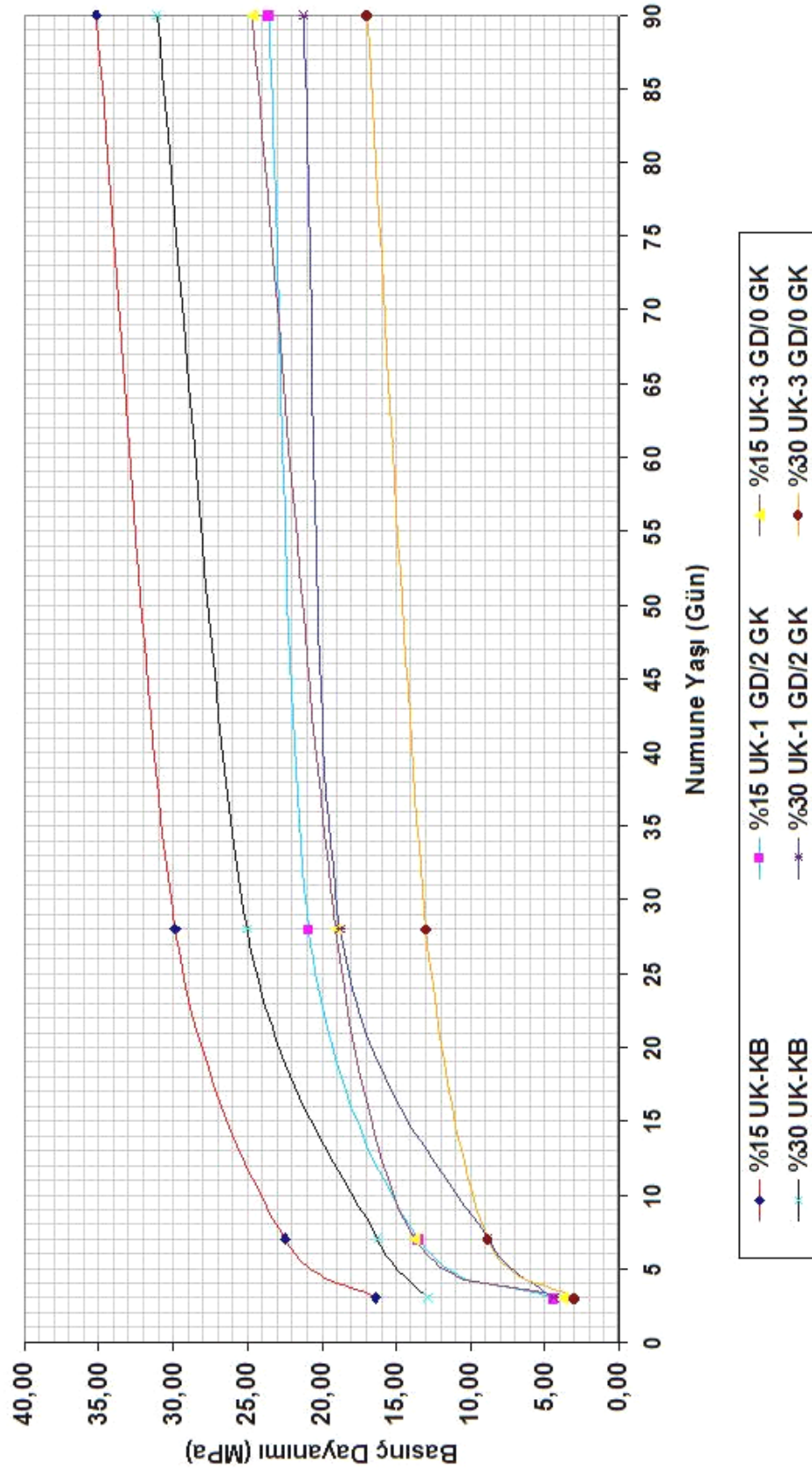
38. Haque, M.N., Day, R.L. and Langan B.W., "Realistic Strength of Air-Entrained Concretes with without Fly Ash", *ACI Materials Journal*, 85, 241-247 (1988).
39. Berry, E. E., Malhotra, V. M., "Fly Ash in Concrete", Ottawa, 3-163 (1986)
40. TS 707, "Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesini Hazırlama Yöntemi", *TSE*, Ankara, 1-6 (1980).
41. TS EN 1097-6/2002, "Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini", *TSE*, Ankara, 1-5 (2002).
42. TS 3530 EN 933-1/1999, "Beton Agregalarının Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini", *TSE*, Ankara, 1-5 (1999).
43. TS 1247, "Beton Yapım, Döküm, Bakım Kuralları", *TSE*, Ankara, 1-10 (1984).
44. TS EN 480-1, "Kimyasal Katkılı Betonda, Deney İçin Şahit Beton ve Şahit Harç", *TSE*, Ankara, 1-4 (2001).
45. TS EN 12350-2, "Taze Beton Deneyleri, Çökme (Slump) Deneyi", *TSE*, Ankara, 1-4 (2002).
46. TS EN 12350-3, "Taze Beton Deneyleri, Ve-Be Deneyi", *TSE*, Ankara, 1-4 (2002).
47. TS EN 12350-7, "Taze Beton Deneyleri, Hava Muhtevasının Tayini (Basınç Metodu) Deneyi", *TSE*, Ankara, 1-9 (2002).
48. TS 2941, "Taze Betonda, Birim Ağırlık, Verim, Hava Miktarının Ağırlık Yöntemi ile Tayini", *TSE*, Ankara, 1-7 (1978).
49. TS EN 206-1, "Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk", *TSE*, Ankara, 8-24 (2002)
50. TS EN 12390-3, "Sertleşmiş Beton Deneyleri, Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini", *TSE*, Ankara, 1-9 (2003).

## **EKLER**



EK-2. 3,7,28 ve 90 günlük basınç deneyi sonuçları

### 3, 7, 28 ve 90 Günlük Basınç Deneyi Sonuçları





## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : EKMEKÇİ Hilmi Duygu  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 1972 İstanbul  
Medeni hali : Evli  
Telefon : 0312 4812124  
Faks : 05057120109  
e-mail : hde1907@gmail.com

### Eğitim

Derece tarihi	Eğitim Birimi	Mezuniyet
Lisans	Gazi Üniversitesi Yapı Eğitimi	1994
Y.Lisans	Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	1998
Lise	İZMİR/ Çınarlı Teknik Lisesi	1990

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1999	Milli Eğitim Bakanlığı	Öğretmen

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

.

1972 yılında İstanbul' da doğdu. 1986 yılında İzmir Vedide Baha Pars Ortaokulu ve 1990 yılında İzmir Çınarlı Teknik Lisesi İnşaat Bölümünü bitirdi. 1994 yılında lisans eğitimini Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Öğretmenliği Bölümünde tamamladı. 1995 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisans çalışmalarına başladı. 1999 yılında Millî Eğitim Bakanlığı'nda İnşaat Teknolojisi Alanı Öğretmeni olarak görev yapmaya başladı. Halen Millî Eğitim Bakanlığı Erkek Teknik Öğretim Genel Müdürlüğü Yatırım Şubesinde Görevli Öğretmen olarak çalışmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.