

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ORTAM SICAKLIĞININ BETONUN KIRILMA
DAYANIMINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Gülser KIRTEL

Tez Yöneticisi
Yrd. Doç. Dr. Servet YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2007

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORTAM SICAKLIĞININ BETONUN KIRILMA DAYANIMINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Gülser KIRTEL

Yüksek Lisans Tezi
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Bu tez, 14/09/2007 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç.Dr.Servet YILDIZ
Üye: Doç.Dr. Zülfü Çınar ULUCAN
Üye: Yrd.Doç.Dr. Mehmet TUĞAL

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŐEKKÖR

Bu çalıőmanın yapılabilmesini ve yürütölmesini sağlayarak, yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Servet YILDIZ'a, deneysel çalışma ortamlarını sağlayan Teknik Eğitim Faköltesi Yapı Eğitimi Bölüm Başkanı Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet TUĞAL'a deneysel çalışmalarda ve kaynak temininde yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Sayın Mehmet EMİROĞLU'na, deney malzemelerinin temininde katkıda bulunan Dilek İnşaat A.ő. ve elikler Beton A.ő.'ye, maddi ve manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim değerli aileme teőekkör ederim.

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	IV
TABLolar LİSTESİ.....	VI
ÖZET	VII
ABSTRACT	VIII
1. GİRİŞ.....	1
2. TÜRKİYE’NİN İKLİM ÖZELLİKLERİ	3
2.1. Türkiye’deki İklim Tipleri	4
2.1.1. Karadeniz İklim Tipi	4
2.1.2. Akdeniz İklimi	5
2.1.3. Step İklimleri	5
2.1.4. Karasal İklim	6
3. SICAK HAVADA BETON	7
3.1. Sıcak Hava Koşullarının Beton Özelliklerine Etkileri	8
3.1.1. Sıcak Hava Koşullarının Taze Betonun Özelliklerine Etkileri	8
3.1.1.1. Betonda Hedeflenen Kıvam İçin Daha Çok Miktarda Su Gerekmesi	8
3.1.1.2. Taze Betonun Daha Çok ‘Çökme Değeri Kaybı’ Göstermesi	9
3.1.1.3. Priz Süresinin Kısılması	10
3.1.1.4. Plastik Rötne Çatlaklarının Oluşmasında Artma	10
3.1.1.5. Hava Sürüklenmiş Betonlardaki Hava Miktarını Kontrol Etme Güçlüğü	11
3.1.2. Sıcak Hava Koşullarının Sertleşmiş Betonun Özelliklerine Etkileri	11
3.3. Sıcak Hava Koşullarında Üretilcek Betonun Sıcaklığının Hesaplanması	12
3.4. Sıcak Hava Koşullarında Alınması Gereken Önlemler	13
3.4.1. Beton Karışımını Oluşturacak Malzemelerin Soğutularak Kullanılması	13
3.4.1.1. Beton Karışımında Yer Alacak Suyun Soğutulması	13
3.4.1.2. Beton Karışımında Yer Alacak Agreganın Soğutulması	14
3.4.1.3. Çimento Sıcaklığının Düşük Tutulması	15
3.4.2. Beton Karışımındaki Suyun Tamamının veya Bir Kısımının Buz Olarak Kullanılması	15
3.4.3. Katkı Maddelerinin Kullanılması	15
3.4.4. Suyun Buharlaşarak Kaybolmasını Azaltıcı Önlemler Alınması	16
3.4.5. Taşıma, Yerleştirme Ve Sonlama İşlemlerinin Önceden Planlanması	16
3.4.6. Kür İşlemlerinin Geciktirilmeden Başlatılması	16

3.4.6.1. Kür İçin Gerekli Nem Koşullarının Sağlanması	17
4. SOĞUK HAVADA BETON	20
4.1. Soğuk Hava Koşullarının Beton Özelliklerine Etkileri	20
4.1.1. Soğuk Havanın Betonun Priz Süresine ve Dayanım Kazanma Hızına Etkisi	20
4.1.2. İlk Zamanlarda Yer Alan Donma'nın Beton Özelliklerine Etkisi	21
4.1.3. Yerleştirilen Betonun Sıcaklığı ile Çevre Sıcaklığı Arasındaki Büyük Sıcaklık Farkının Etkisi	22
4.2. Soğuk Havada Üretilen Ve Yerleştirilen Betonlarda Bulunması Gereken Sıcaklıklar ...	22
4.2.1. Soğuk Havada Yerleştirilme Esnasında Gereken Beton Sıcaklıkları	22
4.2.2. Soğuk Havada Üretim Esnasında Gereken Beton Sıcaklıkları	23
4.2.3. Soğuk Havada Yerleştirilmiş Olan Betondaki Soğuma Hızı	24
4.3. Soğuk Hava Koşullarında Üretilecek Betonun Sıcaklığının Hesaplanması	24
4.4. Soğuk Hava Koşullarında Alınması Gereken Önlemler	25
4.4.1. Beton Karışımını Oluşturacak Malzemelerin Isıtılarak Kullanılması	25
4.4.1.1. Beton Karışımında Yer Alacak Suyun Isıtılarak Kullanılması	25
4.4.1.2. Beton Karışımında Yer Alacak Agreganın Isıtılarak Kullanılması	26
4.4.2. Betonun İlk Günlerdeki Dayanımının Yüksek Olmasını Sağlayacak Türde Çimento ve Katkı Maddesi Kullanılması	26
4.4.3. Soğuk Havada Dökülen Betonlar İçin Uygun Kalıpların, İzolasyon Malzemelerinin ve Kür Yönteminin Uygulanması	27
4.4.4. İşin Önceden Planlanması, ve Beton Dökümünden Önce Gereken Hazırlıkların Yapılması	29
4.4.5. Kalıpların Sökülmesi Ve Kür Süresi	29
5. BETONUN TERMİK ÖZELLİKLERİ	30
5.1. Termik İletkenlik Katsayısı	30
5.2. Özgül Isı	30
5.3. Termik Genleşme Katsayısı	31
5.4. Yangına Dayanıklılık	31
5.5. Betonların Donmaya Dayanıklılığı	32
6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	34
7. DENEYSEL ÇALIŞMA	42
7.1. Numune Hazırlama	42
7.1.2. Karışım Hesabı	42
7.2. Malzemeler	43
7.2.1. Numune Kalıpları, Dondurucu ve Etüv	43

7.2.2. Çimento	44
7.2.3. Agrega	45
7.2.4. Su	46
7.3. Deney Yöntemi	46
7.3.1. Sertleşmiş Betonda Ultrases Hızı İle Ölçüm	46
7.3.2. Sertleşmiş Betonda Schmidt Beton Test Çekici İle Ölçüm	48
7.3.3. Sertleşmiş Betonun Basınç Dayanımı	50
7.3.4. Sertleşmiş Betonun Çekme ve Eğilme Dayanımı	54
7.3.5. Sertleşmiş Betonun Yarmada Çekme Dayanımı	56
7.3.6. Sertleşmiş Betonun Eğilme Dayanımı	59
8. BULGULAR ve TARTIŞMA	61
8.1. Basınç Dayanımı	61
8.2. Yarmada Çekme Dayanımı	63
8.3. Eğilme Dayanımı	66
8.4. Ultrasonik Ses Hızı Ölçümleri	67
8.5. Yüzey Sertliği Ölçümleri	69
9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR	74

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Türkiye'de başlıca iklim tiplerinin yayılış alanları	3
Şekil 2.2. Yıllık ortalama sıcaklıklar	6
Şekil 3.1. Beton sıcaklığının beton karışım suyu ihtiyacına etkisi	9
Şekil 3.2. Beton sıcaklığının çökme değeri ve çökme değerinde değişiklik yapabilecek su miktarı üzerinde etkisi	9
Şekil 3.3. Plastik rötre çatlağı	10
Şekil 3.4. Beton karışım suyuna buz parçaları eklenmesi	14
Şekil 3.5. Betonun nemlendirilmesi	17
Şekil 3.6. Polietilentabaka	18
Şekil 3.7. Su geçirmeyen kağıt tabaka	19
Şekil 3.8. Sıvı malzeme ile koruma	19
Şekil 4.1. Yalıtkan battaniyeler	27
Şekil 4.2. Yalıtımlı kalıp	28
Şekil 4.3. Bir temel ayağının plastik örtü ile korunması	28
Şekil 7.1. Laboratuvar ortamında 24 saat bekletilen numuneler	42
Şekil 7.2. Deney çalışmasında kullanılan dondurucu ve etüv	44
Şekil 7.3. Agregaya ait granülometri eğrisi	45
Şekil 7.4. Deneylerde kullanılan pundit aleti	48
Şekil 7.5. Deneylerde kullanılan schmidt çekici	50
Şekil 7.6. Küp ve silindir şeklinde numune kalıpları	51
Şekil 7.7. Küp numunelerin tatmin edici kırılma şekilleri	52
Şekil 7.8. Silindir numunelerin tatmin edici kırılma şekilleri	52
Şekil 7.9. Küp numunelerin tatmin edici olmayan bazı kırılma şekilleri	52
Şekil 7.10. Silindir numunelerin tatmin edici olmayan bazı kırılma şekilleri	53
Şekil 7.11. Basit kirişteki kayma kuvveti ve eğilme momenti	54
Şekil 7.12. Basit bir kirişin A elemanının üzerindeki çekme ve eğik çekme kuvvetleri	55
Şekil 7.13. Basınç yükü nedeniyle oluşan çekme kuvveti	55
Şekil 7.14. Yarma deneyi uygulama düzeni	58
Şekil 7.15. Yarma deneyinde yük eksenini doğrultusunda oluşan gerilmeler	58
Şekil 7.16. Kirişin orta noktasından yüklenmesi durumu	59
Şekil 8.1. Basınç dayanım deney düzeneği	61
Şekil 8.2. Beton numunelerin basınç dayanımı grafiği	62

Şekil 8.3. -30 °C’de bekletilen küp numunelerin kırılmadan sonraki durumu	63
Şekil 8.4. 50 °C’de bekletilen küp numunelerin kırılmadan sonraki durumu	63
Şekil 8.5. Silindir numunelerin yarmada çekme dayanımı grafiği	64
Şekil 8.6. -30 °C’de bekletilen silindir numunelerin kırılmadan sonraki durumu	65
Şekil 8.7. -30 °C’de bekletilen silindir numunelerin kırılmadan sonra iç yüzeyleri	65
Şekil 8.8. Eğilme dayanımı deney düzeneği	66
Şekil 8.9. Beton numunelerin eğilme dayanımı grafiği	67
Şekil 8.10. Küp numunelerin ultrases hızı geçiş süreleri	68
Şekil 8.11. Prizmatik numunelerinin ultrases hızı geçiş süreleri	69
Şekil 8.12. Küp numunelerinin yüzey sertliği okumaları grafiği	70
Şekil 8.13. Prizmatik numunelerinin yüzey sertliği okumaları grafiği	71

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Yerleştirilme esnasında betonda bulunması tavsiye olunan min. sıcaklıklar	23
Tablo 4.2. Karılma işlemi sonunda betonda bulunması tavsiye olunan min. sıcaklıklar	23
Tablo 4.3 koruma süresi sonrasındaki ilk 24 saat içerisinde betonun en çok ne miktarda sıcaklık kaybı göstermesi gerektiğine dair değerler	24
Tablo 7.1. 1 m ³ beton üretiminde kullanılan malzeme miktarları	43
Tablo 7.2. Deneylerde kullanılan çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler ...	44
Tablo 7.3. Deneylerde kullanılan agregaya ait elek analizi sonuçları	45
Tablo 7.4. Ses hızı ile betonun kalitesinin tahmin edilmesi	48
Tablo 8.1. Beton numunelerin basınç dayanımı değerleri	62
Tablo 8.2. Silindir numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri	64
Tablo 8.3. Beton numunelerin eğilme dayanımı değerleri	66
Tablo 8.4. Beton numunelerinin ultrases hızı geçiş süreleri	68
Tablo 8.5. Beton numunelerinin yüzey sertliği ölçümü okumaları	70

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ORTAM SICAKLIĞININ BETONUN KIRILMA DAYANIMINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Gülser KIRTEL

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

2007, Sayfa: 74

Bu çalışmada ortam sıcaklığının betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada 150x150x150 mm boyutlarında küp, 100Ø200 mm boyutlarında silindir ile 100x100x500 mm boyutlarında prizma numuneler kullanılmıştır. Tüm karışımlar 0.50 su/çimento oranında ve 380 kg/m³ çimento dozajlı olarak hazırlanmıştır. Oda sıcaklığında hazırlandıktan sonra, 28 gün süreyle kür ortamında bekletilen beton numuneler, 28. günün sonunda 20 °C'deki laboratuvar ortamında 24 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra bu beton numuneler -30, -20, -10, 0, 10, 20, 30, 40 ve 50 °C sıcaklıklarda 24 saat bekletilerek, ultrases geçiş hızı, yüzey sertliği, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre sıcaklık farklarının, betonun dayanımını bulunduğu ortam sıcaklığına bağlı olarak etkilediği belirlenmiştir. -30 °C'de bekletilen betonların basınç dayanımları oda sıcaklığında (20 °C) bekletilen betonların basınç dayanımlarına göre %24,8 daha fazla değerler alırken, 50 °C'de bekletilen betonlar ise oda sıcaklığında bekletilen betonlara göre %7 daha az değerler almıştır.

Anahtar Kelimeler: Beton, ortam sıcaklığı, betonun mekanik özellikleri.

ABSTRACT

MsC Thesis

THE INVESTIGATION OF THE EFFECT OF AMBIENT TEMPERATURE ON THE FRACTURE MECHANISM OF CONCRETE

Gülser KIRTEL

Fırat University Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Construction
Education

2007, Sayfa: 74

In this study, the effects of the ambient temperature on the mechanical properties of the concrete have been investigated. 150x150x150 mm sized cubic samples, 100Ø200 mm cylindrical and 100x100x500 mm prismatic samples were prepared for the experiments. The water/cement ratio was 0,50 and cement content was 380 kg/m³ in all the concrete mixture in this study. The concrete samples which were kept in cure tank during 28 days, after the cure period all the samples were kept in laboratory environment for twenty four hours. Then the concrete samples were waited in different temperatures which are -30, -20, -10, 0, 10, 20, 30, 40 and 50 °C in the oven and refrigerator during 24 hours. Afterwards ultrasonic pulse velocity measurement, schmidth hammer hardness test, compressive strength, flexural strength and split tensile strength of these concrete samples have been examined.

The test results showed that, there is a significant effect of the temperature difference on the strength of concrete subjected different ambient temperatures. Compressive strength for concrete subjected at -30 °C was 24,8% higher than concrete subjected at room temperature (20 °C), and compressive strength for concrete subjected at 50 °C was 7% lower than concrete subjected at room temperature.

Keywords: Concrete, ambient temperature, mechanical properties of concrete.

1. GİRİŞ

Beton, makroskobik ölçekte çimento harcı, ince agrega ve iri agregadan oluşan bir karışımdır. Boşluklu ve heterojen bir içyapıya sahip olan beton, çimento hamuru, agrega ve agrega-çimento hamuru temas yüzeyinden oluşan üç fazlı kompozit bir malzemedir.

Beton çağdaş toplumların temelini oluşturan malzemelerin en önemlilerinden biridir. Çevremize baktığımızda, binalar, yollar, köprüler, barajlar, santraller, istinat duvarları, su depoları, limanlar, hava alanları, kent mobilyaları vb. betondan yapıldığını görürüz. Günümüzde, dünyada her yıl yaklaşık 5,5 milyar ton beton üretilmektedir. Bu miktar dünya nüfusuna bölündüğünde kişi başına 1000 kg beton üretildiği ortaya çıkar. Betonun diğer yapı malzemelerine göre daha çok tercih edilmesinin sebepleri arasında kolay şekil verilebilir olması, ekonomik olması, dayanıklı olması, üretiminde daha az enerji tüketilmesi, her yerde üretilebilir olması, ve estetik özellikleri sayılabilir [1].

Dünya çapında betona bu kadar yatırım yapılmasından dolayı, betonun kırılma mekanizmasının belirlenmesi için büyük çaba harcanmaktadır. Çeşitli türdeki yapılarda kullanılmakta olan beton, hizmet süresi boyunca, bünyesinde yıpranmaya yol açabilecek birçok kimyasal ve/veya fiziksel etkenlerle karşılaşmaktadır. Bu çevresel etkiler betonun performansının zamanla azalmasına, proje ömründen önce işlevini ve dayanımını tamamen yitirmesine yol açabilmektedir.

Betonun içerisine sızan su, karbondioksit, oksijen, sülfat, asit ve klor gibi maddeler, betonda değişik türdeki kimyasal olayların oluşmasına neden olmaktadır. Betonun içerisindeki alkalilerle reaktif agregalar arasında gelişen ve sertleşmiş betonun genişerek yıpranmasına yol açan reaksiyonlar da kimyasal olaylar sonucunda oluşmaktadır. Islanma-kuruma, donma-çözülme, ısınma-soğuma, ve aşınma gibi olaylar betonun yıpranmasına yol açacak nitelikteki fiziksel olaylardır.

Betonda yer alan kimyasal ve fiziksel olaylar sonucunda beton daha boşluklu bir malzeme durumuna gelebilmekte, içerisindeki demir donatılar korozyona uğramakta, beton aşınabilmekte ve betonun içerisinde çok büyük gerilmeler oluşabilmektedir. Bütün bu olaylar betonun hasar görmesine, hizmet edemez duruma gelmesine yol açmaktadır.

Betonun standartlara uygun kalitede elde edilmesi, kendisini oluşturan bileşen malzemeler kadar, üretim, döküm, yerleştirme-bakım şartlarına ve bunların denetimine de bağlıdır. Bu da ancak şantiyelerde bazı şartların yerine getirilmesine ve mevcut koşulların en iyi şekilde değerlendirilmesi ile sağlanabilir.

Beton sıcaklık değişimlerine maruz bırakıldığında, bileşenlerinde meydana gelen farklı hacimsel değişimler sonucu oluşan çekme gerilmeleri ve çatlaklar betonun mekanik özelliklerinde ve dayanıklılığında düşüőlere neden olmaktadır. İçyapıda oluşan bu gerilmeler özellikle agrega ile onu çevreleyen çimento hamuru ara yüzeyinde bozulmalara ve çatlakların oluşmasına neden olmakta ve betonun basınç ve çekme dayanımlarında önemli oranda azalmalar gözlenmektedir.

Beton dökümü esnasında hava sıcaklığının +5 °C'den düşük olması halinde, kaliteli beton elde edebilmek için yapım, döküm ve bakım işlerinde bir takım önlemlerin alınması gerekir. Taze betonda priz esnasındaki donma tehlikelidir. Priz öncesinde ve sertleşme sonrası donmanın etkileri nispeten azdır. Taze betonun döküldüğü ortamın sıcaklığının düşmesi, priz süresini uzatır, kalıp alım süresi uzar, betonun mukavemeti düşer, agrega parçalanmaları görülebilir. Soğuk havalarda betonu korumada izlenecek yol, başlangıçta beton ısısının belirli bir değerdan aőağı düşmesini önlemektir. Taze betonun döküldüğü ortamın sıcaklığı bir gün içinde +5 °C'nin altına düşerse 48 saat süreyle, bir günden fazla +5 °C'nin altına düşerse, 72 saat süreyle don etkisinden korunmalıdır. Türk Standartları betonun basınç mukavemetinin 50 kgf/cm²'ye erişmesinden sonra don sebebi ile zarar görmeyeceğini kabul eder. Bu süre iyi bir beton için +10 °C sıcaklıkta 3 gündür.

Beton dökümü için en olumsuz ortam, aşırı sıcak, kuru ve rüzgarlı havalardır. Yeni yerleştirilmiş taze betonda, hızlı buharlaşma sonucu aşırı su kaybı olur. Bunun sonucunda çökme kaybı, priz hızlanması, hava boşlukları ve yüzeyde plastik rötre çatlakları meydana gelir. Bu da betonun dayanıklılığını olumsuz yönde etkiler. Sıcak havada yerleştirilen beton sıcaklığı ile beton soğuduktan sonraki sıcaklık arasındaki fark, normal koşullarda yerleştirilen beton sıcaklığı ile beton soğuduktan sonraki sıcaklık arasındaki farktan daha büyüktür. Sıcaklık farkının büyümesi, betonun çatlama eğilimini artırmaktadır. Beton dökerken hava sıcaklığının 30 °C'den fazla olması, beton için önlemler alınmasını gerektirir [2].

Yüksek sıcaklıklarda betonun kırılma dayanımındaki değişimi incelemek üzere yapılan çalışmalar betonun kırılma tokluğunun sıcaklığın artmasıyla azaldığını göstermiştir [3]. Betonun kırılma direncine sıcaklığın önemli bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Düşük sıcaklıklarda ise betonun kırılma davranışı incelendiğinde -20 °C'ye yaklaşan sıcaklıklarda betonun kırılma dayanımında bir artış gözlenmiştir [4].

Buradan yola çıkılarak bu çalışmada; Türkiye'de görülen en yüksek ve en düşük sıcaklıklar da göz önünde bulundurularak, ortam sıcaklığının betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. TÜRKİYE’NİN İKLİM ÖZELLİKLERİ

Ülkemiz iklim özellikleri ile diğer bir deyişle iklimatik şartlar bakımından ele alındığında, yer kürede orta iklim kuşağı içinde geçit alanı üzerinde bulunur ve genel olarak Akdeniz Makroklimasının etki alanı içerisinde yer almaktadır. Ancak denizlere olan mesafe, yükselti, relief özellikleri ve bakı gibi coğrafi faktörler yanında hava kütleleri etkisi nedeniyle coğrafi bölgelerimizde farklı iklim tipleri ile karşılaşılır. Buna bağlı olarak sıcaklık değerleri ile yağış miktarları da farklı bölgelerde değişik değerlerde karşımıza çıkar. Türkiye’de yüksek sıcaklık değerlerine Akdeniz Bölgesi ile Güneydoğu Anadolu Bölgemizde rastlanırken düşük değerler ise İç ve Doğu Anadolu Bölgemizdedir. Diyarbakır, Antalya, Siirt ve Çukurova’da Temmuz ayında en yüksek (38 °C- 40 °C) değerlere ulaşılır. Ocak, Şubat ayları ise ülkemizde en soğuk aylardır. Doğu Anadolu Bölgemizde Erzurum, Kars, Karaköse çevrelerinde en düşük değerlere (39 °C- 40 °C) rastlanır.



Şekil 2.1 Türkiye’de başlıca iklim tiplerinin yayılış alanları

Kontinantal Polar, Maritim Polar, Maritim Tropikal, Kontinantal Tropikal olmak üzere ülkemiz, soğuk ve sıcak karakterli hava kütlelerinin hareket alanı içerisinde yer almaktadır. Bunlardan ilk üç tanesi (Kontinantal Polar, Maritim Polar, Maritim Tropikal) genelde kışın etkili olurken diğeri ise (Kontinantal Tropikal) yaz döneminde ülkemizde etkili olur. Merkezi kuzeyde Sibirya üzerinde olan Kontinantal Polar hava kütlesi kışın güneye doğru hareket ettiğinde ülkemizi etkisi altına alır ve beraberinde kuru soğukları getirir. Isı değerleri -20 °C, -30 °C düşer. Maritim Polar hava kütlesi ise kış mevsiminde ülkemizin kuzey, kuzeybatı bölümlerini etkisi altına alır. Merkez olarak Atlas Okyanusu Kuzeyi, Kuzeydenizi, İskandinav yarımadası, Baltık denizi çevresinde yer alan bu hava kütlesi soğuk fakat nemlidir. Bu nedenle ülkemize zaman

zaman kar şeklinde fakat çoğu kere yağmur halinde yağış getirir. Diğer taraftan doğuş yeri Atlas Okyanusunun doğu kesimi, Azor adaları çevresi olan Maritim Tropikal hava kütlesi de yaz ve kış olmak üzere genelde her iki dönemde de ülkemizin batı ve kuzeybatı kesimlerinde etkili olur. Bu hava kütlesi de beraberinde yağış ve serinlik getirir. Yaz döneminde görülen ve etkili olan Kontinantal Tropikal hava kütesinin doğuş yeri Büyük sahra, Arap platosudur. Sıcak, kuru olan bu hava kütlesi etkili olduğu dönemlerde beraberinde ülkemizin güneydoğu kesimlerine sıcak ve kuru havayı getirir.

2.1. Türkiye'deki İklim Tipleri

Türkiye'de bir taraftan yukarıda belirtilen faktörlerin etkisi altında diğer taraftan da hava kütlelerine bağlı olarak genelde dört büyük iklim tipi dikkati çeker. Bunlar; Karadeniz iklim tipi, Akdeniz iklim tipi, Karasal iklim tipi ve Step iklim tipidir.

2.1.1. Karadeniz İklim Tipi

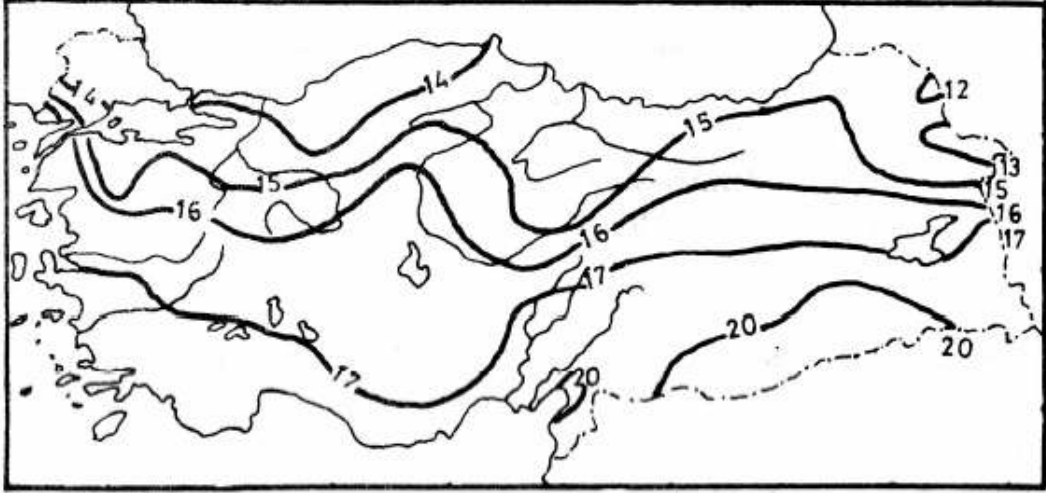
Ülkemizin kuzeyinde yer alan Karadeniz kıyılarında görülen bu iklim, her mevsim yağışlı, denizel termik özellikler gösteren ılıman karakterli bir iklim tipidir. Bu iklimde yağışlar barometre minimumları ile orografik şartlara bağlı olarak karşımıza çıkar. Bu iklim tipinde yıl boyunca az görülen don olaylarına karşılık sis olayı ise yer yer yoğun olmak üzere etkili olur. Ancak bu tip bütün kuzey kıyıları boyunca aynı özelliği göstermez. Doğu, orta, batı ve iç kesimlerde sıcaklık ve yağış şartlarına bağlı olarak farklı karakterlerde karşımıza çıkar. Doğu Karadeniz'deki yağışları fazla (2500 mm.), yüksekliğe çıkıldıkça daha fazla (3000 mm.), kışları ılık yazları sıcak geçer buna karşılık Batı Karadeniz' de yağışları daha az (1000-1200 mm.) dır. Sıcaklık değerleri yaz ve kış olarak doğudan daha düşük olan bir iklim tipi ile karşılaşılır. Orta Karadeniz'de ise yağışlar doğu ve batıdan daha az (750-800 mm.) ve düzensiz sıcaklık değerleri daha düşük bir iklim tipi dikkati çeker. Kıyı ardında diğer bir değişle iç kesimlere bakan yamaçlarda ve vadi boylarında iç bölgelere geçiş özelliği gösteren bir iklim tipi ile karşılaşılır. Kıyı dağlarının gerisinde vadi oluklarında ve depresyonlarda Kastamonu, Bolu, Tokat, Amasya, Şebinkarahisar, Gümüşhane çevrelerinde yağış değerleri az yağış, maksimumu kış ile ilkbahara kaymış sıcaklık değerleri düşük bir iklim tipi hakimdir.

2.1.2. Akdeniz İklimi

Yazları sıcak ve kurak kışları ılık ve yağışlı özelliğe sahip olan bu iklim gerçek olarak Akdeniz ve Ege Bölgelerimizde görülür. Bu iklimin görüldüğü yerlerde şiddetli yaz kuraklıkları ve yüksek sıcaklık değerleri hakimdir. Yaz günlerinde sıcaklık değerleri çoğu kere 40 °C üstüne çıkar. Ortalama sıcaklıklardaki değerler yanında en sıcak ve en soğuk ayın geneldeki değerleri batı kesimde Ege Bölgesi'nde daha düşüktür. Bunun başlıca nedeni ise kıyının kuzeyden gelen soğuk baskınlarına açık olmasıdır. Yıllık yağış tutarları ise 600-700 mm. arasındadır. Ancak Akdeniz'in batı kesiminde ve Ege Bölgesinde değerler biraz yüksektir (Marmaris 800 mm., Fethiye, Muğla 1200 mm.). Yağışlar genelde kış ile kışa yakın aylarda yağmur şeklindedir. Bu iklimin etki alanı Akdeniz Bölgesinde dağların kıyıya çok yakın ve paralel uzanması nedeniyle dar Ege Bölgesinde ise dağların kıyıya dik gelmesi etkinin iç kısımlara doğru genişlemesini sağlar. Ülkemizin kuzeybatı köşesindeki Marmara Bölgesi'nde ise Akdeniz iklimi ile Karadeniz iklimi arasında geçiş tipi şeklindeki iklim görülür. Bu iklimde yazlar biraz serinlerken kışlar daha fazla soğumuştur. Bu bölgemizde de gene en yağışlı mevsim kıştır. Fakat yaz kuraklığı azalmıştır. Bazı yıllarda Edirne ve İstanbul'da yaz yağışlarının payının %15-%18'e kadar çıktığı görülür. Ayrıca Akdeniz ve Ege bölgelerimizde çok ender olarak görülen don olaylarına bu bölgemizde daha sık rastlanır.

2.1.3. Step İklimleri

Bu iklim tipine iç bölgelerimizde rastlanır. Özellikle kuzey ve güneyde yer alan Karadeniz ve Toros dağlarının dik bir duvar gibi uzanması denizel etkilerin içlere sokulamamasına neden olur. Buna bağlı olarak bu sahalardaki iklim yazları az sıcak kışları soğuk yıllık yağış tutarları az yağışların daha çok ilkbahar ile kışın olduğu ve kış yağışlarının kar şeklinde görüldüğü karasal iklim tipine yakın bir şekilde karşımıza çıkar. Step iklimi İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerimizde birbirinden farklı özellikler gösterir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yazlar çok daha sıcak kışlar daha az soğuk olarak karşımıza çıkar. Bu bölgemizde yaz kuraklığı çok daha şiddetlidir. Ortalama yaz sıcaklıkları ise 30 °C'nin üstündedir. Bölge ayrıca ülkemizde kaydedilen en yüksek (46,5 °C) sıcaklık değerine sahip olmak bakımından dikkati çeker. Yağışlar daha ziyade kışıdır. Yağış tutarları orta kesimlerde ve güneyde 300 mm. kadar iken kenarlarda yüksek alanlarda 500-600 mm.'yi bulur.



Şekil 2.2 Yıllık ortalama sıcaklıklar

2.1.4. Karasal İklim

Bu tip iklim özellikle denizel etkilerden uzakta yükseltinin fazla olduğu Doğu Anadolu Bölgesi'nde dikkati çeker. Bu iklimin görüldüğü Doğu Anadolu Bölgesi'nde ülkemizdeki en düşük sıcaklık değerleri ile karşılaşılır, değerler -40°C , -46°C 'ya kadar düşer. Karasal iklim Doğu Anadolu Bölgesi'nde kendini iki şekilde belli eder:

- Yüksek platolarda en çok yağışın yaz mevsiminde görüldüğü her mevsim yağışlı tip,
- Alçak depresyonlarda vadi içlerinde yağışların kış aylarında görüldüğü yarı kurak tip.

Bu iklim tipinde yıllık yağış tutarları 350 mm. ile 1200 mm. arasında değişir. Üst seviyelerde yüksek değerler dikkati çekerken alçak depresyon alanlarında ve vadi içlerinde düşük değerler görülür.

Türkiye'de sıcaklık değerleri kıyılardan iç kesimlere, batıdan doğuya doğru bir azalma gösterir. Yıllık ortalama sıcaklıklar ise 20°C , -4°C arasında değişir. Bu bakımdan en yüksek sıcaklıklara Güneydoğu Anadolu (45°C) Urfa ve Akdeniz Bölgesinde Antalya'da (44°C) rastlanır. En düşük sıcaklıklar ise -45°C Horosan, -40°C Erzurum'da görülür [5].

3. SICAK HAVADA BETON

Beton agrega, çimento, su ve duruma göre kimyasal ve mineral katkıdan oluşan bir yapı malzemesidir. Bu malzemeleri bir arada tutan ve dayanım kazandıran ise çimento ve su arasında gerçekleşen ‘hidratasyon reaksiyonu’dur. Ekzotermik (ısı veren) olan bu reaksiyonun gerçekleşmesi için yeterli miktarda su ve sıcaklık gerekmektedir. Su ve sıcaklığı etkileyen tüm faktörler dolayısıyla betonun özelliklerini de etkilemiş olur [6].

Anormal hava koşullarında beton yapımı ile ilgili TS 1248’de beton dökümü sırasında, ortalama hava sıcaklığının ardarda 3 gün süreyle +30 °C’nin üstünde bulunduğu hava durumunu ‘aşırı sıcak hava’ kısaca ‘sıcak hava’ olarak tanımlamaktadır. TS 1248’ e göre beton dökümü esnasında hava sıcaklığının ‘normal’ kabul edileceği değerler 5-30 °C’ dir. 30 °C’nin üzerindeki hava sıcaklıkları ‘anormal hava sıcaklığı’ olarak kabul edilmektedir [7].

Hava sıcaklığının fazla olması beton içindeki suyun kaybolup azalmasına, betonun kıvamının ve işlenebilirliğinin azalmasına, reaksiyon için gerekli şartlarının sağlanamamasından dolayı dayanım kaybına, betonun dökümünde, yerleştirilmesinde, vibrasyonunda ve bitirilmesinde zorluklara, beton yüzeyinde daha fazla çatlaklar oluşup betonun daha geçirimli olmasına neden olur.

Sıcak hava koşulları; yüksek hava sıcaklığı, düşük relatif nem yüzdesi, hızlı esen rüzgarlar ve güneş radyasyonu ortamlarından bir veya birkaçının bir arada bulunduğu koşullar olarak tanımlanmaktadır.

Sıcak havada beton dökümü çeşitli önlemler ve iyi bir planlama gerektirir. Yüksek sıcaklıklar betonun prizini ve sertleşmesini hızlandırır ve belirli bir işlenebilirlik için gerekli olan su ihtiyacını arttırır. Böylesi bir durumda betonda kullanılan su miktarındaki artışa paralel olarak kullanılan çimento miktarı, su / çimento oranını sabit tutacak şekilde, ayarlanmadığı takdirde dayanımlar düşer. Öte yandan, artan su miktarı betonda rötreyi de arttırır. Çok sıcak havalarda beton sertleşmeden önce, plastikliğini ancak bir saat kadar bir süre koruyabilir. Bu da işlenebilmeyi olumsuz etkiler.

Optimum taze beton sıcaklığını, sıcak havalarda bazı önlemler almadan elde etmek hemen hemen mümkün değildir. Genel olarak, taze beton sıcaklığının 10-15 °C civarında olması arzu edilmesine karşın, çoğu zaman bu sıcaklığı temin etmek güçtür. Barajlar gibi kütle betonlarının kullanıldığı durumlarda taze beton sıcaklığının 5-10 °C olması istenir [8]. Beton sıcaklığı, TS EN 206-1 standartına göre en düşük 5°C olmalıdır. Beton sıcaklığının bu standart da üst limiti olmasa da 32 °C’ nin (ASTM C 94) üstünde olmaması idealdir. Bu sıcaklık uygun bir pratik sınırdır. Buna karşın, daha yüksek sıcaklıklarda başarılı bir şekilde beton dökümü

gerçekleştirmek mümkündür. Ancak, bu durumda karışım sıcaklığının ayarlanması ve sıcak havalarda betonun yerleştirilmesi ve bakımı ile ilgili koşullara uyulması zorunludur. Genel olarak bir saatte beton yüzeyinin 1m²'lik alanından buharlaşan su miktarı 1 kg'dan fazla ise gerekli önlemler alınmalıdır [6]. Sıcak, kuru ve rüzgarlı havalar ve geniş beton yüzeyleri karşılaşılacak en olumsuz kombinasyon olarak ortaya çıkar.

3.1. Sıcak Hava Koşullarının Beton Özelliklerine Etkileri

3.1.1. Sıcak Hava Koşullarının Taze Betonun Özelliklerine Etkileri

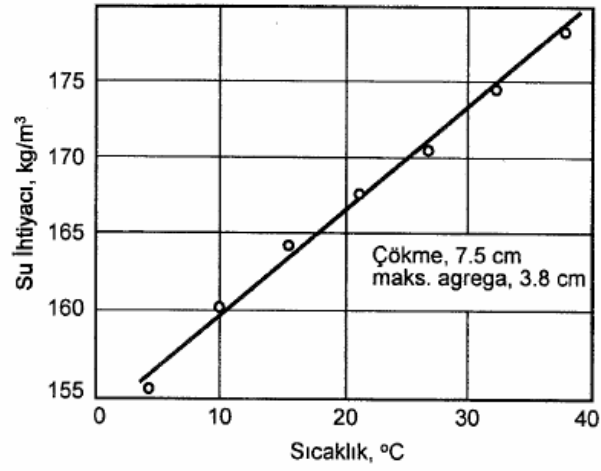
Sıcak hava koşullarının taze beton üzerindeki etkilerini aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür [7]:

1. Taze betonda hedeflenen kıvamı elde edebilmek için daha çok miktarda karışım suyuna gerek olmaktadır.
2. Taze betondaki çökme değeri kaybı daha çok olmaktadır.
3. Betonun prizi daha kısa sürede yer almaktadır.
4. Betondaki plastik rötre çatlaklarının oluşmasında artma olmaktadır.
5. Hava sürüklenmiş betonlarda bulunması istenilen hava miktarı daha güç kontrol edilebilmektedir.

3.1.1.1. Betonda Hedeflenen Kıvam İçin Daha Çok Miktarda Su Gerekmesi

Hava sıcaklığı yüksek olduğu takdirde, gerek çevre sıcaklığında gerekse beton yapımında kullanılacak malzemenin sıcaklığında artma olmaktadır. O nedenle, daha önce karışım hesabı yapılarak hedeflenen belirli bir beton kıvamı için belirlenen su miktarı, istenilen kıvamı sağlamaya yeterli olmamaktadır.

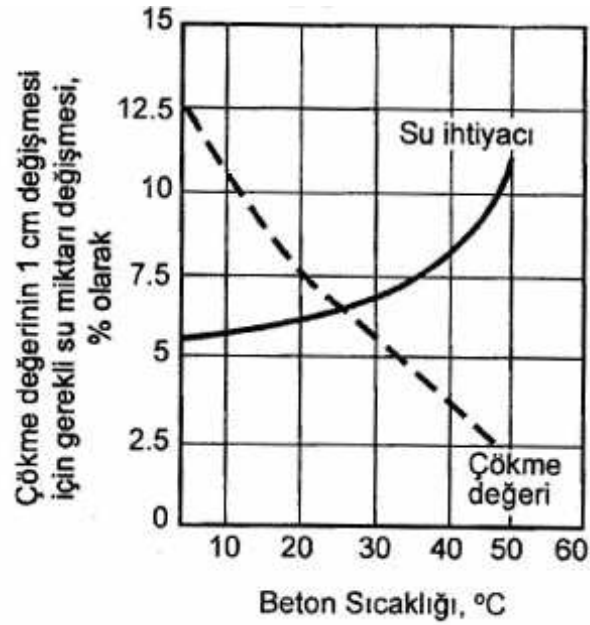
Şekil 3.1 sabit bir çökme değeri elde edebilmek için, beton sıcaklığındaki değişikliğin, betonun ihtiyacı olan su miktarına etkisini göstermektedir.



Şekil 3.1 Beton sıcaklığının beton karışım suyu ihtiyacına etkisi

3.1.1.2. Taze Betonun Daha Çok ‘Çökme Değeri Kaybı’ Göstermesi

Karılma işleminin tamamlandığı anda belirli bir kıvamı sahip olan beton, yerleştirildiği anda aynı kıvamı gösterememekte, beton kıvamında bir azalma olmaktadır. Hava sıcaklığı yüksek olduğu takdirde, doğal olarak, beton sıcaklığı da artmaktadır. Betonun içerisindeki su daha hızlı buharlaşmakta, beton kıvamında daha hızlı bir azalma yer almaktadır.



Şekil 3.2 Beton sıcaklığının çökme değeri ve çökme değerinde değişiklik yapabilecek su miktarı üzerinde etkisi

Yüksek hava sıcaklığının yanı sıra, düşük relatif nem ve hızlı rüzgarlar, betondaki suyun buharlaşmasını önemli ölçüde artırmaktadır. Dolayısı ile, betondaki çökme kaybı daha da fazla olmaktadır.

Betonun çökme değerindeki hızlı azalmalar, betonun taşınmasında ve yerleştirilmesinde büyük sorunlar yaratmaktadır.

3.1.1.3. Priz Süresinin Kısılması

Sıcak hava koşullarının etkisiyle beton sıcaklığının artması ve o nedenle çimentonun hidratasyonun daha hızlı yer alması, taze betonun daha hızlı katılaşmasına yol açmaktadır.

Priz süresindeki kısaltmalar, betonun yerleştirilmesinde, sıkıştırılmasında, ve yüzey düzeltilmesinde güçlük yaratmaktadır; soğuk derzlerin oluşmasına neden olmaktadır.

3.1.1.4. Plastik Rötire Çatlaklarının Oluşmasında Artma

Taze betonun içerisinde bulunan suyun, terleme nedeniyle betonun üst yüzeyine çıkma hızı, bu suyun buharlaşma hızından daha yavaş olduğu takdirde beton yüzeyi kuruyarak, büzülme göstermektedir. Ancak, iç kısımlardaki beton hala plastik durumda olduğundan, yüzeydeki betonla aynı miktarda büzülme gösterememektedir. Sonuç olarak beton yüzeyinde gelişigüzel dağılım gösteren bir çatlak ağı oluşmaktadır. Betonun plastikliği tamamen kaybolmadan önce, sadece beton yüzeyinin kurummasından ötürü yer alan bu çatlaklar, ‘plastik rötire çatlakları’ veya ‘plastik büzülme çatlakları’ olarak anılmaktadır.



Şekil 3.3 Plastik rötire çatlağı [9]

Sıcak hava koşulları, betondaki suyun buharlaşma hızını artırmakta, ve plastik rötire çatlaklarının artmasına neden olmaktadır.

3.1.1.5. Hava Sürüklenmiş Betonlardaki Hava Miktarını Kontrol Etme Güçlüğü

Hava sürükleyici katkı maddelerinin yardımıyla taze betonun içerisine sürüklenen hava kabarcıkları betonun kıvamını artırmaktadır.

Aynı miktarda bir hava sürükleyici kullanıldığı takdirde, sıcaklığı yüksek olan betonun içerisine, sıcaklığı az olan betona göre daha az miktarda hava sürüklenmektedir.

Sıcak hava koşullarında beton içerisinde bulunması gereken sürüklenmiş hava miktarını, ve betonun çökme değerini kontrol altında tutabilmek daha güç olmaktadır [7].

3.1.2. Sıcak Hava Koşullarının Sertleşmiş Betonun Özelliklerine Etkileri

Sıcak hava koşulları, taze beton için gereken su miktarını, betonun sıcaklığını, betondaki suyun buharlaşmasını ve bunlara bağlı olarak, betonun içerisinde yer alan çimentonun hidratasyon hızının ve hidratasyon ürünlerinin miktarını önemli ölçüde etkilemektedir. Dolayısı ile, başta dayanım ve dayanıklılık olmak üzere, sertleşmiş betonun tüm özellikleri, sıcak hava koşulları ile etkilenmiş olmaktadır.

Sıcak hava koşullarında hazırlanıp, yerleştirilen ve kür edilen betonlarla, aynı işlemleri yaklaşık 20 °C'ta (normal koşullarda) görmüş olan betonlar karşılaştırıldığında, sıcak hava koşullarının etkileri şöyle sıralanabilir:

1. Sıcak havada hazırlanan, yerleştirilen ve kür edilen betonların ilk birkaç saatlik veya ilk bir-iki günlük dayanımları, normal koşullardaki betona göre biraz daha yüksek olmakla beraber, 28 günlük veya daha sonraki günlerdeki dayanımları daha düşük olmaktadır.

2. Sıcak havada istenilen kıvamı sağlayabilmek için daha fazla su katılarak yerleştirilen beton daha gözenekli ve su geçirimliliği daha yüksek bir beton olmaktadır. Bu tür betonların dayanıklılıkları da daha az olmaktadır. Geçirimliliğin artması ile betonarme yapılardaki betonun içerisinde yer alan demir teçhizat daha kolay korozyon göstermektedir. Geçirimliliği yüksek olan betonların içerisine sülfatlı, asitli sular daha kolay sızabilmekte, betonda çatlaklar oluşmaktadır.

3. Sıcak havada yerleştirilen beton sıcaklığı ile beton soğuduktan sonraki sıcaklık arasındaki fark, normal koşullarda yerleştirilen beton sıcaklığı ile beton soğuduktan sonraki sıcaklık arasındaki farktan daha büyüktür. Sıcaklık farkının büyümesi, betonun çatlama eğilimini artırmaktadır.

4. Sıcak hava koşullarında yapılan betonların içerisinde bulunması gereken su miktarı yüksek olduğundan, betondaki kuruma ve rötre de daha fazla olmaktadır [7].

3.3. Sıcak Hava Koşullarında Üretilcek Betonun Sıcaklığının Hesaplanması

Taze betonun sıcaklığı, beton karışımında yer alan malzemelerin sıcaklığına, miktarına ve özgül ısılarına bağlıdır.

‘Özgül ısı’, 1 gram maddenin sıcaklığının 1 °C yükseltilebilmesi için gerekli kalori miktarı olarak tanımlanmaktadır. Suyun ve buzun özgül ısı değerleri, sırasıyla 1 kal/g °C, ve 0.5 kal/g °C’dır. Çimento, kum, çakıl gibi katı malzemelerin özgül ısı değeri, yaklaşık 0.22 kal/g °C’dır.

Karışım suyunun tamamının ‘su’ olarak kullanıldığı herhangi bir taze beton karışımının sıcaklığı, aşağıdaki formülle hesaplanabilmektedir:

$$S = \frac{0.22(S_{\text{çim}} A_{\text{çim}} + S_k A_k + S_{\text{ç}} A_{\text{ç}}) + S_k A_{rk} + S_{\text{ç}} A_{rç} + S_s A_s}{0.22(A_{\text{çim}} + A_k + A_{\text{ç}}) + A_{rk} + A_{rç} + A_s}$$

Burada,

S = Beton karışımının sıcaklığı,

$S_{\text{çim}}$ = Çimentonun sıcaklığı,

S_k = Kumun (ince agreganın) sıcaklığı

$S_{\text{ç}}$ = Çakılın (iri agreganın) sıcaklığı,

S_s = Karışıma katılacak suyun sıcaklığı,

$A_{\text{çim}}$ = Çimentonun ağırlığı,

A_k = Kumun kuru ağırlığı,

$A_{\text{ç}}$ = Çakılın kuru ağırlığı,

A_{rk} = Kumdaki suyun ağırlığı,

$A_{rç}$ = Çakıldaki suyun ağırlığı,

A_s = Karışıma katılacak su miktarının ağırlığı,

0.22 = Kuru malzeme için kabul edilen özgül ısı değeri’ dir.

Sıcak hava koşullarında kullanılacak beton karışımlarının sıcaklığının düşük tutulması amacıyla, karışım suyunun tamamı veya bir miktarı buz olarak da kullanılabilir. Böyle bir durumda, taze beton karışımının sıcaklığını hesaplarken, buzun erime ısısı değerini de göz önünde tutmak gerekmektedir.

‘Erime ısısı’, 1 gram katı maddenin, sıcaklığını değiştirmeden 1 gram sıvı madde haline gelebilmesi için gerekli kalori miktarı olarak tanımlanmaktadır. Buzun erime ısısı değeri 80 kal/g’dır.

Karışıma girecek suyun bir bölümünün veya tamamının buz olarak kullanıldığı taze beton sıcaklığını hesaplayabilmek için aşağıdaki formül kullanılmaktadır:

$$S = \frac{0.22(S_{\text{çim}} A_{\text{çim}} + S_k A_k + S_{\text{ç}} A_{\text{ç}}) + S_k A_{rk} + S_{\text{ç}} A_{rç} + S_s A_s - 80 A_b}{0.22(A_{\text{çim}} + A_k + A_{\text{ç}}) + A_{rk} + A_{rç} + A_s + A_b}$$

Burada,

A_b = Buzun ağırlığı,

80 = Buzun erime ısıdır.

3.4. Sıcak Hava Koşullarında Alınması Gereken Önlemler

Sıcak hava koşullarının olumsuz etkilerini azaltabilmek amacıyla, bu koşullarda yapılacak betonlar için alınması gereken önlemlerden başlıcalarını şöyle sıralayabilmek mümkündür:

1. Beton karışımının sıcaklığını azaltabilmek için, betonu oluşturan malzemelerin soğutularak kullanılması
2. Beton karışımında yer alacak su miktarının tamamının veya bir kısmının buz olarak kullanılması
3. Katkı maddelerinin kullanılması
4. Suyun buharlaşarak kaybolmasını azaltacak önlemlerin alınması
5. İşin önceden planlanması
6. Kür işlemlerinin mümkün olan en kısa sürede başlatılması [7].

3.4.1. Beton Karışımını Oluşturacak Malzemelerin Soğutularak Kullanılması

Sıcak havada hazırlanacak taze betonun sıcaklığının düşük olmasını sağlayabilecek yöntemlerden en etkili, betonu oluşturacak malzemelerin sıcaklıklarının düşük tutulmasıdır. Bu amaçla, beton karışımını oluşturacak su ve/veya agregalar soğutularak kullanılmaktadır. Karışıma girecek çimentonun aşırı yükseklikte sıcaklığa sahip olmamasına dikkat edilmektedir.

3.4.1.1. Beton Karışımında Yer Alacak Suyun Soğutulması

Beton karışımında yer alacak malzemeler arasında pratik açıdan soğutulması en kolay olanı su'dur. Üstelik suyun özgül ısı değeri 1 kal/g °C, katı malzemelerin özgül ısı değerinden 0.22 kal/g °C yaklaşık olarak 5 misli daha fazladır. O bakımdan, suyun soğutularak kullanılması, diğer malzemelerin soğutularak kullanılmasından çok daha etkili olmaktadır.



Şekil 3.4 Beton karışım suyuna buz parçaları eklenmesi [6]

Sıcak havada beton yapımında kullanılacak su, soğuk bir kaynaktan sağlanmalıdır; su tankları ve borular, toprağa gömülü veya ısıya karşı izolasyonlu durumda olmalıdır. Gerekirse su, özel olarak soğutulmalıdır.

3.4.1.2. Beton Karışımında Yer Alacak Agreganın Soğutulması

Agreganın özgül ısısı suyunkine göre yaklaşık 5 misli daha düşük olduğundan, beton karışımının sıcaklığını düşürmek için agreganın soğutulması, suyun soğutulması kadar etkili görünmemektedir. Üstelik, agregaları özel yöntemlerle soğutabilmek pratik de değildir.

Öte yandan, beton karışımının toplam hacminin yaklaşık %70'ini agregalar oluşturmaktadır. Özgül ısı değeri düşük de olsa, beton içerisinde büyük bir hacim kaplayan agregaların soğuk veya sıcak olmaları, beton karışımının sıcaklığını önemli ölçüde etkilemektedir. O nedenle, sıcak havada yapılacak betonlarda kullanılacak agregalar, mümkün olabildiği kadar düşük sıcaklıkta olmalıdırlar.

Agrega sıcaklığını düşük tutabilmek için agregaya yığınları gölgede, güneşten mümkün olduğu kadar uzakta bulundurulmalı ve zaman zaman ıslatılarak relatif nem oranları yüksek tutulmalıdır.

3.4.1.3. Çimento Sıcaklığının Düşük Tutulması

Beton karışımının içerisinde yer alan çimento miktarı, agrega miktarına göre oldukça az ve çimentonun özgül ısı değeri oldukça düşüktür. O nedenle hava sıcaklığının etkisi ile çimento sıcaklığının da bir miktar artması, beton sıcaklığını artırmakta fazla etkili olmamaktadır.

Beton yapımında kullanılacak çimentonun özel olarak soğutulması gerekmemektedir. Ancak, yine de, kullanılacak çimento çok yüksek sıcaklıklarda olmamalıdır. Bazı standartlar, beton karışımında kullanılacak çimentonun sıcaklığının en fazla 77 °C olabileceğini belirtmektedirler.

Beton karışımının sıcaklığının artmasında çimentonun sıcaklığının birazcık yüksek olması, fazla etkili olmamakla birlikte, kullanılan çimento tipi, taze betonun sıcaklığı üzerinde bir miktar etkili olmaktadır. Sıcak hava koşullarında hidrasyon ısısı az olan ASTM Tip 2, Tip 4 veya traslı çimento ve yüksek fırın cürufu çimento gibi portland-puzzolan tipte çimentoların kullanılması, beton sıcaklığının çok artmamasını sağlamaktadır [7].

3.4.2. Beton Karışımındaki Suyun Tamamının veya Bir Kısımının Buz Olarak Kullanılması

Sıcak havada beton yapımında, kullanılacak karışım suyunun tamamının, veya bir bölümünün buz olarak kullanılması, beton karışımının sıcaklığını düşürmekte çok etkili olmaktadır. Örneğin; suyun özgül ısı değeri 1 kal/g °C olduğuna göre, 0 °C'taki 1 gram suyun sıcaklığının 22 °C'a gelebilmesi için 22 kalori gerekir. Şayet, 0 °C'taki 1 gram buzun 22 °C'taki suya dönüşmesi istenirse, 0 °C'taki 1 gram buzun 0 °C'taki 1 gram suya dönüşebilmesi için buzun erime ısısı nedeniyle 80 kalori, ve bu suyun sıcaklığının da 22 °C'a yükseltilebilmesi için 22 kalori gerekmektedir. Yani, 0 °C'taki 1 gram buzun 22 °C'taki 1 gram suya dönüşebilmesi için toplam 102 kalori gerekmektedir.

3.4.3. Katkı Maddelerinin Kullanılması

Sıcak iklim koşullarındaki beton karışımının su ihtiyacı arttığından ve çimentonun hidrasyonu hızlandığından, betonun priz yapma süresinde ve çökme değerinde önemli azalmalar olmaktadır. Bu azalmaları önlemek amacıyla beton yapımında bazen priz geciktirici ve/veya su azaltıcı kimyasal katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu katkıların kullanılacak beton malzemeleriyle ve şantiye koşullarıyla uygunluğu önceden belirlenmeli ve standartlara uygun geciktirici katkı kullanılmasına dikkat edilmelidir.

3.4.4. Suyun Buharlaşarak Kaybolmasını Azaltıcı Önlemler Alınması

Sıcak iklim koşullarında taze betonun içerisindeki suyun buharlaşarak kaybolmasını azaltabilmek için:

1. Betonla temas ederek betondaki suyun bir miktarını emebilecek bütün malzemeler önceden ıslak duruma getirilmelidir. Kalıpların ve betonarme donatının nemli durumda bulundurulmasında fayda vardır. Zeminin ve çevrenin ıslak tutulması, hem çevredeki hava sıcaklığının hem de relatif rutubetin artması bakımından yararlıdır. Zemin çok kuru olduğu takdirde, böyle bir zemin üzerine dökülen betonlarda su kaybının ve plastik rötrenin yer alması kaçınılmaz olmaktadır.

2. Beton yapımı ve yerleştirilmesi ile ilgili mikser, pompa ve benzeri aletler muhakkak gölgede tutulmalı, ve gerekirse, ya beyaza boyanmalı ya da ıslak bezle örtülü olarak muhafaza edilmelidirler.

3.4.5. Taşıma, Yerleştirme ve Sonlama İşlemlerinin Önceden Planlanması

Sıcak havalarda taşıma ve yerleştirme işlemleri mümkün olan en kısa sürede yapılmalıdır. Sürenin uzaması, çökme kaybına ve beton sıcaklığının artmasına yol açar. Karıştırma süresinin uzamasına meydan verilmemelidir.

Beton sıcak havalarda çabuk sertleşebileceği için soğuk derz oluşmaması için özen gösterilmelidir. Geçici gölgelikler ve rüzgar kırıcıların kullanılması yararlı olur. Ayrıca, duvar betonlarında tabakalar normal sıcaklıklarda dökülenlere göre daha az derinlikte olmalıdır.

Beton yüzeylerinde yapılacak tüm sonlama işlemleri yüzeydeki ince su tabakası kaybolana kadar veya beton bir insanın ağırlığını kaldıracak duruma gelene kadar bitirilmelidir. Erken su kaybı plastik rötre çatlaklarına neden olduğundan beton yüzeylerinin ıslak bezlerle örtülmesi gereklidir. Bezlerin kurummasına imkan verilmemeli, ve kısa aralıklarla su püskürtülerek ıslatılmalıdır [8].

3.4.6. Kür İşlemlerinin Geciktirilmeden Başlatılması

Su kalıpların açık yüzeylerine uygulanmalı ve kalıp içlerine akması sağlanmalıdır. Ahşap kalıplar nemli tutulmalıdır. Beton sertleştikten sonra bakım suyu uygulamalarında suyun sıcaklığının beton sıcaklığından çok düşük olmamasına dikkat edilmelidir.

Sulama işlemi sonlama işlemleri bitirilir bitirilmez başlamalı ve en az 24 saat süreyle sürdürülmelidir. Sıcak havalarda sürekli rutubetli bakım tercih edilmelidir. Beton yüzeylerinde serbest hava sirkülasyonu önlenmeli, yüzeyler naylonlarla örtülmelidir [8].

3.4.6.1. Kür İçin Gerekli Nem Koşullarının Sağlanması

Betonun son bitirme işlemine kadar nem kaybetmesi engellenmelidir. Bunun için rüzgar kırıcı ya da kür spreyi kullanılabilir. Bitirmeden sonra ise beton yüzeyi gerekli süre içinde hep nemli kalacak şekilde sulanmalıdır ve buharlaşma engellenmelidir.

Betonu nemli tutacak sistemler şöyle sıralanabilir:

1. Telis bezi ya da benzer bir koruma malzemesi kullanılır. Önemli olan koruyucu malzemenin hep nemli kalması, kuruyup betondan su emmemesidir.
2. Beton yüzeyi samanla örtülebilir. Tabi ki saman kuru olmamalı ve nemlendirilmelidir. Saman çok rahat su emebilir. Saman tabakası 15 cm kalınlığında olmalı ve üzeri mutlaka örtülmelidir.
3. Geniş yüzeylerde ıslak toprak, talaş ve kum da kullanılabilir. Önemli olan bu malzemelerde organik madde ve donatıya zarar verecek maddelerin bulunmamasıdır.
4. En iyi metot ise beton yüzeyini su ile gölendirmektir. Buradaki su asla beton sıcaklığından 11 °C daha düşük olmamalıdır. Ayrıca yapılan set sızmalara karşı güçlü olmalıdır.



Şekil 3.5 Betonun nemlendirilmesi [6]

Kür işlemleri için kullanılacak su tutucu malzemeler şunlardır:

1. Plastik Tabakalar: Bunlar şeffaf, beyaz ya da renkli olabilirler. Cam fiber ile güçlendirilmiş olmaları tercih edilir. Genelde sıcaklık 15 °C'nin altından ise koyu renkli plastik tabakalar kullanılır. Ancak hava sıcaklığı 30 °C'den yüksekse beyaz renkli plastik tabakalar kullanılmalıdır. Bunlar güneş ışığını yansıtarak ısı geçişini azaltır. Plastik tabakalar beton üzerine olabildiğince hızlı ve düzgün bir şekilde yerleştirilmelidir. Bunu yaparken betonun bozulmamasına dikkat edilmelidir. Köşelerde tabakalar üst üste bindirilip, su geçirmeyecek şekilde bantlanmalıdır. Rüzgar girmemesi için hafif ağırlıklarla sabitlendirilebilirler. Plastik betonla temas ettiğinde koyu renkte izler bıraktığı için görünüşün önemli olduğu yerlerde kullanılması tercih edilmez.



Şekil 3.6 Polietilentabaka [9]

2. Su Geçirmeyen Kağıtlar: Plastik tabakalar gibi kullanılır ancak hafif oldukları için beton yüzeyini bozma ihtimalleri çok daha düşüktür. Bu kağıtlar araları fiberle güçlendirilmiş 2 tabakadan oluşurlar.



Şekil 3.7 Su geçirmeyen kağıt tabaka [9]

3. Sıvı Tabaka: Beton bitirildikten yarım saat sonra uygulanır. Beton hala terliyorsa ya da yüzeyde su parlıyorsa kesinlikle uygulanmamalıdır. Şeffaf sıvılar beton yüzeyini kaplayıp güneş ışığını yansıtır. Beton üzerinde ayrı bir tabaka görüntüsü verir. Eğer beton boyanacaksa ya da üzeri vinil veya epoksi ile kaplanacaksa, kullanılacak sıvı bunlara uyumlu olmalıdır. Kolayca yıkanıp temizlenecek sıvılarda kullanılabilir.



Şekil 3.8 Sıvı malzeme ile koruma [9]

Yüksek sıcaklık hızlı erken dayanıma sebep olur. Ancak ilerde dayanım kazanma hızında düşme gözlemlenebilir ve daha düşük dayanıma ulaşabilir. Sıcak koşullarda su ile bakım yapılmalıdır. Gündüz ve gecedeki sınır sıcaklıklar ilk bir gün saate 3 °C'lık bir azalma gösteriyorsa koruma önlemleri mutlaka alınmalıdır [9].

4. SOĞUK HAVADA BETON

Anormal hava koşullarında beton yapımı ile ilgili TS 1248’de günlük ortalama sıcaklığın ard arda 3 gün süreyle +5 °C’nin altında olduğu hava durumu, beton dökümü için ‘soğuk hava’ olarak tanımlanmaktadır.

Soğuk havada, beton üretiminde kullanılacak malzemelerin sıcaklıkları da düşüktür. O nedenle, düşük sıcaklıktaki malzemelerle üretilen taze betonun da sıcaklığı düşük olmaktadır. Yerine yerleştirilen ve nispeten düşük sıcaklıkta olan taze betonun sıcaklığı dışarıdaki soğuk havanın etkisiyle daha da azalmaktadır. Taze betonun sıcaklığının düşük olması, betonun dayanım kazanma hızını olumsuz etkilemektedir. Eğer betonun içerisindeki sıcaklık 0 °C veya daha az olduğunda, kapiler boşluklardaki su donabilmektedir. Soğuk hava koşullarında üretilen ve yerleştirilecek betonun soğuk havadan olumsuz etkilenmemesi için özel önlemlerin alınması gerekmektedir [7].

4.1. Soğuk Hava Koşullarının Beton Özelliklerine Etkileri

Soğuk hava koşullarında üretilen ve yerleştirilen betonlar için gereken önlemler alınmadığı takdirde, aşağıda sıralanan olumsuzluklarla karşı karşıya kalınmaktadır:

1. Soğuk hava koşullarındaki taze betonun priz alma süresi, normal sıcaklık koşullarındaki betonun priz alma süresine göre daha uzun, dayanım kazanma hızı ise daha yavaş olmaktadır.
2. İlk zamanlarda (beton priz almadan, veya yeterli dayanımı henüz kazanmadığı süre içerisinde) betonun içerisindeki suyun bir kez dahi donması, beton dayanımını ve dayanıklılığını çok büyük ölçüde azaltmaktadır.
3. Yerleştirilen betondaki sıcaklık ile çevre sıcaklığı arasında büyük fark olması durumunda, betonda gerilmeler oluşmakta ve çatlaklara yol açmaktadır [7].

4.1.1. Soğuk Havanın Betonun Priz Süresine ve Dayanım Kazanma Hızına Etkisi

Sıcaklığın +5 °C’nin altına düşmesi durumunda, beton içerisindeki çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonlar oldukça yavaşlamaktadır. Soğuk havada yerleştirilen düşük sıcaklıktaki betonun priz alma süresi normal sıcaklık koşullarındaki betonun priz alma süresine göre daha uzun olmaktadır. Düşük sıcaklıklarda, çimentonun hidratasyonu çok yavaş seyretmektedir. O nedenle, hidratasyon ürünleri arasında çimentoya ve betona bağlayıcılık

sağlayan kalsiyum-silika-hidrat jellerinin oluşumu daha yavaş yer almaktadır. İstenilen süre içerisinde erişilmesi gereken dayanım elde edilememektedir.

Ayrıca soğuk hava koşullarındaki taze betonun dayanım kazanma hızı, normal sıcaklık koşullarındaki betonun dayanım kazanma hızından daha yavaş olmaktadır. Betonların özellikle, ilk günlerdeki dayanımlarının istenilen dayanım değerinden çok daha az olması, kalıpların sökülebیلme süresini uzatmakta, beton özelliklerini ve beton ekonomikliğini de olumsuz etkilemektedir. Beton içerisindeki suyun tamamen buza dönüştüğü durumda, hidratasyon için yeterli miktarda su olmayacağından, hidratasyon tamamen durmaktadır.

4.1.2. İlk Zamanlarda Yer Alan Donma'nın Beton Özelliklerine Etkisi

Donma olayı, beton henüz prizini almadan yer aldığı takdirde, betonun içerisindeki suyun buza dönüşmesi sonucunda betonun hacminde bir artma olmaktadır. Ayrıca, betonun içerisindeki suyun buza dönüşmesiyle, çimento ile kimyasal reaksiyonların gerçekleşebilmesi için yeterli miktarda su bulunmamaktadır. Dolayısıyla beton hem dayanım kazanamayan, hem de daha geniş hacimli bir beton durumuna gelmektedir. Şayet, ileriki safhalarda, hava sıcaklığının artması ile betonun içerisindeki buz çözülerek su haline dönüşecek olursa, böyle bir durumda beton priz alabilmekte ve sertleşebilmektedir. Ancak bu durumda da, betondaki buzların erimesiyle geride bıraktığı boşlukların hacimleri oldukça büyük olduğundan, hidratasyon sonucunda oluşan çimento jelleri bu boşlukları yeterince dolduramamakta ve beton dayanımı az ve su geçirgenliği yüksek bir beton olmaktadır.

Priz alarak sertleşmiş fakat yeterince dayanım kazanmamış olan betonda donma olayı gerçekleştirdiği takdirde, kapiler boşluklardaki suyun donarak genleşme yaratması nedeniyle, betonda çatlaklar oluşmakta ve betonun düşük dayanımlı olmasına yol açılmaktadır. Şayet beton yeterince dayanım kazanmış ve donma olayı böyle bir konumda yer alıyor ise, betonun içerisindeki suyun bir kez donması durumunda, beton yeterli dayanıklılığı gösterebilmektedir ve betonda çatlama olmamaktadır. Bunun temel nedeni, betonun yeterli dayanımı kazanabilmesi için yeterince hidratasyon yapmış olmasına dolayısıyla içerisinde donma gösterecek su miktarının az olmasına bağlıdır.

İlk zamanlarda yer alabilecek donma olayı karşısında betonun yeterli dayanıklılığı gösterebilmesi için betonun içerisindeki su miktarının "kritik doygunluk seviyesi" olarak adlandırılan bir seviyeye incek kadar azalmış olması gerekmektedir. Böyle bir su seviyesinin ne olduğunu tam olarak tespit edebilmek mümkün değildir. Betondaki su miktarının kritik doygunluk seviyesine kadar inmiş olabileceği bir durum ancak yaklaşık olarak belirlenebilmektedir. Kritik doygunluk seviyesinin belirlenebilmesi için betonun ilk zamanlarda

kazanmış olduğu dayanımın miktarı araştırılmaktadır. Bir kez donma olayı karşısında betonun hasar görmemesi için beton dayanımının en az 3.5 MPa dayanım seviyesine ulaşmış olması gerekmektedir.

4.1.3. Yerleştirilen Betonun Sıcaklığı ile Çevre Sıcaklığı Arasındaki Büyük Sıcaklık Farkının Etkisi

Soğuk havada yerleştirilen beton sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasında büyük fark olması durumunda, betonda ısısal gerilmeler oluşmaktadır. Beton yüzeyinin hızlı soğuması veya betonun dış kısımları ile iç kısımları arasında büyük sıcaklık farkı olması, betonun çatlamasına yol açmaktadır [7].

4.2. Soğuk Havada Üretilen Ve Yerleştirilen Betonlarda Bulunması Gereken Sıcaklıklar

Soğuk havada üretilen betonların karılma işlemi sonunda belirli bir sıcaklıktan az olmaması, ve yerleştirme sırasında betonda bulunan sıcaklığın belirli bir sıcaklıktan daha az olmaması gerekmektedir. Ayrıca, yerine yerleştirilmiş olan betondaki sıcaklık, çevre sıcaklığının etkisiyle, çok hızlı tempoda bir azalma göstermemelidir.

4.2.1. Soğuk Havada Yerleştirilme Esnasında Gereken Beton Sıcaklıkları

Çimento ve su arasında kimyasal reaksiyonlarda aşırı ölçüde yavaşlama olmaması için soğuk havada yerleştirilen betonun sıcaklığı +5 °C'ın altında bir değere sahip olmamalıdır. Yerleştirildiği anda betonda bulunması gereken minimum sıcaklık, betonun kullanılacağı kesitin boyutlarına göre değişmektedir. Betonun kullanılacağı kesitin boyutları küçüldükçe, yerleştirilme esnasında betonun sahip olması gereken sıcaklık daha yüksektir. Bunun nedenleri ise küçük boyutlu beton kütlesinde hidratasyon olayı ile açığa çıkacak ısı miktarı daha azdır. Ayrıca, küçük boyutlu beton kütlesindeki sıcaklık, soğuk havanın etkisiyle, daha hızlı kaybolabilmektedir.

Tablo 4.1'de, betonun kullanılacağı kesitin boyutu da göz önünde bulundurularak, yerleştirme esnasında betonda bulunması tavsiye edilen sıcaklıklar gösterilmektedir.

Tablo 4.1 Yerleştirilme esnasında betonda bulunması tavsiye olunan minimum sıcaklıklar

Beton Kesitin Kalınlığı, cm	Yerleştirme Esnasında Betonda Olması Gereken Minimum Sıcaklık, °C
<30	13
30- 90	10
90- 180	7
>180	5

4.2.2. Soğuk Havada Üretim Esnasında Gereken Beton Sıcaklıkları

Betonun yerleştirilmesi esnasında Tablo 4.1’deki minimum sıcaklıklara sahip olabilmesi için, karılmanın tamamlandığı andaki beton sıcaklığının, bu Çizelge’deki sıcaklıklardan daha yüksek olması gerekmektedir. Zira, betonun karılmasının tamamlandığı andaki sıcaklığı, yerleştirildiği an’a kadar geçen süre içerisinde soğuk havanın etkisiyle bir miktar düşme göstermektedir.

Karılma işlemi tamamlandıktan sonra, üretilen taze beton karışımının içerisinde bulunması gereken sıcaklık, çevre sıcaklığına ve kullanılacağı kesitin boyutlarına göre farklı olmaktadır.

Tablo 4.2’de, soğuk havada üretilen beton karışımlarda bulunması tavsiye edilen minimum sıcaklıklar gösterilmektedir.

Tablo 4.2 Karılma işlemi sonunda betonda bulunması tavsiye olunan minimum sıcaklıklar

Beton Kesitin Kalınlığı, cm	Aşağıdaki Hava Sıcaklıklarında Üretilecek Beton Karışımının Üretildikleri Anda Sahip Olması Gereken Sıcaklık, °C		
	-18 °C’den az	-18 °C ile -1 °C arası	-1 °C’ den yüksek
<30	21	18	16
30- 90	18	16	13
90- 180	16	13	10
>180	13	10	7

4.2.3. Soğuk Havada Yerleştirilmiş Olan Betondaki Soğuma Hızı

Belirli sıcaklığa sahip olarak yerleştirilen betonun sıcaklığı, çevredeki soğuk havanın etkisiyle hızla düşüş göstermektedir. Beton sıcaklığındaki hızlı düşüş, çatlakların oluşmasına yol açmaktadır. Şayet, yerine yerleştirilen betonun sıcaklığı birkaç saat içerisinde sıfır derecenin altına düşer ve beton henüz yeterince dayanım kazanmadan donar ise, betonda çok büyük hasar meydana gelmektedir.

Yerine yerleştirilmiş betonun hızlı bir şekilde sıcaklık kaybına uğramaması ve donmaması için, yerleştirilme işlemi tamamlanır tamamlanmaz, beton yüzeyini soğuk havanın etkisinden koruyabilecek önlemler alınmalıdır. Beton, en az 24 saat, mümkünse daha uzun bir süreyle korunmalıdır.

Koruma süresi sonunda, hava sıcaklığı hala düşük ise, korunarak belli bir yükseklikte tutulmuş olan beton sıcaklığında azalmalar devam etmektedir. Koruma süresi sonrasındaki sıcaklık düşüşlerinin de çok hızlı yer almaması gerekmektedir. Aksi halde, çatlakların oluşması kaçınılmaz olacaktır.

Yerine yerleştirilmiş betonun koruma süresi sonrasında göstereceği sıcaklık azalmasının hızı, beton kesitin boyutları ile ilgilidir. Daha büyük boyutlu betonlar daha az sıcaklık düşüşü göstermektedirler.

Tablo 4.3’de beton kesitin boyutları göz önünde tutularak, koruma süresi sona erdikten sonra ilk 24 saat içerisinde betonda yer alabilecek sıcaklık azalmalarının en fazla ne miktarda olabilmesi gerektiğine dair değerler verilmektedir [7].

Tablo 4.3 Koruma süresi sonrasındaki ilk 24 saat içerisinde betonun en çok ne miktarda sıcaklık kaybı göstermesi gerektiğine dair değerler

Beton Kesitin Kalınlığı, cm	Maksimum Sıcaklık Kaybı, °C
<30	28
30-90	22
90-180	17
>180	11

4.3. Soğuk Hava Koşullarında Üretilecek Betonun Sıcaklığının Hesaplanması

Soğuk havada üretilecek beton karışımlarında kullanılacak agregaların yüzeyleri buzlanmış durumda olmamalıdır. Hava sıcaklığının 0 °C’tan daha az olduğu durumlarda,

agregaların üzerinde buz olmasa dahi, tanelerin içerisinde bulunan su, buza dönüşmüş durumda olabilmektedir. Böyle bir durumda taze betonun sıcaklığının hesaplanabilmesi için gereken formüldeki ' $S_k A_{rk}$ ' ve ' $S_{\phi} A_{r\phi}$ ' terimlerinin yerine, sırasıyla, ' $A_{rk}(0.5 S_k - 80)$ ' ve ' $A_{r\phi}(0.5 S_k - 80)$ ' terimlerini koyarak hesap yapmak gerekmektedir. Buradaki değişiklik buzun erime ısısının 80 kal/g, özgül ısı değerinin 0.5 kal/g °C olmasından kaynaklanmaktadır.

4.4. Soğuk Hava Koşullarında Alınması Gereken Önlemler

Soğuk hava koşullarının beton üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılabilmesi amacıyla, bu koşullarda yapılacak betonlar için alınması gereken önlemler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Beton karışımının sıcaklığını yükseltebilmek için, betonu oluşturan malzemelerin ısıtılarak kullanılması
2. Betonun ilk günlerdeki dayanımının yüksek olmasını sağlayacak türde çimento ve katkı maddesi kullanılması
3. Soğuk havada dökülen betonların korunması için uygun kalıp ve izolasyon malzemelerinin ve/veya uygun kür yönteminin uygulanması
4. İşin önceden planlanması ve beton dökümünden önce gereken hazırlıkların yapılması
5. Soğuk havada dökülen betonların yeterli süreyle kür edilmeleri [7].

4.4.1. Beton Karışımını Oluşturacak Malzemelerin Isıtılarak Kullanılması

Soğuk havada üretilecek beton karışımlarının sahip olmaları gereken minimum sıcaklıklar Tablo 4.1'de tavsiye edilen değerlerden daha az olmamalıdır. Beton karışımının sıcaklığı bu tabloda tavsiye olunan değerlerden en fazla 8 °C daha yüksek olmalıdır. Beton karışım sıcaklığını yükseltebilmek için, betonu oluşturacak malzemelerin ısıtılarak kullanılması gerekmektedir.

4.4.1.1. Beton Karışımında Yer Alacak Suyun Isıtılarak Kullanılması

Betonu oluşturan malzemeler arasında ısıtılarak kullanılması en kolay olanı sudur. Suyun özgül ısı değerinin (1 kal/g °C), çimento ve agrega gibi katı malzemelerin özgül ısı değerinden (0.22 kal/g °C) yaklaşık olarak 5 misli daha fazla olması nedeniyle suyun ısıtılarak kullanılması beton karışımının sıcaklığını yükseltebilmekte çok etkilidir. Karışım suyunun ısıtılarak kullanılması yönteminde dikkat edilmesi gereken bazı önemli hususlar vardır. Isıtılarak kullanılacak karışım suyunun sıcaklığı 60- 65 °C' yi geçmemelidir. 70- 80 °C gibi

oldukça yüksek derecedeki suyun çimento ile teması sonucunda çimentoda ani priz oluşabilmektedir. Ayrıca, çimento taneleri mikser içerisinde topaklanma gösterebilmektedir. Bunu önlemek için miksera girecek malzemelerin giriş sırasını ayarlamak gerekir. Sıcak su ve iri agrega mikserin içerisine dahil edilerek, sıcak suyun derecesi bu şekilde bir miktar azaltıldıktan sonra, çimento ve ince agrega katılmalıdır.

4.4.1.2. Beton Karışımında Yer Alacak Agreganın Isıtılarak Kullanılması

Agregalar donmuş durumda değilse veya agrega taneleri arasında buz topakları bulunmuyor ise, beton karışımının sıcaklığını istenilen ölçüde yükseltebilmek için sadece suyun ısıtılarak kullanılması genellikle yeterli olmaktadır. Ancak hava sıcaklığının kararlı olarak -4 °C'nin altında seyrettiği durumlarda, agreganın da ısıtılarak kullanılması gerekmektedir. Çok soğuk havalarda su sıcaklığının 60 °C olarak kullanıldığı karışımlar için, agrega sıcaklığı en fazla 50-60 °C olmalıdır. Agregaların sıcaklığının yükseltilmesi işlemi genellikle buhar uygulama yöntemiyle sağlanmaktadır. Agrega içerisine yerleştirilen borulardaki buhar, agreganın oldukça üniform ısınmasını sağlayabilmektedir.

4.4.2. Betonun İlk Günlerdeki Dayanımının Yüksek Olmasını Sağlayacak Türde Çimento ve Katkı Maddesi Kullanılması

Soğuk hava betonun içerisindeki çimentonun su ile kimyasal reaksiyonlarını yavaşlattığı için betonun dayanım kazanma hızını da azaltmaktadır. Oysa, kalıpların sökülebilmesi için betonun özellikle ilk günlerde yeterince dayanım kazanması gerekir. Soğuk havada yapılacak betonlarda, hidratasyon ısı hızı yüksek olan tipte çimentoların kullanılması, normal portland çimentolarının kullanılmasıyla elde edilecek dayanımlardan daha erken dayanım artışı sağlanmaktadır. Ayrıca beton karışımının içerisinde yer alacak çimento miktarı da, normal karışımlara oranla, daha yüksek tutularak, hem betondaki hidratasyon ısının daha yüksek olmasını hem de ilk günlerde daha yüksek dayanım elde edilebilmesini sağlamaktadır.

Priz hızlandırıcı katkı maddeleri veya su azaltıcı ve priz hızlandırıcı katkı maddelerinin kullanılması da soğuk havalarda beton yapımı için yerine getirilmesi yarar sağlayacak bir başka uygulamadır.

4.4.3. Soğuk Havada Dökülen Betonlar İçin Uygun Kalıpların, İzolasyon Malzemelerinin ve Kür Yönteminin Uygulanması

Uygun sıcaklığa sahip olarak yerleştirilen betonun ilk zamanlarda donma olayına maruz kalmaması veya hidrasyonun aşırı ölçüde yavaşlamaması için, betondaki sıcaklığın yeterli bir süreyle korunması gerekmektedir.

Soğuk havada kullanılacak kalıpların içerisine yerleştirilecek betondaki sıcaklığın hızlı bir şekilde kaybolmasını önlemek amacıyla, kalıpların dış yüzeyi, bazı izolasyon malzemeleri ile kaplanmaktadır. İzolasyon malzemesi olarak kalıpların üzerine sıkılan köpük, kalıpların dış yüzüne serilen saman, kalıpların dış yüzüne yerleştirilen mineral yününden veya selüloz fiberlerinden yapılmış battaniyeler, veya ticari olarak üretilmiş olan örtüler kullanılmaktadır.



Şekil 4.1 Yalıtkan battaniyeler [10]

Yapı tamamen örtü içerisine alındıktan sonra, uygun yöntemler kullanılarak, içerideki sıcaklık yüksek tutulmaktadır. Bu amaçla genellikle, dışarıya yerleştirilmiş olan motorlu bir ısıtıcı vasıtasıyla içeriye sıcak hava üflenmekte, veya içeride çeşitli türde soba kullanılmakta, veya içeriye buhar verilmektedir.



Şekil 4.2 Yalıtımlı kalıp [11]

Bazı uygulamalarda, kalıplar, yapının dış yüzünü tamamen örtecek tarzda tarpolin veya polietilen plastik örtülerle kaplanmakta ve yapı rüzgardan ve soğuktan korunmaktadır [7].



Şekil 4.3 Bir temel ayağının plastik örtü ile korunması [10]

4.4.4. İşin Önceden Planlanması, ve Beton Dökümünden Önce Gereken Hazırlıkların Yapılması

Soğuk havada beton yapımı için, yapı sahibinin, işin yüklenicisinin ve yapıya malzeme olarak beton sağlayacak kuruluşun yetkilisinin inşaat başlamadan önce bir araya gelerek, soğuk hava koşullarında gereken işlemlerini yerine getirmek üzere işin yüklenicisinin hangi yöntemi seçeceğine ve uygulamaya koyacağına yardımcı olmak için, bir rapor hazırlamaları tavsiye edilmektedir.

Taze betonun donma olayından korunmasını ve uygun sıcaklıklara sahip olabilmelerini sağlayacak bütün hazırlıklar, soğuk hava koşullarının başlamasından önce yapılmalıdır. Beton dökümüne başlamadan önce, betonla temas edecek bütün yüzeylerin kontrol edilmeleri, beton sıcaklığının aşırı ölçüde düşmesine neden olabilecek kadar düşük sıcaklıklarda olmamalarına dikkat edilmelidir. Şayet, betonun yerleştirileceği zemin buzlanmış durumda ise, böyle bir zeminin üzeri, beton dökümünden iki-üç gün önce uygun bir izolasyon malzemesi ile örtülmeli ve buzların çözülmesi sağlanmalıdır. Beton içerisinde yer alacak betonarme demirleri ve diğer metalik malzemeler buzla kaplı veya aşırı ölçüde düşük sıcaklıkta olmamalıdır. Şayet betonarme demirleri buzla kaplı bir durumda ise ve böyle bir durumda dökülmüş ise, sonradan buzların çözülmesi nedeniyle, betonla bu demirler arasında yeterli aderans elde edilememektedir. Bu nedenle betonarme demirlerinin ve metalik malzemelerin sıcaklıklarının, sıcak hava püskürtülerek veya başka yöntemlerle yükseltilmesi gerekir.

4.4.5. Kalıpların Sökülmesi Ve Kür Süresi

Soğuk havada dökülen betonların kalıpları mümkün olabildiği kadar geç sökülmelidir. Kalıpların sökülmesi işleminde betonun köşelerinin ve kenarlarının zedelenmemesine dikkat edilmelidir. Kalıpların sökülebilmesi için, betonun yeterli dayanıma ulaşmış olması gerekmektedir. Kalıplar söküldükten sonra, kür işlemine devam edilmelidir [7].

5. BETONUN TERMİK ÖZELLİKLERİ

Bazı özel yapılarda beton normal sıcaklığının üstünde bir ortam içinde bulunur. Örneğin; betonarmeden yapılmış bir fabrika bacasında beton 400 °C dolaylarında bir sıcaklık ile temas halindedir. Sıcaklığın, mevsimlere göre büyük ölçüde değişmesi hallerinde bu durumun hiperstatik yapılar üzerinde meydana getirdiği etkilerin göz önünde bulundurulması gereklidir. Meydana gelen yangınlarda beton 600-900 °C'ye kadar yükselebilen bir sıcaklık ile karşı karşıyadır. Bu durumda, önümüze çıkan soruların çözümünde ve ayrıca konut ve işyerlerinde istenilen termik izolasyonun sağlanmasında betonun termik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu özelliklerin başında termik iletkenlik katsayısı, betonun özgül ısı, termik genleşme katsayısı ve yangına dayanıklılık gelmektedir [12].

5.1. Termik İletkenlik Katsayısı

Bir metre kalınlığındaki bir cismin iki tarafındaki sıcaklık 1 °C iken cismin 1 m²'lik alanından bir saatte geçen ısı miktarı o cismin ısı iletkenlik katsayısıdır. Bu katsayı ne kadar büyük ise ısı kaybı o kadar fazla olacak ve bundan dolayı kapalı bir hacim içinde sıcaklık derecesinin aynı kalmasını sağlamak için daha fazla yakıt tüketmek gerekecektir. Genellikle (λ) ile gösterilen ve boyutu 'b' kalori/m.saat °C olan termik iletkenlik katsayısını etkileyen faktörlerin başında cismin boşluk durumu ve su içerikliği gelmektedir. Bir cismin birim ağırlığı ne kadar küçük ise termik iletkenlik katsayısı da o kadar küçük değerler almaktadır.

Betonlarda (λ) katsayısı birim ağırlık ile beraber artmaktadır. Birim ağırlığı 2,4 kg/dm³ olan rutubet içeriği en düşük durumda olan betonda bu katsayı b kalori/m.saat °C değerini alırken, birim ağırlığın 2 kg/dm³ ye düşmesi halinde (λ) değerinde 0,75'lik bir azalma olur.

Betonu oluşturan cisimler arasında (λ)'yı en çok etkileyen bir faktörde beton üretiminde kullanılan agregaların minerolojik karakteristikleridir. Genellikle bazalt ve trakit kökenli agregaların betonda yer alması halinde (λ) büyük değerler almaz. Buna karşın kuvars esaslı agregaların kullanılması betonun termik iletkenlik katsayısını büyük ölçüde artırır. Esası kalker ve dolomit olan agregalarla (λ) sı 1.4 b kal/m.saat °C dolaylarında olan betonlar elde edilir [12].

5.2. Özgül Isı

Betonların özgül ısı, başka bir deyimle sıcaklığını arttırmak için sarf edilmesi gereken ısı miktarı (200-280) Kcal/kg/ °C arasında değişir. Bu büyüklüğün, betonun üretiminde

kullanılan agreganın minerolojik kökeni ile büyük bir ilgisi yoktur. Buna karşın betonların su içerikliliğinin artması özgül ısının artmasına neden olur. Betonun birim ağırlığının azalması halinde ise bu karakteristik artış gösterir [12].

5.3. Termik Genleşme Katsayısı

Bir cismin ısıtılması atomların daha fazla titreşim yapmasına neden olarak bunun sonucunda cismin boyutlarında bir değişiklik olur. İşte sıcaklığın 1°C artması ile cismin birim boyutunda meydana gelen artış o cismin lineer termik genleşme katsayısıdır.

Isı değişikliğinin meydana getirdiği genleşmelerin veya uzamaların serbest bir şekilde gerçekleşmemesi cismin içinde birtakım gerilmeler doğurur. Bunlar bazı çatlakların oluşması , bunun sonunda mukavemetin azalması, yapının etkisi altında bulunan yüklerin meydana getirdiği gerilmelerin, termik gerilmelerin bunlara eklenmesiyle daha büyük değer alması ve bütün bu gelişmenin sonu olarak yapının emniyet durumunun azalmasıdır.

Bu önemli karakteristik beton birleşimine, beton üretiminde kullanılan agreganın türüne bağlı olarak önemli sayılabilecek değişimler gösterebilir. Bu durumun başlıca nedeni de hidrasyonu pratik bakımdan tamamlamış bulunan çimento hamuru genleşme katsayısı ile agreganın genleşme katsayısının birbirinden farklı değerler almasıdır. Termik genleşme katsayısı ortam rutubetine bağlı olarak değişir. Rutubet %40 değerinden itibaren artmaya başlarsa bu karakteristik rutubet miktarı ile birlikte artan rutubet %70 civarında iken maksimuma ulaşır. Bu durum doğrudan doğruya çimento hamurundaki suyun rutubetinin değişmesi ile hareket etmesinden ve bunun meydana getirdiği olaylardan kaynaklanmaktadır.

Sıcaklık derecesinin 320 °C'nin üstüne çıkması halinde bu özelliğin değerinde belirgin bir artış olur. Buna karşılık sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşmesi halinde (-5 °C) termik genleşme katsayısı minimum değerini alır [12].

5.4. Yangına Dayanıklılık

Betonarme yapıların yangına dayanıklılığı yapının taşıyıcı sistemi ile betonun yüksek sıcaklıktaki davranışına bağlıdır. Genel olarak beton kısa süren (birkaç saat) ve sıcaklık derecesi 600 °C'yi geçmeyen yangınlarda donatılardan daha iyi bir dayanıklılık gösterir. 600 °C'de beton, mukavemetinin yarısını kaybedebilir. Sıcaklık 800 °C'ye çıkması halinde hidratelerin içinde bulundukları suyu kaybetmesi sonunda mukavemetteki azalma %80'ne varabilir ki bu da yapının yıkılmasına yol açar.

Yüksek sıcaklıkta beton mukavemetindeki azalmalar, birçok faktörlerin etkisi altındadır. Çimento dozajının düşük olduğu betonlarda yangın zararlı etkisini daha az gösterir. Yangına dayanıklılık bakımından agrega türleri de büyük bir rol oynar. Genellikle silis içermeyen agregalarda, örneğin kalker kökenli, püskürük kökenli agregalarla üretilen betonların yangına karşı davranışı daha iyidir. Hafif betonlar, normal betonlara göre yangından daha az zarar görürler. Rutubet içeriğinin fazla olması suyun genleşme katsayısının daha büyük olmasından dolayı yangına karşı dayanıklılığı önemli ölçüde azaltır.

Yapı elemanının boyutu ne kadar küçük ise yangının zararlı etkisi o kadar büyüktür. Yangını görmüş fakat ayakta kalmış binaların durumu iyi bir şekilde incelendikten sonra yapının yıkılmasına veya takviye edilerek onarılmasına karar verilmelidir. Eğer onarım yapılacaksa torkret denilen özel beton kullanılır [12].

5.5. Betonların Donmaya Dayanıklılığı

Sıcaklık ve nem farkları betonda taze betonun sertleşme sürecinden itibaren hacim küçülmesi (rötre) veya hacim büyümesine (şişme) neden olur.

Sıcaklık farklarının meydana getireceği boyut değişiklikleri betonun ısı genleşme katsayısı ile ilişkilidir. Bu katsayı da hamur ve agreganın ısı genleşme katsayıları ile beton içindeki göreceli miktarlarına bağlı olarak değişir.

Hem boşluk suyu saf olmadığı için, hem de hidrasyon reaksiyonları nedeniyle erken yaşlarda betonun boşluklarındaki çözelti 0 °C'ın altında donar. Ortam sıcaklığı -10 °C iken bile hidrasyon reaksiyonları devam etmektedir. Sertleşmiş betonu yıpratıcı, yalnız donma olayı değil aynı zamanda ıslak ortamda tekrarlanan donma ve çözülme devreleridir.

Donma olayı zararlı etkisini her iki fazda (çimento hamuru fazında ve agrega tanelerinde olmak üzere) gösterir. Çimento hamuru içindeki kılcal boşluklardaki su donmaya başlayınca yaklaşık %9 hacim artışı oluşur. Bu boşluk çeperlerine basınç etkisi yaparak, kılcal kanal ve boşluklara doğru yer değiştirir. Çimento hamurunun doymuş olması ve donmakta olan suyun kısa mesafede kaçacak yer bulamaması halinde hidrolik basıncın meydana getirdiği gerilmeler hamurda çatlamalara yol açabilir [13].

Bu zararlı etkilerin meydana gelmemesi veya sınırlı kalması için donan su hacminin az olması gerekmektedir. Bu ise çimento hamurunun kılcal boşluklarının az olmasıyla gerçekleşebilir.

Bir betonun donmaya dayanıklı olabilmesi için aşağıdaki şartların yerine getirilmesi gerekir. Bunlar sıra ile şu şekilde özetlenebilir;

1. Kullanılacak çimento normal bir şekilde hidratasyon yapan, hidratasyon ısısı yüksek olmayan az rötre yapan bir çimento olmalıdır.

2. Betonun bileşiminde yer alacak agregalar donmadan zarar gören türden olmamalıdır.

3. Beton bileşiminin saptanmasında ise şu ilkelere uyulmalıdır:

a) Çimento dozajı büyük olmamalı, ve hiçbir vakit 350 kg değerini geçmemelidir. Zira çimento dozajının yüksek bir değer alması betonun rötresini artırır, hidratasyon ısını yükselterek çatlakların oluşmasını kolaylaştırır. Çatlaklar ise donma olayının zarar meydana getirmesinde en etkili rolü oynarlar.

b) Beton bileşimi kompasitesi yüksek olacak şekilde ve kabil olduğu kadar geçirimsiz bir beton elde edilmesini sağlamak üzere belirlenmelidir.

c) Su/çimento oranı, işlenebilme özelliği sağlamak şartıyla, mümkün olduğu kadar küçük bir değer almalıdır.

d) Yukarıdaki önlemler alınamıyorsa veya bunlar yeterli görülüyorsa donmaya dayanıklı betonların elde edilmesi için katkı maddesi kullanılmasına başvurulur. Bu amaçla hava sürükleyici katkıları kullanılmalıdır.

Hava sürükleyici katkıları beton içerisinde 150- 200 mikron çapında küresel biçimde boşluklar oluşturmakta ve bu boşluklar, suyun donması ile meydana gelen hacim artışını karşılayarak iç gerilmelerin meydana gelmesini önlemektedir.

Hava sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşen bölgelerde betonarme yapılardaki betonun donma etkisi altında zarar görmemesi için belirtilen kurallara uyulması gerekir.

Donma olayı zararlı etkilerini daha çok tümü açık havada kalan yapılarda örneğin köprülerde kendini gösterir. Köprülerde kış mevsimlerinde meydana gelen buzun, trafiği aksatmaması için, çözülmesini sağlamak için bazı ergiticiler kullanılmaktadır. Bu amaçla en çok NaCl ve CaCl₂ gibi tuzlardan yararlanılma yoluna gidilmekle ve bu durumda çok olumsuz sonuçlar elde edilmektedir. Zira bu klorürlü tuzların kullanılması beton içinde suyun hareketini kolaylaştırmak suretiyle donma olayının zararlı etkisini arttırmaktan başka donatıların korozyonunu kolaylaştırır. Böylelikle donma olayının zararlı etkisi hızlanarak yapının ömrü daha da kısalmaktadır. Belirtilen bu zararlı durumun olmaması isteniyorsa köprü elemanları evvela yüzeysel hidrofüj maddeleri ile geçirimsiz hale getirildikten sonra klorür esaslı tuzların uygulanmasına geçilmelidir.

Ülkemizde de donmaya dayanıklı betonlar konusu önemle ele alınmalıdır. Zira her sene kış aylarında sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşen bölgelerin yüz ölçümü oldukça yüksek bir değer olup, ülkenin tüm yüz ölçümünün yaklaşık % 40'ını oluşturmaktadır [14].

6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Abdel-Fattah ve Hamoush [15], yüksek sıcaklıklarda betonun kırılma dayanımındaki değişimini incelemek üzere deneysel bir çalışma yapmışlardır. 80 adet kiriş (150x150x750 mm) üç noktalı eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Kirişlerin yarısı orta noktada başlangıçta 25 mm, diğer yarısı da 60 mm çentiğe sahiptir. Bu çalışmada 50, 100, 150, 200, 250 ve 300 °C sıcaklıklar kullanılmıştır. Numunelere ısıtma ve soğutma periyotları uygulanmıştır. Her periyotta numuneler 24 saat boyunca istenilen sıcaklıkta önısıtma ocağına yerleştirilmiştir. Daha sonra ise 24 saat süresince soğutulmaya bırakılmıştır. Yöntem istenilen periyod sayısı kadar tekrarlanmıştır. Sonuçlar betonun kırılma tokluğunun sıcaklığın artmasıyla azaldığını göstermiştir. Isıtma ve soğutma döngüsü arttıkça kırılma tokluğu azalmıştır.

Baker [16], yüksek sıcaklıklarda tutmanın demirsiz betonun kırılma enerjisine etkisini araştırmıştır. 20 °C'den 600 °C'ye kadar önısıtma uygulanan betonlar oda sıcaklığında üç nokta eğilme testine tabi tutulmuşlardır. Kırılma enerjisi ölçüm teknikleri geçmiş çalışmalarla karşılaştırılarak tartışılmıştır. Sonuçta betonun kırılma direncine sıcaklığın önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. Oda sıcaklığı ile 300 °C sıcaklıklar arasında kırılma enerjisinde bir artış olduğu ancak 300 °C'nin üzerinde kırılma enerjisinin oldukça dik bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir.

Kim ve El Hussein [17], asfalt betonunun, değişik düşük sıcaklıklardaki (-5 °C den -30 °C'ye, 5 °C'lik değişimle) kırılma dayanımını deneysel olarak incelemişlerdir. Asfalt betonu kiriş numunelerini hazırlamak için, penetrasyon sınıfı 85/100 olan asfalt çimentosu, iki tip agrega (granit ve kumtaşı) kullanılmıştır. Bu numuneler 2 değişik yöntemde kullanılmış ve üç noktalı eğilme düzeneğinde test edilmiştir. İlk yöntemde kontrol sıcaklığı -5 °C alınarak, değişen şartlar belirlenmiştir. İkinci yöntemde ise numunelerin bulunduğu koşullarda kırılma dayanımları değerlendirilmiştir. Sonuçta sıcaklığın azalmasıyla kırılma tokluğunun arttığı gözlenmiştir.

Pigeon ve Cantin [18], çelik fiberle güçlendirilmiş betonların düşük sıcaklıklardaki gerilme özelliklerini incelemişlerdir. Deneyler ASTM C1018 gerilme testleri standardı kullanılarak yapılmıştır. Testler oda sıcaklığı (20 °C), -10 °C ve -20 °C'de yapılmıştır. Sıcaklığa ek olarak; çimento tipi (hem normal portland çimentosu hem de silis dumanlı çimento kullanılmıştır), su/çimento oranı, fiber tipi ve fiber dozajı değişkenleri de incelenmiştir. Sonuçlar çelik fiberle güçlendirilmiş betonların tokluğunun gerilme yüklemesi altında sıcaklığın azalmasıyla arttığını göstermiştir. Düşük sıcaklıklarda kılcal gözeneklerdeki suyun donmasından dolayı matris mukavemetinin artmasıyla, fiber hareketi için enerji gereksinimini

arttırmıştır. Hem normal hem de yüksek performanslı betonlarda her iki dozajda her iki fiber tipi için tokluk artışı gözlenmiştir. Yapılan bu testlerde, fiber geometrisinin etkisinin oldukça küçük olduğu gözlenmiştir.

Thienel ve Rastasy [19], yüksek sıcaklık ve çifteksenli gerilime maruz kalan betonun dayanımını deneyler ve modelleme başlığı altında incelemişlerdir. Yüksek sıcaklık ve çifteksenli gerilmeye maruz kalan normal ağırlıktaki betonların mekanik davranışları tam olarak anlaşılamamıştır. Bu araştırma bu iki konuyu bir arada ele almıştır. Kuvarzitik agrega içeren, sıcaklığa ve iki eksenli gerilimlere maruz kalan harç ve betonların dayanımı, kısa süreli deneylerle izlenmiş ve bileşimin etkisi de araştırılmıştır. Buna ilaveten yalnız ana değişken olan sıcaklık değil aynı zamanda yüksek sıcaklıkta, betonun dayanımına önemli bir etkisi olan bileşimsel değişkenleri de içine alarak bu gerilmelere maruz kalan betonun kırılması için mekanik bir model geliştirilmiştir.

Jacobsen ve diğerleri [20], yüksek dayanımlı betonun donma dayanıklılığı başlığı altında içten çatlamının buzlanma üzerine etkisini incelemişlerdir. Suda hızlı donma/çözülme devirlerine maruz bırakılmadan önce ve sonra hava katkısız yüksek dayanımlı betonlar (HSC) üzerinde düşük sıcaklık kalorimetresi (CAL) kullanılarak buzlanma ölçümleri yapılmıştır. ASTM C666 testinde hava katkısız HSC' nin bozulma mekanizmasını inceleyerek, buzlanma ve bozulmadaki değişimleri ile deney esnasında su absorpsiyonu arasındaki ilişki araştırılmıştır. CAL sonuçları, deney sıcaklığı aralığında (-20 °C) C666 deneyinden evvel betonlardaki (w/b=0.40 ve 0.35, 0.5 ve %8 silis tozu) buzlanmanın sıfır veya çok az olduğunu göstermiştir. Deneyden sonra belirli bir su absorpsiyonu oluşmuştur. Emilen suyun sadece yarısı veya daha azı -20 °C'ye donabilmiş, yani emilen suyun sadece bir kısmı ortaya çıkan çatlaklara giderek, burada donma ile bozulmaya katkıda bulunmuştur. Suyun geri kalanı düşük sıcaklıklarda donabilir veya öyle sıkı bağlanır ki -55 °C'ye kadar tüm sıcaklıklarda donmaz. Görünüşte çok az bir buzlanma, prosesi başlatabilir ve büyük hasar ile sonuçlanır.

Strak ve Ludwing [21], donma çözülme ve buz çözücü tuz ile donma-çözölmeye maruz bırakılmış betonda, sertleşmiş çimento pastasındaki faz dönüşümlerinin rolünü incelemişlerdir. Araştırmalar betonun donma-çözölme ve buz çözücü tuz ile donma-çözölmesinin sadece fiziksel bir problem olmadığını göstermiştir. Betonun donma-çözölme direnci (FTR) ve buz çözücü tuz ile donma-çözölmeye direnci (FTSR), sık donma-çözölme çevrimlerinin özel nem ve sıcaklık koşulları altında, belirli hidrat fazlarının kararsızlığından etkilenebilir(hatta buz çözücü tuz ile donma-çözölmeye maruz kalma sırasında kloritlerin hareketi de etkili olabilir). Betonun FTR ve FTSR'si üzerine bu kimyasal dönüşüm işlemlerinin etkileri, fiziksel etkileyici faktörlerden (hava sürükleyici katkı, su/çimento oranı gibi) daha az olmayıp, daha da önemli olduğu görölmüştür.

Janotka ve Bagel [22], 800 °C'ye varan sıcaklıklara maruz kalan betonun gözenek yapısı, geçirgenliği ve basınç dayanımlarını araştırmışlardır. Bu çalışma Mochovce'daki Slovakya nükleer güç santralinde 800 °C'ye varan sıcaklıklara maruz kalan betonun dayanım karakteristikleri, gözenek yapısı, geçirgenlik katsayısının tespiti üzerine yapılmıştır. Beton numuneler Mochovce yapı alanında kullanılan materyallere özdeş olarak laboratuvar koşullarında üretildikten sonra seçilmiş sıcaklıklara maruz bırakılmışlardır. Deneyler sonucunda, 400 °C'ye kadarki sıcaklıklarda dayanım, ortalama gözenek çapı veya geçirgenlik katsayılarında belirli bir değişim olmadığı görülmüştür. Merkürü gözenek ölçüm cihazını kullanarak ölçülen gözenek boyutlarını baz alarak geçirgenlik katsayısı için önerilen prosedürün, beton kalitesini değerlendirmek için uygun olduğu saptanmıştır. Bu sonuçların, dayanım ve elastisite modülünü değerlendirmek için de yararlı olduğu tespit edilmiştir.

Sun ve diğerleri [23], yük ve donma çözülme periyodu hareketi altında yüksek dayanımlı betonun hasar ve hasar direncini incelemişlerdir. Bu çalışmada yük ve donma çözülme periyodunun eşzamanlı hareketi altında betonun farklı dayanım derecelerine bağlı olarak beton hasarı ve hasar üzerine hava katkısı ile çelik fiberin önleyici etkisi analiz edilmiştir. Donma ve çözülme periyoduna konu olan numunelerin dinamik esneklik modülü ve eğilme dayanımı tayin edilmiştir. Deney sonuçları hasar prosesinin yük ve donma-çözülme periyodunun eşzamanlı hareketi altında hasar büyüklüğünü arttırdığını ve hızlandığını göstermiştir. Betonun daha düşük derecelerindeki hasar büyüktür. Daha yüksek gerilme, oranında betonlar daha ciddi hasarlara izin verir. Betona çelik fiber veya hava katkısı veya ikisinin kombinasyonunun ilavesi betonun dayanma hasarı kapasitesini geliştirebilir.

Salem ve diğerleri [24], önceden kullanılmış agregalı betonun donma-çözülme direncini araştırmışlardır. Önceden kullanılmış agregalı betonun (RAC) donma-çözülme direnci üzerine laboratuvar çalışması yapılmıştır. Bu tip agregalı beton, doğal agregalı beton (NAC) ile karşılaştırılmıştır. RAC ve NAC için üç farklı durum düşünülmüştür. 1. durumda, RAC ve NAC için su/çimento oranı (0.47) kullanılmıştır. 2. durumda 0.29 su/çimento oranı düşünülmüş; 3. durumda ise %5 hava sürükleyici kullanılan karışımlar düşünülmüştür. RAC'ın 1 ve 2. durumlardaki dayanıklılık performansı, önceden kullanılmış agregalı betonu olumsuz yönde etkilemiştir. Bu sonuçlar, NAC'da ise tam tersine çıkmıştır. Hava sürükleyici katkı kullanımında ise RAC, NAC kadar dayanıklı bulunmuştur.

Prado ve diğerleri [25], magnetik rezonans yöntemi ile betondaki donma-çözülmeyi incelemişlerdir. Magnetik rezonans tekniği, betondaki donma-çözülmeyi araştırmak için kullanılmıştır. MRI sinyalinin sıklığındaki değişimin gözlemlenmesiyle, buz oluşumu incelenmiştir. Faz geçiş sıcaklıklarındaki değerlerin, diferansiyel kalorimetri termagramlarıyla hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Beton numuneler değişik zamanlarda havayla

kurutulmuştur. Donma-çözülme termodinamik davranışının, ihtiva edilen su miktarına ve numunenin maruz kaldığı ortama bağlı olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Khan, Cook ve Mitchell [26], hidratasyon sırasında normal, orta ve yüksek dayanımlı betonlarda, sünme, büzülme ve termal gerilimleri incelemişlerdir. İzolasyona ve havada kurutulmaya maruz bırakılmış normal (30 Mpa), orta (70 Mpa) ve yüksek dayanımlı (100 Mpa) betonların erken yaşlarda büzülmesi, termal ve sünme gerilimleri üzerine deneysel çalışma yapılmıştır. Çok erken yaşlarda kalıptan çıkarmanın yüksek dayanımlı betonda, orta dayanımlı betona kıyasla daha yüksek büzülme ve termal gerilim meydana getirdiği; orta dayanımlı betonlarda da normal dayanımlı betona kıyasla daha yüksek gerilimler olduğu bulunmuştur. Aynı zamanda, naftalin bazlı süperplastikleştirici içeren yüksek dayanımlı betonun sünmesinin, normal ve orta dayanımlı betonlara göre yükleme yaşına karşı daha duyarlı olduğu; çok erken yaşlarda yüklemenin önemli oranda yüksek sünme ile sonuçlandığı bulunmuştur.

Poon ve arkadaşları [27], yüksek sıcaklıklarda normal ve yüksek dayanımlı puzolanik betonların dayanım ve dayanıklılık performanslarının karşılaştırılmasını incelemişlerdir. Bu çalışmada, silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın curufu katkılı, normal ve yüksek dayanımlı puzolanik betonların dayanım ve dayanıklılık performansları 800 °C'ye kadarki sıcaklıklarda karşılaştırılmıştır. Dayanım özellikleri, basınç dayanım testi ile dayanıklılık ise hızlı klorür yayınma testi, merkürü porozimetresi ve çatlak gözlemleri ile saptanmıştır. Sonuçta, uçucu kül ve yüksek fırın curufu içeren puzolanik betonların 600 °C'nin altında katkısız çimentolu betonlara kıyasla daha iyi performans gösterdikleri bulunmuştur. İnce çatlakların ağ yapısı oluşturması, tüm uçucu kül ve yüksek fırın curufu betonlarda gözlenmiş; ancak herhangi bir pul pul dökülme, dağılma görülmemiştir. Yüksek dayanımlı puzolanik betonlar dayanıklılıkla bağlantılı geçirgenlikte basınç dayanımına kıyasla daha şiddetli bir düşüş göstermişlerdir. Yüksek dayanımlı betonda uçucu külün %30'luk ikame oranı normal dayanımlı betonda %40'luk ikame oranının yüksek sıcaklıklara maruz kalma sonrasında dayanım ve dayanıklılık açısından optimum yüzdeler olduğu tespit edilmiştir.

Bayasi ve Dhaheri [28], yüksek sıcaklıkların polipropilen elyaf takviyeli betona etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada, polipropilen takviyeli betonun yüksek sıcaklıklara maruz kalmasının etkileri araştırılmıştır. Literatüre göre, polipropilen elyaflar betonda üniform olarak dağılınca, yüksek sıcaklıklarda betonun yüzeyindeki dökülmeye karşı direncin artmasını sağlamaktadırlar. Buradaki deneysel çalışmada, 100x900x350 mm elyaf %0.1-0.3 oranında katılmış ve bu betonlar 1, 7 ve 30 gün süreyle 100-200 °C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Eğilme dayanımı betonda polipropilen elyafların etkinliğini belirlemek için kullanılmıştır. Deney sonuçları çekme dayanımının yanı sıra eğilme dayanımının da artan sıcaklık ve maruz kalma

süresi ile birlikte azaldığını göstermiştir. 100 °C'nin altındaki sıcaklıklarda polipropilen takviyeli betonun dayanımının pek değişmediği görülmüştür.

Li, Ballivy ve diğerleri [29], yüksek dayanımlı betonun farklı termomekanik ve termohidrolik koşullarda mikroyapısal özelliklerini incelemişlerdir. Yüksek performanslı betonun (HPC) mikroyapısal özellikleri, termomekanik ve termohidrolik testlerini takiben tarama elektron mikroskop ve X-ışınları difraktometresinde incelenmiştir. HPC'nin daha sonra mühendislik özellikleri (taşıma ve mekanik özellikler) ve mikroyapısı arasında bağıntı çıkarılmıştır. Ayrıca termomekanik koşullarda HPC'nin kırılma mekanizması tartışılmıştır. Çimento pastası ve betonda geçiş bölgesinde görülen düşük porozite, yüksek C-S-H (kalsiyum silikat hidrat) ve düşük CH (kalsiyum hidroksit) ve HPC'nin mekanik özelliklerine pozitif yönde etki etmiştir. 200 °C'ye varan doğru sıcaklık artışı ile, suyun buharlaşması kapiler porozitenin artışı ve aynı zamanda C-S-H tabakaları arasındaki kohesif kuvvetlerin azalması dolayısıyla mekanik özelliklerde bozunma meydana gelmiştir. Termomekanik koşullar altında mikroçatlak oluşumu HPC'nin kırılma mekanizmasının başlıca sebebi olarak görülmüştür.

Zain ve Radin [30], katkılı yüksek performans gösteren betonun 20 °C ila 50 °C arasındaki sıcaklıklarda fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada üç farklı kür koşuluna ve 20 °C ila 50 °C sıcaklığına, dört farklı tipte beton karışımından hazırlanan yüksek performanslı betonun basınç dayanımı ve elastisite modülü gibi fiziksel özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar mineral katkılı betonun basınç dayanımının 7 günde 100 Mpa'ya ulaştığını göstermiştir. En yüksek dayanım ve elastisite modülü, suda ve 35 °C sıcaklıkta kür edilen silis dumanlı betonda görülmüştür. Bu durum orta sıcaklıklarda silis dumanının yüksek pozolanik reaktivitesini ve mikrodolgu etkisinin, silis dumanlı betonda geçiş bölgesindeki açık kanalları düzeltmeye yaradığını göstermiştir.

Eren ve Yılmaz [31], değişik sıcaklıklarda kür edilen salt portland çimentolu, yüksek fırın cürufu veya uçucu kül katkılı betonlarda dayanım gelişimini incelemişlerdir. Bu çalışma, yüksek fırın cürufu veya uçucu külün portland çimentosu yerine kısmi ikamesinin, değişik sıcaklıklarda kür edilen betonların dayanımlarına olan etkileri ile Carino ve Brooks, Al-Kaisi tarafından önerilen basınç dayanımı zaman-kür sıcaklığı bağıntısındaki katsayıların test edilen betonlar için aldığı değerlerin tayinini göstermektedir. Basınç dayanım sonuçları, hiperbolik dayanım-zaman fonksiyonuna göre n kuvvet indisi kullanılarak analiz edilmiştir. Regresyon analizleri, değişik n ve t_0 (son priz süresi) değerleri kullanılarak yapılmıştır. Değişik kür sıcaklıkları uygulandığı zaman, beton basınç dayanımlarının bu sıcaklıklardan büyük ölçüde etkilendiği görülmüştür.

Sancak ve Şimşek [32] bu çalışmada, bims agregası ile üretilen taşıyıcı hafif beton ve normal yoğunluklu agregası ile üretilen normal betonların karşılaştırmalı olarak yüksek ısıya

(20 °C, 100 °C, 400 °C, 800 °C, 1000 °C) maruz kaldıktan sonraki ağırlık kaybı ve basınç dayanımlarını araştırmışlardır. Bu amaçla, 12 farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Silis Dumanı, mineral katkı olarak %0, %5 ve %10 oranlarında çimento ile ağırlıkça yer değiştirilerek kullanılmıştır. Kalan altı tip beton, silis dumanlı karışımlara, çimento ağırlığının %2'si oranında süper akışkanlaştırıcı katkı eklenerek elde edilmiştir. Hafif betonların birim ağırlıkları, normal betonlara göre %23 daha düşüktür. Hafif ve normal betonlarda silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı kullanımı, yüksek sıcaklık etkisinde ağırlık kaybını önemli ölçüde etkilememektedir. Hafif betonlardan %2 süper akışkanlaştırıcı katkılı olanlar; ilk dayanımlarının %38'ini koruyabilmişlerdir. Normal beton ve hafif betonlar, 20 °C, 100 °C ve 400 °C sıcaklıklara maruz bırakıldıklarında, normal betonların daha dayanıklı oldukları görülmüştür. 800 °C ve üstündeki sıcaklıklarda, silis dumanı kullanım oranına bağlı olarak basınç dayanımı kaybı artmıştır. Sıcaklık 800 °C ve 1000 °C'lere çıkarıldığında, katkılı ve katkısız hafif betonlar, bağıl olarak normal betonlardan daha iyi basınç dayanımı göstermişlerdir.

Hüsem ve Gözütok [33], bu çalışmada düşük sıcaklıkta kür edilen normal ve yüksek dayanımlı betonun basınç dayanımındaki değişimi deneysel olarak incelemişlerdir. 150 mm çapında ve 300 mm uzunluğunda beton numuneler hazırlanmıştır. Numuneler üretildikten sonra, 7 gün boyunca değişik koşullarda kür edilmiştir. Numunelerden bazıları 23±2° C (standart kür), diğerleri ise sırasıyla 10, 5, 0 ve -5° C'de bekletilmiştir. 7. günde değişik sıcaklıklarda kür edilen bazı numuneler tek eksenli basınç altında kırılmıştır. Diğer yandan, bazı numunelere ise 28 gün boyunca standart kür uygulanmıştır. 28. günün sonunda bütün numunelerin basınç dayanımları elde edilmiştir. Sonuç olarak, 7 gün boyunca 10° C ve 10° C'den düşük sıcaklıklarda kür edilen numunelerin basınç dayanımları standart kür uygulananlardan daha düşük olduğu ve 28.günün sonunda değişik sıcaklıklarda kür edilen numunelerin basınç dayanımlarındaki kaybın ise standart kür uygulananlardan daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Yüzer ve diğ. [34], yangına maruz yapılarda betonun basınç dayanımı-renk değişimi ilişkisini incelemişlerdir. Normal ve silis dumanı katkılı harçlar 100, 200, 300, 600, 900 ve 1200 °C sıcaklıklara maruz bırakılmış, soğutma işlemi havada ve suda olmak üzere iki grupta gerçekleştirilmiştir. Oda sıcaklığına kadar soğutulan numunelerde eğilme ve basınç deneyleri yapılmış, renk değişimi Munsell Renk Dizgesi kullanılarak değerlendirilmiştir. Basınç dayanımı, 300 °C'ye kadar bütün gruplarda değişmemiş hatta artış göstermiştir. Normal ve silis dumanı katkılı gruplardan suda soğutulan numunelerin dayanımı 300 °C'den sonra, havada soğutulanlarıninki 600 °C'den sonra düşmeye başlamıştır. Basınç dayanımındaki kayıp için kritik sıcaklık 300 °C'dir. Bu sıcaklıktan sonraki kayıplar hızlıdır. Silis dumanı katkılı grupların basınç dayanımındaki kayıp oranı, 600 °C'den sonraki sıcaklıklarda katkısız gruplarınkinden daha fazladır. Eğilme dayanımı, 100 °C'den itibaren bütün gruplarda düşmeye başlamış, suda

soğutulanlardaki kayıp, 300 °C'de yaklaşık %40'a varmıştır. Bu nedenle yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan betonun incelenmesinde, sadece basınç dayanımının değerlendirilmesi yeterli değildir. Yüksek sıcaklık etkisinden sonra suda soğutmanın zararlı etkisi, havada soğutmaya nazaran fazla olmuştur. Yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonların renginin tür bileşeninde, sıcaklığa bağlı olarak önemli değişiklikler gözlenmiştir. Bu değişikliklerle betonun hangi sıcaklığa maruz kaldığı ve dayanımdaki kayıp oranı hakkında fikir verilebileceği, ancak mekanik dayanımların belirlenmesi için tek başına yeterli olmadığı tespit edilmiştir.

Türker ve diğ. [35], yangına maruz kalan betonlarda mikroyapı ve dayanım değişikliklerini incelemek amacıyla normal portland çimentosu ve 3 tip farklı agregası (kuvarsit, kireçtaşı ve bims) içeren harçlar hazırlamışlardır. Basınç dayanımı ve SEM incelemeleri için harç numuneleri, sıcaklık artış periyodu da dahil olmak üzere 4 saat süreyle 100, 250, 500, 700 ve 850 °C sıcaklıklara tabi tutulmuşlardır. SEM incelemeleri için aynı numunenin aynı bölgeleri sıcaklığa tabi tutulmadan önce ve sonra incelenmiştir. 500 °C' ye kadar CSH'nın yapısında belirgin bir değişim gözlenmemiştir. Oysa, daha yüksek sıcaklıklarda CSH jeli yapısında, küçük yuvarlak oluşumlara dönüşme şeklinde morfolojik yapıda değişim tespit edilmiştir. Kuvarsit ve kalkerli harçlardan farklı olarak, bimsli harçlarda, yüksek sıcaklıklar, arayüzde çatlak gelişimi yerine, agreganın kendisinde çatlak oluşumuna yol açmıştır. Bu da bimsli agregaların arayüzeyinin kuvvetli olduğunu göstermiştir.

Binbay [36], yüksek sıcaklıkta betonun mekanik özelliklerini inceleyerek, katkı maddelerinin ve değişik türde agregaların etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada farklı dört tür agregası (kumtaşı, kalker, dolomit ve bazalt) kullanılarak, üç farklı sınıfta beton (C18' den C35'e kadar) üretilmiştir. Silis dumanı katkı malzemesi olarak kontrol numunelerinde kullanılmıştır. 20x20x20 küp numuneler hazırlanmıştır. Üretilen numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılıp 28. güne kadar 20±2 °C sıcaklıktaki kirece doymuş su içinde saklanmıştır. Deney numuneleri 20, 50, 100, 150, 200 ve 250 °C maksimum sıcaklığa ulaşan ısıtma periyoduna maruz bırakılmıştır. Beton numuneler 28. günde ortalama ısıtma hızı 3 °C/dak olan bir elektrik fırınına konmuş ve maksimum sıcaklıkta 3 saat tutulduktan sonra fırında kendiliğinden soğumaya bırakılmıştır. Numuneler oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve elastisite modülünün değerleri ölçülmüştür. Deneylerin sonucunda normal dayanımlı ve silis dumanı içermeyen betonlarda 50 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda basınç ve yarmada çekme dayanımı ile elastisite modüllerinin değerlerinde önemli düşüşler gözlenmiştir. Silis dumanı kullanımı normal dayanımlı betonun yüksek sıcaklıklardaki dayanım kayıplarını azaltmıştır. Tüm sıcaklık şartlarında yüksek dayanımlı betonlar normal dayanımlı betonlara göre daha yüksek değerler vermiştir. Silis dumanı içeren yüksek dayanımlı betonlar 250 °C'ye kadar olan yüksek sıcaklıklarda herhangi bir dayanım kaybı göstermemiştir. Kullanılan agregası türü

hem normal, hem de yüksek dayanımlı betonların özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle yüksek dayanımlı betonlarda agrega türünün etkisinin çok daha belirgin olduğu görülmüştür.

Boybay [37], çeşitli çimentolardan elde edilen betonların dehidratasyon ve rehidratasyonları arasındaki bağıntıları incelemiştir. Bu çalışmada alüminli, curuf, portland ve traslı çimentolar örnek olarak alınmış ve bu dört tür çimento ile, önce en yüksek dayanım verecek olan su/kum/çimento oranları tespit edilmiştir. Ortaya çıkarılan maksimum dayanıma sahip beton türlerinin daha sonra 100-1000 °C arasındaki dehidratasyonları, bu esnadaki kütle kayıpları ve dayanımları sistematik olarak incelenmiştir. Dehidratasyon sonucunda beton numunelerinin sıcaklık yükselmesine bağlı olarak ağırlık ve dayanım kaybına uğradıkları saptanmıştır. Alüminli çimento ile hazırlanan numunelerde 100° C’de önemli ölçüde dayanım kaybı olduğu halde, diğer numunelerde çoğunlukla, 300 ° C’nin üzerinde dayanım kaybı olduğu tespit edilmiştir. Dehidratasyon ile dayanım kaybına uğramış betonlar iki yöntemle (suda bekletilerek ve basınçlı buhar uygulanarak) rehidratize edilmiş ve dehidratasyonla kaybedilen dayanımın rehidratasyonla bir dereceye kadar kazandırılabilceği görülmüştür.

7. DENEYSEL ÇALIŞMA

Oda sıcaklığında hazırlanan beton numuneler, 28 gün süreyle kür ortamında bekletildikten sonra, 28. günün sonunda 20 °C'deki laboratuvar ortamında 24 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra beton numuneler -30, -20, -10, 0, 10, 20, 30, 40 ve 50 °C sıcaklıklarda 24 saat bekletilerek basınç dayanımı, eğilme dayanımı, yarmada çekme dayanımı, ultrases geçiş hızı ve yüzey sertliği ölçüm deneyleri yapılmıştır.

Kürden çıkarıldıktan sonra laboratuvar ortamında 24 saat bekletilen numuneler Şekil 7.1' de verilmiştir.



Şekil 7.1 Laboratuvar ortamında 24 saat bekletilen numuneler

7.1. Numune Hazırlama

Bu çalışmada beton üretiminde; dozaj, agrega kompozisyonları ve miktarları, çökme değeri sabit seçilmiştir. Karışıma girecek malzemelerden çimento ve agregalar düşey eksenli karıştırıcı 30 dm³ kapasiteli betoniyerde iki dakika süre ile kuru olarak karıştırıldıktan sonra karışım suyu ilave edilmiş ve aynı betoniyerde iki dakika daha karıştırılarak kalıplara dökülmeye hazır hale getirilmiştir. Üretilen betonlardan standartların öngördüğü şekilde küp, silindir ve prizmatik örnekler alınmış ve alınan örnekler 20 °C'deki kirece doymuş su içinde saklanmışlardır. Her seride üç adet örnek olmak üzere toplam 27 seri üretilmiştir.

7.1.2. Karışım Hesabı

Beton karışım hesabı, istenen kıvam, işlenebilme, dayanım, dayanıklılık, hacim sabitliği ve diğer aranan özelliklere sahip en ekonomik betonu elde edebilmek amacıyla gerekli agrega,

çimento, su, hava ve gerektiğinde katkı maddesi miktarlarını tespit edebilmek için yapılan hesaptır [38]. Bu çalışmada karışım oranı tespitinde TS 802 standardına uygun karışım dizayn edilmiştir. Karışım oranları hazırlanırken maksimum agrega çapı 16 mm ve su/çimento oranı (0.50) sabit alınmıştır.

Oda sıcaklığında hazırlanan taze beton numuneler üzerinde sırası ile işlenebilme özelliğindeki değişimi belirlemek amacıyla çökme ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda çökme miktarı 80 mm, birim ağırlığı 2454 kg/m³ olarak elde edilmiştir.

Tablo 7.1 1m³ beton üretiminde kullanılan malzeme miktarları

Malzeme	Kütle (kg)	Yoğunluk (kg/dm ³)	Hacim (dm ³)
Çimento	380	3.02	126
Su	190	1	190
Hava			39
Agrega			
0 – 4 (% 35)	578	2,56	226
4 – 8 (% 25)	413	2.56	161
8 –16 (% 40)	660	2.56	258
Toplam	2221		1000

7.2. Malzemeler

7.2.1. Numune Kalıpları, Dondurucu ve Etüv

Deneyisel çalışmalar için gerekli küp, silindir ve prizmatik numune kalıpları TS EN 12390-1 [39]'e uygun şekilde hazırlanmıştır. Basınç dayanımı için hazırlanacak beton numunelerin hazırlanmasında 150x150x150 mm küp kalıplar kullanılmıştır. Yarmada çekme dayanımı için hazırlanacak numuneler için ise 100Ø200 mm silindir kalıplar kullanılmıştır. Eğilme dayanımı için hazırlanacak numuneler için ise 100x100x500 mm prizma kalıplar kullanılmıştır. Bu kalıplarda hazırlanan numuneler üzerinde ayrıca ultrases hızı ve yüzey sertliği ölçümü de yapılmıştır.

Numuneler -30 °C'ye kadar soğutan dondurucu ile 400 °C'ye kadar ısıtan etüvde bekletilmiştir.

Deneylerde kullanılan dondurucu ve etüv Şekil 7.2'de verilmiştir.



Şekil 7.2 Deney çalışmasında kullanılan dondurucu ve etüv

7.2.2. Çimento

Bu çalışma kapsamında bütün deneylerde bağlayıcı malzeme olarak Elazığ Altınova Çimento Fabrikası AŞ.'nin ürettiği PÇ 42.5 Portland Çimentosu (CEM I 42.5) kullanılmıştır. Bu çimentoya ait fiziksel ve kimyasal analizler firma tarafından yapılmış olup analiz sonuçları Tablo 7.2'de verilmektedir.

Tablo 7.2. Deneylerde kullanılan çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler

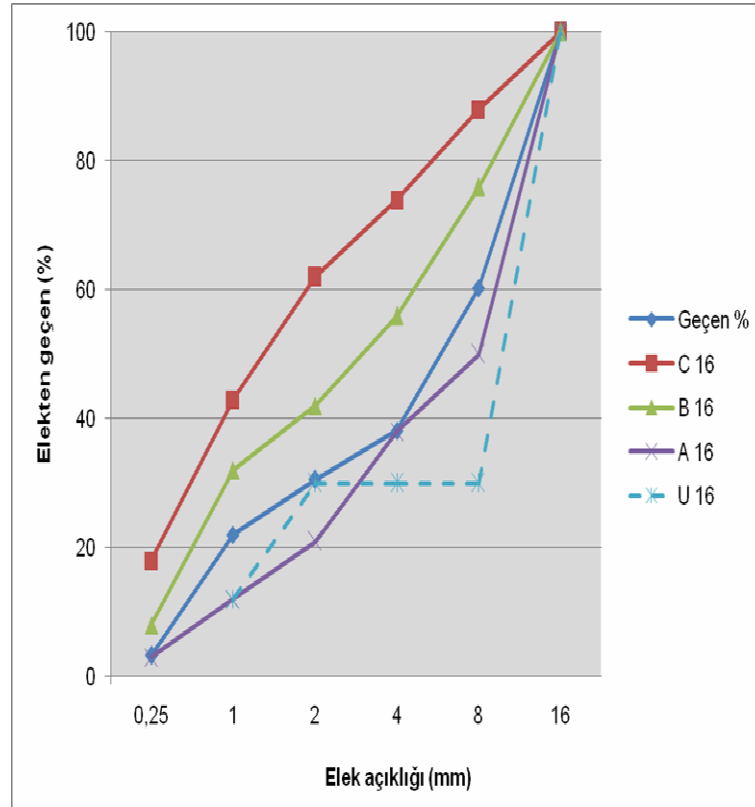
Çimentonun kimyasal özellikleri	
Bileşenler	Bileşen miktarları (%)
Silisyum dioksit (SiO_2)	20.4
Alüminyum oksit (Al_2O_3)	5.61
Demir oksit (Fe_2O_3)	3.27
Kalsiyum oksit (CaO)	63.01
Mağnezyum oksit (MgO)	2.49
Kükürt trioksit (SO_3)	2.26
Klorür (Cl)	0.006
Kızdırma kaybı (K.K.)	1.64
Tayin edilemeyen (T.E.)	1.68
Çimentonun fiziksel özellikleri	
Özgül ağırlık, (gr/cm^3)	3.02
Özgül yüzey, ($\text{cm}^2/\text{gr.Blaine}$)	3470
Hacim genleşmesi, (mm)	7
Priz başlama süresi, (h/dk.)	03:10
Priz sonu, (h/dk.)	04:15
Çimentonun mekanik özellikleri	
2. gün mukavemet, (N/mm^2)	24.2
7. gün mukavemet, (N/mm^2)	43.5
28.gün mukavemet, (N/mm^2)	54.5

7.2.3. Agrega

Bu çalışmada maksimum dane çapı 16 mm olan Elazığ Palu ilçesinden getirtilen agregaya kullanılmıştır. Kullanılan agregaya TS 706 EN 12620 [40]'de verilen sınır değerlerinin içerisinde kalmaktadır. Bu agregaya ait elek analizi sonuçları ve granülometri eğrisi sırasıyla Tablo 7.3'de ve Şekil 7.3'de verilmektedir.

Tablo 7.3. Deneylerde kullanılan agregaya ait elek analizi sonuçları

Elek Açıklığı(mm)	Elek Üzerinde Kalan (gr)	Kümülatif Kalan (gr)	Kalan (%)	Geçen (%)
16	0	0	0	100
8	397	397	39.70	60.30
4	221	618	61.80	38.20
2	76	694	69.40	30.60
1	86	780	78.00	22.00
0.5	114	894	89.40	10.60
0.25	73	967	96.70	3.30
Kap	33	1000	100	-



Şekil 7.3 Agregaya ait granülometri eğrisi

7.2.4. Su

Beton malzemelerin karılmasında kullanılan karışım suyunun iki önemli görevi vardır. Bunlardan ilki çimento ile birleşerek hidrasyonun yer almasını sağlamak, ikincisi ise betonun karılma işleminde agrega ve çimento tanelerinin yüzeyini ıslatarak üretilen taze beton karışımında istenilen işlenebilmeyi (segregasyon olmadan, betonun kolayca karılabilirliğini, yerleştirilebilirliğini, sıkıştırılabilirliğini, ve yüzeyinin düzeltilebilirliğini) sağlamaktır [7].

Betonda kullanılabilecek en iyi su içme suyudur. TS EN 206 ve TS EN 1008’de beton üretiminde kullanılacak karışım suyunda klor, sülfat, alkali içeriği, toplam katı madde miktarı ve pH düzeyi sınırlandırılmıştır. Karışım suyunda:

1. $pH \geq 4$ olmalıdır.
2. Sülfatlar en fazla 200 mg/lt ve alkali-silika reaksiyonuna (ASR) karşı önlem alınmadıkça alkali miktarı 1500 mg/lt yi geçmemelidir.
3. Şeker, fosfat, kurşun ve çinko miktarı 100, nitrat miktarı 500 mg/lt ile sınırlandırılmıştır. Bunların varlığında priz süresine etkisi belirlenmelidir.
4. Klorür içeriği donatılı betonlarda 1000 ve donatısız betonlarda 4500 mg/lt ile sınırlandırılmıştır.
5. Organik madde miktarı NaOH eklendiğinde belirlenen renk sarıya dönük kahverengi veya daha açık olmalıdır.
6. Askıdaki madde miktarı 4 ml’den az olmalıdır.

Bu çalışma kapsamında hazırlanan bütün beton numunelerde karma ve temas suyu olarak Fırat Üniversitesi şebeke suyu kullanılmıştır.

7.3. Deney Yöntemi

7.3.1. Sertleşmiş Betonda Ultrases Hızı İle Ölçüm

Ultrasonik hız metodu, beton içerisinden geçen ultrasonik dalganın, geçme hızını ölçmekten ibarettir. Hızın hareket zamanı, elektronik olarak ölçülür. Algılayıcılar arasındaki uzaklık hareket zamanına bölündüğünde dalga ilerlemesinin ortalama hızı elde edilir.

Ölçülen bu hız, betonun birçok özelliğinin belirlenmesinde kullanılır. Bu teknik, yerinde ve laboratuvar numunelerinde rahatlıkla kullanılabilir. Elde edilen sonuçlar betonun şeklinden ve büyüklüğünden etkilenmemektedir. Ancak yine de çok küçük numuneler deneye tabi tutulurken dikkatli olunmalıdır.

Ultrasonik hız tekniği, betonun mukavemetinin, homojenliğinin, elastisite modülünün, döküm özelliklerinin ve çatlakların varlığının belirlenmesinde kullanılabilir. Eğer çatlaklar, tamamıyla su ile dolu ise çatlakların yerinin belirlenmesi oldukça zorlaşmaktadır.

Genel olarak çok yüksek hızların (> 4570 m/s) çok kaliteli betonun göstergesi ve çok düşük hızların da (< 3050 m/s) kalitesiz betonun göstergesi olduğu bilinmektedir. Hızdaki periyodik ve sistematik değişimler, betonun kalitesinde de aynı şekilde değişimler olduğunu göstermektedir. Bütün bunlara rağmen araştırmacı, hız ölçümünden dayanımı veya diğer özellikleri belirlemeden önce çalıştığı beton hakkında yeterli bilgiye sahip olmalıdır. Bu durum özellikle kullanılan agregası, düşük ağırlıkta agregası ise geçerlidir.

Ultrasonik hız ve mukavemet arasındaki ilişkiler, birçok değişkenden etkilenir. Betonun yaşı, su muhtevası, agregası/çimento oranı, agregası tipi ve donatı yeri, bu değişkenlerden sayılabilir. Bu sebepten dolayı ultrasonik hız metodu, sadece betonun kalite kontrolünde kullanılmalıdır. Genel olarak hız dâtasının mukavemet parametreleriyle korelasyonu başarılı olmamaktadır. Ultrasonik test yönteminin uygulanmasında kullanılan cihazın özellikleri ve kullanım tekniği ile standart prosedür, ASTM C 597’de verilmektedir [41].

Ultrasonik test yönteminin uygulanması durumunda, ölçüm yapılan betonda çatlama veya kırılma oluşmamaktadır. Katı bir malzemenin içerisinde geçen sesüstü dalgalarının hızı (V), sesüstü dalganın içerisinde geçtiği malzemenin elastisite modülü (E) ve malzemenin yoğunluğu (D) ile ilgilidir.

Beton bloğun bir yüzeyinden içeriye gönderilen sesüstü dalganın, bloktaki diğer bir yüzeye ne kadar zamanda geçtiği ölçüldükten sonra, dalga hızı aşağıdaki formüldeki gibi hesaplanmaktadır [42].

$$V = \frac{S}{t} \times 10^6 \left(\frac{\text{km}}{\text{s}} \right)$$

Burada,

V = Sesüstü dalga hızı (km/s),

S = Sesüstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe (m),

t = Sesüstü dalganın gönderildiği yüzeyinden, alındığı yüzeye kadar geçen zaman (μs).

Sesüstü dalga hızı bilindiği takdirde beton kalitesinin ne olabileceğine dair önerilen sonuçlar Tablo 7.4’ de gösterilmektedir.

Tablo 7.4 Ses hızı ile betonun kalitesinin tahmin edilmesi [42]

Ses Hızı (km/s)	Beton Kalitesi
> 4.5	Mükemmel
3.5-4.5	İyi
3.0-3.5	Şüpheli
2.0-3.0	Zayıf
< 2.0	Çok Zayıf



Şekil 7.4 Deneylerde kullanılan pundit aleti

7.3.2. Sertleşmiş Betonda Schmidt Beton Test Çekici İle Ölçüm

1948’de İsveç mühendis Ernst Schmidt, beton sertliğini geri tepme metodu ile ölçen bir test çekici geliştirdi. Schmidt geri tepme çekici, temel olarak geri tepme numarası ve beton mukavemeti arasında çok az bir teorik ilişki olmasına dayanan bir yüzey sertlik deney cihazıdır. Bununla birlikte limitler dahilinde geri tepme değeri ve mukavemet özellikleri arasında ampirik korelasyonlar yapılmıştır.

Schmidt geri tepme çekici, yaklaşık olarak 1.8 kg gelmekte ve hem laboratuvar hem de arazide kullanılmaya uygundur. Cihazın temel bileşenleri; dış kısım, çekiç kütlesi, ana yay ve pistondan oluşmaktadır. Diğer parçalar, çekiç kütlesini pistonla kilitleyen bir kilit mekanizması ve çekiç kütlesinin geri tepmesini ölçen bir mekanizmadan oluşmaktadır. Geri tepme uzaklığı, 10’ dan 100’ e kadar olan bir ölçek üzerinden belirlenir.

Deney; yatay, dikey, yukarıya doğru, aşağıya doğru veya herhangi bir açıda yapılabilir. Geri tepmedeki değişik yerçekimi etkilerinden dolayı, değişik açılardaki geri tepme değeri değişiklik gösterecektir. Bu durumu düzeltmek için kalibrasyon veya düzeltme abakları kullanılmalıdır [41].

Çalışma mekanizmasından anlaşılacağı gibi alet asıl olarak yüzey sertliğini ölçmekte ve basınç dayanımını bulmak tahminden öteye gitmemektedir. Aslında bu aletler, sadece üzerinde deney yapılan beton yüzeyinin (yaklaşık 30 mm derinliğine kadar olan) nitelikleri hakkında bilgi verirler. Eylül 1978’de yayınlanan TS 3260’da yöntem beton yüzey sertliği ile yaklaşık beton dayanımının tayini metodu diye adlandırılmış ve tüm detaylarıyla anlatılmıştır. Beton çekicinin amaçlarını şu şekilde açıklanabilir:

- Betonun üniform bir şekilde dağılıp dağılmadığını kontrol etmek,
- Yapıdaki farklı elemanların betonlarını birbirleri ile karşılaştırmak.

Diğer bir kullanım şekli de yüzey sertliğinden yararlanarak beton basınç dayanımını tahmin etmektir. Buradaki mantık bir cisim ne kadar sertse dayanımı da o kadar yüksektir şeklinde açıklanabilir. Fakat sadece beton çekici kullanarak beton dayanımı bulmak olanaksızdır. Çekiç değerleri, ölçümlerin alındığı yüzeyin özelliklerini haiz karot numunelerinden elde edilecek sonuçlar ile kalibre edilmeden pek bir işe yaramazlar [43].

Geri tepme çekici hızlı ve ucuz bir yöntem olmakla birlikte farkına varılması gereken ciddi sınırlamalar içermektedir. Schmidt geri tepme çekici sonuçları, deney yüzeyinin pürüzlülüğü, numunelerin büyüklüğü, şekli ve rijitliği, deney numunelerinin yaşı, betonun yüzey ve iç nem durumu, kaba agreganın özellikleri, çimento tipi (portland, süper sülfatlı, yüksek alümina), kalıp tipi, beton yüzeyindeki karbonatlaşma gibi faktörlerden etkilenmektedir.

Birçok araştırmacıya göre, betonun tek eksenli dayanımı ve çekiç geri tepme numarası arasında genel bir korelasyon vardır. Bununla birlikte çeşitli çalışmacılar, geri tepme okuması kullanılarak yapılan mukavemet belirlenmesinin hassasiyetine inanmamaktadır. Çeşitli numunelerden tahmin edilen tek eksenli mukavemet farklılığı yaklaşık olarak %18.8’dir. Fakat bazı numunelerde bu oran %30’u geçmiştir. Mukavemetteki ciddi sapmalar, daha önce bahsedilen değişkenler göz önüne alınarak yapılan uygun bir korelasyon eğrisi geliştirilerek azaltılabilir. Deney numunelerindeki tek eksenli mukavemet tahminleri (laboratuar koşullarında dökülmüş, kür edilmiş ve test edilmiş), $\pm \%15$ ve $\pm \%20$ hassasiyetindedir. Bununla birlikte bir yapıdaki betonun mukavemet tahmini $\pm \%25$ civarındadır.

Schmidt çekicinin sınırları, çekiç kullanırken dikkate alınmalı ve farklarına varılmalıdır. Çekicin, standart tek eksenli deneyler yerine kullanılması mümkün değildir. Fakat çekiç, yapılarda betonun kalitesini, homojenliğini belirlemede ve betonların birbirleriyle kıyaslanmasında kullanılabilir. Geri tepme metodu, birçok ülkede ASTM ve ISO standartlarında ciddi anlamda yeterlilik kazanmıştır. Standart prosedür, ASTM C 805’te tanımlanmıştır [41].



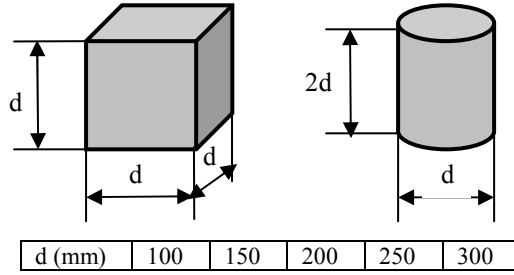
Şekil 7.5 Deneylerde kullanılan schmidt çekici

7.3.3. Sertleşmiş Betonun Basınç Dayanımı

Betonun tüm mekanik özellikleri arasında en önemli ve değeri en büyük olanı basınç dayanımıdır. Basınç dayanımı betonun tüm olumlu nitelikleriyle paralellik gösterir. Yüksek basınç dayanımına sahip bir betonun; kompasitesi fazladır, serttir, geçirimsizdir, dış etkilere karşı dayanıklıdır ve aşınması zordur. Bu nedenle basınç dayanımını saptamak suretiyle betonun kalitesini genel olarak değerlendirmek mümkündür. Betonun tanımlanması ve sınıflandırılması basınç dayanımına göre yapılır.

Yapılan araştırmalar beton özelliklerinin basınç dayanımı ile aynı yönde değiştiğini göstermiştir. Bu nedenle günümüzde beton kalite kontrolü, standart numunelerin kullanıldığı basınç dayanım deneyleriyle yapılmaktadır. Bu yöntem beton karışımından belirlenmiş kurallara uygun olarak numuneler alınıp standart boyutlardaki küp veya silindir kalıplara doldurulması, bakım ve kür, deneyin yapılması ve sonucun alınması aşamalarıyla standart bir hal almıştır. Deney sonucu basınç dayanımı, kontrolü yapılacak beton döküm işinde aynı harmandan alınan deney numunelerinin ortalama basınç dayanımıdır. Betonun basınç dayanımında esas olan betonun yaşıdır. Betonun basınç dayanımı zamana bağlı olarak artmakta olup, bu artış 28 güne kadar hızlı sonrasında yavaştır. Beton pratik yönden 3., 7., 28. ve 90. günlerde basınç dayanım testine tabi tutulabilir. Fakat bütün devletlerin standartlarında, hesaplamalar ve değerlendirmeler için 28 gün basınç dayanımı esas alınmaktadır. Beton sınıflandırmasında esas alınacak 28 günlük karakteristik basınç dayanımlarının tayininde, 150mmx300mm'lik silindir veya 150mmx150mmx150mm'lik küp deney numuneleri

kullanılmaktadır [43].



Şekil 7.6 Küp ve silindir şeklinde numune kalıpları

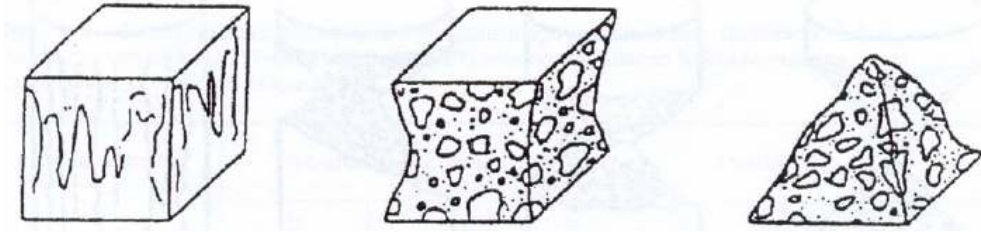
Bu çalışmada betonun basınç dayanımı tayin edilirken TS EN 12390-3 standardına uyulmuştur. Bu standarda göre numune, deney makinesi yerleştirilmeden önce, yüzeyindeki fazla su kurulanır. Deney makinesi yükleme başlıklarının yüzeyleri silinerek temizlenir ve numunenin başlıklarla temas edecek yüzeylerinde bulunan herhangi gevşek çıkıntı veya tane alınır.

Deney numunesi ve deney makinesinin yükleme başlığı arasında, aralık ayarlama blokları (TS EN 12390-4) ve ilave plakalardan başka yerleştirme parçası kullanılmamalıdır.

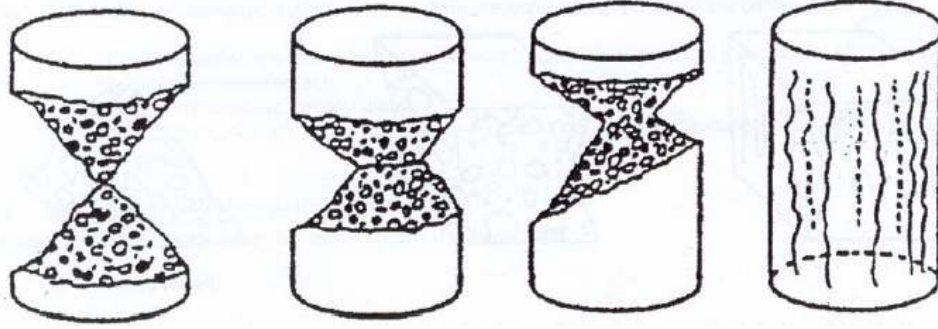
Küp numuneler, yük uygulama yönü beton döküm yönüne dik olacak şekilde yerleştirilmelidir. Numuneler, makinenin alt yükleme başlığı üzerine merkezlenerek yerleştirilmelidir. Küp numuneler, belirtilmiş boyutunun veya silindir numuneler, belirtilmiş çapının $\pm 1\%$ 'i yaklaşımla merkezlenmelidir. İlave yükleme plakaları kullanılıyorsa bunlar, numunenin alt ve üst yüzüne göre ayarlanmalıdır. Kullanılan deney makinesi iki kolonlu ise, küp numuneler, mastarlanmış yüzeyi kolona bakacak şekilde yerleştirilmelidir.

Yükleme $0,2 \text{ Mpa/s (N/mm}^2\text{)} - 1,0 \text{ Mpa/s (N/mm}^2\text{)}$ arasında sabit bir yükleme hızı seçilmelidir. Yük numuneye darbe tesiri olmaksızın, seçilen hızdan sapma, $\pm 10\%$ 'u geçmeyecek şekilde, en büyük yüke ulaşıncaya kadar sabit hızda uygulanmalıdır. Elle kontrol edilen deney makinelerinde, numunenin kırılma aşamasına yaklaşıldığında, yükleme hızında meydana gelen düşme eğilimi yük ayar vanası kullanılarak ayarlanmalıdır. Göstergeden okunan en büyük yük kaydedilmelidir.

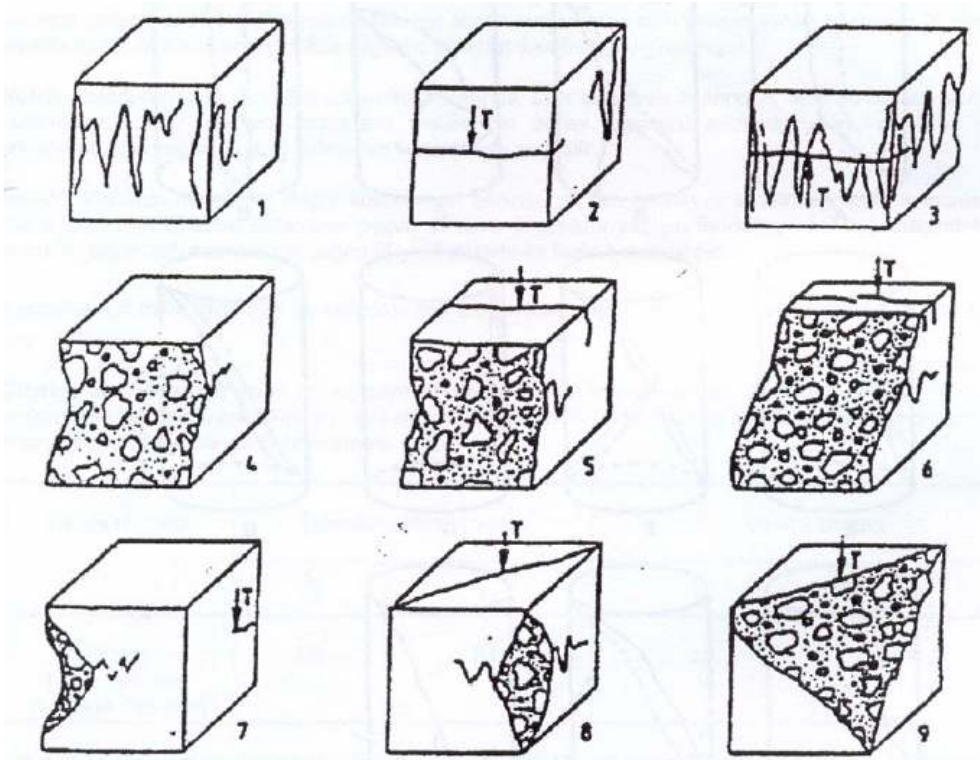
Deneyin tatmin edici doğrulukta yapıldığının göstergesi olan numune kırılma tipine örnekler; küp numuneler için Şekil 7.7'de silindir numuneler için ise Şekil 7.8'de gösterilmiştir. Tatmin edici olmayan numune kırılma tiplerine ait örnekler ise, küp numuneler için Şekil 7.9 ve silindir numuneler için Şekil 7.10'da gösterilmiştir.



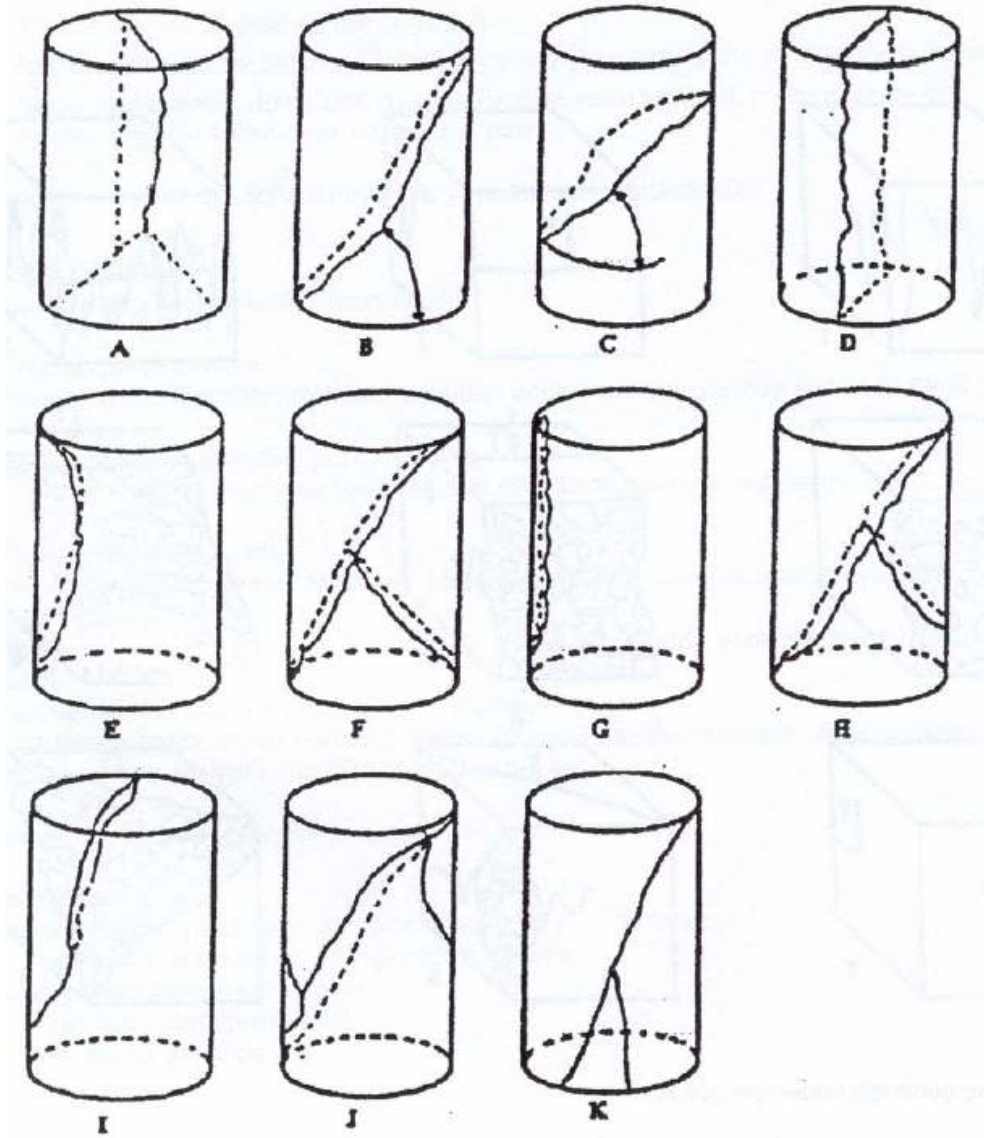
Şekil 7.7 Küp numunelerin tatmin edici kırılma şekilleri



Şekil 7.8 Silindir numunelerin tatmin edici kırılma şekilleri



Şekil 7.9 Küp numunelerin tatmin edici olmayan bazı kırılma şekilleri



Şekil 7.10 Silindir numunelerin tatmin edici olmayan bazı kırılma şekilleri

Kırılma şeklinin tatmin edici olmaması halinde bu durum, kırılmış numunenin gözlenen durumu, Şekil 7.9 veya Şekil 7.10’da verilenlerden en fazla hangisine benziyorsa, o tipe atıfta bulunularak kaydedilmelidir.

Tatmin edici bulunmayan kırılma şekli:

- Deney işlemlerinde yeterli itina gösterilmemesi, özellikle numunenin yükleme başlığına merkezi şekilde yerleştirilmemesi,
- Deney makinesinin kusurlu olması,
- Silindir numunelerde, beton numune kırılmadan önce, başlıkta meydana gelen çatlama veya kırılma, nedeniyle meydana gelmiş olabilir.

Basınç dayanımı betonun birim yüzey alanının taşıyabileceği en büyük gerilme olarak

tanımlanmaktadır. Beton basınç dayanımı (f_c) eşitlikte 'de verilmektedir ve birimi N/mm^2 ' dir.

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

Burada;

f_c = Basınç dayanımı MPa (N/mm^2)

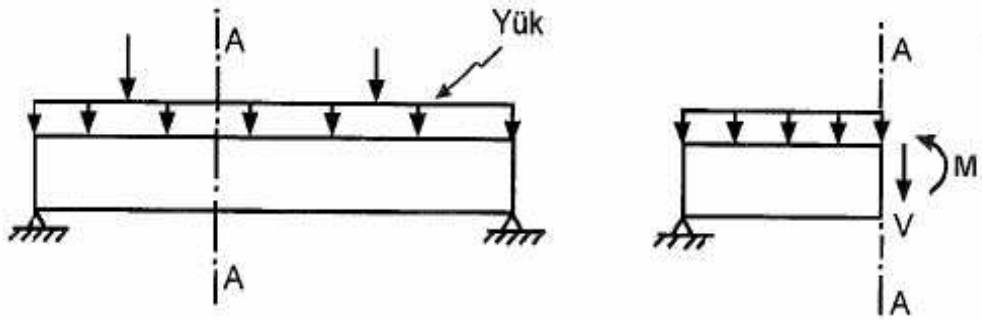
F = Kırılma anında ulaşılan en büyük yük N,

A_c = Numunenin, üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı (mm^2)dır [44].

7.3.4. Sertleşmiş Betonun Çekme ve Eğilme Dayanımı

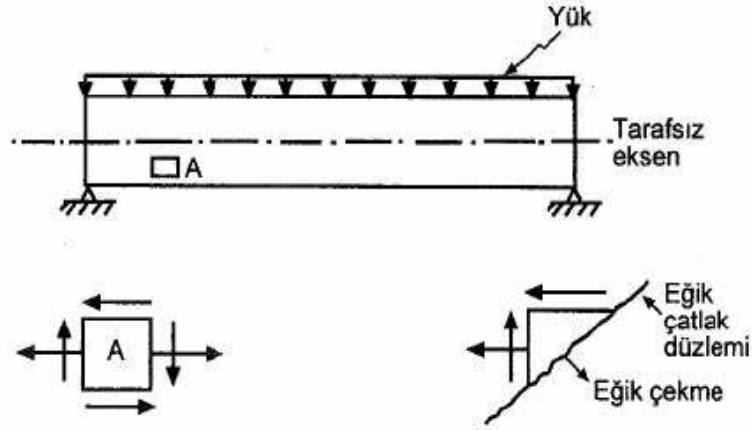
Betonun çekme dayanımı, betonda çekme etkisi yaratacak kuvvetlerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı betonun gösterebileceği direnç olarak tanımlanır. Genellikle yapıda bulunan betona doğrudan çekme kuvveti uygulanmamaktadır. Ancak beton elemanların üzerine gelen basınç ve/veya eğilme kuvvetleri betonun içerisinde dolaylı olarak çekme kuvvetlerinin oluşmasına neden olmaktadır.

Betonda büzülme olması durumunda yer alacak şekil değiştirmelerin agrega taneleri ve betondaki donatı tarafından engellenerek serbestçe yer almaması nedeniyle de betonun içerisinde çekme kuvvetleri oluşmaktadır.



Şekil 7.11 Basit kirişteki kayma kuvveti ve eğilme momenti

Basit bir kirişin üzerindeki eğilme yükleri, Şekil 7.11'den de görülebileceği gibi kiriş kesitinde kesme kuvveti ve eğilme momenti oluşturmaktadır. Eğilme momenti, kirişteki tarafsız eksenin üstünde kalan bölgede basınç gerilmesi, altında kalan bölgede ise çekme gerilmesi meydana getirmektedir.



Şekil 7.12 Basit bir kirişin A elemanının üzerindeki çekme ve eğik çekme kuvvetleri

Şekil 7.12’de gösterildiği gibi tarafsız eksenin altındaki bölgede bulunan küçük bir A elemanının üzerinde hem çekme hem de kayma gerilmeleri bulunmaktadır. Kayma gerilmelerine diyagonal olan düzleme (eğik düzleme) dik olarak eğik çekme kuvveti oluşmaktadır. Eğik çekme kuvveti, eğik düzlem üzerinde ‘eğik çatlak’ olarak adlandırılan çatlakların yer almasına sebep olmaktadır.



Şekil 7.13 Basınç yükü nedeniyle oluşan çekme kuvveti

Şekil 7.13’den de görülebileceği gibi, betonun üzerine basınç yükü uygulanması durumunda da, betonun içerisinde dolaylı olarak çekme kuvvetleri oluşmaktadır.

Betonda oluşan çekme kuvvetleri, betonun çatlamasına ve kırılmasına yol açan en önemli neden olarak kabul edilmektedirler.

Betondaki basınç ve çekme dayanımı birbiriyle yakından ilgilidir. Genel olarak, betonun çekme dayanımı, basınç dayanımının %9-%10’u kadardır. Betonun kalitesine ve yaşına bağlı olarak, bu oran %7 ile %17 arasında değişebilmektedir.

Yapıların tasarım hesaplarında genellikle kullanılmakta olan dayanım türü, betonun basınç dayanımıdır. Ancak, oldukça gevrek bir malzeme olan betonun çekme kuvvetlerine karşı direnme kabiliyeti çok düşük olduğundan, çekme dayanımının değeri betonun içerisindeki çatlakların oluşmasında önemli rol oynamaktadır. Betonarme kirişlerde oluşan eğik çekme

kuvvetleri çok büyük sorun yaratmaktadır. Betonda büyük çatlakların oluşması, kırılmaya neden olmaktadır.

Betonun kırılmasına yol açabilecek kadar büyük çatlakların oluşmadığı durumlarda dahi, karşılaşılabilecek sorunlar ortadan kalkmamaktadır. Çatlakların oluşması ile, betonun içerisine dışardan su veya bu sularla birlikte sülfat, asit, klor gibi maddelerin girebilmesi daha kolay olmaktadır; betonarme elemanlardaki demir donatı korozyon göstermektedir; betonun içerisine giren yabancı maddelerin oluşturduğu kimyasal olaylar betonun büyük hasar görmesine, dayanıklılığın azalmasına yol açmaktadır.

Betonun çekme dayanımının bilinmesi, çatlakların ve yapıyla ilgili analizlerin yapılabilmesi bakımından büyük önem taşımaktadır [7].

Betonun çekme dayanımının tayini için kullanılan üç değişik yöntem vardır. Bunlar, doğrudan çekme dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı tayinidir [42].

7.3.5. Sertleşmiş Betonun Yarmada Çekme Dayanımı

Bu çalışmada betonun yarmada çekme dayanımı tayin edilirken TS EN 12390-6 standardına uyulmuştur. Bu standarda göre silindir şekilli deney numuneleri, uzunluğu boyunca dar bir alana basınç yükü uygulanarak yüklenir. Yükleme doğrultusuna dik doğrultuda oluşan çekme kuvveti sonucunda, numunedeki çekme gerilmesi parçalanmaya yol açar.

Küp veya prizma şekilli numunelere deney uygulanması esnasında, bilinen düz yükleme plakaları yerine eğri (yarım daire kesitli) çelik yükleme parçaları kullanılabilir.

Sıkıştırma şeridi, yoğunluğu 900 kg/m^3 ve genişliği $(a)=(10\pm1) \text{ mm}$, kalınlığı $(t)=(4\pm1) \text{ mm}$ ve uzunluğu, deney numunesine temas boyundan daha fazla olan, sert mukavva'dan yapılmıştır. Sert mukavva sıkıştırma şeridi, bir defa kullanıldıktan sonra atılır, tekrar kullanılmaz.

Deney numunesinin boyut veya şekillerinin, uygun olmaması halinde;

-Düzgün olmayan yüzeyler, aşındırma işlemiyle düzeltilmelidir.

-Açıdan sapma, kesme ve/veya aşındırma işlemiyle düzeltilmelidir.

Sabitlenme cihazı kullanılarak numunenin merkezlemesi sağlanmıyorsa, yük uygulama yerlerini belirlemek üzere, numune boyunca iki çizgi çizilmelidir. Bu çizgiler, eksenel düzlemde, çapın her iki tarafına karşılıklı olarak silindirin yan yüzlerine çizilmeli ve uçları, yükleme yerlerinin belirlenebilmesi için, alt ve üst tabanda birleştirilmelidir.

Sabitlenme cihazı, sıkıştırma şeritleri, yükleme parçaları ve başlıklarının yükleme temas yüzeyleri silinerek temizlenmelidir. Deney numunesinin, sıkıştırma şeritlerinin temas edeceği

yüzeylerindeki herhangi gevşek tane veya diğer fazlalık malzeme alınmalıdır.

Deney numunesi tercihen sabitleme cihazı kullanılarak, makineye tam merkezlenmek suretiyle yerleştirilmelidir. Sıkıştırma şeritleri ve gerekliyse yükleme parçaları, numunenin yükleme düzleminde üst ve alt kısmı boyunca dikkatlice yerleştirilmelidir.

Makinenin alt ve üst yükleme başlıklarının, yükleme esnasında birbirine paralel olması sağlanmalıdır.

Yükleme hızı 0,04 MPa/s (N/mm².s) ile 0,06 MPa/s (N/mm².s) arasında sabit gerilme hızı sağlanacak şekilde ayarlanmalıdır. Yük, sabit hızda arttırılarak, darbe etkisi oluşturulmadan, seçilen yükleme hızının $\pm\%1$ sapma sınırları içerisinde kalması sağlanarak, numune kırılıncaya kadar kesintisiz uygulanmalıdır.

Deney makinesinde uygulanması gerekli yükleme hızı, aşağıda verilen eşitlikle bulunur:

$$R = \frac{s \times \pi}{2 \times L \times d}$$

Burada,

R = Gerekli yükleme hızı, N/s

L = Numune boyu, mm

d = Numunenin seçilmiş enkesit boyutu, mm

s = Gerilme artış hızı Mpa/s (N/mm²/s) dır.

Deneyde, elle kontrol edilen deney makinesinin kullanılması halinde, numunede kırılma yüküne yaklaşıldığında yükleme hızı düşme eğilim gösterir. Bu nedenle hız sürekli kontrol edilerek ayarlanmalıdır. Deneyde, otomatik kontrollü deney makinesi kullanılması halinde, yükleme hızının sürekli sabit kalıp, kalmadığı periyodik olarak kontrol edilmelidir.

Yük göstergesinde ulaşılan en büyük yük kaydedilir.

Deneyden sonra, kırılmış numune muayene edilmeli ve beton görünümünde herhangi bir anormallik belirlenmişse bu durum kaydedilmelidir.

Yarmada çekme dayanımı, aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$f_{ct} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times d}$$

Burada,

f_{ct} = Yarmada çekme dayanımı, Mpa(N/mm²)

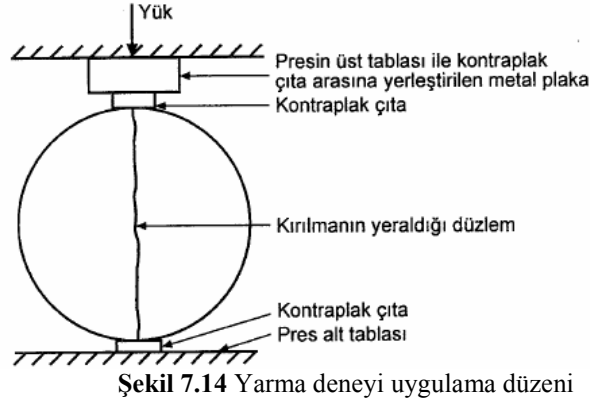
F = En büyük yük, N

L = Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu, mm

d = Numunenin seçilen en kesit boyutu, (mm) dur.

Deneyde kullanılan numune boyutlarının, standart deney metodunda öngörülen

boyutlardan sapma göstermesi halinde, dayanım hesaplanmasında, deney numunesinin, ölçülen gerçek boyutları esas alınabilir[45].

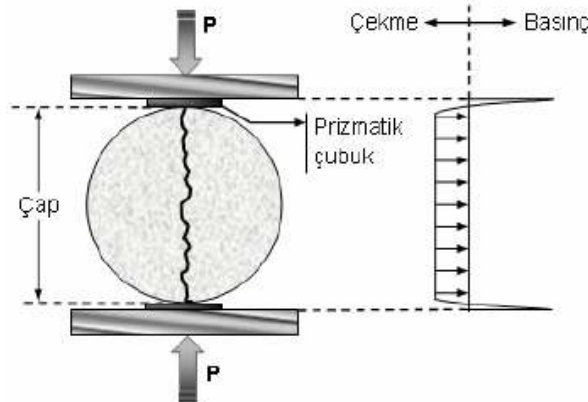


Şekil 7.14 Yarma deneyi uygulama düzeni

Bu deneyde, yatay olarak presin tablaları arasına yerleştirilen, basınç deneylerinde de kullanılan, silindirik beton örneklerinin altına ve üstüne yerleştirilen plakalara dik yönde basınç yüklemesi uygulanarak gerçekleştirilmektedir.

Yükün arttırılmasıyla, dolaylı olarak çekme gerilmeleri oluşur ve örnek eksenı boyunca yarılarak geçer.

Elastisite teorisine göre, şekil 7.15’de gösterildiği biçimde yüklenen bir silindirin yük eksenı doğrultusundaki düzleminde, birbirine dik asal çekme ve basınç gerilmeleri oluşur. Yükün uygulandığı yerlerde oluşan yerel basınç gerilmeleri, bu noktalardan uzaklaştıkça çekme gerilmelerine dönüşmekte ve bu çekme gerilmeleri çap boyunca sabit kalmaktadır, kesitin orta bölgesinde oldukça üniform dağılımlı çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Burada uygulanan gerilme iki yönlü olduğundan asıl çekme dayanımından daha büyük değerler elde edilir. Yarma deneyi süresince, deney aletinin (presin) yükleme tablalarının silindirik örneğe göre dikey bir düzlemde tutulması sağlanmalıdır [46].



Şekil 7.15 Yarma deneyinde yük eksenı doğrultusunda oluşan gerilmeler

7.3.6. Sertleşmiş Betonun Eğilme Dayanımı

Betonun eğilme özelliği tespit edilecek olan basit kirişin yük altında eğilmeye karşı göstereceği davranışların gözlenmesi ve hesaplanmasıdır. Kirişlerin eğilme dayanımları yükleme durumlarına göre iki şekilde yapılır. Deneyin yapılmasında TS EN 12390-5 veya ASTM C 78 esas alınmalıdır. Üçte bir noktasından ve orta noktasından yükleme durumudur.

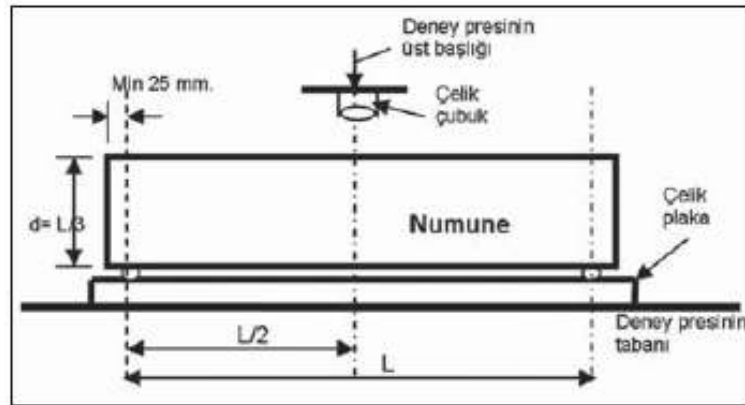
Bu çalışmada betonun eğilme dayanımını elde edebilmek için TS EN 12390-5'e göre orta noktasından yüklenmiş basit kiriş metodu kullanılmıştır.

Bu standarda göre bütün silindirler, çelikten imal edilmiş olmalı ve çapları 20 mm ila 40 mm arasında olmalıdır. Silindirlerin uzunlukları, deney numunesi genişliğinden 10 mm daha fazla olmalıdır [47].

Yükleme tablasındaki mesnet silindirleri, deney uygulanacak numunenin boyuna uygun gelen yataklara oturtulur. Beton deney numunesi, yükleme tablası üzerindeki mesnetlere uygun olarak yerleştirilir.

Numunenin kalıp içinde iken üste gelen yüzünün, deney sırasında uygulanacak yüklemenin yönüne paralel olarak konmuş olmasına dikkat edilmelidir. Numunenin yatay olması sağlanmalı, yükleme yönü numunenin yükleme uygulanan yüzeyine dik olmalıdır.

Yükleme, kırılma yaratacak yük değerinin yarısına kadar hızlı olarak yapılabilir. Deney numunesi kırıldıktan sonra, kırılma kesitinin genişliği ve yüksekliği kenarlarda ve ortada 1 mm duyarlılıkla yapılan üç ölçümün aritmetik ortalaması olarak bulunur.



Şekil 7.16 Kirişin orta noktasından yüklenmesi durumu

Orta noktasından yüklenmiş basit kiriş metodu ile yapılan eğilmede çekme dayanımı aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$f_{cf} = \frac{3Fl}{2d_1d_2^2}$$

Burada,

f_{cf} = Eğilmede çekme dayanımı, (N/mm²)

F = Deney makinesinde kırılma anındaki en büyük yük, (N)

l = Yükleme tablası mesnet silindirleri arasındaki (serbest) açıklık, (mm)

d_1 = Kırılma kesitinin ortalama genişliği, (mm)

d_2 = Kırılma kesitinin ortalama yüksekliği, (mm) dir.

Yük uygulaması, yükleme hızı aşağıda verilen eşitlik yardımı ile hesaplanır:

$$R = \frac{2 \times s \times d_1 \times d_2^2}{3 \times l}$$

Burada ,

R = Gerekli yükleme hızı, (N/s)

s = Gerilme artış hızı, Mpa/s (N/mm²/s)

d_1, d_2 = Numunenin enkesit boyutları, (mm)

l = Mesnet silindirleri arasındaki açıklık, (mm) dir.

Yapılan araştırmalarda iki noktadan yüklenen kiriş orta noktadan yüklenen kirişe göre %13 daha az değer vermiştir [42].

8. BULGULAR ve TARTIŞMA

8.1. Basınç Dayanımı

Oda sıcaklığında hazırlanan beton numuneler, 28 gün süreyle kür ortamında bekletildikten sonra, 28. günün sonunda 20 °C'deki laboratuvar ortamında 24 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır. Bu beton numuneler -30, -20, -10, 0, 10, 20, 30, 40 ve 50 °C sıcaklıklarda 24 saat bekletildikten sonra 6.8 kN/sn yükleme hızında, hidrolik yük kontrollü preste kırılarak basınç dayanımları elde edilmiştir.

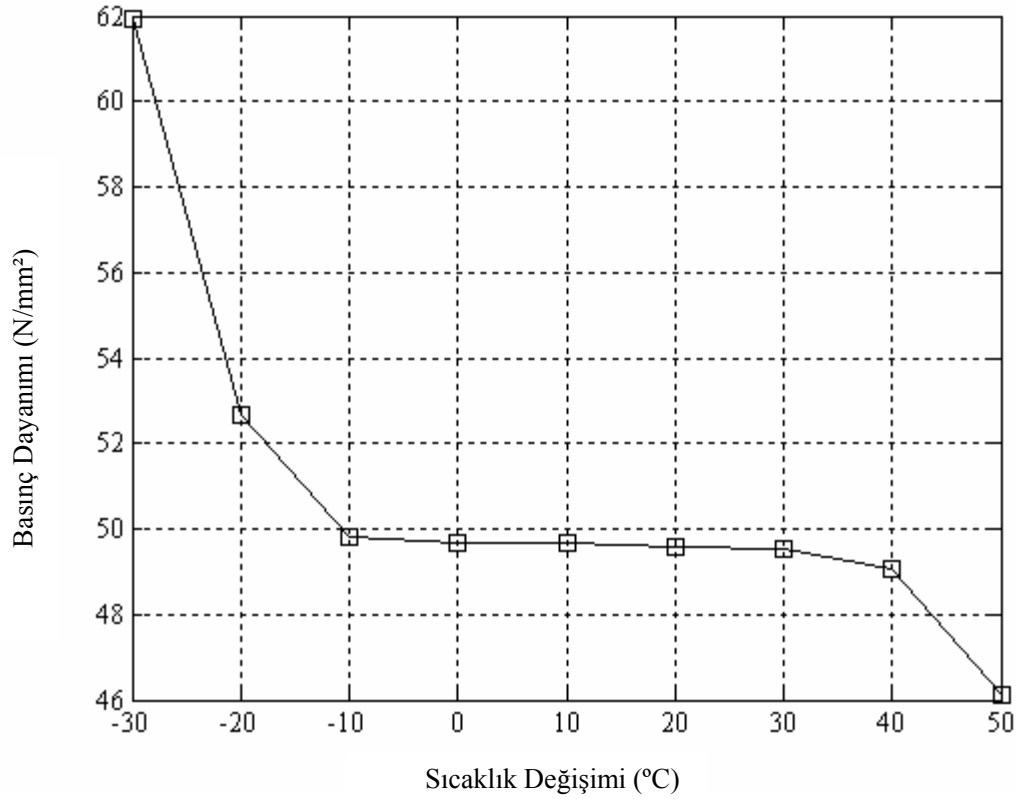
Beton numunelerin basınç dayanımı deney sonuçları Tablo 8.1 ve Şekil 8.2'de verilmektedir.



Şekil 8.1 Basınç dayanım deney düzeneği

Tablo 8.1 Beton numunelerin basınç dayanımı değerleri

Numune Sıcaklığı	Mak. Yük (KN)			Basınç Dayanımı (N/mm ²)			Ortalama Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Artma Azalma Oranı (%)
	1	2	3	1	2	3		
-30 °C	1360	1425	1394	60,47	63,32	61,95	61,913	+24,82
-20 °C	1165	1261	1130	51,76	56,06	50,24	52,686	+6,22
-10 °C	1071	1144	1146	47,6	50,86	50,92	49,793	+0,39
0 °C	1169	1061	1124	51,95	47,16	49,94	49,683	+0,17
10 °C	1074	1130	1148	47,72	50,24	51,03	49,663	+0,13
20 °C	1137	1107	1104	50,53	49,21	49,06	49,600	-
30 °C	1129	1100	1114	50,18	48,89	49,5	49,523	-0,16
40 °C	1119	1122	1070	49,73	49,85	47,56	49,046	-1,12
50 °C	1088	1019	1006	48,37	45,27	44,73	46,123	-7,01

**Şekil 8.2** Beton numunelerin basınç dayanımı grafiği

Tablo 8.1 ve Şekil 8.2’de görüldüğü gibi betonun bulunduğu ortam sıcaklığı azaldıkça basınç dayanımının daha yüksek değerler aldığı gözlenmiştir. Negatif sıcaklık değerlerinden pozitif sıcaklık değerlerine doğru gidildikçe basınç dayanım değerleri azalmıştır. -30 °C’de

bekletilen betonların basınç dayanımları oda sıcaklığında bekletilen betonların basınç dayanımlarına göre %24,82 daha fazla değerler alırken, 50 °C’de bekletilen betonlar ise oda sıcaklığında bekletilen betonlara göre %7 daha az değerler almıştır. Ayrıca en yüksek basınç dayanımı göstermesine rağmen Şekil 8.3’de gösterildiği gibi numune kırılırken en fazla dağılma -30 °C’ de bekletilen betonda olmuştur. Betonun dayanımında artış gözlemlenmesine rağmen beton daha gevrek bir malzeme haline gelerek deney sonrasında numuneler daha fazla dağılma göstermişlerdir.



Şekil 8.3 -30 °C’de bekletilen küp numunelerin kırılmadan sonraki durumu



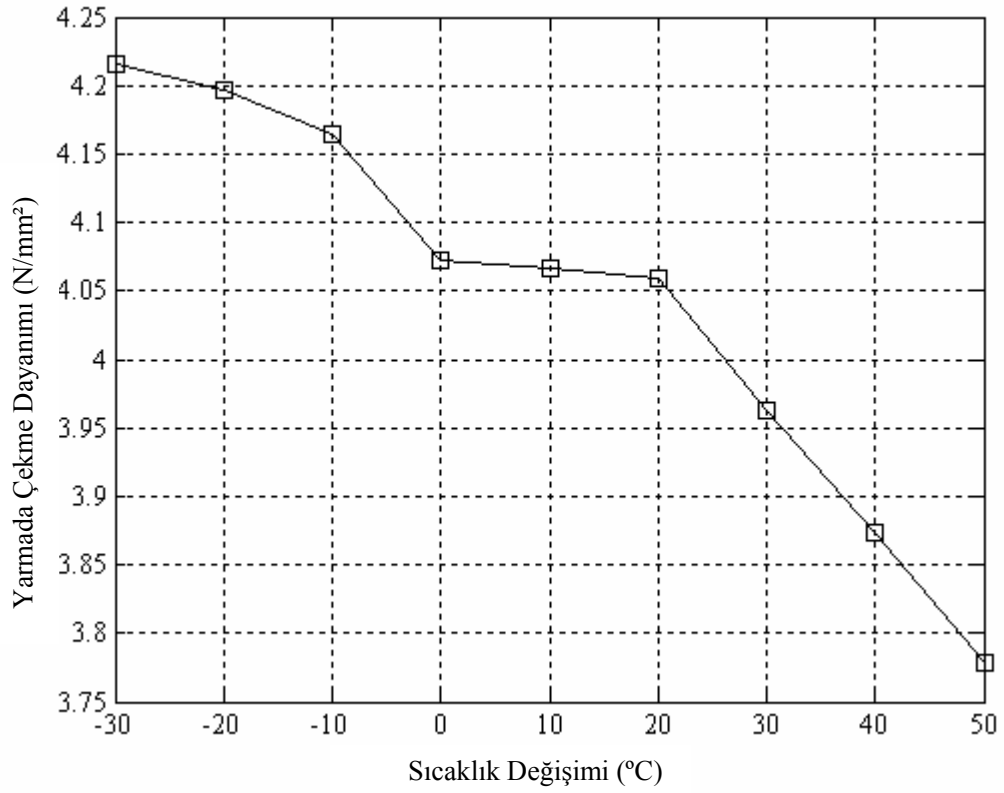
Şekil 8.4 50 °C’de bekletilen küp numunelerin kırılmadan sonraki durumu

8.2. Yarmada Çekme Dayanımı

Hazırlanan silindir numuneler -30, -20, -10, 0, 10, 20, 30, 40 ve 50 °C sıcaklıklarda 24 saat bekletildikten sonra 0,94 kN/sn hızla kırılarak yarmada çekme dayanımları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 8.2 ve Şekil 8.5’de verilmiştir.

Tablo 8.2 Silindir numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri

Numune Sıcaklığı	Mak. Yük (KN)			Yarmada Çekme Dayanımı (N/mm ²)			Ortalama Yarmada Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Artma Azalma Oranı (%)
	1	2	3	1	2	3		
-30 °C	128,1	136,8	132,5	4,077	4,356	4,217	4,216	+3,87
-20 °C	134,0	125,2	136,3	4,265	3,985	4,338	4,196	+3,38
-10 °C	127,9	132	132,6	4,072	4,202	4,221	4,165	+2,61
0 °C	128,3	130,5	125,0	4,084	4,154	3,978	4,072	+0,32
10 °C	124,9	131,8	126,6	3,975	4,196	4,031	4,067	+0,20
20 °C	153,6	105,3	123,7	4,890	3,350	3,937	4,059	-
30 °C	112,8	137,9	122,8	3,591	4,390	3,908	3,963	-2,37
40 °C	138,4	104,3	122,5	4,406	3,320	3,898	3,874	-4,56
50 °C	139,1	109,5	107,6	4,427	3,484	3,424	3,778	-6,92

**Şekil 8.5** Silindir numunelerin yarmada çekme dayanımı grafiği

Betonun bulunduğu ortam sıcaklığı azaldıkça yarmada çekme dayanımları daha yüksek değerler almıştır. En yüksek yarmada çekme dayanımı değeri $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de bekletilen betonda, en düşük yarmada çekme dayanımı değeri ise $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de bekletilen betonda görülmüştür. $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de bekletilen betonların çekme dayanımları oda sıcaklığında bekletilen betonlara göre %3,87 daha fazla değerler alırken, $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de bekletilen betonlar ise oda sıcaklığında bekletilen betonlara göre %6,92 daha az değerler almıştır. Bu deneyde silindir beton numunenin yarılma yüzeyi gerilim altındadır. Buna bağlı olarak beton numunenin yarmada çekme dayanımını etkileyen en önemli faktör agrega ve çimento hamuru arasındaki aderanstır. Agrega ve çimento hamurunun ısı genleşmeleri arasındaki farktan kaynaklanan aderans bozulması, sıcaklığın artmasıyla betonun çekme dayanımında ortaya çıkan azalmanın nedeni olarak kabul edilir. $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de bekletildikten sonra deneye tabi tutulan numunenin kırılmadan sonra iç yüzeyi incelendiğinde agregaların yerlerinden çıktığı gözlenmiştir. Bu da agregayla çimento hamuru arasındaki aderans gücünün azaldığını göstermiştir.



Şekil 8.6 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de bekletilen silindir numunelerin kırılmadan sonraki durumu



Şekil 8.7 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de bekletilen silindir numunelerin kırılmadan sonra iç yüzeyleri

8.3. Eğilme Dayanımı

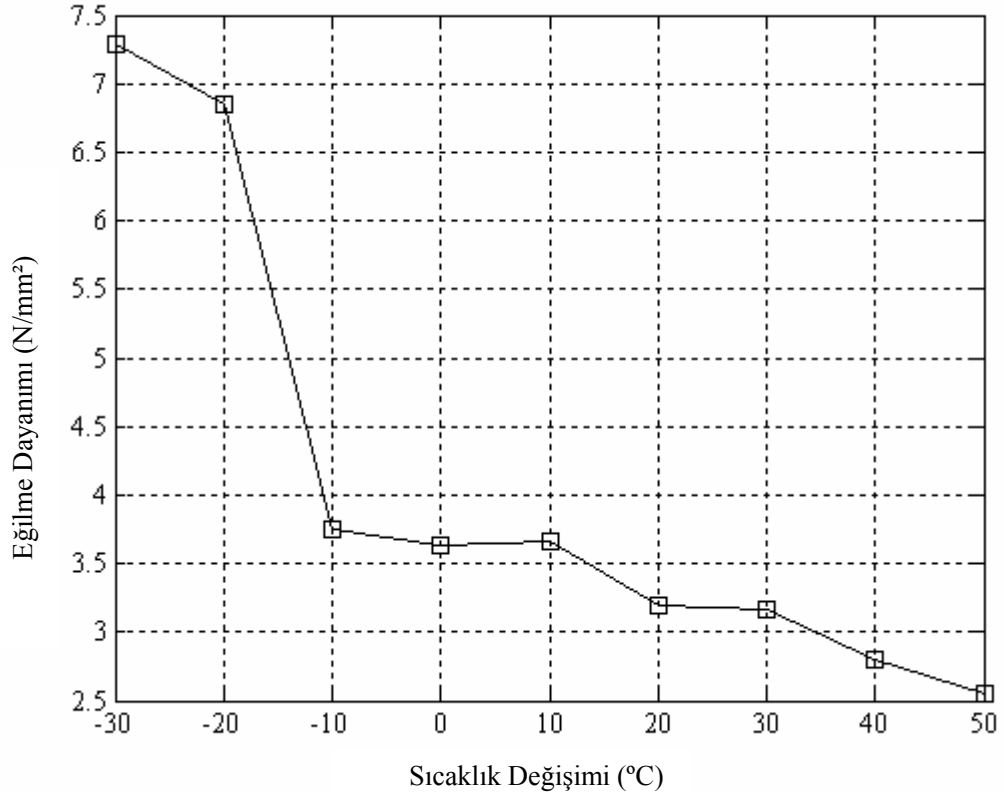
Eğilme numuneleri -30, -20, -10, 0, 10, 20, 30, 40 ve 50 °C sıcaklıklarda 24 saat bekletildikten sonra 0,2 kN/sn hızla kırılarak, eğilme dayanımları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 8.3 ve Şekil 8.9’da verilmiştir.



Şekil 8.8 Eğilme dayanımı deney düzeneği

Tablo 8.3 Beton numunelerin eğilme dayanımı değerleri

Numune Sıcaklığı	Mak. Yük (KN)			Eğilme Dayanımı (N/mm ²)			Ortalama Eğilme Day. (N/mm ²)	Artma Azalma Oranı (%)
	1	2	3	1	2	3		
-30 °C	23,26	22,82	26,85	6,978	6,845	8,056	7,293	+128,69
-20 °C	21,05	24,33	23,13	6,314	7,298	6,938	6,85	+114,80
-10 °C	12,88	12,32	12,34	3,864	3,697	3,703	3,754	+17,72
0 °C	12,2	11,79	12,39	3,659	3,538	3,718	3,638	+14,08
10 °C	11,55	11,91	13,24	3,465	3,572	3,972	3,669	+15,05
20 °C	10,12	10,62	11,14	3,037	3,187	3,343	3,189	-
30 °C	10,8	10,13	10,98	3,24	3,039	3,204	3,161	-0,88
40 °C	9,74	9,08	9,18	2,938	2,725	2,755	2,806	-12,01
50 °C	9,82	8,26	9,74	2,247	2,478	2,923	2,549	-20,07



Şekil 8.9 Beton numunelerin eğilme dayanımı grafiği

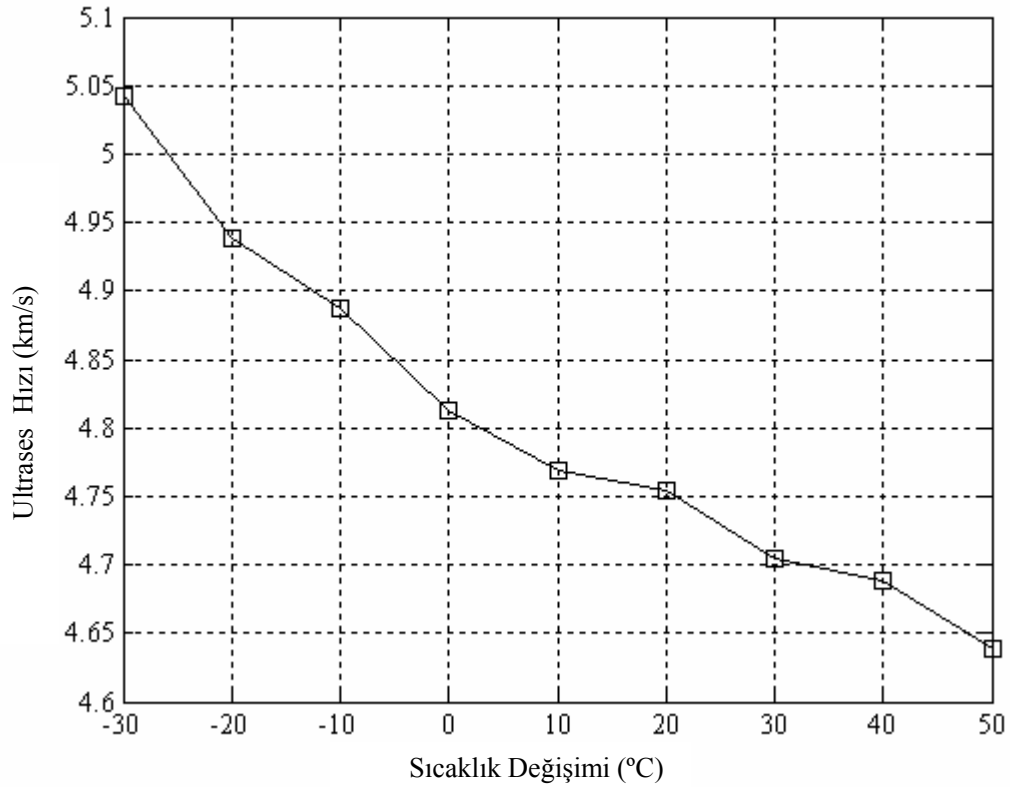
Tablo 8.3 ve Şekil 8.9’da görüldüğü gibi beton numuneler, bu çalışmada kullanılan sıcaklık değerleri arasında en yüksek eğilme dayanımı değerini $7,293 \text{ N/mm}^2$ ile -30°C ’de, en düşük eğilme dayanımı değerini ise $2,549 \text{ N/mm}^2$ ile 50°C ’de almıştır. -30°C ’de bekletilen betonun eğilme dayanımının oda sıcaklığında bekletilen betonlara göre %128,69 daha fazla değerler gösterirken, 50°C ’de bekletilen betonlarda ise oda sıcaklığında bekletilen betonlara göre %20 daha az değerler görülmüştür. Betonun eğilme dayanımının ortam sıcaklığının negatif sıcaklık değerlerinden pozitif sıcaklık değerlerine doğru artmasıyla daha düşük değerler aldığı gözlenmiştir.

8.4. Ultrasonik Ses Hızı Ölçümleri

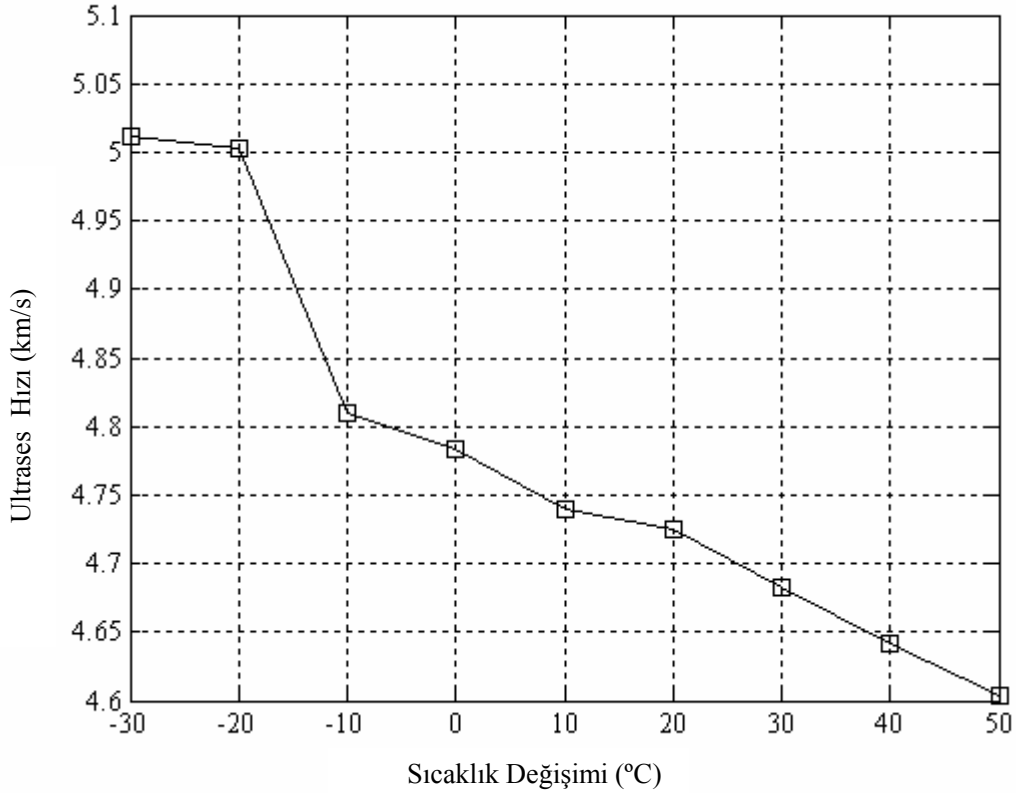
Hasarsız deney yöntemlerinden biri olan ultrasonik ses hızı ölçümü bu çalışma kapsamında yapılmıştır. Beton numunelerin ultrases geçiş hızlarında meydana gelen değişimler Tablo 8.4 ve Şekil 8.10, 8.11’de verilmektedir.

Tablo 8.4. Beton numunelerinin ultrases hızı geçiş süreleri

Numune Sıcaklığı	Ultra Ses Hızı (km/s)			
	Küp Numuneler	Artma Azalma Oranı (%)	Prizmatik Numuneler	Artma Azalma Oranı (%)
-30 °C	5,042	+6,06	5,011	+6,05
-20 °C	4,939	+3,89	5,003	+5,88
-10 °C	4,888	+2,82	4,810	+1,80
0 °C	4,812	+1,22	4,784	+1,25
10 °C	4,769	+0,32	4,739	+0,30
20 °C	4,754	-	4,725	-
30 °C	4,705	-1,03	4,683	-0,89
40 °C	4,689	-1,37	4,642	-1,76
50 °C	4,639	-2,42	4,604	-2,56



Şekil 8.10 Küp numunelerin ultrases hızı geçiş süreleri



Şekil 8.11 Prizmatik numunelerinin ultrases hızı geçiş süreleri

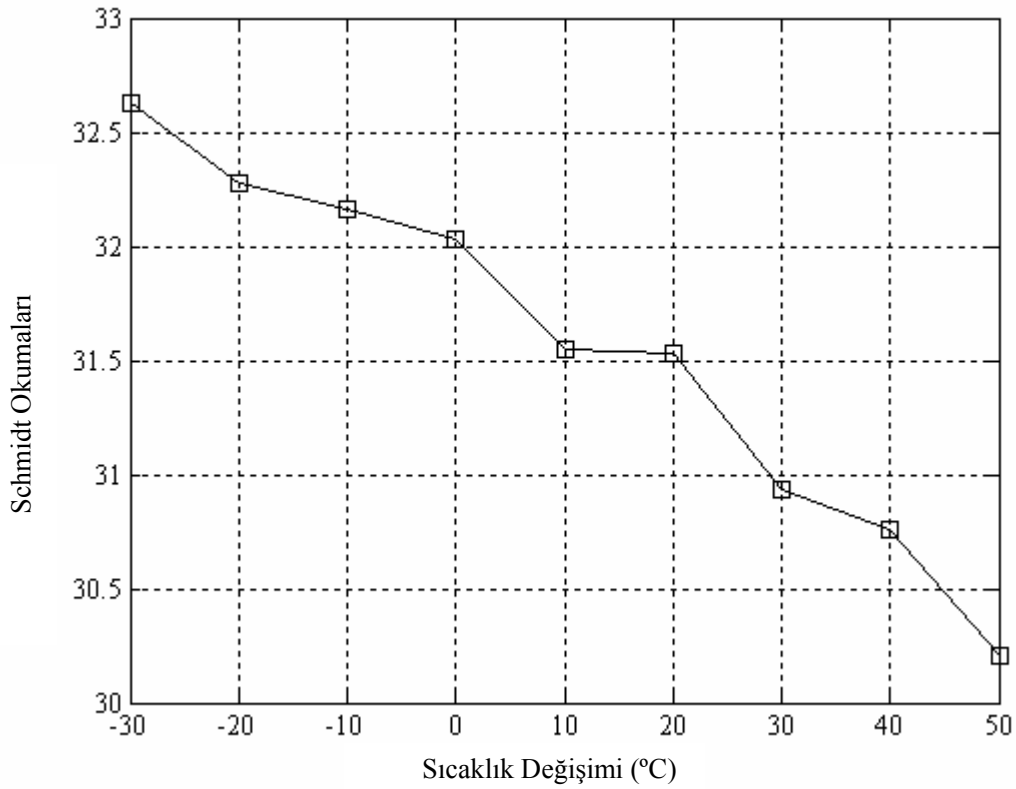
Tablo 8.4 ile Şekil 8.10 ve Şekil 8.11’de görüldüğü gibi -30 °C’de bekletilen küp ve prizmatik numunelerin her ikisinin de ultrases geçiş hızlarının oda sıcaklığında bekletilen betonlara göre %6 daha fazla değerler gösterirken, 50 °C’de bekletilen betonlarda ise sırasıyla oda sıcaklığında bekletilen betonlara göre %2,4 ve %2,5 daha az değerler aldığı görülmüştür. Düşük sıcaklıklarda bekletilen küp ve prizmatik betonların ultrases hızlarının, diğer sıcaklıklarda bekletilen numunelerin ultrases hızı değerlerine göre yüksek değerler aldığı görülmüştür. Beton içerisindeki suyun donarak, boşlukların azalmasıyla ultrases geçiş süreleri azalacağından, ultrases geçiş hızları artmıştır.

8.5. Yüzey Sertliği Ölçümleri

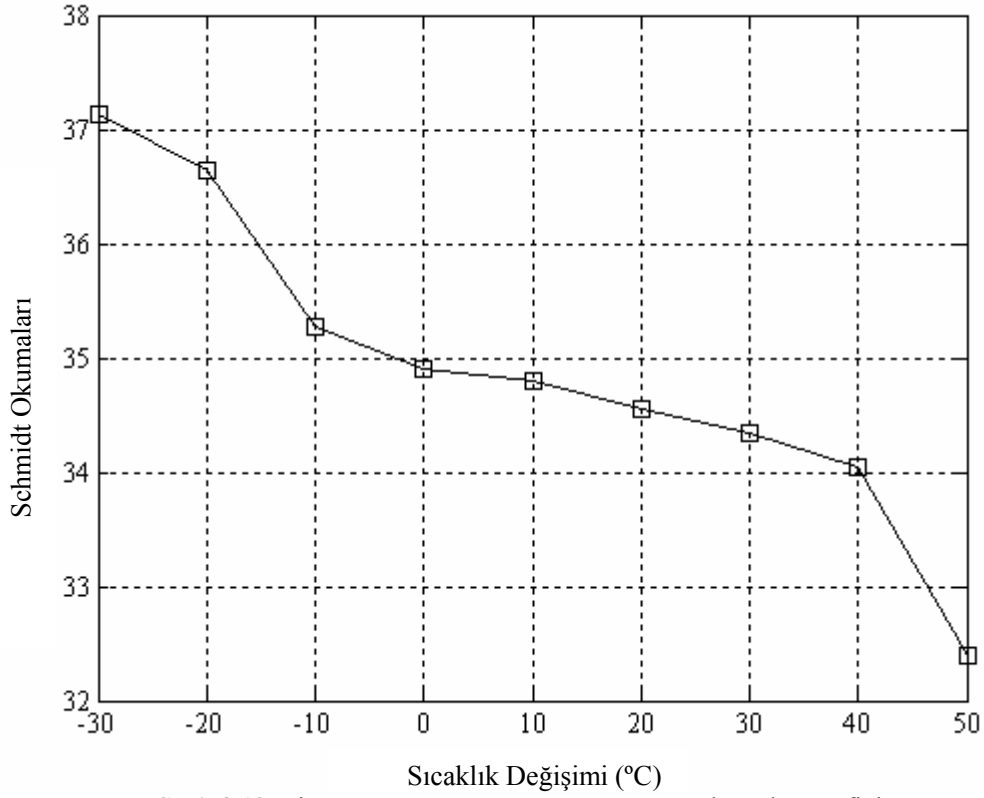
Yüzey sertliği okuması, $\alpha = -90^\circ$ açısı ile beton yüzeyleri kuru iken yapılmıştır. Betonların yüzey sertliği ölçümüne ait sonuçlar Tablo 8.5 ile Şekil 8.12 ve 8.13’de verilmektedir.

Tablo 8.5 Beton numunelerinin yüzey sertliği ölçümü okumaları

Numune Sıcaklığı	Schmidt Okumaları			
	Küp Numuneler	Artma Azalma Oranı (%)	Prizmatik Numuneler	Artma Azalma Oranı (%)
-30 °C	32,63	+3,49	37,14	+7,47
-20 °C	32,28	+2,38	36,64	+6,02
-10 °C	32,16	+2,00	35,28	+2,08
0 °C	32,03	+1,59	34,90	+0,98
10 °C	31,55	+0,06	34,79	+0,67
20 °C	31,53	-	34,56	-
30 °C	30,93	-1,90	34,35	-0,61
40 °C	30,76	-2,44	34,04	-1,50
50 °C	30,21	-4,19	32,40	-6,25



Şekil 8.12 Küp numunelerinin yüzey sertliği okumaları grafiği



Şekil 8.13 Prizmatik numunelerinin yüzey sertliği okumaları grafiği

Tablo 8.5 ile Şekil 8.12 ve 8.13'den görüldüğü gibi -30 °C'de bekletilen küp ve prizmatik numunelerin yüzey sertliği okumalarının oda sıcaklığında bekletilen betonlara göre sırasıyla %3,5 ile %7,5 daha fazla değerler gösterirken, 50 °C'de bekletilen betonlarda ise oda sıcaklığında bekletilen betonlara göre yine sırasıyla %4,2 ile %6,2 daha az değerler görülmüştür. Basınç dayanımı grafiği ile yüzey sertliği okumaları grafiği arasındaki eğrinin benzerlik gösterdiği görülmüştür.

9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında ortam sıcaklığının betonun dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Oda sıcaklığında hazırlanan beton numuneler, 28 gün süreyle kür ortamında bekletildikten sonra, 28. günün sonunda 20 °C'deki laboratuvar ortamında 24 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra beton numuneler -30, -20, -10, 0, 10, 20, 30, 40 ve 50 °C sıcaklıklarda 24 saat bekletilmiştir. Değişik sıcaklıklara maruz bırakılmış beton numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı, eğilme dayanımı, yarmada çekme dayanımı, ultrases geçiş hızı ve yüzey sertliği ölçüm deneyleri sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda değerlendirilmiştir.

Oda sıcaklığında hazırlanan taze beton numuneler üzerinde sırası ile işlenebilme özelliğindeki değişimi belirlemek amacıyla çökme ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda çökme miktarı 80 mm, birim ağırlığı 2454 kg/m³ olarak elde edilmiştir.

Betonun bulunduğu ortam sıcaklığı azaldıkça basınç dayanımının daha yüksek değerler aldığı gözlenmiştir. Negatif sıcaklık değerlerinden pozitif sıcaklık değerlerine doğru gidildikçe basınç dayanım değerleri azalmıştır. -30 °C'de bekletilen betonların basınç dayanımları oda sıcaklığında bekletilen betonların basınç dayanımlarına göre %24,82 daha fazla değerler alırken, 50 °C'de bekletilen betonlar ise oda sıcaklığında bekletilen betonlara göre %7 daha az değerler almıştır. Beton içerisindeki çeşitli boyutlardaki gözeneklerde bulunan suyun dış ortam sıcaklığının düşerek donması ile oluşan buzun oluşum sıcaklığına göre içyapıdaki içsel gerilmeler betonun dayanımı üzerine artırıcı etki yaptığı söylenebilir. Daha düşük sıcaklıklarda betonun dayanımında artış gözlemlenmesine rağmen beton daha gevrek bir malzeme haline gelerek deney sonrasında numuneler daha fazla dağılma göstermişlerdir.

Değişik sıcaklıklar uygulandığı zaman, beton basınç dayanımlarının bu sıcaklıklardan büyük ölçüde etkilendiği görülmektedir. Çimento pastası ısıtıldığı zaman öncelikle normal genleşme niteliğinde bir genleşme gösterir ancak bu arada hidratlarda içerdikleri suyu kaybederek yapıda büzülme meydana gelmesine sebep olurlar. Bu şekilde birbirine zıt etkileşim betonda gerilim meydana getirir. Beton içerisinde bulunan hidrate çimento taneciklerinin ısı etkisiyle dehidrate olması sonucunda betonun dayanımı düşer.

Betonun bulunduğu ortam sıcaklığı azaldıkça yarmada çekme dayanımları daha yüksek değerler almıştır. -30 °C'de bekletilen betonların çekme dayanımları oda sıcaklığında bekletilen betonlara göre %3,87 daha fazla değerler alırken, 50 °C'de bekletilen betonlar ise oda sıcaklığında bekletilen betonlara göre %6,92 daha az değerler almıştır. Betonun yarmada çekme dayanımını etkileyen en önemli faktör agrega ve çimento hamuru arasındaki aderanstır. Agrega

ve çimento hamurunun ısı genleşmeleri arasındaki farktan kaynaklanan aderans bozulması, sıcaklığın artmasıyla betonun çekme dayanımında ortaya çıkan azalmanın nedeni olarak kabul edilir.

Beton numuneler, bu çalışmada kullanılan sıcaklık değerleri arasında en yüksek eğilme dayanımı değerini $7,293 \text{ N/mm}^2$ ile -30°C 'de, en düşük eğilme dayanımı değerini ise $2,549 \text{ N/mm}^2$ ile 50°C 'de almıştır. -30°C 'de bekletilen betonun eğilme dayanımının oda sıcaklığında bekletilen betonlara göre %128,69 daha fazla değerler gösterirken, 50°C 'de bekletilen betonlarda ise oda sıcaklığında bekletilen betonlara göre %20 daha az değerler görülmüştür. Betonun eğilme dayanımının ortam sıcaklığının negatif sıcaklık değerlerinden pozitif sıcaklık değerlerine doğru artmasıyla daha düşük değerler almıştır.

Bu çalışmada yapılan bütün deneylerde en yüksek dayanım değerleri -30°C 'de, en düşük dayanım değerleri ise 50°C 'de bekletilen betonlarda görülmüştür. Bu da betonun dayanımının ortam sıcaklığına bağlı olarak önemli oranda etkilendiğini göstermektedir.

Düşük sıcaklıklarda bekletilen küp ve prizmatik betonların ultrases hızlarının, diğer sıcaklıklarda bekletilen numunelerin ultrases hızı değerlerine göre yüksek değerler aldığı görülmüştür. -30°C 'de bekletilen küp ve prizmatik numunelerin her ikisinin de ultrases geçiş hızlarının oda sıcaklığında bekletilen betonlara göre %6 daha fazla değerler gösterirken, 50°C 'de bekletilen betonlarda ise sırasıyla oda sıcaklığında bekletilen betonlara göre %2,4 ve %2,5 daha az değerler aldığı görülmüştür. Beton içerisindeki suyun donarak, boşlukların azalmasıyla ultrases geçiş süreleri azalacağından, ultrases geçiş hızları artmıştır. Bu da basınç dayanımı ile ultrases hızı arasında birebir ilişkinin olduğunu doğrulamaktadır.

Küp ve prizmatik betonların sıçrama sayıları okumaları düşük sıcaklıklarda bekletilen betonlarda diğer sıcaklıklarda bekletilen betonlara göre daha fazla değerler almıştır. -30°C 'de bekletilen küp ve prizmatik numunelerin yüzey sertliği okumalarının oda sıcaklığında bekletilen betonlara göre sırasıyla %3,5 ile %7,5 daha fazla değerler gösterirken, 50°C 'de bekletilen betonlarda ise oda sıcaklığında bekletilen betonlara göre yine sırasıyla %4,2 ile %6,2 daha az değerler görülmüştür.

Bu tez çalışmasında, -30°C ile $+50^\circ\text{C}$ arasında olan ısılarda 24 saat süresince bekletilen beton numunelerdeki ısı değişimlerine bağlı mekanik özellikler incelenmiştir. Ülkemiz iklim koşulları dikkate alınıp, daha uzun süreli sıcaklık değişimlerine maruz bırakılarak yapılacak çalışmalarda betonun bu ısı etkilerine karşı davranışının incelenmesi önerilir.

KAYNAKLAR

1. Özkul H., Taşdemir M.A., Tokyay M., Uyan M., Her Yönüyle Beton, Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, İstanbul, 1999.
2. <http://www.arkitera.com>, İnternette 15.06.2006 tarihinde indirildi.
3. Abdel-Fattah H., Hamoush S.A., Variation Of The Fracture Toughness Of Concrete With Temperature. Construction and Building Materials, 1997;11(2):105-108.
4. Maturana P., Planas, J., Elices, M., Evolution of fracture behaviour of saturated concrete in the low temperature range. Engineering Fracture Mechanics, 1990;35: 827- 834.
5. <http://www.aof.edu.tr/kitap/IOLTP/2291/unite03.pdf>, İnternette 21.08.2006 tarihinde indirildi.
6. Engin Y., Sıcak Havada Beton Dökümü, Hazır Beton Dergisi, 76.Sayı, 2006.
7. Erdoğan, Y. T., Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yay. ve İletişim A.Ş., Ankara, 2003.
8. Çimento-Beton Teknik Notlar, Çimento ve Beton Dünyası Dergisi, 17.Sayı, Şubat 1999.
9. www.thbb.org/download.php?f=documents/25.pdf, Sıcak Havada Beton, İnternette 03.07.2007 tarihinde indirildi.
10. www.thbb.org/download.php?f=documents/24.pdf, Soğuk Havada Beton, İnternette 03.07.2007 tarihinde indirildi.
11. http://hun.pamukkale.edu.tr/ders_notlari/yapi_malzemesi/Yapi_Malzemesi_8_perdahlama_betonun_bakimi-olumsuz_iklim_kosullari.pdf, İnternette 14.07.2007 tarihinde indirildi.
12. Ekinci C.E.,Yapı ve Tasarımcının İnşaat El Kitabı- Bordo Kitap, Üniversite Kitabevi, 2005.
13. Kılınçkale F.M., Girginkardeşler S.,Betonun Dayanıklılığını Etkileyen Etkenler, Hazır Beton Dergisi, 77.Sayı, 2006.
14. http://www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapi_malzemesi/beton/5.HTM, İnternette 10.05.2006 tarihinde indirildi.
15. Abdel-Fattah H., Hamoush S.A., Variation Of The Fracture Toughness Of Concrete With Temperature. Construction and Building Materials, 1997; 11(2):105-108.
16. Baker G., The Effect Of Exposure To Elevated Temperatures On The Fracture Energy Of Plain Concrete. RILEM Materials and. Structures, 1996;29: 383- 388.
17. Kim K.W., El Hussein M., Variation Of Fracture Toughness Of Asphalt Concrete Under Low Temperatures. Construction and Building Materials, 1997; 11(7): 403-411.
18. Pigeon M., Cantin R., Flexural Properties Of Steel Fiber-reinforced Concretes at Low Temperatures. Cement and Concrete Composites, 1998; 20: 365- 375.

19. Thienel C.H., Rastasy K., Strength of Concrete Subjected to High Temperature and Biaxial Stres: Experiments And Modelling. *Materials and Structures*, 1995;28(184): 575- 585.
20. Jacobsen S., Sellevold J.F., Matala S., Frost Durability of High Strength Concrete: Effect of Internal Cracking on Ice Formation. *Cement and Concrete Research*, 1996; 26(6):919- 931.
21. Strak V.J., Ludwing H.M., The Role of Phase Conversions in the Hardened Cement Paste When Attacked By Freze-Thaw with De-icing Salt. *ZKG İnternational*, 1996;11: 648- 663.
22. Janotka I., Bagel L., Pore Structures, Permeabilites and Compressive Strengths of Concrete at Temperatures up to 800°C. *ACI Materials Journal*, 2002;99(2):196-200.
23. Sun W., Zhang Y.M., Yan H.D., Mu R., Damage and Damage Resistance of High Strength Concrete Under The Action of Load Freeze-Thaw Cycles. *Cement and Concrete Research*, 1999;29(9):1519- 1523.
24. Salem, R., Burdette E., Jackson M., Resistance to Freezing and Thawing of Recycled Aggregate Concrete. *ACI Materials Journal*, 2003;100(3):216- 221.
25. Prado P.J., Balcom B.J., Beyea S.D., Bremner T.W., Armstrong R.L., Grattan-Bellew P.E., Concrete Freeze-Thaw as Studied By Magnetic Resonance İmaging. *Cement and Concrete Research*, 1998;28(2):261- 270.
26. Khan A. A., Cook d. W., Mitchell D., Shrinkage and Thermal Strains in Normal Medium and High Strength Concretes During Hydration. *ACI Materials Journal* , 1997;94(2):156-163.
27. Poon C. S., Azhar S., Anson M.,Wong Y., Comparison of the Strength and Durability Performance of Normal and High Strength Pozzolanı Concrete at Elevated Temperatures. *Cement and Concrete Research*, 2001;31(9):1291- 1300.
28. Bayasi Z., Dhaheri M. A., Effect of Exposure to Elevated Temperature on Polypropylene Fiber-Reinforced Concrete. *ACI Materials Journal*, 2002; 99(1):22- 26.
29. Li X., Li Z., Ballivy G.,Khayat K.H. ,Microstructual characteristics of HPC under different thermo-mechanical and thermo-hydraulic conditions. *Materials and Structures*, 1999;32(224): 727- 733.
30. Zain M.F.M., Radin S.S., Physical Properties Of High- Performance Concrete With Admixtures Exposed To a Medium Temperature Range 20°C to 50°C. *Cement and Concrete Research* , 2000;30(8):1283-87.
31. Eren Ö.,Yılmaz Z., Değişik Sıcaklıklarda Kür Edilen Salt Portland Çimentolu, Yüksek Fırın Cürufu veya Uçucu Kül Katkılı Betonlarda Dayanım Gelişimi. *İMO T.D.*, 2004;222:3311-3322.
32. Sancak E., Şimşek O., Yüksek Sıcaklığın Silis Dumanı Ve Süperakışkanlaştırıcı Katkılı Hafif Betona Etkileri. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 2006;21(3): 443-450

33. Hüsem M., Gözütok S., The Effects Of Low Temperature Curing On The Compressive Strength Of Ordinary And High Performance Concrete. Construction and Building Materials, 2005;19(1): 49-53.
34. Yüzer N., Aköz F., Öztürk L., Yangına Maruz Yapılarda Betonun Basınç Dayanımı-Renk Değişimi İlişkisi. Yıldız Teknik Üniv. Dergisi, 2001; 4:51- 60.
35. Türker, P., Erdoğan K., ve Erdoğan B., Farklı Tiplerde Agregalar İçeren Yangına Maruz Kalmış Harçların İncelenmesi. Çimento ve Beton Dünyası Dergisi, 2001; 6(31):52- 69.
36. Binbay, B., Isı Etkilerine Maruz değişik Katkı Malzemesi ve Boyutlarına Sahip Betonların Ani ve Yavaş Soğumaya Karşı Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 2004.
37. Boybay, M., Çeşitli Çimentolardan Elde Edilen Betonların Dehidratasyon ve Rehidratasyonları Arasındaki Bağlılıklar. Doktora Tezi, İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi- Temel Bilimler Fakültesi, 1979.
38. TS. 802, Beton Karışımı Hesap Esasları. Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, Ankara, 1985.
39. TS EN 12390-1, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 1: Deney Numunesi Ve Kalıplarının Şekil, Boyut Ve Diğer Özellikleri. Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, Ankara, 2002.
40. TS 706 EN 12620, Beton Agregaları. Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, Ankara, 2003.
41. Erdal M., Beton Basınç Dayanımının Bazı Tahribatsız Test Yöntemleriyle Belirlenmesi, Gazi Üniversitesi Yapı Eğitimi Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2002.
42. Şimşek O., Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri, Gazi Üniv. Tek. Eğt. Fak., Ankara, 2004.
43. İlhan İ., Türkiye Mühendislik Haberleri, 410.Sayı, 2000.
44. TS EN 12390-3, Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, Ankara, 2003.
45. TS EN 12390-6, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, Ankara,2002.
46. [http://hun.pamukkale.edu.tr/ders_notlari/yapi_malzemesi/Yapi_Malzemesi_9_taze_ve_sertlesmis_beton %20deneyleri.pdf](http://hun.pamukkale.edu.tr/ders_notlari/yapi_malzemesi/Yapi_Malzemesi_9_taze_ve_sertlesmis_beton%20deneyleri.pdf), İnternette 14.07.2007 tarihinde indirildi.
47. TS EN 12390-5, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, Ankara, 2002.

ÖZGEÇMİŞ

1 Mart 1978 tarihinde Elazığ'da doğdum. İlk, orta ve lise eğitimimi Elazığ'da tamamladıktan sonra, 1996 yılında üniversite eğitimime Elazığ Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü'nde başladım. Lisans eğitimimi 2001 yılında tamamladım. Eylül 2004'te Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü'nde yüksek lisans eğitimime başladım. Halen Elazığ İl Milli Eğitim Müdürlüğü'nde görev yapmaktayım.

Gülser KIRTEL