

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI SICAKLIKLARDAKİ SU KÜRÜNÜN HARÇ
NUMUNELERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

SEMA YILDIRIM

KOCAELİ 2020

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI SICAKLIKLARDAKİ SU KÜRÜNÜN HARÇ
NUMUNELERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

SEMA YILDIRIM

Doç. Dr. Salih Taner YILDIRIM
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Adnan ÖNER
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi



Tezin Savunulduğu Tarih: 16.01.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi birikiminden ve tecrübelerinden her daim faydalandığım, çalışmamın düzenlemesi ve değerlendirilmesi esnasında desteğini ve yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer Danışman Hocam Doç. Dr. Salih Taner YILDIRIM'a en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bütün eğitim hayatım boyunca her daim yanımda olan, sonsuz destekleri ve güvenleri için babam Durali ÇATAK'a, annem Hatice ÇATAK'a ve kardeşlerim Büşra-Merve ÇATAK'a teşekkür eder saygı ve sevgilerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca hep yanımda olan, maddi manevi desteğinden dolayı eşim Hafzullah YILDIRIM'a teşekkürü borç bilirim. Her zaman beni mutlu ve motive eden kızım Meva YILDIRIM'a da sevgilerimi sunarım.

Aralık-2019

Sema YILDIRIM

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
TABLolar DİZİNİ.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
GİRİŞ.....	1
1. GENEL BİLGİLER	4
1.1. Çimento.....	4
1.1.1. Çimento hidratasyonu	5
1.2. Agrega.....	7
1.3. Beton.....	9
1.4. Kürleme.....	9
1.4.1. Kürleme yöntemleri	11
1.4.1.1. Su kürü	11
1.4.1.2. Beton yüzeyinin örtü ile kaplanması.....	12
1.4.1.3. Kimyasal katkıları ile kürleme.....	13
1.4.2. Hızlandırılmış kür yöntemleri	13
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	15
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	27
3.1. Kullanılan Malzemeler	27
3.1.1. Çimento	27
3.1.2. Doğal kum	28
3.1.3. Su	29
3.2. Deney Numunelerinin Üretimi	29
3.3. Kür Koşulları.....	31
3.4. Yöntem.....	32
3.4.1. Kıvam (Yayıllma)	32
3.4.2. Eğilme dayanımı	33
3.4.3. Basınç dayanımı	34
3.4.4. Birim ağırlık ve su emme	35
3.4.5. Kılcallık.....	36
3.4.6. Rötne.....	37
4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	38
4.1. Kıvam (Yayıllma).....	38
4.2. Eğilme Dayanımı.....	39
4.2.1. Standart su kürü	39
4.2.2. Sıcak su kürü	39
4.3. Basınç Dayanımı	41
4.3.1. Standart su kürü	41
4.3.2. Sıcak su kürü	42
4.4. Birim Ağırlık ve Su Emme	44

4.5. Kılcallık.....	45
4.6. Rötire	46
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	48
KAYNAKLAR.....	50
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	54
ÖZGEÇMİŞ.....	55



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Çimento üretim aşamaları	5
Şekil 1.2.	Hidratasyon reaksiyon süreçler	6
Şekil 1.3.	Maksimum agrega çapının beton mukavemeti.....	8
Şekil 1.4.	Kür koşulu ve katkı oranının beton geçirimsizliğine etkisi	10
Şekil 1.5.	Su kürü yöntemleri, (a) Su püskürtme yöntemi, (b) Su göleti oluşturma, (c) Nemli örtü ile kaplama	12
Şekil 1.6.	Beton yüzeyinin örtü ile kaplanması, (a) İskelet sistemi üzerine, (b) Düşey eleman üzerine, (c) Kolon başları.....	12
Şekil 1.7.	Kimyasal kür maddelerinin spreyleme ile uygulanması.....	13
Şekil 2.1.	Kontrol numunelerinin basınç dayanımı değerleri	16
Şekil 2.2.	%30 silis dumanı takviyeli numunelerinin basınç dayanımı.....	17
Şekil 2.3.	50°C'de 28 gün kürlenmiş numunelerin elektron mikroskop analizleri, (a) Çimento harcı, (b) %30 silis dumanı takviyeli harç	17
Şekil 2.4.	70°C'de 730 gün kürlenmiş numunelerin elektron mikroskop analizleri, (a)Çimento harcı, (b) %30 silis dumanı takviyeli harç.....	18
Şekil 2.5.	Deneyde kullanılan sıcaklık stres test cihazı şematik açıklaması	24
Şekil 2.6.	20°C, 30°C, 40°C ve 50°C'de kürlenmiş NWSCC-PC, LWSCC-GGBS ve LWSCC-LSP betonlarının basınç dayanımı	26
Şekil 3.1.	Cem I 42,5 R Portland çimentosu.....	28
Şekil 3.2.	Agrega granülometri eğrisi	28
Şekil 3.3.	0-4 mm aralığında agrega (doğal kum).....	29
Şekil 3.4.	40x40x160 mm boyutlarındaki kalıp	30
Şekil 3.5.	25x25x285 mm boyutlarındaki kalıp.....	31
Şekil 3.6.	Isı ayarlı kür havuzu	31
Şekil 3.7.	Yayıma deneyi.....	32
Şekil 3.8.	40x40x160 mm'lik numuneler	33
Şekil 3.9.	Üç noktalı eğilme dayanımı testi.....	34
Şekil 3.10.	Basınç dayanımı testi	35
Şekil 3.11.	Kılcal su emme deneyi.....	36
Şekil 3.12.	25x25x285 mm boyutundaki numuneler ve rötre ölçüm aleti	37
Şekil 4.1.	Numunelerin yayılma miktarları	38
Şekil 4.2.	Referans numunesinin standart su kürü uygulaması ile 90 günlük	39
Şekil 4.3.	30°C ve 90°C sıcaklık aralığında kürlenmiş numunelerin eğilme	40
Şekil 4.4.	Eğilme testi sonucu kırılan numune	41
Şekil 4.5.	Referans numunesinin standart su kürü uygulaması ile 90 günlük	42
Şekil 4.6.	30°C ve 90°C sıcaklık aralığında kürlenmiş numunelerin basınç	43
Şekil 4.7.	Basınç testi sonucu kırılan numuneler	43
Şekil 4.8.	Numunelerin ağırlıkça su emme yüzdeleri	45
Şekil 4.9.	Numunelerin ağırlıkça kılcal su emme yüzdeleri.....	46
Şekil 4.10.	Numunelerin günlere göre boy kısalma yüzdeleri.....	47

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Çimento oksitlerinin hidrasyon sonucu açığa çıkardıkları ısı miktarları.....	6
Tablo 2.1. Harç karışımlarının bileşen oranları	15
Tablo 2.2. Numunelerin basınç dayanımı sonuçları.....	21
Tablo 2.3. Numunelerin basınç dayanımı sonuçları.....	22
Tablo 2.4. Uygulanan kür yöntemleri	23
Tablo 3.1. Çimentonun kimyasal özellikleri.....	27
Tablo 3.2. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri	27
Tablo 3.3. Karışım dizaynı	29
Tablo 4.1. Kıvam sonuçları.....	38
Tablo 4.2. Referans numune eğilme dayanımı sonuçları	39
Tablo 4.3. Eğilme dayanımı sonuçları (MPa).....	40
Tablo 4.4. Referans numune basınç dayanımı sonuçları	42
Tablo 4.5. Basınç dayanımı sonuçları (MPa)	42
Tablo 4.6. DYK ve kuru ağırlıklar	44
Tablo 4.7. Numunelerin birim hacim ağırlık değerleri.....	44
Tablo 4.8. Absorbe edilen su miktarları	45
Tablo 4.9. Numunelerin kapilarite katsayıları	46
Tablo 4.10. Günlere göre ölçüm değerleri	47

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Harç numunesinin alanı, (mm ²)
b	: Harç numunesinin genişliği, (mm)
d	: Harç numunesinin yüksekliği, (mm)
L	: Mesnet açıklığı, (mm)
P	: Kırılma anındaki yük, (N)
S _a	: Ağırlıkça yüzde su emme, (%)
V	: Numune hacmi, (cm ³)
W _d	: Doygun kuru yüzey ağırlık, (gr)
W _k	: Kuru ağırlık, (gr)
Δ	: Kuru birim ağırlık, (gr/cm ³)
σ _e	: Eğilme Dayanımı, (MPa)
σ	: Basınç Dayanımı, (MPa)

Kısaltmalar

ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzemeler Derneği)
EN	: Europeane Norm (Avrupa Norm Kısaltması)
MPa	: Mega Pascal
TS	: Türk Standartları

FARKLI SICAKLIKLARDAKİ SU KÜRÜNÜN HARÇ NUMUNELERİ ÜZERİNE ETKİSİ

ÖZET

Kürleme sıcaklığının çimento esaslı malzemelerin taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerini önemli ölçüde etkilediği bilinmektedir. Özellikle çimentonun erken dönemde sıcak su ile kürlenmesinde çimento hidratasyonu artmakta ve daha hızlı dayanım kazanmasına neden olmaktadır. Çok yüksek sıcaklıklarda kürlenmesi de harç iç yapısında tahribat meydana getirmekte ve harç dayanımının düşmesine neden olmaktadır. Bu yüzden uygun kürleme sıcaklığı harcın fiziksel, mekanik ve durabilite özellikleri açısından ciddi önem taşımaktadır.

Yapılan çalışmanın amacı; sıcak su kürünün, çimentolu harcın bazı mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisini incelemektir. Bu kapsamda yapılan deneysel çalışmalarda; sabit su/çimento oranı ve çimento miktarı kullanılarak eğilme dayanımı, basınç dayanımı ile birim ağırlık ve su emme için 40x40x160 mm ve rötre için 25x25x285 mm boyutlarında harç numuneleri üretilmiştir. Üretilen harç numuneler 20°C-90°C arasında 8 farklı sıcaklıkta 3 saat, 6 saat, 24 saat, 3 gün ve 7 gün olmak üzere 5 farklı süre ile kür havuzlarında bekletilmiştir. Kürleme işlemi sona eren numunelere eğilme dayanımı, basınç dayanımı, kılcal su emme, su emme ve birim ağırlık ve rötre testleri yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre sıcak kürlemenin harçlarda dayanımı olumlu etkilemesi için en az 3 gün kürlenmesi ve ortalama 40°C-60°C arasında bir sıcaklıkta kürlenmesi gerektiği öngörülmüştür. Ayrıca sıcaklık arttıkça kılcal su emmenin arttığı gözlenmiştir. Genel olarak büzülme miktarları da sıcaklık arttıkça azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dayanım, Durabilite, Harç Numuneleri, Kür Süresi, Sıcak Su Kürü.

EFFECT OF WATER CURING AT DIFFERENT TEMPERATURES ON MORTAR SAMPLES

ABSTRACT

It is known that curing temperature significantly affects the fresh and hardened properties of cement based materials. Especially in early curing of cement with hot water, cement hydration increases and causes faster gain of strength. Curing at very high temperatures will also damage in the internal structure of the mortar and cause to decrease the mortar strength. The aim of this study is to investigate the effect of hot water curing on some mechanical strength and durability properties of cementitious mortar.

The aim of this study is to investigate the effect of hot water curing on some mechanical strength and durability properties of cementitious mortar. 40x40x160 mm for flexural and compressive strength, unit weight and water absorption and 25x25x285 mm for shrinkage specimens were produced by using constant water / cement ratio and cement quantity. The produced mortar samples were kept in curing pools for 5 different periods of 3 hours, 6 hours, 24 hours, 3 days and 7 days at 8 different temperatures between 20 ° C and 90 ° C. Flexural strength, compressive strength, capillary water absorption, unit weight and water absorption and shrinkage tests were performed on the samples after curing process. According to the results of the experiment, it was predicted that hot curing should be cured for at least 3 days and cured at a temperature between 40 ° C and 60 ° C in order to have a positive effect on the strength of the mortars. It was also observed that capillary water absorption increased as temperature increased. In general, the amount of shrinkage decreased as the temperature increased.

Keywords: Strength, Durability, Mortar Specimens, Curing Process, Hot Water Curing.

GİRİŞ

İnsanlığın varoluşundan beri en temel ihtiyaç barınma ihtiyacı olmuştur. İnsanlar bu ihtiyacını gidermek için asırlardır çeşitli yöntemlere başvurmuş ve çeşitli malzemeler kullanmışlardır. Bu malzemelerden en önemlisi çimentodur. Çimento ile yalnızca kum, çakıl ve su kullanılarak bile en az doğadaki taşlar kadar sağlam beton yapılar elde edilebilmektedir (Gürü ve Yalçın, 2012). İlk zamanlarda barınma ihtiyacına hizmet veren inşaat sektörü günümüzde ulaşım, tarım, sanayi gibi hemen her sektöre hizmet veren bir konuma gelmiştir (Uysal ve Bahar, 2018; Akman, 2003). Bu yüzden çimento kullanım alanı olarak çok geniş bir kitleye sahiptir ve bu durum üretiminin her geçen gün artmasına sebebiyet vermektedir.

Gelişen teknoloji ile birlikte, bugün inşaat sektöründe çeşitli malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. Fakat en çok tercih edileni ise hala betondur. Beton ihtiyaç duyulduğunda çimento, agrega, su ve katkı maddeleri kullanılarak üretilen, kalıplara yerleştirilen ve uygun kürlenme koşullarında kuvvet alan bir kompozit malzeme olarak tanımlanmaktadır (Neville, 1996; Akman, 1987). Bütün yapı malzemelerinde olduğu gibi, betonda da aranan en önemli özellik yüksek bir mekanik mukavemete sahip olması ve bu mukavemetini zamanla kaybetmemesidir (Gürü ve Yalçın, 2012). En iyi üretim ve işçilik sağlansa bile beton yapısı gereği yapay bir malzeme olduğu için çoğu zaman arazi ve şantiye ortamlarında mukavemeti tam kontrol altına alnamayabilir. Beton mukavemetini etkileyen en önemli unsur betonu oluşturan ana bileşen olan çimentonun hidratasyonu sonucunda oluşan silikat ve alüminat hidratlarıdır. Bu bileşikler bazı kimyasal etkilere karşı dayanıksızdır ve betonun zamanla çevre etkilerinden dolayı zarar görmesine neden olur.

Farklı amaçlar için üretilen beton projelerinde verilen dayanım seviyelerine ulaşmak için betonun uygun karışım oranına sahip olması gerekir. Kalıplara dikkatlice yerleştirilmeli, sıkıştırılmalı ve uygun sıcaklıkta kürlenmelidir (Gilkey, 1952; Hilsdorf, 1995). Betonun eğilme mukavemeti, basınç mukavemeti, geçirimsizlik ve rötre gibi özellikleri zamanla değiştiği için bu süreç içerisinde ortam şartları uygun

hale getirilmelidir (Engin vd., 2012). Taze beton karışımı tamamlandığında hidrasyon hızı en yüksek seviyeye ulaşır ve bazı durumlarda beton yaşı büyüdükçe hidrasyon da yıllar boyunca devam edebilir. Kısacası istenilen özelliklerde beton üretmede ve betonun dayanım kazanmasındaki en önemli faktör çimento hidrasyonudur. Çimento hidrasyon hızını artırmak için betonun içinde bulunduğu ortam ısı artırılabilir ve bu sayede dayanım kazanma hızı da artırılmış olur (Özalp, vd., 2015). Çimento hidrasyonu için en önemli faktör ise kürlenme işlemidir. Hidrasyonun devam edebilmesi için ortamda mutlaka su bulunmalıdır. Suyun olmaması veya yeterli gelmemesi durumunda çimento hidrasyonu yavaşlayarak durur bu da betonun dayanım kazanmasına engel olur. Bu yüzden istenilen özelliklerde beton üretmek için kür koşullarının uygun olması gerekir (Neville, 2004).

Betona kür uygulanması işlemi, çimentonun hidrasyonu boyunca farklı etkenlerden dolayı betonda kaybolan nemin betona kontrollü bir şekilde geri kazandırılmasıdır (Neville, 2004). Kürlenme işlemi için farklı yollar izlenir. Örneğin beton yüzeyi su geçirmeyen bir örtü ile ya da kimyasal katkı maddeleri kullanılarak kaplanır. En önemli kürlenme yöntemi ise beton yüzeyinin sürekli nemli kalması için mekanik spreyleme sistemi veya hortum ile beton yüzeyine su püskürtülmesi ya da beton yüzeyinde su göleti oluşturulmasıdır. Betona uygulanan yöntem ve kür süresi hem taze betonun özelliklerine hem de atmosferin sıcaklığına bağlıdır (Pinto ve Hover, 1996). Kürlenmenin üç ana işlevi bulunmaktadır. Bunlar; sertleşme sırasında betondaki suyu tutmak, beton yüzeyindeki su kaybını azaltmak ve en önemlisi ısı ve nem kullanarak dayanım kazanma sürecini hızlandırmaktır (Chithra ve Dhinakaran, 2014). Kürlenme sırasındaki sıcaklık ve bağıl nem, betonun dayanım gelişimini, mikro yapısını ve uzun süreli dayanıklılığını etkilemektedir (Patel, vd., 1995). Kürlenme işlemi ayrıca betondaki çatlakları hafifletmede rol oynar ve bu da betonun dayanımını önemli ölçüde etkiler.

Yapılan araştırmalar neticesinde 28 gün boyunca su kürüne tabi tutulan numunelerin, daha kısa süre küre tabi tutulan numunelere göre dayanım değerlerinde ciddi artışlar olduğunu ortaya koymuştur (Alyamaç ve İnce, 2007; Safan ve Kohoutkva, 2001; Kosmatka, vd., 2003). Bu kadar uzun bir kürlenme işlemi üretimin hızlı gerçekleştiği inşaat sektörü için ekonomik ve pratik olmamakla birlikte şantiye ortamında uzun

sürelî kürleme işleminin pek mümkün değildir. Beton basınç dayanımının günümüz şartlarında 28 günden daha kısa sürede istenilen değerlere ulaşabilmesi için farklı metotlar geliştirilmiş hatta bazı ülkelerde standartlaştırılmıştır (Kurbetci ve Öztekin, 2004). Ülkemizde 1976'da ASTM C684 (ASTM C684, 1989) metotlarını kabul ederek ' Beton Basınç Deney Numunelerinin Hazırlanması, Hızlandırılmış Kürü ve Basınç Dayanım Deneyi ' adıyla standartlaştırmıştır (TS 3323, 1979; Kurbetci ve Öztekin, 1994). TS 3323, hidratasyon ısısı kürü, sıcak su kürü ve kaynar su kürü olmak üzere 3 farklı yöntem tanımlamıştır. Bu yöntemler standartlaştırılmalarına rağmen dayanım değerleri üzerinde bazı dezavantajlar da içermektedirler (Öztekin,1987; Malhotra ve Zoldners, 1969; Bauer ve Olivian, 1978). Son zamanlarda yapılan çalışmalar, uzun süre maruz kaldıktan sonra (özellikle nemli koşullarda), yüksek sıcaklıkta sertleşen betonun anormal genişleme ve buna bağlı olarak mikro çatlama gösterebileceği ve bunun başarısızlığa yol açabileceğine dair bir endişe olduğunu göstermektedir (Oberholster, vd., 1992; Johansen vd., 1993; Siedel vd., 1993). Yüksek kürleme sıcaklığının, daha sonraki yaşlarda düşük derecede çimento hidratasyonuna neden olacağı ve bu nedenle gözenekli bir yapıya sahip olacağı ve çimento hamurunun daha düşük bir dayanım ve daha yüksek bir beton geçirgenliğine neden olacağı iyi bilinmektedir (Verbeck ve Hehnuth, 1968; Klieger, 1958; Detviler vd., 1991). Hızlandırılmış kür uygulamalarında yüksek sıcaklıkta kürleme yönteminin sertleşmiş çimento hamurunda, porozitenin ve kristalleşmenin artması, hidratasyon ürünlerinin heterojen dağılması gibi yapısal sorunlara neden olduğu fakat ısıl gerilme, su kaybı ve kalıcı hacim artışı sonucu meydana gelen fiziksel bozuklukların ise engellenebilir olduğu söylenebilir (Öztekin, 1983; Kurbetci ve Öztekin, 2004). Beton bünyesindeki fiziksel ve yapısal bu bozuklukları sınırlamak için kür suyu sıcaklığının fazla olmaması gerektiği vurgulanmıştır.

Yapılan bu deneysel çalışmanın amacı bu tür durumlarda betonun içinde bulunduğu kür suyu sıcaklığının betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmak ve en kısa sürede istenen dayanım değerlerine ulaşmayı hedeflemektedir. Bu amaçla sekiz farklı sıcaklıkta beş farklı süre ile kürlenmek üzere numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelere eğilme dayanımı, basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme, kılcal su emme ve rötre testleri yapılmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Çimento

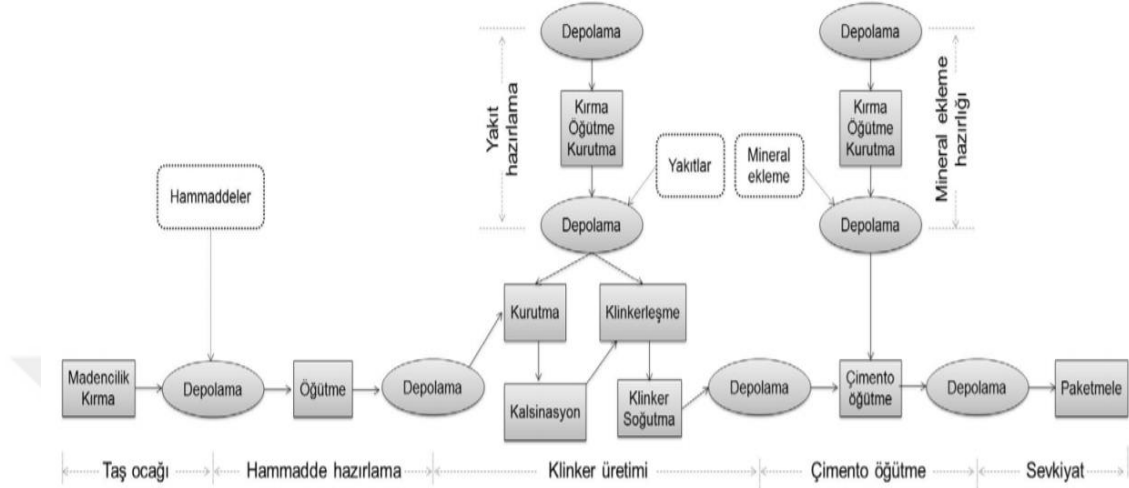
Genel olarak taş, kum, çakıl gibi maddeleri birbirine bağlayan ve sert bir kütle meydana getiren bağlayıcılara çimento denir. Çimentolar yapılış itibari ile organik çimentolar ve inorganik çimentolar olarak iki ana gruba ayrılır. Yapısı organik maddelerden oluşan katran, kauçuk, asfalt gibi maddelere organik çimentolar denir ve genellikle yol yapımında son kaplama tabakası olarak kullanılır. İnorganik çimentolar ise kendi aralarında hidrolik çimentolar ve hidrolik olmayan çimentolar olarak ikiye ayrılır. Hidrolik çimentolar, su ile reaksiyona girerek sertleşen çimentolardır. Örnek olarak alçı, su kireci, tabii ve suni hidrolik çimentolar gösterilebilir. Hidrolik olmayan çimentolar ise zamanla havada sertleşen bağlayıcı malzemelerdir ve örnek olarak kireç harçları ve havada sertleşen killi topraklar verilebilir (Avcıoğlu, 2012).

Hidrolik çimentoları meydana getiren ana maddeler şunlardır;

- Kireç taşı
- Silisli kum
- Kil
- Alçı taşı

Çimento üretimine ilk olarak klinker üretimi ile başlanır. Klinkerin hammaddeleri kireç taşı (CaCO_3), kum (silika oksit), kil (alüminyum silikatlar) ve demir cevherinden oluşan hammaddelerdir. Klinker, killi ve kalkerli maddelerin uygun oranlarda karıştırılması ve yaklaşık olarak 1400-1500 °C sıcaklıkta pişirilmesi sonucu katı parçacıklar halinde elde edilir. Klinker bu hali ile suya karşı hassas bir yapıda değildir. Yani su ile reaksiyona girip sertleşme özelliği göstermez. Toprak halinde olan klinker ince bir şekilde öğütülerek hidrolik özellik kazandırılır. Fakat klinker bu hali ile de suya karşı çok hassas olup su ile birleştiğinde hemen reaksiyona girerek sertleşir. Bu yüzden klinker, kireç taşı, alçı taşı gibi malzemeler ile öğütülerek de çimento elde edilir (T.C Çevre ve Şehircilik Bak., 2017). Çimento

üretim şeması Şekil 1.1’de verilmiştir. Çimento klinkerinin kimyasal bileşimi, alçı miktarı ve öğütme inceliği çimentonun mukavemetini, genleşmesini ve büzülmesini etkiler.



Şekil 1.1. Çimento üretim aşamaları (T.C Çevre ve Şehircilik Bak., 2017; Cembureau, 1999; Energy Technology Network, 2010)

Çimento özelliklerini belirleyen başlıca kriterler; standart basınç mukavemeti, priz başlama süresi, hacim genleşmesi, özgül yüzey, serbest kireç, kızdırma kaybı, çözünmeyen kalıntı ve sülfat miktarıdır. Çimentonun veya bir bağlayıcı maddenin dayanım kazanması için hidrasyon olayı, katılaşma olayı ve sertleşme olayının birbirini izlemesi gerekir.

1.1.1. Çimento hidrasyonu

Çimento, su ile karıştırıldığında klinker mineralleri ile su arasında malzemenin sertleşmesine ve katılaşmasına neden olan bir kimyasal reaksiyon süreci meydana gelir. Bu süreç hidrasyon olarak adlandırılır ve süreç sonunda hidrasyon ürünleri oluşur.

Hidrasyon hızını artıran en önemli faktör çimento inceliğidir. Çimento taneleri, su içerisinde yavaş yavaş çözünür. Tanelerin çözülmesi katı parçacık yüzeylerinde gerçekleşir. Hidrate hale gelen bileşikler, parçacık yüzeyini jel halinde kaplar. Böylelikle klinker bileşikleri henüz reaksiyona girmeden su ile teması önlenmiş olur. Öte yandan çözeltiye geçmiş olan klinker bileşikleri çözelti içerisinde doymun hale gelir ve çözünme hızının yavaşlamasına neden olur. Bu etkiler hidrasyon hızının

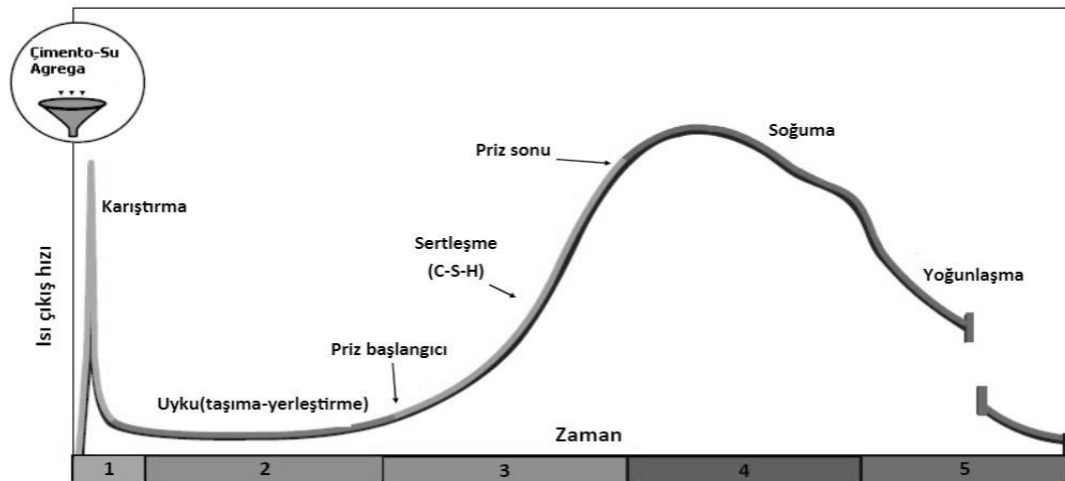
zamanla azalmasına neden olur. Çimento bileşenlerinin tam olarak hidrate olması için uzun sürenin geçmesi gerekir (Gürü ve Yalçın, 2012). Ayrıca tanecik çapı yanında hidrasyonun gerçekleştiği sıcaklık koşulları ve klinker kimyasal bileşimi de hidrasyon hızını etkilemektedir. C_3S gibi hidrasyon hızı yüksek olan bileşikler iri taneli olsalar bile, C_2S gibi hidrasyon hızı düşük olan bileşiklerden daha hızlı çözünürler. Çimento oksitlerinin hidrasyon sonucu açığa çıkardıkları ısı miktarı Tablo 1.1’de belirtilmiştir.

Tablo 1.1. Çimento oksitlerinin hidrasyon sonucu açığa çıkardıkları ısı miktarları

Karma Oksit	İlk 48 saatte çıkan ısı (cal/gr)	Toplam ısı (cal/gr)
Trikalsiyum alüminat (C_3A)	150	207
Trikalsiyum silikat (C_3S)	100	120
Dikalsiyum silikat (C_2S)	10	62
Tetrakalsiyum alümina ferrit (C_4AF)	40	100

C_3S silikatı çimentonun prizini ve ilk günlerdeki dayanımını hızlandırır ve su ile temas ettiği zaman yüksek ısı verir. C_2S silikatı, çimentonun prizini ve ilk günlerdeki dayanımlarını yavaşlatır ve su ile temas ettiği zaman C_3S 'ye göre daha az ısı verir. C_3A bileşeni ise diğer bileşenlere göre çok daha fazla ısı açığa çıkarır ve bu özelliğinden dolayı çimento hamurunun hacim değişimine ve çatlamasına neden olur (Şimşek, 2003).

Hidrasyon reaksiyon süreçleri Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.2. Hidrasyon reaksiyon süreçleri (Kostmatka, 2006)

Karıştırma süreci; 10-15 dakika içerisinde gerçekleştirilir ve ısı çıkışı birden gerçekleşir ve birden düşüş gösterir.

Uyku süreci; 2 ila 4 saat arasında sürer ve karışım henüz elastik ve işlenebilirdir. Isı çıkışı çok düşük seviyededir.

Sertleşme; 2 ila 4 saat içerisinde sona erer ve priz başlar. Beton sertleşmeye ve dayanım kazanmaya başlar.

Soğuma; Sürtünme ve büzülme sonucunda oluşan iç gerilmeler, dayanım kazanımını geçmemelidir.

Yoğunlaşma; yıllarca sürer ve beton, yoğunlaşma sürecinde dayanım ve dayanıklılık kazanmayı sürdürür.

1.2. Agreg

Beton üretiminde büyük öneme sahip olan agreg; çakıl, kum, kırmataş gibi malzemelere verilen genel addır (agub.org.tr, 2019). Beton içerisinde yaklaşık %70 oranında agreg bulunur. Agregalar iri ve ince agreg olmak üzere iki sınıfa ayrılır. İri agreg; 4-63 mm boyutlarında olan kırmataş (mıcır), çakıldır. İnce agreg ise 0-4 mm boyutlarında olan kırma kum (taş tozu), kumdur (TS 706, Doğan, 2008).

Agreg, hem ucuz olması hem de betonun dayanım, geçirgenlik, işlenebilirlik özelliklerini olumlu etkilediği için beton yapımında yüksek oranda kullanılan bir malzemedir. Ayrıca çimento hamurunun priz ve sertleşme esnasında, nem değişikliği sırasında gösterdiği hacim değişmesini de azaltır. İçerisinde agreg bulunduran harç veya beton, içerisinde agreg bulunmayan çimento hamuruna göre çok daha az büzülme göstermektedir.

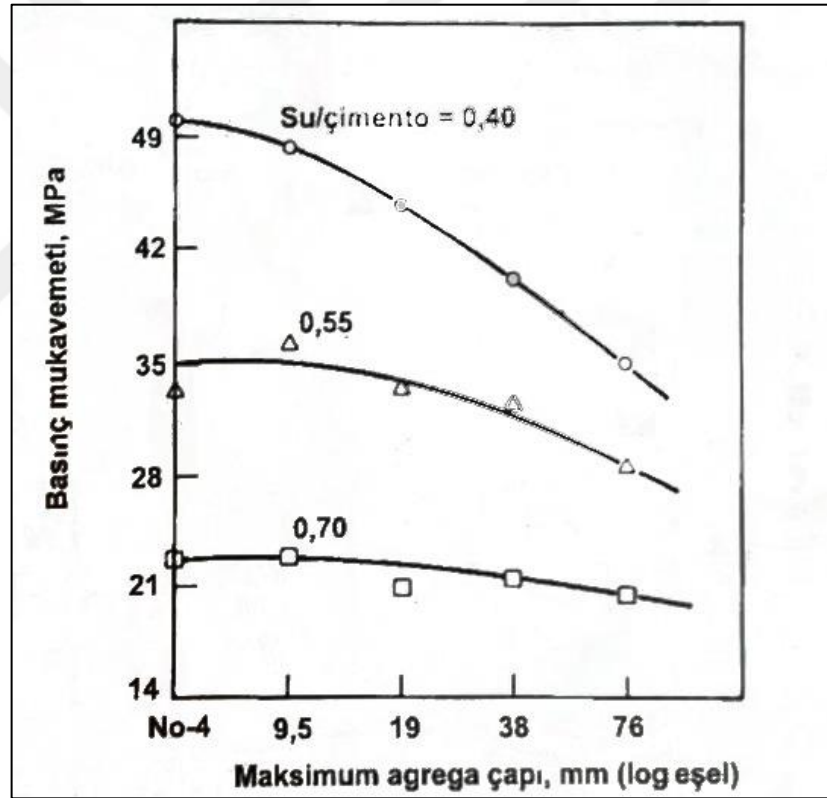
Beton üretiminde kullanılan agregaların özellikleri, malzemelerin karışım oranlarını, pompalanabilmesi, terlemesi ve beton yüzeyinin mastarlanıp düzeltilmesi gibi işlemleri etkilemektedir.

Aregalarda aranan en önemli özelliklerden bazıları şunlardır (agub.org.tr, 2019);

- Deniz kabuğu, kömür gibi zayıf taneler içermemeleri
- Sert, boşluksuz ve dayanıklı olmaları,
- Aşınma ve basınca karşı dayanıklı olmaları,
- Uzun ve yassı taneler içermemeleri,

- Çimento ile zararlı reaksiyona girmemeleri,
- Toz, toprak ve betona zarar verecek maddeler içermemeleridir.

Betonda kullanılan agregaların şekli, sağlamlığı ve granülometrik özellikleri betonun ve harcın dayanımı üzerine etkilidir. Ayrıca maksimum tane çapı da beton mukavemeti üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Aynı çimento miktarı ve kıvamda hazırlanan beton ve harçlarda agreganın tane çapının artırılması su/çimento oranını azaltır. Dolayısıyla agreganın çapındaki bu artış beton veya harç içerisinde mikro çatlakların ve boşlukların artmasına sebep olur. Şekil 1.3'de agrega maksimum tane çapının değişik su/çimento oranlarında beton mukavemeti üzerine etkisi görülmektedir.



Şekil 1.3. Maksimum agrega çapının beton mukavemeti üzerine etkisi (Gürü ve Yalçın, 2012)

Agregaların özelliklerini saptamak için çeşitli deney metotları geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlileri şunlardır;

- Granülometri (Tane Dağılımı) Deneyi
- Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi
- Hava Etkilerine Karşı Dayanıklılık (Donma – Çözülme) Deneyi

- Soyulmaya Karşı Direnç Deneyi
- Aşınmaya Karşı Direnç Deneyi
- Cilalanma Direnç Deneyi

1.3. Beton

Beton; çimento, agrega (kıırma taş, çakıl, kum), su ve gerektiği zaman kimyasal katkı maddelerinin (akışkanlaştırıcılar, antifrizler, priz hızlandırıcılar, priz geciktiriciler, hava sürükleyici katkıları) ve mineral katkı maddelerinin (yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı, tras) belli oranlarda birleştirilmesi ile hazırlanan malzemedir (T.C Çevre ve Şehircilik Bak., 2017). Betonun içerisinde yaklaşık olarak agrega %70, çimento %10 ve su da %20 oranında bulunmaktadır. Ayrıca kimyasal veya mineral katkıları kullanılmak istendiğinde ağırlıkları, çimento ağırlığının %5'ini geçmemelidir (Usta, 2005).

Diğer yapı malzemelerinde olduğu gibi betonda da istenilen en önemli özellik iyi bir mukavemete sahip olması ve bu mukavemeti zamanla kaybetmemesidir. İlk başlarda akıcı veya plastik kıvamlı olan çimento, zamanla sertleşir ve mukavemet kazanır (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2012).

Beton mukavemetini etkileyen en önemli faktörler şunlardır;

1. Çimento cinsi ve dozajı
2. Agrega cinsi ve granülometrisi
3. Su/çimento oranı
4. Kimyasal katkı maddeleri
5. Sıcaklık
6. Beton kürü ve sıcaklığı

1.4. Kürleme

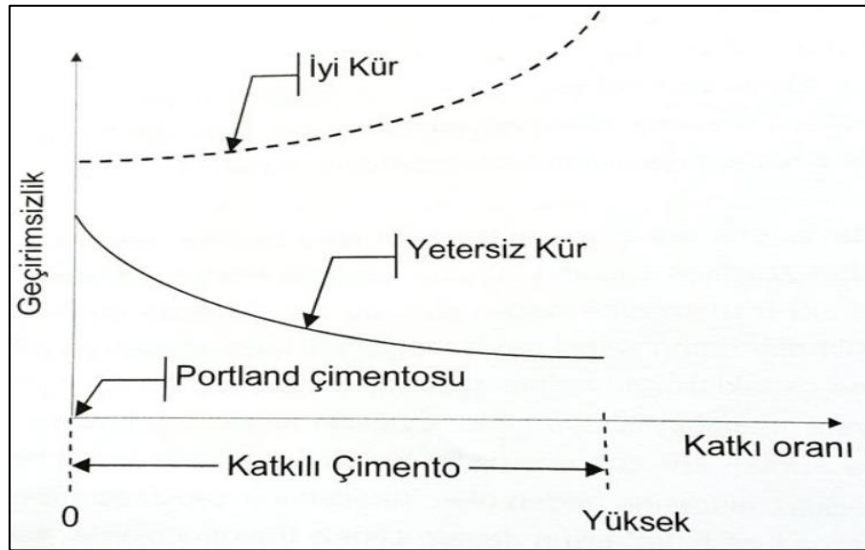
Betondan istenilen özelliklerin elde edilmesi için betonun yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve yüzeyinin perdelanması işlemlerinden hemen sonra beton içerisindeki suyun buharlaşmasını önlemek amacıyla, yeterli süre ve sıcaklıkta, uygun nem koşulunda tutulması işlemine kürleme denir. Beton döküm işlemi gerçekleştirildikten sonra içinde bulunduğu havanın bağıl nem oranı düşük ise bu durum

buharlaşmayı kolaylaştırır ve suyun beton bünyesinden ayrılmasına neden olur. Beton içerisindeki su miktarının azalması sonucu kapiler boşluklardaki doygunluk giderek azalır. Doygunluk %80'nin altına düştüğü zaman çimento, hidrasyon reaksiyonu için yeterli suyu bulamaz ve beton mukavemetindeki artış yavaşlar, %30'un altına düştüğü zaman ise tamamen durur (Husem ve Gözütok, 2005; Meeks ve Carion, 1999). Yüksek sıcaklık ve düşük nem koşullarında sertleşen beton, hidrasyon ürünlerinin düzensiz dağılması ve uzun süreli beton dayanımının azalmasına neden olur (Ogirigbo ve Black, 2016; Lura vd., 2001).

Beton içerisindeki suyun buharlaşması çeşitli etkenlere bağlıdır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Hava sıcaklığı
- Beton sıcaklığı
- Havanın bağıl nemi
- Rüzgar hızı
- Beton ile hava sıcaklığı arasındaki fark

Katkılı çimentolar içeren ve çimento içeriği yüksek olan betonlar normal çimentolu betonlara göre yetersiz kürlemeden daha fazla etkilenmektedir. Normal portland çimentosu içeren betonlara en az 7 gün kür uygulanırken, mineral katkı içeren çimentolara daha fazla süre ile kür uygulanmalıdır. Şekil 1.4'de kür koşulu ve katkı oranının beton geçirimsizliğine etkisi görülmektedir.



Şekil 1.4. Kür koşulu ve katkı oranının beton geçirimsizliğine etkisi

Beton mukavemetindeki en önemli etken ilk kürleme koşullarıdır. Bu yüzden beton döküm işlemi biter bitmez zaman kaybetmeden kürleme işlemlerine başlanmalıdır.

1.4.1. Kürleme yöntemleri

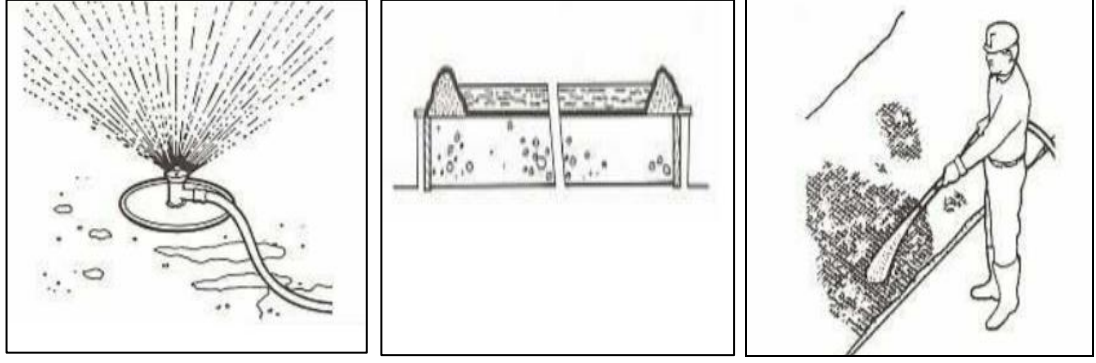
Beton genellikle değişik hava koşullarında ve çeşitli kütlelerde dökülür. Betonun içinde bulunduğu ortam ve duruma göre betona uygulanması gereken bakım değişiklik göstermektedir. Bu yüzden çeşitli kürleme yöntemleri geliştirilmiştir.

Çimento hidratasyonunun devam edebilmesi ve betonun su kaybederek kurumasını önlemek için aşağıdaki yöntemler uygulanabilir;

- Beton yüzeyinin sürekli olarak nemli kalması için hortum ya da mekanik spreyleme sistemi gibi yöntemlerle su püskürtülerek su göleti oluşturulur.
- Beton yüzeyi su geçirmeyen (naylon, polietilen gibi) örtü ile kapatılır.
- Kimyasal katkıları kullanılarak beton yüzeyindeki su kaybı azaltılır.

1.4.1.1. Su kürü

Su kürü, kürleme yöntemleri arasında en idealidir. Suyun doğrudan betona uygulanması ile gerçekleştirilir. Bu sayede beton yüzeyi sürekli ıslak tutulur. Su kürü uygulanması minimum 7 gün sürmelidir. Kürleme suyu temiz olmalı ve zararlı maddeler içermemelidir. Su kürü uygulamaları da kendi içinde çeşitlilik göstermektedir. Beton yüzeyi spreyleme yöntemi ile su püskürtülerek sürekli olarak sulanır ve bu yöntem en iyi kür metodudur. Eğer sulama işlemi belli aralıklarla yapılacaksa bu süreçte beton yüzeyinin kuru kalmamasına dikkat edilmelidir. Su kürünün priz bitiminden hemen sonra başlatılması bünyesel kurumayı önlemek için önemlidir. Fakat taze betona su/çimento oranını değiştirecek şekilde su girmesi önlenmelidir. Bu yöntemin tek dezavantajı maliyetinin yüksek olması ve tecrübeli uygulayıcı gerektirmesidir. Diğer bir yöntem beton yüzeyinde yaklaşık 5 cm kalınlığında bir su göleti oluşturulur ve böylece hem betonun su kaybetmesi önlenir, hem de betonun eş dağılımlı sıcaklığı sağlanır. Bu yöntem genellikle döşemelerde, kaldırımlarda ve beton yollarda uygulanır. Ayrıca suya doymuş hale getirilmiş su tutucu örtüler (telis bezi, pamuklu hasır vb.) kullanılarak beton yüzeyi kaplanır ve buharlaşmanın daha az olması sağlanır. Şekil 1.5’de su kürü yöntemleri gösterilmiştir.



(a)

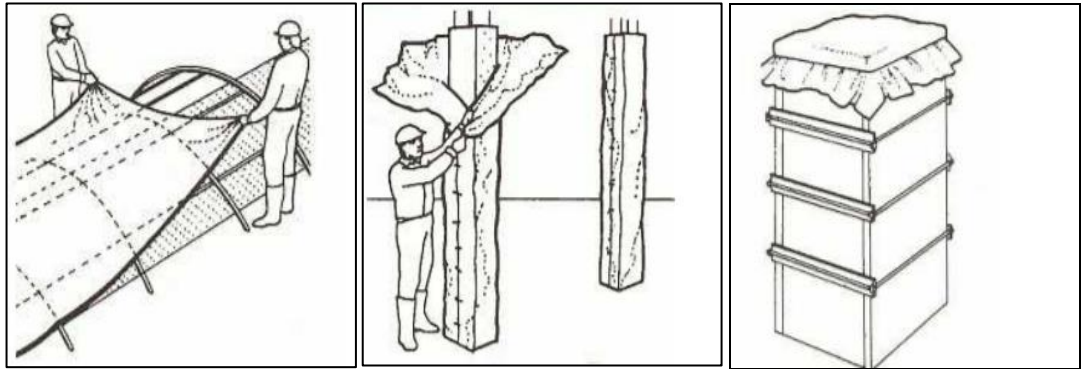
(b)

(c)

Şekil 1.5. Su kürü yöntemleri, (a) Su püskürtme yöntemi, (b) Su göleti oluşturma, (c) Nemli örtü ile kaplama

1.4.1.2. Beton yüzeyinin örtü ile kaplanması

Beton yüzeyinin naylon ya da polietilen örtüler ile kaplanması her uygulama için verimli değildir fakat bazı özel uygulamalar için zorunludur. En büyük avantajı yatay ve düşey elemanlarda kullanılabilir olmasıdır. Polietilen ya da naylon örtüler kalıplar söküldüğü andan itibaren en fazla yarım saat içerisinde beton yeterli sertliği kazandığı gibi başlanmalıdır. Kullanılan örtüler sağlam ve esnek olmalıdır. Uygulama esnasında kullanılan örtülerde oluşan herhangi bir yırtık, açıklık örtünün etkinliğini azaltır. Beton yüzeyi kış aylarında koyu renk, yaz aylarında ise açık renk malzemelerle kaplanmalıdır.



(a)

(b)

(c)

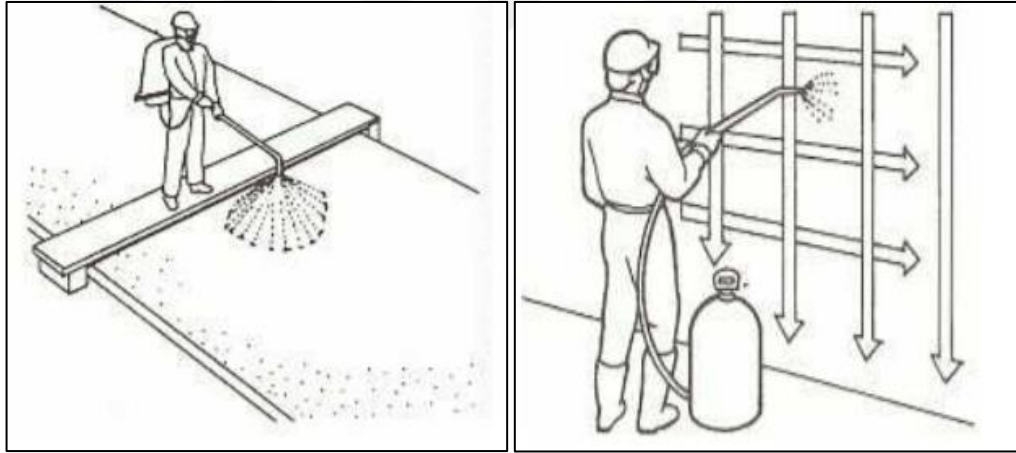
Şekil 1.6. Beton yüzeyinin örtü ile kaplanması, (a) İskelet sistemi üzerine, (b) Düşey eleman üzerine, (c) Kolon başları

Şekil 1.6(a)'da görüldüğü gibi eğer beton baskı beton ise yüzeyinin bozulmaması için örtüler hafif bir iskelet sisteminin üzerine örtülebilir. Şekil 1.6(b)'deki gibi düşey elemanlarda kalıplar söküldükten sonra en geç yarım saat içinde polietilen örtüler ile

kaplama işlemine başlanmalıdır. Şekil 1.6(c)'de görüldüğü gibi kolon, perde duvar gibi düşey elemanlarda özellikle kolon başları ve duvarların üst kısımları ekstra koruma gerektirir. Bu yüzden bu kısımlar polietilen örtüler ile kaplanmalıdır.

1.4.1.3. Kimyasal katkılar ile kürleme

Kürleme için kullanılan kimyasal malzemeler $0,2-0,25 \text{ kg/m}^2$ arası bir kalınlıkta uygulanmalıdır. Bu malzemeler, harç ya da taze beton ile boya gibi diğer yüzey kaplamalarının arasındaki aderansı önleyebilir. Kullanılan kimyasal maddeler işin cinsine göre değişiklik gösterir. Alüminyum rengi veya beyaz renkte olan kimyasal katkılar beton yüzeyinde bir tabaka oluşturur. Oluşan bu tabaka suyun beton yüzeyinden buharlaşarak ayrılmasını en aza indirir. Ayrıca sıcak havalarda güneş ışınlarının beton yüzeyinden kırılmasını ve yansımını sağlar. Kimyasal katkıların asla kuru yüzeylere uygulanmaması gerekir. Çünkü beton sıvı bileşimi emebilir. Ayrıca yüzey fazla suluda olmamalıdır. Su kimyasal maddenin etkinliğini azaltır. Şekil 1.7'de kimyasal kür uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Kimyasal kür maddelerinin spreyleme ile uygulanması

1.4.2. Hızlandırılmış kür yöntemleri

Hızlandırılmış kür uygulamaları daha çok kalıpların kısa sürede sökülmesi ve betonda yüksek basınç dayanımı sağlanması istenilen durumlarda kullanılır. Hızlandırılmış kür yöntemlerinin maliyeti yüksek ve uygulaması zordur. Ayrıca uygulama sonrasında oluşacak hızlı ısı kaybına dikkat edilmelidir. Genellikle yerinde beton uygulamalarında kullanılır. Hızlandırılmış kür olarak sıcak su kürü, kaynar su kürü ve buhar kürü gibi çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Buhar kürü, atmosfer basıncı

buhar kürü ve yüksek basınçlı (otoklav) buhar kürü olmak üzere iki farklı metotla uygulanabilmektedir. Atmosfer basınçlı buhar kürü genellikle prefabrik yapılarda ve soğuk havalarda, yapının etrafı kapatılarak uygulanan bir yöntemdir. Otoklav kürü ise, çok yüksek erken dayanımın gerekli olduğu küçük boyutlu yapılara uygulanmaktadır. Hızlandırılmış kr teknikleri betonun erken yaş mukavemetlerini arttırır fakat ileri yaş mukavemetlerinde dşse sebep olur.



2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Lura vd., yapmış oldukları bu çalışma ile kür sıcaklığı ve çimento tipinin, yüksek dayanımlı betonların erken yaş büzülmeleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Bu çalışma için Luna ve arkadaşları, dört farklı kürleme sıcaklığı (10°C, 20°C, 30°C ve 40°C) uygulamışlardır. Ayrıca w / b oranı % 0,35 ve % 5 silis dumanı içeren üç çeşit karışımlar göz önüne alınmıştır. Karışım A'da Portland çimentosu (CEM I 52,5 R), Karışım B'de BFS çimentosu (CEM III / B 42,5 LH HS) ve Karışım C'de de ikisinin bir karışımı kullanılmıştır. Karışım içerikleri Tablo 2.1' de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Harç karışımlarının bileşen oranları

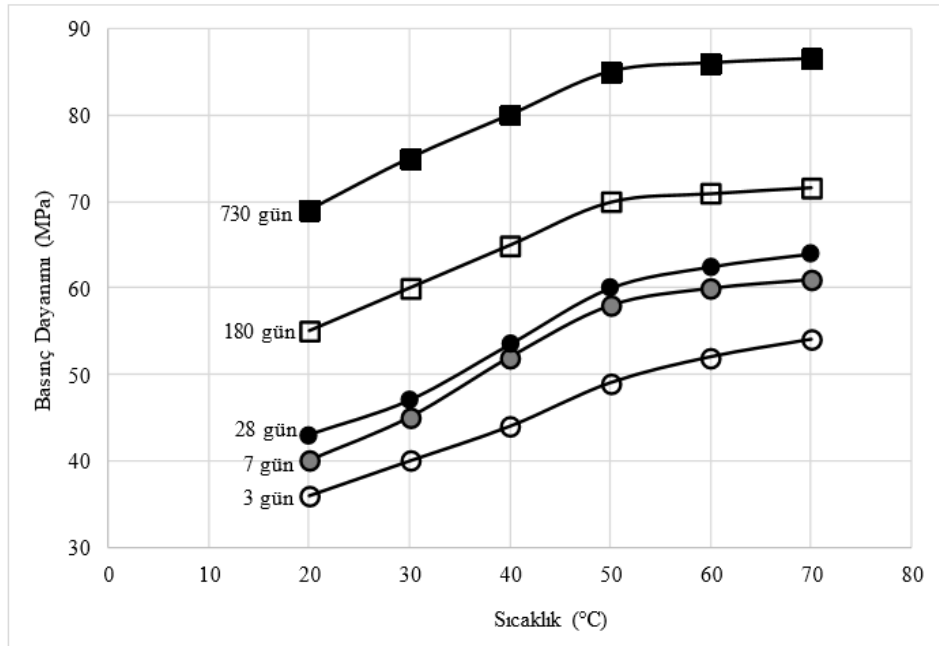
Karışım oranları (kg/m ³)	A	B	C
CEM I 52,5 R (Portland çimentosu)	475,0	-	238,0
CEM III/B 42,5 LH HS (BFS çimentosu)	-	475,0	237,0
Su	175,8	178,8	178,8
İri agrega (4-16 mm)	944,2	944,2	944,2
Kum (0-4 mm)	772,5	772,5	772,5
Lignosülfanat	0,9	0,9	0,9
Naftalin sülfanat	8,1	7,1	7,6
Silika füme (%50 toz, %50 su)	50,0	50,0	50,0

İzotermik ortamda kürlenene numunelere yapılan testler sonucunda en iyi dayanım sonuçlarını portland çimentosu ile hazırlanan A karışımı göstermiştir. Özellikle düşük sıcaklıklarda B karışımı yavaş dayanım kazanmıştır. Yine de sıcaklık değişimi erken dayanımları etkilese de ileriki yaşlarda dayanım değerlerinin, standart külemeye göre daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca tüm sıcaklıklarda 6 günün sonunda BFS çimentolu betonlar, portland çimentolu betonlardan daha fazla büzülme göstermiştir. Bunun nedeni ise daha küçük gözeneklere sahip BFS çimento hamurunun yoğunluğuyla ilgili olabileceği düşünülmüştür (Lura vd., 2001).

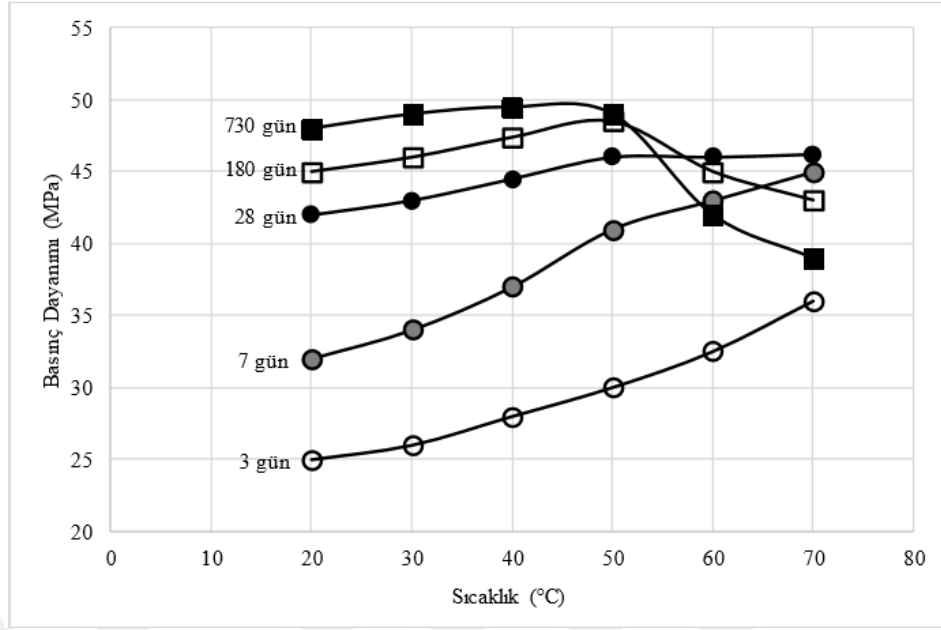
İnce, yapmış olduğu çalışmada silis dumanı takviyeli çimento harçlarının erken dönemde sıcak su ile kürlenmesinin betonun mekanik özelliklerine ve dayanıklılığına olan etkisini araştırmıştır. İnce, ilk olarak silis dumanı takviyeli çimento harçları için en uygun kürleme sıcaklığını analiz etmek için 20°C, 30°C, 40°C, 50°C, 60°C ve

70°C’de 7 farklı kür koşulu oluşturmuştur. Daha sonra numuneleri sudan çıkararak 20°C’ de test gününe kadar tekrar kürlemiştir. Kontrol numunelerinin (%0 silis dumanı) test sonuçları Şekil 2.1’de gösterilmiştir. %30 oranında silis dumanı takviyeli çimento harçlarının basınç dayanımı değerleri de Şekil 2.2’de gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre kür suyu sıcaklığını artırmak genel olarak basınç dayanımını olumlu şekilde etkilemiştir. Numunelerin erken yaşlarda basınç dayanımı, artan kür suyu sıcaklığı ile daha doğrusal artarken ileri yaşlardaki basınç dayanımlarının 50°C üzerinde kür suyu sıcaklığı uygulanmasına pek elverişli olmadığı görülmüştür. Ayrıca %30 silis dumanı takviyesi içeren çimento harçlarında da kürleme sıcaklığı arttıkça dayanımın arttığı görülmüştür. Fakat 50 °C den daha yüksek sıcaklıklarda kürlemenin silis dumanı takviyeli betonun uzun vadede dayanımlarını önemli ölçüde artırmadığı da görülmüştür.

Çimento harcı ve %30 silis dumanı takviyeli çimento harcının 14 gün boyunca, su içerisinde 50°C sıcaklıkta kürlendikten sonra 20°C sıcaklıkta su içerisine yerleştirilerek 28. günde gerçekleştirilen taramalı elektron mikroskop analizleri Şekil 2.3’de verilmektedir. Çimentoya bağlayıcılık özelliği kazandıran kalsiyum-silikat-hidrat kristallerinin silis dumanı takviyeli çimento harcı numunesinde daha yoğun bir şekilde rastlanması, kür suyu sıcaklığının hem çimento hidrasyonunu hem de puzolanik reaksiyonu hızlandırdığını göstermektedir.

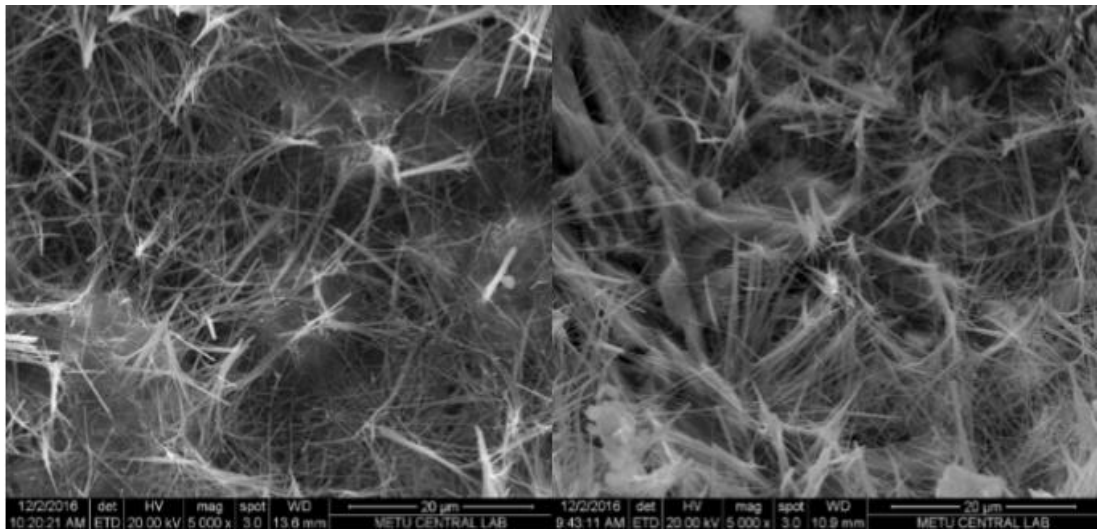


Şekil 2.1. Kontrol numunelerinin basınç dayanımı değerleri



Şekil 2.2. %30 silis dumanı takviyeli numunelerinin basınç dayanımı

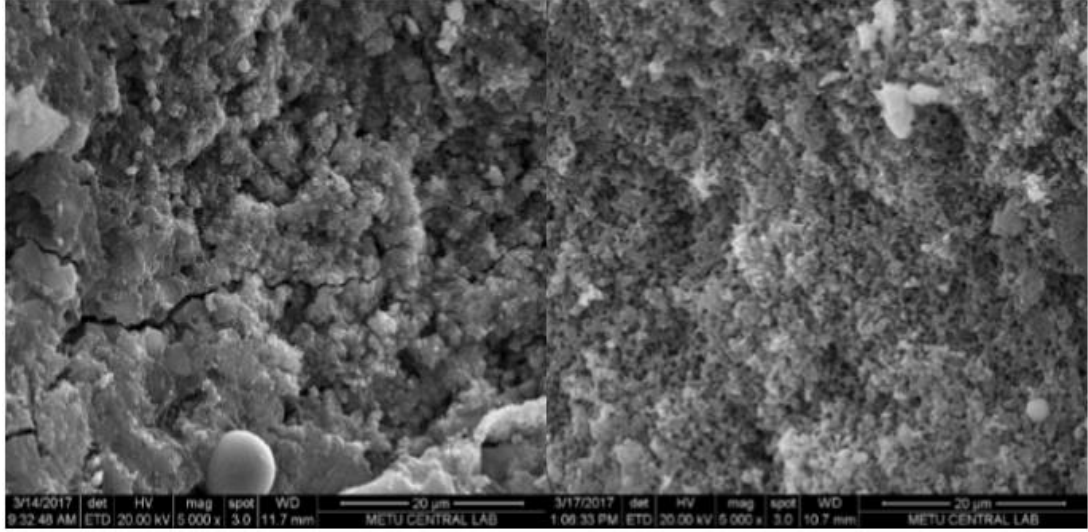
Çimento harcı ve %30 silis dumanı takviyeli çimento harcının 14 gün boyunca, su içerisinde 50°C sıcaklıkta kürlendikten sonra 20°C sıcaklıkta su içerisine yerleştirilerek 28. günde gerçekleştirilen taramalı elektron mikroskop analizleri Şekil 2.3’de verilmektedir. Çimentoya bağlayıcılık özelliği kazandıran kalsiyum-silikat-hidrat kristallerinin silis dumanı takviyeli çimento harcı numunesinde daha yoğun bir şekilde rastlanması, kür suyu sıcaklığının hem çimento hidrasyonunu hem de puzolanik reaksiyonu hızlandırdığını göstermektedir.



(a)

(b)

Şekil 2.3. 50°C’de 28 gün kürlenmiş numunelerin elektron mikroskop analizleri, (a) Çimento harcı, (b) %30 silis dumanı takviyeli harç



(a)

(b)

Şekil 2.4. 70°C’de 730 gün kürlenmiş numunelerin elektron mikroskop analizleri, (a) Çimento harcı, (b) %30 silis dumanı takviyeli harç

Çimento harcı ve %30 silis dumanı takviyeli çimento harcının 14 gün boyunca, su içerisinde 70°C sıcaklıkta kürlenmesinin ardından 20°C sıcaklıkta su içerisinde 730 gün muhafaza edildikten sonra gerçekleştirilen taramalı elektron mikroskop analizleri Şekil 2.4’de verilmektedir. Yoğun iç yapısına rağmen, 70°C sıcaklıkta kürlenmiş çimento harcında genişlemeye bağlı çatlaklar gözlenmiştir. %30 silis dumanı takviyeli çimento harcında bu tür bir çatlak yapısına rastlanmamaktadır (İnce, 2018).

Husem ve Gözütok, yaptıkları çalışmada düşük sıcaklıklarda kürlenmenin, normal dayanımlı ve yüksek dayanımlı betonlarda basınç dayanımı üzerine etkisini araştırmak istemişlerdir. Bu nedenle, üretilen beton numunelere standart kürlenme (23°C), 10°C, 5 °C, 0 °C ve -5°C’ de kürlenme işlemi uygulamışlardır. Bu çalışma için normal dayanımlı betonlarda KÇ32,5 çimentosu ve yüksek dayanımlı betonlar için ise PÇ42,5 çimentosu kullanmışlardır. Ayrıca yüksek dayanımlı beton karışımlarına süper plastikleştirici ve silis dumanı eklenmiştir. Üretilen silindirik numuneler tüm sıcaklıklarda önce 7 gün kürlenmiş ve 7. günün sonunda bir kısmına basınç dayanımı testleri uygulanmıştır. Kalan numunelere ise 7. Günden sonra 21 gün boyunca standart kürlenme uygulanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre kürlenme suyu sıcaklığı düşüldükçe beton basınç dayanımı azalmaktadır. Yüksek dayanımlı betonlar düşük sıcaklıklardan normal dayanımlı

betonlara göre daha az etkilenmiştir. Çünkü yüksek performanslı betonda sudaki mineral tuzları nedeniyle suyun donma sıcaklığı düşüktür. Ayrıca 7 gün soğuk suda kürlenmeden sonra 21 gün normal suda kürlenmiş numunelerin 28 günlük basınç dayanımı değerleri, 28 gün boyunca standart kür uygulanmış numunelere yakın çıkmıştır fakat yine de istenilen dayanım değerleri elde edilememiştir (Husem ve Gözütok, 2005).

Tan ve Gjør, farklı kürlenme koşulları altında betonun basınç dayanımı ve geçirgenliğini incelemeyi amaçlamışlardır. Bu nedenle 100x100x100 mm boyutlarında 5 farklı küp numuneler üretilmiş ve ürettikleri numuneleri buharda ve daha sonra sıcak su tanklarında kürlenmişlerdir. Ayrıca numunelerden birine silis dumanı ekleyerek etkisini incelemişlerdir. Numunelere yarı adyabatik ortamda yüksek sıcaklık uygulayarak kürlenme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yarı-adyabatik durumdaki sıcaklık değişimi ilk olarak 50 mm kalınlığında bir polistirenden 14 litrelik bir kutuda izlenmiştir. Numuneler maksimum sıcaklık değerlerine ulaştıktan sonra uygun sayıda örnek çıkarılarak aynı sıcaklıktaki bir su tankına koyulmuştur ve 48 saat boyunca yavaş yavaş oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Kürlenme işlemi biten numunelere çeşitli testler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre silis dumanı basınç dayanımını %30 oranında arttırmıştır. Aynı yaşta 3 ve 7 günlük nemli kürlenmeye tabi tutulan numuneler 28 günlük standart kürlenmeye göre daha yüksek basınç dayanımları göstermiştir. Ayrıca kürlenme sıcaklığı normal dayanımlı betonun basınç dayanımını önemli ölçüde etkilemiştir fakat yüksek dayanımlı betonun basınç dayanımını etkilememiştir (Tan ve Gjør, 1996).

Bakharev vd., yaptıkları çalışma ile yüksek sıcaklıkta kürlenmenin alkali aktive çürüf (AAS) betonun mikroyapısı, büzülme ve basınç dayanımı üzerine etkilerini araştırmışlardır. Aktivatör olarak sodyum silikat ve sodyum hidroksit kullanılarak hazırlanan beton, sabit su/bağlayıcı oranındaki sıradan portland çimentosu (OPC) ile karşılaştırılmıştır. Numuneler iki sıcaklık metoduna tabii tutulmuştur. İlkinde numuneler konmadan önce sıcaklığın 75 °C' de sabitlendiği bir kür havuzu kullanılmıştır. Dökme silindirler plastik torbalara yerleştirilerek 6 saat boyunca bu havuzda sabit sıcaklıkta tutulmuştur. Bu süre sonunda ısıtma elemanı kapatılarak beton oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Diğer yöntemde ise beton numuneler 2 saat boyunca bir brandanın altında oda sıcaklığında tutulmuş ve ardından 23 ° C

deki kür havuzuna konmuştur. Numuneler havuzda iken sıcaklık 3,5 saatte 65 °C ye yükseltilmiş ve bu sıcaklıkta 5 saat boyunca kürlenmiştir. Daha sonra ısıtma elemanı kapatılarak beton oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır.

Yapılan testler sonucunda, yüksek sıcaklıkta kürlenmiş AAS betonu OPC ye göre çok daha hızlı dayanım kazandığı gözlenmiştir. 24 saatin sonunda AAS betonu OPC betonunun bir günlük dayanımı aşmıştır. Ön işlem uygulanarak sıcak kür uygulanan betonda ise yine AAS betonu OPC betonundan daha yüksek dayanım vermiştir. Ayrıca ön işlem uygulanmadan sıcak kürlenme yapılan AAS betonunda dayanım değerlerini aşmıştır. Fakat bir ay ve daha sonraki zamanlarda sıcak kürlenme yapılan numunelerin dayanımları standart kürlenme yapılan numunelere göre %35-%45 oranında daha düşük çıkmıştır. Sıcak kürlenme AAS betonunda büzülme önemli ölçüde azalmıştır. Özellikle ön işlemden sonra sıcak kürlenme uygulanan numunelerde büzülme standart kürlenme yapılan numunelere göre ciddi oranda azalmıştır (Bakharev vd., 1999).

Chithra ve Dhinakaran, yapmış oldukları çalışmada sıcak su kürü ve sıcak hava fırınlama kürünün öğütülmüş yüksek fırın çürüğü (GGBFS) üzerine etkisini incelemişlerdir. Bu çalışma için karakteristik basınç dayanımı 20 MPa olan beton seçilmiş ve beton numuneleri %30, %40 ve %50 oranında GGBFS'nin çimento ile değiştirilmesi ile numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 4 saat boyunca 40°C, 50°C ve 60°C olmak üzere 3 farklı sıcaklığa maruz bırakılmıştır.

Yapılan testler sonucunda GGBFS'nin oranına bakılmaksızın çimento ile değişiminde, basınç ve eğilme dayanımlarında daha iyi sonuçlar vermiştir. Normal kürlenmeden birkaç saat önce sıcak kürlenmeye tabi tutulan numuneler daha iyi dayanım sonuçları vermiştir. Sıcak su kürlenmesi ve sıcak hava kürlenmesi karşılaştırıldığında, sıcak su kürlenmesinin dayanım değerleri üzerinde daha etkili olduğu gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 60°C sıcaklıkta % 40 GGBFS sıcaklığına sahip numunelerin maksimum basınç dayanımı ve çekme dayanımı sağladığı görülmüştür (Chithra ve Dhinakaran, 2014).

Yazıcı vd. yaptıkları bu çalışmada hem metakaolin hem de hızlandırılmış kür yöntemlerinin harçların mekanik özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu çalışma için %5, %10, %15 ve %20 oranlarında metakaolin ağırlıkça çimento ile yer

değiştirilmiş ve 5 farklı karışım üretilmiştir. Ayrıca hazırlanan bu harçlara, $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ standart su kürü, 35°C ılık su kürü, 80°C kaynar su kürü ve otojen kür olmak üzere 4 farklı hızlandırılmış kür uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Standart su kürü uygulanan numuneler 24 saat boyunca kalıpta tutulduktan sonra kalıplarından çıkarılmış ve test gününe kadar kirece doygun $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta su içerisinde kürlenmiştir. Ilık su kürü uygulanan numuneler dökümden yaklaşık 30 dakika sonra poşetlenmiş ve 35°C 'lik ılık su içerisine koyularak 23,5 saat kürlenmiştir. Kaynar su kürü uygulanan numuneler ise dökümden 23,5 saat sonra poşetlenerek $80\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcak su içerisinde 3,5 saat bekletilmiştir. Otojen kür uygulanan numuneler ise dökümden 30 dakika sonra strafor kutular içerisine koyularak 48 saat boyunca kürlenmiştir.

Kürleme işlemi sonrası testleri gerçekleştirilen numunelerin basınç dayanımı sonuçları Tablo 2.2' de dir.

Tablo 2.2. Numunelerin basınç dayanımı sonuçları

Harç adı	Basınç Dayanımı (MPa)			
	28 günlük standart kür	Ilık su kürü	Kaynar su	Otojen kür
KH	47,3	29,1	29,7	32,4
MK1	49,9	29,3	29,9	31,1
MK2	52,2	26,6	30,6	32,2
MK3	56,5	25,6	29,9	28,7
MK4	49,6	21,4	27,0	25,2

Sonuçlara bakıldığında sıradan portland çimentosunda en iyi dayanım değerleri standart kürleme yönteminde elde edilmiştir. Hızlandırılmış kürleme yöntemlerinde ise en fazla eğilme ve basınç dayanımı artışı %10 metakaolin içeren harç numunelerinde görülmüştür. Kürleme yöntemlerinden otojen kürün diğer kür yöntemlerine kıyasla dayanım artışında daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca en düşük dayanım değerleri ise ılık kürleme (35°C)' de görülmüştür (Yazıcı vd., 2010).

Palou vd., metakaolin (MK) ve yüksek fırın cürufu (BFS) ile harmanlanmış portland çimentosundan (PC) oluşan ikili sistemin kür sıcaklığına bağlı olarak hidrasyon değişimini incelemiştir. Kürleme sıcaklıkları olarak 30°C , 40°C , 50°C ve 60°C

seçilmiştir. Deneysel çalışma için hazırlanan harmanlanmış çimento karışımları ampullere ve kapaklara yerleştirilmiş ve şırınga yardımı ile ampullere s/ç oranı 0,5 olacak şekilde su enjekte edilmiştir. Numuneler su eklendikten sonra yavaşça karıştırılarak kalorimetreye yerleştirilmiştir ve ölçümler başlatılmıştır. Yapılan ölçümler sonrasında, PC – BFS ve PC – MK karışımlarının hidratasyonu; kür sıcaklığı, malzeme bileşimi ve PC'nin değiştirme miktarı ile kuvvetli bir şekilde etkilenmiştir. İlk hidratasyon reaksiyonlarının oranı, kürlenme sıcaklığının artmasıyla orantılı olarak artarken, sonraki aşamalarda hidratasyon hızı yavaşlamıştır. PC-MK karışımının 50°C ve 60°C’ de 48 saatlik kürlenme sonrasında, 30°C’ de kürlenmiş numunelere kıyasla hidratasyonunun daha düşük olduğu görülmüştür. BFS ile harmanlanmış örneklerin hidratasyonu başlangıçta ve sonraki aşamalarda, daha yüksek kürlenme sıcaklıkları ile arttırılmıştır (Palou vd., 2016).

Maltais ve Marchand yapmış oldukları çalışmada, kür suyu sıcaklığının ve uçucu külün, çimento hidratasyonu ve basınç dayanımı gelişimi üzerindeki etkisini belirlemek için sıradan bir portland çimentosu ve iki farklı Kuzey Amerika Sınıfı F tipi uçucu külü olan çeşitli harç numuneleri hazırlanmışlardır. Bu harç numuneleri 20°C ve 40 °C’ de izotermal bir kürlenmeye maruz bırakılmıştır. Test sonuçları, kür suyu sıcaklığının uzun vadeli basınç dayanımını azalttığını ortaya koymuştur. Öte yandan kürlenme sıcaklığının uçucu kül karışımları için daha az zararlı olduğunu ve uzun vadede basınç dayanımları üzerinde de faydalı bir etkiye sahip olabileceğini göstermiştir. Tablo 2.3 görülebileceği gibi, kürlenme sıcaklığının 20 ° C'den 40 ° C'ye yükseltilmesi, bütün uçucu kül karışımlarının uzun süreli basınç dayanımını arttırmaya yardımcı olmuştur (Maltais ve Marchand, 1997).

Tablo 2.3. Numunelerin basınç dayanımı sonuçları

Karışım	Zaman								
	7s	10s	26s	3g	7g	14g	28g	35g	42g
T10-20°C	-	2,3	17,2	26,6	37,8	43,9	45,0	49,0	51,0
T10-40°C	7,1	13,4	26,2	35,3	38,9	40,7	42,8	-	44,7
T10-10%FA1-20°C	-	1,7	15,5	27,5	31,5	39,3	48,7	51,7	53,6
T10-10%FA1-40°C	10,5	15,9	27,0	28,1	-	41,0	45,0	-	46,9
T10-20%FA1-20°C	-	1,0	14,0	18,7	28,2	41,1	45,9	52,3	53,2
T10-20%FA1-40°C	4,5	9,6	22,5	28,6	39,2	42,2	50,5	-	55,0
T10-30%FA1-20°C	-	0,8	9,0	20,5	28,8	34,1	39,9	43,0	46,5
T10-30%FA1-40°C	3,9	9,0	22,7	29,9	-	47,9	52,1	-	55,2
T10-20%FA2-20°C	-	1,5	13,6	20,1	30,8	33,8	39,9	44,1	45,9
T10-20%FA2-40°C	5,6	11,7	22,5	26,2	37,3	41,5	49,0	-	50,6

Yazıcı ve Sezer, hızlandırılmış kür uygulamalarının, farklı oranlarda uçucu kül içeren harçların erken yaş eğilme ve basınç mukavemetlerine etkisini incelemişlerdir. Bu çalışma için üretilen harç karışımlarında; %20, %30 ve %40 oranlarında C sınıfı uçucu kül ve bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Standart kür, 35°C ve 85 °C’ de ve farklı sürelerde olmak üzere 7 farklı kür uygulanmıştır. Uygulanan kür yöntemleri Tablo 2.4’ de verilmektedir.

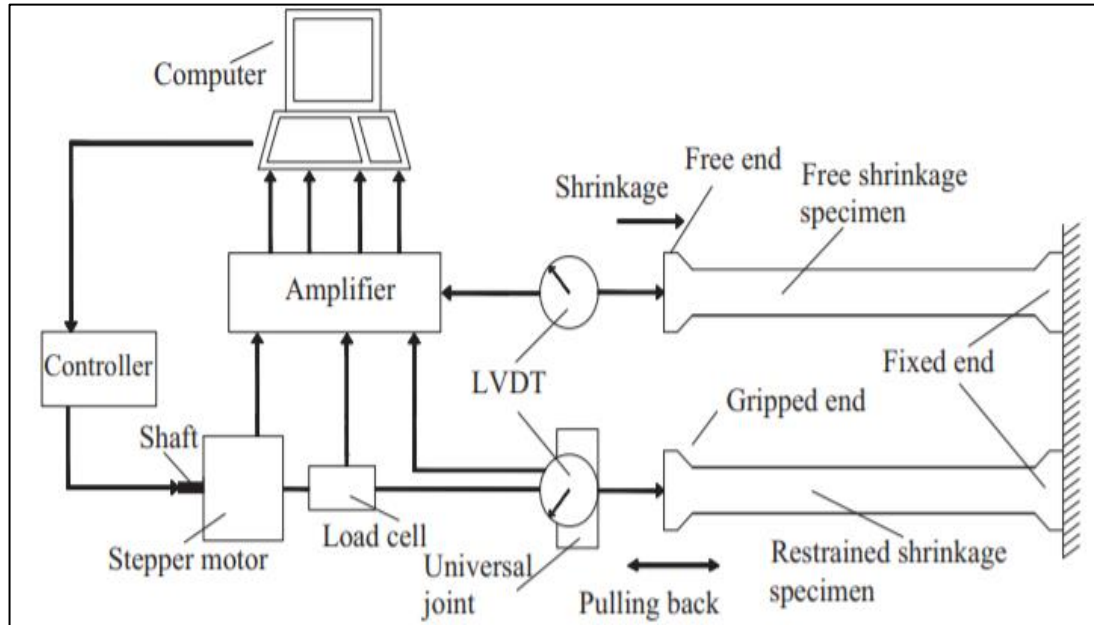
Tablo 2.4. Uygulanan kür yöntemleri

Kür tipi	Kür uygulama süresi ve yöntemi
A	Standart kür 1 gün
B	Standart kür 7 gün
C	Standart kür 28 gün
D	35°C’de su kürü 1 gün
E	35°C’de su kürü 1 gün + Standart kür 27 gün
F	85°C’de su kürü 3,5 saat
G	85°C’de su kürü 3,5 saat + oda sıcaklığında 1 saat bekletme + toplam 28 gün tamamlanincaya kadar standart kür

Numuneler döküm işleminden yaklaşık 4 saat sonra poşetler içerisine koyularak bekletilmiştir. Sonrasında 17 saat boyunca 35 °C kür sıcaklığında ve 3,5 saat boyunca 85 °C’ de bekletilmiştir. Daha sonra kendi kendine soğumaya bırakılarak yaklaşık 2 saat sonra kürlenme işlemi bitirilmiştir. Yapılan testler sonucunda, 7 farklı kür süresi ve koşulu için; en iyi basınç ve eğilme dayanımı sonuçlarını referans numunesi vermiştir. En düşük basınç ve eğilme dayanım değerleri ise içerisinde %40 oranında uçucu kül bulunan karışımdan elde edilmiştir. Harçların basınç ve eğilme dayanımları incelendiğinde standart küre kıyasla, sıcak su kürü uygulamaları 1 günlük dayanımlarda artışa, 28 günlük dayanımlarda ise düşüşe sebep olduğu görülmüştür. 85°C’deki kürün 35°C’deki küre kıyasla dayanım değerlerinde daha fazla artış olduğu görülmüştür. Ayrıca sıcak su kürü uygulandığı takdirde, uçucu kül takviyesinin standart kürlenmede sebep olduğu basınç dayanım kaybının telafi edilebileceği görülmüştür. Bu çalışma sonucunda sıcak su kürü uygulamalarının harçlarda standart kürlenme altında 28 günlük basınç mukavemetlerinin %63’üne ve eğilme mukavemetlerinin ise %72’sine ulaşılabileceği sonucuna varılmıştır (Yazıcı ve Sezer, 2015).

Wang vd. yaptıkları çalışma ile yüksek sıcaklıkta kürlemenin farklı bağlayıcı maddeler ile hazırlanmış betonların hidrasyonu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu çalışma için; saf çimento, %50 uçucu kül içeren bağlayıcı, %50 öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu (GGBS) içeren bağlayıcı ve %50 çelik cüruf (SS) içeren bağlayıcı olmak üzere dört farklı karışım hazırlamışlardır. Üretilen betonlar için üç farklı kür koşulu oluşturulmuştur. Kür koşulu-1, 3 gün boyunca 20°C’ de bekletilmiştir. Kür koşulu-2, 1 gün boyunca 60 °C’ de ve 2 gün boyunca 20 °C’ de kürlenmiştir. Kür koşulu-3 ise 3 gün boyunca 60°C’ de kürlenmiştir. Yapılan testler sonucunda; mineral katkılı betonların erken dayanımları üzerinde kürleme sıcaklığının etkisi sıradan portland çimentosuna göre daha önemlidir. GGBS içeren betonun dayanım artışı oranındaki kısa süreli (sadece 1 gün) yüksek sıcaklıkta kürlenme etkisi en önemlisidir sonucuna varılmıştır (Wang vd., 2014)

Shen vd., yaptıkları çalışma ile kürleme sıcaklığının yüksek dayanımlı betonlarda (HPC) otojen büzülme ve erken yaşta çatlama direncine etkisini araştırmaktır. Bu çalışma için PÇII 52,5R çimento tipi kullanılmış olup testler Şekil 2.5’de gösterildiği gibi Kovler tarafından önerilen sisteme dayalı olarak geliştirilen TSTM ile yapılmıştır.



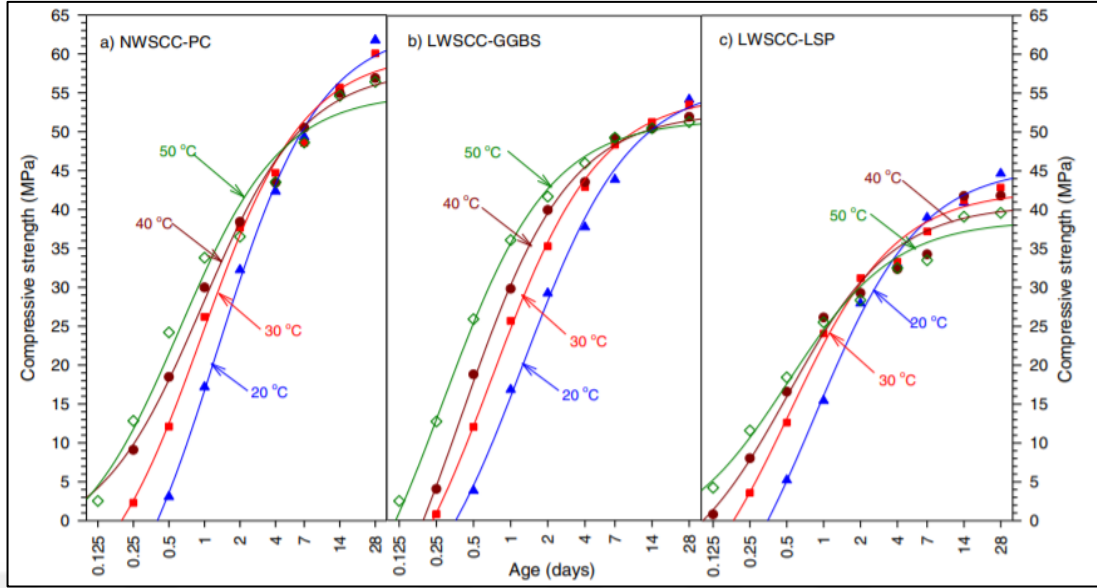
Şekil 2.5. Denede kullanılan sıcaklık stres test cihazı şematik açıklaması

Üretilen numunelere 3 farklı kürleme sıcaklığı (İzotermal 20 °C, İzotermal 45 °C ve adyabatik durum) uygulanmıştır. Bu numuneler NC-20, NC-45 ve NC-A olarak

adlandırılmıştır. NC-A en yüksek sıcaklıkta 48 saat kürlenmiştir ve NC-20, NC-45 ise sırasıyla 98 ve 264 saat kürlenmiştir. Test sonuçlarına göre HPC'nin otojen büzülmesi artan kürlenme sıcaklığı ile birlikte artmıştır. Ayrıca çatlama direnci en yüksek olan numune ise İzotermal 20 °C' de kürlenmiş NC-20 numunesi olmuştur (Shen vd., 2015).

Özalp vd., yapmış oldukları çalışmada, normal, yüksek ve ultra yüksek dayanımlı olacak şekilde üç farklı sınıfta betonlar üretmişlerdir. Üretilen betonlar standart su kürü, buhar kürü ve yalıtılmış ortamda sıcaklık kürü olmak üzere üç farklı koşulda kürlenmiştir. Numuneler dökümden 24 saat sonra kalıplardan çıkarılarak bir kısmı 20 ± 2 °C' de standart su kürüne koyulmuştur. Bir kısmı ise 24 saat boyunca 65°C' de buhar kürüne, ardından su kürüne koyulmuştur. Diğerleri de 24 saat süre ile yalıtılarak 150 °C' de etüv kürüne ve sonrasında su kürüne koyulmuştur. Kürlenme işlemi biten numunelere testler yapılmıştır ve yapılan testler sonucunda; yüksek sıcaklıkta kür uygulamalarının normal ve yüksek dayanımlı betonlarda basınç dayanımını azalttığı görülmüştür. Ultra yüksek dayanımlı betonlarda ise basınç dayanımını olumlu etkileyerek artırmıştır. Özellikle normal dayanımlı betonlarda dayanım kaybı en fazla olmuştur. Ayrıca yüksek kür sıcaklığı, normal ve yüksek dayanımlı betonlarda muhtemelen iç yapıya zarar vermiş ve bu yüzden geçirimsizliği azaltmıştır. Deney sonucunda yüksek sıcaklıklarda kürlenmenin bütün numunelerde kılcal su emmeyi değerini de artırdığı ortaya konmuştur (Özalp vd., 2015).

Turuлло ve Soutsos, yaptıkları çalışma ile kürlenme sıcaklığının kendiliğinden yerleşen beton üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışma için kontrol numunesi olarak portland çimentosu ve normal ağırlıkta kendiliğinden yerleşen beton (NWSCC-PC), öğütülmüş granül yüksek fırın cürufu betonu ve hafif ağırlıkta kendiliğinden yerleşen beton (LWSCC-GGBS) ve kireç taşı tozu betonu ve hafif ağırlıkta kendiliğinden yerleşen beton (LWSCC-LSP) olmak üzere 3 karışım elde etmişlerdir. Elde edilen bu karışımları 20°C, 30°C, 40°C ve 50°C'de 3 saat, 6 saat, 12 saat, 1, 2, 4, 7, 14 ve 28. günlerde test etmişlerdir. 100x100x100 mm' lik kalıplara dökülen numunelerin üzerleri sarılarak su tanklarına koyulmuştur. 24 saat sonra çıkarılarak kalıpları açılmış ve numuneler tekrar farklı sıcaklıklardaki tanklara koyulmuştur. Kürlenme işlemi biten numunelere basınç dayanımı testleri gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları Şekil 2.6' da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. 20°C, 30°C, 40°C ve 50°C'de kürlenmiş NWSCC-PC, LWSCC-GGBS ve LWSCC-LSP betonlarının basınç dayanımı

Elde edilen sonuçlara neticesinde kür sıcaklığının, hafif ağırlıkta kendiliğinden yerleşen betonların dayanımları üzerindeki etkisi normal ağırlıktaki betona benzer olduğu görülmüştür. Erken yaşlarda kütleme sıcaklığı ne kadar yüksek ise standart kütleme sıcaklığında sertleşen numunelere göre dayanım kazanma hızı da o kadar yüksektir. Fakat ileri yaşlardaki dayanımları daha düşüktür. Ayrıca erken yaş dayanımlarında LWSCC-GGBS betonunun dayanımları diğerlerine göre daha düşüktür. 50°C'de 1 gün kürlenen numuneler referans numunesinin 28 günlük basınç dayanımı değerinin yaklaşık %50'sini kazanmıştır. Referans numunesinin 1 günlük dayanımı 28 günlük dayanımının yaklaşık %30'u kadardır (Turuallo ve Southsos, 2015).

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Çimento

Bu çalışmada bağlayıcı madde olarak, Nuh Çimento San. A.Ş.'den tedarik edilmiş CEM I 42,5 R portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri Tablo 3.1'de, fiziksel ve mekanik özellikleri ise Tablo 3.2'de verilmiştir. Fotoğrafi ise Şekil 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal Analiz	%
CaO	62,7
SiO ₂	20,5
Al ₂ O ₃	4,65
Fe ₂ O ₃	3,40
SO ₃	2,21
MgO	1,02
TiO ₂	-
Na ₂ O	0,18
K ₂ O	0,41
Klor (Cl-)	0,01
Çözünmez kalıntı	0,60
Kızdırma kaybı	2,15

Tablo 3.2. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

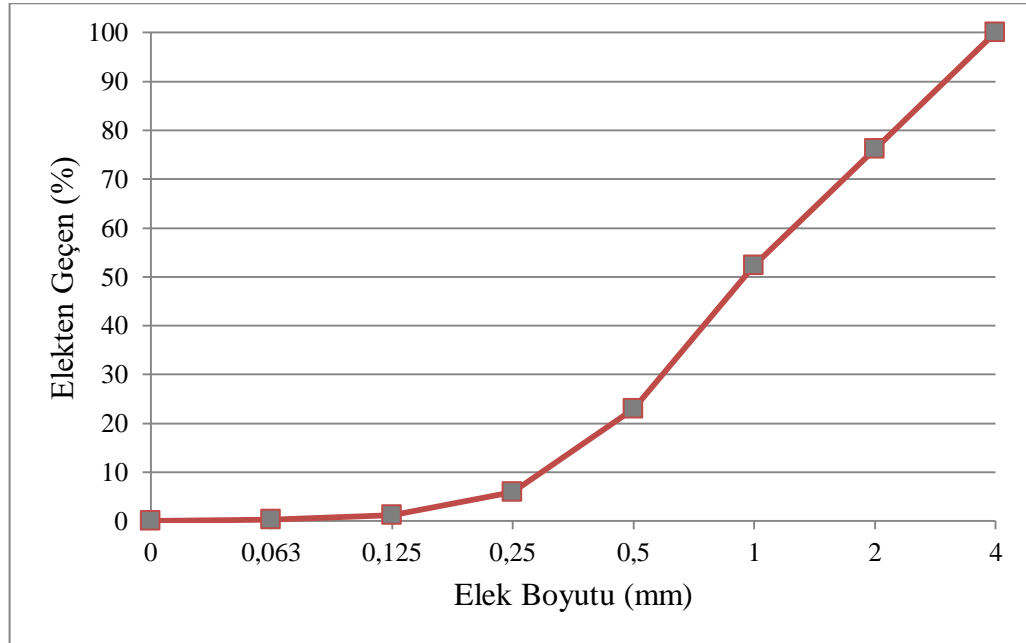
Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	
Özgül yüzey, cm ² /g	3510
Özgül ağırlık, gr/cm ³	3,12
Priz başlama periyodu, dakika	153
Priz bitiş periyodu, dakika	188
Basınç dayanımı	
2 gün, MPa	30,2
7 gün, MPa	51,1
28 gün, MPa	62,2



Şekil 3.1. Cem I 42,5 R Portland çimentosu

3.1.2. Doğal kum

Bu çalışmada agrega olarak Kocaeli Başiskele bölgesinde bulunan Kavanlar Beton Santralinden alınan özgül ağırlığı $2,57 \text{ g/cm}^3$ olan ve tane boyutu 0-4 mm aralığında olan doğal kum kullanılmıştır. Kullanılan agreganın granülometri eğrisi Şekil 3.2’de ve fotoğrafı da Şekil 3.3’ de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Agrega granülometri eğrisi



Şekil 3.3. 0-4 mm aralığında agrega (doğal kum)

3.1.3. Su

Bu çalışmada su olarak Kocaeli ili içilebilir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2. Deney Numunelerinin Üretimi

DeneySEL çalışmalar normal dayanımlı betonlarda gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan çimento miktarı 400 kg/m^3 , su/çimento oranı 0,60 olan karışım kullanılmıştır. Tüm karışımlarda sabit su/çimento oranı kullanılmış olup herhangi bir katkı malzemesi kullanılmamıştır. Karışımlarda kullanılan dizayn Tablo 3.3' de gösterildiği gibidir.

Tablo 3.3. Karışım dizaynı

Malzemeler(kg/m^3)	Özgül Ağırlık	Ağırlık(kg)
Su	1,00	240
Çimento	3,12	400
İnce agrega	2,57	1598

Tabloda verilen ağırlıklara göre malzemeler hassas tartı yardımı ile tartılarak hazırlanmıştır. Temizlenip kurulanan beton mikserine, önce agrega daha sonra

çimento dökülerek karıştırılmıştır. Hazırlanan bu karışıma su yavaş yavaş ilave edilerek harç homojen bir kıvam alana kadar karma işlemine devam edilmiştir. Hazırlanan harçtan numune alınarak yayılma deneyi yapıp kıvamına bakılmıştır. Karma işlemi bitirilen harç, daha önceden temizlenip yağlanmış kalıplara mala ve spatula yardımı ile yavaş yavaş yerleştirilmiştir. Harcın kalıplara daha iyi yerleşmesini sağlamak ve boşluk kalmaması amacıyla masa tipi laboratuvar vibratörü kullanılarak ortalama 5 sn vibratör işlemi uygulanmıştır. Üzerleri mala ile düzeltildikten sonra priz almaları için uygun laboratuvar ortamında bırakılmıştır.

Deneyisel çalışma kapsamında üretilen numunelere kıvam, eğilme dayanımı, basınç dayanımı, rötre, kılcal su emme, su emme ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Eğilme, basınç, birim ağırlık ve su emme deneyleri için 40 mm x 40 mm x 160 mm boyutlarında kalıplar kullanılarak her sıcaklık için 18'er adet prizma numune dökülmüştür. Rötre testleri için 25 mm x 25 mm x 285 mm boyutlarında her sıcaklık için 5'er adet olacak şekilde çubuk prizma numuneler dökülmüştür. Kullanılan kalıplar Şekil 3.4 ve 3.5' de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. 40x40x160 mm boyutlarındaki kalıp



Şekil 3.5. 25x25x285 mm boyutlarındaki kalıp

3.3. Kür Koşulları

Üretilen numuneler kalıba döküldükten 24 saat sonra kalıptan çıkarılıp kürleme işlemine geçilmiştir. Referans numunesi $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de standart su kürü havuzunda 3 gün, 7 gün, 28 gün ve 90 gün süre ile bekletilmiştir. Diğer numuneler 30°C , 40°C , 50°C , 60°C , 70°C , 80°C ve 90°C ' de 3 saat, 6 saat, 24 saat, 3 gün ve 7 gün olmak üzere 5 farklı süre ile ısı ayarlı kür havuzunda bekletilmiştir. Kür havuzunda önce su istenilen sıcaklığa getirilmiş ve daha sonra numuneler içine konmuştur. Rötire testleri için bekletilen numuneler bütün sıcaklıklarda 24 saat boyunca kürlenmiştir. Kullanılan kür havuzunun fotoğrafı Şekil 3.6' da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Isı ayarlı kür havuzu

3.4. Yöntem

3.4.1. Kıvam (Yayılma)

Beton mikserinde karma işlemi gerçekleştirildikten sonra elde edilen taze harçtan kıvam deneyi için numune alınmıştır. ASTM C230'da belirtilen yayılma tablası metoduna göre 15 saniyede 25 vuruş olacak şekilde kıvam deneyi gerçekleştirilmiştir. Vuruşlar sonucunda yayılma miktarı kumpas yardımı ile 4 farklı noktadan ölçülmüş ve bu 4 ölçümün ortalaması alınarak mm cinsinden ifade edilmiştir. Yayılma miktarı genel olarak ortalama 15-16 cm aralığında tutulmuştur. Yayılma deneyi fotoğrafı Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Yayılma deneyi

3.4.2. Eğilme dayanımı

40 mm x 40 mm x 160 mm boyutlarında hazırlanan numuneler TS EN 1015-11 standardına uyularak mesnet açıklığı 100 mm olacak şekilde iki mesnet üzerine yerleştirilmiştir. Açıklığın ortasından çizgisel P yükü ile yüklenmiş ve kırılıncaya kadar yükleme işlemine devam edilerek eğilme dayanımı belirlenmiştir.

Çalışma için hazırlanan numunelerin resimleri Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. 40x40x160 mm'lik numuneler

Deneysel çalışma için hazırlanmış olan dikdörtgen prizma numuneler mesnetlere yerleştirilip deney makinesine konduktan sonra üzerlerine, numuneler kırılana kadar

0,02 MPa/sn hızında yükleme yapılmıştır. Makinede okunan eğilme yükü değeri denklem (3.1)'de yerine koyularak eğilme dayanımı değerleri bulunmuştur. Deney fotoğrafları Şekil 3.9' da gösterilmiştir.

$$\sigma_e = 1.5 \frac{P.l}{b.h^2} \quad (3.1)$$

Her sıcaklıkta farklı kür süreleri için 3 er numune eğilme testine tabi tutulmuş ve bu numunelerin ortalaması alınarak bir değer elde edilmiştir.



Şekil 3.9. Üç noktalı eğilme dayanımı testi

3.4.3. Basınç dayanımı

Betonun basınç dayanımı, eksenel basınç yükü altındaki betonun kırılmamak için gösterebileceği direnme kabiliyetidir. Betonda istenilen en önemli dayanım basınç dayanımıdır. Bunun en büyük nedenlerinden biri de basınç dayanımı bilinen bir betonun diğer dayanımları hakkında fikirler edinilebilir.

Bu çalışmada eğilme testine tabi tutulan numunelerin iki parçaya bölünmesi sonucunda çıkan parçalara basınç dayanımı testleri uygulanmıştır. Bu doğrultuda parçalar 40 mm x 40 mm x 40 mm boyutlarında iki küp arasına koyularak test makinesine yerleştirilmiştir. TS EN 1015-11'e uygun olarak üzerlerine 0,01 MPa/sn hızında yükleme yapılmıştır. Basınç testi fotoğrafları Şekil 3.10'da verilmiştir. Numuneler kırıldığı esnada makinede ölçülen maksimum değer alınmış ve böylece basınç yükü saptanmıştır. Denklem (3.2)'ye göre basınç dayanımı bulunmuştur.

$$\sigma = P/A \quad (3.2)$$



Şekil 3.10. Basınç dayanımı testi

Her sıcaklıkta, farklı kür süreleri için yarım numune olarak 6'şar numune basınç testine tabi tutulmuş ve bu numunelerin ortalaması alınarak bir değer elde edilmiştir. Yalnızca 24 saatlik kür süresine sahip numunelerden yarım numune olacak şekilde birer adet numune kılcal su emme testi için basınç testine tabi tutulmamıştır.

3.4.4. Birim ağırlık ve su emme

Isı ayarlı kür havuzunda 24 saat boyunca kürlenmiş 40 mm x 40 mm x 160 mm boyutlarındaki numuneler çıkarıldıktan sonra yüzeylerindeki fazla sular kuru bir bez yardımı ile alınmış ve hassas tartıda tartılarak doymuş kuru yüzey (DYK) ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra 110 ± 5 °C etüve konan numuneler 24 saat sonra tekrar çıkarılarak kuru ağırlıkları tartılmıştır (TS EN 772-13).

Her sıcaklık için 3'er numuneye test uygulanmış ve bulunan sonuçların ortalaması alınarak denklem (3.3) ve (3.4) yardımı ile kuru birim ağırlık ve su emme değerleri hesaplanmıştır.

$$\Delta = \frac{W_k}{V} \quad (3.3)$$

$$S_a = \frac{W_d - W_k}{W_k} \times 100 \quad (3.4)$$

3.4.5. Kılcallık

Kılcallık, numunelerin bir yüzeyinin suya temas etmesi ile betonun içine zamanla su emmesi olayıdır. Beton içerisindeki boşluklar ne kadar fazla ise betonun kılcallık yolu ile içerisine su emmesi de o kadar fazladır.

24 saat boyunca ısı ayarlı kür havuzunda kürlenmiş 40 mm x 40 mm x 160 mm boyutlarındaki numuneler havuzdan çıkarılıp eğilme testi gerçekleştirildikten sonra iki parçaya ayrılmıştır. Parçaların yarısı basınç testi için ayrılırken diğer yarısı da kılcal su emme deneyi için etüve konulmuştur. Numuneler TS EN 1015-18 standartına uygun olarak 100 ± 5 °C'de etüvde 24 saat kurutulmuştur. Etüvde kuruyan numuneler hassas tartı ile tartılıp ağırlıkları not edildikten sonra kırık yüzeyleri suya temas edecek şekilde 10 dk, 90 dk ve 24 saat boyunca suda bekletilmiştir. Her sürenin sonunda numuneler çıkarılarak yüzeylerindeki sular kuru bir bezle alınarak hassas tartıda ağırlıkları ölçülmüştür ve tekrar suya koyulmuştur. Her sıcaklık için 3'er numunenin ölçümleri yapılmış ve ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.11. Kılcal su emme deneyi

3.4.6. Rötire

Her sıcaklık için 25 mm x 25 mm x 285 mm boyutlarında 5 adet numune rötire testleri için dökülmüştür. Harç hazırlandıktan sonra kalıba dökülmeden önce kalıpların iki ucuna da 25 mm x 25 mm ölçülerinde ve 2 mm kalınlığında plakalar ve plakaların ortasına da pimler yerleştirilmiştir. Daha sonra harç kalıplara dökülmüş ve 24 saat sonra kalıplardan çıkarılmıştır. Isı ayarlı kür havuzuna koyulmuş ve burada gerekli sıcaklıkta 24 saat boyunca kürlenmiştir. Kürleme işlemi biten numuneler havuzdan çıkarıldıktan sonra 10 dakika normal suda bekletilmiştir ve sonrasında yüzeyleri kuru bir bez ile silinip, cetvel yardımı ile ilk boyları ölçülmüştür. İlk boy ölçümünden sonra numuneler uçlarına takılı olan pimler yardımı ile aşağıda Şekil 3.12’de görülen rötire ölçüm aleti ile ilk ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İlk ölçümlerinden sonra numune muhafaza dolabına koyulan numuneler sırası ile 4., 7., 28., 56., 90. ve 112. gün ölçümleri yapılmıştır. Her sıcaklık için beş numunenin ortalaması alınarak denklem (3.6) ve (3.7)’de değerler yerine koyulmuş ve yüzde değişimleri bulunmuştur.

$$\Delta L = \Delta L_{\text{ilk gün}} - \Delta L_{\text{son gün}} \quad (3.6)$$

$$\%L = \frac{\Delta L}{\text{ilk boy}} \times 100 \quad (3.7)$$



Şekil 3.12. 25x25x285 mm boyutundaki numuneler ve rötire ölçüm aleti

4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

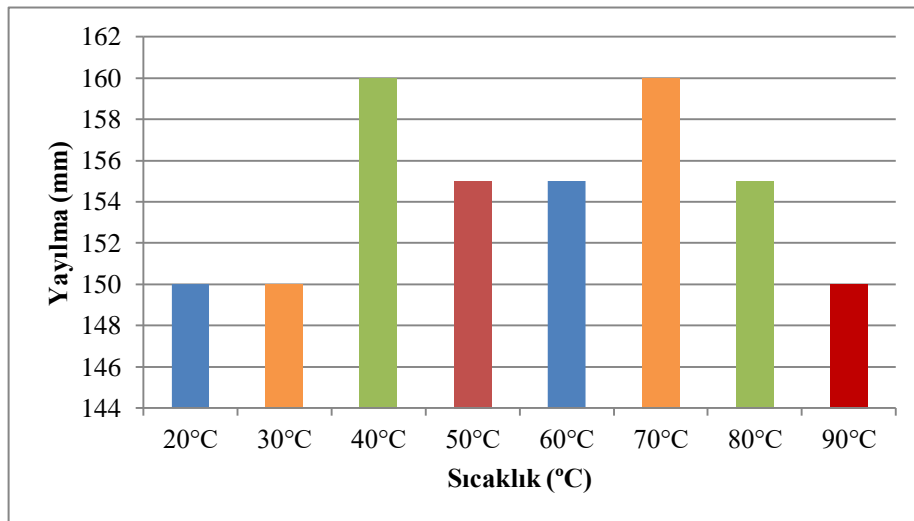
Bu deneysel çalışma Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemeleri Laboratuvarında yapılmıştır. Herhangi bir katkı malzemesi kullanılmadan üretilen harç numuneleri ile gerçekleştirilen bu çalışmada eğilme dayanımı, basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme, kılcak su emme ve rötre deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlarından elde edilen veriler aşağıda paylaşılmıştır.

4.1. Kıvam (Yayılma)

Yayılma tablası üzerinde kumpas yardımı ile ölçülen yayılma değerleri Tablo 4.1’de ve Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Sabit su/çimento miktarı ve sabit çimento dozajı kullanılarak hazırlanan harç numunelerinin taze haldeki yayılma miktarları ortam sıcaklığı etkisi ile değişiklik göstermiş ve ortalama 150-160 mm aralığında tutulmuştur.

Tablo 4.1. Kıvam sonuçları

Sıcaklık	Kıvam(mm)	Sıcaklık	Kıvam(mm)
20°C	150	60°C	155
30°C	150	70°C	160
40°C	160	80°C	155
50°C	155	90°C	150



Şekil 4.1. Numunelerin yayılma miktarları

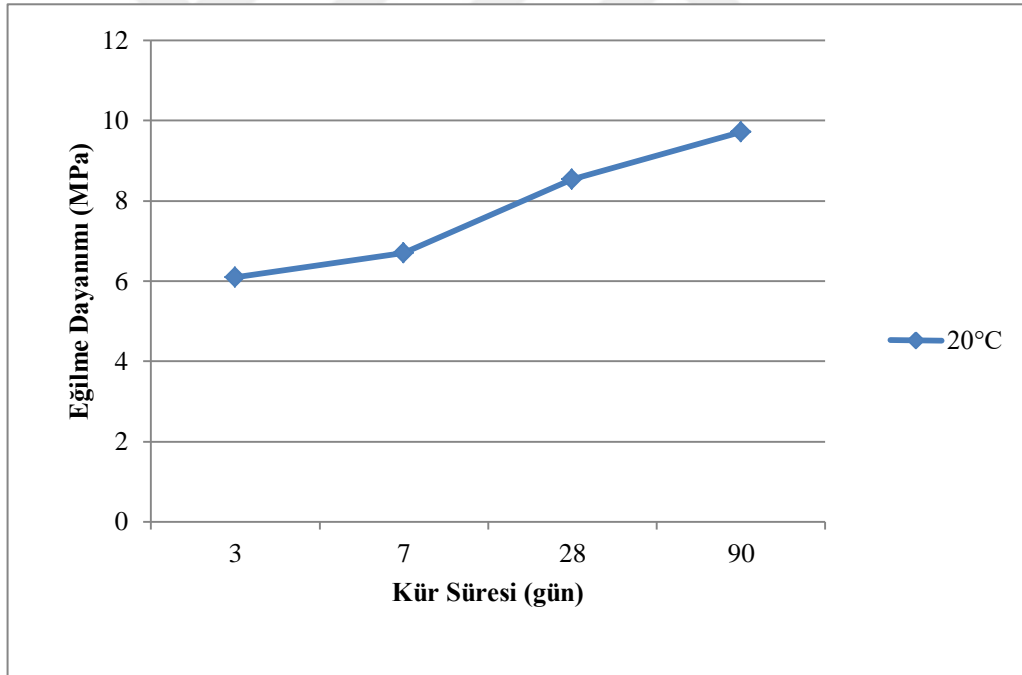
4.2. Eğilme Dayanımı

4.2.1. Standart su kürü

Referans numunelerine 3 gün, 7 gün, 28 gün ve 90 gün boyunca 20 ± 2 °C’ de standart su kürü uygulanmıştır. Kürleme işlemi biten referans numune eğilme dayanımı sonuçları Tablo 4.2’ de ve 90 günlük değişimi Şekil 4.2’ de verilmiştir.

Tablo 4.2. Referans numune eğilme dayanımı sonuçları

Kür Süresi	Eğilme Dayanımı (MPa)
3 gün	6,09
7 gün	6,70
28 gün	8,53
90 gün	9,73



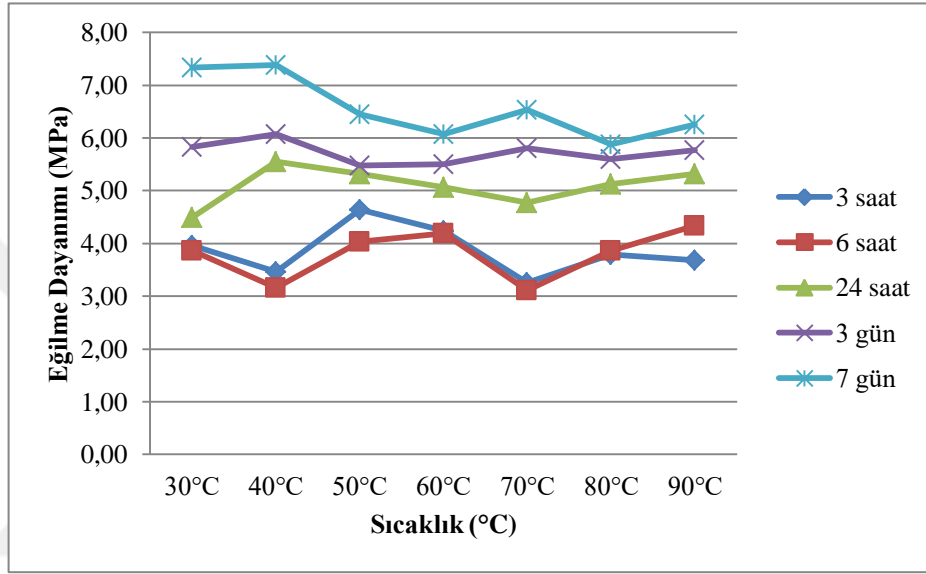
Şekil 4.2. Referans numunesinin standart su kürü uygulaması ile 90 günlük eğilme dayanımı değişimi

4.2.2. Sıcak su kürü

30°C ve 90°C aralığında sıcak havuzlarda 3 saat, 6 saat, 24 saat, 3 gün ve 7 gün süre ile kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı sonuçları Tablo 4.3’de ve Şekil 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3. Eğilme dayanımı sonuçları (MPa)

Zaman	Sıcaklık (°C)						
	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C
3 saat	3,96	3,47	4,64	4,24	3,26	3,80	3,68
6 saat	3,87	3,16	4,03	4,20	3,12	3,87	4,34
24 saat	4,50	5,55	5,32	5,06	4,78	5,13	5,32
3 gün	5,84	6,07	5,48	5,51	5,81	5,60	5,77
7 gün	7,34	7,38	6,45	6,07	6,54	5,88	6,26



Şekil 4.3. 30°C ve 90°C sıcaklık aralığında kürlenen numunelerin eğilme dayanımı sonuçları (MPa)

Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'e bakıldığında 3 saat ve 6 saat kürlemenin eğilme dayanımı değişiminde fazla bir etkisi olmadığı halde sıcak su havuzlarında kürlenen numuneler arasında genel olarak en iyi eğilme dayanımı sonuçları 40°C' de kürlenen numunelerden elde edilmiştir. 24 saat boyunca sıcak küremeye maruz bırakılan numuneler, referans numunesinin 7 günlük eğilme dayanımı değerinin ortalama %76'sını karşılamıştır. Buna rağmen referans numunesi ile kıyaslandığında 3 gün boyunca sıcak havuzda kürlenen numuneler, referans numunesinin 3 günlük eğilme dayanımı değerlerine ulaşamamıştır. 30°C ve 40°C'de daha uzun süre kürlenen (7 gün) numunelerin referans numunesinin 7 günlük dayanım değerini aştığı ve 28 günlük eğilme dayanımı değerlerinin %87'sini 7 günde kazandığı görülmüştür.

Kısa süreli kürlemelerde genel olarak sıcaklık arttıkça eğilme dayanımı artış göstermiştir. 3 saat ve 6 saat sıcak küreme uygulaması arasında ciddi bir fark bulunmamaktadır. 24 saat ve üzeri kürlemelerde ise artan kür suyu sıcaklığı genel

olarak eğilme dayanımına olumsuz etki etmiştir. Bunun nedeni olarak artan sıcaklığın harç iç yapısında tahribatlar meydana getirmesi gösterilebilir. Eğilme dayanımı için uygun kürleme sıcaklığının 40°C ve sürenin ise en az 24 saat olması uygun görülmüştür. Test sonucu iki parçaya ayrılan numuneler Şekil 4.4’de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Eğilme testi sonucu kırılan numune

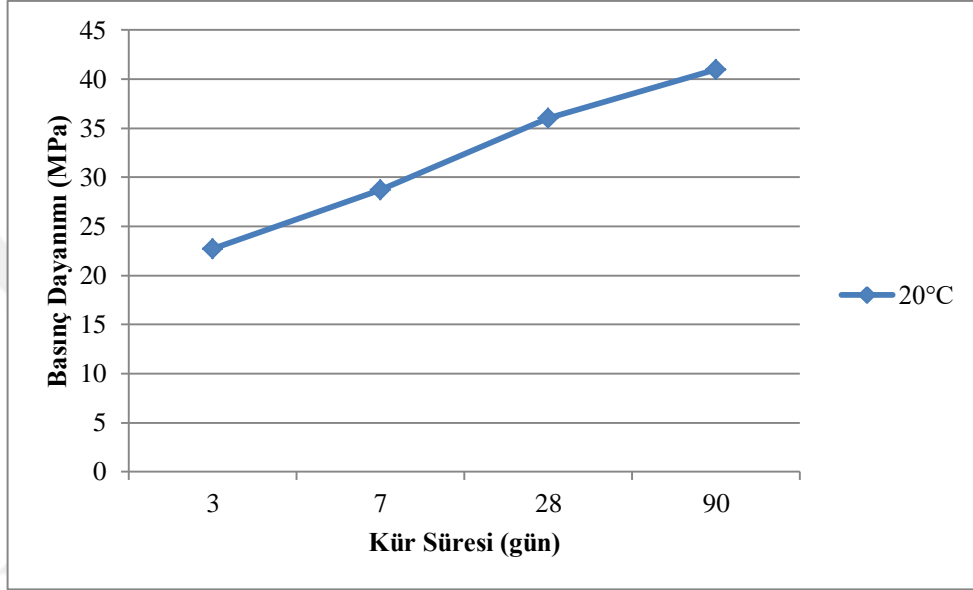
4.3. Basınç Dayanımı

4.3.1. Standart su kürü

20±2°C’de standart su kürü uygulanan numunelerin 3, 7, 28 ve 90 günlük ortalama basınç dayanımı sonuçları Tablo 4.4’de ve Şekil 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.4. Referans numune basınç dayanımı sonuçları

Kür Süresi	Basınç Dayanımı (MPa)
3 gün	22,74
7 gün	28,74
28 gün	36,05
90 gün	40,97



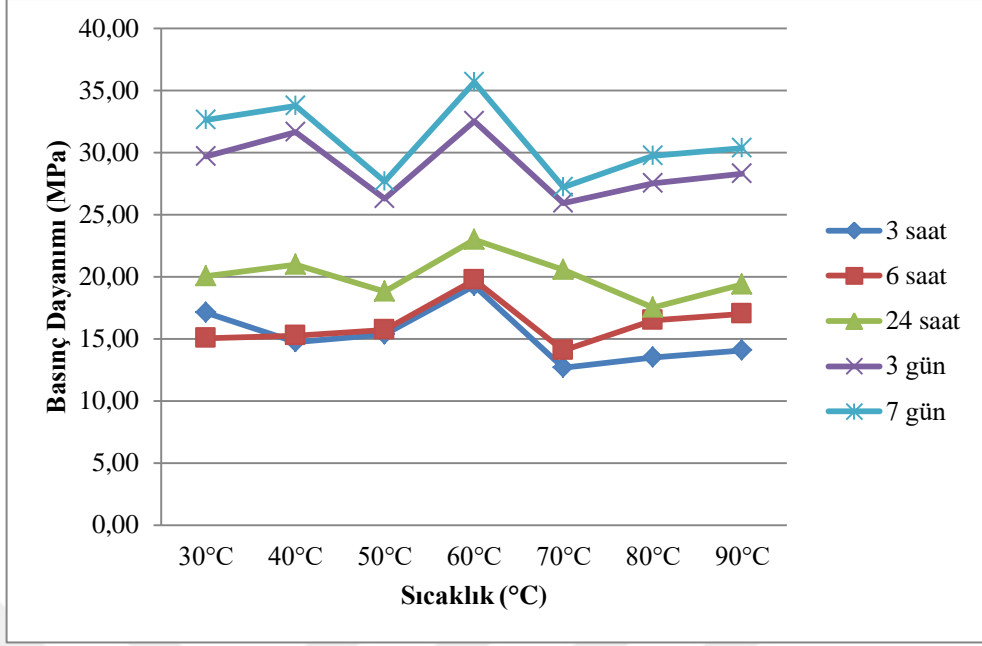
Şekil 4.5. Referans numunesinin standart su kürü uygulaması ile 90 günlük basınç dayanımı değişimi

4.3.2. Sıcak su kürü

30°C ve 90°C aralığında sıcak havuzlarda 3 saat, 6 saat, 24 saat, 3 gün ve 7 gün süre ile kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı sonuçları Tablo 4.5’de ve Şekil 4.6’de verilmiştir.

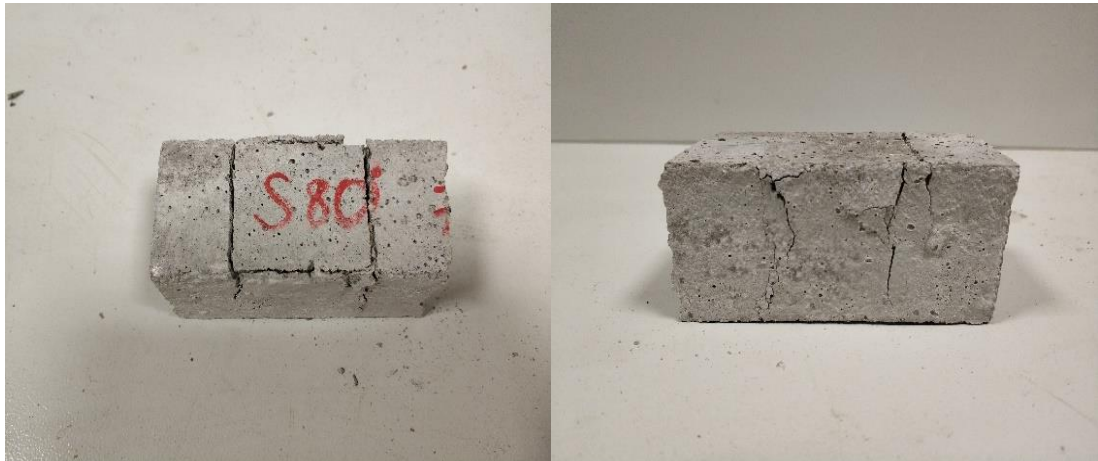
Tablo 4.5. Basınç dayanımı sonuçları (MPa)

Kür Süresi	Sıcaklık(°C)						
	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C
3 saat	17,13	14,76	15,38	19,28	12,67	13,54	14,09
6 saat	15,06	15,25	15,71	19,77	14,10	16,52	17,03
24 saat	20,07	21,01	18,82	22,99	20,56	17,54	19,41
3 gün	29,70	31,68	26,30	32,52	25,92	27,55	28,29
7 gün	32,66	33,76	27,68	35,68	27,23	29,76	30,39



Şekil 4.6. 30°C ve 90°C sıcaklık aralığında kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı sonuçları (MPa)

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 incelendiğinde basınç dayanımı değerlerinde sıcak havuzlarda kürlenmiş numuneler arasında en yüksek değerler 60 °C’ de elde edilmiştir. 3 saat ve 6 saat 60°C’ de kürlenmiş numuneler referans numunesinin 3 günlük dayanım değerlerinin %85’ine ulaşmıştır. 24 saat kürlenme ise referans numunesinin 3 günlük değerlerini aşmıştır ve 7 günlük değerlerinin ise %80’ine ulaşmıştır. 3 günlük kürlenme sonucunda ise ortalama bütün sıcaklıklarda, referans numunesinin 7 günlük basınç dayanımı değerleri aşılmıştır. 60° C’ de 7 günlük kürlenmede ise referans numunesinin 28 günlük basınç dayanımının %99’una ve 90 günlük dayanımının ise %87 sine ulaşılmıştır. Basınç testi sonucu kırılan numuneler Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7. Basınç testi sonucu kırılan numuneler

Genel olarak sıcak kürlenme kendi içinde değerlendirilecek olursa, 60°C ve daha düşük sıcaklıklar, 60°C'nin üzerindeki sıcaklıklara göre basınç dayanımına daha olumlu etkide bulunmuştur. 3 saat ve 6 saat kürlenmenin birbirine kıyasla çok fark etmediği görülmüştür.

4.4. Birim Ağırlık ve Su Emme

Farklı sıcaklıklarda kürlenmiş numunelerin DYK ve kuru ağırlıkları Tablo 4.6' da verilmiştir.

Tablo 4.6. DYK ve kuru ağırlıklar

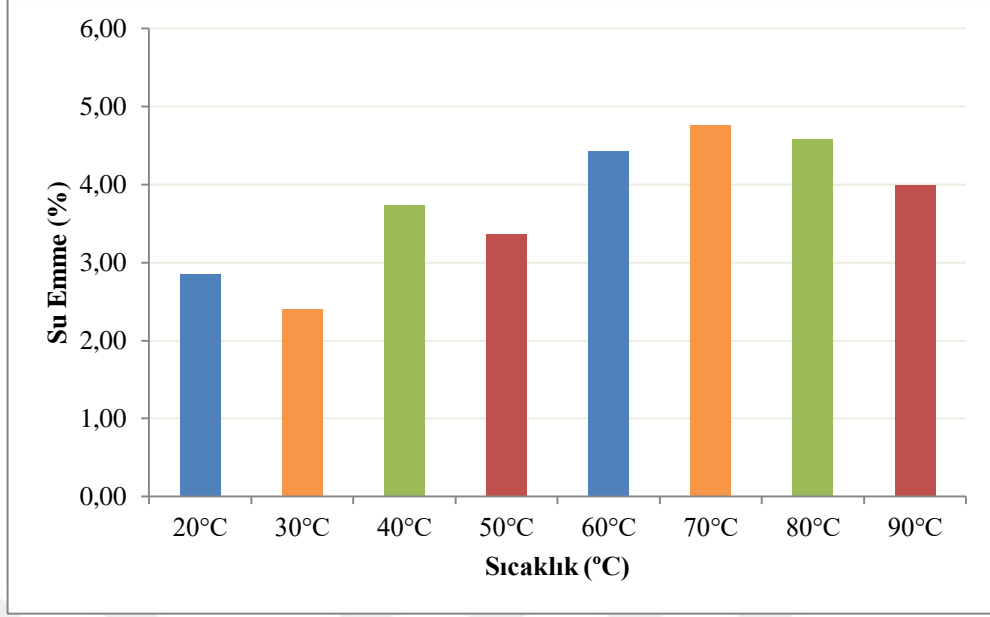
Sıcaklık	DYK(gr)	Kuru Ağırlık(gr)	Sıcaklık	DYK(gr)	Kuru Ağırlık(gr)
20°C	542	527	60°C	567	543
30°C	555	542	70°C	571	545
40°C	555	535	80°C	572	547
50°C	553	535	90°C	574	552

Numunelerin kuru birim ağırlık değerleri Tablo 4.7 ve su emme yüzdeleri Şekil 4.8' de gösterilmiştir.

Tablo 4.7. Numunelerin birim hacim ağırlık değerleri

Sıcaklık	Birim Hacim Ağırlık(gr/cm ³)	Sıcaklık	Birim Hacim Ağırlık(gr/cm ³)
20°C	2,06	60°C	2,12
30°C	2,12	70°C	2,14
40°C	2,10	80°C	2,14
50°C	2,10	90°C	2,16

Farklı sıcaklıklarda kürlenmiş numunelerin birim hacim ağırlıkları üzerine ciddi bir etkisi bulunmadığı görülmüştür. Fakat referans numunesinin kuru birim hacim ağırlık değeri 2,06 gr/cm³ iken sıcak kürlenmeye tabi tutulan diğer numuneler genel olarak bu değerin bir miktar üzerinde kalmıştır. Artan sıcaklık ile birlikte numunelerin kuru birim hacim ağırlıkları da artış göstermiştir. En yüksek kuru birim hacim ağırlık değeri 2,16 gr/cm³ ile 90°C' de kürlenmiş numunedan elde edilmiştir.



Şekil 4.8. Numunelerin ağırlıkça su emme yüzdeleri

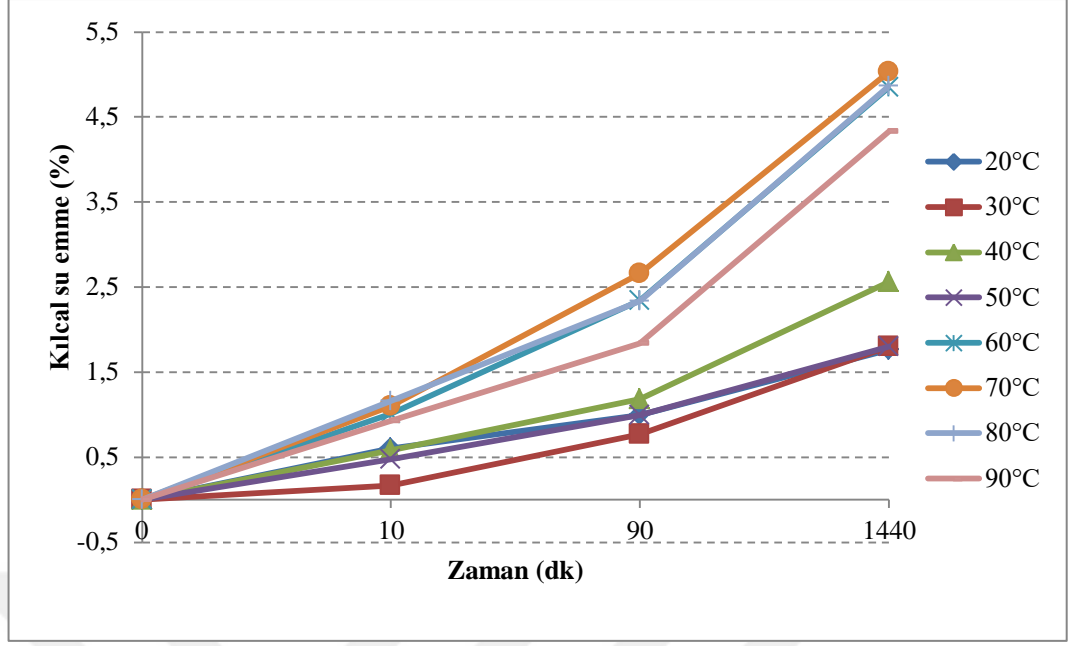
Numunelerin su emme yüzdeleri incelendiğinde genel olarak sıcaklık arttıkça harçta su emme miktarının arttığı görülmüştür. Özellikle 50°C üzerinde gerçekleştirilen kürlenelerde su emme oranının ciddi bir artış sergilediği görülmüştür. 20±2°C’ de kürlenmiş referans numunesinin su emme yüzdesi %2,85 iken 70°C’ de en yüksek su emmenin gerçekleştiği numunede bu oran %4,77’dir. Muhtemelen yüksek sıcaklıklar harç numunesi içerisinde büyük boşluklara neden olmakta ve buda su emme kapasitesinin artmasına neden olmaktadır.

4.5. Kılcallık

Hassas tartı yardımı ile ölçümleri yapılan numunelerin kılcal su emme miktarları Tablo 4.8’de verilmiştir. Kılcal su emme yüzdeleri ise Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

Tablo 4.8. Absorbe edilen su miktarları

Sıcaklık	Absorbe edilen su miktarı(mm)		
	10 dk	90 dk	1440 dk
20°C	1,6	2,7	4,7
30°C	0,5	2,1	4,9
40°C	1,6	3,2	6,9
50°C	1,3	2,7	4,9
60°C	2,7	6,3	13,1
70°C	3,0	7,2	13,7
80°C	2,9	5,9	12,2
90°C	2,5	5,0	11,9



Şekil 4.9. Numunelerin ağırlıkça kılcal su emme yüzdeleri

Ayrıca numunelerin kapilarite katsayıları Tablo 4.9’da gösterilmiştir.

Tablo 4.9. Numunelerin kapilarite katsayıları

Sıcaklık (°C)	Kapilarite Katsayıları (cm ² /sn)		
	10 dk.	90 dk.	1440 dk.
20°C	1,7x10 ⁻⁵	5,3x10 ⁻⁶	1,0x10 ⁻⁶
30°C	1,6x10 ⁻⁶	3,2x10 ⁻⁶	1,1x10 ⁻⁶
40°C	1,7x10 ⁻⁵	7,4x10 ⁻⁶	2,2x10 ⁻⁶
50°C	1,1x10 ⁻⁵	5,3x10 ⁻⁶	1,1x10 ⁻⁶
60°C	4,8x10 ⁻⁵	2,9x10 ⁻⁵	7,8x10 ⁻⁶
70°C	5,9x10 ⁻⁵	3,8x10 ⁻⁵	8,5x10 ⁻⁶
80°C	5,5x10 ⁻⁵	2,5x10 ⁻⁵	6,7x10 ⁻⁶
90°C	4,1x10 ⁻⁵	1,8x10 ⁻⁵	6,4x10 ⁻⁶

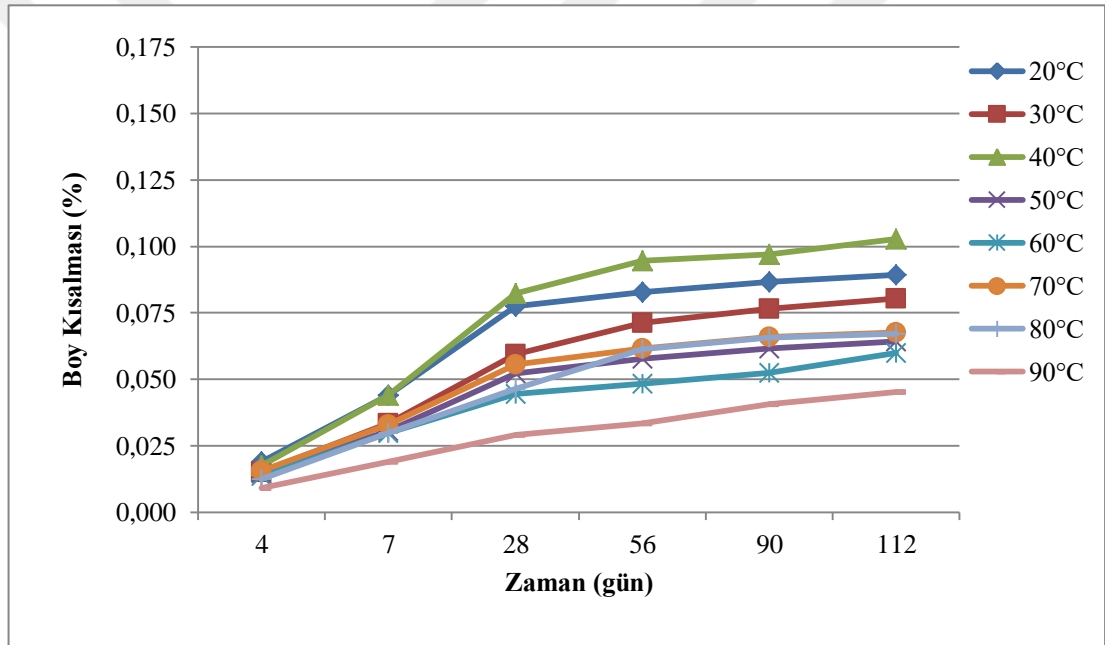
Sonuçlar incelendiğinde sıcaklık arttıkça kılcal su emme miktarının arttığı gözlenmiştir. Özellikle 50°C sıcaklık üzerinde kürlenmiş numunelerde kılcal su emme miktarının ciddi oranda artış sergilediği görülmektedir. 70°C sıcaklıkta kılcal su emme %5,03 ile maksimum değere ulaşırken 20°C %1,77 ile minimum değerdedir.

4.6. Rötire

24 saat sıcak kürlenme ve standart kürlenmeye tabi tutulan numunelerin rötire ölçüm sonuçları Tablo 4.10’da verilmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre formül kullanılarak değişim yüzdeleri bulunmuş ve Şekil 4.10’de gösterilmiştir.

Tablo 4.10. Günlere göre ölçüm değerleri

Zaman (gün)	Sıcaklık (°C)							
	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C
1	4,150	4,141	3,913	4,521	5,016	4,719	4,952	3,539
4	4,096	4,098	3,863	4,479	4,977	4,674	4,916	3,513
7	4,025	4,046	3,788	4,434	4,931	4,625	4,867	3,485
28	3,930	3,972	3,679	4,372	4,889	4,560	4,819	3,456
56	3,915	3,938	3,644	4,356	4,878	4,543	4,777	3,444
90	3,904	3,923	3,637	4,345	4,866	4,531	4,764	3,423
112	3,896	3,912	3,621	4,338	4,845	4,526	4,760	3,410



Şekil 4.10. Numunelerin günlere göre boy kısalma yüzdeleri

Şekil 4.10 incelendiğinde en fazla büzülme 40°C’de gerçekleşmiştir. Genel olarak sıcaklık arttıkça harç numunelerinde büzülme miktarı azalmıştır. Düşük sıcaklıklarda gerçekleşen büzülme miktarı yüksek sıcaklıklara göre daha fazladır. Boy kısalması en fazla %0,1 mertebesine ulaşırken 90 °C’de kürlenen numunelerde en az % 0,05 düzeylerine yaklaşmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasının amacı kür suyu sıcaklığının çimentolu harç numuneleri üzerinde mekanik ve fiziksel etkilerini araştırmaktır. Bu amaçla 20°C, 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C ve 90°C sıcaklıklarda belirli sürelerde kürlenmek üzere numuneler üretilmiş ve bu numunelere çeşitli testler gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları aşağıdaki gibi değerlendirilmiştir:

1. 3 ve 6 saatlik kısa kürlemeler sıcaklık arttıkça eğilme dayanımını arttırmıştır. 3 günlük kürlemeler genel olarak bütün sıcaklıklarda referans numunesinin 3 günlük eğilme dayanımı değerlerine ulaşamamıştır. 7 günlük kürlemede 30°C ve 40°C sıcaklıklarda, referans numunesinin 28 günlük eğilme dayanımı değerinin yaklaşık %87'si kazanılmıştır. Genel olarak 40°C'den fazla kür suyu sıcaklığı, çimentolu harç numunelerinde eğilme dayanımı olumsuz etkilemiştir.
2. 3 saat ve 6 saat boyunca 60°C'de kürlenmiş numuneler referans numunesinin 3 günlük basınç dayanımı değerlerinin %85'ine ulaşmıştır. 24 saat boyunca 60°C'de kürlenmiş numuneler referans numunesinin 3 günlük basınç dayanımı değerlerini aşmış ve 7 günlük basınç dayanımı değerlerinin ise %80'ine ulaşmıştır. 3 günlük kürlemelerde ortalama bütün sıcaklıklarda referans numunesinin 7 günlük basınç dayanımı değerleri aşılmıştır. 60°C'de 7 günlük bir kürleme sonucunda ise referans numunesinin 28 günlük basınç dayanımının %99'una ve 90 günlük basınç dayanımının ise %87'sine ulaşılmıştır. Basınç dayanımı için en ideal kürleme sıcaklığının 60°C olduğu kanısına varılmıştır.
3. Referans numunesinin kuru birim hacim ağırlık değeri 2,06 gr/cm³ iken sıcak kürelemeye tabi tutulan diğer numuneler genel olarak bu değerin bir miktar üzerinde kalmıştır. Yapılan kuru birim ağırlık(g/cm³) testleri göstermiştir ki; kür suyu sıcaklığı arttıkça kuru birim ağırlık değerleri de artmıştır.
4. 20±2°C'de kürlenmiş referans numunesinin su emme yüzdesi %2,85 iken en yüksek su emmenin gerçekleştiği 70°C' de bu oran %4,77'dir. 50°C üzeri kürlemelerde su emme oranı ciddi bir artış sergilemiştir. Sıcaklık arttıkça suda viskozite düşüşüne bağlı akışkanlık artışının buna yol açtığı düşünülmektedir.

5. $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de kürlenmiş referans numunesinin kılcallık yüzdesi %1,77 iken en yüksek kılcallık 70°C 'de %5,03 olarak ölçülmüştür. 50°C üzerinde sıcaklıklarda kürlenmiş numunelerde kılcal su emme oranlarında ciddi bir artış gözlenmiştir. Genel olarak, sonuçlar incelendiğinde kürlenme sıcaklığı arttıkça kılcal su emme miktarının da arttığı görülmüştür.
6. Artan kürlenme suyu sıcaklığı ile birlikte harç numunelerinde büzülme miktarı azalmıştır. En fazla büzülme % 0,10 ile 40°C 'de gerçekleşmiştir.

Yapılan bu çalışmadan elde edilen deneysel sonuçlar neticesinde, kürlenme suyu sıcaklığının 60°C 'ye kadar harçların erken dayanım değerlerini olumlu etkilediği sonucuna varılmıştır. Özellikle 60°C ' den yüksek sıcaklıkların muhtemelen harç iç yapısında tahribatlar meydana getirdiği ve bu yüzden de dayanım değerlerinde düşüşe sebep olduğu düşünülmektedir. Ayrıca literatürdeki benzer çalışmalara bakıldığında, sıcak kürlenmenin ileriki yaşlarda dayanımı olumsuz etkilediği bilinmektedir. Çalışma alternatif olarak buhar kürlenmesi ile çalışılabilir, hatta sıcaklık mertebeleri 200°C ye kadar denenebilir. Ayrıca SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) analizleri yapılarak iç yapı görüntülenebilir.

KAYNAKLAR

Akman M. S., *Construction Materials*, ITU Published, Istanbul, 1987.

Akman M. S., Yapı Malzemelerinin Tarihsel Gelişimi, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 2003/4, **426**, 31-33.

Alyamaç K. E., İnce, R., Kür Süresinin Betonun Kırılma Parametreleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi, 8. *Uluslararası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı*, İstanbul, Türkiye, 7-9 Kasım 2007, 600- 609.

ASTM C 684-89, Standart Test Method for Making, *Accelerated Curing and Testing of Concrete Compression Test Specimens*, West Conshohocken, PA, 1989.

Avcioğlu M., *Malzeme Bilimi Yapı Malzemeleri ve Deneyleri*, 1. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2012

Bakharev T., Sanjayan J. G., Cheng Y. B., Effect of Elevated Temperature Curing on Properties of Alkali-Activated Slag Concrete, *Cement and Concrete Research*, DOI: doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00143-X.

Bauer L. A. P., Olivian L. I., Use of Accelerated Tests for Concrete Made with Slag Cement Accelerated Strength Testing, *ACI Materials Journal*, 1978, **56**, 117-128.

Cembureau (1999), Best Available Techniques for the Cement Industry, <http://www.coprocem.org/documents/holcim-cembureau-bat-1999.pdf/view>, (Ziyaret tarihi: 14/11/2019).

Chithra S., Dhinakaran G., Effect of Hot Water Curing and Hot Air Oven Curing on Admixed Concrete, *International Journal of ChemTech Research*, 2014, **6(2)**, 1516-1523.

Detwiler R. J., Kjellsen K., Gjorv O. E., Resistance to Chloride Intrusion of Concrete Cured at Different Temperatures, *ACI Materials Journal*, 1991, **88(1)**, 19-24.

Doğan M., Tekirdağ Yöresi Agrega Malzemesinin Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2008, 0011448.

Engin Y., Tarhan M., Aydın D. Y., Kür Koşulları ve Süresinin Beton Numunelerin Basınç Dayanımına Etkileri, *Hazır Beton*, Kasım-Aralık 2012.

Gilkey H. J., Curing structural concrete, *J Am Concrete Inst.*, 1952, **28(9)**, 711–715.

Gürü M., Yalçın H., *Malzeme Bilgisi*, 3. Baskı, Palme Yayıncılık, Ankara, 2012.

Hilsdorf H. K., Criteria for the Duration of Curing, *Proceedings of the Adam Neville Symposium on Concrete Technology*, Las Vegas, 1995, 129–46.

Husem M., Gözütok S., The Effects of Low Temperature Curing on the Compressive Strength of Ordinary and High Performance Concrete, *Construction and Building Materials*, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2004.04.033.

https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/I03_cement_June_2010_GS-gct.pdf, (Ziyaret tarihi: 14/11/2019).

<https://agub.org.tr/agrega-nedir/>, (Ziyaret tarihi: 01.12.2019).

İnce C., Sıcak Su Kürünün Silis Dumanı Takviyeli Çimento Harçlarının Mekanik Özelliklerine ve Dayanıklılığına Etkisi, *Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, DOI: 10.17341/gazimmfd.442764.

Johansen V., Thalow N., Skanly J., Simultaneous Presence of Alkali-Silica Gel and Ettringite in Concrete, *Advances in Cement Research*, 1993, **5**(17), 23-29.

Klieger P., Effect of Mixing and Curing Temperature on Concrete Strength, *Journal of American Concrete Institute*, 1958, **54**(6), 1063-1081.

Kostmatka S. H., Voigt G. F., Taylor P. C., Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement, *A State of the Practice Manual Center for Transportation Research and Education Iowa State University*, 2006, 69-104.

Kosmatka S. H., Kerkhoff P., William C., *Design and Control of Concrete Mixtures*, Portland Cement Association Publication, 1. Baskı, Skokie, IL United States, 2003.

Kurbetci Ş., Öztekin E., Yüksek Dayanımlı Betonlara Hızlandırılmış Kür Uygulamaları, *İMO Teknik Dergi*, 1994, **61**, 825-832.

Kurbetci Ş., Öztekin E., Değiştirilmiş Sıcak Su Yöntemi ile Beton Basınç Dayanımının tahmini, *İMO Teknik Dergi*, 2004, **211**, 3145-3153.

Lura P., Breugel K., Maruyama I., Effect of curing temperature and type of cement on early-age shrinkage of high-performance concrete, *Cement and Concrete Research*, 2001, **31**(12), 1867–1872.

Malhotra V. M., Zoldners N. G., Some Field Experience in the Use of an Accelerated Method of Estimating the 28-day Strength of Concrete, *ACI Journal*, 1969, **66**(11), 894-897.

Maltais Y., Marchand J., Influence of Curing Temperature on Cement Hydration and Mechanical Strength Development of Fly Ash Mortars, *Cement and Concrete Research*, 1997, **27**(7), 1009-1020.

Meeks K. W., Carion N. J., Curing of High-Performance Concrete, Report of the State of the Art, *Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology*, 1999.

Neville A.M., *Properties of concrete*, 4th ed., New York, Wiley, 1996.

Neville A.M., *Properties of concrete*, Pearson Prentice Hall, Essex, 2004,

Oberholster R. E, Moore H., Brand J. H. B., Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, *9th International Conference*, Londra, İngiltere, 1992, 739.

Ogirigbo O. R., Black L., Influence of Slag Composition and Temperature on the Hydration and Microstructure of Slag Blended Cements, *Construction and Building Materials*, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.09.057.

Özalp F., Şengül Ö., Taşdemir M.A., Kür Koşulları ve Tecrit Malzemesinin Betonun Geçirimsizlik ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, *Hazır Beton*, Temmuz-Ağustos 2015, 69-74.

Öztekin E., Accelerated Strength Testing of Portland- Pozzolan Cement Concretes by the Warm Water Method, *ACI Material Journal*, 1987, **84**(1), 51-54.

Öztekin E., Beton Sertleşmesinin Hızlandırılmasında Kullanılan Isıl İşlemler- Eğilme Dayanımına Etkileri, *Türkiye İnşaat Mühendisliği 7. Teknik Kongresi*, Ankara, Türkiye, 25-27 Ekim 1978.

Palou M. T., Kuzielova E., Zemlicka M., Bohac M., Novotny R., The Effect of Curing Temperature on the Hydration of Binary Portland Cement, *J Therm Anal Calorim*, DOI: 10.1007/s10973-016-5395-9.

Patel H. H., Bland C. H., Poole A. B., The Microstructure of Concrete Cured at Elevated Temperatures, *Cement and Concrete Research*, 1995, **25**(3), 485-490.

Pinto R. C. A., Hover K. C., Further Studies on the Utilization of Maturity Functions to a High Strength Concrete Mixture, *4th International Symposium on the Utilization of High Strength/ High Performance Concrete*, Paris, Fransa, 29-31 Mayıs 1996.

Safan M., Kohoutkva A., Influence of Different Drying Conditions on High Strength Concrete Compressive Strength, *Acta Polytechnica*, 2001, **41**(3), 24-28.

Shen D., Jiang J., Shen J., Yao P., Jiang G., Influence of Curing Temperature on Autogenous Shrinkage and Cracking Resistance of High-Performance Concrete at an Early Age, *Construction and Building Materials*, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.11.039.

Seidel H., Hempel S., Hempel R., Secondary Ettringite Formation in Heat Treated Portland Cement Concrete: Influence of Different W/C Ratios and Heat Treatment Temperatures, *Cement and Concrete Research*, DOI: 10.1016/0008-8846(93)90110-U.

Şimşek O., *Yapı Malzemesi II*, 2. Baskı, Beta Basım Yayım Dağıtım, Kırklareli, 2003.

Tan K., Gjorv O. E., Performance of Concrete Under Different Curing Conditions, *Cement and Concrete Research*, 1996, **26**(3), 355-361.

TS 3323. Beton Basınç Deney Numunelerinin Hazırlanması, Hızlandırılmış Kürü ve Basınç Dayanım Deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1979.

TS 706 EN 12620, Beton Agregaları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2003.

Turuallo G., Soutsos M.N., Supplementary Cementitious Materials: Strength Development of Self-compacting Concrete Under Different Curing Temperature, *Procedia Engineering*, DOI: 10.1016/j.proeng.2015.11.109.

T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığının ÇED Alanında Kapasitesinin Güçlendirilmesi için Teknik Yardım Projesi, *Çimento Üretim Sektörü*, 2017.

T.C. Milli Eğitim Bakanlığı (2012), İnşaat Teknolojisi Hazır Beton Üretimi, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Haz%C4%B1r%20Beton%20%C3%9Cretimi.pdf, (Ziyaret tarihi: 14/11/2019).

Usta H., (2005), Hazır Beton Sektörü Araştırması, <http://www.ito.org.tr/Dokuman/Sektor/1-38.pdf>, (Ziyaret tarihi: 14/11/2019).

Uysal F. F., Bahar S., Cüruf Çeşitleri ve Kullanım Alanları, *Trakya University Journal of Engineering Sciences*, 2018, **19**(1), 37-52.

Verbeck G. J., Hehnuth R. H., Structure and Physical Properties of Cement Paste, *Proceedings of the 5th International Congress on the Chemistry of Cement*, Tokyo, Japonya, 7-11 Ekim 1968.

Wang Q., Li M., Zhang B., Influence of Pre-curing Time on the Hydration of Binder and the Properties of Concrete Under Steam Curing Condition, *J Therm Anal Calorim*, DOI: 10.1007/s10973-014-4053-3.

Yazıcı Ş., İnan G. S., Farklı Kür Yöntemlerinin Uçucu Kül İçeren Harçların Eğilme ve Basınç Dayanımına Etkisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, DOI: 10.5505/pajes.2015.46547.

Yazıcı Ş., Anuk D., Arel H. Ş., Metakaolin Kullanımının Harçların Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2010, **25**(2), 13-24.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Yıldırım S., Yıldırım S.T., Farklı Sıcaklıklardaki Su Kürünün Harç Numunelerine Etkisi, *5. Uluslararası Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 21-22 Aralık 2019.



ÖZGEÇMİŞ

Sema Yıldırım, 1993 yılında Nevşehir/ Merkez’de dünyaya geldi. İlköğretim ve lise eğitimini Nevşehir’de tamamladı. 2011 yılında girdiği Balıkesir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü 2015 yılında tamamladı. 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı ve 2020 yılında tezini tamamladı. 2015 yılından beri inşaat mühendisi olarak özel sektörde çalışmaktadır.

