

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAĞIL NEMİN SERTLEŞMİŞ BETONUN
FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE OLAN
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Hasan TEPE

Tez Yöneticisi

Y.Doç. Dr. Cevdet Emin EKİNCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Elazığ-2006

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAĞIL NEMİN SERTLEŞMİŞ BETONUN
FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE OLAN
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Hasan TEPE

Tez Yöneticisi

Y.Doç. Dr. Cevdet Emin EKİNCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Elazığ-2006

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAĞIL NEMİN SERTLEŞMİŞ BETONUN
FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE OLAN
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Hasan TEPE

Yüksek Lisans Tezi
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Bu tez, **30 Ekim 2006** tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından **oybirliği**/oyçokluğu ile **başarılı**/başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Y.Doç.Dr. Cevdet Emin EKİNCİ

Üye: Y.Doç.Dr. Ömer KELEŞOĞLU

Üye: Doç.Dr. Ragıp İNCE

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

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimimde ve bu tezimin hazırlanmasında, her türlü bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan başta danışmanım, Y.Doç.Dr. Cevdet Emin EKİNCİ Beyefendi olmak üzere, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü öğretim üyelerine şükranlarımı sunarım. Ayrıca, benden manevi desteğini esirgemeyen eşim Gönül TEPE'ye, bana göstermiş oldukları hoşgörü ve yardımlarından dolayı, "DEMİRAĞ " Prefabrik Beton Yapı Sanayi ve Tic. A.Ş.'nin İşletme Müdürü Mehmet Nuri KÖPRÜLÜ Bey'e, Kalite Kontrol sorumlusu Sabri BAYRAKTAR beye, Laborant Ferit ÖZERLERDEN Bey'e, BASF Yapı Kimyasalları Sanayi A.Ş.'nin İzmir Bölgesi Satış sorumlusu Fatih ÖZTEMEL Bey'e, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü'nden Y.Doç.Dr. Selçuk TÜRKEK beye, Yapı Malzemesi Laboratuvar sorumlusu İnş.Yük.Müh. Halit YAZICI Bey'e çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	IV
TABLOLARIN LİSTESİ.....	V
ÖZET	VI
ABSTRACT	VII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Problem.....	3
1.2. Amaç.....	3
1.3. Önem.....	3
1.4. Yapılan Araştırmalar ve Çalışmalar.....	3
2. SU - SU BUHARININ YAPI ELEMANI İLE İLİŞKİSİ	5
2.1. Su ve Su Buharının Yapı Malzemesini Etkileme Halleri	6
2.2. Su ve Rutubetin Yapılarda Oluşturduğu Hasarlar.....	6
2.3. Betonda Su Buharının Geçişİ	7
2.4. Havanın İçerisindeki Su Buharının Kabiliyeti	8
3. BETONUN BAZI ÖZELLİKLERİ	9
3.1. İşlenebilme Özelliği.....	9
3.2. Basınç Dayanımı.....	9
3.3. Çekme Dayanımı.....	10
3.4. Sertleşmiş Betonun Durabilitesi (Dayanıklılığı).....	11
3.4.1. Hava şartlarına Dayanıklılık (Donma – Çözülme).....	13
3.4.2. Kimyasal Tesirlere Dayanıklılık.....	13
3.4.2.1. Alkali – Agregat Reaksiyonu.....	13
3.4.2.2. Sülfat Etkisi.....	14
3.4.2.3. Karbonatlaşma Etkisi	14
3.4.2.4. Deniz Suyu Etkisi	14
3.4.3. Erozyona (Aşınmaya) ve Çarpmaya Karşı Dayanıklılık.....	15
3.4.4. Betonun Geçirimsizliği (Permeabilite)	15
3.5. Sertleşmiş Betonda Hacim Değişikliği	16
3.5.1. Kuruma (Hidrolik) Büzülmesi.....	16
3.5.2. Termik Büzülme.....	16

3.5.3. Plastik Büzülme	17
3.5.4. Karbonatlaşmadan İleri Gelen Büzülmesi.....	17
3.5.5. Sertleşmiş Betonda Sünme Deformasyonu.....	18
3.5.6. Betonun Elastisite Modülü	18
4. NEM	20
4.1. Mutlak Nem (W).....	21
4.2. Havanın Neme Doyma Miktarı (Ws).....	22
4.3. Bağıl (Rölatif) Nem (ϕ).....	23
5. BAĞIL NEMİNİN BETONUN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ.....	24
5.1. Çevre Şartları	24
5.2. Nemin İçinde Zararlı Maddelerin Varlığı.....	27
5.3. Bağıl Nemin Beton Dayanımı Üzerindeki Etkisi.....	27
5.4. Bağıl Neminin Betonun Kuruması Üzerindeki Etkisi.....	30
5.5. Bağıl Nem İle Çimento Tipinin Beton Dayanımına Etkisi.....	31
5.6. Bağıl Nemin Betonun Kuruma Büzülmesine ve Şişmesine Etkisi.....	33
5.7. Bağıl Nemin Betonun Sünmesi Üzerindeki Etkisi.....	36
5.8. Bağıl Nemin Betonun Karbonatlaşma Büzülmesine Etkisi	36
5.9. Bağıl Nem Yoluyla Betonun Asit Etkisine Maruz Kalması.....	38
5.10. Beton Yüzeyinde Çiçeklenme Oluşması	39
5.11. Çiçeklenmenin Betonun Kalitesine Olumsuz Etkileri.....	40
5.12. Çiçeklenmeyi Azaltabilecek Önlemler.....	40
5.13. Su/Çimento Oranının Çiçeklenmeye Etkisi	41
5.14. Çimento Tipinin Çiçeklenmeye Etkisi	41
5.15. Mineral Katkıların Çiçeklenmeye Etkisi.....	41
5.16. Agrega Özelliklerinin Çiçeklenmeye Etkisi.....	41
5.17. Nem Önleyici Katkı Maddelerinin Çiçeklenmeye Etkisi.....	42
5.18. “Çiçeklenme” Lekelerini Temizleme Yöntemleri	42
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	43
6.1. Beton Karışım Suyu.....	43
6.2. Agrega	43
6.3. Çimento.....	44
6.4. 65°C, %100 Bağıl Nem ile 20 ±2°C’de Su Kürüne Tabi Tutulmuş Betonların Basınç Dayanımının Gelişimi	46

6.5. 27°C’de ve %92 Bağıl Nemin Betonların Dayanımı Üzerindeki	
Etkisinin İncelenmesi.....	49
6.6. %30 Bağıl Nem, 40°C’deki Betonların Basınç Dayanım Gelişimi.....	54
7. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	60
KAYNAKLAR.....	62

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 4.1. Rutubet derecesine göre zamanla meydana gelen eksensel rötre.....	21
Şekil 5.1. Beton ve hava sıcaklığının betonun su kaybetmesin etkisi	24
Şekil 5.2. Rölatif nemin %70, sıcaklığın 21°C olduğu koşullarda rüzgar hızının betondaki su kaybına etkisi.....	25
Şekil 5.3. Betondaki ortalama bağıl nem ile pas payı korozyon risk faktörü	26
Şekil 5.4. Isısı 21°C, rüzgar hızı 4.5 m/sn olan ortamda değişik bağıl nem oranlarının beton suyunun buharlaşması üzerindeki etkisi	28
Şekil 5.5. Değişik kür şartlarındaki betonun zamanla dayanımındaki değişim.....	29
Şekil 5.6. Kapalı kavanoz deneyi.....	31
Şekil 5.7. Değişik bağıl nem ortamında büzülme ile su kaybı arasındaki ilişki.....	34
Şekil 5.8. Çimento hamurunun büzülmesine bağıl nemin etkisi.....	34
Şekil 5.9. Değişik bağıl nem ortamında zamanla meydana gelen büzülme.....	35
Şekil 5.10. Değişik bağıl nem ortamında betonda meydana gelen sünme.....	36
Şekil 5.11. Değişik bağıl nem ortamlarında oluşan karbonatlaşma büzülmesi.....	37
Şekil 6.1. Deneylerde kullanılan agreganın granülometri eğrisi.....	44
Şekil 6.2. Buhar ve su kürü uygulanmış betonların 1 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması.....	47
Şekil 6.3. Buhar ve su kürü uygulanmış betonların 7. günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması.....	48
Şekil 6.4. Buhar ve su kürü uygulanmış betonların 28. günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması.....	49
Şekil 6.5. 27°C, % 92 bağıl neme ve su kürüne tabi tutulan beton numunelerin 28. günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması	50
Şekil 6.6. Numunelerin bulunduğu ortamdaki sıcaklık ve bağıl nemin takibi.....	52
Şekil 6.7. Numunelerin basınç dayanımının tespiti.....	52
Şekil 6.8. %92 bağıl nem maruz kalmış numunelerde karbonatlaşma testi.....	52
Şekil 6.9. Karbonatlaşma meydana gelmemiş numuneler.....	53
Şekil 6.10. Karbonatlaşma meydana gelmiş beton numune.....	53
Şekil 6.11. 20±2 °C’de su kürü uygulanan numuneler ile 40°C, %30 bağıl neme maruz kalan numunelerin basınç dayanımlarının karşılaştırılması.....	54
Şekil 6.12. 20±2 °C’de su kürü, 27°C,%92 bağıl nem ve 40°C, %30 bağıl neme maruz kalmış numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması....	55
Şekil 6.13. Betonun dayanım ve dayanıklılık esasına göre ömrü.....	56

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Bölgesel nem oranları	21
Tablo 4.2. Sıcaklığa bağlı olarak havanın maksimum nem miktarı.....	22
Tablo 4.3. Sıcaklığı göre doyma noktası ve maksimum nemlilik.....	23
Tablo 4.4. Bazı malzemelerin kuru durumlarındaki nem oranları.....	23
Tablo 5.1. Nemin beton kalıcılığı üzerindeki etkisi.....	26
Tablo 5.2. 10 cm küp örneklerin değişik kür koşullarındaki basınç dayanımları.....	29
Tablo 5.3. Ortamın bağıl nem oranının betonun kuruma süresi üzerindeki etkisi.....	30
Tablo 5.4. Çimento tipi ile farklı sıcaklık, bağıl nemlerde beton basınç dayanımı	32
Tablo 6.1. Kuvartz kökenli agregaların fiziksel özellikleri.....	43
Tablo 6.2. Deneylerde kullanılan agreganın elek analizi	44
Tablo 6.3. Deneylerde kullanılan çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri	45
Tablo 6.4. 1 m ³ beton karışım için hesaplanmış malzeme miktarları ve özellikleri.....	46
Tablo 6.5. Buhar ve su küründeki numunelerin 1 günlük basınç dayanımları	46
Tablo 6.6. Buhar ve su küründeki numunelerin 7 günlük basınç dayanımları.....	47
Tablo 6.7. Buhar ve su küründeki numunelerin 28 günlük basınç dayanımları.....	48
Tablo 6.8. 27 °C, % 92 bağıl nem ile su kürüne bırakılmış numunelerin dayanımı.....	49
Tablo 6.9. Kurşunlu kaplıcılarındaki numunelerin sıcaklık, bağıl nem takibi.....	51
Tablo 6.10. Gün ortası 40 °C, %30 bağıl neme maruz numunelerin dayanımı.....	54

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BAĞIL NEMİN SERTLEŞMİŞ BETONUN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Hasan TEPE

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

2006, Sayfa: 64

Yapı sektöründe geniş bir kullanım alanı olan beton, hizmet süresi boyunca su ve nemin etkisiyle bir çok kimyasal ve fiziksel etkiye maruz kalabilir; zamanla yıpranarak dayanım ve dayanıklılığını kaybedebilir. Sertleşmiş betonun bozulmasına yol açan bütün fiziksel ve kimyasal olayların meydana gelmesinde nemin etkisi vardır. Böylece yapıların hizmet ömrü azalacak, bakım ve onarım masrafları artacaktır.

Taze beton suyu, gerek ortamın ve gerekse hidrasyon ısısı nedeni ile hızla buharlaşacaktır. Ortamın bağıl nemi yüksek ise hem buharlaşma yavaşlayacak hem de hidrasyon için gerekli olan su bağıl nemden karşılanacaktır. Ortamın bağıl nem oranı düşük ise beton suyu daha hızlı buharlaşacak ve beton büzülecektir.

Sertleşmiş betona giren su, beraberinde diğer kimyasalları da getirerek klor ve asit etkileri, donatının korozyonu, alkali etkiler, karbonatlaşma ve don olayı ile iç gerilmelerin meydana gelmesine sebep olabilir. Betonun geçirimsiz olması durumunda bir çok dayanıklılık problemine yol açan su ve zararlı sıvılar beton içerisine nüfuz edemez. Geçirimsiz beton için düşük su/çimento oranı gerekir. Düşük su/çimento oranı işlenmeyi güçleştirdiği için işlenmeyi arttırıcı bazı katkıları geliştirilmiştir.

Düşük su/çimento oranı, prozitesi düşük agrega kullanarak, uygun kür yaparak veya betona geçirimsizlik sağlayan bazı mineral ve kimyasal katkıları kullanarak geçirimsizliği düşük, dayanım ve dayanıklılığı yüksek betonlar üretebiliriz.

Anahtar Kelimeler: Beton, Bağıl Nem, Geçirimsizlik, Dayanım ve Dayanıklılık

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATING THE EFFECT OF RELATIVE HUMIDITY ON HARDENED CONCRETE'S PHYSICAL FEATURES

Hasan TEPE

Firat University

Natural and Applied Sciences Institute

Department of Construction Education

2006, Page: 64

The concrete having a wide application field on construction industry, can be influenced by a lot of chemical and physical effects during service life because of water and humidity, can lose its durability and strength day by day. Humidity has the effect on becoming all physical and chemical events causing deterioration on hardened concrete. So, the service life of buildings will decrease, the expense of restoration and care will increase.

The water in fresh concrete evaporates fast because of both environmental and hydration temperature. If the environmental relative humidity is high, both evaporation will slow down and concrete will get the water necessary for hydration from relative humidity. If the relative humidity rate of environment is low, the water in concrete will evaporate faster and concrete will shrink.

The water entering into concrete by bringing other chemicals with can cause the inside stresses with chlorine and acid effects, corrosion, alkali effects, carbonation and water freezing. In case of being impermeable concrete, water and dangerous liquids causing a lot of durability problems can't enter into concrete. Low water/cement rate is necessary for impermeable concrete. Because the low water/cement rate makes difficult workability of concrete, some additives improving the workability have been developed.

We can produce concrete having low permeability, high strength and durability by using the low water/cement rate, aggregate having low porosity, making appropriate cure or using some minerals and chemical admixtures making concrete impermeable.

Keywords: Concrete, Relative Humidity, Permeability, Strength and Durability

1. GİRİŞ

Beton, yapı alanında kullanılan en popüler yapı malzemelerinden birisidir. O kadar geniş kullanım alanı vardır ki betonarme yapıların, temel, kolon, perde, kiriş, döşeme ve merdiven gibi taşıyıcı iskeletinden tutun da barajlarda, köprü ve menfez gibi sanatsal yol yapılarında, beton yollarda, kaldırımlarda, elektrik hatlarında, demir yollarında, parklarda, beton borularında, kanallarda, limanlarda, rögarlarda, yer altı tesislerinde, havuzlarda, su depolarında, hava alanlarında ve nükleer tesisler gibi burada sayılamayacak kadar çok alanlarda kullanılmaktadır. Hemen hemen hiçbir yatırım yoktur ki orada beton kullanılsın. Hiçbir yerleşim yeri yoktur ki, orada betona ihtiyaç olmasın. Bu kadar geniş kullanım alanı olan betonun tabidir ki ülkenin kalkınmasında da önemli bir yeri vardır. Bütün bu kullanım alanlarındaki tesislerin beklenen performansı gösterebilmeleri ancak teknolojik kaidelere göre üretilmiş betonların kullanılması ve hizmet ömrü süresince betonu yıpratacak dış etkilere karşı gerekli önlemlerin alınmasına bağlıdır.

En yaygın tarifi ile çakıl, kum, çimento, su ve gerektiğinde kimyasal ve mineral katkıların karışımından oluşan beton, yerine yerleştirildiği andan itibaren performansını düşürecek bir çok dış etkilere maruz kalabilir. Bunlar;

- Güneş Işınları: Güneşten gelen, gözle görülmeyen ve betonu ısıtarak genleşmesine ve renk değiştirmesine neden olan ultra viyole, enfra ruj ışınları.

- Kimyasal Etkiler (Hava Kirliliği): Sanayileşmeyle artan fabrikalardan, motorlu araçlardan ve ısınmak için kullanılan yakıtlardan atmosfere bırakılan karbondioksit, karbonmonoksit, kükürtdioksit gibi maddelerin atmosferde yağışlarla asitlere dönüşerek betona temas etmesi, yine havadaki karbondioksitin betondaki kalsiyum dioksit ile reaksiyonu sonucu betona hem faydası hem de zararı olduğu tartışılan ancak büzölmeye de yol açan karbonatlaşmanın meydana gelmesi,

- Güröltü ve Titreşim: Beton, yakından geçen bir yük aracı veya bir tirenin sarsıntısı, çalışan bir makinenin neden olduğu titreşim, deprem sarsıntısı gibi bir çok sarsıntıya maruz kalabilir.

- İklimsel Etkiler: Yazın sıcaklığın aşırı artması, kışın ise ısının aşırı düşmesi tıpkı çöllerdeki kumsalların oluşması gibi aşırı ısı farkına maruz kalan beton, olumsuz şekilde etkilenebilmektedir. Yine iklime bağılı olarak, yağışlarla gelen suyun betona nüfuz etmesi ve donması veya betonda korozyona sebep olması veyahut betondaki tuzların erimesine neden olmasıyla beton yüzeyinde çiçeklenmeye yol açması gibi etkiler söz konusudur.

- Ortamın Nemi: Ortamın nem oranı da iklimsel bir olay olup araştırmamızın ana konusunu teşkil etmektedir. Ortamın nem oranı olan bağıl nem miktarının beton üzerinde

olumlu ve olumsuz etkileri olabilmektedir. Şöyle ki, ortamın nem oranı yüksek ise hidrasyon aşamasında betondaki suyun buharlaşması daha yavaş olacaktır. Taze betondaki suyun buharlaşmasıyla meydana gelecek büzölmelerin ortaya çıkmasına mani olacaktır. Böylece katılaşma aşamasında betona sağlanan olumlu şartlar, betonun sertleşmiş halindeki performansını etkileyecektir. Beton hidrasyonunun yaklaşık %70'şini ilk 28 günde tamamlasa da geri kalan kısmını yıllarca ve giderek yavaşlayan şekilde devam ettirir. Özellikle beton dököldükten sonra ilk ay hidrasyonun devamı için gerekli olan su ihtiyacının bir kısmını havadaki nemden karşılayabilmektedir. Bu yüzden havadaki bağıl nem oranının yüksek olmasının betonun sertleşme aşamasında dayanımı üzerinde olumlu etkisi olduğunu söyleyebiliriz. Başka bir açıdan bakacak olursak ortamdaki nemin sertleşmiş betona nüfuz etmesiyle betonda donma tehlikesi, betondaki çeliğin korozyonuna uğraması, atmosferdeki bir takım kimyasal maddeleri betona taşıması veya onlarla asit meydana getirip betona zarar vermesi söz konusu olabilir. Bunlara ilaveten ortamın neminin(su buharının) betona sızması ve betondaki kalsiyum dioksidin ve tuzların çözölmesiyle hem betonun geçirgenliği artırmakta hem de çiçeklenme dediğimiz betondaki kötü görünüşün oluşmasına neden olabilmektedir. Burada saydığımız bütün bu kimyasal ve fiziksel olaylar beton dayanımını ve dayanıklılığını etkileyen önemli faktörlerdir. Bir çok beton başlangıçta yüksek dayanıma sahip iken önlem alınmadığı için zamanla ortamın olumsuz şartlarından etkilenerek performansını kaybetmektedir. Bundan dolayı beton tasarımının, dayanımının yanında dayanıklılık esasları da dikkate alınarak yapılmasında fayda vardır. Ayrıca, betonun hizmet ömrü boyunca karşılaşıacağı nem- rutubet ve öteki dış etkilere karşı nasıl korunacağına daha planlama aşamasında karar verilmelidir.

Bu çalışmanın amacı, ortamın bağıl (rölatif) neminin betonun fiziksel özelliklerine olan etkilerinin ortaya çıkarılması ve olumsuzluklara karşı çözüm önerilerinin sunulmasıdır.

1.1. Problem

Kullanıldığı çevre(atmosfer) şartlarının betonun özellikleri üzerinde önemli etkileri vardır. Bu etkilerden birisi de çevrenin bağıl(rölatif) nem etkisidir. Bağıl nemin, hidrasyon aşamasında betonun dayanım kazanmasına olumlu etkisinin yanında ileriki yaşlarda dayanıklılık bakımından olumsuz etkileri de olabilmektedir. Bunun neticesinde betonun hizmet ömrü kısılacak, onarım ve bakım masrafları artacak ve hizmet ömrü boyunca yeterli performansı gösteremeyecektir. Dolayısı ile bağıl nemin sertleşmiş beton üzerindeki olumsuz tesirlerinin ortaya çıkarılması ve alınacak önlemlerin önceden belirlenmesi gerekir.

1.2. Amaç

Bu yüksek lisans tezinin amacı; atmosferdeki bağıl nemin betonun dayanım, dayanıklılık dahil bütün fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerinin detaylı bir şekilde araştırılması ve çözüm önerilerinin sunulmasıdır.

1.3. Önem

Yapı sektöründe yaygın olarak kullanılan betonun performansı yapının da performansını etkilemektedir. Betonun olumlu özelliklerini sürdürebilmesi, betonun dış tesirlere karşı göstereceği dayanıklılığına bağlıdır. Bu dış tesirlerden birisi de ortamın nemidir. Yapılarda hasarların birçoğunun arkasında nem gerçeği vardır.

1.4. Yapılan Araştırma ve Çalışmalar

Bu çalışmada,

- Kitap, dergi, broşür ve internet ortamında geniş bir literatür taraması yapılarak veriler toplanmış ve beton ve nem ilişkisi ortaya çıkarılmıştır.
 - Beton ve nem etkileşmesini kapsayan daha önceden yapılmış deneysel çalışmalar incelenmiştir.
 - Hazır beton üretimi yapılan DEMİRAĞ fabrikasının laboratuvarında yapılmış deneysel çalışmalar derlenmiş ve yeni deneysel çalışmalar yapılmıştır.
 - Yapı kimyasalları alanında nem-beton ilişkisine karşı üretilmiş ürünler araştırılmıştır.
- Bu amaçla, ISO 9001:2000 belgesine, ISO 14001 Çevre Standardına ve OHSAS 18001

İş sağlığı ve Güvenliđi standardı, CE İşaretine sahip olan DEGUSSA YKS(Yapı Kimyasalları Sanayi)A.ř. 'nin İzmir'deki satış ve uygulama bayisi ziyaret edilmiştir.

- İzmir-Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliđi Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuarında konu ile ilgili yapılan çalışmalar yakından izlenmek üzere teknik geziler yapılmıştır.
- Salihli'de kurşunlu kaplıcalarındaki değişik kr şartlarından istifade edilerek numuneler farklı oranlardaki bağıl nem koşullarında saklandıktan sonra deneylere tabi tutulmuştur.

2. SU - SU BUHARININ YAPI ELEMANI İLE İLİŞKİSİ

Yapıların su veya su buharı ile buluşması değişik kuvvetlerin etkisiyle gerçekleşmektedir. Yapı elemanının suyu bünyesine çekmesi veya teması aşağıdaki faktörlerin etkisiyle gerçekleşmektedir. Bunlar;

1. Yağmur damlalarının kinetik enerjileriyle,
2. Kılcal kanalların kapiler emme kuvvetiyle,
3. Yerçekimi kuvvetiyle,
4. Havadaki nem etkisiyle (Hava sıcaklığı ve basınç farkları ile),
5. Hidrostatik basınç farklarıyla olmaktadır.

Yağmur ve kar şeklindeki yağışlar, bina toprak üstü elemanlarında, düz çatı, teras ve düşey yüzeylerden yerçekimi etkisi ile aşağıya doğru akar. Bu esnada yüzeyler ıslanır ve gözeneklere çeşitli kuvvetlerin etkisi ile su dolar. Keza rüzgar ile gelen yağmur damlalarının kinetik enerjisi, damlaların gözeneklerden içeri taşınmasına neden olur [1]. Benzer şekilde havadaki su buharı, sıcaklık ve basınç farkı nedeni ile kışın bina içinden dışa doğru, yazın ise dışarıdan bina içine doğru akış gösterir. Bu akış sırasında havadaki su molekülleri yapı elemanı üzerinde yoğunlaşarak yapı elemanına zarar verebilir. Bir hacmin bir tarafında fazla diğer tarafında az su molekülleri toplanmış ise, doğanın ana kanunu mucibince fazla olan taraftan az olan tarafa doğru bir denge hareketi başlar. Çünkü az olan tarafta su molekülleri için daha fazla yer vardır [2].

Hava basınç farkları ile hava sıcaklığının artışı atmosferde daha çok su buharı oluşmasına, tersi ise atmosferin su buharı bakımından doygunluğa ulaşmasına neden olur. Su buharının hacmi hiçbir zaman hava hacminin %4'ünü aşamaz. Havadaki nem oranı “rölatif nem” veya “bağıl nem” olarak ifade edilir ve % mertebesinde gösterilir. Hava sıcaklığının artmasıyla, havanın içerisinde taşıyabileceği su buharı miktarı da artar. Ancak ani sıcaklık düşüşlerinde, buhara doymuş olan hava içindeki buharın bir kısmı yoğunlaşarak su haline dönüşür ve yapı malzemesi yüzeyinde yoğunlaşmalarla birlikte soğuk yüzeyler oluşmasına neden olur. Bu olay malzeme yüzeyinde gözle görülür “terleme” veya malzeme içerisinde gizli olarak kondonzasyon (yoğuşma) problemlerine sebep olur [3].

Yağış suları toprak ile temas edince yerçekimi etkisiyle alt bölgelere hareket eder. Az geçirimli bir tabaka veya suya doygun bir tabakayla karşılaşınca hızı azalarak birikir ve yer altı sularını oluşturur. Daha sonra bu yer altı suları toprak içindeki kılcal boşluklardan yerçekimine ters yönde hareket ederek bina alt yapısına ulaşır ve gözenekli yapı elemanını kılcallık yoluyla etki ederler. Bu hareket atmosfer basıncı ile dengeleninceye kadar devam eder. Ayrıca bu yağış

suları atmosferdeki bir takım zararlı maddeleri de bünyelerinde tutarak yapıyı başka yönlerden de etkileyebilir. Binanın toprakaltı yatay ve düşey elemanlarının çevresinde biriken yer altı suları yapı elemanına hidrostatik bir basınç uygular [1].

2.1. Su ve Su Buharının Yapı Malzemesini Etkileme Halleri

Su ve su türevli maddelerin yapılarla teması değişik şekillerde meydana gelmektedir. Bunlar;

- Yüzeysel ıslanma ve su emme olaylarının etkili olduğu haller (düz veya meyilli çatılar, banyo, mutfak, teras gibi ıslak hacim döşemeleri, tesisat arızalarından sızan sular, genleşme derzleri ve doğramaları).
- Basınçlı su ve kapilerite olaylarının etkili olduğu haller (Zemin suyu, yeraltı suyunun etkilediği yapı temelleri, bodrum betonarme duvarları ve döşemeleri, su depoları, barajlar).
- Yapı elemanlarını çevreleyen havanın nemi ve hidrotermik olayların etkili olduğu haller (duvar ve teraslarda görülen terlemeler ve buhar geçirimsizlik ile yapım sonrası malzeme kurumaları).

2.2. Su ve Rutubetin Yapılarda Oluşturduğu Hasarlar

Su ve rutubetin yapılarla teması halinde yapı elemanı üzerinde olumsuz bir etki yaratır. Bu etkinin ölçüsü yapı elemanının dayanım ve dayanıklılığına bağlı olarak değişmektedir. Bu etkileri şu şekilde sıralayabiliriz:

- Beton içine sızan suların donması sonucu meydana gelen genleşmeyle, betonda iç gerilmeler ve yer yer çatlama olabilir.
- Yaşam alanlarının içine sızan suların küflenme ve mantarlaşmaya neden olması içeride yaşayanların sağlığını tehdit eder. Aynı zamanda iç boya, kağıt, saten boya vb uygulamalarda kabarmalara neden olabilir.
- Betondaki demir donatının korozyona uğraması sonucu demir donatı zayıflar ve beton ile donatı arasındaki aderansın azalmasına yol açar.
- Betonun su geçirmesi, özenle seçilmiş ve döşenmiş seramiklerin oynamasına, derz aralarının çatlamasına ve dökülmesine sebep olur.
- Çatı parapetlerinde, balkon ve saçak alınlıklarında ve tavanlarında suyun verdiği tahribat, sıva, boya ve diğer kaplamaların dökülmesine neden olabilir.
- Ahşap doğramalarda zamanla çürüme ve dökülmeler olabilir.

- İçme suyu depolarında ve havuzlarda beton duvarlardan sızıntı ile suyun yok olması söz konusudur..
- Atık su depolarında suyun çevreye sızması doğal dengenin bozulmasına neden olur.
- Zemin ve temelden gelen su kapiler etki ile yükselerek duvar, döşeme elemanlarının ıslak kalmasına ve yıpranmasına neden olur.
- Yağmur suyu, kirliliğine bağlı olarak bina cephelerinde kirlenmeye neden olur.
- Betonun su geçirimsizliği kirlilik, kolon gibi elemanların gövdesinden beton dökülmesine ve kesit zayıflamasına sebep olur.
- Betondan geçen su, iç mekânlardaki metal aksamın da korozyona uğramasına sebep verebilir [3].

2.3. Betondan Su Buharının Geçişi

Su moleküllerinin sadece sıvı halde değil, buhar halinde de hareket kabiliyeti vardır. Bu hareketin en yaygın bilineni su buharı geçiştir. Binalarda bir çok rutubetlenme olayının arkasında su buharı difüzyonu ve yoğuşma gerçeğinin bulunduğu biliyoruz. Gaz ve sıvı ortamlarında sıcaklığı çok olan yerden sıcaklığı az olan yere bir akım vardır. Difüzyon, suyun en küçük parçalarının yani su moleküllerinin bir gaz (havadaki) karışımında yaptığı kendi hareketidir. Bu hareket için moleküllerin hava içinde farklı yoğunlukta dağılmış olmaları gerekir. Bir hacmin bir tarafında fazla diğer tarafında az su molekülleri toplanmış ise, doğanın ana kanunu gereği fazla olan taraftan az olan tarafa doğru bir denge hareketinin olacağından daha önce bahsetmiştik. Bu hareket, her iki tarafın su buharı eşit oluncaya kadar devam eder. Su buharı molekülleri maddenin en küçük parçalarından oluştuğundan, beton buna karşı büyük aralıklı bir ağ gibi durur. Dolayısıyla betonun bu yapısı su moleküllerinin hareketine engel olamaz [2].

Betonun bozulmasına yol açan tüm kimyasal reaksiyonların gelişmesi suyun varlığına bağlıdır. Nemin beton içinde bulunması, ortamdaki bağıl neme kıyasla çok daha önemlidir. Değişken iklim koşullarında, örneğin atmosferdeki bağıl nem betonun nem içeriğinden fazla olduğu zamanlarda beton, atmosferden suyu hızla bünyesine alır. Betonun ıslanması kurumasına kıyasla daha hızlıdır. Bu nedenle beton değişken iklim koşullarında, sürekli ıslanan kuruyan bölgelerde, deniz kıyılarında yoğunlukla suya doymuş konumdadır [4].

2.4. Hava İçerisindeki Su Buharının Kabiliyeti

Havadaki nem olarak bilinen su buharının akış kabiliyeti son derece yüksektir.

- Hava o andaki sıcaklığına bağlı olarak belli bir miktarda suyu buhar olarak tutabilir. Eğer bu sıcaklığa daha fazla su buharı verirse bu fazlalık hava içerisinde buhar olarak kalmaz, yoğunlaşarak suya dönüşür. Sıcaklık artıkça bu buhar miktarı da beraber artar. Sıcaklık düşürülürse bu defa o sıcaklıkta doyma miktarından arta kalan buhar yoğunlaşır.
- Hava molekülleri su moleküllerinden daha büyüktür. Yani havanın geçmesine mani olan bir katmandan su buharı kolaylıkla geçebilir.
- Hava fiziksel olarak gaz karışımıdır. Bunun manası, su buharı basıncının hava basıncına ilavesi o andaki toplam basınçtır. Su buharı basıncı ise o andaki nem miktarına da bağlıdır.
- Farklı su buharı miktarına sahip iki boşluktan, fazla su buharı ihtiva eden taraftan, su buharı az olan tarafa bir buhar akışı başlar. Bu akış iki taraftaki buhar eşit oluncaya kadar devam eder.

Yapı malzemeleri normal iklim şartlarında belirli oranlarda su ihtiva ederler. Buna doğal nemlilik denir. Yapıların doğal nemliliğine sebep olan etkenler öncelikle 0.1 mm'den küçük olan mikro gözeneklerdir. Çevredeki nem artarsa malzemenin nemi de artar, azalırsa malzemenin nemi de azalır [5].

Bir yüzeyde su buharının yoğunlaşması için yüzey sıcaklığının ortam sıcaklığından daha düşük olması gerekir. Örneğin, bir odadaki sıcak havanın camlarda soğuk havayla temas ederek yoğunlaşması gibi. Zararlı boyutlarda ısı ve buhar yoğunlaşması hareketleri yapının yüzeylerinde veya iç bünyesinde (gizli yoğunlaşma) donma, korozyon, küflenme, aderans zayıflaması gibi hasarlara yol açabilir [6].

3. BETONUN BAZI ÖZELLİKLERİ

Yapay bir malzeme olan betonun olumlu özelliklerini sürdürebilmesi dış tesirlere dayanıklı olmasına bağlıdır [7]. Burada betonun genel özellikleri üzerinde kısaca durulacak ancak bağıl nemin etkilediği özellikler ayrıca daha detaylı olarak ele alınacaktır.

3.1. İşlenebilme Özelliği

Pek çok hallerde betonun en önemli özelliklerden birisi işlenebilmedir. Taze betonun hazırlanması, taşınması, homojenliğini kaybetmeden ve mümkün olan az boşluk bırakarak kalıbına yerleştirilmesi özelliklerinin tümüne birden betonun işlenebilme özelliği denir. Beton taze iken en baştaki birkaç saat, betonun tüm ömrü boyunca sahip olacağı özellikleri belirlemektedir. Yani taze betonun özellikleri betonun daha sonraki özelliklerini etkilemektedir.

3.2. Basınç Dayanımı

Betonun mekanik kuvvetleri arasında değeri en büyük olan basınç mukavemetidir. Bu özellik göz önünde tutularak beton, yapılarda daha çok basınç gerilmelerine maruz bırakılır. Yine bu özelliğinden dolayı beton, 15 cm veya 20 cm boyutlarındaki standart küp numunelerin veya 15 cm çapında ve 30 cm boyutundaki silindir numunelerin 28. günkü basınç dayanımına göre sınıflandırılır. Taze beton usulüne uygun olarak deney kalıplarına yerleştirilip 24 saat hava akımından uzak bekletildikten sonra kalıptan çıkarılır ve kirece doygun 22 ± 3 °C'deki suda veya kür odasında %95+5 bağıl(rölatif) nem ortamında 28 gün bekletilir. Daha sonra usulüne uygun olarak deneye tabi tutulur. Elde edilen değer, numune alanına bölünerek betonun basınç dayanımı tespit edilir [8].

Beton basınç dayanımının tayinindeki amaç, belirli yaşlardaki beton numunelerinin birim alanının taşıyabileceği yük miktarının belirlenmesi ve aynı karışımla üretilen betonun gerçek uygulamadaki elemanın taşıyabileceği yük hakkında fikir yürütmektir [9].

Betonda nitelik denetimine TS 500'de yer verilmiş olup beton basınç dayanımı için her üretim biriminden en az bir grup (3 adet numune) deney elemanı alınması zorunlu tutulmuştur. Alınan numunelerin basınç dayanımlarının ortalaması alınarak betonun ortalama basınç dayanımı olan f_{cm} bulunur. Ortalama basınç dayanımı; n deneye tabi tutulan numune sayısı, f_{ci} ise i nolu numunenin basınç dayanımını göstermek üzere,

$$f_{cm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci} \text{ formülü ile hesaplanır.} \quad (3.1)$$

Ancak betonun karakteristik basınç dayanımı (f_{ck}), deneye tabi tutulan numunelerde elde edilen değer bu karakteristik değerden daha düşük olması belirli bir ihtimalle (genellikle %10) mümkün olan dayanımdır. Bu dayanıma karakteristik dayanım denir. Karakteristik basınç dayanımı %10 risk kabul ederek, σ standart sapma kullanılmaktadır.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (f_{ci} - f_{cm})^2}{n - 1}} \quad \text{olmak üzere} \quad (3.2)$$

$$f_{ck} \geq f_{cm} - 1.28 \sigma \quad \text{bağıntısı ile hesaplanır.} \quad (3.3)$$

TS 500' de karakteristik dayanımla, ortalama dayanım arasında her bir parti için

$$f_{cm} = f_{ck} + 1.0 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$$

$$f_{cmin} = f_{ck} - 3.0 \text{ MPa koşulları getirilmiştir.}$$

Daha önce hesap dayanımı olarak adlandırılan, betonun tasarım basınç dayanımı f_{cd} ile gösterilmektedir. Bu dayanım, karakteristik basınç dayanımının malzeme katsayısına γ_{mc} bölünmek suretiyle aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmaktadır.

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_{mc}}, \quad (3.4)$$

Burada , γ_{mc} yerinde dökme betonlar için 1.5, öndökümlü betonlar için 1.4 olarak dikkate alınmalıdır. Ancak uygulamada beton kalitesinin tutturulmasından ciddi bir endişe var ise malzeme katsayısı olan 1.5 yerine 1.7 alınmalıdır [10].

3.3. Çekme Dayanımı

Bazı yapı elemanlarında beton çekme eğilmesine maruz kalmaktadır. Betonun çekme dayanımı yaklaşık olarak beton basınç dayanımının %10'u mertebesinde. Maksimum birim çekme uzaması da 0.0001 civarında bulunur. Betonun çekme dayanımı, doğrudan doğruya eksensel çekme deneyinin yanında, silindir yarma ve eğilme deneyleri ile de belirlenebilir [11]. Daha önce belirtildiği gibi betonun basınç dayanımının bilinmesi bir çok özelliğinde bilinmesini sağlar. Sözelimi betonun yarma çekme, eğilme çekme ve kesme dayanımları ile basınç dayanımları arasındaki ilişki şu şekildedir [8].

$$\text{Yarma çekme dayanımı, } f_{y\check{c}} = 0.10 f_b$$

$$\text{Eğilme dayanımı, } f_e = 0.20 f_b$$

$$\text{Kesme dayanımı, } f_k = 0.5 f_b - 0.80 f_b$$

TS 500'de betonun çekme karakteristik dayanımı, f_{ck} betonun karakterististik dayanımı olmak üzere

$$f_{ctk} = 0.35 \sqrt{f_{ck}} \text{ N/mm}^2 \quad (3.5)$$

bağıntısı verilmiştir [12].

Betonun Dayanımını Etkileyen Faktörler,

- Deneysel faktörler: Deneysel faktörler olarak numune boyutu ve geometrisi, yükleme hızı, numunenin deney anında sahip olduğu rutubet durumu ve deney ortamının sıcaklığını sayabiliriz.
- Öteki faktörler: Bu faktörleri şu şekilde sıralayabiliriz. Su/çimento oranı, sıkıştırma düzeyi, betonun yaşı, kullanılan çimentonun cinsi, kullanılan agrega, kullanılan katkı maddeleri ve kür şartlarını sayabiliriz.

3.4. Sertleşmiş Betonun Durabilitesi (Dayanıklılığı)

Günümüzde betonun kullanıldığı ortamlar giderek daha çok hasara yol açan boyutlara ulaşmıştır. Örneğin beton, normal yapıların yanında, gaz tankları, nükleer santrallerin yüksek basınç depoları, açık deniz petrol platformları, iskele ve rıhtım gibi değişik yapılarda da kullanılmaktadır. Bu özel durumlarda yeterli servis ömrüne sahip betonlar üretmek çok itinalı ve bilgi birikimli bir teknoloji ile mümkündür [13].

Beton dayanıklılığının etkileyen önemli kimyasal ve fiziksel olaylar şunlardır.

- Donma- Çözülme
- Isınma - Soğuma
- Islanma- Kuruma
- Asit Etkisi
- Sülfat Etkisi
- Alkali – agrega reaksiyonu
- Aşınmaya maruz kalma
- Karbonatlaşma
- Deniz suyu etkisi
- Yangın ve duman etkisi
- Beton içindeki çeliğin korozyonu
- Betondaki Ca(OH)_2 ve tuzların çözülmesi ile yüzeyde çiçeklenme [14].

Kimyasal etkilerden, çiçeklenme, sülfat etkisi, asit etkisi çimento hamurunda etki yaratırken; alkali-agrega reaksiyonu agregada gelişir. Paslanma ise donatıda gelişen bir olaydır.

Fiziksel etkilerden, donma- çözölme, ısınma-soğuma, aşınma, çimento hamuru ve agregaya tesir ederken; kuruma-ıslanma, çimento hamurunda etkisini göstermektedir [15].

Beton hizmet süresi boyunca, bünyesinde yıpranmaya yol açabilecek bir çok kimyasal veya fiziksel etkenle karşılaşmaktadır. Bu etkenler, betonun kullanıldığı doğa koşullarından veya betondaki alkalilerle reaktif agregalar arasındaki reaksiyonlardan kaynaklanmaktadır. Betonda kimyasal olaylara, betona sızan su, karbondioksit, oksijen, sülfat, asit ve klor gibi maddeler yol açar. Bunların yanında betondaki alkalilerle reaktif agregalar arasında gelişen ve betonun genişerek yıpranmasına yol açan kimyasal olaylar da vardır.

Konu ile ilgili olarak Japon standartlarında betondaki klor miktarının maksimum 0.30 kg/m³, deniz suyuna maruz kalan betonlarda su-çimento oranı maksimum %55 ve paspayı kalınlığının normalinden 10-20 mm daha fazla alınmasını vurgulamıştır. Ayrıca donma ve çözölmenin olduğu yerlerde de agreganın su emme oranının %3'den daha fazla olmaması gerektiğini belirtmiştir [16]. Beton ıslanma-kuruma, donma-çözölme, ısınma-soğuma ve ısınma gibi olaylarda betonun yıpranmasına yol açan fiziksel olaylardır. İster kimyasal ister fiziksel olaylar olsun hepsinin betonun fiziksel özellikleri üzerinde olumsuz etkileri vardır.

Betonda fiziksel ve kimyasal olayların meydana gelmesi sonucu, betonun daha boşluklu hale gelmesine neden olabilir. Betonun içerisindeki donatının korozyona uğramasına yol açabilir. Beton içinde büyük gerilmelerin meydana gelmesine, betonun aşınmasına, hizmet ömrünün ve dayanımının azalmasına sebep olur [17]. Ortamın şartları, beton dayanıklılığını ve buna bağlı olarak dayanımını azalttığına göre beton tasarımında dayanıklılık esaslarına göre yapılması fikrini doğurmuştur. Deprem bölgelerinde yapılan araştırmada, yapılarda deniz kumunun kullanılmasından çok ortamın şartlarının betonu olumsuz etkilediğini ortaya çıkarmıştır [18].

Beton dayanıklılığı; hava koşullarından, sülfat ve asitli sulardan, ortam koşullarından kaynaklanan yıpratıcı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında betonun hizmet ömrüncce gösterebileceği direnme kabiliyetidir. Beton, hizmet göreceği koşullara göre tasarlanmış ve iyi bir kalite kontrol sistemi içinde hazırlanmış, yerleştirilmiş ve bakılmışsa, uzun yıllar hiçbir onarım gerektirmeden görevini yerine getirir. Ancak, çeşitli dış ve iç etkiler altında betonun performansının düştüğü durumlar olur. Dayanıklı bir beton bu etkilere karşı bozulmadan ve kendisinden beklenen performansı düşürmeden direnç gösteren betondur.

3.4.1. Hava şartlarına Dayanıklılık (Donma – Çözülme)

Betonun hava şartlarından dolayı zarar görmesine sebep olan donma-çözülme, genleşme ve büzülme olaylarıdır. Betonun su ile teması olması halinde ve donma- çözülmenin olduğu ortamda beton gözenek ve kılcal boşluklarında bulunan su donduğunda hacimce genişleyerek betonda iç gerilmeler meydana getirerek betonda mikro çatlaklara neden olur. Özellikle baraj ve beton yollar ve temellerde gerekli önlemlerin alınması zorunludur. Hava sürükleyici katkıları kullanıldığında betonda meydana gelen, birbirinden bağımsız hava boşlukları içsel gerilmelere karşı bir tür yastık görevi görürler. Hava sürükleyici katkıları, karışım işlemi sırasında betonda yaklaşık 0.2 mm boyutlarında ve birbirinden bağımsız hava kabarcıkları oluştururlar. Bu hava kabarcıkları priz tamamlandıktan sonra da beton içinde kararlı bir yapıda kalırlar [8].

3.4.2. Kimyasal Tesirlere Dayanıklılık

Agreganın içerisinde kimyasal reaksiyon verebilecek maddeler, çimento bünyesinde reaksiyona girerek betonda iç gerilmelere ve dolayısı ile betonun dağılmasına neden olurlar.

3.4.2.1. Alkali – Agregas Reaksiyonu

Amorf silisli yapıya sahip opal, çakmak taşı gibi agregalarla çimento içindeki alkali oksitler (Na_2O ve K_2O) ile reaksiyona girerek alkali-silika jeli adı verilen bir ürün meydana getirirler. Alkali-silika jeli çok yüksek su emme kapasitesine sahiptir. Gerek beton içinden gerekse atmosferden emdiği rutubetle sürekli genişler. Amorf silisli agregalarla alkali oksitlerin reaksiyonu çok yavaş gelişir. Çoğu zaman, uzun yıllar boyunca reaksiyon fark edilmeyebilir. Dolayısıyla, beton sertleştikten sonra meydana gelen bu olay sonucunda genleşmeler içsel gerilmelere ve betonda çatlamalara yol açar. Alkali-agrega reaksiyonunun olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için betonda ya söz konusu zararlı agregaları kullanmamak veya alkali miktarı düşük çimento kullanmak gerekir. Ayrıca, puzolan içeren çimentolar da bu etkiyi azaltmakta yararlı olur [8]. Alkali-silika reaksiyonu 3-5 yıldan daha uzun süre sonra ortaya çıkan çatlak tipleridir. Agregadaki aktif silislerin çimentodaki alkali oksitleri ile reaksiyona girerek su emme eğilimi ve kapasitesi çok yüksek olan jelleri oluşturması; bu jellerin ise su emme ile genleşmesi çatlaklara neden olur [19].

3.4.2.2. Sülfat Etkisi

1908’de ABD Araştırma bürosu tarafından sülfat etkisi ilk defa tanımlandığında, bu etkiyi kontrol etmenin tek yolu düşük geçirimli beton üretmektir. Günümüzde düşük geçirimli beton değişik yollarla üretilebilmektedir [20]. Gerek doğal sularda gerekse atık sularda çeşitli sülfatlar az veya çok miktarlarda bulunurlar. Özellikle yer altı sularda sülfat iyonlarının miktarı çok fazla olabilir. Sülfat iyonları betona nüfuz ederek burada çimentonun hidratasyonu ile elde edilen kalsiyum hidroksit ve kalsiyum aluminat hidratlarla (C-A-H) reaksiyona girerek, sırasıyla alçı ve etrenjit(etringit) adı verilen ürünler oluştururlar. Bu ürünlerin her ikisi de betonda genleşmelere ve dolayısı ile çatlama ve bozulmalara yol açarlar.

Sülfat etkisinin azaltılması için iki önlem türü bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, çimentodaki C_3A miktarının azaltılması, ikincisi ise çimento hidratasyonu sonucunda oluşan kalsiyum hidroksitin çeşitli mineral katkılar içeren çimentolar kullanarak azaltılmasıdır. Birinci tür önlem, sülfata dayanıklı çimento kullanılması anlamına gelmektedir. Bu çimentoların C_3A miktarı en çok %5, $C_3A + C_4AF$ miktarı ise en çok %25’dir. İkinci önlem ise, çeşitli puzolanlar ve yüksek fırın cürufunun betonda kullanılmasıdır [8].

3.4.2.3. Karbonatlaşma Etkisi

Çimento hidratasyonu ile ortaya çıkan kalsiyum hidroksitle, $Ca(OH)_2$ havadaki CO_2 , karbondioksit reaksiyona girerek kalsiyum karbonat meydana getirirler. Bu olaya karbonatlaşma denir. Alkalın bir madde olan betonun pH değerini 12-13’den 8-9’a düşürerek daha asitli bir ortam yaratır ki bu da beton içindeki donatının paslanmasını kolaylaştırıcı olumsuz bir etki yaratır. Karbonatlaşma betonda büzülme etkisi meydana getirebilmektedir. Karbonatlaşmayı azaltmak için betonun geçirimsiz olması gerekir. Bu amaçla betonda daha fazla çimento kullanmak, su-çimento oranını azaltmak, vibratör kullanarak betonun daha iyi yerleşmesini sağlamak, betonun bakım süresini uzatmak gibi önlemler alınabilir [8].

3.4.2.4. Deniz Suyu Etkisi

Deniz suyunun etkisi betonun bizzat kendisinden çok betonarme donatıda paslanmaya yol açar. Donatının paslanmasıyla donatının hacmi orijinalinden daha fazla olduğu için betonda genleşme ve çatlamalara yol açar. Bu çatlamlar zararlı sular ve gazlar beton içine nüfuz etmesini ve dolayısı ile paslanmayı hızlandırır. Donatının paslanmasıyla kesit alanı küçüleceği için donatının yük taşıma kapasitesi azalacaktır. Donatı paslanmasını azaltmak için, betonun

geçirimsizliğini azaltmak, paspayı kalınlığını artırmak, paslanmayı yavaşlatıcı veya önleyici çeşitli malzemeler kullanmak gerekir.

3.4.3. Erozyona (Aşınmaya) ve Çarpmaya Karşı Dayanıklılık

Beton yüzeyleri, akarsularda hareket eden aşındırıcı malzemelerle ve rüzgarın tesiriyle aşınır. Aşınma hareketine karşı betondaki 200 # nolu elekten geçen ince malzeme oranı % 3'den fazla olmamalıdır. Su-Çimento oranı düşük tutularak yüksek basınç mukavemeti sağlanmalıdır. Yol, hava alanı, su borularında ve genel olarak döşeme kaplamalarında kullanılan beton önemli derecede aşınma etkisinde kalır. Genellikle basınç dayanımı yüksek olan betonlar aşınmaya karşı da dayanıklıdır. Betonda çimento miktarı agregaya kıyasla az olduğundan asıl aşınma etkisi agregaya gelir. Bu bakımdan beton üretiminde aşınmaya dayanıklı sert agregaların kullanılması betonun aşınmaya karşı dayanımını artırır. Bu amaçla granit, kuvarz kökenli agrega, demir parçacıkları, çelik tozu ve karborandum gibi yapay agregalar kullanılır. Betonarme kazık, yol ve havaalanları gibi yerlerde beton elemanlar önemli darbe etkilerinde kalırlar. Bu gibi yerlerde kullanılan betonların çarpmaya dayanıklı olması gerekir. Basınç mukavemeti ve çekme mukavemeti büyük olan betonların çarpma mukavemeti de büyük olur. Bu nedenle beton üretiminde agrega olarak çakıl yerine kırma taş kullanılmasıyla çarpmaya daha dayanıklı beton elde edilir. Kırma taşlı betonların daha fazla deformasyon yapma kabiliyetine sahip olması, betonun daha fazla enerji almasına ve çarpma dayanımının artmasına neden olur. Betonun deformasyon yapma kabiliyetinde azalma belirli bir süreden sonra, betonun yaşı ilerledikçe çarpma dayanıklılığının azalmasına yol açar. Bu nedenle betonarme kazık ve paplanların başları bu tür zorlama ile karşı karşıya gelmektedir [19].

3.4.4. Betonun Geçirimsizliği (Permeabilite)

Betonun dayanıklılığında tek başına en etkili parametre su-çimento oranıdır. Su/çimento oranı arttıkça, çimento hamurunun gözenekliliği ve dolayısı ile betonun geçirgenliği artar. Geçirgenliği yüksek olan betonlara zararlı sıvı ve gazların nüfuz etmesi çok daha kolaydır. Ayrıca su/çimento oranı yüksek olan betonun dayanımı düşük olacağından, çeşitli kimyasal ve fiziksel etkilerle beton içinde meydana gelebilecek içsel gerilmelere yeterli direnç gösteremeyecek ve çatlayacaktır [8]. Betonda geçirimsizlik elde etmek amacıyla üretilmiş yağ alkolü ve amonyum tuzu esaslı bazı hava sürükleyici katkıları kullanılmasıyla hem daha düşük su/çimento oranına sahip beton hem de donma- çözülme etkisine karşı dayanıklı betonlar elde edilebilir [21].

3.5. Sertleşmiş Betonda Hacim Değişikliği

Yapıların tasarım hesapları yapılırken betonun zamanla belirli sıcaklık, bağıl nem ortamında ve yük altında ne kadar deformasyon yapacağı gözönüne alınmalıdır. Bu durum betonun durabilitesi ve hizmet ömrü açısından son derece önemlidir. Büzülme miktarının hesaplanmasında ortamın bağıl neminin önemli bir rolü vardır. Betonda hacim sabitliği aranan bir özelliktir. Betonda hacim değişiklikleri betonun servis ömrü boyunca yapısal yönden önemli bir deformasyon meydana getirmemelidir. Genel olarak hacim değişimi ıslanma ve kuruma sonrası meydana gelen genleşme, büzülme ve yük altında zamanla meydana gelen sünme olayından ileri gelmektedir. Büzülmenin önemli iki zararı vardır. Bunlardan birincisi betonda çatlakların oluşması, ikincisi de betonarme donatıda parazit gerilmelerin oluşmasıdır. Çatlaklar, betonun özellikle çekme dayanımını düşürürler. Ayrıca geçirimliliğin artması nedeniyle betonun kimyasal etkilere ve dona dayanıklılığını azaltıp, donatının korozyonunu kolaylaştırır. Betonlarda rötre olayı çok çeşitlidir [19]. Hacim değişikliği sertleşmiş betonun sulanma veya kuruma değişikliğinden dolayı genleşme, büzülmesi, sabit yük altında sünmesi gibi deformasyonlardır.

3.5.1. Kuruma (Hidrolik) Büzülmesi

Beton içindeki suyun fiziksel ve kimyasal nedenlerle buharlaşması veya kaybolması sonucunda beton hacminde meydana gelen küçülmeye büzülme (rötre) denir. Betonun kuruması fiziksel bir olaydır. Kuruma büzülmesi, sertleşmiş betondaki suyun bir bölümünün buharlaşarak kaybolması sonucu meydana gelir. Bu olay betonun şeklinde ve hacminde değişmelere yol açmaktadır.

3.5.2. Termik Büzülme

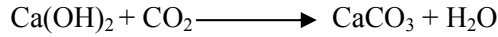
Pirizi sona eren ve sertleşmeye başlayan betonda hidratasyon ısının bütün kütleyi ısıtmaya yetecek kadar artmaması sonucu, kütle soğumakta ve bir büzülme olayı meydana gelmektedir. Bu tip büzülme (Rötre) baraj gibi kütle betonlarda meydana gelir. Kütle betonun iç kısmı yavaş, yavaş soğumakta iken dış kısım ise daha hızlı soğumaktadır. Bunu neticesinde betonda farklı gerilmeler meydana gelir ve kılcal çatlaklar oluşur.

3.5.3. Plastik Büzülme

Plastik büzülme, beton yüzeyindeki suyun çok hızlı buharlaşmasıdır. Beton yüzeyindeki suyun buharlaşma hızı, betonun terleme(kusma) hızından daha fazla olduğu takdirde, beton yüzeyi kuruyarak büzülme eğilimi göstermektedir. Ancak, yüzeyin altındaki beton kütle halen plastik bir durumda olduğundan ve betonun yüzeyi ile aynı ölçüde büzülme gösteremediğinden, betonun yüzeyinde çatlaklar oluşmaktadır. Betonun göstereceği büzülme miktarı, büyük ölçüde betonun sıcaklığına, havanın sıcaklığına, rölatif nem miktarına ve rüzgarın hızına bağlıdır [17]. Sıcaklık ve rüzgarın hızı arttıkça su kaybı artar. Bağlı nem arttıkça su kaybı azalır.

3.5.4. Karbonatlaşmadan İleri Gelen Büzülmesi

Daha önce anlatıldığı gibi çimento hamuru jelinin yapısında bulunan kalsiyum hidroksit Ca(OH)_2 havadaki CO_2 gazı ile birleşerek CaCO_3 ve bir miktar su meydana getirmektedir. Karbonatlaşma sonucu ortaya çıkan suyun buharlaşma vb nedenlerle kaybolmasıyla çimento hamuru bir miktar büzülmemektedir. Kalsiyum hidroksitin çözünmesiyle beton içerisindeki mevcut alkalın ortam daha düşük düzeye inmektedir. Karbonatlaşma sonucunda betondaki kalsiyum hidroksit miktarı azalmakta, betonun pH değeri düşmektedir. Böyle bir ortamda çeliğin korozyonu daha kolaydır. Geçirimsizliği yüksek betonlara daha çok su ve oksijen girebilmekte ve çelik daha çabuk etkilenmektedir.



Karbonatlaşmanın gerçekleşme hızı, betonun geçirimsizliğine, havadaki CO_2 ve bağlı nem miktarına bağlıdır. Betondaki karbonatlaşmayı azaltmak için yapılması gereken en önemli işlem, betonun olabildiğince geçirimsiz olması gerekir [14]. Betonun geçirimsiz olması karbonatlaşmayı doğrudan etkilemektedir. Geçirimsiz betonda hava akımıyla içeri CO_2 girmesi sınırlandırılacaktır. Böylece karbonatlaşma sonucu oluşan suyun betonda donma ve donatısına zarar vermesi, karbonatlaşma sonuç su kaybına bağlı meydana gelebilecek büzülme önlenmiş olacaktır. Beton hidratasyonu 12.5 dolayında pH ile silikalar ve kalsiyum hidroksitten meydana gelir. Atmosferde %0.03 civarında bulunan karbondioksit, sertleşmiş çimentonun yapısındaki kalsiyum hidroksit, Ca(OH)_2 ile reaksiyona girer. Beton yüzeyinde bir kabuk gibi başlar ve reaksiyon devam ettikçe betonun içine nüfuz eder. Betonun geçirimsizliği fazla ise karbonatlaşma çelik donatıya kolayca ulaşır ve betonun pH değerini 8- 9'e düşürerek donatının korozyonuna neden olur. Korozyonla demirin hacmi 2.5 kat artar. Bu artış betonda iç gerilmeler meydana getirir. Karbonatlaşmaya, karbondioksit karşı düşük geçirgenliği olan ancak su buharının geçmesini sağlayan esnek(fleksibl) zar örtü kullanılabilir [22].

3.5.5. Sertleşmiş Betonda Sünme Deformasyonu

Betonda sünme, büzülmenin yanında sabit yük altında zamanla oluşan şekil değiştirme olarak tanımlanır. Sünme deformasyonu zamanla artmasına rağmen artış oranı giderek azalmaktadır. Sünme olayı da büzülme olayı gibi tamamen geri dönmez [10]. Ortamdaki bağıl nem miktarı, betonun sünme deformasyonunu önemli ölçüde etkilemektedir. Genel olarak düşük rölatif nem ortamına maruz kalan betonlarda sünme miktarı daha çok miktarda olmaktadır [17]. Yapılan deneyler, sünme kısalmasının beton dayanımının 0.20 ~ 0.50 değerleri altındaki gerilmelerde yükle orantılı olduğunu göstermiştir. Yük sürekli tutulduğunda, sünme ile başlangıçtaki ani elastik kısalma, 1.3 ~ 4.15 arasında değişen ve ortalaması 2.35 kabul edilebilecek bir katsayı ile artar. Bu değerler betonun sertleşme sırasında gördüğü işleme, yükleme ortamının nemine ve betonun yükleme sırasındaki yaşına bağlıdır. Sünme ile büzülmenin bağlı olduğu parametreler çok benzerdir. Büzülmesi düşük olan betonun sünmesi de düşük olur. Sünme, elastik kısalma mertebesinde büyük olduğu için, kiriş ve döşemelerde sehimlerin zamanla artmasına sebep olur. Betonarme kesitlerde sünme etkisiyle betondaki gerilmeler azalırken, donatıdaki gerilmeler artar. Bunun yanında sünmenin faydalı yönü olarak kabul edilen yönleri de vardır. Sünme sebebiyle zorlanan elemanlarda şekil değiştirme ve yer değiştirmelerin artması ile zorlanan elemanlardaki etkiler daha az zorlanan elemanlara geçer [11]. Sünme, sabit yük altında artan şekil değiştirme özelliği olarak tanımlanır. Diğer etkiler, büzülme termal şekil değiştirme gibi ekiler çıkarıldıktan sonra elde edilir. Örneğin, bir döşemeden kalıp söküldükten sonra döşeme şekil değiştirir. Bu ilk şekil değiştirme elastik şekil değiştirme olarak tanımlanır. Zamanla yük etkisiyle sünme deformasyonu meydana gelir. Sünme, öngermeli elemanlarda çekme gerilmelerini azaltır ve kolonlarda kısalmalara neden olur ve betondan donatıya olan yük transferini azaltır. Ancak sünme faydalı da olabilir. Sözgelimi, kuruma rötresi, termal gerilme veya yükleme nedeni ile oluşan gerilmeleri azaltır [23].

3.5.6. Betonun Elastisite Modülü

Elastisite, gerilme ile birim şekil değiştirme arasındaki orandır. Beton tam bir elastik malzeme olmadığı için gerilme-şekil değiştirme arasındaki oran sabit değildir. Elastisite önemli bir değerdir. Örneğin döşemelerde sehim hesaplamalarında, öngermeli elemanların hesaplamalarında kullanılır. Ayrıca kalıcı yük altında kolon kısalmalarında da “E” etkilidir [23]. Betonlarda dinamik ve statik olmak üzere iki türlü elastik modülünün tanımına yer verilmektedir. Dinamik elastik modülü bir beton örneğinin içinden geçirilen ses dalgalarının frekansı ile ölçülebilir. Statik elastikiyet modülü, gerilme-deformasyon eğrisinin bir “M”

noktasının koordinat merkezine birleştiren “OM” doğrusunun eğimidir [22].

TS 500’de Elastisite modülü

$$E_{cj} = 3250 \sqrt{f_{ckj}} + 14000 \text{ N/mm}^2 \quad (3.6)$$

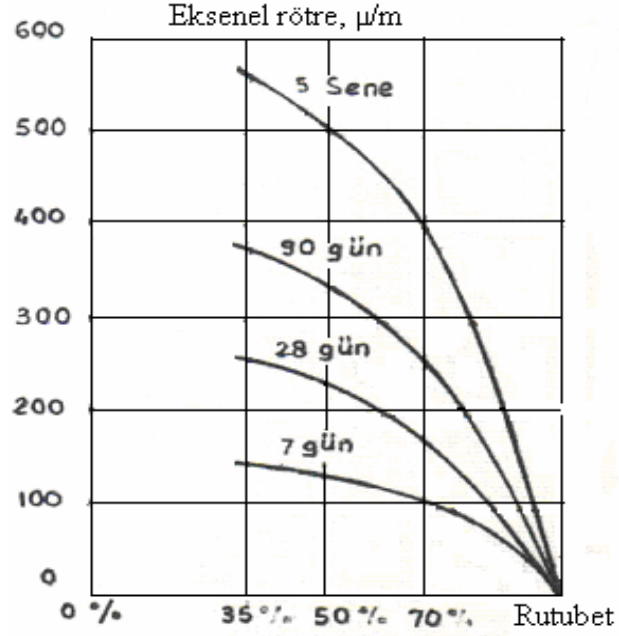
olarak verilmiştir. Bağıntıdaki $f_{ckj,j}$ günlük betonun karakteristik silindir basınç dayanımıdır [12].

4. NEM

Hava içinde bir çok gaz bulunur. Bu gazlardan bazılarının oranı sabittir. Bazılarının ise farklı faktörlere bağlı olarak değişkendir. Değişken gazlardan yapı bakımında en önemlisi su buharıdır. Havadaki su buharının nem olarak tanımlandığını ve su buharının hiçbir zaman hava hacminin %4'ünü aşamayacağını daha önce vurgulamıştık. Her sıcaklıkta havada su buharı bulunur ve yapı elemanlarına zarar verir. Su buharı yoğunlaşması (kondenzasyon) olayının hava ve yapı elemanları nemliliği ile yakın ilişkisi vardır. Bu hareketin en iyi bilineni su buharı geçişidir. Yapı elemanlarının bir çok rutubetlenme olayının arkasında su buharı difüzyonu ve yoğunlaşma gerçeği vardır. Havanın su buharı alabilmesi, havanın sıcaklığına ve havanın su buharına doyma derecesine bağlı olarak değişmektedir. Neme doymuş bir havaya daha fazla buhar vermeye kalksanız bu su olarak geri yoğunlaşır. Doymuş havanın ısısının düşürülmesi halinde de su buharının bir kısmı yoğunlaşacaktır. Havanın sıcaklığındaki artış, havanın taşıyabileceği su buharını arttırır. Su moleküllerinin sadece sıvı halde değil, buhar halinde de hareket kabiliyetlerinin olduğunu; gaz ve sıvı ortamlarında sıcaklığı çok olan yerden sıcaklığı az olan yere bir akım olacağını daha önce anlatmıştık. Yani fazla su buharı ihtiva eden taraftan, su buharı az olan tarafa bir buhar akışı başlar. Hava molekülleri su moleküllerinden daha büyüktür. Yani havanın geçmesine mani olan bir katmandan su buharı kolaylıkla geçebilir. Buharın betonda yoğunlaşmasıyla, betonda korozyon, donma, küflenme ve aderans kaybı gibi olaylar gelişebilir. Betona nüfuz eden su buharı beraberinde betona zarar verebilecek kimyasalları da taşıyabilir. Ancak betonun hidrasyonuna ortamın neminin büyük faydası olduğundan betonun en önemli özelliği olan dayanım kazanmasına katkıda bulunacağı da bilinen bir gerçektir [24].

Çimentonun hidrasyonu sırasında kapiler boşluklar içerisindeki bağıl nem %80 seviyesinin altına düştüğü durumlarda hidrasyon durma mertebesine gelmektedir [25].

Beton katılaşmaya başlayınca havanın bağıl nem oranı ne kadar düşük ise betondan buharlaşacak su okadar çok olur. Böylece rötre deformasyonu büyük olacaktır. Başka bir deyişle nem oranı yüksek olması halinde hem buharlaşmayı yavaşlatarak ve hem de betona ilave bir su kaynağı gibi C-S-H jellerin oluşumuna katkı sağlayacaktır. Ancak katılaşma süresinden (ilk bir ay) sonra bağıl nemin mevsimler özelliklere göre donama -çözülme, korozyon karbonatlaşma, çiçeklenme gibi olumsuz tesirleri de olmaktadır. Ayrıca sürekli su içinde(%100 bağıl nem) tutulan betonlarda şişme meydana gelmektedir.



Şekil 4.1. Rutubet derecesine göre zamanla meydana gelen eksenel rötre [26].

Ülkemizde havanın nem derecesi önemli değişiklikler göstermektedir. Ay ortalamalarına göre bölgelere göre nem oranları Tablo 4.1’de verilen değerler arasında değişmektedir [26].

Tablo 4.1. Bölgesel nem oranları [26].

Bölge	Nem oranı (%)
Marmara Bölgesi	67-77
Karadeniz Bölgesi	68-78
Ege Bölgesi	61-71
Akdeniz Bölgesi	60-71
Orta Anadolu Bölgesi	55-72
Güney Doğu Anadolu Bölgesi	49-59
Doğu Anadolu Bölgesi	54-70

4.1. Mutlak Nem (W)

Havanın birim hacmi içinde bulunan su buharının birim kütlesine(miktarına) denir. Buna su buharı yoğunluğu da denir. Birimi gr/m^3 veya kg/m^3 tür.

$$W = M_B / V$$

Mutlak nem miktarı kuru hava için gr/m^3 olarak verilir. Ancak teknik olarak yalnızca su buharı basıncıyla ifade edilir. Havanın yoğunlaşma sıcaklığı, büyük ölçüde havanın bağıl nemine bağlıdır [27].

Tablo 4.2. Sıcaklığa bağlı olarak havanın maksimum nem miktarı [27].

t, Sıcaklık (°C)	Nem Miktarı (gr/m^3)	t, Sıcaklık (°C)	Nem Miktarı (gr/m^3)
-20	1.05	16	13.59
-15	1.58	18	15.31
-10	2.30	20	17.22
-8	2.69	22	19.33
-6	3.13	24	21.68
-4	3.64	25	22.93
-2	4.22	26	24.24
0	4.98	28	27.09
2	5.60	30	30.21
4	6.39	32	33.64
6	7.23	34	37.40
8	8.23	36	41.51
10	9.39	39	46.00
12	10.64	40	50.91
14	12.03		

4.2. Havanın Neme Doyma Miktarı (Ws)

Hava, sıcaklığa bağlı olarak belirli bir miktarda buharı bünyesinde tutabilir. Sıcaklık düştükçe, havanın içinde tutabileceği buhar miktarı hızla azalır. Bu durumda hava kararsız haldedir ve en ufak bir sıcaklık düşmesi ile bir kısım buhar yoğunlaşarak su halinde açığa çıkar. Yoğuşma bazen görünür yoğuşma olarak ortaya çıkar. Buna terleme de denir. Terleme daima elemanın sıcak yüzünde görülür. Bazen de yoğuşma yapı elemanın içinde gerçekleşir. Buna gizli yoğuşma denir. Betonun buna maruz kalması durumunda donatının korozyonu sözkonusu olabilir [6]. Birim hacimdeki havanın belirli bir sıcaklık içinde tutabileceği maksimum buhar miktarına doymuş buhar miktarı denir. Birimi gr/m^3 'tür. Nem ile ilgili bilinmesi gereken önemli noktalardan birisi de hangi sıcaklıkta su buharının doyma basıncına ulaştığı ve mutlak nemliliğin maksimum olduğunun bilinmesidir [28].

Tablo 4.3. Sıcaklığı göre doyma noktası ve maksimum nemlilik [28].

Sıcaklık	Doyma Noktası/Kısmi Basınç	Maksimum Nemlilik
°C	PA(PS)	$f_{\max}$ g/m ³
-20	103	0,88
0	611	4,84
20	2337	17,29
40	7375	51,16
60	19920	130,20
80	47360	293,30
99	97760	578,00

4.3. Bağlı (Rölatif) Nemlilik (ϕ)

Bağlı (rölatif) nem havanın nemlilik oranını % olarak tarif etmektedir. İngilizcede “relative humidity” olarak kullanılmaktadır. Bu terim bazı uygulamalarda nisbi nem olarak da adlandırılır [6]. Hava içindeki su buharı kütesinin(miktarının) aynı şartlardaki hava içinde bulunabilecek maksimum su buharı kütesine oranına denir.

$$\phi = W/W_s$$

Örneğin, Şu anda içinde bulunduğumuz 1m³ hava maksimum 32 gr su taşıyabiliyorsa ve bağlı nem oranı da %54 ise, şu anda her 1m³ havanın içinde 32 x 0.54 = 17.3 gr su buharı bulunduğunu söyleyebiliriz. Hava içindeki su buharının ortamın sıcaklığının düşmesi sonucu sis, su veya buz şeklinde ortaya çıkmasına yoğuşma denir [29]. Bir malzemenin bilinmesi gereken önemli kriterlerinden birisi de nemliliğidir.

Tablo 4.4. Bazı malzemelerin kuru durumlarındaki nem oranları [6].

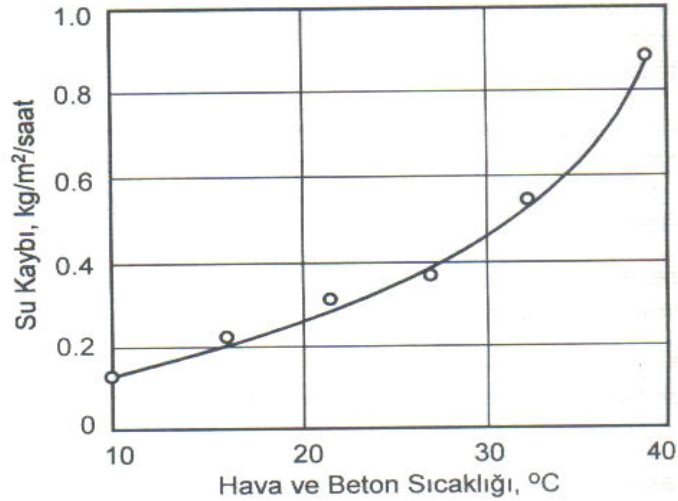
Malzeme	Kuru durumdaki nem oranı, %
Hafif beton	1.00-5.00
Yoğun beton	0.50-1.75
Sıva	0.20-1.00
Tuğla	0.25-0.75

5. BAĞIL NEMİNİN BETONUN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Bağıl nemin betonun bir çok özelliği üzerinde etkisi büyüktür. Bu etki betonun taze halinde başlar, sertleşme halinde devam eder ve yıllarca sürebilmektedir.

5.1. Çevre Şartları

Betonun kalıbına yerleştirme (taze) aşamasından katılarak dayanım kazanmaya devam etme süresince çevre koşullarının betonun üzerinde büyük etkisi vardır. Bu aşamada hidrasyon olayının normal bir şekilde gelişmesini engelleyen faktörler vardır. Sözgelimi beton karışımına giren suyun ancak %25 kadarı hidrasyonda kullanılmaktadır. Hidrasyon için gerekli olan sudan daha fazlası betona konsa da yinede hidrasyon süresince bu suyu betonda tutmak zor olduğundan, beton sertleşme aşamasında hidrasyon için ilave nem ve suya ihtiyaç duymaktadır. Üç önemli çevre faktörü vardır. Bunlar ortamın sıcaklığı, bağıl (rölatif) nem derecesi ve rüzgardır. Şayet havanın sıcaklığı fazla ise bu durumda buharlaşma fazla olacağından ve hidrasyon için gerekli su miktarı tükenecektir.

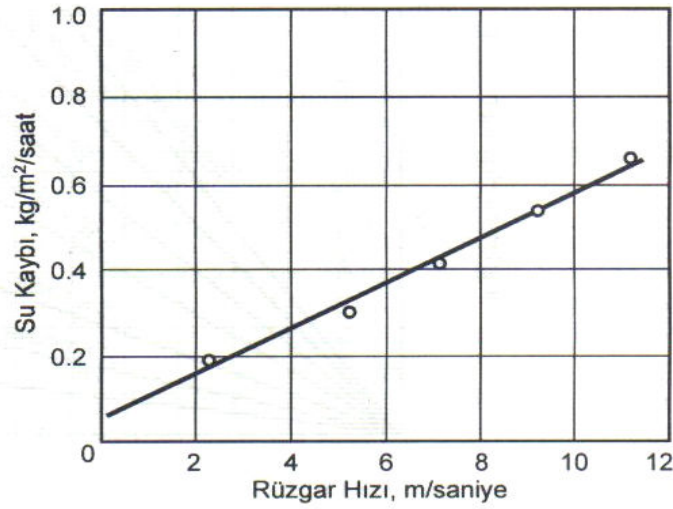


Şekil 5.1. Beton ve hava sıcaklığının betonun su kaybına etkisi [17].

Beton için uygun hava sıcaklığı + 5°C ile + 30°C olduğu belinse de çimento hidrasyonu belirli sıcaklık aralıklarında ideal gelişir. Bu sıcaklık aralığı 10°C ile 15°C'dir. Yapılan bir araştırmada iki saat +2°C ve +18°C tutulup daha sonra +18°C kür edilen örnekler kıyaslanmış ve +2°C sıcaklığa başlangıçta maruz kalan örneklerin 28 gün sonunda %10 daha

fazla dayanıma sahip oldukları gözlenmiştir. İlk 24 saat 38°C'lik sıcaklığa maruz kalan örneklerin sürekli 23°C'de kür edilen örneklere kıyasla 28 günlük dayanımlarında %9'dan 12'ye kadar azalmaların görüldüğü rapor edilmiştir [30].

Genellikle bağıl(rölatif) nemin %50'nin altında olması kuru hava olarak değerlendirilir. Bağıl nemin azalması, beton içerisindeki suyun daha çok buharlaşmasına yol açacaktır [22].



Şekil 5.2. Bağıl nemin %70, sıcaklığın 21°C olduğu koşullarda rüzgar hızının betondaki su kaybına etkisi [17] .

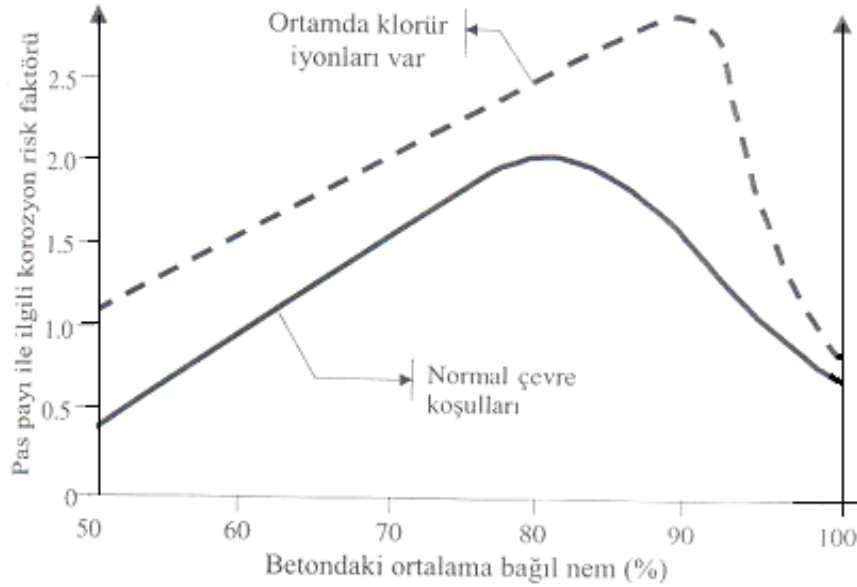
Havanın rüzgarlı olması buharlaşmayı arttırdığı için hidrasyon için gerekli olan su kaybını arttıracaktır. Yüksek sıcaklık ve rüzgarın olumsuz etkisine sertleşme aşamasında betona ilave bir rutubet sağlamak gerekmektedir. Bunun için betona ilave nem (su) veya mastardan sonra buharlaşmayı önleyecek sıvı kür maddeleri sürülür. Yine sıcaklığın çok düşük olması halinde de suyun don etkisine karşı betona ilave ısı sağlanmalıdır. Bunun için ortama sıcak buhar veya ısı verilir. Avrupa Beton Komitesi (CEB) tarafından ortamın nem durumunun betonun kalıcılığı üzerindeki etkisi aşağıdaki Tablo 5.1'de gösterildiği şekilde değerlendirilmektedir.

Tablo 5.1. Nemin beton kalıcılığı üzerindeki etkisi [4].

Efektif Bağıl Nem,%	Bozulma İşlemi				
	Karbonatlaşma	Çeliğin Korozyonu		Don Etkisi	Kimyasal Etkiler
		Karbonatlaşmış Beton	Klor Etkisinde Kalmış Beton		
Çok Düşük (<45)	1	0	0	0	0
Düşük (45 – 65)	3	1	1	0	0
Orta (65 – 85)	2	3	3	0	0
Yüksek (85 – 98)	1	2	3	2	1
Doygun (> 98)	0	1	1	3	3

0 = Risk yok, 1 = Düşük risk, 2 = Orta risk, 3 = Yüksek risk

Yukarıdaki tabloda verilen değerler, diğer faktörlerin aynı kalması durumunda geçerlidir. Çünkü pas payı, betonun geçirimsizliği gibi faktörler bozulma riski katsayısını değiştirir. Donatı korozyonu üzerinde nemin etkisi normal çevre koşulları ve klorürlerin bulunduğu ortamda farklılık gösterir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi, % 60 – 65 nem içeren normal koşullarda atmosferik koşullarda korozyon riski 1 ise, klorür içeren ortamda aynı nem derecesi için risk 1.5'e yükselmektedir. Bu durumda, örneğin pas payı kalınlığı projelendirmede 3 cm alınmış ise, bu değerin 4.5 cm'ye çıkarılması gerekir [4].



Şekil.5.3. Betondaki ortalama bağıl nem ile pas payı korozyon risk faktörü [4].

5.2. Nem İçinde Zararlı Maddelerin Varlığı

Nem betona nüfuz ederken beraberinde pek çok zararlı maddeleri de betona taşır. Nem içinde zararlı kimyasal maddelerin en çok rastlanılanları aşağıya çıkarılmıştır.

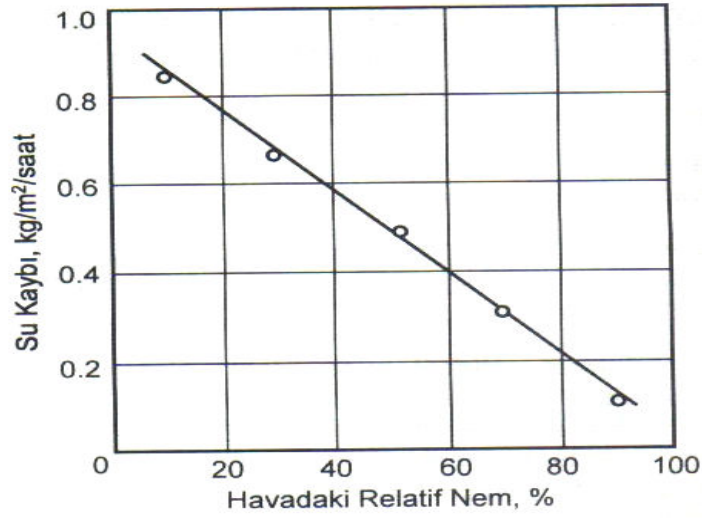
- a) Karbondioksit - Karbonatlaşma olayına yol açar.
- b) Oksijen - Donatının korozyonuna yol açar.
- c) Klorürler - Donatı korozyonuna yol açar.
- d) Asitler - Çimentoyu eritir.
- e) Sülfatlar - Çimento ile genleşen reaksiyona yol açar.
- f) Alkaliler - Agrega ile genleşen reaksiyona yol açar.

Yukarıdaki şekilde tuzlu ortamların normal çevre koşullarına kıyasla korozyon riskini arttırdığı görülmektedir. Yatay eksenindeki bağıl nem beton içindeki etkin nem yüzdesidir. Klorür iyonlarının ortamda bulunmaları halinde higroskopik (nem tutucu) etki nedeni ile betonun su içeriği artar [4].

5.3. Bağıl Nemin Beton Dayanımı Üzerindeki Etkisi

Ortamın bağıl (Rölatif) nemin betonun dayanımı üzerine doğrudan bir etkisi vardır. Kalıbına yerleştirilen taze beton zamanla katılaşarak dayanım kazanmaya başlar. Genellikle 28 günde yaklaşık dayanımının % 70'ini tamamlar. Geri kalan kısmını da zamanla daha yavaş artan değerlerle hidrasyon için gerekli olan nem, su bulabilirse tamamlar. Her zaman havada az da olsa nem vardır. Beton hidrasyon için gerekli olan ıslaklığı havadaki nemden alabilir. Böylece havadaki nemin beton dayanımına olumlu bir katkısı olabileceğini söyleyebiliriz. Yapılan deneylerde ortamın bağıl nem oranının yüksek olması halindeki beton dayanımı, kuru ortamda betonun kazanacağı dayanımdan daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Yapılan bir deneyde ortamın ısısı 21°C ve rüzgar hızı 4.5 m/sn'de sabit tutulmuş ve ortamın bağıl nem oranı değiştirilerek betondaki buharlaşma gözlemlenmiştir. Bu deneyde ortamın bağıl neminin düşük olması halinde buharlaşmanın (su kaybının) daha fazla olduğu görülmüştür. Örneğin aynı şartlarda, bağıl nemi %50 civarında iken saatteki su kaybının yaklaşık 0.5 kg/m² olduğu görülmektedir. Bu değer aynı zamanda su kaybından kaynaklanan betonun çatlama olasılığının olduğu sınırdır. Su kaybının yüksek olması ile beton hidrasyon için gerekli nemi bulamadığı ve dolayısı ile dayanımının düşeceği demektir.



Şekil 5.4. Isısı 21°C, rüzgar hızı 4.5 m/sn olan ortamda değişik bağıl nem oranlarının beton suyunun buharlaşması üzerindeki etkisi [17].

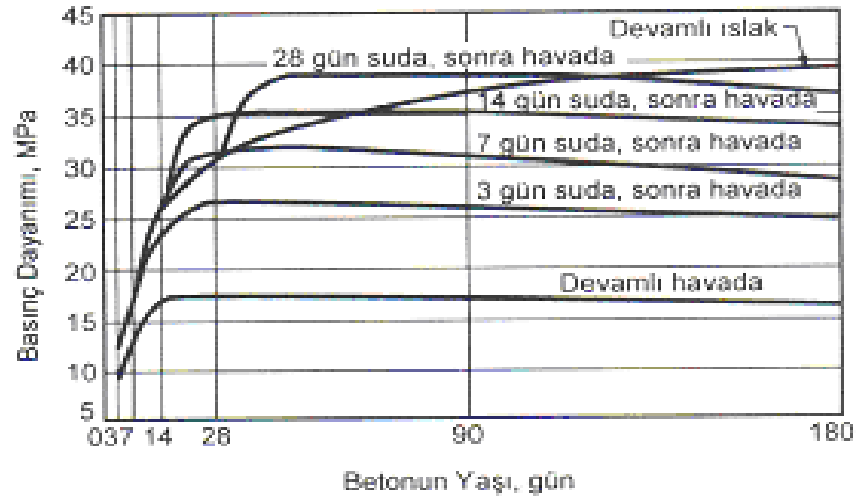
Yapılan başka bir araştırmada Su/çimento oranı 0.5 olan numuneler bir kısmı sırasıyla 3, 7, 14 ve 28 gün suda bekletilmiş daha sonra sudan çıkarılarak havada bekletilmiş. Bir kısmı ise sürekli ıslak ortamda muhafaza edilerek bunların zamanla basınç dayanımlarının nasıl değiştiği incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre numuneler su kürüne tabi tutulduğu sürece basınç dayanımlarının yüksek olduğu ancak sudan çıkarılıp havaya alındığında hidratasyon için gerekli olan nemi havada yeterince bulamayınca dayanımlarında azalma görüldüğüdür. Grafikten de anlaşılabileceği gibi en istikrarlı dayanımın, devamlı ıslak tutulan numunelerden elde edilen dayanımdır.

Ayrıca deneyden çıkarılan bir başka sonuç ise bağıl nemi düşük havada bekletilen numunelerin dayanımının oldukça düşük olmasıdır. Bu durum bir anlamda havadaki su buharı anlamına gelen bağıl nem ortamının beton üzerinde olumlu etkisinin olacağı sonucu da çıkarılabilmektedir [17].

Dayanım kazanma (olgunluk evresi) aşamasında betona çeşitli şekillerde ve yeterince nem sağlanmalıdır. Bunun için iki yöntem uygulanabilir.

Birincisi betonun sık sık ve devamlı sulanması, ıslak çuvallarla örtme, buhar verme, kum ve nemli toprak ile kapatmak.

İkincisi ise mastarı biter bitmez beton yüzeyini piyasadan hazır olarak temin edilebilecek sıvı kür maddeleri ile kaplamak [31].



Şekil 5.5. Değişik kür şartlarındaki betonun zamanla basınç dayanımındaki değişim [17].

Prefabrik beton yapı elemanlarının üretiminde bağıl nemi %100 olan 60-65 °C uygulanarak mukavemet artışı hızlandırılır. Bu yöntemle 1-2 gün gibi kısa bir sürede beton dayanımı istenilen seviyeye ulaşır [22]. Cebeci tarafından yapılan araştırmada hazırlanan 10 cm ayrıtlı küp örnekleri 17 °C ve 33 °C sıcaklıklar ile %75 ve %33 bağıl nem oranlarında kür edilmişlerdir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5.2. 10 cm küp örneklerin değişik kür koşullarındaki basınç dayanımları (MPa) [30].

Yaş(gün)	Su içerisinde		%75 bağıl nemde		%37 bağıl nemde	
	17 °C	33 °C	17 °C	33 °C	17 °C	33 °C
7	18	23	14	18	14	17
28	28	32	19	22	17.5	18
90	33	32.5	23	24	18.5	21
180	35	34	24	25	19	20.5
360	37	34.5	25.5	25.5	18.5	20.3

Elde edilen sonuçlara göre sıcaklığın artışı ile birlikte ilk günlerdeki dayanımlar artmakta ancak ileriki yaşlardaki dayanımlar düşmektedir. Ayrıca bağıl nemdeki düşüş ile birlikte dayanımlar 7 gün için çok farklılık oluşturmakta ancak 7 günden sonra dayanım gelişiminin durduğu hatta ileriki yaşlarda dayanımda düşüşlerin olduğu görülmektedir [30].

5.4. Bağıl Nemin Betonun Kuruması Üzerindeki Etkisi

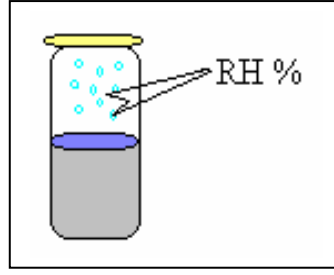
Beton, belirli bir sürede ve donma sıcaklığının üzerindeki belirli bir sıcaklık aralığında (10-15°C ideal) sertleşir ve istenen dayanıma ulaşır. Betonun dayanım kazanmasına neden olan çimento hidratasyonu ortam sıcaklığı, nem, kür koşulları ve zamana bağlı bir olaydır. Her kimyasal reaksiyon gibi sıcaklıkla birlikte hızlanmakta, soğuk ortamda da yavaşlamaktadır. Hidratasyon hızı ve buna bağlı olarak mekanik özelliklerin artımı zamana bağlı olarak azalarak devam etmektedir. Devamlı su içerisinde kür edilen betonun dayanım artışı 10-15 yıl kadar devam eder. Betonarme yapılarda standart koşullarda (yaklaşık 20±2°C sıcaklık ve sürekli nemli ortam) kür edilen betonun 28 günlük dayanımı esas alınır. Bu değer aslında atmosferik koşullardaki dayanımı temsil etmemektedir [30].

Amerikan Beton Enstitüsü Komitesi (ACI Committee 302) stratejik gelişme konseyinin bir takım deneysel çalışmalar yayımlamıştır. Bu çalışmalardan bir tanesi de çevresel nemin betonun kuruma süresi üzerindeki etki ile ilgili Abrams ve Orals'ın ele aldığı çalışmadır. Bu çalışmaya göre, 3 ft kare şeklinde ve 6 inç kalınlığında beton levha sabit 22°C (70 F) sıcaklığında ve dış nemi % 10, %35, %50 olan şartlar altında levhanın içindeki nem ölçülmüştür. Bu çalışma sonucunda dış ortamdaki nemin düşmesi ile numunelerin daha hızlı kuruduğu ortaya çıkmıştır. Yine çalışmaya göre sözgelimi ortamın bağıl nemi %35 iken numune merkezindeki iç nemi %95, %75, % 50 iken kuruma süresi sırasıyla 1.0, 3.7 ve 28 aya varmaktadır. Ayrıca Tablo 5.3'te görüldüğü gibi iç bağıl nem rakamı ne kadar düşük ise verilen çevresel nem rakamına ulaşması okadar uzun zaman alır.

Tablo 5.3. Ortamın bağıl nem oranının betonun kuruma süresi üzerindeki etkisi [32].

Havanın Bağıl Nemi %	Kuruma Süresi (Farklı beton iç nem oranları için), ay		
	%95 RH (Bağıl nem)	% 75 RH	% 50 RH
10	0.6	2.7	20.5
35	1.0	3.7	28.0
50	1.2	8.0	--
75	1.2	--	--

Yine betondaki hidratasyon gelişimi ile betonun bulunduğu ortamdaki bağıl nem ilişkisini anlatan başka bir çalışma da Gause ve Tucker'in önceki sonuçlarına dayanan ve Power tarafından rapor edilen deneydir. Bu deneyde taze çimento hamuru kapalı kavanozlar içine konuldu.



Şekil 5.6. Kapalı kavanoz deneyi

Kavanozlar periyodik olarak açıldı ve hamurun üzerindeki boşluktaki havanın rölatif nemi ölçüldü. Ölçülen nem, baştaki su-çimento oranına bağlı olarak, %90, %80 dolaylarından başlayarak yavaş yavaş azalıyordu. Çünkü çimento hamuru hidratasyon reaksiyonu nedeni ile mevcut suyu tüketti. Daha sonra yüzeydeki bütün su tükenince, devam etmekte olan reaksiyon, kavanoz içerisindeki rölatif nemi tüketti. Aynı zamanda reaksiyondan ortaya çıkan ürünler, önceden su dolu olan gözenek boşluklarını(geniş gözeneklerin çapını küçülterek ve bağıl nemini azaltarak) dolduruyordu. Kapalı sistemde, su tüketiminden dolayı azalan bağıl nem ile gözenek ebatının küçülmesi sonucundaki bağıl nem dengesindeki azalma arasında bir bağ vardır.Yine gözenek hacminin küçülmesi, gözeneklerdeki ıslaklığın bitmesi ve reaksiyonun sona ermesi neticesinde bağıl nem oranındaki azalma çevresel bağıl nem dengesindeki azalmadan daha büyüktür [33].

5.5. Bağıl Nem ile Çimento Tipinin Betonun Dayanımına Etkisi

Hidratasyon olayı, ayrıca çimento bileşenleri ve inceliği ile doğrudan ilişkilidir. Örneğin çimentonun inceliği, C_3A , C_3S , miktarları hidratasyon hızını artırırken, C_2S oranının fazla oluşu ve puzolanik madde varlığı hidratasyon olayını yavaşlatmaktadır. İnce çimentoların daha çok özgül yüzeye sahip olması nedeniyle kaba öğütülmüş çimentolara kıyasla daha hızlı hidratasyon yapmaları doğaldır. Son yıllarda çimento sektöründeki hızlı gelişme ve çimento bünyesine katılabilen katkıları sayesinde oldukça fazla sayıda çimento türü ortaya çıkmıştır. Doğaldır ki; her tip çimentonun, mekanik özellikleri, bu özelliklerin gelişimi, kimyasal etkilere karşı kalıcılıkları, hidratasyon ısıları vb. farklılık göstermektedir [30]. Çimento hamurunun devamlılığı için nemin varlığı gerekmektedir. Beton içerisindeki nemin azalmasına neden olan daha erken kurumadır. Klieger'in Tablo 5.3'de verilen deney verilerine göre, kurumanın erken olup olmadığını belirleyen etkenin betonun yaşından daha çok çimento hamurundaki hidratasyon miktarı olduğu görülmektedir.

Tablo 5.4. Çimento tipi ile farklı sıcaklık, bağıl nemlerde beton basınç dayanımı [30].

Çimento Tip	Sıcaklık **		28 gün	3 ay		1 yıl	
	°F	°C	%100 bağıl nem	%100 bağıl nem	%50 bağıl nem	%100 bağıl nem	%50 bağıl nem
I	73	23	41.7	43.8	48.7	49.5	48.9
	55	13	43.1	52.0	55.1	55.8	53.2
	40	4	35.7	49.1	48.3	53.3	45.5
	25	-4	10.9	43.3	29.6	50.7	31.4
II	73	23	39.6	43.5	50.2	47.6	48.7
	55	13	37.7	44.7	46.0	47.4	46.4
	40	4	43.1	53.3	55.7	59.0	56.9
	25	-4	27.7	44.3	44.8	47.8	46.3
III	73	23	34.8	44.6	48.7	51.3	46.6
	55	13	32.5	49.5	53.2	56.2	49.4
	40	4	22.7	49.3	43.8	54.4	44.3
	25	-4	4.7	43.8	19.2	53.7	20.8

* Tüm örneklerin çimento dozajı 310 kg/m³ ** İlk 28 gündeki hazırlama ve kür sıcaklığı

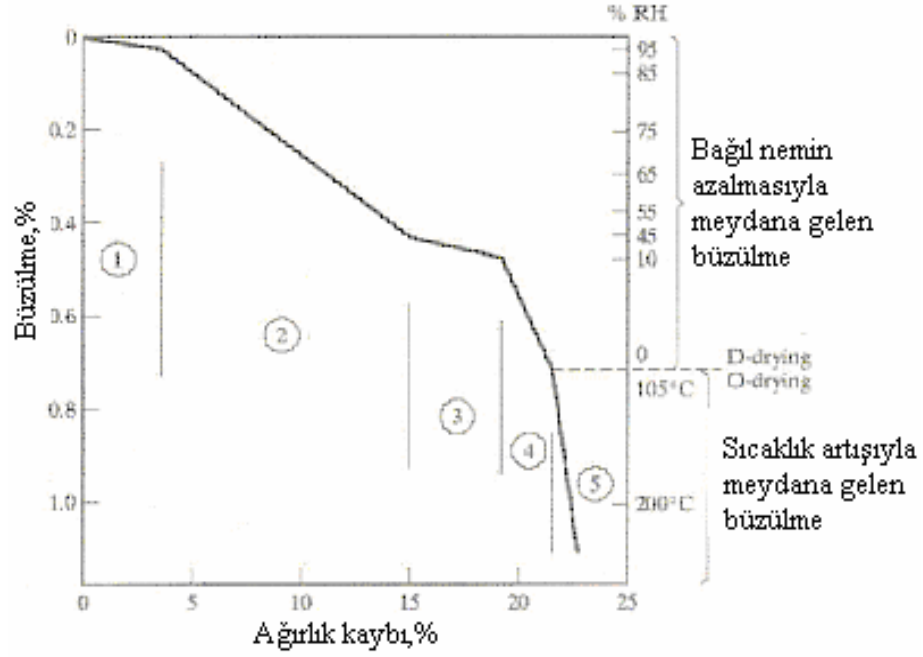
Tablo 5.3'deki deney verilerinde de görüldüğü gibi, ilk 28 gün değişik sıcaklıklarda %100 nemli kür odasında elde edilen 15 cm ayrıtlı küp örnekler üzerinde deneyler yapılmıştır. 28 günden sonra tüm örneklerin yarısı %100 bağıl nemde diğer yarısı %50 bağıl nemde olmak üzere tümü 23°C'de kür edilmişlerdir. 90. ve 365. günlük yaşlarda betonlar kırıldığında birkaç örneğin dışında %100 bağıl nem ile %50 bağıl nemde kür yapılmasının basınç dayanımları üzerinde belirli bir farklılık oluşturmadığı görülmektedir. Bu durumun istisnaları Tip I ve Tip II çimentoları ile hazırlanan betonların düşük sıcaklıklarda, özellikle 4°C'de kür edilmesinde görülmektedir. Bunun sebebi ise düşük sıcaklıklarda Tip I ve II çimentolarının hidrasyonunun büyük oranda yavaşlamasıdır. 28 gün yaş kür yapılması durumunda bile çimentonun büyük bir kısmı hidrate olmadan büyük oranda serbest nem ile birlikte kalmaktadır. Bu yüzden %50 bağıl nem ortamında bu serbest nem buharlaşarak ortamdan uzaklaşır ve beton içerisinde hidrasyonun devamı ve dolayısıyla dayanım kazanılması için yeterli nem kalmaz [30].

5.6. Bağıl Nemin Betonun Kuruma Büzülmesine ve Şişmesine Etkisi

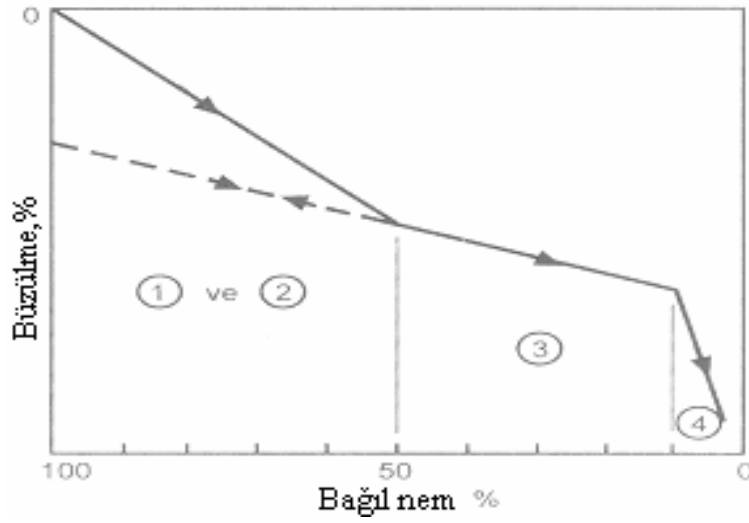
Beton içindeki suyun fiziksel ve kimyasal nedenlerle buharlaşması veya kaybolması sonucunda beton hacminde meydana gelen küçülmeye büzülme denir. Bu olay rötre olarak da anılmaktadır. Betonun kuruması fiziksel bir olaydır. Kuruma büzülmesi, sertleşmiş betondaki suyun bir bölümünün buharlaşarak kaybolması sonucu meydana gelir. Bu olay betonun şeklinde ve hacminde değişimlere yol açmaktadır. Ortamın bağıl nemi ile sertleşmiş betondaki büzülme arasında doğrudan bir ilişki vardır. Ortamın neminin yüksek olması sertleşmiş betondaki reaksiyona katkısının yanında sertleşmiş betondaki nemin hızla buharlaşarak büzülmenin büyümesine engel olabilmektedir.

Hava sıcaklığının yüksek olması, hızlı esen rüzgarın yanında ortamın bağıl nem oranının düşük olması sertleşmiş betondaki su kaybını ve dolayısı ile büzülmenin meydana gelmesine neden olacaktır. Kuru ortam devam ettikçe betonun su kaybı hızlı olmakta ve büzülme miktarında da artış görülmektedir. Büzülmeye maruz kalmış betonlar tekrar ıslatılsa bile büzülme olayı ortadan kalkmaz. Ayrıca hidratasyonunu büyük ölçüde tamamladıktan sonra kuru ortama maruz kalan betonların tekrar ıslak duruma getirilmeleri sonunda nispeten daha az kalıcı büzülme yer almaktadır. Sonuç olarak; bağıl nem miktarının azalması betonda kaybolacak su miktarını yükseltmekte, büzülmenin artmasına neden olmaktadır.

Aşağıdaki şekil 5.7’de görüleceği üzere hava sıcaklığının artması ve bağıl nemin azalması durumunda, önce çimento hamurunun içerisindeki serbest su buharlaşacaktır (1. safha), daha sonra kapiler boşluklardaki su kaybolmaya başlayacaktır (2.safha). Bağıl nem miktarındaki düşüş çok olduğu ve kuruma devam ettiği takdirde, çimento hamurundaki C-S-H jellerinin üzerinde absorbe edilmiş olan su molekülleri kaybolmaya başlamaktadır (3.safha). C-S-H jellerinin yapısında yer alan ve içerisi suyla dolu olan jel boşluklarındaki su kaybolmaktadır (4.safha). 5. safhada ise jellerin yapısı bozulmaktadır. Bir çok uygulamalarda betonun su kaybı ilk üç safhada gerçekleşmektedir [17].

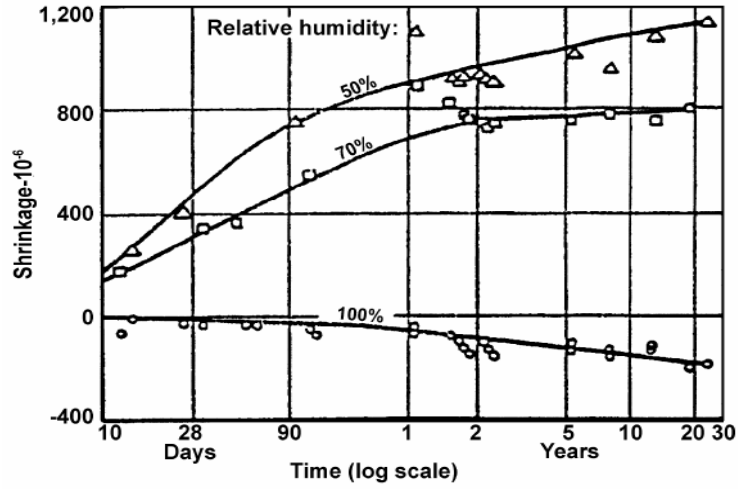


Şekil 5.7. Değişik nem ortamında büzülme ile su kaybı arasındaki ilişki [34].



Şekil 5.8. Çimento hamurunun büzülmesine bağıl nemin etkisi [17].

Bağıl nemin betonun nihai büzülmesi ve büzülme hızı üzerinde büyük bir etkisi vardır. Bu alanda yapılan çalışmalardan birisi, 1958'de Trovell, Raphell ve Davis tarafından ortaya konan sonuçlarda, rölatif nem azaldıkça nihai büzülme ve büzülme hızının daha da büyüdüğünü göstermiştir. Aynı zamanda aşağıda verilen şekil, betonun sürekli olarak suya maruz bırakılması halinde, betonun genişleyeceğini göstermektedir. Bu süreç şişme olarak da bilinir [35].



Şekil 5.9. Değişik bağıl nem ortamında betonlarda zamanla meydana gelen büzülme [35].

Yukarıdaki grafik incelendiğinde, 10. günde RH(bağıl nem) %100 iken büzülme sıfır olduğu, RH % 70 iken büzülme değeri,

$$\epsilon_b = 140 \times 10^{-6} \text{ olduğu ve RH\% 50 iken büzülme,}$$

$$\epsilon_b = 200 \times 10^{-6} \text{ değerine ulaşmaktadır.}$$

Örnek olarak 20. yılı ele alacak olursak, RH % -100 iken negatif büzülmenin yani şişme dediğimiz deformasyon yaklaşık olarak,

$$\epsilon_b = -180 \times 10^{-6} \text{ dir. RH \%70 iken,}$$

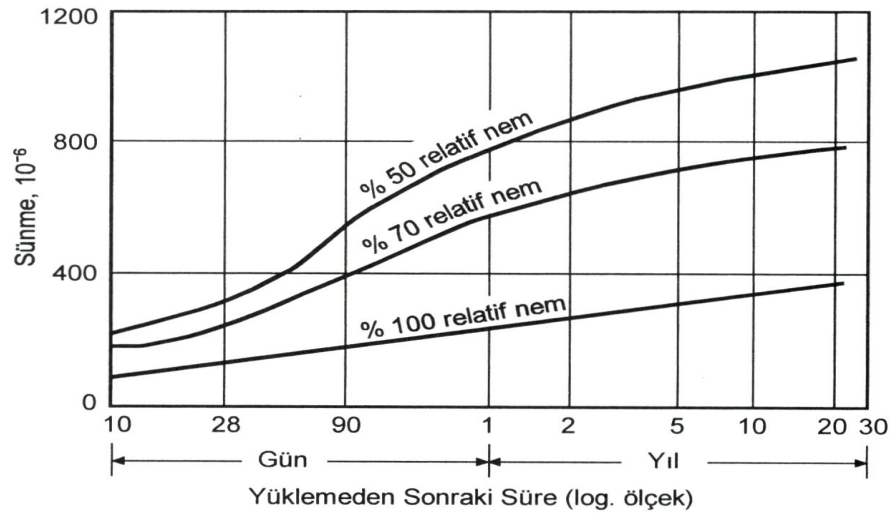
$$\epsilon_b = 800 \times 10^{-6} \text{ yine aynı zaman zarfında RH \% -50 iken}$$

$$\epsilon_b = 1120 \times 10^{-6} \text{ gibi yaklaşık değerler aldığı görülmektedir.}$$

Devamlı olarak su içerisinde bırakılan sertleşmiş beton veya çimento hamuru hacminde ve ağırlığında az da olsa bir miktar artış olmaktadır. Bu olay şişme veya negatif büzülme olarak bilinir. Hacim artışının nedeni betondaki çimento jelleri tarafından emilen sudur. Su molekülleri jel parçaları arasına girerek, bu parçacıkların kohezyonuna karşı koyan bir kuvvet gibi hareket etmekte, şişmeye yol açan bir basınç oluşturmaktadır [17]. Şişme, normal betonlarda büzülme göre daha küçüktür ve bağıl nemin %94'ün üzerinde olduğu zaman meydana gelir. Bununla beraber şişme hafif betonlarda önem arz etmektedir. Yukarıdaki şekil aynı zamanda, kurumanın yavaş bir süreç olduğunu göstermektedir. Nihai büzülme uzun zaman alır. Çünkü sertleşmiş betondaki su kaybı kontrollü difüzyondur [35]. Şişme nedeni ile meydana gelen deformasyon oldukça düşüktür. Örneğin 300 kg/m^3 dozajındaki çimento ile yapılmış ve altı ay veya bir yıl su içinde tutulmuş betonlarda, şişme $100 \times 10^{-6} \sim 150 \times 10^{-6}$ kadardır [17].

5.7. Bağıl Nemin Betonun Sünmesi Üzerindeki Etkisi

Sünme, sabit yükler altında betonda zamanla meydana gelen deformasyonlardır. Betonun fiziksel özelliklerinin sünme tanımına bağlı olarak deformasyona uğramasında ortamın neminin de etkisi vardır. Sabit basınç yükü altında betonun zamanla artan tarzda gösterdiği sünme olayı sonunda betonda çatlakların oluşumuna, yapı elamanının çökmesine neden olur. Betonda sünme, sabit gerilmeler altında zamanla malzemede ortaya çıkan yavaş fakat giderek artan deformasyonlardır. Genel olarak, düşük bağıl nem ortamına maruz kalan bir betonda daha çok miktarda sünme deformasyonu meydana gelmektedir. Şekil 5.10'da görüldüğü gibi ilk 28 günde %100 bağıl nem ortamında tutulan ve daha sonra %50, %70 ve %100 gibi değişik bağıl nem ortamına maruz bırakılan betonların zaman içerisindeki sünme deformasyonları gösterilmektedir.



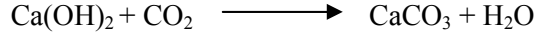
Şekil 5.10. Değişik bağıl nem ortamında betonlardaki zamanla meydana gelen sünme [17].

5.8. Bağıl Nemin Betonun Karbonatlaşma Büzülmesine Etkisi

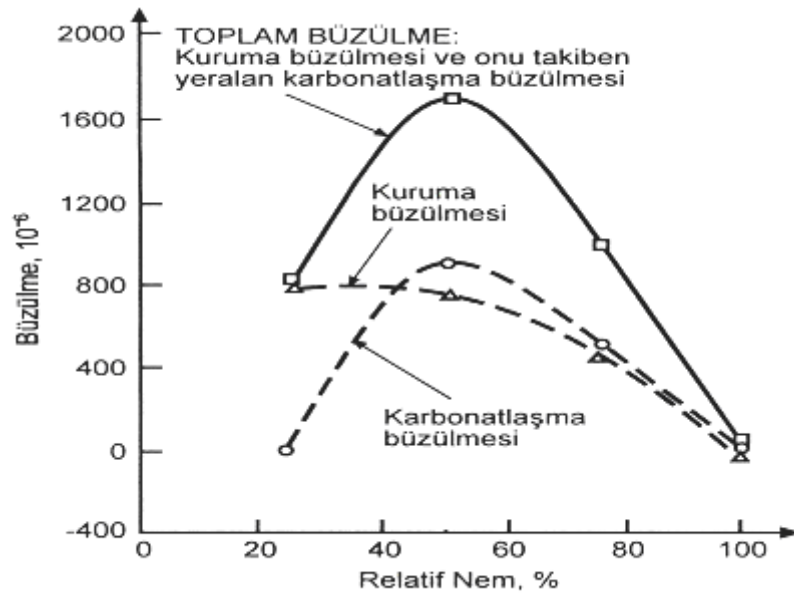
Karbonatlaşma kimyasal bir olay olup betonun fiziksel özelliklerini olumsuz etkileyebilmektedir. Ancak bununla birlikte havadaki karbondioksit ile betondaki kalsiyum hidroksitin reaksiyona girmesiyle meydana gelen bir olaydır.

Betonun içerisindeki kalsiyum hidroksit, betonun içerisine sızan karbondioksitle reaksiyona girerek karbonatlaşmayı meydana getirir. Bu reaksiyondan bir miktar su ve kalsiyum karbonat (serbest halde kireç) meydana gelir. Çimento hamuru jelinin yapısında bulunan kalsiyum hidroksit Ca(OH)_2 havadaki CO_2 gazı ile birleşerek CaCO_3 ve bir miktar su meydana getirmektedir. Karbonatlaşma sonucu ortaya çıkan su, buharlaşma vb nedenlerle kaybolmasıyla çimento hamuru bir miktar büzülme göstermektedir. Kalsiyum hidroksitin çözünmesiyle beton

içerisindeki mevcut alkalın ortam daha düşük düzeye inmektedir. Karbonatlaşma sonucunda betondaki kalsiyum hidroksit miktarı azalmakta, betonun pH değeri düşmektedir. Böyle bir ortamda çeliğin korozyonu daha kolaydır. Geçirirliiliği yüksek betonlara daha çok su ve oksijen girebilmekte ve çelik daha çabuk etkilenmektedir.



Karbonatlaşmanın gerçekleşme hızı, betonun geçirirliiliğine, havadaki CO₂ ve bağıl nem miktarına bağılıdır. Betondaki karbonatlaşmayı azaltmak için yapılması gereken en önemli işlem, betonun olabildiğince geçiririmsiz olarak üretilmesidir [4]. Betonun geçiririmsiz olması karbonatlaşmayı doğrudan etkilemektedir. Geçiririmsiz betonda hava akımıyla içeri CO₂ girmesi sınırlandırılacaktır. Böylece karbonatlaşma sonucu oluşan suyun betonda donma ve donatıya zarar vermesi, karbonatlaşma sonucu su kaybına bağılı meydana gelebilecek büzölmeler önlenmiş olacaktır. Betonda karbonatlaşmayla meydana gelen büzölme, havadaki karbon dioksit miktarına, nem miktarına ve betonun geçirirliiliğine bağılıdır. Aşağıdaki şekilde bağıl nemin çimento harçlarındaki karbonatlaşma büzölmesi üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Ortamın bağıl nem oranı %50 iken, karbonatlaşma büzölmesinin maksimum olduğu görülür. Nem oranı yaklaşık %25 ile %100 iken karbonatlaşma yer almamaktadır. Bunun nedeni nem miktarı %25 civarında iken çimento hamurunda karbonatlaşmaya yol açacak miktarda su bulunmamaktadır. Bağıl nem %100 civarına ulaştığında çimento hamurundaki gözenekler suyla dolu olduğu için karbonatlaşmaya yol açacak karbon dioksit, çimento hamurunun gözeneklerinden içeriye sızamayacaktır [17].



Şekil 5.11. Değişik bağıl nem ortamında meydana gelen karbonatlaşma büzölmesi [17].

Karbonatlaşma büzülmesi sonucu beton yüzeyinde ve yüzeye yakın bölgelerinde çatlaklar oluşmaktadır. Bu çatlaklar çok derin olmayan ve örümcek ağı gibi rastgele yönlerde yer alıp betonun fiziki görüntüsünü ve dayanıklılığını etkilemektedir. Bağıl nem karbonatlaşmanın gerçekleşme hızını da etkilemektedir. Sıcaklığın kimyasal reaksiyonun hızını arttırdığı bilinen bir gerçektir. Her 10 °C'lik sıcaklık reaksiyon hızını iki katına çıkardığı kabul edilir. Bu faktör özellikle tropik iklimlerde korozyon ve diğer etkilerin olumsuzluğunu daha da arttırmaktadır. Nem varlığı, nem içinde zararlı maddelerin varlığı ve sıcaklık seviyesi herhangi bir ortamı karakterize etmek için dikkate alınması gereken en bir önemli parametredir.

Daha önce de açıklandığı gibi çeliğin pasif tabakasını bozup donatının paslanmasına yol açan karbonatlaşma olayı en hızlı bağıl nemin %50-60 olduğu ortamda gelişir. Bu nem seviyesinin altında reaksiyon için yeterli su yoktur. Bu nem seviyesinin üstünde ise, beton içindeki boşluklar su ile dolu olduğu için CO₂ beton içine giremez. %95 bağıl nemde karbonatlaşma tamamen durur. Buna karşılık korozyon hızı %50-60 nemde oldukça yavaştır. Ancak karbonatlaşmış betonda %75-85 nemde ve klorürlü ortam, %90-95 nemde en yüksek değerine ulaşır. Betonun nem içeriğinin genellikle ortamın bağıl neminden daha yüksek değerdedir. Ancak betonun klorür içermesi halinde ise klorürün nem tutucu etkisi nedeni ile bu fark daha da belirginleşir. Bununla birlikte doygun betona oksijen girişinin azalması nedeni ile korozyonun gelişiminin yavaşladığını hatırlatılmasında fayda vardır [4]. Karbonatlaşma süreci betonarme yapının yüzeyine yakın bir derinliktedir. Karbonatlaşmanın donatıya varmasıyla göçmenin oluştuğu varsayılır. Bu durumda betonun pasivasyon kalitesinin ortadan kalktığı ve korozyonun başlayabileceği öngörülür [36].

5.9. Bağıl Nem Yoluyla Betonun Asit Etkisine Maruz Kalması

Sertleşmiş beton içerisine havadaki su molekülleri anlamına gelen nemin girmesi ve bu nemdeki asitlerin betonda kimyasal olayların yer almasına ve betonda yıpratıcı etki yaratarak betonun fiziksel özelliklerinin bozulmasına yol açar. Havadaki karbondioksitin (CO₂), yine havadaki su molekülleri(havanın nemi) ile birleşmesiyle karbonik asit (H₂CO₃) meydana getirmektedir. Yine yakıtlardan atmosfere bırakılan kükürt dioksit (SO₂) havadaki su molekülleri(nem) tarafından çözüldüğünde, sülfüröz asit (H₂SO₃) ve sülfirik asiti oluşturmaktadır. Asitli havadaki su molekülleri beton yüzeyi ile temas edince betonun içine nüfuz eder ve bir takım kimyasal olaylara, betonun fiziksel özelliklerinin bozulmasına neden olur. Özellikle sanayi bölgelerinde havaya bırakılan bir çok gazın, gerek yağmur suyu ile ve gerekse nem yoluyla betona temas etmesi söz konusudur. Asit hücumu sonucunda, sertleşmiş betonun içerisindeki kalsiyum hidroksit ve kalsiyum-silika-hidrat (C-S-H) jellerinde çözünme

yer almaktadır. Beton yüzeyinde yumuşak (çamur gibi) ince bir tabaka oluşmaktadır. Beton daha gözenekli duruma gelerek dayanımı ve dayanıklılığı azalır [17].

5.10. Beton Yüzeyinde Çiçeklenme Oluşması

Betonda çiçeklenme nem(su) etkisinde gelişen bir olaydır. Bunun sonucu beton yüzeyinde fiziksel olarak bozuk bir görüntü ortaya çıkmaktadır. Çimentoadaki kalsiyum silikatlı ana bileşenlerin su ile reaksiyonları sonucunda, çimento hamuruna bağlayıcılık sağlayan kalsiyum- silika- hidrat (C S H) jelleriyle birlikte kalsiyum, hidroksit Ca(OH)_2 oluşmaktadır. Kalsiyum hidroksit, sertleşmiş çimento hamurunun yapısında yeralan bir üründür. Bu ürün suya karşı dayanıklı değildir. Dışarıdan içeriye sızan sular tarafından çözülebilmektedir [17].

Bunun yanında dışarıdan sertleşmiş betona sızan sular beton içerisindeki tuzları da eritirler. Beton içine sızmış suların etkisiyle çözünen kalsiyum hidroksiti ve tuzları içeren su kapiler hareketle betonun yüzeyine doğru hareket eder. Beton yüzeyine çıkan suyun buharlaşması sonucu geriye beton yüzeyinde kalsiyum hidroksit ve tuzlar beton yüzeyinde ince bir çökelti tabakası oluştururlar. Bu çökelti tabakasının kalınlığı genellikle 3-4 mm ile 10-15mm arasındadır. Bu çökeltideki kalsiyum hidroksit, havadaki karbondioksitle temas ederek, CaCO_3 (kalsiyum karbonat) haline dönüşür. Çökeltinin büyük kısmı CaCO_3 olduğu için birikinti tabakası beyaz renktedir. Bunun yanında söz konusu çökeltide az miktarda sodyum sülfat, sodyum karbonat, sodyum bikarbonat, sodyum silikat, potasyum sülfat, kalsiyum sülfat ve magnezyum sülfat gibi bileşenler de bulunmaktadır ve bunların rengi de beyaz veya açık gri renktedir. Sertleşmiş beton içerisindeki kalsiyum hidroksit ve çeşitli tuzların su tarafından çözülmesi ve beton yüzeyine sürüklenmesi sonucunda, beton yüzeyinde kristaller halinde ince bir beyaz tabaka oluşturması olayına, “**çiçeklenme**” denir.

Bazen içerisinde çözünmüş kalsiyum ve çeşitli tuzlar bulunan su, beton yüzeyine tamamen çıkmadan (yüzeye yakın bir bölgede) buharlaşmaktadır. Bu durumda yüzeye yakın bir bölgeye yerleşen tuzlar, gereken nemlilik ortamını daha sonraları buldukları takdirde, yüzeye çıkarak çiçeklenme yaratabilmektedirler.

Nemli ortamın çiçeklenme olayına büyük etkisi vardır. Çiçeklenme, yağışlı kış sezonunda daha çok olmakta, ilkbaharda azalmakta ve yazın hemen hemen hiç yer almamaktadır. Ancak, kuru ve sıcak mevsimden sonra soğuk ve yağışlı ortamda çiçeklenme tekrar yer almaktadır. Betonun yerleştirmesini takiben ilk aylarda büyük hızla yer alan çiçeklenme olayı, zamanla azalmakta ve genellikle üç-dört yıl sonra hemen hemen sona ermektedir.

5.11. Çiçeklenmenin Betonun Kalitesine Olumsuz Etkileri

Çiçeklenme sonucu beton yüzeyinde CaCO_3 ve tuz birikintisinin birikmesiyle beton yüzeyinde görünüşünü bozan beyaz lekeleş oluşmaktadır. Çiçeklenme olayının çok olması daha fazla kalsiyum hidroksitin çözülmesi ve betonun daha fazla boşluklu duruma gelmesi betonun dayanımını azatlığı gibi dayanıklılığının da olumsuz yönde etkilemektedir. Boşluklu betona su ve nemin girişi daha kolay olmaktadır. Geçirimliliği yüksek betonlarda çiçeklenme olayı daha fazla olmakta ve betonun fiziki görüntüsünü bozulmaktadır.

5.12. Çiçeklenmeyi Azaltabilecek Önlemler

Beton yüzeyinde oluşan çiçeklenme miktarı iki ana faktörle ilgilidir. Birincisi betona sızan su miktarı, ikincisi beton içerisinde yeralan kalsiyum hidroksit ve tuz miktarıdır.

Betonun daha az geçirimsiz ve dolayısı ile çiçeklenmenin daha az olması için,

1. Beton mümkün olduğu kadar boşluksuz olmalıdır.

- Agrega gradasyonu uygun olmalıdır.
- Mümkün olduğu kadar su/çimento oranı mümkün olduğu kadar düşük olmalıdır.
- Beton karışımında yer alan malzemeler ve oranları, taze betonun az terleme yapmasını sağlayacak tarzda olmalıdır.
- Betonun karılması, taşınması, yerleştirilmesi, ve sıkıştırılması uygun tarzda uygun tarzda ve segregasyon oluşmayacak şekilde yerine getirilmelidir.
- Beton, uygun tarzda ve yeterli süreyle kür edilmelidir.
- Vakumlu beton sistemi kullanılmasıyla fazla su alınacağı için su/çimento oranı azalarak geçirimsizlik düşmektedir [37].

2. Betonun üretimi esnasında, betonun içerisine su sızmasını önleyecek ve betonun geçirgenliğini azaltacak katkı maddeleri kullanılmalıdır.

3. Yapıların tasarımında, betonun içerisine su sızmasını önleyecek önlemler göz önüne alınmalıdır.

- Derzler uygun tarzda yerleştirilmeli ve derz aralıklarında su ve nemin girmemesi için önlemler alınmalıdır.
- Yapıların üst yüzeyleri su birikmesine yol açmayacak düzgünlüğe ve eğime sahip olmalıdır.

5.13. Su/Çimento Oranının Çiçeklenmeye Etkisi

Su/çimento oranının düşük olması, beton içerisindeki kapiler boşlukların azalmasına ve dolayısı ile dışarıdan su ve rutubetin sızması daha zor olacaktır.

5.14. Çimento Tipinin Çiçeklenmeye Etkisi

Betonda kullanılacak çimentonun ana bileşenlerinden C_2S bileşeninin C_3S bileşeninden daha fazla olması, hidrasyon sonunda daha az kalsiyum hidroksit, $Ca(OH)_2$ oluşmasına neden olacaktır. Bundan dolayı çiçeklenme olayına maruz kalabilecek betonlar için, ASTM Tip IV veya ASTM Tip II gibi çimentoların kullanılması daha uygun olacaktır.

5.15. Mineral Katkıların Çiçeklenmeye Etkisi

Puzolanik özellikli ince taneli mineral katkı maddeleri veya bu tür katkı içeren traslı çimento, yüksek fırın cürufu çimento gibi çimento türlerinin içerisindeki puzolanik maddeler, kimyasal reaksiyon gösterebilmek için çimentodaki C_2S ve C_3S ana bileşenlerinin hidrasyonu sonucunda ortaya çıkan kalsiyum hidroksiti kullanmaktadırlar. O nedenle, katkılı çimentoyla, traslı çimento ve yüksek fırın cürufu çimentoyla yapılan betonlarda yada ince taneli puzolanik katkı maddelerinin kullanılmasıyla üretilen betonlarda daha az kalsiyum hidroksit bulunmaktadır.

Daha az miktarda kalsiyum hidroksit içeren çimentolarda nem ve su etkisi ile erime göstererek çiçeklenmeye yol açan kalsiyum hidroksit miktarı da az olacaktır [17].

Kimyasal katkı maddeleri ile mineral katkı maddelerinin bir arada kullanılmasıyla vibrasyon gerektirmeyen kendiliğinden yerleşebilen, dayanımı yüksek ve geçirimsiz betonlar üretilir [38].

5.16. Agrega Özelliklerinin Çiçeklenmeye Etkisi

Agrega granülometrisi iyi olmalı aksi halde belirli bir kıvamı elde etmek için daha fazla su ihtiyacı doğacaktır. Su miktarındaki artış betonun boşluklu olmasına ve havadaki nem ve su etkisinin beton üzerinde daha fazla çiçeklenme olayının meydana gelmesine neden olacaktır. Agregalar mutlaka yıkanmış ve temiz olmalıdır. Deniz kumu kullanılmadan önce yıkansa dahi gözeneklerinde kristal tuzlar kalacaktır. Böyle agregalarla yapılan beton ortamın nem ve su

etkisine maruz kalması durumunda agrega gözeneklerindeki tuz eriyerek beton yüzeyine çıkar ve su buharlaşır geriye beton yüzeyinde tuz çökeltisi beyaz bir leke gibi kalacaktır.

5.17. Nem Önleyici Katkı Maddelerinin Çiçeklenmeye Etkisi

Sabun, butyl stearete, mineral yağlar, petrol ürünleri gibi değişik maddelerden elde edilen nem önleyici katkı maddelerinin su itici özellikleri bulunmaktadır. Sabun esaslı katkı maddelerinin çimento miktarı %0.2'sini geçmeyecek miktarda kullanılmalıdır. Butyl stearete, çimento miktarının %1'i kadar kullanılmaktadır. Petrol yağlarını içeren katkı maddeleri ise çimento miktarının %5'i kadar kullanılmaktadır. Nem önleyici katkı maddelerinin kullanılmasıyla beton yüzeyinden içeriye ortamın neminin ve suların geçmesi daha az olacaktır. Böylece betonun görünüşünü bozan çiçeklenme gibi lekeler çok daha az olacaktır.

5.18. “Çiçeklenme” Lekelerini Temizleme Yöntemleri

İlk zamanlarda yer almış olan çiçeklenme lekesi, sert bir fırça ve basınçlı su ile ortadan kaldırılabilir. Ancak, beton yüzeyinde çok fazla kalsiyum karbonat ve kalsiyum sülfat birikintisi yer almış ise (çok fazla çiçeklenme) beton yüzeyi önce, hidroklorik asit içeren bir su ile silinmeli ardından yüzey alkalın karakterde bir su ile yıkandıktan sonra normal su ile iyi bir şekilde yıkanır. Bu iş için kullanılan asitli suyun karışımında 100 birim su ile 5 birim hidroklorik asit karıştırılır veya 100 birim su ile 20 birim sirke karıştırılması önerilir. Asitli su uygulamasından sonra uygulanacak alkalın içerikli su için suya bir miktar amonyak katmak yeterlidir. Asitli ve alkalınli su uygulamasından sonra yüzey normal su ile iyi bir şekilde yıkanır [17].

6. DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR

Deneysel çalışmalar DEMİRAĞ Prefabrik Beton Yapı Sanayi ve Tic. A.Ş.'nin Ahmetli/Manisa'daki fabrikasında yapılmıştır. Bu fabrikada C30 kalitesindeki betona sıcak buhar kürü (%100 bağıl nem) uygulanarak prefabrik yapı elemanları üretilmektedir. Kullanılan agrega ile ilgili olarak daha önceden TS 706 (EN 12620) standardında öngörülen deneyler yapılmış ve TS 802 Beton Karışım Hesapları Standardına uygun karışımlar kullanılmaktadır. Deneylerde kullanılan malzemeye ait teknik veriler fabrikanın kalite kontrol ünitesinden elde edilmiş olup fabrikadaki elemanların üretiminde kullanılan malzeme ile birebir aynıdır.

6.1. Beton Karışım Suyu

Betonda kullanılabilen en uygun su içilebilecek nitelikte olan sudur. Karma suyunda madeni yağlar, %1'den fazla kükürt trioksit (SO_3), %3'ten fazla NaCl, karbonik asit, SO_4 iyonları ile şeker, alkol gibi maddeler bulunmamalıdır [39]. Ayrıca $pH \geq 7$ olmalıdır. Betonda suyun çimento ile reaksiyona girerek betonun mukavemet kazanması ve betona işlenebilirlik kazandırma gibi fonksiyonları vardır. Deneysel çalışmalarda, fabrikada da kullanılan Ahmetli (Manisa) ilçesinin normal şehir şebekesine ait su kullanılmıştır.

6.2. Agrega

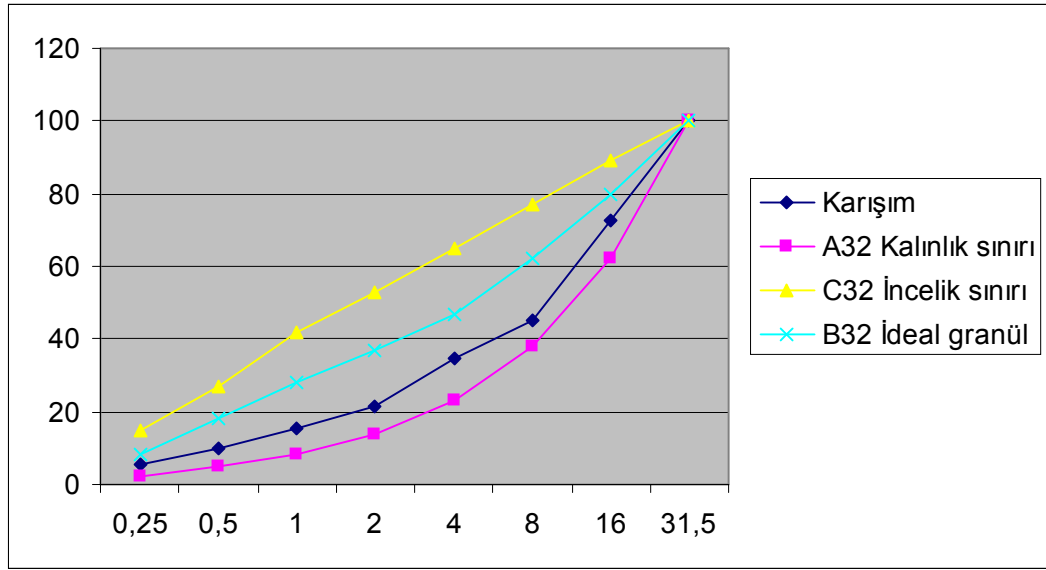
Bu çalışmalarda Erkoç Firmasına ait maksimum dane çapı 30 mm olan Kuvartz kökenli kırma agregalar kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan agreganın fiziksel özellikleri Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1. Kuvartz kökenli agregaların fiziksel özellikleri

Özellikler	İri agrega (15 – 32)	İnce çakıl (5 – 15)	Kırma kum (0-5)
Özgül ağırlık -KURU(Kg/dm^3)	2.67	2.65	2.49
Özgül ağırlık- KYD*(Kg/dm^3)	2.70	2.68	2.54
Su emme (%)	1.01	0.90	1.42
Gevşek BHA** (kg/m^3)	1325	1393	1485
Sıkışık BHA** (kg/m^3)	1505	1560	1678
İnce malzeme (%) (200 nolu elekten geçen)	-	-	4.4

*KYD: Kuru Yüzey Doygu

**BHA: Birim Hacim Ağırlığı



Şekil 6.1. Deneylerde kullanılan agreganın granülometri eğrisi

Tablo 6.2. Deneylerde kullanılan agreganın elek analizi

Elek Açıklığı (mm)	İri Çakıl (15-30)	İnce Çakıl (5-15)	Kum (0-5)	Karışım	Sınırlar
	Karışım Oranları				
	0,35	0,25	0,40	1,00	
31,5	100	100	100	100,0	100
16	21	100	100	72,4	89/62
8	0	20	100	45,0	77/38
4	0	0	87	34,8	65/23
2	0	0	54	21,6	53/14
1	0	0	38	15,2	42/8
0,50	0	0	25	10,0	28/5
0,25	0	0	14	5,6	15/2

Agreganın granülometri eğrisi elek analizi ile belirlenir. Tablo 6.2'nin son stünunda verilen sınır değerler, TS 706'de belirtilen maksimum dane çapı 31,5 mm için verilen referans eğrisinden alınmıştır [40].

6.3. Çimeto

Bu çalışmada bütün deneylerde Çimentaş İzmir Çimento Fabrikas Türk A.Ş.'nin ürettiği PÇ 42,5 Portland Çimentosu (CEM I 42,5) kullanılmıştır. Bu çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıda Tablo 6.3'de verilmiştir.

Tablo 6.3. Deneylerde kullanılan çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler

Klinker		CEM I 42.5 R		
Temel Özellikleri	Tipik Veriler	Temel Özellikleri	Tipik Veriler	Standart Değeri
SiO ₂ (%)	21.0	1 Günlük Basınç Dayanımı	17	-
Al ₂ O ₃ (%)	5.20	2 Günlük Basınç Dayanımı	25	≥ 20
Fe ₂ O ₃ (%)	3.50	3 Günlük Basınç Dayanımı	33	-
CaO (%)	65.60	7 Günlük Basınç Dayanımı	41	≥ 31.5
MgO (%)	0.80	28 Günlük Basınç Dayanımı	50	≥ 42.5
SO ₃ (%)	0.69	SO ₃ (%)	2.4	≤ 3.5
K ₂ O (%)	0.93	MgO (%)	0.85	≤ 5.0
Na ₂ O (%)	0.27	Cl ⁻ (%)	0.015	≤ 0.1
Eşdeğer Alkali (%)	0.86	Kızdırma Kaybı (%)	1.3	≤ 4.0
Kızdırma Kaybı (%)	0.80	Çözünmeyen Kalıntı (%)	0.45	≤ 1.5
Cl ⁻ (%)	0.0017	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3500	≥ 2800
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0.15	Priz Başlangıcı (dakika)	105	≥ 60
Serbest CaO (%)	1.08	Priz Sona Ermesi	2:45	≤ 10
Kireç Standardı	97.0	Hacim Genleşmesi (mm)	0	≤ 10
C ₃ S	62.5	Serbest CaO (%)	1	-
C ₂ S	13.2	KST (Kireç Standardı)	96.8	-
C ₃ A	7.9	C ₃ S	57.5	-
C ₄ AF	10.7	C ₃ A	8	-
Özgül Yüzey (cm ² /gr)	2900	Eşdeğer Alkali (%)	0.85	-
Priz Başlangıcı (dakika)	130	Su İhtiyacı (Vikat Suyu) (%)	27.5	-
Priz Sona Ermesi	3:20			
Hacim Genleşmesi (mm)	0			
1 Günlük Basınç Dayanımı	14.0			
2 Günlük Basınç Dayanımı	22.5			
3 Günlük Basınç Dayanımı	28.5			
7 Günlük Basınç Dayanımı	36.0			
28 Günlük Basınç Dayanımı	48.0			

Basınç dayanımlarının birimi N/mm² dir.

6.4. 65°C, %100 Bağıl Nem ile 20 ±2°C’de Su Kürüne Tabi Tutulmuş Betonların Basınç Dayanımının Gelişimi

Daha önce karışım oranları verilen üretim ünitesinden her defasında 20 adet 15/30’luk silindir numune alınarak bunların 10 adedi, %100 RH (bağıl nem) buhar kürüne, 10 adedi laboratuvarında su kürüne tabi tutulmuş ve 1. gün, 7. gün ve 28. gün basınç dayanım sonuçları karşılaştırılmıştır. Numuneler, ortamın ısısı kademeli olarak arttırılarak 1 saat kadar 60-65°C’de ve %100 bağıl nemde tutulmuştur. Daha sonra ortamın ısısı kademeli olarak azaltılarak numuneler açık hava şartlarına maruz bırakılmıştır. Böylece, %100 bağıl nemde buhar kürü ile üretilen elemanların gerçek dayanımları hakkında deneyimler elde edilmiştir. Tablo 6.4’de verilen sayısal değerler Demirağ Prefabrikasının kullandığı sayısal değerlerle birebir aynıdır.

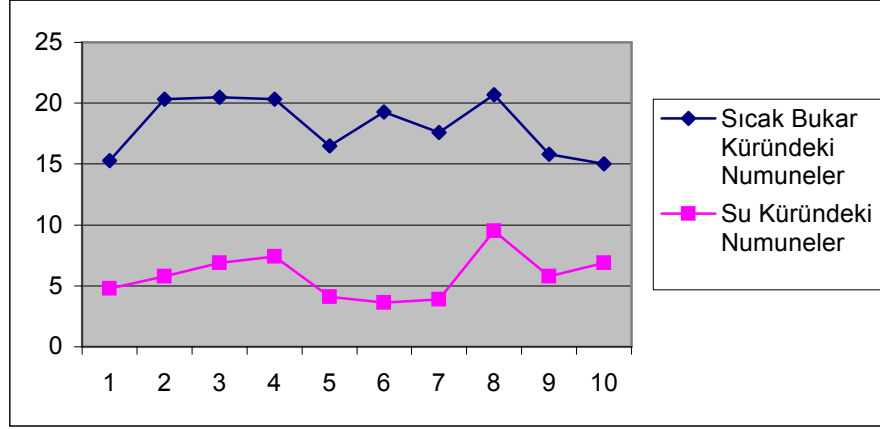
Tablo 6.4. 1 m³ beton karışım için hesaplanmış malzeme miktarları ve özellikleri

Malzemeler	Malzeme Kaynakları	Özgül Ağırlık (Kg/dm ³)	1 m ³ Beton Bileşenleri (Kg)
Çimento	CEM I 42.5 R Çimentası	3.12	340
Su	-	1	150
İri agregası (15-30 kırma taşı)	Erkoç	2.66	664
İnce çakıl (5-15 kırma taşı)	Erkoç	2.65	472
Kum (0-5 kırma taşı)	Erkoç	2.49	752
Akışkanlaştırıcı	Konsan MS43	1.1	3

Tablo 6.5. Buhar ve su küründeki numunelerin 1 günlük basınç dayanımları (MPa)

Sıcak Buhar Kürü	Su Kürü (Lab.)
15,3	4,8
20,3	5,8
20,5	6,9
20,3	7,4
16,5	4,1
19,3	3,6
17,6	3,9
20,7	9,5
15,8	5,8
15,0	6,9

I. Grup numunelerden elde edilen sonuçlara göre, buhar küründe elde edilen basınç dayanımlarının su küründe elde edilen basınç dayanımlarından daha iyi olduğu gözlenmiştir. Buradan buhar kürünün erken dayanım kazandırmada etkili olduğunu söyleyebiliriz

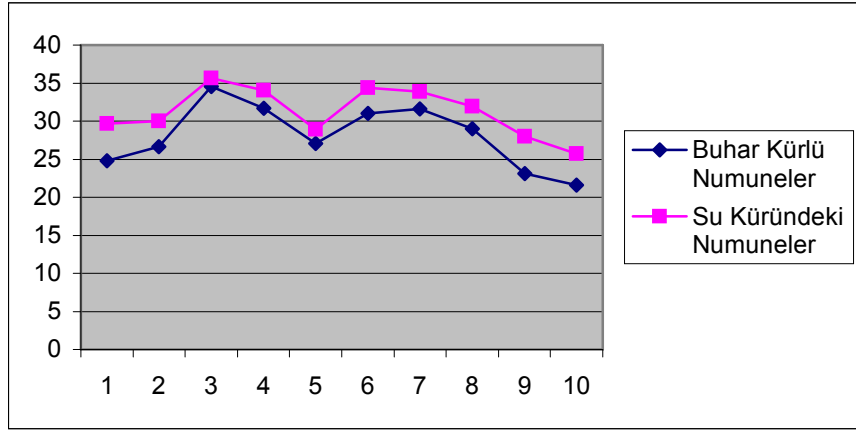


Şekil 6.2. Buhar ve su kürü uygulanmış betonların 1 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması

II. Grup nemunelerden elde edilen sonuçlara göre sulu küre tabi tutulan numunelerin basınç dayanımının daha iyi olduğu ve bir hafta sonunda sulu kürden elde edilen basınç dayanımının buhar kürünün önüne geçtiği gözlenmiştir.

Tablo 6.6. Buhar ve su küründeki numunelerin 7 günlük basınç dayanımları (MPa)

Buhar Kürü	Su Kürü (Lab.)
24,8	29,7
26,6	30,0
34,5	35,6
31,7	34,0
27,1	28,9
31,0	34,4
31,6	33,9
29,0	31,9
23,1	28,0
21,6	25,7

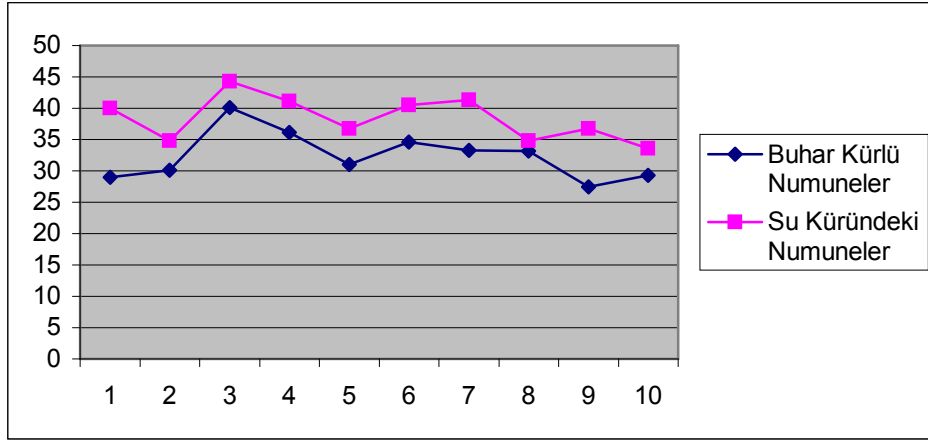


Şekil 6.3. Buhar ve su kürü uygulanmış betonların 7. günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması

III. Grupta alınan numunelerin 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında, sulu kür uygulaması etkili olmaya devam ettiği ancak, sıcak buhar uygulamasından elde edilen sonuçların sulu kür uygulamasından elde edilen sonuçlara yakın olduğunu söyleyebiliriz.

Tablo 6.7. Buhar ve su küründeki numunelerin 28 günlük basınç dayanımları (MPa)

Buhar Kürü	Su Kürü (Lab.)
29,0	40,0
30,1	34,8
40,1	44,3
36,1	41,1
31,0	36,7
34,6	40,5
33,3	41,3
33,2	34,8
27,4	36,7
29,3	33,6



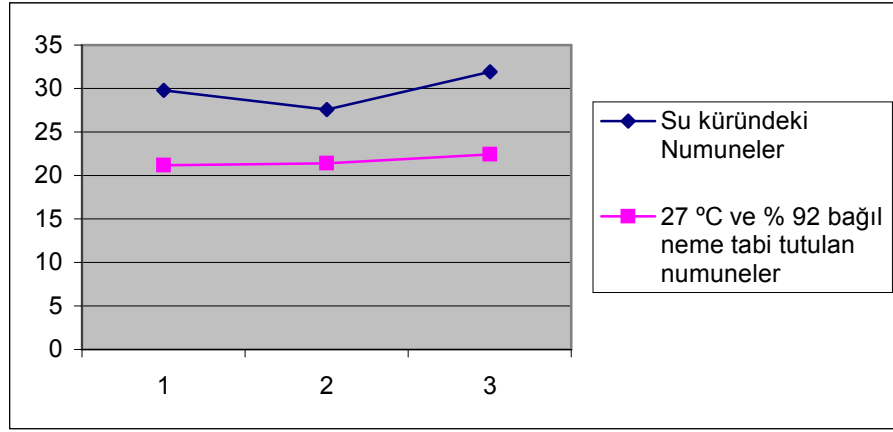
Şekil 6.4. Buhar ve su kürü uygulanmış betonların 28. günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması.

6.5. 27°C’de ve %92 Bağıl Nemin Betonların Dayanımı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Aynı karışımdan temin edilmiş, 15/30 silindir numunelerin üç adedi, 24 saat kalıpta tutulduktan sonra, Salihli’de Kurşunlu kaplıcalarında gün boyu ortalama %92 bağıl nem ve 27°C’de saklı tutuldu. Ortamın ısı ve bağıl nemi gün ortasında üç kez ölçüldü. Öteki üç adedi de laboratuvarında su kürüne bırakıldı. 28 gün sonra numuneler basınç deneyine tabi tutularak elde edilen veriler değerlendirildi. Malzeme özellikleri ve karışım oranları Tablo 6.4’den alındı. Ayrıca Phenolphtalein asiti ile karbonatlaşma reaksiyonunun meydana gelip gelmediği araştırıldı.

Tablo 6.8. 27 °C, % 92 bağıl nem ile su kürüne bırakılmış numunelerin dayanımı

Saklandığı şartlar	28. Günlük Basınç Dayanımı, (MPa)
20 ±2 °C’de su kürüne bırakılan numuneler	29,8
	27,6
	31,9
Gün boyu ortalama 27°C, %92 bağıl nemdeki numuneler	21,2
	21,4
	22,4



Şekil 6.5. 27°C, % 92 bağıl neme ve su kürüne tabi tutulan beton numunelerin 28. günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması

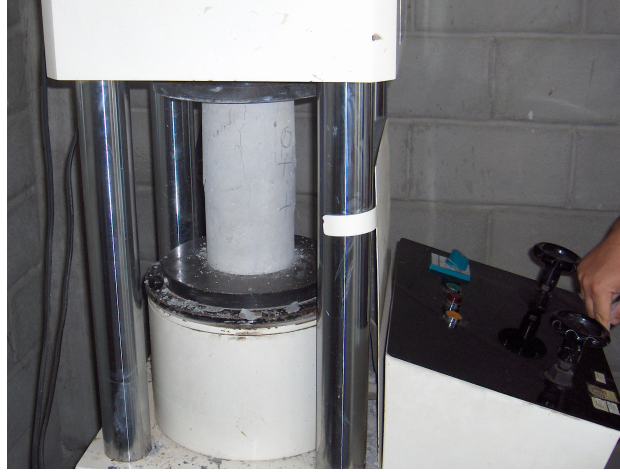
Hidratasyonun gelişmesinde önemli etkenler ortamın nemi, sıcaklığı ve rüzgârın hızıdır. Deneye tabi numuneler herhangi bir rüzgar etkisinde kalmamışlardır. %92 bağıl nem, ortam ısısının yüksek olması (27°C) nedeni ile buharlaşmanın hızını engelleyerek betonun dayanım kazanmasına katkıda bulunmuştur. Bu durum kuru havada (yüksek ısı ve düşük bağıl nem) bekletilmiş numunelerden alınan sonuçlarla daha da kolay anlaşılmaktadır.

Tablo 6.9. Kurşunlu kaplıcalarındaki numunelerin sıcaklık, bağıl nem takip tablosu

Tarih	Sabah(8:30)		Öğle(12:00)		Akşam(19:00)	
	Sıcaklık, °C	Bağıl Nem	Sıcaklık, °C	Bağıl Nem	Sıcaklık, °C	Bağıl Nem
07.07.2006	Birinci gün Laboratuarda 27 °C %47 RH – Bağıl nemde					
08.07.2006	25 °C	85 %	27 °C	87 %	27 °C	93 %
09.07.2006	25	87	25	88	27	95
10.07.2006	27	94	28	91	28	97
11.07.2006	26	94	27	94	28	95
12.07.2006	27	96	28	98	28	99
13.07.2006	26	89	28	93	29	95
14.07.2006	27	92	28	99	28	94
15.07.2006	25	87	27	90	27	92
16.07.2006	27	90	28	94	28	92
17.07.2006	26	92	27	92	28	97
18.07.2006	27	88	27	89	28	91
19.07.2006	27	93	28	96	27	96
20.07.2006	26	89	28	88	28	89
21.07.2006	28	87	27	87	29	94
22.07.2006	27	88	28	89	29	93
23.07.2006	25	91	28	90	28	95
24.07.2006	27	93	28	89	29	97
25.07.2006	26	91	27	93	29	93
26.07.2006	26	95	27	95	28	96
27.07.2006	27	87	28	90	27	94
28.07.2006	27	90	27	92	28	97
29.07.2006	26	94	28	91	28	95
30.07.2006	27	91	28	94	29	96
01.08.2006	26	92	27	91	28	90
02.08.2006	27	87	27	96	28	95
03.08.2006	26	89	28	92	29	93
04.08.2006	27	85	27	92	29	92
Ortalama	26 °C	% 90	27 °C	%92	28 °C	%94



Şekil 6.6. Numunelerin bulunduğu ortamdaki sıcaklık ve bağıl nemin takibi



Şekil 6.7. Numunelerin basınç dayanımının tespiti



Şekil 6.8. %92 bağıl neme maruz kalmış numunelerde karbonatlaşma testi

Bağıl nem ortamında saklanmış numunelerde karbonatlaşmanın olmadığı tespit edildi. Bunun muhtemel nedeni ya ortamda karbonatlaşma için yeterli CO_2 'nin olmaması ya da ortamın nem oranının yüksek olması nedeni ile beton gözeneklerinin su molekülleri ile tıkalı olması ve CO_2 gazının betona nüfuz edememesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.9. Karbonatlaşma meydana gelmemiş numuneler

Atelyede fazla miktarda kaynak yapıldığı ve buhar için kömürlü kazanların çalınması nedeni ile ortamın CO_2 oranının yüksek olmasına rağmen su içinde saklanmış numunelerde de karbonatlaşma olmamıştır. Bunun nedeni beton gözeneklerinin su ile dolu olması, betona CO_2 nin girişini engellemiştir. Aşağıdaki resim aynı laboratuvarında bulunan başka bir numune Phenolphtalein uygulanarak karbonatlaşmanın geliştiği görülmektedir.



Şekil 6.10. Karbonatlaşma meydana gelmiş beton numune

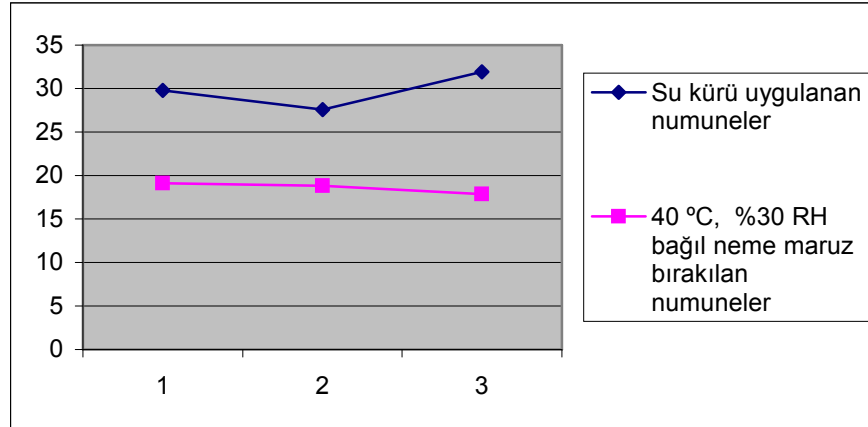
Phenolphtalein uygulamasında serbest Ca(OH)_2 pembe renk gösterirken, karbonatlaşmış kısım renk göstermez.

6.6. %30 Bağıl Nem, 40°C'deki Betonların Basınç Dayanım Gelişimi

Aşağıda, verilen karışım oranlarından temin edilmiş üç adet, 15/30 silindir numuneler 24 saat kalıpta tutulduktan sonra, Demirağ fabrikasında hiç bir kür işlemi yapılmadan tamamen açık havada atmosfer şartlarında, gün boyu yaklaşık % 30 bağıl nem ve yaklaşık 40°C'de saklı tutuldu. 28. gün sonra numuneler basınç deneyine tabi tutularak elde edilen veriler değerlendirildi ve öteki deneylerde elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldı. Malzeme özellikleri ve karışım oranları Tablo 6.4'den alınmıştır.

Tablo 6.10. Gün ortası 40 °C, %30 bağıl neme maruz numunelerin dayanımı (MPa)

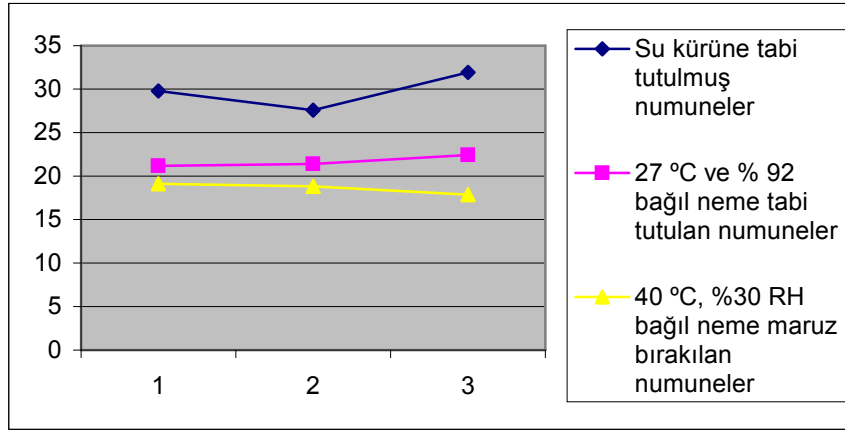
Numune Adedi	28. gün basınç dayanımı, (MPa)
I. Numune	19,1
II. Numune	18,8
III. Numune	17,9
Ortalama	18,6



Şekil 6.11. 20±2 °C'de su kürü uygulanan numuneler ile 40°C, %30 bağıl neme maruz kalan numunelerin basınç dayanımlarının karşılaştırılması

Deneysel çalışmalar göstermiştir ki, en iyi beton dayanımı su içinde kür ile elde edilmiştir. Bunun yanında tamamen atmosfer şartlarında, yüksek ısı ve düşük nem ortamında bekletilen numunelerin dayanımı, bağıl nemi yüksek olan ortamda bekletilen numunelerin dayanımından daha düşük çıkmıştır. Çünkü ortamın yüksek ısısı nedeni ile hidrasyon için gerekli olan su buharlaşmış ve beton hidrasyonunu devam ettirmek için gerekli nemi atmosferden sağlayamamıştır. Ortamın bağıl neminin yüksek oluşu betonun dayanım kazanmasına katkıda bulunmuştur. Beton hidrasyon için beton iç nemini tükettikten sonra

çevredeki bağıl nemden faydalanmıştır. Ancak bu durum taze betonun dayanım kazanma aşamasındaki ilk ay için geçerli olup ileriki yaşlarda özellikle donma tehlikesinin olduğu mevsimlerde ortamın neminin sertleşmiş betona olumsuz etkisi de söz konusudur. Betonun geçirirmliliğine bağlı olarak ortamın nemi betona nüfuz edip donma, donatının korozyonu, karbonatlaşma gibi bir takım fiziksel ve kimyasal olayların gelişmesine neden olmaktadır.

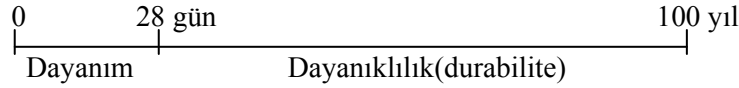


Şekil 6.12. 20±2 °C’de su kütüne, 27°C,%92 bağıl nem ve 40°C, %30 bağıl neme maruz kalmış numunelerin 28 günlük basınç dayanımları

Yapılan deneysel çalışma verilerine göre beton ile bağıl nem ilişkisinin iki evrede incelenmesinde fayda vardır. Buna göre;

Birinci evre: Taze betonun ilk 28 günlük sertleşmenin gerçekleştiği dönemdir. Bu dönemde hidrasyon başladığı için yüksek ısı ortaya çıkmaktadır. Gerek ortamın ısı ve gerek hidrasyon ısı nedeni ile buharlaşmada hızlı bir artış söz konusudur. Ortamdaki yüksek bağıl nem hem buharlaşmayı yavaşlatacak, hem de hidrasyon devam ettiği için C-S-H oluşumu için gerekli olan suyu karşılayacaktır.

Şekil 6.12’den de görüleceği üzere bağıl nemi yüksek ortamda korunmuş betonların basınç dayanımları da yüksek olmaktadır. Buharlaşmanın olduğu bir ortamda ki, her sıcaklıkta az veya çok buharlaşma olmaktadır, öncelikle serbest haldeki su betonu terk etmekte, bunu kılcallık ve jel suyu izlemektedir. Havanın bağıl nemi ne kadar düşük ise betondan ayrılan su o kadar büyük değer alır. Bunun sonucunda da rötre deformasyonu büyüyecektir. 0-28 günlük yaşına betonun olgunluk dönemi de denilmektedir. Bu dönemde betonun dayanım karakteri ön planda tutulmalıdır. 28. gün ile ortalama 100 yıllık servis ömrü döneminde ise beton için durabilite önemlidir.



Şekil 6.13. Betonun dayanım ve dayanıklılık esasına göre ömrü

Betonun dayanım kazanması evresinde atmosfer şartlarının çok önemli etkisi vardır. Bunlar kür koşulları, sıcaklık ve nem olarak özetlenebilir. Bu olay numuneler üzerinde günlük yapılan birim ağırlık ölçümlerinden de anlaşılmaktadır. Hidratasyonun olduğu ortamdaki bağıl nemin %80'nin altına düştüğü durumlarda betondaki suyun buharlaşması dolayısıyla, hidratasyon için gerekli suyun ortamda kalmaması sorunu ortaya çıkar. Özellikle olgunlaşmanın ilk günlerinde hidratasyon daha çok ve hızlı olduğundan su kaybı daha da önemlidir. İşte bu sertleşme döneminde ortam bağıl nemin betonun kontrollü hidratasyonu için önemli bir katkısı olacaktır.

İkinci evre: İlk bir aydan sonra başlar ve betonun hizmet ömrü boyunca devam eder. Hidratasyon gelişimi giderek azalır, azalmanın kaç yılda sonuçlanacağı kesin olarak bilinmemektedir. Betonun ilerlemiş yaşlarına bağlı olarak ortamın bağıl neminin betonun dayanımından çok dayanıklılığı üzerindeki olumsuz etkisinin ne olacağı düşünülmelidir. Örneğin; sertleşmiş betondaki donatının korozyonu, donma-çözülme olayı, karbonatlaşma ve çiçeklenme olayı gösterilebilir. Bu evrede nem ve öteki zararlı etkilerin beton üzerindeki tesirleri betonun geçirgenliğine bağlı olarak değişir. Geçirimsiz bir beton için düşük su/çimento oranı gerekir. Düşük su/çimento oranı işlenmeyi güçleştirdiği için işlenmeyi arttırıcı katkıları geliştirilmiştir.

Sertleşmiş betonun bozulmasına yol açan bütün kimyasal reaksiyonların gelişmesi nemin (suyun) varlığına bağlıdır. Betonun geçirgen olması zararlı tuz ve asitlerin iç bünyeye nüfuz etmesini de kolaylaştırır. Ayrıca saf su, hidrate portland çimentosunun çözülebilir bileşenlerini ayrıştırması kuvvetle muhtemeldir.

Betona nüfuz eden su poroz boşluklardan geçerek kapiler kanallar vasıtasıyla daha farklı seviyelere taşınır. Bu arada su buharlaşarak, çözünmüş olan asitleri, tuzları dış ve iç yüzeylere doğru sürükler. Diğer fiziksel ve kimyasal etkiler nedeni ile malzemenin yüzeyinde dökülmeler, renk değiştirmeler, küflenme ve mantarlaşma yaşanabilir. Betona giren su, beraberinde diğer kimyasalları da getirerek asit etkileri, donatının korozyona uğraması, alkali etkiler ve don olayı ile iç gerilmelerin meydana gelmesine sebep olur.

Betonun dayanıklılık problemleri betonun geçirimsizliği ile başlar. Betonun geçirimsiz olması durumunda birçok dayanıklılık problemine yol açan su ve zararlı sıvılar beton içerisine nüfuz edemez.

Geçirimsiz beton üretmek için göz önünde tutulması gereken önlemler;

- a. Beton üretiminde kullanılacak çimento standartlara uygun olmalıdır. Çimento tanelerinin ince olması, hem hidratasyonun daha hızlı olmasına, hem de terlemenin daha az olmasına yol açmaktadır. Böylece betondaki boşluklar daha az olmaktadır. Kütle betonların üretiminde, hidratasyon ısısı yüksek olan çimento kullanılmamalıdır.
- b. Karma suyu içilebilir nitelikte ve betona zarar verebilecek miktarlarda yabancı maddeler içermemelidir.
- c. Agreganın granülometrisi en az boşluklu beton elde edilecek şekilde ayarlanmalı.
- d. Su/çimento oranı düşük tutulmalıdır. Örneğin; Amerikan Beton Enstitüsü, normal suyun etkisine ve deniz suyunun etkisine maruz kalacak betonların üretiminde kullanılması gereken en büyük su/çimento oranlarını, sırasıyla, 0.48 ve 0.44 olarak belirtmektedir.
- e. Su/çimento oranının düşük olmasını sağlayacak veya betonun içerisine su girmesini azaltacak türde kimyasal katkı maddeleri kullanılmalıdır.
- f. Beton sıkıştırılmalıdır. Beton karılması, taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işlemleri esnasından segregasyonun yer almamasına, betonun üniform yapıda olmasına dikkat edilmelidir.
- g. Özellikle betonun dayanım kazanma aşamasında betona yeteri kadar nem ve su sağlanmalıdır. Taze betonun yerine yerleştirilip, sıkıştırılıp, yüzeyinin düzeltilmesi işlemlerinden hemen sonra kür başlatılmalıdır. Kür süresi mümkün olabildiği kadar uzun tutulmalıdır.

Yüksek akışkanlaştırıcı katkı maddeleri ile uçucu küllerin bir arada kullanılmasıyla vibrasyon gerektirmeyen kendiliğinden yerleşebilen ve dayanımı yüksek, geçirimsiz betonlar üretilir. Beton suya/neme karşı yalıtımında, betonun harcına katılarak, sürülerek, kaplanarak uygulanan çeşitli izolasyon malzemeleri ve farklı uygulama yöntemleri vardır. Fakat bunların arasında malzemenin poroz boşluklarını ve kapiler kanalcıkların kristalize bir malzeme ile doldurulması en mantıklı ve etkin bir yol olarak görülebilir. Günümüzde nem ve rutubete karşı yapılacak yalıtım maliyetinin yüksek olmasından dolayı betonun dış yüzeyden yalıtılması yerine betona katkı maddeleri katılarak betona geçimsizlik sağlanabilir.

Mineral ve kimyasal katkılar kullanırken aşağıdaki öneriler ileri sürülebilir.

1. Düşük su/çimento oranı ile süper akışkanlaştırıcının birlikte kullanılmalıdır,
2. Mineral katkı, uçucu kül veya mikro silika kullanılmalıdır. Uçucu kül termik santrellerin bacalarından elde edilir. Mikro silikalar ise krom fabrikalarının bacalarında oluşan atıklardır. Mikro silikaların dane çapı, çimento dane çapının onda biri kadardır. Gerek mikro silika ve gerekse uçucu kül betonun boşluklarını tıkiyarak betonu geçirimsiz hale getirirler.

3. Birinci madde ve ikinci maddelerdeki uygulamaları bir arada kullanarak özel karışım dizaynları kullanmak. Özellikle temellerde ve tünellerde zemin suyunun ve nemin yüksek olduğu durumlarda bu özel karışımın uygulanmasıyla nitelikli sonuçlar elde edilebilir.

Bu amaçla yoğunlaştırılmış mikro silika ile naftalin sülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcıların bir arada kullanılmasıyla olumlu sonuçlar alınabilir.

4. Kapiler geçirimsizliği azaltmak ve dolayısı ile nemin etkisini azaltmak için betona hava sürükleyici katkıları kullanılabilir. Betonda genellikle %2-3 oranında kontrolsüz gelişmiş güzel dağılmış ve birbirine bağlantılı hava boşlukları olur. Bu boşluklar kapileriteyi artırırlar. Betonun geçirgenliğini azaltmanın yöntemlerinden birisi de betona %4-5 oranında hava sürükleyici katkıları kullanmak gerekir. Bu uygulama sonucu betonda oluşacak boşluklar biri birinden bağımsız olup betonun geçirgenliğini önler ve dolayısı ile dayanıklılığını artırırlar. Bu amaçla üretilmiş yağ Alkolü ve Amonyum tuzu esaslı hava sürükleyici katkı kullanılmasıyla hem daha düşük su/çimento oranına sahip beton hem de donma-çözülme etkisine karşı dayanıklı betonlar elde edilebilir.

5. Su/çimento oranını düşürecek yeni nesil süper akışkanlaştırıcılar kullanılmalıdır. Burada anlatılan akışkanlaştırıcıların hepsi çimento ile reaksiyona girmeyen ancak çimento danelerinin etrafını saran ve danelerin birbirini itmesini sağlayan, az su ile betona işlenebilirlik sağlayan maddelerdir. Günümüzde Polikarbosilik Eter Esaslı hiper akışkanlaştırıcılar kullanılmasıyla hem su/çimento oranının düşmesiyle betonun dayanımı artmaktadır. Hem de beton daha akıcı hale geldiği için kendiliğinden yerleşebilen, boşluksuz ve dolayısı ile dayanıklılığı yüksek olmaktadır.

Sonuç olarak; betonda bir çok kimyasal ve fiziksel olayların arkasında nem gerçeği yatmaktadır. Bağlı nemin faydası veya zararları iyi analiz edilmelidir. Beton dökülürken birinci ay betona yeterince nem veya su sağlanması betonun dayanımı için son derece önemlidir. Ancak ilk aydan sonraki dönemde betonun kullanıldığı çevrede ne tür fiziksel veya kimyasal olaylara maruz kalacağı önceden düşünülmelidir. Betonun bu yıpratıcı etkilere karşı direnç gösterebilecek şekilde üretilmesi dayanıklılık açısından önem arz etmektedir. Nemin sertleşmiş betona sızması betonun geçirgen olmasına bağlı bir olaydır. Betonun boşluksuz ve geçirimsiz olması durabilite bakımından önemlidir. Betonda durabilite (dayanıklılık) ve geçirimsizlik birbiriyle yakından ilgili olan iki olaydır. Betonun geçirimsizliğindeki en büyük etkenler de dışarıya açık büyük boşluklar ve çatlaklardır.

Bununla beraber su/çimento oranını düşüren, basınç dayanımını arttıran ve kılcal su emme, basınçlı su geçirgenliğini önleyen hidrofujler kullanılabilir. Su/çimento oranını düşürmekte etkin olan hiper/süper akışkanlaştırıcı katkı maddeleri, betonların basınç dayanımını artırmanın yanında betonların su emme ve basınçlı su geçirgenliği gibi tüm geçirgenliği

engellediği için bu tür kimyasal katkıların kullanılmasında büyük fayda vardır. Betonda dayanıklılık için nemin, korozyon, donma gibi olumsuz etkileri ile sülfat, asit, alkali, ısı farklılığı, karbonatlaşma vb kimyasal ve fiziksel etkilere direnç gösterebilecek şekilde üretilmesi gerekir. Pratikte beton sınıfı olarak çevresel etkinin şiddeti de dikkate alınarak C30 betonunun kullanılması, su/imento oranının 0.50'yi geçmemesi dayanım ve dayanıklılık açısından son derece önemlidir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak, basınç dayanımı en yüksek betonlar su içinde kür ile elde edilmiştir. Bunun yanında bağıl nemi yüksek ortamda bekletilen numunelerin dayanımı, düşük nem ortamında bekletilen numunelerin dayanımından daha yüksek çıkmıştır. Ortamın bağıl neminin yüksek oluşu betonun dayanım kazanmasına katkıda bulunmuştur. Beton hidrasyon için iç nemini tükettikten sonra çevredeki bağıl nemden faydalanmıştır.

Buna göre; 27 °C, %92 bağıl nemdeki numuneler ile 40°C,%30 bağıl nemdeki numunelerin ortalama basınç dayanımları arasında 3 MPa yani 30 kg/cm²'lik dayanım farkı olduğu ortaya çıkmıştır. Bu fark C30 betonunun %10'nuna denk gelmektedir. Ancak bu durum taze betonun dayanım kazanma aşaması için geçerli olup, daha sonraki yaşlarda ortamın neminin sertleşmiş betona olumsuz etkisi olduğu anlaşılmıştır.

Sertleşmiş betonun bozulmasına yol açan bütün kimyasal reaksiyonların gelişmesi nemin varlığına bağlıdır. Betonda dayanıklılık ve geçirimsizlik birbiriyle yakından ilgili olan iki olaydır. Betonun geçirimsizliğine bağlı olarak ortamın nemi betona nüfuz edip, poroz boşluklardan geçerek kapiler kanallar vasıtasıyla daha farklı seviyelere taşınır. Bu arada su buharlaşarak, çözünmüş olan asitleri, tuzları dış ve iç yüzeylere doğru sürükler. Diğer fiziksel ve kimyasal etkiler nedeni ile malzemenin yüzeyinde dökülmeler, renk değiştirmeler, küflenme ve mantarlaşma yaşanabilir.

Ayrıca beraberinde diğer kimyasalları getirerek asit, klor etkisi, karbonatlaşma ve alkali etkilere yolaçan nem; donatının korozyonu ve don olayı ile iç gerilmelerin meydana gelmesine neden olabilir. Betonun dayanıklılık problemleri betonun geçirimsizliği ile başlar. Geçirimsiz bir beton için düşük su/çimento oranı gerekir. Düşük su/çimento oranı işlenmeyi güçleştirdiği için işlenmeyi arttırıcı katkıları geliştirilmiştir. Betonun geçirimsiz olması durumunda birçok dayanıklılık problemlerine yol açan su ve zararlı sıvılar beton içerisine nüfuz edemez.

Betonun dayanıklılığını arttırma ve bağıl nemin betona olan olumsuz etkilerini azaltmak için yapılması gerekenler şunlardır:

- Su/çimento oranı düşük tutulmalıdır.
- Beton üretiminde kullanılacak çimentolar standartlara uygun, öğütülme inceliği ve kohezyonu yüksek olmalıdır.
- Karma suyu içilebilir nitelikte olmalı ve içerisinde madeni yağlar, % 1 'den fazla kükürt trioksit (SO₃), %3'ten fazla NaCl, karbonik asit, SO₄ iyonları ile şeker, alkol gibi maddeler bulunmamalı ve pH ≥ 7 olmalıdır
- Geçirimsizliği ve su emme yeteneği düşük olan agregalar kullanılmalıdır.

- Agreganın gradasyonunun standartlara uygun olmalı ve içerisindeki ince tane oranı optimum olmalıdır.
- Uçucu kül, öğütölmüş tras, öğütölmüş granüle yüksek fırın cürufu, mikro silika gibi ince taneli mineral katkılar kullanılabilir.
- Beton karılması, taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işlemleri esnasından segregasyonun yer almamasına, betonun üniform yapıda olmasına dikkat edilmelidir.
- Taze betonun yerine yerleştirilip, sıkıştırılıp, yüzeyinin düzeltilmesi işlemlerinden hemen sonra, derhal kür başlatılmalıdır. Kür süresi mümkün olabildiği kadar uzun tutulmalıdır.
- Betonun sıkıştırılmasına önem verilmelidir; sıkıştırma yöntemi ve uygulama süresi iyi seçilmelidir.
- Yüksek akışkanlaştırıcı katkı maddeleri ile uçucu küllerin bir arada kullanılmasıyla vibrasyon gerektirmeyen kendiliğinden yerleşebilen ve dayanımı yüksek, geçirimsiz betonlar üretilebilir.
- Bu amaçla yoğunlaştırılmış mikro silika ile naftalin sülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcıların bir arada kullanılmasıyla olumlu sonuçlar alınabilir.
- Donma-çözölmenin olduğu yerlerde kapiler geçirimsizliği ile nemin etkisini azaltmak için hava sürükleyici katkılar kullanılabilir. Bu amaçla üretilmiş Yağ Alkolü ve Amonyum esaslı hava sürükleyici katkı kullanılabilir.
- Yeni nesil süper akışkanlaştırıcılar ile Polikarbosilik Eter Esaslı hiper akışkanlaştırıcılar kullanılmasıyla hem su/çimento oranının düşürölerek betonun dayanımı artmaktadır. Hem de beton daha akıcı hale geldiği için kendiliğinden yerleşebilen, boşluksuz ve dolayısı ile dayanıklılığı yüksek olmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1]. OYMAEL, Sabit, (1997), “Yapı Fiziği Ders Notları”, ODE Mühendislik, İstanbul.
- [2]. <http://www.pimas.com.tr>
- [3]. <http://www.dinamik-izmir.com>
- [4]. BARADAN, B., YAZICI, H., ÜN, H., (2002), “Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), Dokuz Eylül Üniv. Müh. Fak. Yayınları, İzmir.
- [5]. <http://www.civilturk.com>
- [6]. EKİNCİ, C. E., (2003), ”Yalıtım Teknikler”, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.
- [7]. BAYAZIT, Ö., Lütfi, (1875), “Beton ve Deneyleri”, DSİ, Ankara.
- [8]. ÖZKUL, H., TAŞDEMİR, Mehmet Ali, TOKYAY, M., UYAN, M., (2004), “Her Yönüyle Beton”, Türkiye Hazır Beton Birliği- İSTANBUL.
- [9]. ŞİMŞEK, Osman, (2004), “Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri”, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Gazi Ü. Tek.Eğt. Fak. Ankara.
- [10]. DOĞANGÜN, Adem, (2005), “Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı”, Birsan Yayınevi Ltd. Şti. İstanbul.
- [11]. CELEP, Z., KUMBASAR, N., (2005), ”Betonarme Yapılar”, İhlas Gazetecilik A.Ş. Beta Dağıtım, İstanbul.
- [12]. TS 500, (2000), “ Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [13]. <http://www.evdose.com>
- [14]. <http://www.hazbeton.com>
- [15]. RAMYAR, Kambiz, (2005), “Durability” Ders Notları, Ege Üniv. Müh. Fak. İnş. Müh. Böl. Yapı Malzemesi A.B.D., İzmir.
- [16]. JASS 5, (1993),” Japanese Architectural Standard Specification for Reinforced Concrete Work, Architectural Institute of Japan, Japan.
- [17]. ERDOĞAN, T.Y., (2003), “Beton”, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yay. ve İletişim A.Ş., Ankara.
- [18]. <http://www.imoistanbul.org>
- [19]. <http://www.e-egitim.teknolojikarastirmalar.com>
- [20]. <http://www.utexas.edu>
- [21]. Degussa Yapı Kiyasalları Sanayi A.Ş., (2006), “Katkı Sistemleri”, İstanbul.
- [22]. EKİNCİ, C. E., (2004), “Bordo Kitap: Yapı ve Tasarımcının İnşaat El Kitabı”, Üniversite Kitapevi, Elazığ.

- [23]. <http://www.malaklar.com>
- [24]. TEPE, Hasan, (2006), " Betonda Kapiler Geçirimsizlik ve Rölatif Nem Etkisinin Araştırılması", Fırat Üniv. Fen Bilimleri Enst., Yüksek Lisans Semineri, Elazığ.
- [25]. Neville, A., M., (1999). "Properties of Concrete", Pearson Education Ltd. London.
- [26]. POSTACIOĞLU, Bekir, (1986), "Beton" Bağlayıcı Maddeler, cilt 1, Teknik Kitapları yayınevi, İstanbul.
- [27]. ÖZER, M.,(1982), "Yapılarda Isı-Su Yalıtımları", Cilt I, met/er matbaası, İstanbul.
- [28]. <http://www.pimas.com.tr>
- [29]. ÖZER, M., (1974), "Yapıların Isı, Su ve Buhar Yalıtımları", Haşmet basımevi, İst.
- [30]. ÜN, Hayri, (2004), "Değişik Tip Çimentolar Kullanılan Harçların Değişik İklim ve Kür Koşullarında Mekanik Özelliklerinin Gelişimi", Fen Bilimleri Enst., Doktora Tezi, İnş. Müh. Böl., Yapı Anabilim Dalı, İzmir.
- [31]. Türkiye Hazır Beton Birliği, (2004), "Her Yönüyle Hazır Beton", Genel Teknik Bilgiler Klavuzu, İstanbul.
- [32]. <http://www.concretesdc.org>
- [33]. <http://www.ciks.cbt.nist.gov>
- [34]. <http://www.cee.uiuc.edu>.
- [35]. <http://www.aci-int.org>
- [36]. <http://www.degussa-cc.com.tr>
- [37]. <http://www.fam.co.ae>
- [38]. ŞAHMARAN,M., YAMAN, Ö., ve TOKYAY, M., (2004),"Yeni Nesil Yüksek Akışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri İle Yüksek Hacimde Uçucu Kül İçeren Kendiliginden Yerleşen Beton", Ortadoğu Teknik Üniv. İnş. Müh. Böl., Ankara.
- [39]. YILDIZ, Servet, (2005), "Yapı Malzemesi-I", Ders notları, Fırt Ünv. Tek. Eğt. Fak. Yapı Eğt. Böl. Elazığ.
- [40]. TS 706, (1980), "Beton Agregaları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

ADI SOYADI : Hasan TEPE
BABA ADI : Mahmut
DOĞUM TARİHİ VE YERİ : 04.05.1969- Çemişgezek
BRANŞI : Yapı Öğretmeni
GÖREV YERİ : Salihli Anad. Tek. Anad. Mes. Tek. Lise
ve End. Mes. Lisesi
MEMURİYETE BAŞLAMA TARİHİ : 26.11.1992

1969 Tunceli İli Çemişgezek ilçesinde doğdum. İlk ve orta öğrenimimi Elazığ'da tamamladıktan sonra 1988 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Bölümünü kazandım. 1992 yılında bu bölümden iyi dereceyle mezun oldum. Aynı yıl Elazığ ili Palu ilçesi Yatılı Endüstri Meslek Lisesinde Yapı öğretmeni olarak göreve başladım. Bu görevde 4 yıl çalıştım. 1996 yılında Elazığ Merkez 100. Yıl Endüstri Meslek Lisesinde Yapı öğretmeni olarak göreve başladım. 2001 yılında aynı okulda Harita Kadastro Bölüm Şefliğine atandım. Daha sonra 2002-2003 Öğretim yılında Japonya'da, 1 Ağustos 2002 - 23 Şubat 2003 tarihleri arasında Tokyo Polytechnic Üniversitesinde, "Group Training for Vocational Training Instructors, Construction Engineering in Concrete Structure for Instructors and Engineerings." adlı eğitime katıldım. Bu eğitim vasıtasıyla; Betonarme Çelik Yapı İnşaatlarını (Steel Reinforced Construction), Betonarme Prefabrik Yapı Elemanları (Pre-cast/Half-Pre Cast Panels), Box production construction method (kutu/oda üretim metodu), Deprem sistemlerini (Insulation system of earthquake) ve Çağdaş Japon Mimarisini (Japanese Contemporary Architecture), vb.burada belirtmediğim daha bir çok inşaat alanında ve fabrikalarda inceleme yapma fırsatı buldum. Ayrıca beton (basınç),betonarme (kiriş eğilme deneyleri), çelik (çekme deneyi) ve agrega deneyleri vb. uygulamalara katıldım.

Halen Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümünde Yüksek Lisansına devam etmekteyim. Evli ve 2 çocuk sahibiyim. İngilizce biliyorum. Bilgisayar kullanabiliyorum. Boş zamanlarımda, internette bilimsel araştırmalar yapmak, müzik dinlemek, bağlama çalmak, futbol oynamak gibi hobilerim vardır.

Hasan TEPE