

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI DOZLARDA ÜRETİLEN BEYAZ
BETONLARDA DAYANIMIN KÜR ŞARTLARINA
BAĞLI DEĞİŞİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Nil MERCAN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ

Nisan 2009

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI DOZLARDA ÜRETİLEN BEYAZ
BETONLARDA DAYANIMIN KÜR ŞARTLARINA
BAĞLI DEĞİŞİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Nil MERCAN

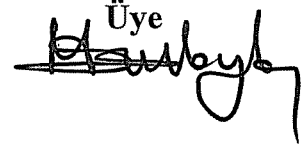
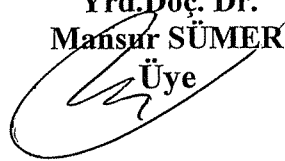
Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ

Bu tez 20/04/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr.
Kemalettin YILMAZ
Jüri Başkanı

Yrd.Doç. Dr.
Mansur SÜMER
Üye

Doç.Dr.
Mehmet SARIBIYIK
Üye



TEŞEKKÜR

Değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, çalıőmalarımın yönlendirilmesinde ve devam etmesinde her türlü desteğini benden esirgemeyen danıőman hocam Sayın Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ'a, çalışmanın son őeklini almasında tavsiyelerini esirgemeyen saygıdeğer hocalarım Yrd. Doç. Dr. Mansur SÜMER ve Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK'a, çalıőmam sırasındaki yardımlarından dolayı SA yapı malzemesi laboratuvar çalıőanlarına ve hayatımın her aşamasında bana destek olan, sevgi ve ilgilerini benden esirgemeyen değerli aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Nil MERCAN

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
ÖZET.....	
.....x	
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1.GİRİŞ.....	1
1.1. Betonun Tanımı ve Tarihçesi.....	2
1.2. Betonu Oluşturan Malzemeler	2
1.2.1. Çimentolar.....	4
1.2.2. Beyaz portland çimentosu ile siyah portland çimentosu arasındaki farklar.....	10
1.2.3. Agregalar.....	11
1.2.3.1. Agregaların tanımı ve özellikleri.....	11
1.2.4. Karışım suyu	12
1.2.5. Katkı maddeleri.....	13
1.2.5.1. Kimyasal katkılar.....	14
1.2.5.2. Kimyasal katkıların yararları	14
1.2.5.3. Su azaltıcı (Akışkanlaştırıcı) katkılar	16
1.2.5.4.1 Süperakışkanlaştırıcıların etki mekanizması	19
1.2.5.5. Mineral katkılar	21
1.3. Betonun Bakımı ve Kürü	21
1.4. Betonun Basınç Dayanımı	30
1.4.1. Basınç dayanımına etki eden faktörler.....	31
1.4.1.1. Çimento ile ilgili faktörler	32

1.4.1.2. Karma suyu ile ilgili faktörler	33
1.4.1.3. Su/çimento oranı.....	33
1.4.1.4. Agregaya ile ilgili faktörler	34
1.4.1.5. Betonun kapasitesi.....	35
1.4.1.7. Zaman (Betonun yaşı)	37
1.4.1.8. Üretimle ilgili faktörler.....	37
1.4.1.9. Numune şekli ve boyutları.....	38
1.4.1.10. Yükleme hızı.....	38
1.4.1.11. Diğer etkenler	38
1.5. Beyaz Beton.....	39
1.5.1. Beyaz beton üretiminde kullanılan malzemeler.....	39
1.5.1.2. Agregalar	41
1.5.1.3. Karışım suyu.....	41
1.5.1.4. Kimyasal katkılar.....	42
1.5.1.5. Mineral katkılar	42
1.5.1.6. Pigmentler.....	42
1.5.2. Beyaz beton üretim tekniği	43
1.6. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	44
BÖLÜM 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	46
2.1. Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	46
2.1.1. Agregaya özellikleri.....	46
2.1.1.1. Kırma kum.....	46
2.1.1.2. Kırmataş I	46
2.1.1.3. Kırmataş II.....	47
2.1.1.4. Mermer tozu	47
2.1.2. Çimento özelliği.....	49
2.1.3. Karışım suyu	50
2.1.4. Katkı maddesi	50
2.2. Beton Karışımları.....	50
2.3. Beton Üretimi	53
2.4. Beton Numunelerin Kür ve Bakımı	53
2.5.1. Taze beton deneyleri	55

2.5.1.1. Birim ağırlık	55
2.5.1.2. Çökme deneyi (Slump deneyi).....	55
2.5.2. Sertleşmiş beton deneyleri	55
BÖLÜM 3. DENEY SONUÇLARI	57
3.1. Taze Beton Deney Sonuçları	57
3.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları	58
BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	60
4.1. Kür Koşulları ve Katkı Kullanımının Basınç Dayanımına Etkisi.....	62
4.1.1. 250 doz çimento ile yapılan deneyler	62
4.1.2. 350 doz çimento ile yapılan deneyler	64
4.1.3. 450 doz çimento ile yapılan deneyler	65
4.1.4. 550 doz çimento ile yapılan deneyler	66
4.1.5. 650 doz çimento ile yapılan deneyler	68
4.2. Çimento Dozajının Basınç Dayanımına Etkisi	69
4.2.1. Katkısız beyaz beton numuneler	69
4.2.2. Katkılı beyaz beton numuneler	71
4.2.3. Katkısız beyaz beton numuneler	72
4.2.4. Katkılı beyaz beton numuneler	73
BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	77
5.1. Taze Beton Deney Sonuçları	77
5.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları	78
5.3. Öneriler	80
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	85

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

PÇ	Portland Çimento
BPÇ	Beyaz Portland Çimento
CEM I	Portland çimentoları
CEM II	Portland – kompoze çimentolar
CEM III	Yüksek fırın cüruf çimentoları
CEM IV	Puzolanlı çimentolar
CEM V	Kompoze çimentolar
TS	Türk Standartları
W	Betonun İçindeki Su Miktarı
C	Betonun İçindeki Çimento Miktarı
P	Betona Uygulanan Basınç Kuvveti
A	Basınç kuvvetinin uygulandığı beton alanı
σ_b	Beton Basınç Dayanımı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Beton'un yapısı.....	3
Şekil 1.2.	C-S-H'in muhtemel yapısı.....	7
Şekil 1.3.	Su azaltıcı katkıların dağıtma etkisi.....	20
Şekil 1.4.	Katkıların stearik etkisi.....	20
Şekil 1.5.	Polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcılara ait tipik moleküler yapı çeşitleri.....	21
Şekil 2.1.	TS 706 Referans ve karışım granülometri eğrisi.....	49
Şekil 2.2.	Laboratuar ortamında naylon örtüye sarılı ve açık olarak bulunan beyaz betonlar.....	55
Şekil 2.3.	Üretilen beyaz betonlara uygulanan naylon kürü yöntemi.....	55
Şekil 2.4.	200 tonluk basınç deneyi aleti.....	57
Şekil 2.5.	Basınç deneyi uygulanmış numuneler	57
Şekil 4.4.	250 doz çimento ve süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımı ile yapılan deneylerin farklı kür şartlarındaki değişimi.....	64
Şekil 4.5.	350 doz çimento ve süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımı ile yapılan deneylerin farklı kür şartlarındaki değişimi.....	65
Şekil 4.3.	450 doz çimento ve süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımı ile yapılan deneylerin farklı kür şartlarındaki değişimi.....	66
Şekil 4.4.	550 doz çimento ve süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımı ile yapılan deneylerin farklı kür şartlarındaki değişimi.....	68
Şekil 4.5.	650 doz çimento ve süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımı ile yapılan deneylerin farklı kür şartlarındaki değişimi.....	69
Şekil 4.6.	Çimento miktarı 250-650 kg/m ³ arasında değişen katkısız beyaz betonların basınç dayanımının 28. günde farklı kür şartlarına bağlı değişimi	70
Şekil 4.7.	Çimento miktarı 250-650 kg/m ³ arasında değişen katkılı beyaz	

	betonların basınç dayanımının 28. günde farklı kür şartlarına bağlı değişimi	72
Şekil 4.8.	Çimento miktarı 250-650 kg/m ³ arasında değişen katkısız beyaz betonların basınç dayanımının 90. günde farklı kür şartlarına bağlı değişimi	73
Şekil 4.9.	Çimento miktarı 250-650 kg/m ³ arasında değişen katkılı beyaz betonların basınç dayanımının 90. günde farklı kür şartlarına bağlı değişimi	74
Şekil 4.10.	Farklı kür şartlarında bekletilen katkısız beyaz beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımlarının çimento dozajına bağlı değişimi.....	75
Şekil 4.11.	Farklı kür şartlarında bekletilen katkılı beyaz beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımlarının çimento dozajına bağlı değişimi.....	75
Şekil 4.12.	Farklı kür şartlarında bekletilen katkısız beyaz beton numunelerinin 90 günlük basınç dayanımlarının çimento dozajına bağlı değişimi.....	76
Şekil 4.13.	Farklı kür şartlarında bekletilen katkılı beyaz beton numunelerinin 90 günlük basınç dayanımlarının çimento dozajına bağlı değişimi.....	76

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. PÇ'nu Oluşturan Oksitler ve Miktarları [5].....	5
Tablo 1.2. Çimentonun Ana Bileşenleri [5].....	6
Tablo 1.3. Çimento Ana Bileşenlerinin Hidratasyon Özellikleri [5].....	8
Tablo 1.4. Çimento Tipleri.....	10
Tablo 1.5. Beton basınç dayanımına etkileyen değişkenler.....	32
Tablo 2.1. Agregaların ve karışımın granülometrik analizi.....	47
Tablo 2.2. Agregaların Özgül ağırlık, Birim ağırlık ve Su emme değerleri.....	48
Tablo 2.3. Mermer Tozunun Kimyasal Özellikleri.....	48
Tablo 2.4. BPC 42.5 Çimentosunun Kimyasal Analizi ve Mineralojik Bileşenleri	49
Tablo 2.5. BPC 42.5 Çimentosunun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.....	49
Tablo 2.6. Kimyasal katkının teknik özellikleri.....	50
Tablo 2.7. Üretilen betonların kodlandırılması.....	52
Tablo 2.8. Üretilen betonların karışım oranları.....	52
Tablo 3.1. Taze beton deney sonuçları.....	57
Tablo 3.2. Üretilen betonların karışımına giren gerçek malzeme miktarları.....	58
Tablo 3.3 Basınç deneyi sonuçları.....	59
Tablo 4.1. Üretilen beton gruplarının su içerisinde kür edilenlere göre bağıl değerleri.....	76

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Beyaz portland çimento, beyaz beton, farklı kür koşulları, basınç dayanımı

Ülkemizde beyaz portland çimentosu genellikle estetik ve dekoratif amaçlı kullanılmakta olup, yapısal olarak beyaz beton kullanımı henüz yaygınlaşmamıştır. Bu çalışmada beyaz portland çimentosu, beyaz kalker agrega ve mermer tozu kullanılarak elde edilen beyaz betonun, taşıyıcı elemanlarda kullanımı için en önemli özelliklerinden olan basınç dayanımı üzerinde farklı kür şartlarının etkisi araştırılmıştır.

Bu amaçla beyaz çimento dozajı 250-650 kg/m³ aralığında değiştirilerek ve kimyasal katkı oranı sabit tutularak, katkılı ve katkısız olmak üzere 10 ayrı karışıma sahip, her deney grubu için 18'er adet olmak üzere toplam 180 adet 100x100x100 mm'lik küp numuneler üretildi.

Hazırlanan beton karışımlara 20±2°C su içerisinde, laboratuvar ortamında (14±3°C sıcaklık ve %68 nem) açık olarak ve naylon örtü içerisinde sarılı olarak üç farklı kür yöntemi uygulandı.

Üretilen betonlar üzerinde birim ağırlık deneyi, çökme deneyi ve basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Bulunan basınç deneyi sonuçları, grafik ortamında değerlendirilerek farklı dozajda üretilen numunelerde süper akışkanlaştırıcı katkının ve farklı kür şartlarının beton basınç dayanımları üzerindeki etkileri araştırıldı.

Buna göre, üretilen betonlarda özellikle ilk günlerde su kürü yönteminin uygulanması ve kimyasal katkı kullanımının betonun dayanım ve dayanıklılığın artmasında etkili olacağı düşünülmektedir.

ALTERATION OF COMPRESSIVE STRENGTH DEPENDENT ON CURE CONDITIONS IN WHITE CONCRETE THAT ARE PRODUCED DIFFERENT DOSAGES

SUMMARY

Keywords: White portland cement, white concrete, different cure conditions, compressive strength.

In our country white portland cement is consumed usually with esthetic and art purpose and using white concrete doesn't become established structurally. In this study compressive strength (the most important feature for bearing component) of white concrete obtained with using white portland cement, white aggregate and marble powder was investigated.

In this study, changing white concrete dosage between 250-650 kg/m³ and peg chemical admixture rate, concrete that has ten different mixture was produced with adulterated and unadulterated. It was produced for every experimental group eighteen number and totaly 180 number 100x100x100 mm cubic concrete.

It was applied three different cure method in 20±2°C water, in laboratory ambiance (14±3° C heat and %68 moisture) and in nylon to prepared concrete mixtures.

It was done unit weight experiment, breaking down experiment and compressive strength experiment on these concretes. From obtained compression experiment, effects of super plasticizer admixture and different cure conditions on concrete compressive strength were investigated in produced samples with different dosages.

According to this results, especially in the first day implementation water cure method and use of chemical admixture are thought to be effective for increasing strength and durability of concrete.

BÖLÜM 1.GİRİŞ

İnsanoğlu, varoluşundan bu yana doğa olaylarından ve tehlikelerden korunmak ve hayatını sürdürebilmek için güvenli bir barınağa gereksinim duymuştur. İlk çağlarda malzemeler doğada bulunduğu şekliyle kullanılmaktaydı daha sonraki süreçte, malzeme bilimine paralel olarak insanlardaki düşünce ve becerilerin gelişimi ile doğadaki malzemeler işlenip şekillenerek kullanılmaya başlandı.

Beton, çağımızda irili ufaklı birçok yapıda kullanılmakta olan en önemli ve popüler yapı malzemesidir. Beton, uzun yıllardan beri en önemli yapı malzemesi olma özelliğini korumuştur. Çağdaş günlük yaşamda, betonla karşılaşılmayan veya betondan yapılmış yapılardan yararlanılmayan tek bir gün dahi yoktur.

Güncelliğini kaybetmeyen beton, bütün inşaatlarda az veya çok kullanılmaktadır. Bu inşaatlar arasında; yollar, sulama kanal kaplamaları, köprüler, barajlar ve konutlar sayılabilir. Betonun kullanılma sebebi; şekil verilebilme kolaylığı, fiziksel ve kimyasal dış etkilere dayanıklılığı, ekonomik oluşu, kullanım ve üretimindeki pratikliğidir.

Betonun teknik özelliklerinin gelişmesi ile birlikte betonda, dayanım özelliği kadar estetik, ekonomiklik, permeabilite, elastiklik, enerji tokluğu gibi nitelikler de aranılır olmuştur. Bu amaçla betonun performansı iyileştirilmekte, döküm ve yerleştirme hızı yükseltilmekte, üretimi endüstrileşmekte ve daha ekonomik hale gelmektedir.

Türkiye’de ki yapı üretiminin %90’nının betonarme taşıyıcı sistemli olarak gerçekleştirildiği bilinmektedir. Bu durumda, betonarme ve beton malzemelerine ilişkin bilgilerin önemi artmaktadır. Ülkemizde yaşanmakta olan konut sorunu ve onun nedenlerinden olan nüfus artışı ve şehirleşme olgusunun devam etmesi, yapı sektörüne büyük kaynakların aktarılması gereğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla bu

sektördeki verimlilik büyük önem taşımaktadır. Yapı üretim sürecinde kaynakların etkin kullanımı ile sağlanan verimlilik anlayışının, kullanım ömrü uzun dayanıklı yapılar üreterek sürdürülmesi gerekmektedir.

Yüzyıllardır en önemli yapı malzemesi olarak kullanılan beton, beyaz çimento ile dekoratif ve estetik uygulamalar için kullanılmaya başlanmıştır. Gelişen üretim teknolojisi ile beyaz çimento günümüzde, estetik ve dekoratif özellikleri açısından olduğu kadar yük taşıma kabiliyeti açısından da üstün performans özellikleri göstermektedir. Bu özellikleri ile beyaz çimento mimari, dekoratif ve sanatsal ürün tasarımlarında, hazır sıva, harç, seramik yapıştırıcı ve derz dolgu malzemeleri imalatında, kent mobilyaları tasarımında, yer ve duvar kaplama elemanları üretiminde ve prefabrik sektöründe olduğu kadar, brüt beton ve hazır beton uygulamalarında da aranan bir yapı malzemesi durumuna gelmiştir [1].

1.1. Betonun Tanımı ve Tarihi

Beton; çimento, beton agregası, su ve uygun katkı maddelerinin hesaplar neticesinde, belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun hidrasyonu sebebiyle katılaşarak, istenilen şekli alarak sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir.

Betonun Tarihi; betonun ilk bulunuş tarihi kesin olarak bilinmemekle beraber insanın M.Ö.3000 yılından itibaren kalsiyum (Ca) esaslı bağlayıcı maddeleri yapı malzemesi olarak kullanmaktadır. Modern Portland Çimentosu ise ilk kez 1824 yılında üretilmesine rağmen ilk betonarme yapı ancak 1857 yılında yapılmıştır [2].

1.2. Betonun Oluşturan Malzemeler

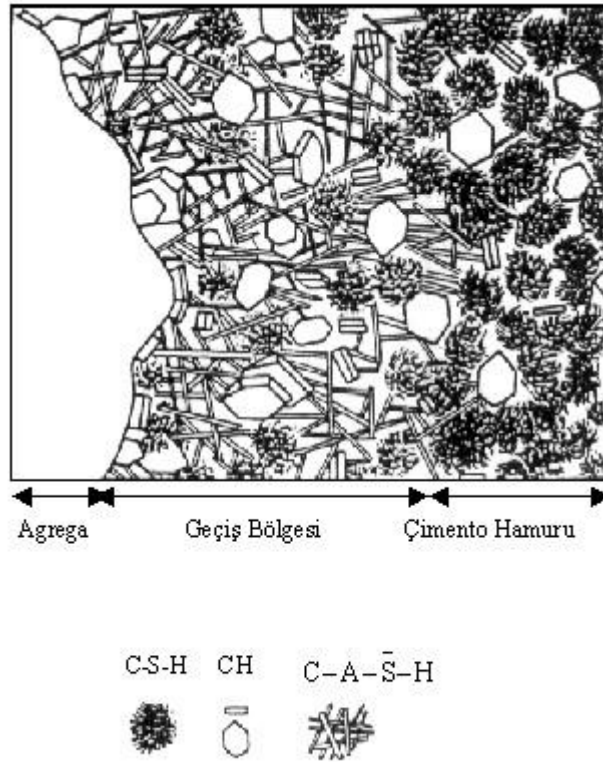
Beton; çimento, su, agrega (kum, çakıl, kırmataş) ve gerekli hallerde amaca uygun olarak kullanılan kimyasal (akışkanlaştırıcı, priz geciktirici, priz hızlandırıcı, geçirimsizlik sağlayıcı, antifiriz, hava sürükleyici...) ve mineral katkı maddelerinin (taş unu, tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı...) uygun oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilmektedir.

Betonun mutlak hacmini %70 oranında agrega (kum, çakıl, mıcır), %10 oranında çimento, % 20 oranında su oluşturur. Gerekliğinde kimyasal ve mineral katkı ilave edilebilir.

Kompozit bir malzeme olan beton üç fazdan oluşmaktadır:

- Agrega
- Çimento hamuru
- Geçiş bölgesi

Bu fazlar Şekil 1’de gösterilmiştir:



Şekil 1.1. Beton'un yapısı

Çimento ile suyun karışımından oluşan çimento hamuru zamanla katılaşarak sertleşerek agrega tanelerini bağlar ve yapıştırır. Böylece betonun mukavemet kazanmasına imkân verir. Dolayısıyla betonun mukavemeti;

- Çimento hamurunun mukavemetine,
- Agrega tanelerinin mukavemetine,

3. Agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki yapışma gücüne (aderansa) bağlıdır [3].

1.2.1. Çimentolar

Betonun en önemli hammaddesi çimentodur. Su ile ıslatıldığında hidrasyon olayı sonucu sertleşen ve bir daha yumuşamayan, hidrolik bağlayıcı özelliği gösteren maddelere çimento denilmektedir. Ancak ilk akla gelen çimento portland çimentosudur.

Portland çimentosu esas olarak, killi ve kalkerli maddelerin uygun oranlarda karıştırılması ve yaklaşık 1400-1500 °C sıcaklıkta pişirilmesi sonucu katı parçacıklar halinde elde edilen klinkerin, uygun oranda alçı taşı ile birlikte öğütülmesi ile elde edilir.

Fırından çıkan ve hava ile soğutulan koyu gri renkli çimento klinkeri bu haliyle suya karşı hassas değildir, yani su ile birleşerek sertleşmez. Klinker ince öğütülmek suretiyle bağlayıcılık özelliğini kazanır. Yalnız başına öğütülen klinker su ile ıslatılınca hemen sertleşir. Alçı taşı hızlı sertleşmeyi (priz başlama süresini) bir miktar geciktirmek için katılır.

Çimento gerek kendi başına gerekse yanısıra katılan kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelerle birlikte su ile birleştiğinde önce yumuşak, plastik bir karışım elde edilmekte ve zamanla yavaş yavaş sertleşerek katı, taş gibi bir duruma gelmektedir. Çimentonun beton içerisindeki işlevi; agrega tanelerinin yüzeyini kaplayarak ve taneler arasındaki boşlukları doldurarak bağlayıcılık görevi yapmaktadır [4].

1.2.1.1. Çimentoyu oluşturan oksitler ve ana bileşenleri

PÇ'nu oluşturan oksitler ve yaklaşık miktarları Tablo 1.1'deki gibidir.

Tablo 1.1. PÇ'nu Oluşturan Oksitler ve Miktarları [5]

Oksit	Sembol	Çimento Kimyasına Göre Sembolü	Miktarı (%)
Kireç	CaO	C	60-67
Silis	SiO ₂	S	17-25
Alümin	Al ₂ O ₃	A	3-8
Demir	Fe ₂ O ₃	F	0.5-6
Magnezi	MgO	M	0.1-4
Alkaliler	Na ₂ O+K ₂ O	N+K	0.2-1.3
Kükürt Anhidriti	SO ₃	S	1-3

Tablo 1.1'de yer alan SO₃ dışındaki bütün oksitler çimento klinkerini oluşturan oksitlerdir. Klinkerin içerisinde SO₃ bulunmamaktadır. Çimentonun içerisinde yer alan SO₃, çimento üretimi için klinkerin yanısıra kullanılan alçıdan (CaSO₄=CaO.SO₃) gelmektedir.

Klinkerde (ve PÇ'nda) yer alan oksitlerden CaO, hammadde karışımındaki kalkerden, SiO₂ ve Al₂O₃ ise, kilden elde edilmektedir. Hammaddelerin içerisinde bir miktar Fe₂O₃ bulunmaktadır. Bu dört oksit, çimentonun ana bileşenlerini oluşturan ana oksitlerdir. Çimentonun yapısında yer alan ve Tablo 1.1'de gösterilmiş olan MgO ve alkalilerin yararlı bir fonksiyonu yoktur. Bu oksitler kullanılan hammaddelerde yer alan oksitlerdir; fazla miktarlarda yer aldıkları takdirde çimento hamurunda ve betonda genişlemeye neden olarak zararlı etkileri olmaktadır.

Çimentoyu meydana getiren hammadde karışımının döner fırında pişirilmesi sonucunda ortaya çıkan ve klinkerin yapısını oluşturan ana bileşenler Tablo 1.2'de gösterilmiştir.

Tablo 1.2. Çimentonun Ana Bileşenleri [5]

Ana bileşenler	Çimento Kimyasına Göre Sembolü	Miktarı (%)
Dikalsiyum silikat, $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_2S	15-40
Trikalsiyum silikat, $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_3S	25-60
Trikalsiyum alüminat, $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	2-15
Tetrakalsiyum aluminoferrit, $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{FeO}_3$	C_4AF	5-15

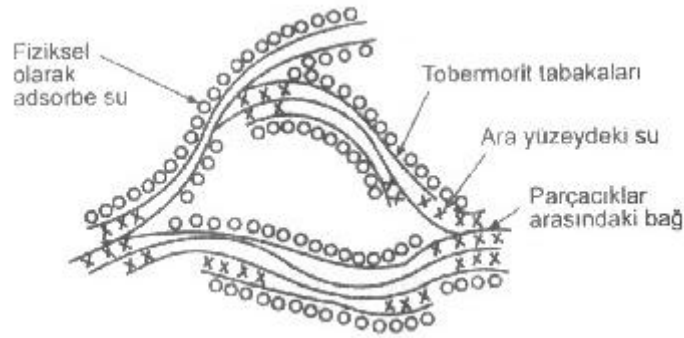
1.2.1.2. Çimentonun hidratasyonu

Çimento ve su birleştiğinde, her ana bileşen su ile ayrı ayrı reaksiyona girmekte ve hidratasyon sonunda her ana bileşen tarafından değişik hidratasyon ürünleri oluşmaktadır. Kalsiyum silikatlar (C_2S - C_3S) ve su (H) reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidrat ($\text{C}_3\text{S}2\text{H}_3$, kısaca C-S-H) denilen jel ile kalsiyum hidroksiti (CH) meydana getirmektedir. Çimento hamuruna dayanım kazandıran da bu C-S-H jelleridir.

Çimento hamurunun kazandığı dayanım C_3S ve C_2S ana bileşenlerin hidratasyonu ile ortaya çıkan C-S-H jellerinin miktarına bağlıdır. Doğal olarak, C-S-H jellerinin tümü, bir anda meydana gelmemektedir. Hidratasyon olayı devam ettikçe, C-S-H jellerinin üretimi de devam etmekte ve çimento hamurunun dayanımı artmaktadır. C_3S ana bileşenlerin hidratasyonu ilk zamanlarda C_2S ana bileşenlerin hidratasyonundan daha hızlı yer aldığı için, çimentodaki dayanım artışına C_3S 'nin ilk zamanlarda katkısı daha çoktur [5].

C-S-H'lar yapısal olarak birbirine benzer fakat C/S oranları ve kimyasal olarak bağlanan su içerikleri geniş bir yelpazede değişebilir. Ancak, özellikler daha fazla yapıdan etkilendiğinden C-S-H'ların kimyasal farklılıkları, fiziksel özelliklerine kayda değer etki etmez. Tam hidrate olmuş çimento hamurunun katı kısmı hacminin %50-60'ını C-S-H oluşturur. C-S-H'nin belirli bir formülü yoktur. C/S oranı 1.5 ile 2 arasında, yapısal suyun oranı ise daha geniş bir yelpazede değişebilir. C-S-H, zayıf

kristalli koloidal parçacıklardan oluşur. C-S-H'nin büyüklüğü moleküler mertebededir ve çimento tanesinin 1/1000'i büyüklüğündedir. Lif şekilli bu kristallerin dağılımında bir düzen yoktur. Koloidal boyutları, iç içe büyümüş ve birbirine giriftlenmiş yapısından dolayı, C-S-H kristalleri ancak elektron mikroskopla incelenebilir. Şekil 1.2'de görüldüğü gibi C-S-H yapısının bir parçası olarak koloidal tabakaya emilmiş durumda su yer almaktadır.



Şekil 1.2. C-S-H'nin muhtemel yapısı

Kalsiyum silikatların diğer bir hidratasyon ürünleri olan CH kristalleri ise, hidrate hamurun katı hacminin %20-25'ini oluşturmaktadır. C-S-H'nin tersine belirli ve sabit bir kimyasal kompozisyona sahiptir. Kristalleri iri hegzagonal-prizma şeklindedir. Mevcut hacme, ortam sıcaklığına ve sistemdeki safsızlıklara bağlı olarak morfolojisi değişir. Kristalleri büyük olduğundan yüzey alanı düşüktür. Buna göre C-S-H'a kıyasla dayanıma katkı potansiyeli sınırlıdır. Hidrate çimento yapısında çok miktarda CH bulunması asitli ve sülfatlı çözeltilere karşı direnci azaltır. Asitli ortamlarda CH'in çözünürlüğü CSH'nin çok daha üstündedir [5].

Çimentonun su ile birleşmesi neticesinde ana bileşenlerin reaksiyon hızı, açığa çıkardığı ısı ve reaksiyon sonucunda oluşturduğu ürünün, çimento hamurunun dayanımına katkısı farklıdır. Bu özellikler göreceli olarak Tablo 1.3'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 1.3. Çimento Ana Bileşenlerinin Hidratasyon Özellikleri [5]

	Ana Bileşenlerin Reaksiyon Hızı, Hidratasyon Isısı ve Çimento Hamurunun Dayanıma Katkısı			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Reaksiyon Hızı	Orta	Yavaş	Hızlı	Orta
Hidratasyon Isısı	Orta	Az	Çok Yüksek	Orta
Dayanıma Katkısı:				
İlk Günlerde	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük
Sonunda	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük

1.2.1.3. Hidrate çimento hamurundaki boşluklar

Yukarıda bahsedilen katı maddeler dışında hidrate hamurda bulunan çeşitli boşluklar, hamur özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu boşlukları üç sınıfa ayırmak mümkündür [6]:

- 1) CSH'nin katmanları arasındaki (jel) boşluklar,
- 2) Kapiler boşluklar,
- 3) Hapsolmuş hava boşlukları.

1. Katmanlar arası boşluklar; Katmanlar arası boşlukların ortalama 18 A° büyüklüğünde oldukları ve CSH'da %28 porozite oluşturdukları kabul edilmektedir. Boyutları aslında 5 ile 25 A° arasında değişebilen bu küçük boşlukların hidrate çimento hamuru dayanımına ve geçirimsizliğine olumsuz bir etkisi yoktur. Fakat hidrojen bağları ile bu boşluklarda tutulan suyun belirli koşullarda kaybının, kuruma büzülmesi ve sünmeye katkıda bulunabileceğine inanılmaktadır.

2. Kapiler Boşluklar; Hidrate olmamış çimento taneleri veya hidratasyon ürünleri ile dolmayan boşluklardır. Hidratasyon esnasında çimento+suyun orijinal hacmi değişmemektedir. 1 ml çimentonun tümü hidrate olursa, yaklaşık 2 ml hidratasyon ürünü oluşturduğu tahmin edilmektedir. Buna göre, ilk karışımda su ve çimento ile

dolu olan hacim, zamanla adım adım hidratasyon ürünleri ile doldurulur. Kapiler boşlukların büyüklüğü ve kapsadığı hacim, karışımın su/çimento oranına ve hidratasyonun gerçekleşme ölçüsüne bağlıdır.

İyi hidrate olmuş, düşük su/çimento oranındaki hamurların kapiler boşlukları 1 ile 5 A° arasında, yüksek su/çimento oranındaki hamurlarda ve erken yaşlarda 30000 ile 50000 A° arasında değişebilir. Hidrate çimento hamuru özelliklerinin değerlendirilmesinde, kapiler boşlukların boyut dağılımının, toplam poroziteden daha iyi bir kriter olduğu öne sürülmektedir. 5 A°'dan büyük kapiler boşlukların (makro boşluklar) dayanım ve geçirimsizliği olumsuz etkilediği, fakat 5 A° dan küçük olanların (mikro boşluklar) kuruma büzülmesi ve sünmeyi etkilediği kabul edilmektedir.

3. Hapsolmuş Hava Boşlukları; Düzensiz şekilde olan kapiler boşlukların tersine, hava boşlukları genelde küreseldir. Bu boşlukların çapı 1-3 mm arasında değişebilir. Çeşitli nedenlerle kullanılan hava sürükleyici katkıları, karışım esnasında taze çimento hamuruna hava sürükler. Sürüklenmiş hava boşlukları genelde 50 ile 200 µm (yer yer 1 mm'ye kadar) büyüklüğündedir. Dolayısıyla hidrate çimento hamurundaki hapsolmuş veya sürüklenmiş hava boşlukları, kapiler boşluklardan çok daha büyüktür. Hapsolmuş hava boşlukları dayanımı ve geçirimsizliği olumsuz etkiler.

130 yıldan beri üretilmekte olan portland çimentosunun günümüze kadar üretim teknolojisinde büyük değişimler olmuş, buna karşın bileşimi hemen hemen aynı kalmıştır. Son 50 yılda doğal ve yapay birçok puzolonik madde değişik oranlarda klinkere katılarak, portland çimentosuna göre farklı özellikler taşıyan çimentolar üretilmiştir.

TS EN 197-1 no.lu standarda göre, Türkiye'de 27 tip çimento üretilmektedir. TS EN 197-1 no.lu standardın kapsamındaki 27 farklı çimento tipi aşağıda belirtilen beş ana grup altında yer almaktadır [5].

Tablo 1.4. Çimento Tipleri

CEM I	Portland çimentoları
CEM II	Portland –kompoze çimentolar
CEM III	Yüksek fırın cüruf çimentoları
CEM IV	Puzolanlı çimentolar
CEM V	Kompoze çimentolar

1.2.2. Beyaz portland çimentosu ile siyah portland çimentosu arasındaki farklar

Beyaz portland çimentosu özel nitelikli kil ile kireçtaşının birlikte pişirilmesiyle elde edilen beyaza yakın renkli klinkerin bir miktar alçı taşı ile birlikte öğütülmesiyle elde edilen beyaz renkli bir hidrolik bağlayıcıdır.

Bu tip klinkerin üretiminde kirliliğin önüne geçmek amacıyla oldukça temiz hammaddeler (demir ve mangan oranı düşük) seçilmektedir. Ancak hidrate, çimento kristalleri de oluşturmak gereklidir. Bu nedenle hem portland çimentosu kompozisyonu yakalanmalı hemde beyazlık şartı sağlanmalıdır. Bu özellikleri bünyesinde bulunduran hammaddelere doğada oldukça az rastlanır.

Beyaz portland çimentosunun üretiminde kullanılan hammaddelerin özel nitelikli olması ve portland çimentosundakiler kadar kolay bulunmaması, ayrıca, beyaz çimento üretimi için kullanılan pişirme derecesinin biraz daha yüksek olması, beyaz portland çimentosunun daha pahalı olmasına yol açmaktadır.

Normal olarak üretilen portland çimentosu klinkeri killi ve kalkerli hammaddelerin pişirilmesiyle elde edilmektedir. Küçük bir miktar alçı taşı ile birlikte öğütülen çimento gri renktedir. Portland çimentosundaki gri renk, klinker üretiminde kullanılan hammaddelerde küçük miktarlarda yer alan demir oksit ve mangan oksitten kaynaklanmaktadır.

Portland çimentosu ve beyaz portland çimentosu, teknik özellikleri bakımından birbirine çok benzeyen çimento türleridir. Bu nedenle beyaz portland çimentosu

normal portland çimentosunun kullanıldığı bütün işlerde kullanılır. Ancak beyaz portland çimentosunun ile normal portland çimentosunun teknik özellikleri birbirine benzer olsa da, beyaz portland çimentosu daha pahalı olduğu için, sıradan beton işlerinde kullanılmamaktadır [5].

Aşağıda, beyaz çimentoyu normal portland çimentosundan ayıran temel özellikler sıralanmaktadır;

1. Beyaz portland çimentoyu normal portland çimentolardan ayıran en temel özellik beyazlığıdır. Yüksek beyazlık derecesinde ve değişmeyen beyazlıkta üretilir,
2. Hammaddesi çok saftır,
3. İleri teknoloji ile üretilir,
4. Her iki çimento tipinin üretim akım şemaları hemen hemen aynıdır. Başlıca teknolojik fark, beyaz portland çimento üretim sürecinde soğutma ve beyazlaştırma işleminin birleştirilmesidir. Bu şekilde çimentonun beyazlığı elde edilir ve renkte homojenlik sağlanır.
5. İnce öğütülür,
6. Dayanım kazanma hızı yüksektir,
7. Gerek erken dayanımları, gerekse nihai dayanımları yüksektir,
8. Estetik ve dekoratif özelliklere sahiptir,
9. Yüzey düzgünlüğü ve görünüş güzelliği sağlar,
10. Değişik renkteki pigmentlerle karıştırıldığında, canlı ve parlak renkler elde edilir.

1.2.3. Agregalar

1.2.3.1. Agregaların tanımı ve özellikleri

Beton agregası, beton veya harç yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı malzeme ile birlikte bir araya getirilen, organik olmayan, doğal veya yapay malzemenin genellikle 100 mm' yi aşmayan hatta yapı betonlarında çoğu zaman 63 mm'yi geçmeyen büyüklüklerdeki kırılmamış veya kırılmış tanelerin oluşturduğu bir yığındır.

Beton yapımında kullanılan çeşitli agregalardan bazı örnekler şunlardır: kum, çakıl, kırmataş, yüksek fırın cürufu, pişmiş kil, bims, genişletilmiş perlit ve uçucu külden

elde edilen uçucu kül agregası. Agregalar betonun hacminin yaklaşık olarak %70-75 ini oluşturur [7].

Betonda agrega kullanılmasının sağladığı teknik özelliklerin başında, sertleşen betonun “hacim değişikliğini” önlemesi veya azaltması sertleşmiş betonun “aşınmaya karşı dayanımını” arttırması, çevre etkilerine karşı “dayanıklılığını” arttırması ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonun taşımakta olduğu yüklere karşı “dayanım” sağlayabilmesi gelir.

Betonda kullanılan agreganın dayanıklılığı, gözenekliliği, su geçirgenliği, mineral yapısı, tane şekli, gradasyonu, tanelerin yüzey pürüzlülüğü, en büyük tane boyutu, elastiklik modülü, termik genleşme katsayısı, agregada kil olup olmadığı ve agreganın temizliği gibi birçok özellik beton dayanıklılık türlerinin bir veya daha fazlasını etkilemektedir [5].

1.2.4. Karışım suyu

Beton karışım suyu, betonda işlenebilirliği ve çimento hidratasyonunu sağlamak için kullanılan çok hassas ve önemli bir hammaddedir. Hassas ve önemli olmasının nedeni, su miktarının, taze ve sertleşmiş betonun tüm özelliklerini etkileyebilmesidir.

Beton karışım suyu, mümkün olabildiği kadar temiz, içinde zararlı etki gösterebilecek kadar klorür, sülfat, asit, şeker, organik madde, endüstriyel atık, yağ, kil ve silt gibi maddeler olmamalıdır.

Çimento, hidratasyon için ağırlığının % 25’i kadar su miktarına ihtiyaç duyar. Bu miktarın üzerinde kullanılan su miktarı sadece işlenebilirliği arttırma amacına yöneliktir. Bu zamanla betonun bünyesini terk ederek yerini boşluklara bırakmaktadır. Karışım suyu miktarı ne kadar fazla olursa boşluklar da o kadar fazla olur ve bu durum sadece dayanımı olumsuz yönde etkilemekle kalmaz, betonun durabilitesini de olumsuz yönde etkiler.

- %10 eksik su, basınç dayanımını %10

- %20 fazla olması ise %30 azalmaya neden olur.

Beton karışım dizaynı hesabında, hedeflenen ve üretimde gerçekleştirilen kıvamı daha da arttırmak için, betona fazladan su ilave etmek ise hem dayanımı hem de dayanıklılığı (durabiliteyi) yok eder [8].

Betonda kullanılacak sularda aranacak özellikler konusunu maddeler halinde özetleyecek olursak, şu sonuçlara ulaşabiliriz [9];

1. Magnezyum sülfat miktarı fazla olan sular karışımda kullanıldığı zaman çimentonun serbest kireciyle reaksiyona girerek alçı taşı oluşturduğu için zararlıdır.
2. % 1'den fazla sülfat ihtiva eden (SO_3) sular kullanılmamalıdır.
3. $CaCO_3$ ve MgO_3 magnezyum oksit suda çözülmedikleri zaman beton mukavemetini etkilemez.
4. $MgCO_3$ miktarı 4/10000 değerinden fazla olduğu zaman beton mukavemetini etkiler.
5. $CaCl_2$ çimento ağırlığına oranla %2'ye kadar prizi hızlandırmak ve mukavemet kazandırmak amacıyla kullanılabilir.
6. %3'den fazla sodyum klorür NaCl ihtiva eden sular beton mukavemetine önemli tesir ettiği için zararlıdır.
7. Endüstriyel artık suları beton karışım suyu olarak kullanılamaz, bunların dışında; deniz suyunun da gerektiği zaman karışım suyu olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Deniz suyu zorunlu durumlarda beton karışım suyu olarak kullanılabilir. Deniz suyuyla üretilen harcın ilerde nem tutması olasılığı vardır. Yapı sürekli rutubetli kalabilir ve çiçeklenmelere rastlanabilir.
8. Karışım suyunda çözülmüş halde en çok 15 gr/lt tuz ve 3 gr/lt SO_3 bulunabilir. pH değeri ise 7'den küçük olmalıdır.

1.2.5. Katkı maddeleri

Beton katkı maddeleri; su, agrega ve çimento dışında betonlara çok düşük miktarda katılan organik ve inorganik kimyasal maddelerdir. Çimentonun sahip olduğu özellikleri, iyi yönde ve belirli bir ölçüde değiştirmek amacı ile beton üretilirken veya üretildikten sonra katılarak taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini geliştirirler [10].

Bu gün beton sektöründe birçok değişik katkı maddesi kullanılmaktadır. Bunlar sektörün hizmetini büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır. Bundan dolayı beton katkıları, beton bileşenleri içerisinde önemli bir yer tutmaktadır.

Katkı maddelerini kökenine göre kimyasal ve mineral katkılar olarak ikiye ayırmak mümkündür:

1.2.5.1. Kimyasal katkılar

Kimyasal katkı maddeleri, “betonun taze ve/veya sertleşmiş haldeki özelliklerini istenilen yönde değiştirmek için, malzemelerin karılma işlemi esnasında, beton karışımının içerisine çimento ağırlığının %5’ini geçmemek üzere eklenen maddelerdir [11].

TS EN 206’da kimyasal katkılar “Taze veya sertleşmiş betonun bazı özelliklerini değiştirmek üzere, karıştırma işlemi esnasında betona, çimento kütlesine oranla az miktarlarda ilâve edilen malzeme” olarak tanımlanmaktadır. Fakat inert veya puzolonik mineral katkıları içermemektedir (silis dumanı gibi). Fakat bu maddeler kimyasal katkının içinde bulunabilir.

Kimyasal katkılar betonun akışkanlığının artırılması, erken ve yüksek dayanıma ulaşılması, geçirimsizliği ve dona dayanımının sağlanması yanında priz sürelerini değiştirmek gibi amaçlarla kullanılmaktadırlar.

1.2.5.2. Kimyasal katkıların yararları

Taze Beton Özelliklerinin İyileştirilmesi;

1. Priz sürelerini uzatarak sıcak havada beton dökülebilmesi,
2. Priz sürelerini kısaltarak soğuk havada beton dökülebilmesi,
3. Kohezyonun arttırılması, segregasyonun önlenmesi, tamir masrafının azaltılması,
4. Geçirimsiz beton elde edilmesi,
5. Betonun işlenebilirliğinin arttırılarak işçiliğin azaltılması,
6. Betonun uzak mesafelere minimum çökme (slump) kaybı ile ulaştırılması.

Sertleşmiş Beton Özelliklerinin İyileştirilmesi;

1. Dayanımın artırılması, çok yüksek dayanım imkânı sağlanabilmesi,
2. Fiziksel ve kimyasal dayanıklılığın artırılması,
3. Rötrenin azaltılması,
4. Donatının korozyondan korunması,

Ekonomi;

1. Çimentonun azaltılması ve silo kapasitesinin artırılması,
2. Kum yüzdesinin azaltılması,
3. Suyun azaltılması,
4. İri agreganın değerlendirilmesi,
5. Daha az soğuk su-buz kullanılması,
6. Dayanım artışı nedeniyle kesitlerin küçültülmesi [12].

Kimyasal katkılar, ürün tiplerinin ve deney metotlarının tanımlandığı TS EN 934-2 no.lu standardına göre aşağıda listelenen 11 ana grupta toplanmıştır.

Kimyasal katkı tipleri:

- 1) Su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkı
- 2) Yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcılar katkıları
- 3) Su tutucu katkı
- 4) Hava sürükleyici katkı
- 5) Sertleşmeyi hızlandırıcı katkı
- 6) Priz geciktirici katkı
- 7) Priz hızlandırıcı katkı
- 8) Su geçirimsizlik katkısı
- 9) Su azaltıcı ve priz geciktirici katkıları

10) Su azaltıcı ve priz hızlandırıcı katkıları

11) Yüksek oranda su azaltıcı ve priz geciktirici katkıları.

1.2.5.3. Su azaltıcı (Akışkanlaştırıcı) katkıları

Akışkanlaştırıcılar, uygulamada su/çimento oranını azaltarak daha yüksek dayanım kazanabilmek, kütle betonlarında hidrasyon ısısını düşürmek için çimento miktarının azaltılması veya aynı işlenebilmeyi sağlayabilmek ve kolay yerleşmeyi sağlamak amacıyla kullanılmaktadırlar.

Akışkanlaştırıcı kimyasallar, beton üretiminde genellikle, sabit işlenebilirlikte su kesme amacıyla kullanılmaktadır. Bazı durumlarda ise örneğin yüksek işlenebilirliğe sahip kendiliğinden yerleşen beton uygulamaları gibi sadece işlenebilirliği artırmak amacıyla da kullanılabilirler.

Akışkanlaştırıcılar su kesme yeteneklerine göre normal (%10-15 arası su kesebilenler), süper (%15-30 arası su kesebilenler) ve hiper (%30'un üstünde su kesme özelliği olanlar) olarak sınıflandırılabilir [13].

Su azaltıcı katkı maddeleri, içerdikleri aktif maddelerin genel kompozisyonuna göre, üç grup altında gösterilebilmektedirler;

- 1- Linyosülfonatlı tuzlar ve linyosülfonat türevleri,
- 2- Hidroksil-karboksilik asitler ve türevleri,
- 3- Polimerik malzemeler [2].

Çimento partikülleri birbiriyle birleşmek suretiyle küçük topraklar oluşturmaya meyillidirler. Akışkanlaştırıcılar su içerisinde eriyen boşluklu kimyasal dizilişleri ile suyun yüzey gerilimini düşüren organik maddelerdir ve beton içerisine hava sürükleyerek çimento topaklaşmasını önlemektedirler.

Akışkanlaştırıcılar negatif elektriksel yüke sahip olup, su yüzeyinde hareket etme eğilimindedirler. Su ve çimento reaksiyona girdiğinde çimento taneleri su moleküllerini çevreleyerek flokül bir yapı oluştururlar. Suyun bu şekilde kapanması, istenen akışkanlığa ulaşabilmek için daha fazla su ilavesini gerektirir. Akışkanlaştırıcı madde ilave edildiğinde çimento tanecikleri tarafından adsorbe edilerek negatif yüklü katkı partikülleriyle birleşirler ve aynı yüklü olduklarından birbirlerini iterler. Sonuçta kapanmış olan su açığa çıkar. Katkının defloküller etkisi sonunda çimento flokülleşmesi önlenmekte ve açığa su çıkmaktadır. Bu maddelerin topaklaşmayı önlemeleri ve aynı zamanda tanelerin birbiri üzerinde kaymalarını kolaylaştırarak yağlayıcı etki göstermeleri betonun iç sürtünmesini azaltmakta ve işlenebilirliği artırmaktadır [14].

Su azaltıcı katkı maddelerinin kullanılmasında üç değişik amaç bulunmaktadır:

- 1- Beton karışımındaki su/çimento oranını azaltarak daha yüksek dayanımlı beton elde etmek,
- 2- Beton karışımında kullanılan malzeme miktarlarını ve oranlarını değiştirmeden, taze betonun işlenebilmesini artırmak,,
- 3- Beton karışımında kullanılacak su/çimento oranını sabit tutarak, su ve çimento miktarlarını azaltıp, teknik ve ekonomik yararlar sağlamak [2].

Akışkanlaştırıcılar, genellikle taşıma betonlarında, kütle betonlarında, pompa betonlarında, hazır betonda, düzgün yüzey istenen her yerde, çelik donatının yoğun olduğu yerlerde, vb. kullanılır.

Taze Betona Etkileri: Aynı işlenebilmeyi sağlamak koşulu ile karışım suyu miktarında %5- %12 arası azalma sağlar. Karışım suyunu azaltmadan kullanılırsa işlenebilirliği önemli ölçüde artırır; ayrıca ayrışmayı azaltarak pompalanabilirliği artırır [15].

Sertleşmiş Betona Etkileri: Mukavemet, su/çimento oranının fonksiyonu olduğuna göre katkı kullanıldığında karışım suyunun azalması su/çimento oranını düşüreceğinden daha yüksek, erken ve nihai mukavemetler elde edilebilmesinin

yanında, daha az boşluklu, daha iyi yüzey görünümlü ve daha az geçirimli beton elde edilebilmektedir [14].

1.2.5.4. Yüksek oranda su azaltıcı (Süperakışkanlaştırıcı) katkıları

Yüksek performanslı beton üretiminde iki ana hedef, su/bağlayıcı oranını olabildiğince azaltmak ve betonu ayrışma ve boşluk olmadan kolayca yerine yerleştirmektir. Bu iki istek klasik beton teknolojisinde en önemli çelişkidir. Ancak süperakışkanlaştırıcıların bulunması ile bu çelişki ortadan kalkmıştır [16].

Süperakışkanlaştırıcıları diğer katkılardan ayıran en önemli özelliği çok fonksiyonlu iyileştirme sağlamasıdır. Sabit bir işlenebilirlik değerinde, süperakışkanlaştırıcının su azaltıcı olarak kullanılması durumunda, su/çimento oranının azalmasıyla kapiler boşluk ve geçirimsizlik azalır. Böylece dayanım ve dayanıklılıkta artış sağlanır [17]. Süperakışkanlaştırıcı katkı kullanarak, karışım su/çimento oranı sabit kalacak şekilde su ve çimento içeriği azaltılabilir. Böylece, karışımın dayanım ve işlenebilirlik özelliklerinde çimentonun azalmasıyla hidrasyon ısı azalır. Katkının bu amaçla kullanımı, özellikle sıcak iklimlerde ve kütle beton uygulamalarında kolaylık sağlayabilir. Bu gibi uygulamada, karışımda azalan hamur hacminin yerini agrega alması sonucunda agrega/çimento oranı artar ve karışımın büzülmesi azalır. Kontrol karışımına, karışım oranlarına dokunmadan süperakışkanlaştırıcı eklenmesi durumunda ise dayanım ve durabilite özelliklerinde değişim olmadan, işlenebilirlikte artış gözlenir [10].

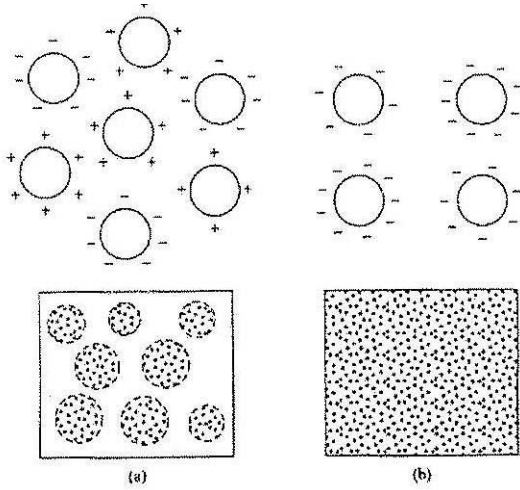
Süperakışkanlaştırıcı katkıları, kimyasal kökenlerine bağlı olarak dört ana sınıfa ayrılırlar [18].

- 1- Polinaftalin sülfonatlar (sülfone naftalin formaldehit kondensesi-SNF)
- 2- Polimelamin sülfonatlar (sülfone melamin formaldehit kondensesi-SMF)
- 3- Modifiye lignosülfonatlar (MLS)
- 4- Poliakrilit ve polikarboksilatlar (PK)

1.2.5.4.1 Süperakışkanlaştırıcıların etki mekanizması

Süperakışkanlaştırıcı içeren çimentolu sistemde, çimento tanelerinin dağılma özelliği genel olarak “elektrostatik” ve “stearik” etki mekanizmasıyla açıklanır. Aşağıda bu iki etki mekanizması kısaca açıklanmıştır.

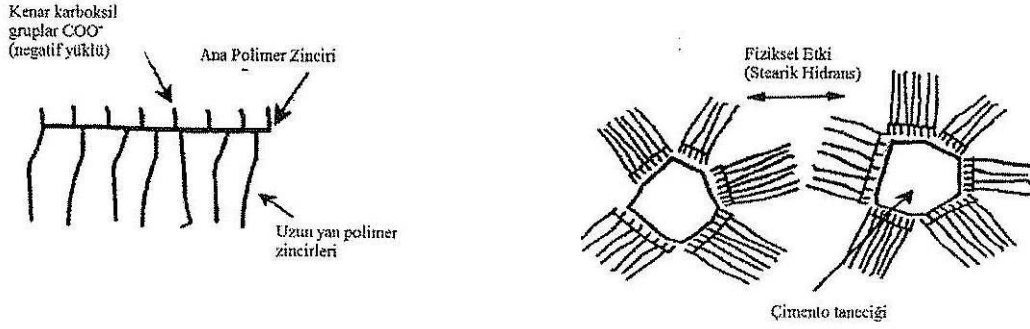
- Elektrostatik Etki: Süperakışkanlaştırıcı, çimento tanelerinin topaklaşmasını önler. Bu etkiyle çimento hamurunun akışkanlığı artar. Çimento tanelerinin topaklaşmasına neden olan çekim kuvvetleri, negatif yüklü SNF ve SMF gibi polimerlerin çimento tanesi üzerinde tutunması sonucu, nötr veya negatif yüklü hale gelmekte ve böylece dağıtma etkisi gerçekleşmektedir [17,19]. Katkının etkisiyle katı-sıvı ara yüzeyinde oluşan kuvvetler, karışımın kararlılığını etkiler. Askıdaki çimento tanesi benzer elektriksel yük taşır ve bunların arasında bir itme kuvveti oluşur. Bu elektriksel yükler yeterince fazla ise taneler birbirinden ayrı kalır ve topaklaşma oluşmaz. Şekil 1.3’de su azaltıcı katkının çimento tanelerinin dağıtılmasında olan etkisi gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Su azaltıcı katkıların dağıtma etkisi a) Topaklaşmış hamur b) Katkılı hamur

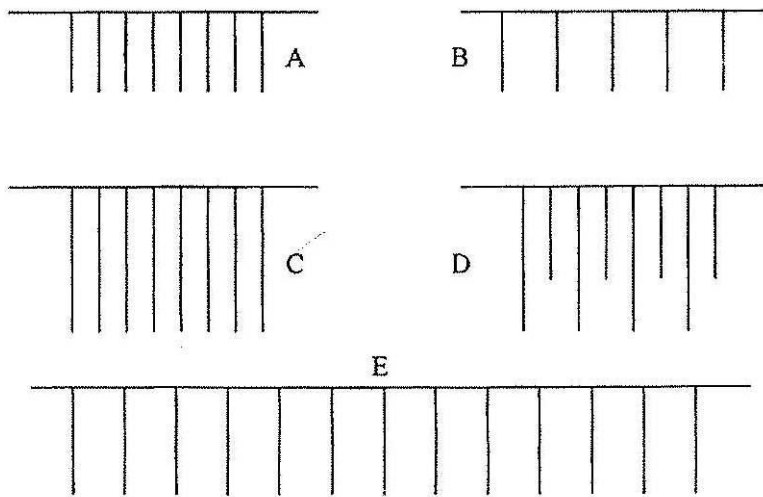
- Stearik etki: Polikarboksilat esaslı katkıların dağıtma etkisi elektrostatik itkiden çok, stearik (fiziksel-geometrisel) engelleme etkisi ile açıklanmaktadır. Şekil 1.4’de

görüldüğü gibi, polimer molekülündeki yan zincirler çimento taneleri arasında fiziksel bir etki oluşturmakta ve topaklaşmayı önlemektedir.



Şekil 1.4. Katkıların stearik etkisi

Stearik itki, elektrostatik itkinin tersine, çimento kompozisyonundan kaynaklanan, boşluk çözeltisindeki iyon tipi ve yoğunluğundan çok daha az etkilenmektedir. Stearik itkide önemli rol oynayan parametreler ana zincir uzunluğu, yan zincirlerin uzunluğu ve yan zincirler arası mesafe olarak verilmektedir [10].



Şekil 1.5. Polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcılara ait tipik moleküler yapı çeşitleri.

Yan zincir arasındaki mesafe farklılığı (A-B) yan zincir uzunluğu farklılığı (C-D) ana zincir uzunluğu farklılığı (A,B,C,D-E))

1.2.5.5. Mineral katkılar

Mineral katkı maddeleri, beton yapımında kullanılan çimentonun, suyun, agreganın ve fiber donatının dışında, beton karışımının içerisine karılma işleminden hemen önce ve karılma işlemi esnasında katılan ince taneli mineral katı parçacıklarıdır [20]. Volkanik kül, volkanik tuf, diatomlu toprak, pişirilmiş kil, uçucu kül, granüle yüksek fırın cürufu, silis dumanı, pirinç kabuğu külü ve taşunu, beton yapımında kullanılan başlıca mineral katkılarıdır [21].

Mineral katkıları tek başına iken çimento gibi bağlayıcılık özelliği taşımazlar, fakat birlikte kullanıldıklarında çimentoya benzer görev yaparlar, dolayısıyla çimento ekonomisi sağlarlar. Mineral katılardan yüksek dayanımlı beton üretiminde de yararlanır. Gerek betonun birçok teknik özelliğini olumlu yönde değiştirmeleri, gerekse portland çimentosundan daha ekonomik olmaları ve beton karışımının içerisinde çimento ağırlığının %50'sine varan miktarlarda kullanılmaları nedeniyle, mineral katkı maddelerinin beton endüstrisinde çok önemli yeri bulunmaktadır.

1.3. Betonun Bakımı ve Kürü

Betonun özellikle ilk günlerinde, yeterince hidrasyon yapabilmesini sağlamak amacıyla betonun içerisinde yeterli miktarda suyun ve sıcaklığın bulundurulması ve bu ortamın korunması işlemi “betonun kürü” veya “betonun bakımı” olarak tanımlanmaktadır. Betonun kürü için gerekli şartlar hidrasyon için yeterli suyun bulunması yani beton içerisindeki suyun buharlaşarak azalmaması ve beton sıcaklığının (10°C) düşük olmamasıdır [5].

Kalıbına yerleştirilmiş olan taze betonun bakım ve korunması (kür yapılması) uygun bir metotla gerçekleştirilebilmelidir. Beton küründeki amaçlar şunlardır;

- 1- Betondaki çimento ve suyun reaksiyonunu en üst düzeyde gerçekleştirilebilmesi için gerekli rutubetli ortamın kür süresince sağlanması,
- 2- Bu reaksiyonun istenilen hızda gerçekleştirilebilmesi için betonu uygun bir sıcaklıkta korumak.

Betonun amaçlanan dayanım ve dayanıklılığın elde edilebilmesi, yukarıda verilen maddelerin hangi ölçüde gerçekleştirilebildiğine bağlıdır.

Beton dayanımları ve betonarme hesaplar betonun 28 günlük silindir numunenin dayanımına göre yapılır. Bilindiği gibi, beton yedi günde öngörülen 28 günlük dayanımın %70'ine ulaşmaktadır. Bu durumda betonun 28 günlük dayanımı, özellikle ilk yaşlarda ki bulunduğu ortamın nem oranı ve sıcaklığın etkisi altında değişmektedir. Bu süre içerisinde ortamın sıcaklık ve neminin kontrol altında tutulmasına 'taze betonun kıvamı' veya 'kür' denilmektedir [22].

1.3.1. Taze betonun bakım ve korunması

Kalıbına yerleştirilmiş taze betonun aşırı soğuk ve sıcaktan korunmalı ve kür süresince devamlı olarak rutubetli tutulmalıdır. Dolayısı ile beton kürü şu iki madde ile özetlenebilir;

1. Uygun Beton Isısı: Beton içerisinde bulunan su ve çimento arasındaki reaksiyonun hızı, betonun sıcaklığı ile orantılıdır. Hidratasyon ne ölçüde gerçekleşmiş ise, beton mukavemeti de o ölçüde kazanılmış olur. Beton sıcaklığı 5°C'nin altına düştüğünde mukavemet kazanımı yavaşlar ve 0°C'de ise çok az mukavemet kazanılır [23].

2. Yeterli Rutubet: Çimento ile su arasındaki reaksiyon ilk karışım anında başlar. Bu reaksiyon beton içerisindeki su buhar basıncının %80'nin altına düşmesi ile durur [24].

Beton içerisindeki su miktarı iki şekilde azalır;

1-Buharlaşma; Beton içerisindeki suyun buharlaşmasını etkileyen faktörler şunlardır; betonun sıcaklığı, havanın sıcaklığı, havanın rutubeti ve rüzgârın hızı.

2-Hidratasyon nedeniyle kendiliğinden kuruma; Beton içerisindeki suyun bir kısmı hidratasyon esnasında kullanılır. Geriye kalan azalmış su miktarı, betonu doygun hale getirmeye yetmeyebilir. Bu olay betonun kendi kendine kurumasına neden olur. Kendiliğinden kuruma, su/çimento oranının 0.5'ten az olduğu durumlarda ve sulama ile yapılmayan kür metotları uygulamasında özellikle önem kazanmaktadır. Bu hallerde beton içerisindeki kılcal aralıklardaki su buhar basıncı %80'nin altına düşer ve kür tam olarak tamamlanamamış olur [25]. Böyle durumlarda beton kür süresince devamlı olarak suya doygun durumda bulundurulmalıdır.

Betonun ilk günlerdeki dayanım kazanma hızı çok önemlidir. İstenilen süre içerisinde yeterli ölçüde hidratasyon yapmamış ve buna bağlı olarak yeterli dayanım kazanmamış durumdaki betonların kalıpları söküldüğü zaman, beton üzerindeki yükleri taşıyamamakta, çatlama hatta çökme olmaktadır. O nedenle, yerine yerleştirilmiş taze betonun içerisinde, özellikle ilk günlerdeki hidratasyonun normal hızla seyredebilmesi için, yeterli miktardaki suyun ve sıcaklığın bulundurulması, betonun korunması gerekmektedir. Bir başka deyişle, özellikle ilk günlerde, betonun yeterince kür edilmesi gerekmektedir [5].

Beton zamanla dayanım kazanan bir yapı malzemesidir. Bileşiminde bulunan suyun bir kısmı belirli bir zaman süreci içinde hidratasyon için kullanılır. Bu suyun zamanından önce kaybolması beton dayanımının zayıflamasına neden olur. Bu sebeple taze betonun bakımı, karışımın hazırlanması ve yerleştirilmesi kadar önemlidir.

Beton yerleştirilip sıkıştırıldıktan sonra fiziksel, kimyasal ve mekanik etkilerden korunmalı ve hava şartlarına göre katılaşmasını hızlandıracak veya yavaşlatacak önlemler alınmalıdır. Bunun için beton, sıcaklık değişimleri, kuruma, don, sel,

kimyasal oluşumlar ve beton yapısını bozabilecek titreşim ve sarsıntılardan korunmalıdır. Özellikle taze beton belirli bir süre yaş tutulmalı ve kurumaya karşı korunmalıdır [26].

Betonun normal prizini yapabilmesi için gerekli ortam sıcaklığı 15 ile 5°C'dir. Yüksek sıcaklık betonun prizini hızlandırır. Bu durumda gerekli nem sağlanmazsa betonda büzülme çatlakları oluşur. Beton yüzeyini etkileyen kuru rüzgar büzülme çatlaklarının oluşmasını hızlandırır. Bu durumda taze betonun yüzeyi örtülerek bu tür etkilerden korunmalı, kür yapılırken beton yüzeyleri ıslatılmalı ve buharlaşmayı önlemek için örtülmelidir.

Araştırmalar sonucuna göre, betonun değişik kür şartları altında mukavemetteki azalmalar önlenebilir [27].

1.3.2. Betona uygulanan farklı kür yöntemleri

1. Betonun ıslak durumda kalabilmesini sağlayabilmek için betona uygulanan (ıslak kür) yöntemleri ve,
2. Betondaki karma suyunun kaybını önlemek amacıyla uygulanan yöntemler gibi, iki temel prensip üzerine kurulu olan kür işlemleri farklı şekillerde uygulanabilir.

1. Islak Kür Yöntemleri: Bu yöntemler, betondaki karma suyunun kaybını önlemek için kullanılan yöntemlere göre daha iyi sonuç vermektedir. Fakat bu yöntemlerde, beton kür süresi boyunca devamlı olarak rutubetli bir ortamda bulundurulmalıdır. Özellikle ilk 2 veya 3 gün zarfında betonun sürekli olarak ıslanma ve kuruması zararlıdır, beton yüzeyinde çatlaklara sebep olur. Bu durum betonun dayanıklılığını azaltır [28, 29]. Kür için kullanılacak su, betonun görünüşü önemli ise, leke bırakabilecek maddelerden arı olmalı ve suyun sıcaklığı beton sıcaklığından en çok 11 °C daha düşük olmalıdır [30].

Beton, prizini aldıktan sonra, su ile temas halinde bırakılarak ıslak kür uygulanabilir. Islak kür uygulaması, erken kuruma rötresini en aza indirerek beton mukavemetinin

gelişmesini sağlar. Beton nemli tutulduğu süre içerisinde çatlakların doğal olarak kapanmasına, dolmasına veya bu çatlakların herhangi bir şekilde kaybolmasına, kendi kendine iyileşmesini sağlar [2].

Bu kür yöntemleri şunlardır;

a) Su Kürü: Betona uygulanan kür yöntemleri arasında, betonun tamamen su içerisinde kür edilmesi en iyi sonucu veren yöntemdir. Bu yöntem, beton numunelerini ve bazı öndöküm beton elemanlarını suyla dolu bir havuz içerisine yerleştirmek suretiyle gerçekleştirilebilmektedir. Ancak, yapıdaki betonun tamamen su içerisinde bulundurulabilmesi elbette ki mümkün değildir.

Yüzeyi yatay olan yol, köprü, düz çatı veya döşeme betonlarının üst yüzeylerinin tamamen su altında bırakılabilmeleri için, beton yüzeyinde geçici olarak sığ bir havuz oluşturulmaktadır. Bu yöntem, zaman alıcı ve fazla işgücü gerektiren bir uygulamadır. Bu nedenle, bu uygulamanın pratikliği ve ekonomikliği tartışılabilir durumdadır [5].

b) Su Püskürtme: Bu yöntem her türlü beton yüzeyleri için geçerlidir. Beton yüzeyine sürekli veya belirli zaman aralıklarıyla su püskürtülerek sulama işlemi gerçekleştirilir. Ancak betonun yıkanmaması ve su basıncı nedeniyle zarar görmemesi sağlanmalıdır. Kullanılan kür suyu ile beton sıcaklığı arasındaki farkın ısı şoka veya betonda büyük sıcaklık farklarına neden olmaması için 11°C'nin altında kalması sağlanmalıdır.

Aslında, betona kesintili su kürü uygulandığında yüzeyin ıslanma-kuruma çevrimlerine maruz kalması nedeni ile başka problemlere yol açacağı unutulmamalıdır. Ancak su/çimento oranı çok düşük karışımlarda ($s/ç \ll 0,4$) iç kurumanın (self-desiccation) önlenmesi için ıslak küre ihtiyaç duyulacağı unutulmamalıdır [31].

Hava sıcaklığının 15°C'nin üzerinde olduğu günlerde, beton yüzeyleri gündüzleri yaklaşık olarak her 3 saatte bir ve geceleri de en az bir defa olmak üzere sulanmalıdır [32].

c) Islak Malzemeler ile Kaplama: Islak telis çuvalı yanında su emici özelliği olan örtüler, ıslak kum, saman ya da ahşap talaş ile kaplama gibi metotlar uygulanabilir [33]. Bu yöntemler etkin bir kür sağlamakla birlikte işçilik, maliyet ve zaman gibi nedenlerden ötürü çoğu zaman tercih edilmezler [34]. Kullanılan malzemenin homojen yayıldığından, sürekli nemli tutulduğundan ve beton yüzeyine yapışmadığından emin olunmalıdır.

2. Karma Suyunun Kaybını Önleyen Yöntemler:

a) Plastik Örtülerle Hava ile Temasını Kesme: Betonun mevcut suyunun kaybının engellenmesi polietilen ve polivinil esaslı plastik kür örtüleri ile sağlanabilir [33]. Plastik örtüler, beton yerleştirildikten hemen sonra (beton yüzeyi ıslak iken) mümkün olan en kısa zamanda serilmektedir. Kullanılacak olan plastik örtülerin kalınlığı en az 0.1 mm ve deliksiz olmalıdır. Kış aylarında siyah ve renksiz, yaz aylarında ise beyaz renkli örtüler tercih edilmelidir. Plastik örtülerin altında oluşabilen su buharı betonun renginde değişiklikler meydana getirebileceği için, görünüşü önemli olan betonların küründe plastik örtü kullanımından kaçınılmalıdır.

Fakat bu yöntemde, beton içine su girişi engelleneceğinden hidratasyon sonucunda beton bünyesindeki suyun kullanılmasıyla oluşan su kaybı sonucu betonun mukavemeti ve dayanıklılığı, ıslak küre bırakılan beton gibi olmayacaktır [2]. Plastik örtüler ve özel kâğıtlar kullanılarak yüzeyin kaplanması ile yapılan kür işleminin kolayca uygulanabilir olması ve fazla işçilik gerektirmemesi nedeniyle oldukça rağbet gören bir yöntemdir. Ancak rüzgârlı havalarda kullanılamama gibi dezavantajları vardır.

b) Kimyasal Madde ile Kür: Su kürü doğru uygulandığında uygun bir çözüm olmakla birlikte yüzeyin ıslanma-kuruma çevrimlerine maruz kalmayacak şekilde

sürekli ve homojen olarak nemli tutulabilmesi pratikte oldukça güçtür. Betonun suyunu kaybetmesini engelleme ve güneş ışınlarını yansıtarak betonun çok fazla ısınmasını önleme prensibine dayanan kür malzemeleri uygulama kolaylıkları ile bu noktada öne çıkmaktadır. Öte yandan, kür malzemeleri beton üzerine yapılacak boya ve sıva gibi işlemler için ayırıcı bir tabaka oluşturabileceğinden uygun bir tipin seçilmesi çok önemlidir.

Kür malzemeleri kolay kullanımları, uygulanmalarından sonra işçilik gerektirmemeleri gibi avantajlara sahiptir [34]. Tipik olarak bir reçine ve çözücünden oluşan kür malzemeleri uygulanma sonrası çözücünün yüzeyden uzaklaşarak geride kalan reçinenin yüzeyde geçirimsiz bir film tabakası oluşturması prensibine dayanır. Ancak bu kür malzemelerinin betondaki etkinliği, oluşan filmin kalitesine, kalınlığına ve uygulanmış yüzeydeki homojenliğine bağlıdır. Yüzeyine kür malzemesi uygulanmamış beton yollarda yüzey özellikleri ile iç tabakaların özelliklerinin birbirinden farklı olduğu, ancak kür malzemesi uygulanmış betonlarda iç ve dış özelliklerin uniformluk gösterdiği belirtilmiştir [35].

Yaz aylarında beyaz veya gri, kış aylarında renksiz veya siyah renkli sıvı kür malzemelerinin kullanılması önerilir. Hava sıcaklığının 27°C'den fazla olduğu durumlarda, renksiz sıvı kür malzemeleri kullanımında kaçınılmalıdır [36]. Bu malzemeler kullanılırken, beton yüzeyinin ne zaman ve nasıl bir işleme tabi tutulacağı ve bu malzemelerin beton yüzeyinden ne kadar zaman sonra ve nasıl sökülebileceği bilinmelidir. Sıvı kür malzemeleri betonun üzerine su toplanması durur durmaz uygulanmalıdır. Bu malzemelerin kullanım oranı ortalama olarak 0.2 to 0.25 litre/m²'dir. Uygulama iki el olarak yapılacaksa, her elde bu miktarın yarısı kullanılır ve iki eldeki fırçalama veya püskürtme yönü birbirine dik olur [37].

Yaygın Olarak Kullanılan Kimyasal Kür Maddeleri

1) Parafin Emülsiyonu Esaslı: Parafinin uygun bir emülgatörle su içinde dağıtılmış versiyonudur. Türkiye' de kullanımı en yaygın kür malzemelerinden biridir. Emülsiyonun içindeki suyun yüzeyden

buharlaşması ile oluşan film tabakası, daha sonraki uygulamalar için ayırıcı bir tabaka oluşturur. Yüzeğe yapılacak sonraki sıva, şap, ikinci beton tabakası gibi uygulamaların aderansını olumsuz etkileyebilir. Aynı zamanda, kaydırıcı etkisi nedeni ile havaalanı iniş ve kalkış pistlerinde kullanımı sorun yaratabileceğinden, bazı şartnamelerde önerilmemektedir.

2) Akrilik Dispersiyon Esaslı: Bu malzemeler de, bileşimin içindeki suyun buharlaşması ile beton yüzeyinde akrilik bir film tabakası oluşmasına dayanır. Bir sonraki uygulamanın aderansını olumsuz etkilemesi beklenmez. Su esaslı olması nedeniyle kapalı alanlarda kullanımı idealdir.

3) Hidrokarbon Reçine Esaslı: Uygun solventlerde çözünebilen termoplastik reçinelerdir. Solventin buharlaşması sonucu kırılğan ve zayıf bir film oluşur. Bu film, mekanik etkiler ve UV ışığı altında kısa sürede yüzeyden kalkar. Bu özelliği ile havaalanı pist ve apronlarda kullanımı yaygındır. Kapalı ortamlarda kullanılacak ise, düşük organik uçucu madde (VOC) özelliğine sahip solventlerde çözünmesi tavsiye edilir. Sonradan yüzeğe bir uygulama düşünülüyorsa mekanik olarak veya solvent ile silinerek yüzeyden uzaklaştırılması tavsiye edilir.

4) Akrilik Reçineler: Bu malzemelerde uygun solventlerde çözünerek uygulanır ve solventin buharlaşması ile güçlü bir film oluşur. Akrilik reçinenin kimyasal yapısına göre, oluşan film eğer yapışma özelliğine sahip değilse, yüzeyden mekanik olarak kaldırılması tavsiye edilir. Bazı akrilik tipleri kullanılan monomer cinsine göre

bir sonraki uygulama ile daha iyi aderans sağlayacak özelliğe sahip olabilir.

5) Silikat Esaslı Kür Malzemeleri: Kür etkinliği zayıf olmakla beraber, tozumu engelleme özelliği ile kür maddesi olarak kullanılabilir [38].

3. Hızlandırılmış Kür: Hızlandırılmış kür uygulaması daha çok yerinde beton uygulamalarında kullanılır. Kalıpların kısa sürede sökülmesi ve betonda yüksek dayanım kazanmak burada amaçlanan unsurlardır. Bu durumlarda, beton elemanlarının etrafında yapay bir ortam oluşturulur ve beton elemanlara kontrollü bir şekilde ısı ve nem verilir.

- Buhar Kürü; Buhar kürü, buhardan yararlanılarak sıcaklığın ve nemin yüksek olduğu bir ortamın sağlanmasıyla betona erken mukavemet kazandırılması için uygulanan yöntemdir.

Buhar kürü, betonun erken dayanım kazanmasının önemli olduğu yerlerde veya hidratasyonun tamamlanması için ilave ısının gerekli olduğu soğuk havalarda yarar sağlamaktadır [39].

Betona buhar kürü uygulanmasının başlıca amaçları şu şekilde özetlenebilir:

1. Beton, normal koşullardaki kür yöntemine göre, daha kısa süre içerisinde dayanım kazanmaktadır. O bakımdan, beton elemanlar daha erken bir zamanda kullanılabilirler.

Kalıplara yerleştirilmiş betonun istenilen dayanıma daha kısa süre içerisinde erişebilmesi, kalıpların daha kısa süre içerisinde sökülebilmeye imkân tanımaktadır. Sökülen kalıplar bir başka beton dökümünde kullanılabilir, yapılması gereken iş daha hızlı yapılabilir ve buna bağlı olarak, ekonomiklik elde edilebilir.

2. Betondan beklenen dayanımın daha kısa süre içerisinde kazanılabilmesi ve betonun daha erken hizmete sokulabilmesi nedeniyle, üretilen beton elemanların kür işlemi için muhafaza edildikleri sahada (depoda) uzun süreyle bırakılmalarına gerek kalmamaktadır. O bakımdan da ekonomiklik sağlanmış olmaktadır [40].

Beton elemanına sürekli buhar kürü uygulamasında buhar tüneli kullanılır. Buhar tünelinin uzunluğu boyunca sıcaklık ve nem şartları kontrollü olarak değişiklik gösterir. Beton elemanları buhar tünelinin içerisinde, belirli bir hızda geçirilerek istenen kür şartları sağlanır.

Buharla kür metodunda, kür tüneline, yapı elemanı giriş ve çıkış kapılarında yeterli koruma önlemi alınmalı, sıcaklık ve nem, odanın her tarafında eşit (üniform) olmalıdır. Buhar küründen çıkan betonların kalıpları alınarak havuz küründen önce, son dinlendirme yerinde bekletilir. Beton elemanlarının homojen soğumanın sağlanması ve çatlamasını önlemek amacıyla buhar kürü ortamındaki sıcaklığın kontrollü bir biçimde azaltılarak elemanların dış çevre sıcaklığına getirilmesi gerekir [2].

Buhar kürü, önyapımlı beton elemanlar, beton bloklar, beton borular, öngerilimli beton kirişler ve betondan yapılmış duvar panelleri gibi yapı elemanlarında yaygın olarak uygulanmaktadır.

Betona uygulanan iki farklı buhar kürü yöntemi bulunmaktadır: (a) atmosferik basınçlı buhar kürü ve (b) yüksek basınçlı buhar kürü. Bu iki yöntemden en çok uygulananı, “atmosferik basınçlı buhar kürü” yöntemidir.

- a) Atmosferik basınçlı buhar kürü: Büyük öndöküm beton elemanlarda ve soğuk hava koşullarında yapının etrafı çevrilerek yerinde uygulanabilmektedir.
- b) Yüksek basınçlı buhar kürü (Otoklav): Genellikle, küçük boyutlu elemanlara uygulanmaktadır. Çok yüksek erken dayanımların gerekli olduğu hallerde ve betona bir takım özellikler kazandırmak amacıyla uygulanmaktadır.

1.4. Betonun Basınç Dayanımı

Betonun basınç dayanımı, “eksenel basınç yükü etkisi altındaki betonun kırılmamak için gösterebileceği direnme kabiliyeti (eksenel basınç yükü etkisiyle, betonda oluşan maksimum gerilme) olarak tanımlanmaktadır [5].

Betonun en önemli mekanik özelliklerinden birisi basınç dayanımıdır. Betonun mekanik dayanımları arasında değeri en yüksek olan basınç, en düşük olan çekme dayanımıdır. Bu nedenle yapılarda kullanılan beton basınç dayanımına maruz bırakılarak kullanılır.

Betonun basınç dayanımı betonun diğer nitelikleriyle paralellik gösterir. Yüksek basınç dayanımlı bir betonun, kompasitesi yüksek, su geçirgenliği çok az, dış etkilere dayanıklı ve aşınması az olur [5].

Beton kalitesinin tespitinde kullanılan en önemli parametrelerden birisi basınç dayanımıdır. Bunun nedenleri ise şöyle sıralanabilir [41].

1. Basınç dayanımının bulunabilmesi için uygulanan deney yöntemleri diğer dayanım türlerinin bulunabilmesi için uygulanan yöntemlerden daha basittir.
2. Tüm yapılan tasarımlarda betonu basınç dayanımı değeri esas alınır. Birçok yapıda betonun önemli miktarda çekme, eğilme, yorulma gibi değişik yüklere maruz kalmayacağı varsayılmakta ve betonun üzerine gelen en önemli yüklerin basınç yükü oldukları kabul edilerek hesap yapılmaktadır.
3. Betonun basınç dayanımı ile çekme ve eğilme dayanımları arasında yaklaşık da olsa bir korelasyon bulunmaktadır. O nedenle basınç dayanımı bilindiği takdirde diğer türdeki dayanımların büyüklükleri hakkında bir fikir elde edilmektedir.
4. Basınç dayanımının bilinmesi betonun diğer özellikleri hakkında kalitatif bilgi sağlamaktadır. Örneğin basınç dayanımının yüksek olması betondaki su geçirimsizliğinin az olduğunu ve dayanıklılığının yüksek olduğunu işaret etmektedir.
5. Betonlar projelendirmede belirli sınıflara bölünmüştür. Bu sınıflandırmalardaki amaç, betonun belirli bir özelliğini diğer tüm

özelliklerinin ölçütü varsaymak ilkesine dayanmaktadır. Beton sınıfının oluşturulmasında bu belirgin özellik beton basınç dayanımıdır.

1.4.1. Basınç dayanımına etki eden faktörler:

Betonun basınç dayanımını birçok değişken etkilemektedir. Bu değişkenler aşağıda Tablo 1.5’de gösterilmiştir [42];

Tablo 1.5. Beton basınç dayanımına etkileyen değişkenler

Bileşimle İlgili Faktörler	Üretimle İlgili Faktörler	Bakımla İlgili Faktörler	Deneylerle İlgili Faktörler
<ul style="list-style-type: none"> - Çimento - Agrega - Karma suyu - Su/çimento oranı - Katkı maddeleri 	<ul style="list-style-type: none"> - Tartma - Karıştırma - Taşıma - Yerleştirme - Sıkıştırma 	<ul style="list-style-type: none"> - Sıcaklık - Nem - Zaman - Rüzgar 	<ul style="list-style-type: none"> - Numune biçim ve boyutu - Numunenin nem durumu - Yükleme yüzeyi durumu - Sıcaklık, numune sıcaklığı -Yükleme hızı

Bu değişkenlerin en önemlileri ise şunlardır;

1.4.1.1. Çimento ile ilgili faktörler:

En genel şekliyle tanımlandığında; çimento, karışımda su ile bağlayıcı hamur oluşturarak agrega taneciklerini birbirine bağlayan malzemedir. Bir beton kütlesi, çimento, su ve havadan oluşan bağlayıcı hamur ile agreganın iç içe girmesinden oluşmaktadır. Beton kütlesindeki agrega taneciklerinin yeterli sağlamlıkta (dayanımda) oldukları varsayılırsa, bağlayıcı hamurun agrega tanecikleri arasındaki boşlukları doldurucu yeterlilikte ve sağlamlılıkta olmasının betonun dayanımı üzerindeki etkisi ortaya çıkar. Nitekim basınç altındaki beton kütlesi en zayıf yeri olan bağlayıcı hamurundan kırılmaktadır ki, bağlayıcı hamurun güçlendirilmesi doğrudan betonun güçlendirilmesidir. Bu nedenle çimento cinsi ve miktarı (dozajı) basınç dayanımını etkiler. Bağlayıcı hamurun yeterliliğinin ve sağlamlılığının diğer faktörlerin yanı sıra önemli ölçüde içindeki çimento miktarına bağlı olduğu bilindiğine göre, belli bir kritik değere kadar betonun içerisinde çimento miktarı arttıkça betonun dayanımı da artacaktır. Aynı zamanda çimentonun yüksek dayanımlı olması, çimento hamurunun parçalanmadan daha büyük gerilmelere maruz kalması nedeniyle betonunda yüksek dayanımlı olmasında etkisi büyüktür [43].

1.4.1.2. Karma suyu ile ilgili faktörler:

Betonun üretiminde kullanılacak karma suyunun içerisinde betonun prizine, dayanımına, dayanıklılığına ve betonarme yapılardaki donatının korozyonuna olumsuz etki yapacak yabancı maddeler bulunmamalıdır. Ayrıca kullanılacak karma suyunun, gerekenden az kullanılması sonucunda yeterli hidrasyon ve işlenebilme elde edilememektedir. Gerekenden fazla su ise beton içerisinde boşlukları arttırmakta ve böylece sertleşmiş betonun dayanımı ve dayanıklılığını olumsuz etkilemektedir.

1.4.1.3. Su/çimento oranı:

Su miktarını ayarlamak beton üretiminde önemli ve zor bir sorundur. İyi bir yerleşme ve işlenebilirlik sağlamak mühendisliğin birinci amacıdır. Bu amacı gerçekleştirmek için su/çimento oranının %55'i üstüne çıkmamasına çalışılmalıdır. İyi bir yerleşme ve işlenebilirlik için daha çok gerekli olduğu durumlarda agrega veya kumun değiştirilmesi yoluna gidilmelidir [41].

Çimentonun prizinden (hidrasyonundan) sonra taze betonda akıcılık sağlaması için konulan su zamanla buharlaşarak ayrılır ve betonda boşluklar oluşur. Bu durum, betonun dayanımının düşmesine neden olur. Diğer bir deyişle, beton içinde (hidrasyon için gereken suyun dışında) taze betonun akıcılığı için katılan su miktarı arttıkça, yani su/çimento oranı yükseldikçe, taze betonun akıcılığı (kıvamı) artar ancak betonun dayanımı hızla düşer [27].

Su/çimento oranının düşük olması nedeniyle iyi yerleştirilemeyen betonlarda oluşacak boşluklar da basınç dayanımını düşürür. Örneğin betona gerekenden %20 daha fazla su konulması dayanımda %30; %20 daha az su kullanılması da dayanımda %60 oranında bir azalmaya neden olmaktadır.

1.4.1.4. Agregaya ile ilgili faktörler:

Agrega Granülometrisinin ve En Büyük Agregaya Çapının Basınç Dayanımına Etkisi:

Betonda, yeterli basınç dayanımının elde edilmesi, büyük oranda su ve çimentodan oluşan bağlayıcı hamurun niteliğine bağlıdır. İstenilen dayanımı en ekonomik şekilde elde etmek ise, bağlayıcı hamur azaltılıp yerine daha fazla agregaya kullanmakla mümkündür. Öte yandan, yeterli akıcılığın sağlanması için bağlayıcı hamurun miktarının artırılmasının gerektiği bilinmektedir. Bağlayıcı hamur, agregaya boşluklarını doldurmaktan başka, agregaya taneciklerinin etrafını ince bir tabaka halinde sarmalı ve bu şekilde homojen bir yapı oluşturmalıdır.

Budurumda, bağlayıcı hamurun miktarında, biri agregaya boşlukları, öteki agregaya yüzeyleri olmak üzere iki unsurun belirleyici olduğu söylenebilir. Bunlardan birini önemseyip, ötekini ihmal etmemek gerekir. İdeal bir granülometrinin mümkün olduğu kadar az boşluklu ve mümkün olduğu kadar az toplam tanecik yüzeyli olması istenir. En az toplam tanecik yüzeyi, agregaya içindeki maksimum tanecik çapının (betonda istenilen şartların sınırları içinde) en büyük alınması ve diğer agregaya çaplarının da buna bağımlı olarak büyümesiyle sağlanır. Agreganın en az boşluklu olması ise, büyük taneciklerin aralarındaki boşlukların sürekli daha küçük taneciklerle doldurulabileceği bir agregaya granülometrisi düzenlemesiyle elde edilir. Granülometri ve maksimum tane büyüklüğünün dışında, agregaların aşağıdaki özellikleri de beton basınç dayanımını etkiler:

- Betonda kullanılacak agregalar nem ve sıcaklık etkisinden dolayı hacim değişikliği göstermemelidir. Agregadaki önemli genişleme ve büzülme beton çatlatır ve basınç dayanımını düşürür. Agregaların su emme kabiliyetleri ne kadar fazla ise don karşı dayanımları da o kadar azdır.

- Agregaya yüzeyi yapısı, temizliği ve kimyasal dayanıklılığı agregaların beton içinde bağlanma özelliklerini, dolayısıyla betonun basınç dayanımını etkiler. Yüzeye dik çıkıntıların karışımın agregaya daha iyi bağlanmasına neden olduğu bilinmektedir.

- Betonun sertleşmesi sırasında agreganın hacim değişikliği yapabilecek bir kimyasal reaksiyona girmemesi gerekir. Suda kolay çözünen mineralleri kapsayan agregalar, oksidasyon ve hidratasyona eğilimli mineralleri kapsayan agregalar, alkalilerle reaksiyona giren agregalar, portland çimentosu ile reaksiyona giren agregalar beton basınç dayanımının düşmesine neden olurlar.

- İçerisinde kil, silt, mika, humus, tahta parçaları ve diğer organik maddeler, kimyasal tuzlar, yumuşak elemanları kapsayan agregalar beton basınç dayanımını düşürürler.

- Agregatanecekleri geometrik şeklinin beton dayanımı üzerine etkisi vardır. İnce uzun agregatanecekleri (eni boyunun beşte birinden küçük olanlar) kolay kırılacakları için beton dayanımını düşürürler. Bundan dolayı agregada yüzde onbeş oranından fazla ince uzun parçacıkların olması istenilmez. Kırılarak hazırlanan agregalarda ise ince ve sivri uçların bulunmaması tercih edilir [43].

1.4.1.5. Betonun kompasesitesi:

Betonda kompasesite, birim hacimdeki taze betonda katı maddeler (agrega ve çimento) toplam hacminin birim hacme oranı olarak tanımlanabilir. Başka bir deyişle, kompasesitesi yüksek beton içerisinde gözenekleri (boşlukları) az olan beton demektir. Taze betonda kompasesitenin yüksek olması basınç dayanımının ve sızdırmazlığının da yüksek olduğunu gösterir. Betonun basınç dayanımını etkileyen faktörlerden olan kompasesite, öteki faktörler gibi (su/çimento oranı, çimento türü ve miktarı, agrega cinsi ve granülometri, katkı maddesi vs.) doğrudan bir faktör değildir. Betonda kompasesite; agreganın cinsine, çimento miktarına bağlı olarak karışımın granülometrisine, maksimum tane büyüklüğüne, kıvama ve sıkıştırma şekline göre değişen dolaylı bir faktördür [41].

1.4.1.6. Kür koşulları ile ilgili faktörler:

Betonun sertleşme aşamasında uygulanan çevre koşullarına kür koşulları denilir. Bunlar ise nem ve sıcaklık olarak gruplanabilir.

Kür Ortamındaki Nem ve Sıcaklığın Basınç Dayanımına Etkisi;

- Nemin Basınç Dayanımına Etkisi; Taze beton ilk hazırlandığında kapsadığı suyun, çimentonun hidrasyonu için gerekenden oldukça fazla olduğu bilinmektedir. Bu suyun, hidrasyonun devam ettiği ilk devrelerde buharlaşma ya da başka nedenlerle önemli ölçüde azalması, ya tam hidrasyonu geciktirecek, ya da daha kötüsü hidrasyonun durmasına neden olacaktır. Agrega tanecikleri arasındaki bağlayıcı hamurun tam sertleşmediği böyle bir durumda ise betonun dayanımı düşecektir. Bu nedenle, betonun sertleşme süreci sırasında, tam hidrasyon için gerekli suyun kaybına engel olunması ya da olabilecek su kayıplarının yerinin doldurulması istenir. Betona su püskürtme; beton yüzeylerine toprak, kum, ıslak çuval vs. örterek ya da kalıpları geç sökerek su kaybını önleme; betonun su buharı ile kürü, kür maddeleri ile kürü gibi yöntemler bu amaçla yaygın olarak kullanılmaktadır.

Nemin eksikliği, ayrıca rötre olayını artırmaktadır. Yeni hazırlanmış betondaki bağlayıcı hamurun hacmi sertleştikten sonraki hacimden daha büyüktür. Bu hacim değişikliğinden dolayı sertleşmekte olan betonda bir büzülme olur, çatlaklar oluşur ve bu olaya rötre adı verilir. Rötre değerinin büyüklüğü, birçok diğer faktörün yanı sıra, büyük ölçüde kür ortamındaki neme de bağlıdır. Kür ortamında nem azaldıkça rötre değeri, dolayısıyla betonda çatlaklar artar ve dayanım düşer [43].

- Sıcaklığın Basınç Dayanımına Etkisi; Kür ortamındaki sıcaklık azalması, taze beton içindeki çimentonun kimyasal reaksiyonlarını yavaşlatır ve bağlayıcı hamurun sertleşme zamanı uzar. Böylece, betonun yeterli dayanımı kazanması normal sıcaklıktaki ortamlara göre daha uzun zaman alır. Ayrıca, sıcaklık 0°C'ın altına düştüğü zaman, taze beton içindeki su donar ve taze betonda önemli ölçüde hacim genişlemesiyle birlikte çatlaklar ve bozulmalar meydana gelir.

Kür ortamında sıcaklık çok yüksek ise, bu defa da taze beton içindeki kimyasal reaksiyonların, dolayısıyla betonun sertleşme hızı artar ve beton ani priz yapabilir. Ayrıca, beton dayanımını zamanla kazanan bir yapıdır. Fazla sıcaklık taze beton içindeki suyu hızla buharlaştırabileceği için çimentonun tam hidrasyonunu sağlayacak su kalmayacaktır. Yine sıcak bir ortamda sertleşmekte olan beton, ortam

değişip soğuyacak olursa termal büzölmeler ve yüzeyde çatlaklar oluşur ki, bu durum da dayanımı düşürücü bir diğer etkidir [43].

1.4.1.7. Zaman (Betonun yaşı):

Betonun basınç dayanımı, taze betonun silindir veya küp kalıplara doldurularak hazırlanan beton silindir veya küp numunelerin belli bir süre (standart olarak 28 gün sonra) basınç altında kırılmasıyla elde edilir.

Betonun dayanım kazanması zamanla ilerlemekle birlikte normal de 3 hafta da dayanım kazandığı kabul edilir, buna göre kalıp alma süreleri de kalıp elemanlarına bağılı olarak 3 gün- 3 hafta arasında değişir [41].

Taze beton karıştırılıp kalıba döküldükten kısa bir süre sonra katılaşıır ve zamanla dayanım kazanır. Uygulamalarda 28. gündeki basınç dayanımının yanı sıra daha erken veya daha geç tarihlerdeki dayanımlar da önemli olabilmektedir. Örneğin, kalıpların daha erken sökülmesi gereken uygulamalarda veya erken dayanım aranan betonlarda 3 günlük veya 7 günlük basınç dayanımları önemli olmaktadır. Diğer taraftan barajlarda olduğu gibi kütle betonu kullanılan yapılarda ilk zamanlardaki dayanım çok büyük bir önem taşımamaktadır. Bu tür betonlarda sadece 90 günlük veya hem 28 günlük hem de 90 günlük dayanımın ne olması gerektiği düşünülerek malzeme oranları belirlenmektedir [43].

1.4.1.8. Üretimle ilgili faktörler:

Betonun Karılma, Taşıma, Yerleştirme ve Sıkıştırılması İşlemlerinin Beton Dayanımına Etkileri; Beton yapımına uygun malzemelerin uygun oranlarda bir araya getirilerek karılmaları işlemindeki süre gerekenden çok kısa veya çok uzun olmamalı, üretilen taze betonda segregasyon yer almamalı ve üniform bir beton elde edilmelidir.

Taze betonun taşınması ve yerleştirilmesi işlemleri segregasyona neden olmayacak ve betonun üniformitesini bozmayacak tarzda yapılmalıdır. Aksi halde, beton

kesitindeki farklı bölgeler farklı özellikler göstermekte ve beton dayanımı olumsuz etkilenmektedir.

Yerine yerleştirilen betonda ister istemez çok büyük boşluklar bulunmaktadır. Betonun o haliyle sertleşmesi durumunda oldukça düşük beton dayanımı elde edilmektedir. O nedenle, yerine yerleştirilen taze betona uygun tarzda sıkıştırma işlemlerinin uygulanmasının ve betonun mümkün olabildiği kadar az boşluklu olarak yerleştirilmesinin beton dayanımı üzerinde çok büyük etkisi olmaktadır [42].

1.4.1.9. Numune şekli ve boyutları:

Numune geometrisi, yapılan birçok deneyde basınç dayanımını etkilediği kanıtlanmıştır. Genellikle numune boyutları küçüldükçe, dayanım artmaktadır. Bu boyut etkisi olarak adlandırılmaktadır. Boyut etkisine birçok değişkenin neden olduğu tahmin edilmekte ise de, henüz kesin bir yargıya varılamamıştır. Numune boyutunun, kesitin boyutuna olan oranının da dayanımı etkilediği bilinmektedir.

1.4.1.10. Yükleme hızı:

Beton zamana bağlı deformasyon gösterdiğinden yükleme hızı oldukça önemlidir. Yapılan deneyler, yavaş yüklenen bir numune dayanımının, hızlı yüklenen bir numuneye oranla daha düşük olduğunu göstermiştir. Yükleme hızının düşük dayanımlı betonlar için düşük, yüksek dayanımlı betonlar için ise daha yüksek seçilmesi öngörülmektedir. Türk standartlarında basınç dayanımı deneyi esnasında beton numuneye uygulanan yükün 1.4-3.5 kgf/cm²/saniye olması gerektiği belirtilmektedir.

1.4.1.11. Diğer etkenler:

Basınç dayanımını etkileyen diğer önemli faktörler, deney sırasında numunenin nemli olup olmaması ve deney presinin özellikleri ve numune sıcaklığıdır. Aynı betondan üretilen ve nemlilik durumları farklı olan beton numunelerin üzerinde

yapılan deneylerde farklı basınç dayanım değerleri elde edilmektedir. Kuru numuneler daha yüksek basınç dayanımı göstermektedirler.

Tamamen kuru durumdaki numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda, ıslak numunelerinkine göre, yaklaşık %10-%15 kadar daha yüksek basınç dayanımı değeri elde edilmektedir [5].

1.5. Beyaz Beton

Beyaz betonu, geleneksel gri betondan ayıran en temel özellik beyazlığıdır. Bu nedenle beyaz beton; beyaz çimento, beyaz agrega, su ve gerektiğinde kullanılan beyaz kimyasal ve mineral katkılarla elde edilen bir beton çeşididir.

1.5.1. Beyaz beton üretiminde kullanılan malzemeler

1.5.1.1. Beyaz portland çimentosu

Beyaz çimento, su ile karıştırıldığında priz alarak sertleşen ve bu sertleşme sonucunda dayanım kazanan, özel bir hidrolik bağlayıcıdır. Beyaz çimentonun ayırt edici temel özellikleri; hammaddesinin çok saf olması, ileri teknoloji ile üretilmesi, ince öğütülmesi, dayanım kazanımının yüksek olması, estetik ve dekoratif özelliklere sahip olması, yüzey düzgünlüğü ve görünüş güzelliği sağlamasıdır [44,45].

Beyaz çimento üretiminde kullanılan hammaddeler ihmal edilir düzeyde metal oksid (özellikle demir oksitler) içermektedir. Bu bakımdan çok saftır ve beyazlığı yüksektir. İleri teknoloji ile üretiliyor olması da, beyaz çimentonun beyazlığını artıran faktörlerden birisidir. Bununla birlikte, saf hammadde kullanımı, ince öğütülmesi ve ileri teknolojilerin kullanılması, beyaz çimentonun diğer kimyasal, minerolojik ve mekanik özelliklerini de iyileştirmektedir. Beyaz çimento düşük C_4AF içeriği (%1.5dan az) ve yüksek C_2S ve C_3S içerikleri ile karakterize olur. Yüksek C_3S kalsiyum silikat içeriği ve yüksek incelik ($400-500 m^2/kg$), gerek erken dayanımların gerekse de nihai dayanımların yüksek gerçekleşmesini sağlamaktadır.

Göreceli olarak yüksek C_3A içeriği (%15'e kadar) ise beyaz çimento esaslı harç ve betonlarda rötre deformasyonlarına dikkat edilmesini gerektirir.

Bu probleme karşı kaliteli agrega kullanılarak, beton/harç karışımında çimento dozajının ve s/ç oranını düşük tutarak önlem alınması önerilmektedir [46].

Beyaz çimentolar genellikle düşük miktarda alkali içermekte ve bu bakımdan beyaz betonların alkali-agrega reaksiyonlarına karşı dirençleri de yüksek olmaktadır [44]. Yüksek C_3S içeriği ve inceliği ($400-500 \text{ m}^2/\text{kg}$) dolayısı ile beyaz çimento her yaşta büyük dayanıma sahiptir [46].

Beyaz çimento üretimi; üretim hammaddelerinin seçimi, farin karışımının hazırlanması, pişirme ve klinker oluşumu, beyazlaştırma/soğutma ve son öğütme gibi aşamalardan oluşur, herhangi bir kirlenmenin ve istenmeyen değişikliklerin önlenmesi için son derece kontrollü koşullar altında yürütülür.

Beyaz çimento, daha çok dekoratif ve estetik amaçlar için kullanılan özel bir çimento cinsidir. Hâlbuki beyaz portland çimentosu, estetik ve dekoratif özellikleri açısından olduğu kadar, yük taşıma kabiliyeti açısından da üstün özelliklere sahiptir. Bu özellikleri ile beyaz çimentonun oldukça geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır.

Bunların başlıcaları [44]:

1. Mimari ve dekoratif beton imalatları(Ticaret ve iş merkezleri, siteler ve konut inşaatları, köprüler, estetik ve dekoratif yapılar, stadyumlar vs.)
2. Hazır sıva ve harç imalatları (yapıların iç ve dış cepheleri, bina tavanları, çatı izolasyonları, uçak ve helikopter pistleri, her türlü dekorasyon çalışmaları, yüzme havuzları, su kanalları vs.)
3. Yapıştırma ve derz dolgu malzeme imalatları (Fayans döşemeleri, seramik karo döşemeleri, mermer granit döşemeleri, yapı derzleri, her türlü sızdırmazlık işleri vs.)
4. Park ve bahçe mobilyaları tasarımları (Farklı özelliklerde bordürler, çiçeklikler, balkon motifleri, beton sütunlar, dış paneller, oturma grupları ve

banklar, sınır taşları, betonarme ızgaralar, dekoratif sanatsal ürünler, yürüme yolları, ev ve park bahçe düzenlemeleri vs.)

5. Sanat ürünleri tasarımları (Küçük heykeller, anıtlar, skarfito uygulamaları, restorasyon, rölyefler, duvar resimleri, reproduksiyonlar vs.)
6. Yer döşeme imalatları (Farklı renk ve desenlerde yer karoları, ince karo, wash beton, parke, kilitli taş, kaldırım döşeme plakaları vs.)
7. Prekast eleman üretimleri (beyaz prefabrik beton elemanları, fasat dış cephe kaplamaları, dekoratif kaplama taşları, hazır basamaklar, hazır balkonlar, pencere söveleri, beyaz briketler, betonarme kanallar, beton bloklar vs.)

1.5.1.2. Agregalar

Beyaz beton üretiminde beyaz renkte agregalar kullanılmaktadır. Beyaz betonun beyazlığını temelde çimento harcı (çimento+ince agrega+su) belirlemektedir. Bu nedenle özellikle ince agreganın beyazlığı büyük önem taşımaktadır.

Betonun takribi %75'lik bölümünü agregalar oluşturmaktadır. Bu nedenle agrega özellikleri, beton performansını büyük ölçüde etkilemektedir. Beyaz beton üretiminde, TS 706'ya uygun özellik ve granülometride beyaz agregalar kullanılmalıdır. Agregalar kil ve organik madde içermemelidir. Stokta bekletilen agregaların dış etkilerle kirlenmemesine dikkat edilmelidir. Beyaz beton üretiminde, genellikle mermer agregası ve beyaz dolomit kullanılmakla beraber, TS 706'ya uygun özellikte başka beyaz agregalar da kullanılabilir [1].

1.5.1.3. Karışım suyu

Beyaz beton üretiminde kullanılan karışım ve kür suyunun kalitesi, betonun özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Beyaz beton üretiminde, "içilebilir su", karışım ve kür suyu olarak kullanılmalıdır [5].

1.5.1.4. Kimyasal katkılar

Beyaz beton özelliklerini iyileştirmek için, gerek görüldüğü takdirde, su kesici, hızlandırıcı, geciktirici veya hava sürükleyici katkılar kullanılabilir. Bu katkıların beyazlığı veya saydamlığı betonun beyazlığını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, beyaz veya saydam renkte kimyasal katkılar kullanılmalıdır. Lignosülfonat içerikli yüksek oranda su kesiciler, genelde betonun beyazlığını bozduğu için başka tip akışkanlaştırıcı ve su kesiciler kullanılmalıdır [47].

1.5.1.5. Mineral katkılar

Gerek dayanım gerekse de dayanıklılık açısından beyaz beton performans özellikleri iyileştirilmek istendiğinde, beyaz puzolonik veya mineral katkılar kullanılabilir [47]. Beyaz beton performans özelliklerini iyileştirmek için, beyaz silis dumanı, metakaolen, granüle yüksek fırın cürufu gibi yapay puzolanlar veya pomza tozu ve perlit tozu gibi doğal beyaz puzolanlar, beton üretiminde kullanılabilir. Ayrıca dolgu amaçlı olarak beyaz kalsit tozu, beyaz dolomit tozu gibi mineral katkılarda beyaz beton içerisinde yer alabilmektedir.

1.5.1.6. Pigmentler

Gerek beyaz çimentonun gerekse de beyaz betonu oluşturan diğer malzemelerin yüksek beyazlığı; farklı pigmentler kullanılarak doğadaki canlılıkta, her renkte beton üretilebilmesine imkân vermektedir. Renkli beton üretiminde kullanılacak pigmentlerin inorganik kökenli olmasına dikkat edilmelidir. Beton dayanımını olumsuz etkileyebileceğinden, kullanılacak pigmentin miktarının çimento ağırlığının % 6'sını aşmamasına dikkat edilmelidir [48]. Pigmentler kuru bir şekilde çimento ile homojen bir şekilde karıştırıldıktan sonra beton üretiminde kullanılmalıdır.

1.5.2. Beyaz beton üretim tekniği

Genel olarak sertleşmiş betonun şu özelliklere sahip olması beklenir:

- Herhangi bir yaş için hedeflenmiş olan minimum beton dayanımından daha az dayanım göstermemelidir.
- Çevredeki suyun ve diğer sıvıların betonun içine kolayca girerek olumsuz etki yaratmaması için, yeterince geçirimsiz olmalıdır.
- Yapıda hizmet gördüğü süre içerisinde çevrede oluşan yıpratıcı etkenler karşısında yeterince dayanıklı olmalıdır. Bir başka deyişle, donma-çözölmeye, ıslanma-kurumaya, ısınma-soğumaya, aşınmaya, asitlere, sülfatlara ve alkali-agrega reaksiyonu gibi kimyasal reaksiyonlara karşı dayanıklılık gösterebilecek kalitede olmalıdır.
- Yeterli hacim sabitliğine sahip olmalıdır; yani, çatlamalara yol açacak ölçüde büzölme veya genişleme göstermemelidir [5].

Bu özelliklere ek olarak beyaz betonun, estetik özelliklere de sahip olması ve görünüş güzelliği sağlaması da beklenmektedir.

Yukarıda bahsedilenler sertleşmiş beton özellikleri olarak, gerek geleneksel gri betonlarda, gerekse de beyaz beton uygulamalarında aranan temel gerekler durumundadır. Sertleşmiş betondan beklenen bu özellikler, beton tasarımı, betonu oluşturan malzemeler ve betonun taze durumdaki özellikleriyle ilgilidir.

Sertleşmiş beyaz betonun, istenen performans özelliklerini göstermesi için, geleneksel gri betonlardan farklı olarak; gerek beton tasarımında, gerek taze betonun karıştırılması, taşınması, yerleştirilmesi, sıkıştırılması, düzeltilmesi aşamasında, gerekse de kalıp, donatı ve döküm şartları bakımından dikkat edilmesi gereken hususlar bulunmaktadır. Bunlardan başlıcaları [1]:

1. Beton karışımlarında, TS 706'ya uygun özellik ve granülometride beyaz agregalar kullanılmalıdır. Beyaz betonun rengini tayin eden, temelde çimento ve kullanılan ince agregadır. Özellikle ince agrega olmak üzere agregaların beyazlığına dikkat edilerek hazırlanacak BPC betonlarında istenen beyazlık değerine ulaşılabilecektir.
2. Beyaz beton karışımlarında, kullanılacak beton ve harç katkılarının şeffaf renkte olmasına dikkat edilmelidir.
3. Beton içerisine girecek bütün malzemeler temiz bir şekilde muhafaza edilmelidir.
4. Betonarmede kullanılacak donatıların paslı ve kirli olmamasına dikkat edilmelidir. Mümkünse galvanizli donatı kullanılmalıdır.
5. Kullanılacak kalıplar, su absorpsiyonu düşük, plywood eşdeğeri bir malzemeden seçilmelidir. Kalıpların temiz olmasına ve çimento pastasının vibrasyon esnasında kalıptan sızmasına dikkat edilmelidir.
6. Brüt beton uygulamalarında yüzeyin boşluksuz ve pürüzsüz olması beklendiğinden, betonun hazırlanması ve yerleştirilmesi doğru bir şekilde yapılmalıdır. Zamana bağlı çökme kaybı kontrol edilmeli; beton, mümkünse; pompa yerine bantlı bir mikser veya vinç ve kova vasıtasıyla dökülmelidir.
7. Taze betonun vibrasyonu çok iyi yapılmalıdır.
8. Beyaz betonun kürlenmesine daha fazla dikkate edilmeli, mümkünse beton ıslak çuval veya bezlerle sarılmalıdır.

1.6. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, genel olarak dekoratif ve estetik uygulamalarda kullanılan beyaz çimentonun, gri çimentolarla benzer kimyasal kompozisyona sahip olması nedeniyle betonda bağlayıcı malzeme olarak kullanılması halinde farklı dozlarda, katkılı ve katkısız olarak üretilen beyaz betonların dayanımları üzerinde farklı kür koşullarının etkisi araştırılmıştır. Çimento dışındaki malzeme bileşenleri ve kıvam sabit tutularak bütün aşamalarda numunelerin tamamına kür dışında, aynı işlemler uygulanmıştır.

Bu amaçla, bütün karışımlarda beyaz çimento (BPC 42.5), agrega olarak beyaz kalker agrega ve mermer tozu, kimyasal katkı olarak da süper akışkanlaştırıcı

kullanılmıştır. Numunelerin hazırlanmasında 250, 350, 450, 550, 650 kg/m³ olmak üzere beş farklı çimento dozajı kullanılarak 10x10x10 cm' lik beton numuneler üretilmiştir. Akıcı kıvamın sağlanması için akışkanlaştırıcı özelliğine sahip katkı tercih edilmesi durumunda betonun özelliklerini ne şekilde etkilediğinin araştırılması amacıyla karışımlarda aynı işlenebilmeyi sağlayan su miktarı azaltılarak yerine katkı kullanılmıştır.

Üretilen numunelere kalıptan alındıktan sonra 20±2°C'de su kürü, laboratuvar ortamında açık ve naylon örtü ile sarılı olmak üzere üç farklı kür yöntemi uygulanmıştır. Beton numuneleri üzerinde 7, 28 ve 90. gün sonunda basınç dayanım deneyleri yapılarak, beş farklı dozajda, katkılı ve katkısız olarak hazırlanan numuneler, üç farklı kür koşulu uygulanması sonucu birbirleriyle karşılaştırılmış ve bu koşullar altında kontrol betona göre meydana gelen dayanım farklılıkları araştırılmıştır.

BÖLÜM 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, beton üretiminde kullanılan malzemeler, bu malzemelerin özellikleri, beton karışımları ile üretimi ve deneysel çalışmalar açıklanmıştır.

2.1. Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

2.1.1. Agregas özellikleri

Deneysel çalışmalarda, beton üretiminde beton agregası olarak mermer tozu, beyaz kalker kırma taşı ve kumu kullanılmıştır. Bunlar Kırma kum, Kırmataş I, Kırmataş II ve Mermer tozu'dur. Bu agregalar hakkında geniş bilgi aşağıda verilmiştir. Üretilen betonlarda kullanılan agregaların granülometrik analizi TS 3530'a göre yapılmıştır [49].

2.1.1.1. Kırma kum

Betonların üretiminde ince agregas olarak kullanılan kırma kum'un maksimum dane çapı 2 mm'dir ve granülometri analizi sonuçları Tablo 2.1'de verilmiştir. Kullanılan kırma kum üzerinde TS 3526'ya göre [50] özgül ağırlık deneyi, TS 3529'a [51] göre birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Bu deneylere ait sonuçlar Tablo 2.2'de verilmiştir.

2.1.1.2. Kırmataş I

Betonların üretiminde kırmataş I, iri agregas olarak kullanılmıştır. Kırmataş I'in maksimum dane çapı 6 mm'dir ve granülometri analizi sonuçları Tablo 2.1'de verilmiştir. Kullanılan kırmataş I üzerinde TS 3526'ya göre [50] özgül ağırlık deneyi,

TS 3529'a göre [51] birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Bu deneylere ait sonuçlar Tablo 2.2'de verilmiştir.

2.1.1.3. Kırmataş II

Betonların üretiminde kırmataş II, iri agrega olarak kullanılmıştır. Kırmataş II'nin maksimum dane çapı 19 mm'dir ve granülometri analizi sonuçları Tablo 2.1'de verilmiştir. Kullanılan kırmataş II üzerinde TS 3526'ya göre [50] özgül ağırlık deneyi, TS 3529'a göre [51] birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Bu deneylere ait sonuçlar Tablo 2.2'de verilmiştir.

2.1.1.4. Mermer tozu

Mermer tozu, en küçük boyutlu mermer atıklarıdır. Mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi esnasında açığa çıkan ve büyük çoğunluğu 0.2 mm'nin altında olan mermer tanecikleridir. Bu çalışmada kullanılan mermer tozu, Bursa/Orhangazi-Fındıklı köyü üzerindeki büyük ölçekli bir mermer tesisinden alınmıştır. Beton üretiminde ince malzeme olarak kullanılan mermer tozunun kimyasal özellikleri Tablo 2.3'de, granülometri analizi sonuçları Tablo 2.1'de verilmiştir. Kullanılan mermer tozu üzerinde TS 3526'ya göre [50] özgül ağırlık deneyi, TS 3529'a göre [51] birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Bu deneylere ait sonuçlar Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Agregaların ve karışımın granülometrik analizi

Elekt Çapları(mm)	ELEKTEN GEÇEN MALZEMELERİN YÜZDELERİ								İncelik Modülü
	32	16	8	4	2	1	0,5	0,25	
Mermer Tozu (%15)	100	100	100	100	100	100	90	80	4,24
Kırma Kum (%25)	100	100	100	100	30	10	1	1	
Kırmataş I (%20)	100	100	100	60	1	1	1	1	
Kırmataş II (%40)	100	100	40	1	1	1	1	1	
Karışım Granülometri	100	80	76	52	23	18	14	13	
A32 (Alt sınır)	100	62	38	23	14	8	5	2	
B32 (Orta bölge)	100	80	62	47	37	28	18	8	
C32 (Üst sınır)	100	89	77	65	53	42	28	15	

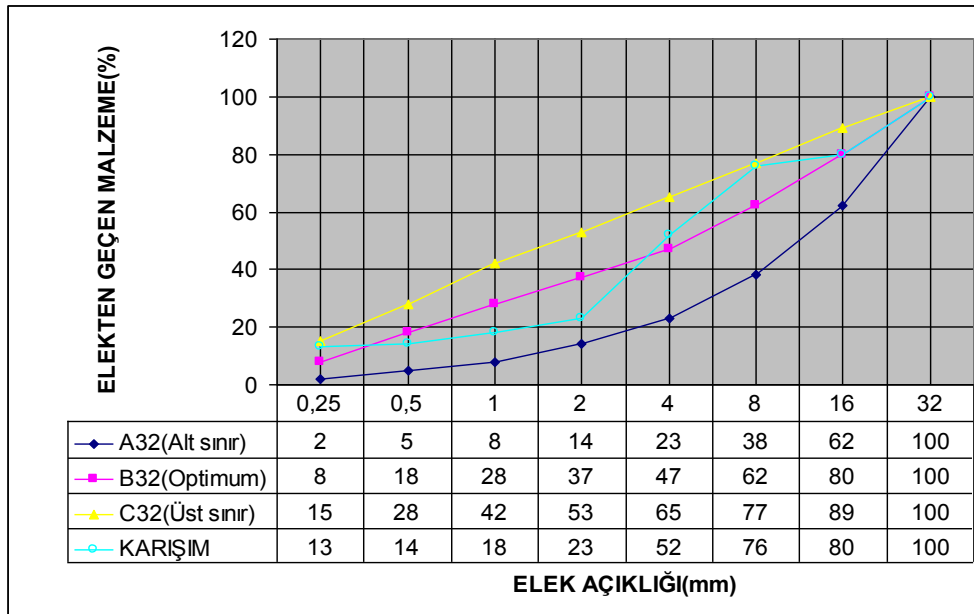
Tablo 2.2. Agregaların Özgül ağırlık, Birim ağırlık ve Su emme değerleri

Agrega Cinsi	Özgül Ağırlık(g/cm ³)	Birim Ağırlık(g/cm ³)	Su emme(%)
Mermer Tozu	2,61	1,59	13,1
Kırma Kum	2,67	1,57	1,7
Kırmataş I	2,68	1,54	1,0
Kırmataş II	2,69	1,55	0,6

Tablo 2.3. Mermer Tozunun Kimyasal Özellikleri

	%
Kızdırma Kaybı	43.50
CaO	54.37
MgO	0.95
CaCO ₃	97.05
MgCO ₃	1.97

Üretilen beton karışımlarda kullanılan agregaların referans eğrileri ile birlikte karışım granülometri eğrisi Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 TS 706 Referans ve karışım granülometri eğrisi

2.1.2. Çimento özelliği

Beton numunelerin üretiminde Çimsa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından üretilen BPC 42,5-85 beyaz çimento kullanılmıştır. Kullanılan BPC 42,5 çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 2.4’de verilmiştir [52].

Tablo 2.4. BPC 42.5 Çimentosunun Kimyasal Analizi ve Mineralojik Bileşenleri

KİMYASAL ANALİZ	(%)	MİNERALOJİK BİLEŞENLER	(%)
Kızdırma Kaybı	2.53	C ₃ S	54.88
Çözünmeyen Kalıntı	0.12	C ₂ S	26.01
SiO ₂	22.06	C ₃ A	11.80
Al ₂ O ₃	4.25	C ₄ AF	0.71
Fe ₂ O ₃	0.20		
CaO	65.39		
MgO	1.13		
SO ₃	2.98		
Na ₂ O	0.20		
K ₂ O	0.50		
Na ₂ O	0.53		

Tablo 2.5. BPC 42.5 Çimentosunun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

FİZİKSEL ÖZELLİKLER		MEKANİK ÖZELLİKLER			
		Günler	2	7	28
Priz Başlangıcı(dak.)	135	Basınç Dayanımı(MPa)	34.0	50.0	63.0
Priz Sonu(dak.)	160				
Hacim Sabitliği(mm)	4.0				
Özgül Yüzey(cm/gr)	4400				
Beyazlık %	85.7				

2.1.3. Karışım suyu

Beton numunelerin üretiminde ve küründe şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

2.1.4. Katkı maddesi

Beton numunelerin üretiminde polikarboksilat esaslı yeni jenerasyon bir süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Süperakışkanlaştırıcı çimento ağırlığının %1,2 oranında beton karma suyuna ilave edilmiştir. Bu katkı çok düşük su/çimento oranlarında beton üretiminin gerçekleşmesini sağlar. Düşük su/çimento sayesinde betonda su geçirimsizliğini arttırdığı gibi erken ve nihai dayanımların da çok yüksek olmasını sağlar. Özellikle prefabrik betonları için kullanılmasının yanında kendinden yerleşen beton yapımına da olanak sağlar. Bu katkı maddesinin özellikleri aşağıda verilmiştir.

Tablo 2.6. Kimyasal katkının teknik özellikleri

Katkı Maddesi	Süperakışkanlaştırıcı
Görünüm	Sıvı
Yoğunluk	1,055 ±0,02 gr/cm ³
Renk	Sütlü gri
pH	4,50 ± 1
Katı madde	% 25,00 ± %5
Klorür içeriği	<%0,1

2.2. Beton Karışımları

Bu araştırmada uygulanan deneyler; ilgili Türk standartlarında verilen yöntemlere uygun olarak Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında yapılmıştır.

Üretimde, 250-650 kg/m³ arasında farklı dozaj miktarları ve beton katkı maddesi kullanılarak, 17-22 cm çökme elde edilecek şekilde beton karışımları ile, karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla yine aynı kıvamda katkı maddesi kullanılmayan beton karışımları laboratuvar ortamında hazırlanmıştır.

Farklı çimento dozajları ve katkı kullanımı parametrelerine göre, farklı dozaj miktarları için 5 farklı seride, katkılı ve katkısız olmak üzere on farklı deney grubu belirlenmiş olup, her deney grubu için 18'er adet olmak üzere toplam 180 adet 10x10x10 cm'lik küp numuneler üretilmiştir. Her gruba ait iki numune basınç deneyine tabi tutulmuştur.

Beyaz beton karışımlarında, her deney grubu için katkı miktarı sabit tutulmuştur. Süper akışkanlaştırıcı katkı, beton karışımlarına çimento miktarının (ağırlıkça) %1.2 oranında kullanılmıştır. Beton karışımlarının hazırlanması esnasında öncelikle, agregalar ve çimento kuru olarak karılmış, daha sonra kimyasal katkı su ile karıştırılarak karışıma dahil edilmiştir. Karışımların tamamı 14±3°C sıcaklıkta hazırlanmıştır. Standartlara uygun olarak yapılan deney yöntemleriyle üretim aşamasında her grupta taze betonun slump (çökme) değerleri ve birim ağırlığı tespit edilmiştir.

Kıvamlar 17~22 cm arasında olacak şekilde karışıma giren su miktarlarında katkı su azaltma performansına göre, farklılıklar olmuştur. 22 litre yapılan karışım sonucunda, kıvam ayarlanmasında artan su miktarları 1m³ beton karışımına göre düzeltilmiş, su /çimento oranları kaydedilmiştir. Hazırlanan numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkarılmış ve test uygulanacağı zamana kadar bekletilmek üzere kür havuzunda su içerisinde, laboratuvar ortamında açık ve naylon örtülere sarılı olarak herhangi bir işlem yapılmadan bekletilmiştir. Beton numuneler 7, 28 ve 90. gün basınç dayanım değerlerini elde etmek üzere test edilmiştir.

Üretilen betonların kodlandırılmasında ilk iki harf çimentonun cinsini, sonraki değer çimentonun miktarını, sonraki harf katkı içerip içermediğini ve en son harf uygulanan kür şartlarını belirtmektedir. Bu kodlandırma Tablo 2.7’de verilmiştir. Bu özelliklere bağlı olarak üretilen betonların karışım oranları Tablo 2.8’de verilmiştir.

Tablo 2.7. Üretilen betonların kodlandırılması

BÇ	Beyaz Portland Çimentosu
250	250 Dozlu Beton
350	350 Dozlu Beton
450	450 Dozlu Beton
550	550 Dozlu Beton
650	650 Dozlu Beton
K	Katkılı
	Katkısız
S	Su Kürü
A	Açık Hava Kürü
N	Naylon Örtü Kürü

Tablo 2.8. Üretilen betonların karışım oranları

Beton Kodu	Çimento miktarı(kg/m ³)	Katkı türü	Katkı oranı(%)
BÇ250-K	250	Süper	1,2
BÇ250	250	-	-
BÇ350-K	350	Süper	1,2
BÇ350	350	-	-
BÇ450-K	450	Süper	1,2
BÇ450	450	-	-
BÇ550-K	550	Süper	1,2
BÇ550	550	-	-
BÇ650-K	650	Süper	1,2
BÇ650	650	-	-

2.3. Beton Üretimi

Beton üretiminde izlenen sıra şöyledir;

1. Çimentonun, agregaların, kimyasal katkıların ve karma suyunun karışım miktarlarının ayarlanması,
2. Çimentonun ve agregaların karışım oranlarına göre kuru olarak karıştırılması,
3. Karma suyunun istenen çökme miktarını sağlayacak şekilde karışıma kimyasal madde ile birlikte eklenerek karıştırılması,
4. Çökme(slump) deneyinin yapılması,
5. Birim ağırlık deneyinin yapılması,
6. Elde edilen betonların numune kalıplarına çelik çubukla şişlenerek yerleştirilmesi.

Her bir karışımdan boyutları 100x100x100 mm küp numune olmak üzere toplam 18 adet beton numunesi üretilmiştir. Beton numuneleri bir gün sonra kalıplardan çıkarılarak $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ deki kür havuzunda, naylon içerisinde ve laboratuvar ortamında açık bırakılarak deney gününe kadar bekletilmiştir.

2.4. Beton Numunelerin Kür ve Bakımı

Hazırlanan beton karışımlar 3 farklı kür koşulunda deney gününe kadar bekletilmiştir. Bunlar;

1. Su kürü: Numuneler standartlarda belirtildiği gibi kür tankına yerleştirilerek $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ de kirece doymuş su içerisinde bekletilmiştir.
2. Açık kür: Numuneler laboratuvar ortamında (16°C sıcaklık ve %68 nem) içerisinde herhangi bir işlem uygulanmadan bekletilmiştir.
3. Naylon kürü: Numuneler laboratuvar ortamında naylon torbalara yerleştirilip hava almaması için ağızları sıkıca bağlanarak, hava kürü uygulanan deney numuneleri ile aynı ortamda bekletilmiştir.



Şekil 2.2. Laboratuvar ortamında naylon örtüye sarılı ve açık olarak bulunan beyaz betonlar



Şekil 2.3. Üretilen beyaz betonlara uygulanan naylon kürü yöntemi

2.5. Beton Numunelere Uygulanan Deneyler

2.5.1. Taze beton deneyleri

2.5.1.1. Birim ağırlık

Yapılan betonların gerçek bileşimlerini hesaplamak için taze betonda birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. 2,850 lt hacimli silindir kabın içine taze beton şişleme yöntemi ile yerleştirilerek tartılmıştır. Bulunan bu değerlerden gerçek birim ağırlıklar hesaplanmıştır.

2.5.1.2. Çökme deneyi (Slump deneyi)

Taze betonların işlenebilme özelliğinin ölçülmesi amacıyla TS 2871'e göre [53] çökme hunisi ile çökme deneyi yapılmıştır. Çökme deneyinde üst çapı 10 cm, alt çapı 20 cm ve yüksekliği 30 cm olan bir kesik koni, yükseklikleri eşit üç tabaka halinde betonla doldurulur ve her tabaka 25 defa çelik çubukla şişlenir. Koni tamamen doldurulup üstü mala ile düzeltilir. Sonra doldurulan beton sarsılmadan kalıp çekilerek çıkarılır ve kalıp betonun yanına konur. Çökme miktarı, kesik koninin üst yüzeyi ile çöken beton yığınının tepe noktasındaki seviye farkıdır.

2.5.2. Sertleşmiş beton deneyleri

Sertleşmiş beton deneylerinden sadece basınç deneyleri yapılmıştır. Basınç deneylerinde 200 ton kapasiteli basınç presisi kullanılmış olup, yüklemeler 2,5 kgF/cm²/sn'lik bir hızla gerçekleştirilmiştir. Kür havuzunda, naylon örtü içerisinde ve laboratuvar ortamında açık bırakılarak, üç farklı kür yöntemi uygulanan numuneler 7, 28 ve 90. günde standartlarda belirtilen hususlara dikkat edilerek basınç presinde kırılmış ve basınç dayanımları bulunmuştur.



Şekil 2.4. 200 tonluk basınç deney aleti



Şekil 2.5. Basınç deneyi uygulanmış numuneler

BÖLÜM 3. DENEY SONUÇLARI

3.1. Taze Beton Deney Sonuçları

Taze beton deneyleri sonucunda elde edilen birim ağırlıkları ve çökme deneyi sonuçları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Taze beton deney sonuçları

Beton Kodu	Birim ağırlık(kg/m ³)	Çökme
BÇ250-K	2350	19
BÇ250	2333	17
BÇ350-K	2400	19
BÇ350	2333	17
BÇ450-K	2400	22
BÇ450	2333	18
BÇ550-K	2500	20
BÇ550	2300	19
BÇ650-K	2500	20
BÇ650	2300	21

Taze beton deneyleri sonucunda, üretilen betonların gerçek bileşimleri birim ağırlıkları kullanılarak bulunmuştur. Üretilen betonların karışımına giren gerçek malzeme miktarları Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Üretilen betonların karışımına giren gerçek malzeme miktarları

Beton kodu	Çimento (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	<u>Su</u> çimento oranı	Katkı (kg/m ³)	Mermer Tozu (kg/m ³)	Kırma Kum (kg/m ³)	Kırmataş I (kg/m ³)	Kırmataş II (kg/m ³)
BÇ250-K	253	177	0.69	0.066	273	455	364	729
BÇ250	253	202	0.79	-	273	455	364	729
BÇ350-K	362	172	0.47	0.095	254	424	339	679
BÇ350	362	211	0.58	-	254	424	339	679
BÇ450-K	463	193	0.41	0.122	236	393	315	630
BÇ450	463	254	0.54	-	236	393	315	630
BÇ550-K	577	202	0.35	0.152	215	359	287	575
BÇ550	577	272	0.47	-	215	359	287	575
BÇ650-K	695	218	0.31	0.183	193	322	258	517
BÇ650	695	293	0.42	-	193	322	258	517

3.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

Beton üretiminden itibaren 7. günde, 28. günde ve 90. günde yapılan basınç deneylerinin sonuçları Tablo 3.3' de verilmiştir. Basınç deneyleri 10x10 ebatlarında küp numune kaplarından alınan numunelerin kırılmasıyla elde edilmiştir. Bütün deney günlerinde her gruba ait ikişer numune alınıp ortalamaları hesaplanmıştır.

Tablo 3.3 Basınç deneyi sonuçları

Basınç Dayanımı (MPa)				Basınç Dayanım Sonuçları Oranları		
Deney Günleri	7 Günlük	28 Günlük	90 Günlük	Beton Yaşına Göre		
Numune Ebatları	10x10	10x10	10x10	σ_7/σ_{28}	σ_{90}/σ_{28}	
Beton Kodu	BÇ250K-S	26	31	28	0,83	0,90
	BÇ250-S	20	28	32	0,71	1,14
	BÇ350K-S	43	50	55	0,86	1,10
	BÇ350-S	35	46	49	0,76	1,07
	BÇ450K-S	52	60	67	0,86	1,11
	BÇ450-S	43	52	54	0,82	1,04
	BÇ550K-S	55	66	69	0,83	1,04
	BÇ550-S	46	55	58	0,83	1,05
	BÇ650K-S	57	68	74	0,83	1,08
	BÇ650-S	42	58	61	0,72	1,05
	BÇ250K-N	18	20	16	0,90	0,80
	BÇ250-N	18	22	23	0,81	1,04
	BÇ350K-N	35	44	49	0,80	1,11
	BÇ350-N	33	44	47	0,75	1,07
	BÇ450K-N	47	56	62	0,84	1,10
	BÇ450-N	37	41	46	0,90	1,12
	BÇ550K-N	52	60	67	0,86	1,11
	BÇ550-N	39	54	48	0,72	0,88
	BÇ650K-N	56	66	68	0,84	1,03
	BÇ650-N	41	57	55	0,71	0,96
	BÇ250K-A	17	16	13	1,06	0,81
	BÇ250-A	16	20	22	0,80	1,10
	BÇ350K-A	31	42	49	0,73	1,16
	BÇ350-A	28	33	43	0,84	1,30
	BÇ450K-A	45	53	42	0,85	0,80
	BÇ450-A	35	43	46	0,81	1,06
	BÇ550K-A	50	60	64	0,83	1,06
	BÇ550-A	37	51	46	0,72	1,10
	BÇ650K-A	54	60	61	0,90	1,01
	BÇ650-A	40	50	51	0,80	0,98

Basınç dayanımları (3.1) bağıntısından hesaplanmıştır. Bu bağıntıda kuvvet $P(N)$, basınç kuvvetinin uygulandığı alan $A(mm^2)$, elde edilen basınç dayanımı $\sigma_b(MPa)$ olarak alınmıştır. Basınç dayanımı, kırılma yükünün numunenin basınç uygulanan kesit alanına bölünerek aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\sigma_b = P/A \quad (3.1)$$

BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Aynı granülometriye sahip, çimento dozajı 250-650kg/m³ arasında değişen kimyasal katkılı ve katkısız beyaz betonlarda farklı kür şartlarının beton özelliklerine etkisinin araştırıldığı çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekillerde gösterilmiş ve beton dayanımlarında ki değişimler incelenmiştir.

İyi bir beton elde etmek için iyi bir karışım ve yerleştirmenin yanı sıra dayanım kazanma evrelerinde betonun uygun bir ortamda ve uygun yöntemlere göre bakımı (kür'ü) yapılmalıdır. Betona uygulanan pek çok kür yöntemi olmasına rağmen iyi korunamayan betonarme yapılarda zamanla onarılması güç hasarlar meydana geldiği bilinmektedir.

Beton kür uygulamasında temel amaç çimento hidrasyonunu teşvik etmek için betona yeterli nem ve sıcaklığı sağlamaktır. Betona kür uygulanması, özellikle de betonun erken yaşlarda kötü hava koşullarına maruz kaldığı durumlarda, betonun dayanımının ve dayanıklılığının sağlanması açısından oldukça önemlidir [54].

Farklı kür şartlarının kimyasal katkılı ve normal betonun basınç dayanımına etkisi ile ilgili sonuçlar incelendiğinde, su içerisinde saklanan numunelerin dayanımları diğer kür şartlarına göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Su kürüne tabi tutulan numunelerin basınç dayanımlarının naylon kürü ve açık küre göre yüksek çıkmasının sebebi, çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşan hidrasyon ürünleri (çimento jelleri), çimento hamurunun bağlayıcılığını sağlamakla birlikte çimento hamurundaki kapiler boşluk oranını azaltması olarak açıklanabilir. Bir başka deyişle çimento hamurunun kazanacağı dayanım hızı ve miktarı, hidrasyonu ne ölçüde gerçekleştirmiş olduğuna bağlıdır [5].

Betonun kalıbına yerleştirme aşamasından katılarak dayanım kazanmaya devam etme süresince çevre koşullarının betonun üzerinde büyük etkisi bulunmaktadır. Bu aşamada hidrasyon olayının normal bir şekilde gelişmesini engelleyen faktörler vardır. Sözgelimi beton karışımına giren suyun ancak %25 kadarı hidrasyonda kullanılmaktadır. Hidrasyon için gerekli olan sudan daha fazlası betona konulsa da yine hidrasyon süresince bu suyu betonda tutmak zor olduğundan, beton sertleşme aşamasında hidrasyon için ilave nem ve suya ihtiyaç duymaktadır. Naylon örtü ile kaplanarak çevre koşulları ile teması kesilen betonlarda bünyeden buharlaşma yoluyla ayrılacak su miktarının daha az olması sağlandığından dayanım açık küre göre daha yüksek bulunmuştur. Fakat betonun içerisine su girişi engellendiğinden hidrasyon sonucunda beton bünyesindeki suyun tükenmesiyle oluşan su kaybı sonucu, ilerleyen zamanlarda betonun dayanımı su kürü uygulanan numuneler gibi olmadığı da görülmüştür.

Laboratuvar ortamında açık olarak bulunan numunelerde gerekli nem sağlanamadığından hidrasyonun yetersiz gerçekleşmesi nedeniyle dayanımı en düşük bulunmuştur.

Kalıbına yerleştirilen taze beton zamanla katılarak dayanım kazanmaya başlar. Genellikle 28 günde yaklaşık dayanımının %70'ini tamamlar. Geri kalan kısmını da zamanla daha yavaş artan değerlerle hidrasyon için gerekli olan nem, su bulabilirse tamamlar. Her zaman havada azda olsa nem vardır. Beton hidrasyon için gerekli olan ıslaklığı havadaki nemden alabilir. Yapılan deneylerde ortamın bağıl nem oranının yüksek olması halindeki beton dayanımı, kuru ortamda betonun kazanacağı dayanımdan daha yüksek olduğunu göstermiştir. 28 günlük açık kür uygulanan numunelerin dayanımının naylon kürüne yakın değerler aldığı görülmüştür. Bu durumu, ortamda bulunan bağıl nem oranının yüksek olması nedeniyle betonun hidrasyonunu ortamda ki nemin yardımıyla devam ettirdiğini söyleyebiliriz. Ancak açık kür uygulaması sonucu ilerleyen zamanlarda dayanımın giderek düştüğü de tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışmada ortam koşullarının nem ve sıcaklık olarak Kasım ayı için ortalama ($14\pm 3^{\circ}\text{C}$ sıcaklık, %68 nem) olduğu düşünüldüğünde, buharlaşma hızının

sıcak aylara oranla daha az olduğu bilinen bir durumdur. Benzer çalışma daha yüksek sıcaklık ve daha düşük nemin söz konusu olduğu ortamlarda yapılmış olsaydı (yaz aylarında), açıkta bekletilen numunelerin aleyhine daha düşük sonuçlar çıkması beklenilebilirdi.

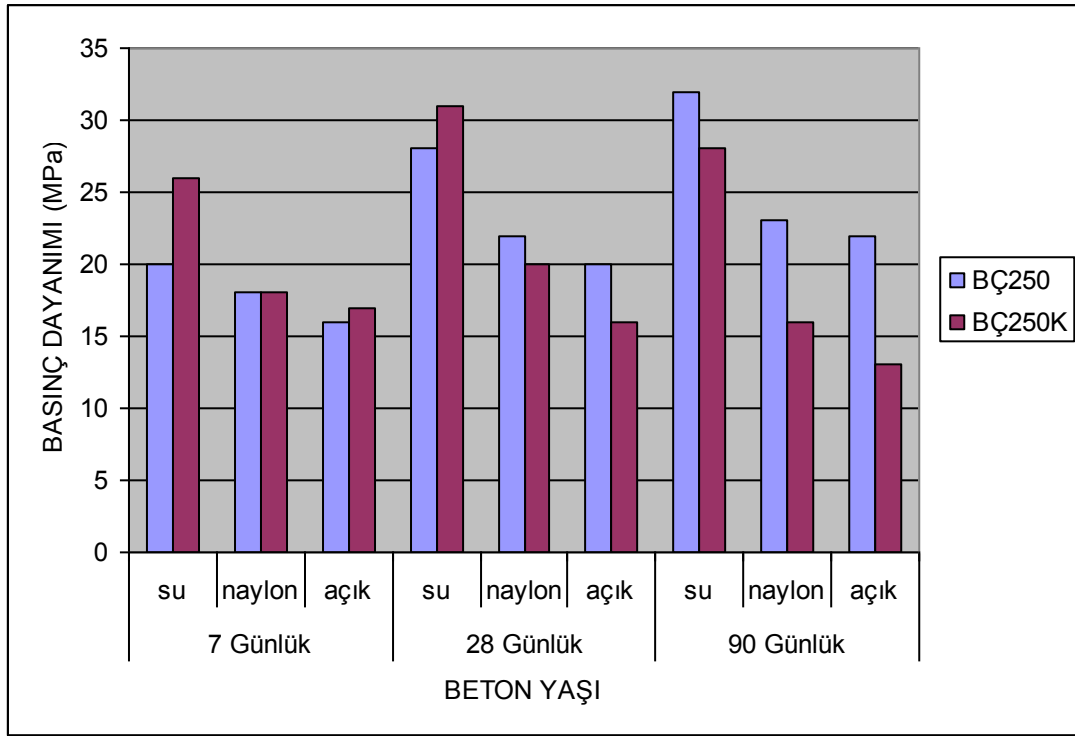
Beton karışımlarında kimyasal katkının kullanılması ile betonun basınç dayanımı üzerinde olumlu etkisi üç kür yönteminde ve bütün zaman dilimlerinde normal beton davranışı eğiliminde olup su içerisinde kür yönteminde en fazla dayanım değerine ulaşılmıştır. Genel olarak incelendiğinde her çimento dozajında basınç dayanımı zamanla artarak 90. günde en yüksek değerlere ulaşılmış, katkıli numunelerde dayanım normal numunelere göre daha yüksek çıkmıştır. Karışıma katılan katkının esas özelliği taze beton özelliklerinden işlenebilmeyi kolaylaştırmasıdır. Bunun sonucunda iyi yerleşen ve sıkıştırılan betonun dayanımının artması da uygulanan kür şekline göre değişmektedir.

Basınç dayanımları 28. ve 90. günde yaklaşık olarak birbirine yakındır. Kimyasal katkının basınç dayanımları üzerindeki etkisinin erken yaşlarda çimento miktarına bağlı olarak değiştiği, ancak ileriki yaşlarda bu farkın ortadan kalktığı söylenebilir.

4.1. Kür Koşulları ve Katkı Kullanımının Basınç Dayanımına Etkisi

4.1.1. 250 doz çimento ile yapılan deneyler

Sertleşmiş beton deney sonuçlarından bulunan ve Tablo 3.3'den alınan, 250 doz çimento ile yapılan deneylerin, 10x10 ebatlarındaki küp numunelerin kırılmasıyla elde edilen ortalama basınç dayanımları Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



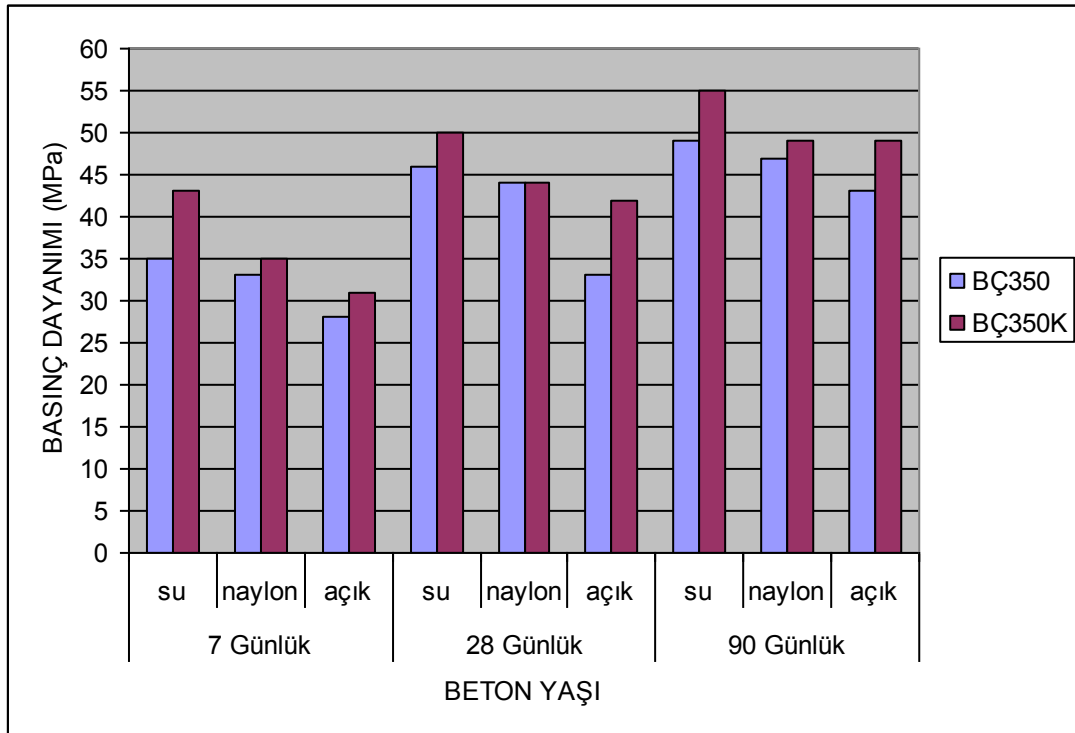
Şekil 4.1. 250 doz çimento ve süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı ile yapılan deneylerin farklı kür şartlarındaki değişimi

Şekil 4.1’de görüleceği üzere 28. güne kadar BÇ250K-A dışında üretilen bütün betonların basınç dayanımları zaman içinde artış göstermesine rağmen 90. günde numunelerin dayanımında farklılıklar görülmüştür. 90 günlük katkısız betonlarda dayanımda artış devam etmiş fakat katkılı betonların dayanımlarda beklenildiğinin aksine dikkate değer bir azalma görülmüştür. Deney esnasında üretilen BÇ250 katkılı numunelerde, hazırlanan beton karışımında segregasyon oluşmuş böylece homojenliğin yetersiz olduğu gözlenmiştir. Bununla beraber kullanılan ahşap kalıplarının eski olması dolayısıyla hazırlanan karışımlar yerleştirildikten sonra kalıptan sızma görülmüş, böylece bağlayıcı miktarı azalmıştır. Bunların sonucunda doğal olarak BÇ250K betonunun dayanımı ilerleyen zamanda azalma göstermiştir. Genel olarak katkı kullanımı ile dayanımda artış görülmekte ve bu artış, betona uygulanan kür metoduna göre farklılıklar göstermektedir. Betonların kür metodlarına göre farklılığı incelendiğinde Şekil 4.1’den anlaşılacağı üzere su kürü uygulanan numunelerin basınç dayanımı diğer iki kürden, naylon örtüye sarılı olarak bekletilen numunelerin ise laboratuvar ortamında açık olarak bırakılan numunelerden daha

yüksek çıkmıştır. Katkısız betonların kür farkları incelendiğinde, laboratuvar ortamında açık olarak bırakılan betonlara göre, naylon örtü kür metodu basınç dayanımını, yaklaşık %10 oranında, su kürünün ise %36 oranında artırdığı görülmüştür.

4.1.2. 350 doz çimento ile yapılan deneyler

Sertleşmiş beton deney sonuçlarından bulunan ve Tablo 3.3'den alınan, 350 doz çimento ile yapılan deneylerin, 10x10 ebatlarındaki küp numunelerin kırılmasıyla elde edilen ortalama basınç dayanımları Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



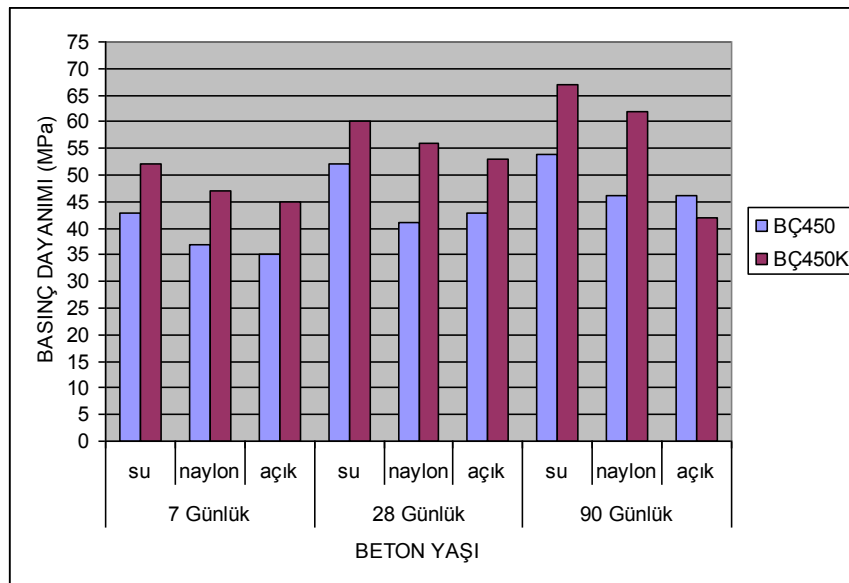
Şekil 4.2. 350 doz çimento ve süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı ile yapılan deneylerin farklı kür şartlarındaki değişimi

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi 7, 28 ve 90 günlük deney sonuçlarına göre en yüksek dayanıma BÇ350K-S, en düşük dayanıma BÇ350-A betonlarının sahip olduğu görülmüştür. Bununla beraber zaman arttıkça dayanım kür şartlarına ve katkı kullanımına bağlı olarak artmaktadır. Şekilde ilk yaşlarda dayanımı normal olarak

seyreden BÇ350K-N ve BÇ350K-A beton numunelerin, 90. günde dayanımlarının eşit olduğu gözlenmiştir. Bu şekilde de görüldüğü üzere su küründe bekletilen karışımlarda, diğer kür koşullarına göre dayanım daha yüksek çıkmıştır. Hava ile teması kesilmiş naylon örtü sarılı numunelerde ise dayanım açık kür yöntemine göre daha yüksek bulunmuştur. Katkılı betonlarda su kürüne göre dayanım kayıpları sırasıyla 7, 28, 90. günde naylon örtü küründe %18, %12, %10 iken, açık kürde ise %28, %16, %10 olduğu görülmüştür. Katkısız betonlarda ise yine su kürüne göre 7, 28 ve 90. günlerde naylon küründe sırasıyla %6, %4, %4 iken, açık kürde %20, %28, %12'lik bir dayanım kaybı söz konusudur. Şekil 4.2' den anlaşılacağı üzere katkılı betonlarda kür koşullarının etkisi belirgin bir şekilde görülürken, katkısız betonlarda naylon kürü, su kürüne yakın değerler almış, açık kür ise diğer iki kürden daha düşük bulunmuştur. 350 dozajlı beyaz betonlarda su kürüne göre, katkılı numunelerde dayanım katkısız numunelere göre yaklaşık %14 artış göstermiştir.

4.1.3. 450 doz çimento ile yapılan deneyler

Sertleşmiş beton deney sonuçlarından bulunan ve Tablo 3.3'den alınan, 450 doz çimento ile yapılan deneylerin, 10x10 ebatlarındaki küp numunelerin kırılmasıyla elde edilen ortalama basınç dayanımları Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

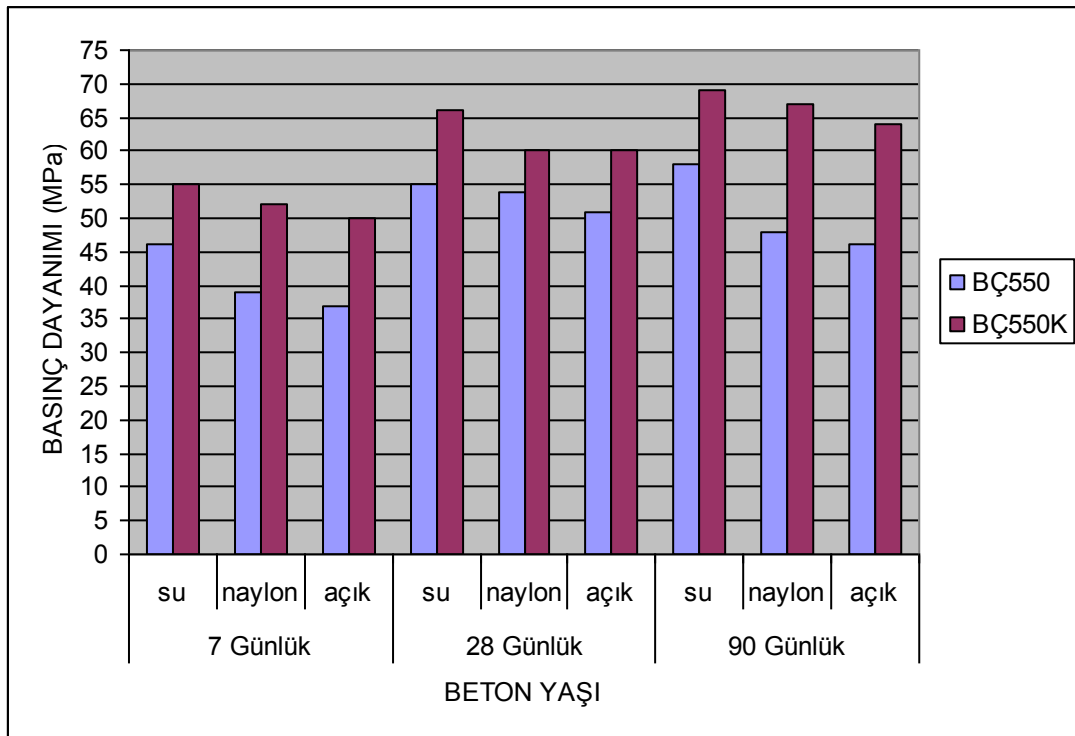


Şekil 4.3. 450 doz çimento ve süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı ile yapılan deneylerin farklı kür şartlarındaki değişimi

Şekil 4.3’de görüldüğü gibi 450 dozlu beton numunelerin içerisinde katkı ve su kürü içerisinde bekletilen BÇ450K-S beton numunesi her yaşta en yüksek basınç dayanımını göstermiştir. Bununla beraber 7 günlük dayanımlarda BÇ450-A, 28 günlük dayanımlarda BÇ450-N, 90 günlük dayanımlarda BÇ450K-A en düşük dayanıma sahip olmuştur. Bütün numunelerin dayanımınlarında genel olarak zamanla artış gözlenirse de, 90 günlük dayanımlarda BÇ450-A ile BÇ450-N aynı dayanımı göstermiş, BÇ450K-N beton numunesinin dayanımında BÇ450-N numunesine göre %8’lik bir azalma görülmüştür. Bu sonuçlardan da görüldüğü üzere en uygun kür yönteminin suda korunması olduğu bilinen yaklaşımla uyuşmaktadır. Naylon örtü kürü uygulanmasıyla, numunelerin ortam koşullarıyla teması kesilmiş ve beton bünyesinde bulunan su ile hidrasyonuna devam etmiştir. Laboratuvar ortamında açık olarak bulunan numunelerde ise yeterli hidrasyon yapamaması nedeniyle dayanımlarında 28. günden sonra azalma görülmüştür. 450 dozlu beyaz betonlarda katkı kullanımı ile dayanım katkısız betonlara göre yaklaşık olarak %22 artış göstermiştir. Katkısız betonların dayanımında naylon küründe, açık küre göre 7 ve 28. günde %5, su küründe ise naylon kürüne göre 7, 28 ve 90. günde sırasıyla %16, %27, %17 artış görülmüştür. Katkılı betonların dayanımında ise açık küre göre naylon küründe 7, 28 ve 90. günde sırasıyla %4, %5 %32, su küründe ise naylon kürüne göre %10, %7, %5 artış bulunmuştur.

4.1.4. 550 doz çimento ile yapılan deneyler

Sertleşmiş beton deney sonuçlarından bulunan ve Tablo 3.3’den alınan, 550 doz çimento ile yapılan deneylerin, 10x10 ebatlarındaki küp numunelerin kırılmasıyla elde edilen ortalama basınç dayanımları Şekil 4.4’de gösterilmiştir.

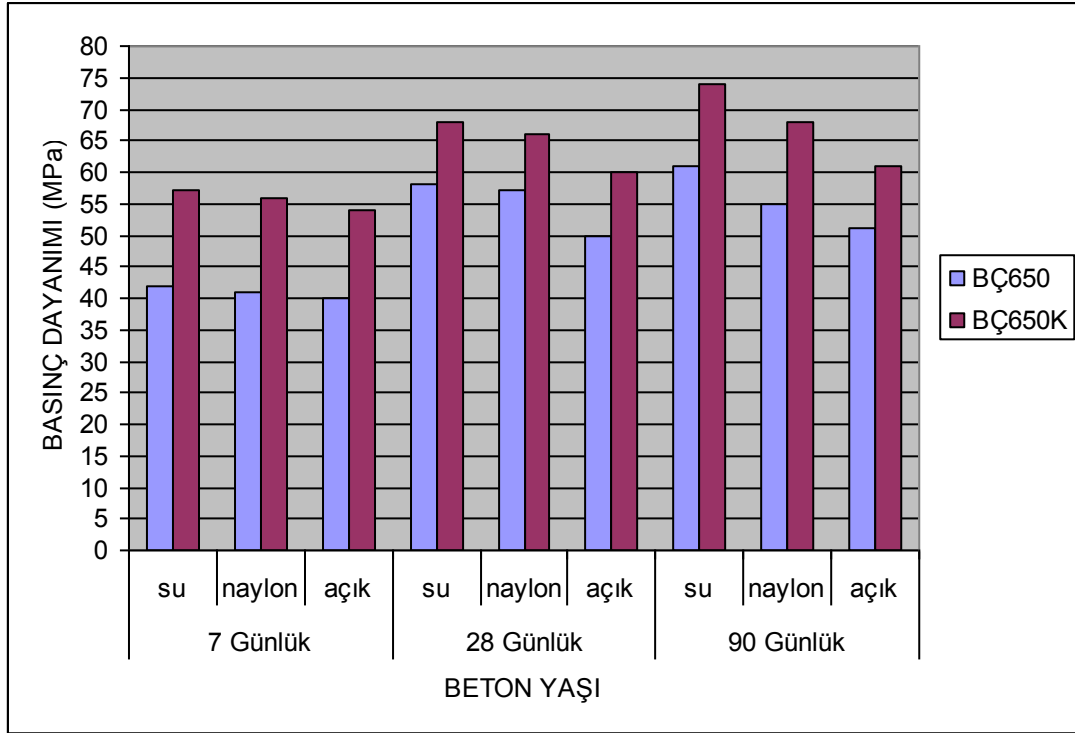


Şekil 4.4. 550 doz çimento ve süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı ile yapılan deneylerin farklı kür şartlarındaki değişimi

Şekil 4.4'de görüldüğü gibi 550 dozlu beton numunelerin 7, 28 ve 90 günlük dayanımlarında BÇ550K-S en yüksek, BÇ550-A en düşük dayanıma sahip olmuştur. 7 günlük betonlarda katkı kullanımı dayanımı %30 artırmıştır. 28 günlük katkısız betonlarda su kürü uygulanan numunenin dayanımı ile naylon kürü uygulanan numune dayanımı arasında %2'lik bir fark görülmüştür. 28. gün katkılı betonlarda dayanım su küründe diğer iki küre göre %10 yüksek, naylon örtü kürü ve açık kürde ise birbirine eşit bulunmuştur. 90. günde katkılı ve katkısız betonların dayanımları genel olarak artmış olmasına rağmen BÇ550-N ve BÇ550-A numunelerinin dayanımlarında belirgin bir düşüş görülmüştür. 90 günlük katkılı numunelerde dayanım, katkısız numunelere göre yaklaşık %33 artmış, katkılı ve katkısız numunelerde dayanımlar her üç kürde birbirine çok yakın değerler almıştır.

4.1.5. 650 doz çimento ile yapılan deneyler

Sertleşmiş beton deney sonuçlarından bulunan ve Tablo 3.3'den alınan, 650 doz çimento ile yapılan deneylerin, 10x10 ebatlarındaki küp numunelerin kırılmasıyla elde edilen ortalama basınç dayanımları Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. 650 doz çimento ve süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı ile yapılan deneylerin farklı kür şartlarındaki değişimi

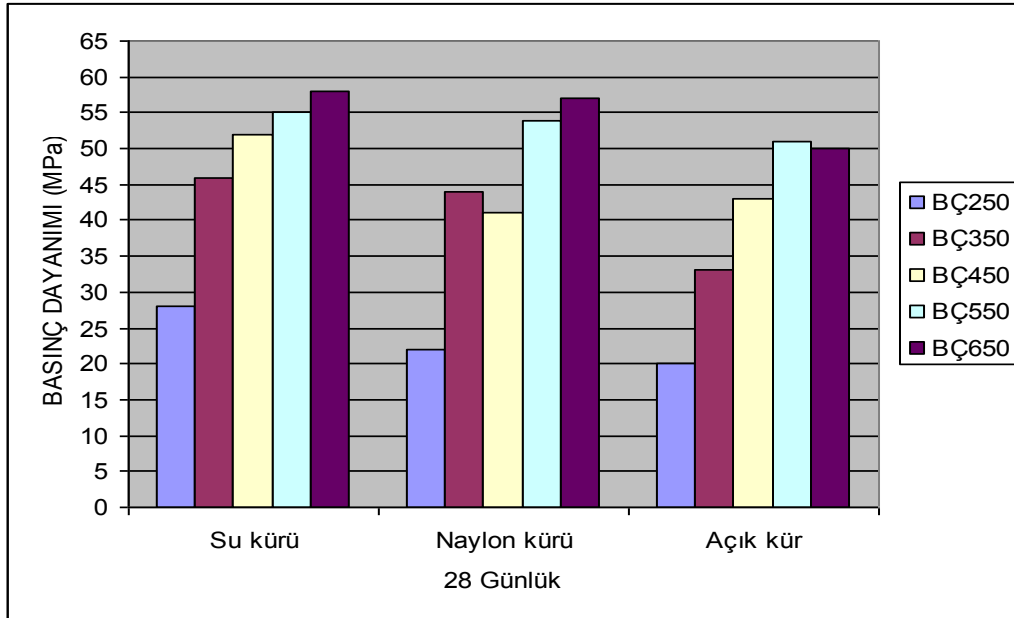
Şekil 4.5' de görüldüğü gibi 650 dozlu numunelerde 7, 28 ve 90. günde BÇ650K-S en yüksek, BÇ650-A ise en düşük dayanımı göstermiştir. 7. günde katkılı numunelerin dayanımı katkısız numunelere göre %35 yüksek çıkmış, katkılı ve katkısızların kendi aralarında her üç kürde de değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. 28. günde dayanımlar artmış, su ve naylon örtü kürü, katkılı ve katkısızlarda yaklaşık %3 yakın bulunmuş, açık kür uygulanan numunelerde dayanım 7. güne göre BÇ650K-A'da %11, BÇ650-A'da %25 artmış olmasına rağmen, diğer iki kürden yaklaşık %15 düşük olarak bulunmuştur. 90. günde dayanım 28. güne göre katkılılar ve katkısızlardan BÇ650-S ve BÇ650-A için

yaklaşık %4 artış göstermiş, BÇ650-N’de ise dayanım %7 azalmıştır. Bu durum su kürünün diğer kür yöntemleri arasından en uygun yöntem olduğunu göstermekle beraber, laboratuvar ortamının olumsuz hava şartlarına maruz kalmamasına rağmen açık kür uygulanan numunelerde dayanım su kürü uygulanan numunelere göre BÇ650 ve BÇ650K betonları için yaklaşık %11 daha düşük olduğu görülmüştür. Betonun basit bir yöntem olan naylon örtü ile örtmekle yapılan kürde açık küre göre dayanım %8 daha yüksektir. Bu durum betonun mümkün olduğu kadar su kürüne yakın sonuçlar verecek yöntemlerle kür edilmesi gerektiğini göstermektedir.

4.2. Çimento Dozajının Basınç Dayanımına Etkisi

4.2.1. Katkısız beyaz beton numuneler

Sertleşmiş beton deney sonuçlarından bulunan ve Tablo 3.3’den alınan, 250-650kg/m³ arasında değişen çimento miktarı ile yapılan katkısız numunelerin 28 günlük ortalama basınç dayanımları Şekil 4.6’de gösterilmiştir.



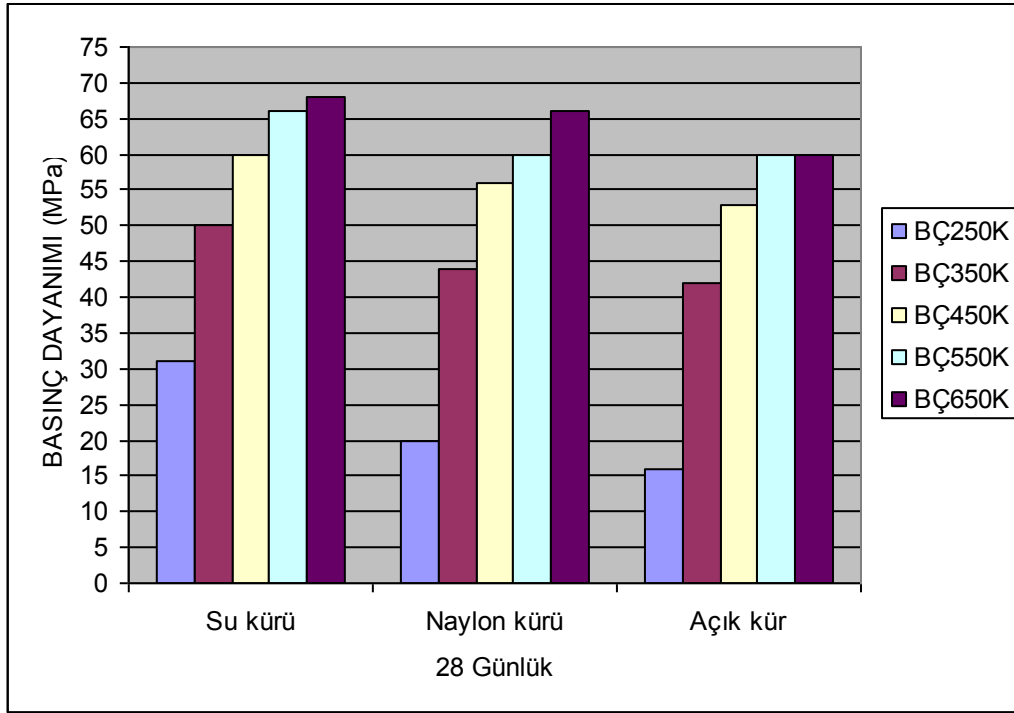
Şekil 4.6. Çimento miktarı 250-650kg/m³ arasında değişen katkısız beyaz betonların basınç dayanımının 28. günde farklı kür şartlarına bağlı değişimi

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi katkısız olarak üretilen numunelerin basınç dayanımları su küründe en yüksek çıkmıştır. Diğer kür şartlarında numunelerin dayanımında düşüş görülse de naylon örtü kürü uygulanan numunelerin dayanımı su kürüne yakın bulunmuştur. Naylon küründe, betonların geçirimsiz örtü ile kaplanması dolayısıyla numuneler ortam koşullarından etkilenmeyerek, bünyesinde bulunan suyu muhafaza etmiş ve hidrasyona devam etmiştir. Laboratuar ortamında açık olarak bulunan numunelerde, herhangi bir kür uygulaması olmadığından hidrasyonun yetersiz olması nedeniyle dayanımı diğer iki kür koşuluna göre en düşük çıkmıştır.

Ayrıca Şekil 4.6'da görüldüğü gibi çimento miktarı arttıkça dayanımda bir artış gözlenmiştir. Bu durum uygulanan kür yöntemine göre farklılıklar göstermiştir. Su küründe dayanımlar çimento dozajının artmasıyla artmış, diğer iki kürde genel olarak artmasına rağmen naylon kür uygulamasında BÇ350, BÇ450'den %7, açık kürde ise BÇ550, BÇ650'den %2 yüksek olduğu görülmüştür.

4.2.2. Katkılı beyaz beton numuneler

Sertleşmiş beton deney sonuçlarından bulunan ve Tablo 3.3'den alınan, 250-650kg/m³ arasında değişen çimento miktarı ile yapılan katkılı numunelerin 28 günlük ortalama basınç dayanımları Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

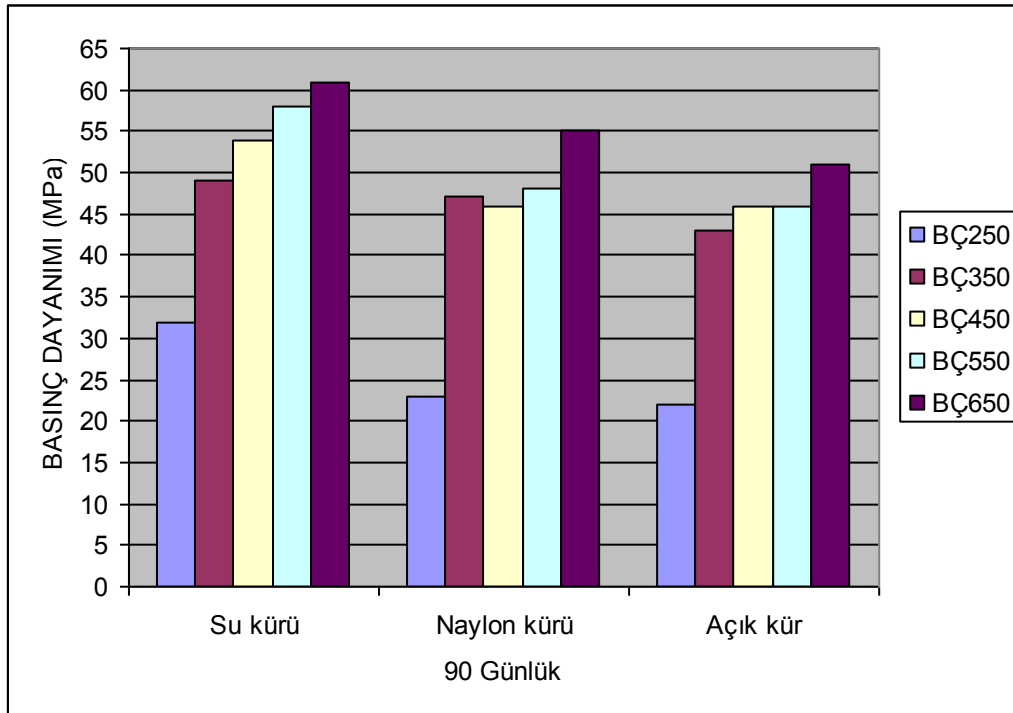


Şekil 4.7. Çimento miktarı 250-650kg/m³ arasında değişen katkılı beyaz betonların basınç dayanımının 28. günde farklı kür şartlarına bağlı değişimi

Şekil 4.7'de görüldüğü gibi katkılı numunelerde de en yüksek dayanım su küründe görülmüştür. Bunu naylon kürü ve açık kür takip etmiştir. Genel olarak çimento dozajı arttıkça basınç dayanımı artmıştır. Yalnız açık kürde, BÇ550K ile BÇ650K dayanımı eşit çıkmıştır. Su küründe çimento miktarının 250-650 kg/m³ arasında değişmesiyle dayanım naylon küre göre %17, açık küre göre %19 yüksek bulunmuştur.

4.2.3. Katkısız beyaz beton numuneler

Sertleşmiş beton deney sonuçlarından bulunan ve Tablo 3.3'den alınan, 250-650kg/m³ arasında değişen çimento miktarı ile yapılan katkısız numunelerin 90 günlük ortalama basınç dayanımları Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

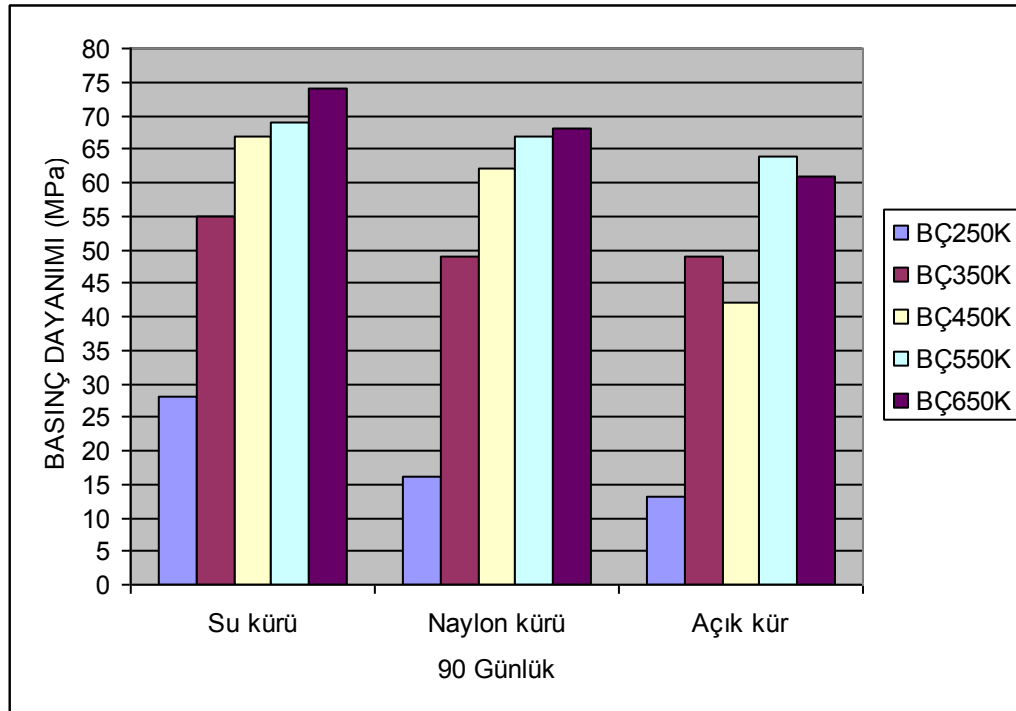


Şekil 4.8. Çimento miktarı 250-650kg/m³ arasında değişen katkısız beyaz betonların basınç dayanımının 90. günde farklı kür şartlarına bağlı değişimi

Şekil 4.8' de görüldüğü gibi ilerleyen yaşlarda dayanımlar arasındaki fark giderek büyümüştür. Su küründe çimento dozajı artmasıyla birlikte dayanım artarken, naylon ve açık kürde BÇ650'nin dışında diğer dozların dayanımlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür. 90. gün katkısız numunelerde naylon kürü, su kürüne göre sırayla BÇ250'den BÇ650'ye kadar %28, %4, %15, %17, %10'luk, açık kür ise su kürüne göre %31, %12, %15, %20, %16'lık bir dayanım kaybı göstermiştir.

4.2.4. Katkılı beyaz beton numuneler

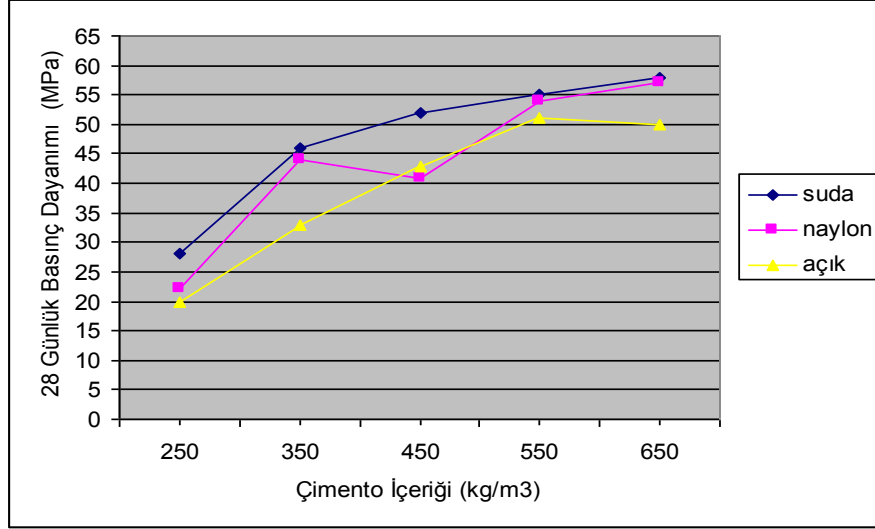
Sertleşmiş beton deney sonuçlarından bulunan ve Tablo 3.3'den alınan, 250-650kg/m³ arasında değişen çimento miktarı ile yapılan katkılı numunelerin 90 günlük ortalama basınç dayanımları Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Çimento miktarı 250-650kg/m³ arasında değişen katkılı beyaz betonların basınç dayanımının 90. günde farklı kür şartlarına bağlı değişimi

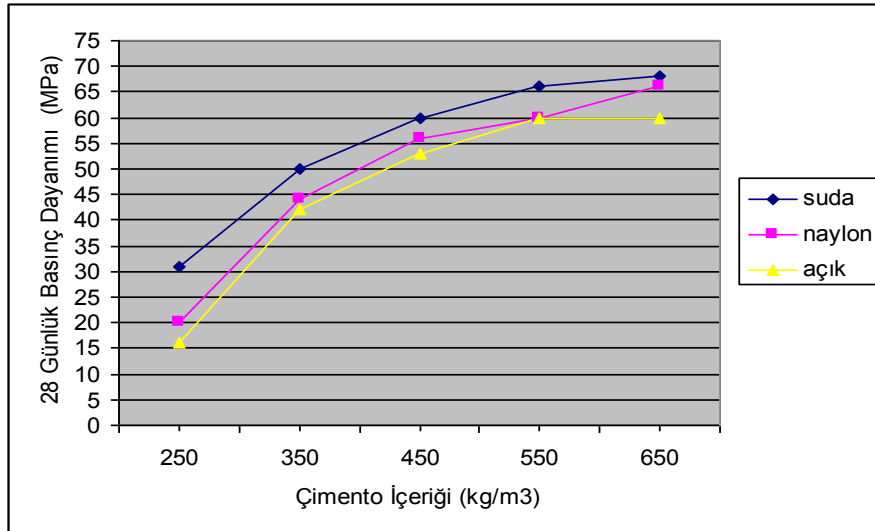
Şekil 4.9'da görüldüğü üzere katkılı numunelerde dayanım en düşük açık kürde görülmüştür. 28. günde olduğu gibi 90. günde de değişen çimento miktarlarına göre dayanım su küründe normal seyrini göstermiş, çimento içeriği arttıkça dayanım artmıştır. Naylon örtü küründe de çimento dozajının artmasıyla dayanım artmış, açık kürde ise farklılıklar gözlenmiştir. Naylon küründe dayanım su kürüne göre BÇ250K'dan BÇ650K'ya kadar sırayla %43, %10, %7, %3, %8 düşmüştür. Laboratuvar ortamında açık bırakılan beyaz betonlarda ise su kürüne göre dayanım, sırayla %53, %10, %37, %7, %18 düşük bulunmuş, BÇ450K-A numunesinin dayanımı BÇ350K-A'ya göre %14, BÇ650K-A numunesinin dayanımı da BÇ550K-A'dan %4 düşük olduğu görülmüştür.

250-650 kg/m³ arasında değişen imento dozlarında üretilen katkısız beyaz beton numunelerde 28 günlük dayanımın kr şartlarına bağlı değişimi aşağıda Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



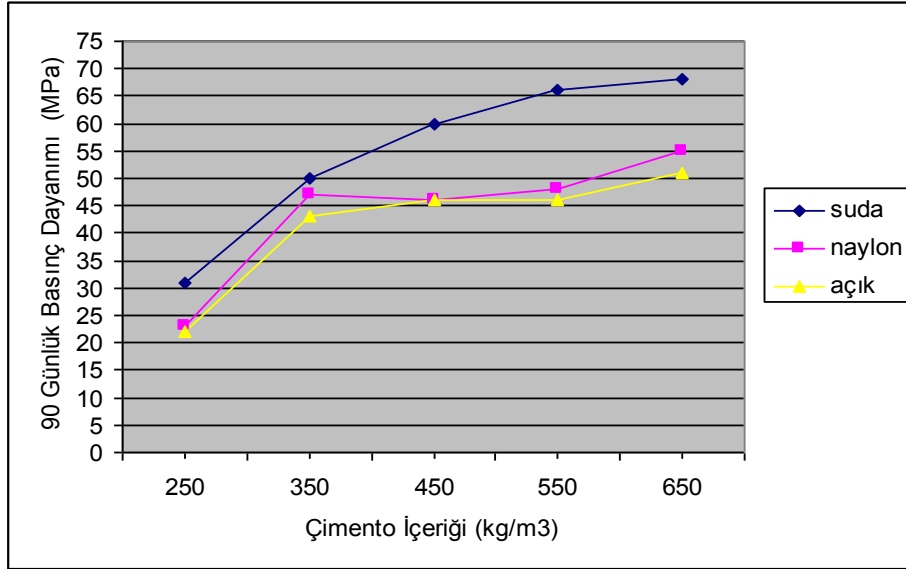
Şekil 4.10. Farklı kür şartlarında bekletilen katkısız beyaz beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımlarının imento dozajına bağlı değişimi

250-650 kg/m³ arasında değişen imento dozlarında üretilen katkılı beyaz beton numunelerde 28 günlük dayanımın kr şartlarına bağlı değişimi aşağıda Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



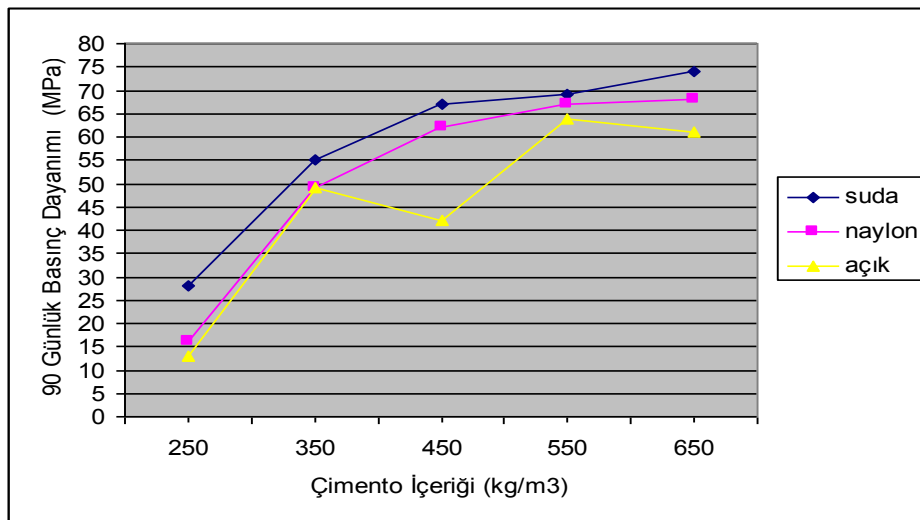
Şekil 4.11. Farklı kür şartlarında bekletilen katkılı beyaz beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımlarının imento dozajına bağlı değişimi

250-650 kg/m³ arasında değişen imento dozlarında üretilen katkısız beyaz beton numunelerde 90 günlük dayanımın kr şartlarına bağlı değişimi aşağıda Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Farklı kür şartlarında bekletilen katkısız beyaz beton numunelerinin 90 günlük basınç dayanımlarının imento dozajına bağlı değişimi

250-650 kg/m³ arasında değişen imento dozlarında üretilen katkılı beyaz beton numunelerde 90 günlük dayanımın kr şartlarına bağlı değişimi aşağıda Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Farklı kür şartlarında bekletilen katkılı beyaz beton numunelerinin 90 günlük basınç dayanımlarının imento dozajına bağlı değişimi

250-650 kg/m³ arasında değişen imento içerikli katkılı ve katkısız olarak üretilen beyaz betonların 28 günlük naylon örtü ve açık kr dayanımlarının, su kürü dayanım değerlerine oranları aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.1. retilen beton gruplarının su içerisinde kr edilenlere gre bağlı değerleri

<u>B250-N</u> B250-S	0,78	<u>B250K-N</u> B250K-S	0,64
<u>B250-A</u> B250-S	0,71	<u>B250K-A</u> B250K-S	0,51
<u>B350-N</u> B350-S	0,95	<u>B350K-N</u> B350K-S	0,88
<u>B350-A</u> B350-S	0,71	<u>B350K-A</u> B350K-S	0,84
<u>B450-N</u> B450-S	0,78	<u>B450K-N</u> B450K-S	0,93
<u>B450-A</u> B450-S	0,82	<u>B450K-A</u> B450K-S	0,88
<u>B550-N</u> B550-S	0,98	<u>B550K-N</u> B550K-S	0,90
<u>B550-A</u> B550-S	0,93	<u>B550K-A</u> B550K-S	0,90
<u>B650-N</u> B650-S	0,98	<u>B650K-N</u> B650K-S	0,97
<u>B650-A</u> B650-S	0,86	<u>B650K-A</u> B650K-S	0,88

Tablo 4.1’de grldğ gibi katkısız beyaz beton numunelerde, 28 gnlk dayanım oranlarından B250-A ve B350-A’nın su kürü dayanımlarına oranı %71 olarak en düşük, B550-N ve B650-N’nin %98 olarak en yüksek olduğu grlmştir. Katkılı beyaz betonlarda ise 28 günlük dayanım oranlarına göre, %51 olarak en düşük B250K-A, %97 olarak en yüksek B650K-N bulunmuştur. Bu sonuçlardan anlaşılacağı üzere; katkısız betonların düşük dozlarında farklı kür şartlarının etkisi daha açık görülürken, katkılı betonların yüksek dozlarında bu etki giderek azalmıştır.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Taze Beton Deney Sonuçları

Taze betonlarda ölçülen birim ağırlık değerleri 2300-2500 kg/m³ aralığında değişmiştir. Birim hacim ağırlıklar, genellikle çimento dozajının artması durumunda azalma göstermiş bununla beraber katkı kullanılması durumunda çimento dozajının artmasıyla artmıştır.

Süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı beton karışımında çimento tanelerinin topaklaşmasını engelleyerek homojen dağılmasını sağladığından, kullanılan malzeme miktarları ve oranlarını değiştirmeden, taze betonun işlenebilme özelliğini artırır. Polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılması sonucunda üretilen katkılı betonlarda, normal betonlara göre işlenebilirliğin kolaylaştığı, su-çimento oranının düştüğü görülmüştür.

Süper akışkanlaştırıcı katıların çimento taneleri ya da çimento hidrasyon ürünleri üzerinde absorbe olma süreleri kıvam ve kıvam koruma özelliklerini etkilemektedir. Çimento taneleri üzerinde hızlı bir şekilde absorbe olanlar başlangıçtaki akışkanlığı artırırken ileri sürelerde bu özelliklerini koruyamamaktadır [55]. Bu nedenle süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılarak üretilen betonların başlangıçtaki yüksek işlenebilirlikleri, kısa süre sonra kaybolabilmektedir [56].

Kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkı tüm karışımlarda bu davranışı sergilemiştir. İşlenebilirliği etkileyen bir diğer önemli faktör, karışımın çimento içeriğidir. Çimento dozajının 250 kg/m³'ten 650 kg/m³'e çıkarılması karışımların tümünde işlenebilirliği arttırmıştır. Bu beklenen bir durumdur. Çünkü katkısız bir karışımda dahi, çimentonun artmasıyla daha fazla akışkanlık gözlenir. Bu durum, polikarboksilat

esaslı kimyasal katkı kullanılması durumunda, su kesme kapasitesinin, çimento dozajı arttıkça daha fazla artacağına işaret eder.

5.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

1-Genel olarak estetik ve dekoratif özelliklere sahip olduğu düşünülen beyaz çimento, yük taşıma kabiliyeti açısından da gösterdiği yüksek performansla, beyaz betonarme yapı imalatlarında da rahatlıkla kullanılabilir.

2-Beyaz portland çimentosu ve beyaz kalker agregası kullanılarak C50 sınıfı beton üretilebilir.

3-Beton karışımlarında kimyasal katkı kullanılması ile betonun basınç dayanımı üzerine olumlu etkisi üç kür yönteminde ve bütün zaman dilimlerinde normal beton davranışı eğiliminde olup su içerisinde kür yönteminde en fazla dayanım değerine ulaşılmıştır.

4-Dayanımlar arasında sadece 28 günlük numunelerde belirgin bir fark görülmesine rağmen karışıma katılan katkının esas özelliği taze beton özelliklerinden işlenebilmeyi kolaylaştırmasıdır. Bunun sonucunda iyi yerleşen ve sıkıştırılan betonun dayanımının artması da uygulanan kür şekline göre değişmektedir.

5-Deneysel çalışmada kullanılan yeni nesil polikarboksilat (polikarboksilat içerikli kimyasal katkı) bazlı akışkanlaştırıcı ile farklı çimento dozlarında hazırlanan numunelerde, kontrol karışımına kıyasla, karışım suyu %12 ile % 25 arasında azalmıştır. Renksiz ve şeffaf olarak seçilen bu katkı beyaz betonun renginde bir değişikliğe yol açmamıştır.

6-Beton üretiminde, süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımıyla su azaltma etkisinden dolayı meydana gelen dayanım artışları ile birlikte işlenebilme ve ayrışma problemleri de ortaya çıkabilmektedir. Bu etkiler göz önünde bulundurularak uygun katkı dozu seçimi yapılmalıdır.

7- Yerleştirme esnasında boşluksuz bir yapı oluşması ve karışımdaki su miktarının azalması dayanımı olumlu yönde etkilemektedir.

8-Genel olarak kimyasal katkılı ve katkısız karışımların dayanımı çimento dozajının artışı ile hemen hemen aynı eğilim ile artmaktadır.

9- 28 günlük katkısız 350, 550 ve 650 dozajlı beyaz betonlarda su kürü ile naylon kürü uygulanan betonların dayanım değerleri birbirine yakın bulunmuş, katkılı 650 dozajlı betonların dışındaki diğer dozlarda su kürünün etkisi daha belirgin görülmüştür.

10- Beton kür'ü için gerekli şartlar hidrasyon için yeterli suyun bulunması yani beton içerisindeki suyun buharlaşarak azalmaması ve beton sıcaklığının (10°C) düşük olmaması istenildiğinden en iyi kür yönteminin su içerisinde saklama ile elde edildiği sonuçlardan görülmüştür. Bu sonuç uygulamada yani ilk günlerde betonun sulama işleminin düzenli ve kontrollü yapılmasını gerektirmektedir.

11- Herhangi bir kür uygulama olmaksızın naylon örtü içerisinde bekletilen beyaz betonlar, mevcut suyu kaybetmeyerek hidrasyon için gerekli olan suyu bünyesinden karşılamış, açıkta bırakılan numunelere göre daha yüksek değerler almıştır.

12- Hiçbir kür uygulanmaksızın ortam koşullarında doğrudan dış etkilere bırakılması, beton özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Laboratuvar ortamında açık olarak bırakılan ve hiçbir kür işlemine tabi olmayan beton numunelerde, basınç dayanım değerleri suda ve laboratuvar ortamında naylon örtüye sarılı olarak bekletilen numunelerden daha düşük bulunmuştur.

13- İlk günden itibaren laboratuvar ortamında açık olarak bekletilen betonların 90-günlük dayanımları 28-günlük dayanıma göre yaklaşık %11 kadar artmıştır. Bu durum rüzgârdan, sıcaktan ve buna benzer dış ortam etkilerinden korunan laboratuvar ortamında geçerlidir. Bu farkın yaz aylarında dökülen betonlarda belirgin olarak daha düşük çıkacağı açıktır.

14- Katkısız beyaz betonların kür farkları incelendiğinde, açık küre göre, naylon örtü kürünün beton basınç dayanımını 7 günde %9, 28 günde %11, 90 günde %5 oranında artırdığı, su küründe ise beton basınç dayanımında 7 günde %20, 28 günde %25, 90 günde %24 artış olduğu görülmektedir.

15- Katkılı beyaz betonlarda kürün betona etkisi incelendiğinde, naylon örtü kürü beton basınç dayanımını 7 günde %6, 28 günde %15, 90 günde %17 oranında artırmıştır. Su kürü ise beton basınç dayanımını 7 günde %24, 28 günde %30, 90 günde %23 oranında artırdığı görülmüştür.

16- Kullanılan beyaz kalker agregasının dayanımı elde edilememiştir. Kırılan numunelerde genelde kırılmanın agregalardan olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle yüksek dayanıma sahip agrega kullanılmasıyla daha yüksek dayanımlı beton üretilebileceği anlaşılmıştır.

5.3. Öneriler

Ülkemizde beyaz portland çimentosu kullanımı yerleşip yaygınlaştıkça, beyaz beton üretimi önem kazanacaktır. Yapısal beyaz beton üretimi için gerekli bilgi birikiminin sağlanması ve üreticilerin bu malzemeye karşı önyargılarının ortadan kaldırılması için bu konuda bilimsel çalışmalar gereklidir. Bu nedenle beyaz portland çimentosu kullanılarak üretilen beyaz betonun taşıyıcı beton olarak kullanılabilirliğini irdelemek için, bu çalışmada kullanılan beton karışımları baz alınarak, üretim şartlarının da dikkate alınmasıyla yapılacak çalışmalarda,

1. Uygun iklim şartları ve ortam koşulları içerisinde farklı kür yöntemleri,
2. Farklı tipte ve dozajda katkıları,
3. Farklı su/çimento oranları,
4. Bu çalışmada kullanılan agregalardan daha dayanıklı agregalar, farklı granülometri eğrileri ve uygun Dmax belirlenerek,

farklı beyaz beton uygulamaları yapılabilir ve bu konuda daha detaylı bilgiler elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] KIRCA, Ö., ŞAHİN, M., Hazır Beyaz Beton Uygulamaları, Beton 2004 Hazır Beton Kongresi, THBB, 10-12 Haziran 2004, 554-563.
- [2] ŞİMŞEK, O., Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin, Ankara 2007.
- [3] YILMAZ, K., Yapı Malzemesi ve Beton Teknolojisi, Sakarya 1988.
- [4] ERDOĞAN, T.Y., Betonu Oluşturan Malzemeler, Çimentolar, ODTÜ, Ankara, 1995.
- [5] ERDOĞAN, T.Y., Beton, O.D.T.Ü., Ankara 20003.
- [6] RAMYAR, K., Portland Çimentosunun Kompozisyonu ve Hidratasyonu, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Haber Bülteni, Yıl: 19, Sayı: 115, Şubat, 2004.
- [7] ALEMDAR, M.Y., Yüksek Dayanımlı Beton İçin Alternatif Bir Karışım Kompozisyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak 2004.
- [8] Batı Beton, Hazır Beton El Kitabı, İzmir, 2001.
- [9] ÜNAL, O., Beton Teknolojisi ve Yapı Laboratuvarı Ders Notları, Afyon 2002.
- [10] RAMYAR, K., Portland Çimentosu-Süper Akışkanlaştırıcı Katkı Uyumunu Etkileyen Faktörler, Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyum ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 12-13 Nisan, Ankara.
- [11] TS EN 934-2, Beton, Harç ve Şerbet İçin Kimyasal Katkılar, Türk Standartları Enstitüsü, Mart 2002.
- [12] MUTLU, M., Beton Katkı Maddesinin Ekonomisi Üzerine Bir Çalışma, 3.Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, Ekim 1994.
- [13] RAMACHANDRAN, V.S., MALHOTRA, M., (1984): Concrete Admixtures Handbook-Part 7: Superplasticizers, Noyes Publications, pp. 462-463.
- [14] TMMOB İnş. Müh. Od., 4. Ulusal Beton Kongresi, İst. 1996.
- [15] 9. Beton Katkı Bülteni, Yıl:1 Sayı:2, Haziran, İst. 1999.

- [16] AKMAN, S., Role of Admixtures on the Properties of Fresh High Performance Concrete, Rilem Symposium, Mexico, 1999.
- [17] COLLEPARDİ, M., Admixtures-Enhancing Concrete Performance, 6th Int. Congress on Global Construction and Ultimate Concrete Opportunities, Dundee, 2005.
- [18] AİTCİN, P.C., High Performance Concrete, E.&F.N. SPON, New York, 2004.
- [19] MİNDESS, S., YOUNG, J.F., DARWİN, D., Concrete, Prentice-Hall, Pearson Education Inc., Second Edition, 2003, 644 p.
- [20] ACI Committee 116, 116R-90, Cement And Concrete Terminology, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, 1994, pp.116R-1 to 116R-68.
- [21] ERDOĞAN, S., ERDOĞAN, T.Y., Puzolanik Mineral Katkılar ve Tarihi Geçmişleri, Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyum ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 12-13 Nisan, Ankara.
- [22] ERSOY, U., Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı, Cilt 1, İstanbul, 1985.
- [23] ACI Committee 308, Standard Practice for Curing, ACI manual of Concrete Practice, Part 1, 1985, USA.
- [24] POWERS, T.C., A Discussion of Concrete Hydration in Relation To the Curing of Concrete, Publication no: RX25, Portland Cement Association, Skokie, 1947, USA.
- [25] NEVİLLE, A.M., and BROOKS; J. J., Concrete Technology, Longman Scientific & Technical, 1987, UK.
- [26] BEYAZİT, Ö.L., Beton ve Deneyleri, Ankara, 1988.
- [27] POSTACIOĞLU, B., Beton 1, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, 1986
- [28] BLACKLEDGE, G. F., Curing Concrete, Man on the Job, Cement and Concrete Association, Slough, 1980, UK.
- [29] CARRİER, R.E., Concrete Curing Tests, Concrete International, April, 1983.
- [30] FENVES, S.J., What is an Expert System, Expert Systems in Civil Engineering, American Society of Civil Engineers; 1986.
- [31] WHİTING, N.M., SNYDER, M.B., A Study of the Effectiveness of Portland Cement Concrete Curing compounds, 2003.

- [32] GOVİD, S., Curing Concrete – Correcting Defects of Concreting, Conference on our World in Concrete and Structure, Volume 3, Signapore, 1983-84.
- [33] NEVİLLE, A.M., Properties of Concrete J. Wiley, New York, (1996).
- [34] WANG, K., ve diğ., Beton Yol Kür Kimyasallarının Etkinliğinin İncelenmesi, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyum ve Sergisi, Bildiriler Kitabı, s. 333-356, 2007.
- [35] WANG, K.J., ve diğ., Evaluation of pavement curing effectiveness and curing effects on concrete properties,” J. Materials in Civil Eng., Vol. 18, No.3, pp. 377-389, 2006.
- [36] Curing Of Concrete Pavement, Transportation Research Circular, Transportation Research Board. Washington, D.C. USA, June, 1979.
- [37] ÇELİK, T., THORPE, T., MCCAFFER, R., Betonun Bakımı ve Korunması Üzerine Geliştirilen Bir Bilgisayar Programı, Civil Engineering Department, Loughborough University of Technology.
- [38] ÖZER B., PARLAK N., SAĞLAM A.R., ÖZKUL M.H., Farklı Kimyasal Yapıdaki Kür Malzemelerinin Su Kaybını Önleme ve Yapışma Davranışlarının İncelenmesi, Beton 2007 Kongresi.
- [39] ÜN, H., Pamukkale Üniversitesi, 2007 – Bahar, Ders notları.
- [40] ERDOĞAN, T.Y., ERDEM, T.K., Buhar Kürü Uygulamasında Beton Özelliklerini Etkileyen Faktörlerden “Bekleme Süresi”nin Önemi,” ECAS2002 Uluslar arası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, 14 Ekim 2002, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- [41] BAŞKA, M.A., Betonun Basınç Dayanımının Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mart 2006.
- [42] GÜNER, M.S., SÜME, V., Yapı Malzemesi ve Beton, Aktif Yayıncılık, Ağustos, 2001.
- [43] İSTANBÜLLÜOĞLÜ, S., Betonun Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler ve Ramble Betonunun Seçimi ile İlgili Bir Çalışma, Madencilik, Cilt XXVII Sayı No3., Eylül 1988.
- [44] KIRCA, Ö., Yapılarda Beyaz Beton Uygulamaları, Konut Kurultayı Bildiriler Kitabı, İstanbul, 22-24 Mayıs, 2002.
- [45] ŞAHİN, M., Kırca, Ö., Kent Mobilyalarında Beyaz Çimento Kullanımı, II. Uluslar arası Kent Mobilyaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İstanbul, 24-27 Nisan, 2003.

- [46] SOBOLEV, K., White Cement: Problems of Production & Quality, Çimento ve Beton Dünyası, TÇMB Yayın Organı sayı:38, Temmuz-Ağustos, 2002.
- [47] www.portcement.org, White Cement Concrete Handbook, PCA Bookstore, Aralık 2008.
- [48] ERDOĞAN, T.Y., Admixtures For Concrete, Metu Pres, 1997.
- [49] TS 3530, Beton Agregalarının Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.
- [50] TS 3526, Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.
- [51] TS 3529, Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.
- [52] ÇİMSA, Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.
- [53] TS 2871, Taze Beton Kıvam Deneyi (Çökme Hunisi Metodu ile), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,1977.
- [54] WANG, K., CABLE, J.K., GE, Z., CEYLAN.,H., Beton Yol Kür Kimyasallarının Etkinliğinin İncelenmesi, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyum ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Ankara, Nisan 12-13.
- [55] AGARWAL, S.K., MASOOD, I., MALHOTRA, S.K., Compatibility of Superplasticizers With Different Cements, Const. Build. Mat., 14, 253-59 (2000).
- [56] JİANG, S., KİM, B.K., AİTCİN, P.C., Importance of Adequate Soluble Alkali Content to Ensure Cement- Superplasticizer Compatibility, Cem.Concr. Res. 29, 1999, 71-78.

ÖZGEÇMİŞ

Nil MERCAN, 1982 yılında Van'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Van'da yaptı. Yüksek öğrenimini 2001-2005 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirdi. Mezun olduktan sonra 2005-2006 yılları arasında özel bir şirkette yardımcı kontrol mühendisi olarak görev yaptı. 2009 Şubat ayında Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesinde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Halen aynı yerde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.