

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Varolan Bet. Yap. Tan. ve Değ. İlg. bir İrd.

YÜKSEK LİSANS TEZİ

P. Didem Baturay

1992

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**VAROLAN BETON YAPILARIN TANINMASI VE
DEĞERLENDİRİLMESİYLE İLGİLİ BİR İRDELEME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞ. MÜH. PERİN DİDEM BATURAY**

İSTANBUL - 1992

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot : R 150
: 228
Alındığı Yer : X.T.Ü
Tarih : 28.8.1995
Fatura : -
Fiyatı : 45.000 TL.
Ayniyat No : 1-16
Kayıt No : 51528
UDC :
Ek :

Y.T.Ü.

KÜTÜPHANE DOK. DAİ BAŞKANLIĞI

**VAROLAN BETON YAPILARIN TANINMASI VE
DEĞERLENDİRİLMESİYLE İLGİLİ BİR İRDELEME**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞ. MÜH. PERİN DİDEM BATURAY

İ Ç İ N D E K İ L E R

SAYFA NO

1.1 ÇİZİM YOLUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ	44
1.2 KARAR VERİLMESİ VE SONUÇLARINDAN ÇIKAN NİHAİ KARARLAR	45
ÖNSÖZ	46
ÖZET	47
SUMMARY	47
1. GİRİŞ	1
1.1 KONU, ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI	1
1.2 DEĞERLENDİRME İKİLEMİ	1
2. İRDELEME, TANI KOYMA, DEĞERLENDİRME VE GİRİŞİMLER	4
2.1 VAROLAN YAPISAL PERFORMANSIN BELİRLENMESİ	4
2.2 GELECEKTEKİ YAPISAL PERFORMANSIN TAHMİN EDİLMESİ	5
2.3 DEĞERLENDİRME SONUCUNA BAĞLI GİRİŞİMLER	5
2.4 GÜVENLİK KOŞULLARI	7
3. GÜVENLİĞİN SAĞLANMASINDA İZLENİLECEK YOLLAR	11
3.1 BİR GÜVENLİK POLİTİKASININ ÖĞELERİ	11
3.2 KULLANIMA İLİŞKİN VERİLERİN GÖZÖNÜNE ALINMASI	12
3.3 VAROLAN YAPILARA İLİŞKİN GÜVENLİĞİN BELİRLENMESİ	15
4. DEĞERLENDİRME SÜREÇLERİYLE İLGİLİ İNCELEMELER	18
4.1 GİRİŞ	18
4.2 GENEL İLKELER	19
4.3 YAPISAL ELEMANLARIN MUKAVEMETİ	21
4.4 YÜKLEME	24
4.5 YÜK ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ	26
4.6 YAPISAL YETERLİLİĞİN DENETLENMESİ	28
4.7 YÜK DENEYLERİ	30
5. ARAŞTIRMA SÜREÇLERİYLE İLGİLİ İNCELEMELER	33
5.1 GİRİŞ	33
5.2 DEĞERLENDİRMEYE İLİŞKİN YAKLAŞIM	33
5.3 İNCELEME SONUÇLARININ GÜVENİLİRLİĞİ	38
6. OLASI KARAR MODELLERİ	43
6.1 GİRİŞ	43
6.2 KULLANIM SÜRESİNİN TAHMİN EDİLMESİYLE İLGİLİ TEORİLER	43

6.3 ÇÖZÜM YOLLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	44
6.4 ARAŞTIRMALARDAN VE SONUÇLARINDAN ÇIKAN NİHAİ SONUÇLAR	45
6.5 KARARIN SONUÇLARI	46
6.6 OPTİMİZASYON	47
6.7 DEĞERLENDİRME KRİTERİ	47
6.8 MÜDAHALE DÜZEYİ	50
6.9 KARAR MODELLERİ	51
7. GÜVENİLİRLİK MODELLERİ	54
7.1 VAROLAN YAPILAR İÇİN STANDART VE YÖNETMELİKLER..	54
7.2 GÜVENİLİRLİK DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ	54
7.3 OLASILIKSAL GÜVENİLİRLİK MODELLERİ	54
8. BETON YAPILARIN DAYANIKLILIĞI İLE İLGİLİ İRDELEMELER.....	56
8.1 FİZİKSEL SÜREÇLER	56
8.1.1 Çatlama	56
8.1.1.1 Çatlamanın nedeni	56
8.1.1.2 Çatlak genişliği limitleri	70
8.1.2 Donma ve buzlanmayı önleyici maddeler	76
8.1.2.1 Hasar mekanizmaları	76
8.1.2.2 Etkiyen parametreler	82
8.2 KİMYASAL SÜREÇLER	86
8.2.1 Kimyasal olayların beton üzerindeki olumsuz etkileri	86
8.2.2 Asit etkisi	87
8.2.3 Sülfat etkisi	89
8.2.4 Alkali etkisi	92
8.3 BİYOLOJİK SÜREÇLER	95
8.4 DONATININ KOROZYONU	97
8.4.1 Karbonatlaşma	97
8.4.2 Elektro-kimyasal korozyon	102
8.4.3 Klorür kirlenmesi	112
9. TANI KOYMA VE DEĞERLENDİRMEDE KULLANILAN DENEY YÖNTEMLERİ	122
9.1 GİRİŞ	122

9.2 YAPISAL DENEYLER	123
9.2.1 Yerinde yükleme deneyi	123
9.2.2 Uzun süreli izleme	125
9.2.3 Titreşim deneyi	126
9.2.4 Laboratuvarda gerçekleştirilen taşıma gücü deneyi	127
9.2.5 Ölçümler teknipleri	127
9.2.5.1 Akustik yayım	127
9.2.5.2 Fotogrametri	129
9.3 FİZİKSEL DENEYLER	129
9.3.1 Mukavemete ilişkin olanlar	129
9.3.1.1 Karot deneyi	129
9.3.1.2 Geri-tepmeli çekici (Schmidt çekici)	132
9.3.1.3 Çekip-çıkarma deneyi	133
9.3.1.4 İçsel kırılma deneyi	134
9.3.1.5 Çekme deneyi	135
9.3.1.6 Koparma deneyi	135
9.3.1.7 Penetrasyon mukavemeti(Windsor sonda deneyi)	137
9.3.1.8 Ultrases titreşim hızı (Pundit)	137
9.3.2 Boşluk olan yerlerin belirlenmesi	141
9.3.2.1 Endoskop	141
9.3.2.2 Radyografi	141
9.3.2.3 Radar	143
9.3.2.4 Tabakalaşmayı belirleyici cihaz	144
9.3.2.5 Termografi	144
9.3.2.6 Tomografi	145
9.3.3 Donatı yerlerinin belirlenmesi	145
9.3.4 Su penetrasyonu	146
9.3.4.1 Emme	146
9.3.4.2 Geçirimsizlik	146
9.3.4.3 Başlangıç yüzey emmesi deneyi	147
9.3.4.4 Sızıntı arama	147
9.3.5 Gaz yayımı(nüfuzu)	148
9.3.6 Hava doluluğu	149
9.3.7 Agregatı	149

9.4 KİMYASAL VE ELEKTRO-KİMYASAL DENEYLER	150
9.4.1 Betonun bileşenleri	150
9.4.2 Klorit içeriği	152
9.4.3 Karbonatlaşma derinliği	154
9.4.4 Donatı potansiyeli	154
9.4.5 Dirençlilik	156
10. SONUÇ VE ÖNERİLER	158
ÖZGEÇMİŞ	159
KAYNAKLAR	160

Varolan beton yapıların, birçok yöntemler kullanılarak, bugünkü ve gelecekteki performanslarının saptanması, güvenilirlik ve kullanılabilirliklerinin ortaya konması-şeyi konu alan bu yapılar için, ülkemizde, bu konuda yeterli yayının olmadığı da gözönüne alınarak, çalışmalarına, çok yararlı olacağı inan-
cındayız.

Tez konuyu titizlikle seçen ve araştırılmasında her türlü de-
reğini asırmayan, değerli Doç. Dr. değerli İnsan Sayın Prof.
Altay GÜNDÜZ'e, çabılarında ve tezinde yazımında yardımları-
nı gördüğüm, baba Sayın Dişhekim Dr. Tuncel BATURAY'a teşekkür
kürü borç bilirim.

25 Mayıs 1992, YILDIZ

Perin Diden BATURAY

Ö Z E T

Varolan beton yapılara tanı koymak ve onları değerlendirmek, yeni bir yeminin tasarrufından çok daha zor ve her mühendisin üstesinden kolaylıkla gelebileceği bir olgu değildir.

Varolan beton yapıların, bugünkü ve gelecekteki performanslarının belirlenmesi ve beklenen ömürleri süresince güvenilirlik ve kullanılabilirlik **Ö N S Ö Z** e ilişkin kapsamlı Türkçe yayınlara rastlanmaktadır.

Varolan beton yapıların, birçok yöntemler kullanılarak, bugünkü ve gelecekteki performanslarının saptanması, güvenilirlik ve kullanılabilirliklerinin ortaya konması savını konu alan bu yapıtın -hele, ülkemizde, bu konuda yeterli yayının olmadığı da gözönüne alınırsa- meslekdaşlarıma, çok yararlı olacağı inancındayım.

Tez konumu titizlikle seçen ve hazırlanmasında her türlü desteğini esirgemeyen, saygıdeğer hocam, değerli insan Sayın Prof. Altay GÜNDÜZ'e, çevirilerimde ve Tezimin yazımında yardımlarını gördüğüm, babam, Sayın Dişhekimim Dr. Tankut BATURAY'a teşekkürü borç bilirim.

25 Mayıs 1992, YILDIZ yorumlayabilmeli ve Perin Didem BATURAY larını belirleyebilmelidir. Ancak böylece, yapının gerçeğe en yakın değerlendirmesi yapılarak gelecekteki işlevsel yeteneği tahmin edilebilir.

Varolan beton yapıların güvenilirliğine ilişkin kayıtlar, her düz, hiçbir ülkenin ilgili yönetmelik ya da standardında bulunmamaktadır. Bu bağlamda, varolan beton yapıların yapısal güvenilirlik düzeylerinin ve gerçek yük taşıma kapasitelerinin belirlenmesiyle ilgili yönetmelik ve standartların bir an önce hazırlanması gerekmektedir. Bu varolan beton yapıların, mantıksal bir güvenilirlik düzeyi ile günümüz istemlerini karşılayabilecek duruma getirilebilmeleri için gereklidir.

Ö Z E T

Varolan beton yapılara tanı koymak ve onları değerlendirmek, yeni bir yapının tasarımından çok daha zor ve her mühendisin üstesinden kolaylıkla gelebileceği bir olgu değildir.

Varolan beton yapıların, bugünkü ve gelecekteki performanslarının belirlenmesi ve beklenen ömürleri süresince, güvenilirlik ve kullanabilirliklerinin sağlanmasına ilişkin kapsamlı Türkçe yayınlara rastlanılmamaktadır.

Bu çalışma, Avrupa Uluslararası Beton Komitesi (CEB)'nin yayınlamış olduğu rapor esas alınarak, konuya katkıda bulunmak ve literatürümüzde bu konudaki boşluğu kısmen gidermek amacıyla hazırlanmıştır.

Varolan beton yapılara ilişkin değerlendirmelerin yapılabilmesi için, yapıların durumlarına ilişkin bilgi edinilmesi ve yapısal performansın devamlılığı konusunda bu bilgilerin kullanılmasını içeren tanı koyma yöntemleri mevcuttur. Bir yapının durumunun değerlendirilmesiyle ilgili gereken temel bilgilerin elde edilmesinde, yükleme deneylerinden, yapıdan parça alınıp kimyasal çözümlemesine kadar çok sayıda deney bulunmaktadır. Değerlendirme mühendisi, bu deneylerden elde ettiği sonuçları doğru yorumlayabilmeli ve güvenilirlik derecelerini belirleyebilmelidir. Ancak, böylece, yapının gerçeğe en yakın değerlendirmesi yapılarak, gelecekteki işlevsel yeteneği tahmin edilebilir.

Varolan beton yapıların güvenilirliğine ilişkin kayıtlar, henüz, hiçbir ülkenin ilgili yönetmelik ya da standartında bulunmamaktadır. Bu bağlamda, varolan beton yapıların, yapısal güvenilirlik düzeylerinin ve gerçek yük taşıma kapasitelerinin belirlenmesiyle ilgili yönetmelik ve standartların bir an önce hazırlanması gerekmektedir. Bu, varolan beton yapıların, mantıksal bir güvenilirlik düzeyi ile günümüz istemlerini karşılayabilecek duruma getirilebilmeleri için gereklidir.

S U M M A R Y

Dileğimiz, yurdumuzda da, bu konuda daha kapsamlı çalışmaların yapılması ve bu tezin örnek alınarak, ileride yapılacak çalışmalara yardımcı olmasıdır.

There are no comprehensive Turkish publications related to establishing the present and future performances of existing concrete buildings and assessing their reliability and serviceability during their expected service life.

This study has been prepared for the purpose of contributing to the subject matter and fill partly the empty space on this matter in our literature by taking as a basis the report published by CEB (Comité Euro-International du Béton).

To allow assessing the existing concrete buildings, there are ways for obtaining information on the conditions of building and the continuity of the structural performance, and methods for using this information and making a diagnosis. There are many tests ranging from load tests up to taking samples from the building and making chemical analyses for obtaining the basic information required for assessing the condition of a building. The assessing engineer should be able to interpret correctly the results obtained from these tests and determine their reliability. Through this way an assessment can be made of the closest real state of the building and its future functional efficiency estimated.

The records on the reliability of the existing concrete buildings do not exist in any country's related regulations and standards yet. In this connection, the regulations and standards related with determining the structural reliability level of existing concrete buildings should be prepared without delay. This is necessary to allow bringing a logical reliability level of existing buildings to a condition which could meet the requirements for today.

S U M M A R Y

To diagnose and assess the existing concrete buildings is much more difficult than to design a new building, and is an event which cannot easily be solved by every engineer.

There are no comprehensive Turkish publications related to establishing the present and future performances of existing concrete buildings and securing their reliability and serviceability during their expected service life.

This study has been prepared for the purpose of contributing to the subject matter and fill partly the empty space on this matter in our literature by taking as a basis the report published by CEB (Comité Euro-International du Béton).

To allow assessing the existing concrete buildings, there are ways for obtaining information on the conditions of buildings and the continuity of the structural performance, and methods for using this information and making a diagnosis. There are many tests ranging from loading tests up to taking samples from the building and making chemical analyses for obtaining the basic information required for assessing the condition of a building. The assessing engineer should be able to interpret correctly the results obtained from these tests and determine their reliability. Through this way can only an assessment on the closest real state of the building be made, and its future functional efficiency estimated.

The records on the reliability of the existing concrete buildings, do not exist in any country's related regulations and standards yet. In this connection, the regulations and standards related with determining the structural reliability levels and real load carrying capacities of existing concrete buildings, should be prepared without delay. This is a necessary to allow bringing with a logical reliability level the existing buildings to a condition which could meet the requirements for today.

We wish that more comprehensive studies be conducted on this matter in our country also, and this thesis be taken as a sample, and provide assistance for the studies to be conducted in future.

1.GİRİŞ

1.1 KONU,ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

1.2 DEĞERLENDİRME İKİLEMİ

1.GİRİŞ

1.1 Konu,çalışmanın amacı ve kapsamı

Bugün, varolan beton yapıların performanslarının belirlenmesi ve geriye kalan yapısal ömürlerinin tahmin edilmesiyle ilgili kapsamlı Türkçe yayınlara rastlanılmamaktadır. Bu çalışma, bu konudaki eksikliği bir ölçüde gidermek, konuya katkıda bulunmak için yapılmış ve Avrupa Uluslararası Beton Komitesi (CEB/Comité Euro-International du Beton) ilgili görev grubu tarafından düzenlenen rapor temel alınarak geliştirilmiştir [1].

Çalışmada,anılan değerlendirmelerin(irdeme ve karar,assessment)yapılabilmesini sağlayan mevcut tanı koyma (teşhis,diagnosis) yöntemleri incelenecek ve belirlemelerle ilgili ölçütler (kriter) açıklanacaktır.Bu bağlamda performans terimi yapının işleviyle ilintili gereksemelerin ve beklentilerin gerçekleşme düzeyi,yapının ömrü boyunca davranışı karşılığı kullanılacaktır.

Bu çalışma on bölümden oluşmaktadır.Giriş bölümünü izleyen ikinci bölümde irdeme,tanı koyma,değerlendirme ve girişimler açıklanacak,üçüncü bölümde güvenliğin sağlanmasında izlenebilecek yollar belirlenecek,dördüncü bölümde değerlendirme, beşinci bölümde araştırma süreçleriyle ilgili incelemeler hakkında bilgi verilecek,altıncı bölümde olası karar modelleri,yedinci bölümde güvenilirlik modelleri irdelenecek, sekizinci bölümde beton yapıların dayanıklılığıyla ilgili irdemeler,dokuzuncu bölümde tanı koyma ve değerlendirmede kullanılan deney yöntemlerinden bahsedilecek ve onuncu bölüm olan sonuç bölümünde ise önerilerde bulunulacaktır.

1.2 Değerlendirme ikilemi

Mevcut beton yapıların değerlendirilmesi, uzmanlık ve deneyim isteyen,çok az sayıdaki mühendisin üstesinden gelebileceği bir konudur. Buna karşılık beton yapılar gün geçtikçe çoğal-

makta, sayıları hızla artmaktadır. Son yıllarda yeni beton yapılarda gerçekleştirilen dayanıklılığı (durability) arttırıcı çözümler, işlevlerinde aksaklık görülen ya da hastalıklı görünümlü çok sayıdaki yapıya henüz uygulanmamıştır.

Bu tür yapıların başka amaçla kullanılması, işlevinin değiştirilmesi doğru bir çözüm değildir, ekonomik olmaz. Örneğe, bir okulun, bir hastanenin ya da bir resmi binanın konuta dönüştürülmesi gibi. Ayrıca, yürürlükteki ilgili yönetmelikler ve çevresel kısıtlamalar bu tür işlev değişimlerini de yasaklamış olabilir [2,3].

Sosyo-ekonomik açıdan yapı mühendislerine önemli bir görev düşmektedir. Bu görev, işlevinde aksaklık görülen yapıların yapısal kapasitelerinin gerçekçi biçimde değerlendirilmesi, bunların kullanım dışı kalmalarını önleyecek müdahalelerin yapılması ve günümüz gereksemelerini karşılayacak uyarlamalarla ilgili çözümlerin üretilmesidir [2-4].

Bir değerlendirme mühendisinin mesleki performansının çok yüksek olması öngörülmelidir. Mesleki bilgisi sağlam, araştırmacı niteliğe sahip, deneyimli, yaratıcı hayal gücü ve mühendislik sezgisi gelişmiş olmalıdır. Değerlendireceği yapıya ilişkin tam bilgiyi hiç bir zaman elde edemeyeceğini algılamalı, aradaki bilgi boşluklarını mühendislik deneyimi ve sağ duyusuyla kapatabilmeli, ilgili yapısal kapasiteyi gerçekçi biçimde betimleyebilmeli, çok ihtiyatlı tahminlerde bulunmalıdır. Bu nitelikte bir mühendis, yapıya ilişkin tasarım ve uygulama resimlerinden, yapının inşa sürecinde tutulan kayıtlardan, deney sonuçlarından, yapıda kullanılan malzemelerin niteliğiyle ve yapıyla ilgili önemli bilgiler sağlayabilir.

Değerlendirme mühendisinin karşılaşılabileceği bazı teknik sorunlar şöyle sıralanabilir:

- (1) Varolan yüklerin ve bunların gelecekteki olası artışlarının belirlenmesi.
- (11) Aşırı deformasyonlar, çatlaklar, oturmalar, plastikleşmeler, fiziksel ve kimyasal etkiler sonucu bozulmalar ve

benzerleri gibi yapıyı elastik ötesi, olağan dışı davranışa zorlayan olgular.

- (111) Öngerme, ankrajlar ve mesnetler gibi yapının güvenilirliğini ve dayanıklılığını etkileyen detayların önemli olduğu durumlar.
- (1v) Yapının bütün olarak performansını etkileyen çatlakların ve olası beton bozulmalarının varolması.

İleride görüleceği gibi, öndeğerlendirme araştırması sürecinde yapı üzerinde çok sayıda deney yapılabilir. Değerlendirme mühendisi bu deneylerden elde edilen sonuçları doğru yorumlayabilmeli ve güvenilirlik derecelerini belirleyebilmelidir.

Varolan yapıların değerlendirilmesinde, yeni yapıların tasarımında kullanılan güncel (aktüel) yönetmelik ve standartların gözönüne alınması bağlamında şu sorularla karşılaşılabılır:

- (1) Yapının güncel yük taşıma kapasitesinin belirlenmesinde, yeni yapıların tasarımına ilişkin yönetmelik ve standartlar mı, yoksa yapının orijinal tasarımında kullanılanlar mı, temel alınacaktır.
- (11) Yapısal değerlendirme ve yorumlamalarda, yönetmelik ve standartlardan bağımsız ama geçerli, karmaşık matematiksel modellerin kapsamlı kullanılmasına izin verilmeli mi, yoksa yönetmelik ve standartlara bağımlı mı kalınmalı. Başka bir anlatımla yönetmelik ve standartlardaki mukavemet ve yük katsayıları kısmen ya da tamamen gözönüne mi alınmalı.
- (111) Varolan bir yapıyı değerlendiren ya da güncel durumunu belirleyen mühendis, yapıdaki gerçek mukavemet parametrelerinin, yüklerin, yapısal oluşumun ve yapının doğasının (nature), incelenen yapının benzeri bir yapının tasarımında kabul edilenlerden önemli ölçüde farklı olacağını algılamalıdır.

2. İRDELEME, TANI KOYMA, DEĞERLENDİRME VE GİRİŞİMLER

- 2.1 VAROLAN YAPISAL PERFORMANSIN BELİRLENMESİ
- 2.2 GELECEKTEKİ YAPISAL PERFORMANSIN TAHMİN EDİLMESİ
- 2.3 DEĞERLENDİRME SONUCUNA BAĞLI GİRİŞİMLER
- 2.4 GÜVENLİK KOŞULLARI

2. İRDELEME, TANI KOYMA, DEĞERLENDİRME VE GİRİŞİMLER

Beton bir yapının varolan kapasitelerini sınırlarken şu soru sorulabilir: "Bu yapı, kapasitelerini ne kadar zaman koruyabili-

Varolan beton yapılara tanı konulması ve bunların değerlendirilmesi süreçlerinde şu hususlar gözönünde tutulmalıdır:

Varolan bir yapı önemli ölçüde hasar ve/ya da bozulma etki-

- (i) Yüklerden ve dış çevre etkilerinden (klorür etkisi, donma erime çevrimi, karbonatlaşma, ısısal etkilerden kaynaklanan bozukluklar, yorulma vb.) oluşan bozulmaların olup olmadığı,
- (ii) Dış çevreden gelen hasarların (deprem, sel, fırtına vb.) ve özel olayların (aşırı yükleme, vasıta etkileri, yangın ya da patlamalar vb.) etkisinde kalıp kalmadığı,
- (iii) Alkali-agrega reaksiyonu gibi iç etkilerle ilgili hasar oluşup oluşmadığı, uygun olmayan agregaların (yüksek klorürlü) ve çimentoların (yüksek alüminli) kullanılıp kullanılmadığı,
- (iv) Orijinal tasarımında kabul edilen hareketli yükten farklı ve daha büyük hareketli yüklerin etkisinde kalıp kalmadığı.

Buraya dek yapılan belirlemeler yapısal değişikliklerin yeniden tasarımında gözönüne alınmalıdır.

2.1 Varolan yapısal performansın belirlenmesi

Varolan beton bir yapının performansının çözülmesi, yalnızca yapısal tasarımdaki bilinen davranış denetlemelerinden sağlanan bilgileri içermez. Aynı zamanda, herbir yapısal elemanın fiili durumu ve korunma koşullarıyla ilgili kapsamlı irdelemeleri de gerektirir. Bu bağlamda, bozulmuş ya da hasar görmüş elemanlara tanı konulmalı ve yapısal çözümleme yapılmadan önce bunların yapısal özellikleri ve kalıcı (geriye kalan, gerçek) mukavemetleri hesaplanmalıdır. Çözümlemede, mevcut performans yeteneğine ilişkin yük durumları tanımlanmalıdır. Çözümlemeyi denetlemek için kimi zaman yükleme deneyleri de yapılması gerekebilir [2,3,5].

2.2 Gelecekteki yapısal performansın tahmin edilmesi

Beton bir yapının varolan kapasiteleri çözümlenirken şu soru sorulabilir: "Bu yapı,kapasitelerini ne kadar zaman koruyabilir?".

Varolan bir yapı önemli ölçüde hasar ve/ya da bozulma etkisinde kalmışsa,yapının işlevinin değiştirilmesi ya da yapının bir bölümünün yenilenmesi bir çözüm yolu olabilir[2,3]. Burada önemli olan,ilgili yapı için kabul edilemeyecek risk düzeyinin belirlenmesidir.Çevresel etkiler ve yük geçmişine bağlı olduğu için,yapısal ömür tahminlerine fazla güvenilmemelidir.

Bununla beraber yapı üzerinde, durum belirleyici ve uyarıcı düzenler(monitör)kullanılmasıyla mühendisi aydınlatacak bilgilerin sağlanması mümkündür [2].

2.3 Değerlendirme sonucuna bağlı girişimler

Tanı ve değerlendirme yapının varolan performansının yetersiz olduğunu gösteriyorsa, yetersizlik düzeyine göre önlemler alınmalı, müdahaleler yapılmalıdır [2,3].

Müdahale yolları (yöntemleri) :

Tahmin edilen ya da hesaplanan kapasite oranı değerlerine, acil ihtiyaçlara, maliyet-fayda ilişkilerine vb. bağlı olarak bir elemanın ya da yapının tümünün kapasite oranı değerini 1'e yaklaştıracı olmak için çeşitli müdahale yöntemleri kabul edilebilir.

(1) Yapının üst katlarının ya da üst bölümlerinin yıkılması

Bazı yapı elemanlarının yıkılması, mümkün olabilen acil bir önlemdir.Bu önlem aynı zamanda geriye kalan yapının güvenlik derecesini arttırmayı sağlayan bir önlem olarak da kabul edilebilir.Bu önlem,örnek olarak,şu durumlarda alınabilir :

~ Farklı oturmaların gelişmesi halinde ve temelle ilgili sorunların bulunması durumunda.

~ Bir yapının planında ve/ya da elevasyonunda(yatay ve/ya da düşey statik sisteminde)kütlelerin ve/ya da rijitliklerin düzgün olmayan dağılımına neden olan yapısal elemanların bulunması durumunda.

Birinci durumda, bir yapının bir hatta birkaç katının kısmen yıkılması, düşey yükleri ve bunların temeldeki etkilerini azaltabilir.

İkinci durumda, sözkonusu elemanların yıkılması,yapının deprem sırasındaki tepkisini olumlu yönde geliştirir.

- (11) Kullanımın sınırlandırılması (hareketli yüklerin azaltılması, köprü trafiğinin azaltılması)

Önce de belirtildiği gibi bu önlem, çoğu zaman müdahale sırasındaki geçici güvenliğin sağlanması için alınır. Bununla birlikte bu önlem, tüm yapının güvenlik derecesini arttırmaya yönelik sürekli bir yöntem olarak da kabul edilebilir. Ancak bazı durumlarda kullanımın sınırlandırılması ani bir önlem olur; köprü trafiğinin azaltılması ya da durdurulması, depolarda ya da endüstri yapılarında hareketli yüklerin azaltılması gibi.

Son olarak, bir okulun, bir hastanenin ya da resmi bir binanın konuta dönüştürülmesi,kapasite oranının yükseltilmesini sağlayan etkili bir önlem olabilir.

- (111) Yapısal sistemin değiştirilmesi (onarım) ve/ya da yük etkilerinin yeniden dağıtılması

Örneğe, farklı oturmaların karşılanması amacıyla bir çerçeve girişinin basit kirişe dönüştürülmesi,bir yapısal sistem değişikliği anlamına gelir. Yük etkilerinin azaltılması hatta kaldırılması da,yapısal sistemin değiştirilmesinde olduğu gibi,etkili bir müdahale yolu o-

labilir. Gene, hiperstatik köprü girişleri mesnetlerinin yukarı doğru kaldırılması, yük etkilerinin yeniden dağıtılmasını sağlayan uygun bir teknik olabilir. İlişkin kurallar aşağıdaki gibidir. Standartın alanı ve kapsamı şöyle

(iv) Hasarlı elemanların hem taşıma ve/ya da rijitlik kapasitelerinin hem de düktilitelerinin eski değerlerine getirilmesi (restorasyon) güvenliğinin sağlanmasına ilişkin genel ilkeleri belirtmektedir. Daha açık anlatımla, bi-

(v) Hasarlı elemanların, özellikle ağır hasar görmüş olanların değiştirilmesi (restorasyon) kabul edilebilir bir güvenlik düzeyine göre hesaplandığını kanıtlayan bir süreci ta-

(vi) Yapının bazı yollarla güçlendirilmesi normal kullanıma ilişkin gereksinimlerin ve dayanıklılığın ilgili niteliklerini ~ ilave elemanlar kullanarak (dolgu duvar ve/ya da ku- ve korun şaklama teknikleri). olarak gözönüne alınır. ~

Hesap ~ Varolan elemanların (hasarlı olsun ya da olmasın) yerinde güçlendirilmesi. ~

Değiştirme, eski haline dönüştürme (restorasyon) ve/ya da güçlendirme şeklinde yapılan müdahale, hem hasara yol açan ya da açması beklenen etkimenin büyüklüğüne ve yapısına hem de -varsa- oluşan hasarın derecesine ve kapsamına bağlı özel bir olgu olarak kabul edilebilir. Gerçekte, ekonomik ve teknik başka parametreler de onarım ve/ya da güçlendirme kararlarını oldukça etkileyebilir. ~

~ hazırlanan yapı elemanlarının ~, tayinmesi ve yapının o- izlenecek yol temelde, tüm önemli durumlar hesaba katılarak gerçekleştirilen kâr/zarar analizine göre seçilir. Bu girişime karar verilirken belirlenen koşullar ve çevreye göre yapının gelecekte uğrayabileceği bozulmalar ve/ya da hasarlar da gerçekçi biçimde tahmin edilmelidir.

2.4 Güvenlik koşulları ~ gibi özel durumlarda karşılaşılan etkilere karşı korumaları beklenemez. Ancak, ~, patlamadan

Varolan beton yapılara ilişkin güvenilirliğin belirlenmesi, yeni yapıların tasarımındakinden farklıdır. Uluslararası Standartlar Örgütü'nün (ISO / International Standard Organization) 2394 sayılı standartında (yapı güvenliğinin sağlanmasına i-

Yukarıda açıklanan etkiler ve risklerin sınırlandırılması ve ilişkin ilkeler), tüm inşaat mühendisliği etkinlikleri için geçerli olmak üzere yapıyla ilgili tasarım hesaplarına ilişkin kurallar açıklanmaktadır. Standartın alanı ve kapsamı şöyle belirtilmektedir [1,6] :

"Bu Uluslararası Standart, yapı güvenliğinin sağlanmasına ilişkin genel ilkeleri belirtmektedir. Daha açık anlatımla, bilinen ya da gerçekleşmesi beklenen etkiler altında kalan yapının mukavemetinin ve davranışının, kabul edilebilir bir güvenlik düzeyine göre hesaplandığını kanıtlayan bir süreci tanımlamaktadır. Güvenlik, yapı mukavemetiyle, normal kullanımına ilişkin gereksemelerin ve dayanıklılığıyla ilgili niteliklerinin, özelliklerinin ya da karakteristiklerinin sağlanması ve korunmasıyla bağlantılı olarak gözönüne alınır.

Hesap yöntemi deneysel verilere dayanır; ölçekli modeller ve prototip yapılar üzerindeki testlerden elde edilen veriler gibi. Bilimsel teori olabildiğince istatistiksel açıdan yorumlanır.

Genel ilkeler sadece yapının tamamını değil (bina, köprü, endüstriyel yapı, baraj vb.) aynı zamanda yapıyı oluşturan yapısal elemanları ve temelleri de kapsar.

İlkeler, binanın belirlenen ömrü boyunca kullanım süresi ve yapım sürecindeki ardışık evreler için de geçerlidir. Örneğe, hazır yapı elemanlarının üretilmesi, taşınması ve yapının oluşturulmasıyla ilgili tüm şantiye etkinliklerini kapsar.

Yapının ömrü boyunca kullanımı sırasında karşılaşılan gerçek durumların, tasarımı aşamasında belirlenenlerden önemli ölçüde farklı olmayacağı kabul edilir.

Yapının ömrü boyunca kullanımı sırasında karşılaşılan gerçek durumların, tasarımı aşamasında belirlenenlerden önemli ölçüde farklı olmayacağı kabul edilir.

Genellikle, yapıların savaş gibi özel durumlarda karşılaşılan etkilere karşı koymaları beklenemez. Ancak, deprem, patlamadan doğan basınç ve araç çarpması gibi olgular tasarımda gözönüne alınmalıdır. Bu olguların frekansları ya da şiddetleri hakkında yeterli bilgi olmadığı zaman, tasarımda ve yapımda bu etkilerle ilgili riskler sınırlandırılır."

Yukarıda açıklanan etkiler ve risklerin sınırlandırılması varolan yapılarla ilgili değildir. Ayrıca, varolan yapılardaki malzemelerin belirlenen güvenilirliği, tasarım aşamasındaki bir yapı gerçekleştiği zamanki güvenilirlikten fazla olabilir.

Göçmelerle ilgili araştırmalar, bu göçmelerin hemen hemen yarısının inşaat sırasında yapılan kaba hatalardan kaynaklandığını göstermektedir. Bunların üçte biri de tasarım sırasında yapılan kaba hatalardan doğabilir.

Bu kaba hatalar genellikle güvenlik hesaplarında gözönüne alınmaz. Ancak varolan yapıların göçme riskinin, tasarım aşamasındaki yapılardan farklı olduğunu belirtir.

Yukarıdaki genel ilkeler (ISO 2394) varolan yapıların çözümlenmesinde kullanılabilir. Ne var ki, böyle bir çözümlemede ilgili etkiler, olasılıksal yolla belirlenen riskleriyle hesaba katılmalıdır. ISO standartında belirtilen tasarımla ilgili istemler şunlardır [1,6] :

"Bütün yapılar ve yapısal elemanlar, yapım ve kullanım sırasında oluşabilecek tüm yüklere ve deformasyonlara karşı koyabilecek ve ömürleri boyunca uygun bir dayanıklılığa sahip olacak şekilde tasarlanmalıdırlar. Herhangi bir özel durumla karşılaşma olasılığı gözönüne alınarak uygun bir güvenlik sağlanmalıdır.

Ömrü boyunca yapının ya da yapısal elemanlarının bütünlüğü sağlanmalıdır. Dayanıklılık da mukavemet kadar yeterli olmalıdır.

Olasılık teorisiyle ilgili ilkeler, elverişli bir güvenliğin sağlanması koşuluyla optimum maliyetin belirlenmesinde de kullanılmalıdır. Optimum maliyetin belirlenmesinde şu hususlar gözönüne alınmalıdır:

- (1) Yapının ilk maliyeti,
- (11) Bütün ömrü boyunca oluşacak bakım maliyeti,
- (111) Hem insan hem de malzeme kaybı maliyeti. İnşaat ve kul-

lanım sırasında limit durumlara ulaşılması yapının kullanılamaz duruma gelmesi yüzünden oluşabilecek kayıpların maliyeti,

- (iv) Göçmeden kaynaklanan toplumsal huzursuzluklar,
- (v) Ahlaki değer yargıları (insan hayatı ile ilgili) ve toplumsal değer yargıları (Örneğin, bir kazanın ardından gelmesi beklenen kamu tepkileri)."

Küçük farklarla bu istemler varolan yapıların değerlendirilmesinde gözönüne alınır.

3. GÜVENLİĞİN SAĞLANMASINDA İZLENEBİ- LECEK YOLLAR

- 3.1 BİR GÜVENLİK POLİTİKASININ ÖĞELERİ
- 3.2 KULLANIMA İLİŞKİN VERİLERİN GÖZÖNÜNE ALINMASI
- 3.3 VAROLAN YAPILARA İLİŞKİN GÜVENLİĞİN BELİRLENMESİ

3. GÜVENLİĞİN SAĞLANMASINDA İZLENEBİLECEK YOLLAR

Bu bölümde, güvenliğin sağlanması konusunda seçilecek yöntemler hakkında bilgi verilecektir.

3.1 Bir güvenlik politikasının öğeleri

Mümkün olan yollar

Güvenlik politikası kavramı, ulaşım ağı üzerindeki köprüler, depo binaları topluluğu ve iskân alanındaki evler gibi yapı toplumlarıyla ya da bir kule, büyük bir baraj gibi bireysel yapılarla ilgilenen sorumlu otoriteler gerektirir.

Bu bağlamda bir güvenlik politikası, ilgilenilen yapıların herbiri için kararlar verilmesini ve bunların herbirine ilişkin karar mekanizmaları oluşturulmasını içermelidir [1,6,7].

Halen varolan yapılar için iki ekstrem güvenlik politikası öngörülebilir :

(1) Girişimler, yapıların güncel durumlarını belirli ve sabit bir düzeye yükseltmek ve bu düzeyle sınırlandırmak için yapılabilir.

(11) Girişimler, güncel ya da beklenen kullanımları için güvenlik düzeyi sabit kalacak şekilde varolan yapıların değiştirilmelerine yönelik olabilir.

Bu iki uç arasında alternatifler uygulanabilir. Herhangi bir politika, teknik görüşlere bağlı olmayan çok sayıda kriter temel alınarak seçilebilir. Bu seçimler, herşeyden önce politik olup, isteğe bağlı kullanım kısıtlamalarının bir sonucu olarak ortaya çıkabilecek sakıncaları da içerir.

Bütün bu belirlemelerle ilintili gereksemeler şöyledir : Ka-

bul edilebilir bir "güvenlik düzeyi"nin [8,9] sağlanması,yapının kullanımına ilişkin verilerin elde edilmiş olması ve varolan bir yapının güvenlik düzeyini belirleyebilmek için bu güvenlik düzeyi ile ilgili bilgilerin güvenilirliği konusunda bilgi sahibi olunması.

Gereksenen ya da kabul edilen güvenlik düzeyi

Güvenlik düzeyi,yalnızca yapıdan sorumlu olan yetkili tarafından belirlenebilir.Ne var ki,yetkili,bu düzeyin belirlenmesinde tamamen serbest değildir.Belirlemede ulusal ya da uluslararası kabullerin de gözönünde bulundurulması gerekir [6,10]. Bununla birlikte, sağlam ve ciddi gereksemeler konusunda her zaman karara varılması mümkündür.

Varolan yapılar için kabul edilen güvenlik düzeyleri, mümkün olduğu kadar,aynı sınıfa giren yeni yapılara ilişkin olanlarla uyum içinde olmalıdır.

3.2 Kullanıma ilişkin verilerin gözönüne alınması

Bu bağlamda,"kullanım"terimi,rüzgâr gibi kullanıcının denetim altına alması mümkün olmayan dış etkileri de kapsar.

Güncel ve gelecekteki kullanım

Bu konuda,iki farklı sınıflandırma yapılabilir :

(1) Basit sınıf;kullanımı tekil bir olgu esas alınarak tanımlanabilen ve bu olguya ilişkin değeri,yapının doğası nedeniyle fiziksel biçimde sınırlandırılmış olan yapıları içerir. Örneksen,bir barajdaki su yüksekliği, barajın yüksekliğinden fazla olamaz; bir deponun içereceği sıvı,deponun kapasitesini aşamaz.

(11) Normal sınıf;öteki yapıları içerir. Bu tür yapıların fiili kullanımlarının basit bir şekilde belirlenebilmesi bile oldukça karmaşıktır.

Bu konuya ilişkin modeller, gerçeği yakından yansıtabilir ya da yansıtmayabilir; az ya da çok güvenilir olabilir. Özellikle, işletme yükleri etkisinde kalan köprülerle ve bina döşemeleriyle ilintili olanlar gibi. Bir yapı, kullanım yönünden kimi zaman basit, kimi zaman da normal sınıfa girebilir. Örneğe, sıvı depoları, sıvı depolanması olgusunda basit, rüzgâr etkisinde kalmaları olgusunda normal sınıfa sokulur.

(1) Basit sınıf

Bu sınıfa giren bir yapının fiili durumunun belirlenmesi zor değildir. Gelecekteki kullanım ise geleneksel yöntemlerle tahmin edilebilir; karakteristik değerler ve benzerlerinin kullanılmasıyla.

Çoğu durumlarda bu tür yapıların gelecekteki kullanımı maksimum fiziksel kullanımla tanımlanarak basitleştirilebilir.

(11) Normal sınıf

Fiili kullanım çoğu zaman gerçeği tam yansıtmayan modeller kullanarak tanımlanabilir. Bu modellerin geliştirilmesi için gerekli olan istatistiksel yöntemleri bulmak amacıyla araştırmalar yapılmaktadır.

Gelecekteki kullanımın tahmin edilmesi konusunda bazı zorluklarla karşılaşılabilir. Bunlar, isteğe bağlı kullanımın (işletme yükleri) belirlenmesindeki kesinsizlikler ve insani denetim dışı doğa etkileriyle ilgili bilgi eksiklikleri olabilir. Yeni yapıların kullanımının tahmin edilmesinde de bu sorunlarla karşılaşılabilir.

Yapılar üzerindeki etkiler konusunda yapılacak tüm araştırmaların, bu etkilerle ilintili güvenilirlik irdelemelerini, olasılıksal belirlemeleri kapsamaması gerekir

Kullanımla ilgili sınırlamalar

Bir yapının kullanımındaki isteğe bağlı sınırlamalar, yalnızca pratik olarak denetlenebilen etkileri -işletme yüklerini- kapsar. Kullanımın sınırlandırılması konusunda alınacak önlemler, öteki etkilerin hesaba katılmaması anlamına gelmez.

(1) Basit sınıf

Yukarıda belirtilen basit yapılar için kullanımın isteğe bağlı sınırlanması zor olmaz. Bununla birlikte -arazi olsun ya da olmasın- bazı istenmeyen olguların oluşması ihtimali gözönünde bulundurulmalıdır. Örneğe, bir deponun maksimum su düzeyindeki boşaltma aygıtının tıkanması gibi olgular -riskler- hesaba katılmalıdır.

(11) Normal sınıf

Halen, kullanım sınırlaması etkilerinin belirlenmesi için gerekli olan yöntemler sağlanmış değildir. Bu konuda da iki örnek verilebilir:

(a) Bir yol köprüsüne ilişkin yükün sınırlandırılması:

Bu tür bir sınırlama köprü üzerinden geçmesine izin verilen bireysel araçlar için izin verilen maksimum yükü belirtir. Böyle bir sınırlama sözkonusu olduğu zaman, köprü üzerindeki sınırlandırılmamış trafik ile ilgili trafik yoğunluğunun gözönüne alınması gerekir. Bu konuda, basit indirgeme katsayılarıyla birinden ötekine geçiş mümkün olmaz.

Bu gibi ~ Bina döşeme yüklerinin sınırlandırılması:

Bu tür yükler döşemelerin metrekaresine gelen maksimum yükü belirtir. Fakat döşemeler üzerindeki yükler çok seyrek olarak düzgün (üniform) dağılır. Sınırlamalarda eğilme, kesme ya da zımbalama sınırları gözönüne alınmalıdır. Bu bağlamdaki sınırlamalar, yapının biçimindeki değişikliklerden kaynaklanabilir. Örneğe, bir döşemede delik açılması gibi.

Farklı olgular için sınırlamaların nasıl yapılabileceği konusunda araştırmalara gerek vardır. Bu konuda da izin verilen maksimum yüklerdeki istenmeyen artışların oluşması olasılığı gözönünde bulundurulmalıdır.

3.3 Varolan yapılara ilişkin güvenliğin belirlenmesi

Varolan bir yapıya ilişkin gerçek -fiili- etkiler uygun şekilde tanımlanabiliyorsa, yapının güvenliği bu etkilerin fonksiyonu olarak belirlenebilir. Anılan güvenliğin belirlenmesinde yeni yapılarla ilgili yöntemler, bazı değişiklikler yapılarak kullanılabilir.

Önceden (a priori) ve sonradan (a posteriori) bilgi edinme

Yeni yapılar için belirli bir güvenlik düzeyi, önceden (a priori) henüz üretilmemiş malzemelerin nitelikleri ve henüz inşa edilmemiş bir yapının işlevi esas alınarak belirlenir. Varolan bir yapı için "güvenlik düzeyi" kavramı farklı anlama gelir. Bu düzey, yapımdan sonra elde edilen ilave bilgilerden (a posteriori) etkilenebilir. Bu bağlamda, malzemelerin gerçek (fiili) özellikleri ve yapının etkilere karşı tepkisi hakkında çok duyarlı bilgiler, uygun irdelemelerle belirlenebilir.

Bu bilgiler muhtemelen çok ayrıntılı olmayabilir. Malzeme özelliklerinin tam olarak belirlenmesi ve bazı durumlarda gerekli verileri elde etmek için doğrudan ölçüm yapılması mümkün değildir.

Bu gibi durumlarda bu bilgiler doğrudan ölçülebilen öteki niteliklerden sağlanabilir. Örneğe, üretilmiş betonun "mukavemeti" yalnızca doğrudan olmayan yöntemlerle tahmin edilebilir. Ayrıca, bir yapının mümkün olabilen tüm etkiler ve özellikle çok şiddetli etkiler altındaki güvenilirliğinin ve davranışının belirlenmesi-ne kadar istenirse istensin-mümkün olmaz.

Böylece, detaylı yoldan, sonradan (a posteriori) yapılan irdelemelerden elde edilen bilgiler yalnızca olasılıksal yöntemlerle değerlendirilebilir [8,9]. Ancak bu bilgilere ilişkin belirsizliklerin, önceden (a priori) gerçekleştirilen tasarım evresindekilerin aynı olmadığı (değerlerinin farklı olduğu) unutulmamalıdır. Çünkü değerlendirme evresinde belirli bir yapı söz konusudur. Bu durumda, olasılıksal yöntemlerle belirlenen kısmi güvenlik katsayıları genellikle küçük bulunabilir.

Güvenlik katsayısının işlevi

Yeni yapıların güvenliğinin hesaplanmasında kullanılan yöntemlerdeki çeşitli katsayılar şu olgularla ilişkilidir: Malzemelerin özellikleri, yapının işlevi ya da etkisinde kaldığı etkiler hakkında "öncül" (a priori) verilerin yokluğu. Bu özelliklere ilişkin değerlerin kaçınılmaz dağılımı. Kabul edilebilir bir riskin belirlenmesi [8-11].

Varolan yapılar için yapıya ilişkin veri eksikliğiyle bağlantılı olan katsayılar uygun araştırmalarla değiştirilebilir fakat tamamen kaldırılamaz.

Yapının işleviyle ilgili bilgi eksikliğinden kaynaklanan katsayılar bu amaçla yapılan model deneyleriyle değiştirilebilir ancak tamamen kaldırılamaz. Bu tür deney sonuçlarının yorumlanmasında, yapıdaki malzeme değişikliklerinin gözönüne alınması gerekir.

Malzeme ve işçilik bakımından yapının özelliklerinin değerlendirilmesiyle ilgili katsayılar, bu amaca uygun bir araştırma ile duyarlı bir şekilde tanımlanabilir.

Kabul edilebilecek risk ile bağlantılı katsayılar, ilgili yetkililer tarafından öngörülen güvenlik düzeyine göre belirlenir.

Yeni yapılarla halen varolanlar arasındaki bu farklılıklardan yararlanmak için, her güvenlik katsayısı sınıfının çeşitli bölümlerinin belirlenmesi gerekir.

Yeni yapılarla varolan yapılar arasındaki farklılıkların algılanması, katsayıların sayısal değerleri üzerinde yapılacak değişimleri kolaylaştırır ve bu yapıların güvenliğinin aynı güvenlik düzeyi esas alınarak belirlenmesini sağlar.

Varolan bir yapının yapısal mekanizmasının (Yapısal oluşumunun) orijinal tasarımındakinden sapması halinde de yukarıdaki belirlemeler geçerli kabul edilebilir. Bir yapının gelecekteki bozulmalarının tahmin edilmesinde ya da bir yük etkisi yeniden dağılımının çözüm yolu(çare)olarak görülmesinde, güvenlik katsayısı yaklaşımının kullanılması esastır [10,12].

4 . DEĞERLENDİRME SÜREÇLERİYLE İLGİLİ İNCELEMELER

4.1 GİRİŞ

4.2 GENEL İLKELER

4.3 YAPISAL ELEMANLARIN MUKAVEMETİ

4.4 YÜKLEME

4.5 YÜK ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

4.6 YAPISAL YETERLİLİĞİN DENETLENMESİ

4.7 YÜK DENEYLERİ

4. DEĞERLENDİRME SÜREÇLERİYLE İLGİLİ İNCELEMELER

4.1 Giriş

Bir yapının değerlendirilmesinden amaçlanan şu durumların belirlenmesidir:

- (1) Orijinal tasarımındaki amacı gerçekleştirme ve sürdürme ile ilgili yeteneğinin saptanması.
- (11) Orijinal amacını gerçekleştirecek ve sürdürecektir kapasitede değilse, önem derecesi daha az olan hangi amaca uygun olduğunun tespiti.
- (111) Geriye ne kadar ömrü kaldığının belirlenmesi.
- (1v) Farklı bir amacı gerçekleştirebilecek nitelikte olup olmadığı. Örneğe, yük artışları gibi.

Genel olarak bu belirlemeler, tasarım evresindeki benzer matematiksel çözümlemeler yapılarak gerçekleştirilir. Bu çözüm- sel işlemler, değerlendirme sürecinin vazgeçilmez, gerekli ama yeterli olmayan bir evresidir. Çünkü bu işlemlerin yapılabil- mesi için fiziksel irdelenmelere ve malzeme deneylerine gerek- sinim vardır. Böylece, bir yapının genel değerlendirmesi yapı- labilir ve dolayısıyla gelecekteki işlevsel yeteneği tahmin edilebilir.

Bu bölümün amacı, yapının gelecekteki güvenli kullanımının de- ğerlendirilmesiyle ilgili matematiksel çözümlemelerde kulla- nılabilecek yöntemlerin irdelenmesi olacaktır. Bu bağlamda: He- sap süreçlerinin felsefesi ve yapıyı oluşturan elemanların mukavemetinin belirlenmesiyle ilgili yöntemler, yüklerin ayar- lanması konusundaki çözümleme yöntemleri gözden geçirilecek, yapısal yeteneğin yeterliliğinin kanıtlanmasıyla ilgili yön- temler tartışılacak, güvenli yük kapasitesinin belirlenmesiyle ilintili, yük kısıtlamalarını ve bunların uygulama biçimlerini

içeren yöntemler ve son olarak da tüm yapılar için yük deneyi konusu irdelenecektir.

4.2 Genel ilkeler

Limit durum yöntemi ve öteki değerlendirme yöntemleri

Bir yapının ya da genellikle yapıyı oluşturan elemanların mukavemetlerinin değerlendirilmesinde, tahmin edilmesinde kullanılabilecek en elverişli çözümleme yöntemi limit durum yöntemidir. Limit durum yöntemi, yarı olasılıksal bir yöntemdir. Yöntemde yapısal güvenlik, karakteristik değerler ve kısmi güvenlik katsayılarıyla sağlanır. Malzeme mukavemetleri ve yüklerle ilgili kısmi güvenlik katsayıları, kabul edilebilir bir göçme riski için, ilgili mukavemetlere ve yüklere ilişkin varyasyon katsayılarının fonksiyonu olarak olasılıksal yolla hesaplanabilir [8-12].

Limit durum yöntemi - uygun limit durum

Yapısal güvenliğin değerlendirilmesinde gözönüne alınması gereken limit durum hiç kuşkusuz son limit durumdur. Kullanılabilirlik denetlemelerine gerek yoktur. Çünkü bu bağlamdaki herhangi bir aksaklık ve yetersizlik, yapının geçmiş kullanımı sırasında oluşmuştur. Ayrıca varolan bir yapının kullanılabilirliğine ilişkin aksaklıklar, tekniğine uygun bilinen incelemelerle doğru bir şekilde kolaylıkla tanımlanabilir; idealleştirilmiş bir matematiksel modele göre hesap yapılması gerekmez. Yorulma, kritik limit durum gibi değildir; özellikle, betonarme ve öngerilmeli beton yapılarda, yapının yük geçmişi sürekli gözlemlenmemişse ve kayda geçirilmemişse geriye kalan yorulma ömrünün tahmin edilmesi çok güç olur.

Kullanılabilirlik ve yorulma limit durumlarının kullanılması

Yapıya uygulanan yüklerin ya da etkilerin arttırılması istenildiği ya da uzun ömürlü olması beklenen yeni yapılarla ilgili değerlendirmeler söz konusu olduğu zaman kullanılabilirlik denetlemeleri gerekir. Son durum için ayrıca yorulma denet-

lemeleri de yapılmalıdır [13].

Tüm yapısal sistemin değerlendirilmesi

Tasarım yönetmeliklerinin çoğu, yapının bütününden çok yapısal elemanlarıyla, bileşenleriyle ilgili maddeleri içerir. Bu bağlamda, yapısal eleman kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan yaklaşımların benzeri bir yaklaşımla yapının değerlendirilmesi doğru olmaz. Bunun iki nedeni vardır:

- (1) Yüklerin dağılımından ve paylaşılmasından dolayı bir yapının mukavemeti, bireysel elemanların mukavemetleri toplamından fazla olur.

4.3 Yapısal elemanların mukavemeti

- (11) Herhangi bir bölümündeki güçsüzlük, yapının bütününe yük taşıma kapasitesini etkileyebilir. Örnekte, temellerdeki ya da alt yapılardaki güçsüzlükler yapının bütününe kapasitesini ciddi şekilde etkileyebilir.

Şu halde, bir yapının kapasitesinin değerlendirilmesinde yalnızca bireysel elemanlarının değil, bütününe davranışı da gözönüne alınmalıdır.

Değerlendirme tipleri ve aşamaları

Malzeme özellikleri

Tekil yapının değerlendirilmesinde kullanılan yaklaşım, aynı özellikteki çok sayıda yapı veya yapı elemanları için kabul edilenden farklıdır. Tekil yapı söz konusu ise daha önce belirtilen ilkelere göre irdelemelerin yapılması ve gerektiği zaman ilgili araştırma verilerinin kullanılması normaldir.

Benzer tip yapıların değerlendirilmesi halinde ise, problemin kapsamına ve içerdiği çözüm yollarına göre kurallara bağlı bir yaklaşımın ya da çoğu zaman aşamalı bir yaklaşımın kullanılması gerekebilir. Örnekte, bir karayolunun belirli bir uzunluğu üzerinde bulunan bir köprüler takımının yük taşıma kapasitelerinin değerlendirilmesinde, bunlardan en güçsüzünün mukavemeti, karayolunun yük taşıma kapasitesini belirleyici karar kuralı kabul edilebilir. Şu halde önce, köprüler takımı, ku-

rallara bağılı bir yaklaşımla değerlendirilir. Bu yaklaşım, tasarım yönetmelikleri ya da bunların değerlendirmeye ilgili ek nüshaları esas alınarak yapılır. Sonra bu değerlendirme aşamasında istenen yük kriterine ulaşamayan yapılar, daha önce belirtilen ilkeler esas alınarak üretilen yöntemlerle ya da "karmaşık ve duyarlı"(sofistike) çözümlemelerle ayrıntılı biçimde irdelenir. Farklı değerlendirme aşamalarını içeren benzer bir yaklaşım, karmaşık yapıların değerlendirilmesinde kullanılabilir; örneğe, çok sayıda ayırık elemanları içeren bina çerçevelerinde olduğu gibi. Bu gibi durumlarda, kritik elemanları belirleyebilmek ve ayrıntılı olarak değerlendirebilmek için, önce tüm elemanlar değerlendirilir.

4.3 Yapısal elemanların mukavemeti

Mukavemet modeli

Limit durum yaklaşımında kullanılan herhangi bir çözümsel yöntemde, bireysel eleman mukavemetlerinin tahmin edilmesi amaçlanır. Bu tahminin yapılabilmesi için bu elemanların, eğilme kesme, basınç ve benzeri çeşitli etkiler altındaki mukavemetlerinin ve elemanları oluşturan malzemelerin özelliklerinin bilinmesi gerekir.

Malzeme özellikleri

Akma gerilmesi, basınç mukavemeti, elastiklik modülü gibi malzeme özelliklerine ilişkin öndeğerlendirmeler, geçerli tasarım yönetmeliklerindeki ilgili bilgiler esas alınarak yapılır. Öndeğerlendirmeler, yapının yetersiz olduğunu gösteriyorsa ya da malzemelerin yapısı ve niteliği hakkında kuşkulu bir durum varsa malzeme deneyleri yapılmalıdır.

Malzemelerin karakteristik değerlerinin ve güven derecelerinin belirlenmesi için kapsamlı deneylerin yapılması da gerekebilir. Malzeme özellikleri yapının bütünü üzerinde ve onu oluşturan elemanların içinde bir kesimden ötekine değişir. Bu nedenle, deneylere göre belirlenen malzeme özelliklerinin, yapının içindeki malzeme özellikleriyle özdeş olmadığı, bu bağ-

lamda her zaman bir belirsizlik oluşacağı unutulmamalıdır. Bu bağlamda malzeme özellikleriyle ilgili bilgiler-varsa-yapının inşası sırasında tutulan kayıtlardan da sağlanabilir.

Geometrik özellikler

Bir elemana ilişkin mukavemet modelinin bir başka önemli bileşeni de, elemanın kendisinin ya da bileşenlerinin gerçek boyutları olmalıdır; modelin oluşturulmasında tasarımda kabul edilen boyutlar kullanılmalıdır. Çünkü, tasarımdaki boyutlar, korozyon, herhangi bir hasar ya da parçalanma gibi bozulmalar nedeniyle indirgenmiş olabilir. Bu nedenle, gerçekleştirilen yapı üzerindeki gerçek boyutlar denetlenmelidir.

Ayrıca, bir yapı, tasarım çizimlerinde belirtilenden farklı inşa edilmiş olabilir. Eleman enkesitlerindeki donatı enkesit alanlarının, bu elemanların bazı kesimleri açılıp, donatı ortaya çıkarılmadan belirlenmesi çok zor olabilir.

Hesaplarda, donatının ve betonun gerçek kesit alanları kullanılmalıdır. Moment kolu, mukavemet modelinin önemli bir unsuru olduğu için, donatı çubuklarının gerçek konumlarının bilinmesi ve hesaplarda bunların gerçek konumlarına göre belirlenen moment kollarının esas alınması gerekir.

Değerlendirmedeki mukavemetin türetilmesi

Genellikle tasarım yönetmelikleri, geçerli araştırmaları temel alan hesap modellerini içerir. Bu bakımdan çeşitli etkiler altında kalan yapısal elemanların mukavemeti, bu yönetmeliklerde verilen bağıntılarla belirlenebilir. Ne var ki, yönetmeliklerdeki ve standartlardaki istemler, tasarım için basitleştirilmiş, ihtiyatlı düzenlemelerdir. Bu yüzden, her zaman, değerlendirme amaçları için elverişli olmayabilirler. Gene, tasarım yönetmeliklerinde verilen hesap modellerine ilişkin kısmi güvenlik katsayıları, eleman boyutlarındaki değişimler gözönüne alınarak belirli güvenlik paylarını içerecek şekilde belirlenirler. Bu nedenle, bu paylar, değerlendirilmesi söz konusu olan bir yapı için istenenden fazla olabilir. Bu gibi durumlarda,

deneysel veriler ya da kapsamlı deney programlarından sağlanan sonuçlar esas alınarak daha duyarlı ve gerçekçi hesap modelleri oluşturulabilir [9,14,15].

Bununla birlikte, önce yönetmeliklerin ilgili maddeleri gözönüne alınarak ihtiyatlı bir öndeğerlendirme yapılması sonra, ikinci aşamada daha duyarlı teknikler kullanılması uygun olur

Değerlendirme mukavemetlerinin türetilmesindeki kalıcı belirsizlikler

Bir yapının değerlendirilmesi ne kadar kapsamlı ve duyarlı bir şekilde yapılırsa yapılsın gene de kalıcı belirsizlikler oluşur. Bu belirsizliklerin bazı nedenleri şöyledir :

(i) Değerlendirmede, en yetkin ve duyarlı çözümsel modeller kullanılsa bile bunlar, hiçbir zaman gerçek yapısal davranışı tam olarak yansıtmazlar [9,14,15].

(ii) İstatistiksel esaslara göre irdelenebilmelerine karşın, bu yolun tüm kritik kesitlere uygulanabilirliği genellikle azdır.

(iii) İstatistiksel temele dayanan yaklaşımlar, sorunu bir ölçüde çöze bile, bir yapıdaki malzemelerin "yüzde yüz" örneklenmesi, denenmesi genellikle mümkün olmaz.

(iv) Yapının, çeşitli yük düzenleri etkisinde kalması halinde kritik kesitleri tanımlayan en kritik düzenlerin belirlenmesi güçtür.

Şu halde, malzeme özellikleri ve kesit boyutlarıyla ilgili bilgiler yalnızca, örnekleme yoluyla ölçüm yapılarak elde edilebilir. Yapının tümündeki belirsizliklerin ise, herhangi bir istatistiksel örneklemedeki belirsizliklerin aynı olduğu kabul edilebilir.

4.4 Yükleme

Basit yüklemelerle ve yükleme düzenleriyle ilgili modeller

Kimi yapılar için yalnızca hareketsiz yük,yapısal olmayan hareketsiz yük ve hareketli yükten oluşan tekil bir yük düzeninin gözönüne alınması yeterli olabilir.Hareketli yükün niteliği yapının işlevine bağlıdır: Bir karayolu köprüsü olgusunda taşıt araçlarıyla ilgili yükleme,kıyı ötesi bir yapı için dalga yüklemesi, yüksek bir kule için rüzgâr yüklemesi gibi.

Bununla birlikte,kimi yapılar için,yukarıda belirtilen üçlü yük düzenine sıcaklık etkisinin, rüzgâr ve deprem yükünün ve benzeri yük ve etkilerin ilavesi gerekebilir. Özellikle,farklı yük düzenleri için kısmi güvenlik katsayısı değerleri değişiyorsa,değerlendirmeye ilgili en kritik düzen her zaman belirgin olmaz.

Hareketsiz yük / Öz yük

Bir yapının öz yükü ya da öz ağırlığı tasarım resimleri ve tasarımda kabul edilen malzeme birim hacim ağırlıkları temel alınarak tahmin edilir.Ne var ki,yapının öz ağırlığı, önemli bir yükleme olgusu olduğundan yapısal değerlendirmelerde ilgili yapı üzerinde yapılan ölçümlerde belirlenen değerlerin ve boyutların esas alınması daha duyarlı yaklaşım olur.

Yapısal olmayan hareketsiz yükler

Yapısal olmayan hareketsiz yükler ya da öz yüke ilave edilmiş olan yükler şu olgulardan kaynaklanır: En son yapılan işler(Boya,badana vb.),kaplamalar(sıra,döşeme kaplamaları vb.), yüzeysel işler(satırların düzeltilmesi vb.);bu imalatın gelecekteki artışları için izin verilmesi gerekebilir. Havagazı, su tesisatı gibi hizmetlerle ilgili yükler.Bir su şebekesinin hasara uğraması nedeniyle oluşan yük artımları ve benzeri yük artışları.

Hareketli yük

Hareketli yükün niteliği yapının işlevine bağlı olarak gözönüne alınır. Yapıyı tasarım ömrü boyunca etkilemesi muhtemel bu yük, çoğu durumlarda bir matematiksel modelle betimlenir [8,9,11].

Örneğin, bir karayolu köprüsü olgusunda yükleme modeli muhtemelen, binek otomobilinden ağır yük taşıyan araçlara hatta normalin üstündeki ağır taşıt araçlarına kadar olan geniş bir yük yelpazesine (spektrum) ilişkin en olumsuz etkileri betimler. Kıyı ötesi yapılar için de, model, belirli bir tekrarlama periyodunda rastlanan en büyük dalga yükünü belirtir.

Öndeğerlendirme için gereksenen hareketli yükler, varolan tasarım yönetmeliklerinden ya da standartlarından alınır. Bununla birlikte, kimi zaman, değerlendirilmesi sözkonusu olan yapı için, anılan genel bir tasarım yüklemesinin kabul edilmesinin gereğinden fazla ihtiyatlı olduğu durumlarla da karşılaşılabilir. Bu gibi durumlarda temel ilkelerin gözönünde bulundurulması koşulu ile daha uygun bir hareketli yükleme kabul edilebilir.

Örneğin, böyle bir yaklaşım, büyük açıklıklı bir köprü için tasarım yüklemesinin ağır taşıt araçları oranlarının ve akışının en olumsuz durumları esas alınarak belirlenmesi halinde yapılabilir. Sözkonusu köprü için trafik koşulları elveriyorsa güncel kapasitenin değerlendirilmesi, güvenlik azaltılmadan, daha düşük bir yüklemeye göre gerçekleştirilebilir.

Kıyı ötesi yapılar ya da binalara etkileyen rüzgâr kuvvetleri bağlamında da, yapının geriye kalan ömrü karşılığı azaltılmış bir yük etkileri periyodunun kullanılması mantıksal olabilir. Ancak bu yol pratik değildir.

Azaltılmış hareketli yük kapasitesi

Hareketli yükün tamamını taşıyamaması halinde yapının, taşıyabileceği azaltılmış yük kapasitesinin belirlenmesi gerekir.

Azaltılmış yüklerin kullanılması, bu yüklerin fiziksel olarak denetlenebilmesi halinde mümkündür. Rüzgâr etkisinde kalan yapılar için bu indirgeme olgusu, yapının tasarım ömrünün ya da rüzgâra ilişkin tekrarlanma periyodunun azaltılmasıyla gerçekleştirilebilir. Kimi durumlarda da taşıt araçlarının öz ağırlıklarıyla ilişkili olarak öngörülen yük düzeylerinin sayısal tespiti gerekebilir.

Doğrusal olmayan çözümlemeler

Kat yüklerinin baskın -belirleyici- olduğu binalarda, her kata aşılmasını öngörülen uyarı posterleri konulabilir. Ancak, kolon yüklerinin kritik olduğu çok katlı binalarda, kat yükleriyle ilgili bu tür kısıtlamaların gerçekleştirilebilmesi oldukça zordur. Hangi yaklaşım kabul edilirse edilsin, kısıtlanmış yük etkilerinin, kısıtlama düzeyleriyle ilişkili bir katsayıyla ya da katsayılarla doğrudan tam yük etkilerinden belirlenebilmesi yaklaşımı kolaylaştırır.

Hesaba katılabilir ve yapısal kapasite gerçekte olarak tahmin

4.5 Yük etkilerinin belirlenmesi

Doğrusal çözümlemeler

Statikçe belirli olanların dışında kalan yapısal sistemlerdeki yük etkilerinin dağılımı, çeşitli çözümleme yöntemleri kullanılarak belirlenebilir [16].

Her bir bu iki etki birlikte gözönüne alınabilir.

Bu bağlamda, bilgisayar programları ya da el yöntemleri kullanılabilir. Yöntemin seçiminde, yapısal sistemin biçimi ve öngörülen duyarlılık derecesi gözönünde bulundurulur. Yük etkilerinin süperpozisyonuna imkan verdiği için son limit durumlarla ilgili yük etkileri doğrusal elastik çözümleme yöntemleriyle belirlenebilir. Önçözümlemeler için basit ama güvenilir bir yöntemin kullanılması, sonra -gerekiyorsa- daha duyarlı ve karmaşık yöntemlerle çözümleme yapılması uygundur.

Yapının yapısal aşamalarına ilişkin bilgi edinilmesi gerekir. Bu tür

Çözümsel yöntemlerde yapı idealleştirilir, modeller oluşturulur. Yapısal sistemi betimleyen modelde eleman eğilme rijitlikleri; örnekte, betonarme elemanlar için çatlamamış ya da çatlamış kesite göre donatı hesaba katılarak ya da katılmadan belirlenir.

Bu bağlamda, eski yapılar için herhangi bir yapısal elemanın, çözümsel modeldeki elemanı ne ölçüde betimlediği araştırılmalıdır. Gerekiyorsa laboratuvar deneyleri yapılarak anılan yapısal elemanın kesit özellikleri tespit edilmelidir. Çünkü yapısal elemanda, çatlama, korozyon, parçalanma ve benzeri bozulmalar oluşmuş olabilir.

Doğrusal olmayan çözümlemeler

Doğrusal olmayan çözümleme, malzeme davranışlarının doğrusal olmadığı kabul edilerek gerçekleştirilen çözümlemedir. Çözümlemede denge ve uygunluk koşullarının gerçekleşmesi öngörülür. İkinci mertebe etkiler hesaba katılabilir ya da katılmayabilir. Doğrusal olmayan yöntemlerin yapısal değerlendirmelerin ikinci evresinde kullanılması uygundur. Bu yöntemlerle yapılan değerlendirmelerde, yapının güncel durumu etkin bir şekilde hesaba katılabilir ve yapısal kapasite gerçekçi olarak tahmin edilebilir.

Bütünsel ve yerel yüklemeler

Bir yapıda yalnızca bütünsel (global) yüklemelerin değil, yerel yüklemelerin etkisi de hesaba katılmalıdır. Sonlu elemanlar yöntemi ve benzeri yöntemlerle bu iki etki birlikte gözönüne alınabilir.

Yapım geçmişi

İnşaat sürecinin çeşitli aşamalarındaki yük dağılımları ve yapısal denge (stabilite), tasarım çözümlemelerinde gözönüne alınması gereken olgulardır. Bu bağlamda, yapım aşamalarında binaya uygulanan yüklerin ve dolayısıyla yük etkilerinin değerlendirilmede hesaba katılması öngörülebilir. Bunun için de, bina yapım aşamalarına ilişkin bilgi edinilmesi gerekir. Bu tür bilgiler anılan aşamalara ilişkin kayıtlardan -varsa- sağlanabilir.

4.6 Yapısal yeterliliğin denetlenmesi

Yapısal değerlendirmede güvenlik, tasarımdakine benzer şekilde şu bağıntıyla denetlenebilir :

$$R_A^* - S_A^* \geq 0$$

R_A^* = Değerlendirmedeki mukavemeti (değerlendirmede kullanılan mukavemet değeri)

S_A^* = Değerlendirmedeki yük etkileri (değerlendirmede kullanılan yük etkisi değeri)

Yük etkilerinin değerlendirilmesi

Değerlendirmedeki yük etkileri, karakteristik ya da nominal yüklere, Q_K , bağlı olarak şu bağıntıyla belirlenir :

$$S_A^* = \gamma_{f3} [(\gamma_{fL} \cdot Q_K) \text{ etkileri}]$$

γ_{f3} = Yapıdaki beklenmeyen gerilme dağılımlarının ve boyutsal duyarlılık değişimlerinin değerlendirmede gözönüne alınmasını sağlayan kısmi güvenlik katsayısı

γ_{fL} = Yüklere ilişkin kısmi güvenlik katsayısı

Değerlendirmenin başlangıç aşamasında Q_K değerleri, tasarım yönetmeliklerinden alınır. Fakat, öncede belirtildiği gibi, değerlendirmeler -gerekirse- bu yönetmeliklerdekinden farklı yük değerlerine göre de yapılabilir. Bu gibi durumlarda, yapıdaki yüklerin, azaltılmış değerlendirme yüklerini aşmamasını sağlayacak önlemler alınmalıdır.

Değerlendirmedeki mukavemet

Değerlendirmedeki mukavemet şu bağıntıyla belirlenebilir :

$$R_A^* = \text{fonksiyon} \left[\frac{f_K}{\gamma_m} \right]$$

f_K = Malzemenin karakteristik ya da nominal mukavemeti

γ_m = Malzemeye ilişkin kısmi güvenlik katsayısı

R_A^* 'ın değeri, malzemenin gerçek özellikleri ve enkesit boyutları gözönünde bulundurularak tasarım yönetmeliklerindeki mukavemet modelleriyle ve bu modellere ilişkin algoritmalarla doğrudan belirlenebilir.

Durum katsayıları

Değerlendirme olgusunda, kesit özelliklerinin belirlenmesinde ya da bozulma miktarlarının tahmininde belirsizliklerle karşılaşılabilir. Bu belirsizlikler bir durum katsayısıyla, F_C , hesaba katılabilir. Katsayının 0 ile 1 arasındaki değeri, mühendislik deneyimi ve sezgisiyle tahmin ve kabul edilir.

$$R_A^* = F_C \cdot R_A^*$$

Bu tür durum katsayılarının kullanılması, yapısal değerlendirmelerin ortak bir özelliğidir. Hiç kuşkusuz, gerçekte, bozulmanın mukavemet üzerindeki etkisi onun niteliğine göre değişir. Bu nedenle, hasarlı ve bozulmuş yapılar için durum katsayılarıyla kaba bir yaklaşım yapılması yerine, bu tür yapıların doğrudan değerlendirilebilmesini sağlayan çözümsel yaklaşımların geliştirilmesi uygun olur.

Kısmi güvenlik katsayılarının değerlendirilmesi

Kısmi güvenlik katsayılarının değerlendirmede kullanılacak değerleri bir dereceye kadar varolan yapılara ilişkin değerlerle karşılaştırılarak, varolan yapılar için kabul edilen güvenlik politikasına göre belirlenir. Varolan yapıların güvenlik düzeyinin yeni yapıların düzeyinde olması isteniyorsa, genellikle, tasarım yönetmeliklerindeki katsayı değerlerinin kullanılması öngörülmelidir [12,17-19]. Başka bir güvenlik düzeyi kabul edilmesi halinde anılan katsayı değerleri bu düzey esas alınarak belirlenmelidir. Bir kesitin ya da bir yapısal elemanın mukavemeti bir ölçüde yüklemeden bağımsız olduğundan, güvenlik bağıntısındaki kısmi güvenlik katsayısı değer ayarlamalarının, yüklerden çok mukavemetler üzerinde yapılması uygun olur.

Her ne kadar varolan bir yapının değerlendirildiği, malzeme ö-

zelliklerinin ölçüm yapılarak tespitinin mümkün olduğu ve dolayısıyla yönetmeliklerde verilen malzeme kısmi güvenlik katsayısı değerlerinin indirgenebileceği düşünülse bile, daha önce açıklanan belirsizlikler gözönünde bulundurularak bu yola başvurulmamalıdır.

4.7 Yük deneyleri

Tam ölçekli yük deneyinin yararları ve sınırları

Çözümsel hesapların yapılmasının yanısıra yapının bütünü ya da elemanları üzerinde tam ölçekli yük deneyi yapılması istenebilir. Bu deney, yapının güvenlik kapasitesinin değerlendirilmesi süreçlerinin tamamlayıcısı olarak düşünülebilir. Deneyin sınırlı uygulaması kanıt deneyi (proof test) terimiyle adlandırılır. Kanıt deneyi, bir yapının belirli bir yükü taşıyıp taşıyamadığının belirlenmesi için yapılır ve çoğu zaman belirlenen yük işletme yükü kabul edilir.

Yapının yük taşıma kapasitesinin bir bölümüyle ilgili olan kanıt deneyi, bir yapının ya da bir yapısal elemanın yük taşıma kapasitesinin tahmin edilmesinde ve yapısal davranış biçiminin ve eğilme rijitliği parametreleri doğru değerlerinin belirlenmesinde kullanılabilir.

Tam ölçekli yük deneyi ile ilgili sorunlar

Tam ölçekli yük deneyinin yapılmasında bazı zorluklarla karşılaşılır: Ucuz değildir, kapsamlı planlamayı, karmaşık ölçümlerin yapılmasını ve kayıt donatımına ihtiyaç gösterir. Hasara yol açmayan yüklemenin ve ölçme yerlerinin belirlenmesi konusunda deneyim sahibi olunmasını gerektirir. Uygun yükleme düzeninin sağlanmasında ve yerine yerleştirilmesinde güçlükler ortaya çıkabilir. Kritik kesitlerdeki etkilerin belirlenmesi amacıyla birkaç yüklemenin birlikte yapılması olgularında konum tespiti sorunları oluşabilir.

Bütün bu güçlüklerle karşın, kusurların ve bozulmaların yapısal mukavemet üzerindeki etkisinin çözümleme yoluyla belirlenmesi

halinde ya da yapısal davranışı ya da malzeme özelliklerini yansıtan çözümsel modellerden kuşku duyulduğu zaman yük deneyi yapılması uygun olur. Büyük ve önemli yapılar için yük deneyi maliyeti, bu yapıların mukavemetini arttırıcı pahalı girişimlerin yapılmamasını sağlayabilir, dolayısıyla bu maliyetle dengelenebilir. Bu yapıların bütünümlük mukavemet kapasitesi son limitte yaklaşan yapıdaki yük etkileri yeniden dağılır ve göçme.

Yük deneyi süreci oluşumu hakkında önemli bilgiler edinilir.

Deney yapılmadan önce yapının, yük altındaki muhtemel davranışının belirlenmesi ve hasar oluşturmayan maksimum yükün tahmin edilmesi amacıyla, ihtiyatlı ve tercihen basit bir yaklaşımla çözümlenmesi uygun olur. Deneyde, yük azar azar arttırılır ve her artış sonunda ölçme yapılır. Bir sonraki yük artımı uygulanmadan önce, yapının zorlandığını, tehlikeli bir aşamaya ulaşmakta olduğunu gösteren sehimlerin ya da birim boy değişimlerinin oluşup oluşmadığını tespit etmek için belirleyici ölçümler (anahtar ölçümler) yapılır.

Genellikle ölçülen, yapısal tepkiler, sehimler ve birim boy değişimleridir. Davranış biçimleri iyice kavranılmış yapılar için bu ölçümler, bozulmaların yapısal performansı etkileyip etkilemediğini gösterirler. Ne var ki, yük altındaki davranışları tam kavranamayan ya da davranış biçimleri karmaşık olan yapılar için, herhangi bir güven düzeyine ilişkin yük taşıma kapasitesinin değerlendirilmesinde, sehim ve birim deformasyon ölçümlerinin kullanılması zor olabilir.

Tam ölçekli deneylerin öteki değerlendirme yöntemleriyle ilişkisi

Belirtilen zorluklar ve yapıda hasar oluşturma riski gözönünde bulundurularak yük deneyi, öteki yöntemlerden ve yaklaşımlardan sonra düşünülmelidir. Öteki değerlendirme yollarının bir tamamlayıcısı gibi kabul edilmeli ve özellikle çözümlemede kullanılan yapısal modeli denetleyen bir araç olarak görülmelidir.

Göçme evresinde bulunan yaşlı(eski)binalarla ilgili yük deneyi

Yıkılması kararlaştırılan yapılar üzerinde yapının göçmesi için yapılacak tam ölçekli yük deneyleri, hem varolan hem de yeni yapılar için son derece yararlı bilgiler sağlayabilir. Daha açık anlatımla,yapının bütünüünün mukavemet kapasitesi,son limite yaklaşan yapıdaki yük etkileri yeniden dağılımı ve göçme mekanizmalarının oluşumu hakkında önemli bilgiler edinilir.

5. ARAŞTIRMA SÜREÇLERİYLE İLGİLİ İNCELEMELER

5.1 GİRİŞ

5.2 DEĞERLENDİRMEYE İLİŞKİN YAKLAŞIM

5.3 İNCELEME SONUÇLARININ GÜVENİLİRLİĞİ

5. ARAŞTIRMA SÜREÇLERİYLE İLGİLİ İNCE- LEMELER

5.1 Giriş

Beton yapıların değerlendirilmesi, durumlarına ilişkin bilgi edinilmesi ve yapısal performansın devamlılığı konusunda bu bilgilerin kullanılması için yapılır.

Yapısal değerlendirme şu nedenlerle gerçekleştirilir :

- (1) Yapısal güvenliğin yasal bir gereklilik dolayısıyla denetlenmesi istenen durumlarda ya da kural gereği (rutin) incelemeler nedeniyle.
- (ii) Gözle görülebilen kusur ya da bozulmanın varolması ya da bunların oluştuğundan kuşku duyulması halinde.
- (iii) Yapıda hasar oluşması durumunda.
- (iv) Yapının kullanım amacının değişmesi halinde.
- (v) Yapının yük taşıma kapasitesinin arttırılması istenildiği zaman.

Çalışmanın bu bölümünde bir değerlendirme sürecinde izlenen sistematik bir yaklaşım açıklanacak ve sonuçların güvenilebilirliğini etkileyebilecek etkenler irdelenecektir.

Bir yapının durumunun değerlendirilmesiyle ilgili gereken temel bilgilerin elde edilmesi bağlamında yükleme deneylerinden, yapıdan parça alınıp kimyasal çözümlemesinin yapılmasına dek uzanan çok sayıda geçerli teknik bulunmaktadır. Değerlendirme yönteminin seçimine yardımcı olması ve aralarındaki farkların belirtilmesi bakımından bu tekniklerle ilgili ilkel dokuzuncu bölümde açıklanmıştır.

5.2 Değerlendirmeye ilişkin yaklaşım

Araştırma sürecinin ayrıntıları, değerlendirme isteyen kuruluşun ya da kişinin istemlerine ve araştırılacak konu ile ilgili teknik gereksemelere bağlı değişir. Bununla birlikte, bir

araştırma süreci genellikle altı aşamada gerçekleştirilir. Bu temel aşamalar önce aşağıdaki tabloda özetlenmiş, sonra ayrıntılı açıklanmıştır.

Tablo 5.1 Değerlendirme süreci

Aşama	Amaçlar	İşlemler
Önplanlama	Geçmişten sağlanan bilgilerin etkili kullanılabilmesi için bunlara ilişkin güvenilebilirliğin irde-lenmesi.	Geçmişteki tüm verilerin ve deney sonuçlarının toplanması. Bunların bir rapor düzenlenerek standart biçime sokulması
Bütünsel irdeleme	Yapısal davranışın kavranması-algılanması. Ayrıntılı inceleme yapılacak bölgelerin seçilmesi. En elverişli ölçüm tekniklerinin belirlenmesi.	Görsel araştırma. Fotoğrafla tespit. Yıkıcı-olmayan deneyler. Örneklemelerin seçimi.
Ayrıntılı irdelemeler	Yapının durumunun güvenle değerlendirilebilmesi için yeterli ve güvenilebilir verilerin sağlanması.	Yük deneyleri. Yıkıcı-olmayan deneyler. Fiziksel ve kimyasal deneyler.
Sonuçların tanıtımı	Ölçüm sonuçlarının kolaylıkla değerlendirilmesi ve karşılaştırmaların yapılması	Bilgisayarla grafik gösterim. İstatistiksel çözümleme.
Sonuçların yorumu	İstemlerle ilişkili olmak üzere yapının güncel ve gelecekteki performansının değerlendirilmesi için kaydedilmiş sonuçların kullanılması.	Yapısal çözümleme. Bozulma çözümlemesi. Geçmişteki deneyim.
Öneriler	Gelecek için gerekli olan girişimlerin belirlenmesi: Onarım, güçlendirme, koruyucu etkinlikler ya da ek incelemeler gibi.	

Önplanlama um belirlenmesine önemli katkısı vardır. Heride yapılacak incelemelerin güncel fotoğraflarla karşılaştırılması

İncelemenin başlangıcında yapıya ilişkin elde edilebilen tüm bilgilerin sağlanması gerekir. İlk başta önemsiz gibi görülebilen bu bilgiler, yapının performansına ilişkin esaslı ipuçları verebilir. Bu bilgiler şunları kapsar :

- (i) Tasarım hesapları, tasarım çizimleri ve binanın inşası sırasında çekilen fotoğraflar.
- (ii) Agregat, çimento, beton ve donatı çeliği ve öteki malzemelerle ilgili deney kayıtları.
- (iii) Şantiyenin inşaattan önceki durumuna ve yapının geçmişteki kullanımına ilişkin kayıtlar.
- (iv) İklimsel ve çevresel koşullarla ilgili kayıtlar, çevre (atmosfer ve yer) kirliliğiyle ilgili ayrıntılı bilgiler.

Bunlara ilâve olarak, yapı sahibinin, yapının gelecekteki kullanımına, gereksediği ömrüne (bu ömür orijinal tasarım ömründen farklı olabilir) ve öteki gereksemelerine ilişkin istemlerinin ayrıntılı bilinmesi gerekir.

İnceleme planlamasının ikinci aşaması çalışma alanının tespit edilmesidir. Bu hem yapı sahibine hem de araştırmayı yapana yapılacak tavsiyeler, inceleme amaçları, yöntemi ve kapsamıyla ilgili bir belgenin düzenlenmesidir. Bu belge, inceleme için uygun görülen bütün bilgileri, bakım ve onarım kayıtlarını kapsamalı ve yapılmışsa daha önceki inceleme sonuçlarını da içermelidir. Ayrıca, veri topluluğunun mantıksal biçimde kaydedilmesinde kullanılabilmesi için proforma belgelerini de kapsamalıdır. İncelenecek her elemana ilişkin bir planı, elemanın yapı içerisindeki yerini gösteren bir çizimi ve elemanla ilgili tüm deney verileri için bir referans sistemini içermelidir.

Bütünsel inceleme Bu bakımdan, bütünsel incelemede beton mukavemeti, içsel boşluklar ve çatlaklar gibi etkenlerin de belirlenmesi gerekir.

Bu inceleme, yapının bütünü hakkında bilgi edinebilmeyi sağlar ve normal olarak yıkıcı olmayan sınırlandırılmış deneyler ile görsel belirlemelerin birlikte yapılmasıyla gerçekleştirilir. Fotoğraf çekilerek gerçekleştirilen yoğun bir çalışmanın, yapı-

nın durumunun belirlenmesine önemli katkısı vardır.İleride yapılacak incelemelerin güncel fotoğraflarla karşılaştırılmasının yararı açıktır.Video donatımı kullanılarak görsel ve işitsel kayıt yapılması da yararlı olur.İşitme evresindeki bir yapının yönetimine bu tür kayıtlar önemli ölçüde katkıda bulunur.En tehlikeli bozulmalar hızlı gelişenlerdir. Bu nedenle, yalnızca,güncel bozulmaları tespit eden kayıtlarla yetinilmemelidir.

Yerindeki mukavemetin belirlenmesi için çok sayıda çekirdek örnek alınması pratik olmaz.Bu nedenle,önce yapı üzerinde yıkıcı olmayan kapsamlı deneylerin yapılması ve malzeme güçsüzlüğü gösteren kesimlerin tespit edilmesi sonra, bu kesimlerden çekirdek çıkarılarak deney yapılması doğru olur.

Yapının tüm yüzeyi üzerinde dürbün ya da video kamera ile görsel inceleme yapılabilir.Böyle bir inceleme,yanına yaklaşılmaması zor olan bazı kesimlerin çok yakından incelenmesini,çatlama ya da pas lekeleri gibi bozulma belirtisi gösteren bölgelerin tespit edilebilmesini sağlar ve incelemeyi yapana yapı durumu hakkında bir fikir verir.Böylece,bozulmaya yatkın olduğu saptanan bu kesimler daha kapsamlı incelenir.Kapsamlı incelenmesi gereken bölgeler şöyledir :

- (1) Yapının inşası ve kullanılması sırasında değeri büyük gerilmelerin etkisinde kalan yapı bölümleri.
- (11) Yapım yöntemleri nedeniyle potansiyel güçsüzlüğü olan kesimler.
- (111) Değeri büyük çevresel yüklerin ya da hasar oluşturunu (agresiv) çevre etkileri altında kalan bölümler.

Görsel inceleme yalnızca bozulmanın belirgin olduğu,belirtilelerinin beton yüzeyinde ortaya çıktığı olgulara ilişkin bilgi edinilmesini sağlar.Bu bakımdan,bütünsel incelemede,beton mukavemeti,içsel boşluklar ve paslanma gibi etkenlerin de belirlenmesine yönelik,yıkıcı olmayan sınırlandırılmış deneylerin yapılması öngörülür.Son olarak,araştırmacının,bütünsel incelemedeki konumu şöyle belirtilebilir :

- (1) Daha sonra yapılacak araştırmalar için, yapının sağlam ve kusurlu yörelerinin belirlenmesi.
- (11) En uygun deney tekniklerinin tespit edilmesi.
- (111) Esas araştırma sonuçlarının geçerli olduğu gözönünde bulundurularak, kusurların nedenleri hakkında önermelerde (postulat) bulunması.

Ayrıntılı inceleme

Bu inceleme, sorunun yapısına, niteliğine göre seçilen kapsamlı deney tekniklerinin kullanılmasını içerir.

Yük deneyi, güvenli yük düzeyinin belirlenmesini sağlar. Yapının yük taşıma kapasitesi, beton mukavemetinin belirlenmesini izleyen çözümlemeyle değerlendirilir. İçsel boşlukların yerleri ultrasonik deneylerle ya da donatıdaki korozyonu belirleyen elektro-kimyasal deneylerle tespit edilir.

Betonarme yapıların araştırılması, irdelenmesiyle ilgili varolan teknikler daha sonra açıklanacaktır.

Ayrıntılı incelemeler, yapının durumu ve kullanılabilirliği ile ilgili, gereksenen önemli "temel" (central) bilgilerin elde edilebilmesini sağlar. Proforma belgelerinin toplanması ve bunların incelenmesi daha sonraki belirlemeler için yardımcı olabilir.

Ayrıntılı bir incelemede kullanılacak deney yöntemleri, incelemenin amaçlarına ve yapı sahibinin gereksemelerine göre belirlenir. Çoğu olgularda en elverişli yaklaşım, biri ötekinin tamamlayıcısı olan bir kaç deney tekniği kullanılmasıdır.

İnceleme sonuçlarının tanıtımı

İnceleme sonuçlarına ilişkin herhangi bir çözümlemenin biçimi ve kapsamı büyük ölçüde, kabul edilen deney yöntemlerine bağlıdır. Bu bağlamda yıkıcı olmayan fiziksel ve kimyasal deneylerin sayısı çok fazla olabilir. Bu bilgileri etkili bir şekilde yorumlayabilmek ve farklı veri takımları arasında kar-

şılaştırmalar yapabilmek için bilgisayar kullanımı kaçınılmazdır. Tesviye eğrilerine ve bunların üç boyutlu gösterimlerine ilişkin bilgisayar çıktıları, bu kaba verilerden doğrudan doğruya elde edilebilir.

Aynı zamanda göze çarpan kritik bölgelere ilişkin veriler, çok yakından incelenebilir ve istatistiksel çözümlemeler gerçekleştirilebilir. Verilerin tipik bir bilgisayar tanıtımını betimleyen Şekil 5.1, donatı korozyonundan oluşması muhtemel bozulma bölgelerine ilişkin (Schmidt çekici, elektriksel dirençlilik ve elektriksel potansiyel deneylerinden sağlanan) bilgilerin hızla nasıl incelenebileceğini göstermektedir.

Bir yapıda, beton mukavemetinin düşük olması muhtemel kesimler benzer bir yaklaşımla derinlemesine incelenebilir.

Bilgisayarla yapılan bu tür araştırmalar, incelemeyi yapana zaman kazandırır ve sonuçların bir an önce yorumlanabilmesini sağlar.

İnceleme araştırmalarından elde edilen sonuçların çözümlenmesi ve yorumlanması konusu dördüncü bölümde irdelenmiştir.

5.3 İnceleme sonuçlarının güvenilirliği

İnceleme sonuçlarını temel alan değerlendirmenin güvenilir olabilmesi için bu sonuçlar duyarlı olmalıdır. Bunun için de önemli olan hem şantiyede hem de laboratuvar da deney yapılması ve deney sonuçlarının deneyimli uzmanlar tarafından yorumlanmasıdır.

Bir incelemeye ilişkin sonuçların güvenliği, birden fazla deney yöntemi kullanılması ve elde edilen sonuçlar arasında bağlantı kurulmasıyla büyük ölçüde arttırılabilir.

İnceleme sonuçlarının güvenilirliğini ya da duyarlılığını etkileyen etkenler dört gruba ayrılabilir :

- (1) Deney yönteminin tekrarlanabilirliği.

- (11) Deney elemanı boyutu.
- (111) Örnek sayısı.
- (1v) Gereksenen özelliğe ilişkin korelasyon.

Bu etkenler Şekil 5.2'de gösterilmiş ve aşağıda irdelenmiştir.

Deney yönteminin tekrarlanabilirliği

Tekrarlanabilirlik, belirli sayıda özdeş örnekten elde edilen sonuçların dağılımının ölçüsüdür.

Deney yönteminin tekrarlanabilirlik derecesi kullanılan tekniğe göre değişir. Yalnız, tekrarlanabilirlik derecesini, deneyi yapanın becerisi ve deneyimi de etkiler.

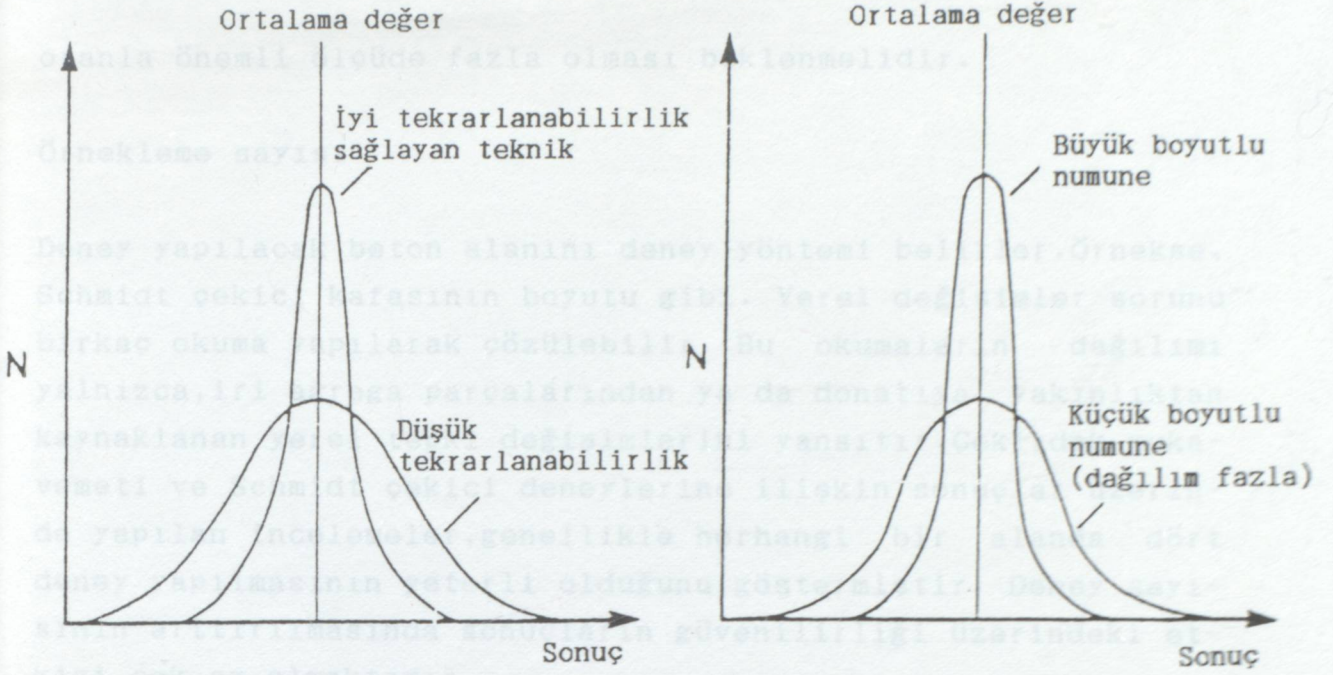
Klor asidi çözümülemesi ya da elektriksel birim deformasyon ölçerler gibi kendi kendine işleyen (otomatik) donatımlarla, laboratuvar koşulları altında uygulanan tekniklerin tekrarlanabilirliği yüksek olabilir.

Kaba beton yüzeyine en uygun şekilde temas etmesi dolayısıyla gerçekleşmesi çok gerekli okuma duyarlılığı sağlayan, ultrases titreşim hızı gibi deneylerin şantiyelerde yapılması, okumaların ulaşılmaması istenen dağılımını önemli ölçüde gerçekleştirir.

İstatistiksel anlamda belirleyici sonuçların elde edildiğine güvenebilmek için, gerçekleştirilecek deney sayısının belirlenmesinden önce, deney yöntemlerinin tekrarlanabilirliğinin belirlenmesi gerekir.

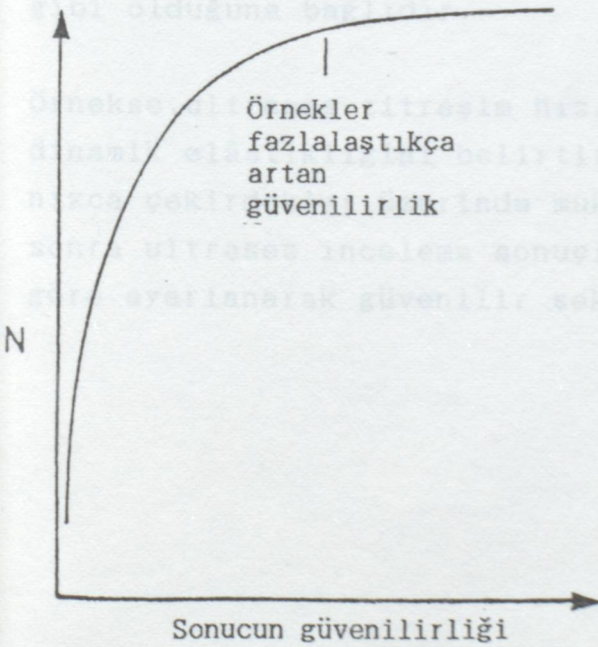
Deney elemanı boyutu

Betonun tanıtımının gerektiği gibi yapıldığına güvenebilmek için, özellikle malzeme deneylerinde ve kimyasal deneylerde uygun boyutta deney elemanı kullanılmalıdır. Küçük deney elemanlarında, orantısız miktarda agrega bulunur. Dolayısıyla göreceli olarak daha az çimento içerirler. Küçük deney elemanlarıyla deneylere ilişkin sonuçların dağılımlarının, büyüklere

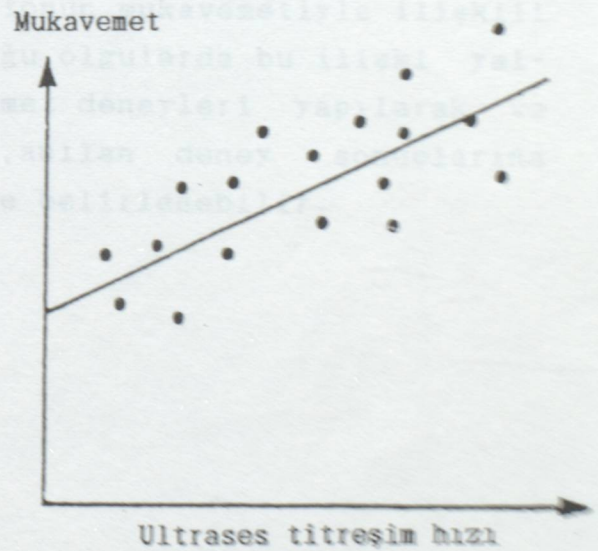


a) TEKRARLANABİLİRLİK ETKİSİ

b) NUMUNE BOYUTUNUN ETKİSİ



c) ÖRNEK BÜYÜKLÜĞÜNÜN ETKİSİ



d) KORELASYON

Şekil 5.2 Sonuçların güvenilirliği

oranla önemli ölçüde fazla olması beklenmelidir.

Örnekleme sayısı

Deney yapılacak beton alanını deney yöntemi belirler.Örnekse, Schmidt çekici kafasının boyutu gibi. Yerel değişimler sorunu birkaç okuma yapılarak çözülebilir. Bu okumaların dağılımı yalnızca,iri agrega parçalarından ya da donatıya yakınlıktan kaynaklanan yerel tepki değişimlerini yansıtır.Çekirdek mukavemeti ve Schmidt çekici deneylerine ilişkin sonuçlar üzerinde yapılan incelemeler,genellikle herhangi bir alanda dört deney yapılmasının yeterli olduğunu göstermiştir. Deney sayısının arttırılmasında sonuçların güvenilirliği üzerindeki etkisi çok az olmaktadır.

Gereksenen özelliklerle ilgili korelasyon

Bir değerlendirme incelemesinde gerçekleştirilen deneylerin çoğu,ilgilenilen özelliği dolaylı yoldan belirler. Bu yüzden nihai sonuçların güvenilirliği,fiilen belirlenen özellik ile gereksenen özellik arasındaki korelasyonun ne kadar gerektiği gibi olduğuna bağlıdır.

Örnekse,ultrases titreşim hızı,betonun mukavemetiyle ilişkili dinamik elâstikliğini belirtir.Çoğu olgularda bu ilişki yalnızca çekirdekler üzerinde mukavemet deneyleri yapılarak ve sonra ultrases inceleme sonuçları,anılan deney sonuçlarına göre ayarlanarak güvenilir şekilde belirlenebilir.

6. OLASI KARAR MODELLERİ

6.1 GİRİŞ

6.2 KULLANIM SÜRESİNİN TAHMİN EDİLMESİYLE İLGİLİ TEORİLER

6.3 ÇÖZÜM YOLLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

6.4 ARAŞTIRMALARDAN VE SONUÇLARINDAN ÇIKAN NİHAİ SONUÇLAR

6.5 KARARIN SONUÇLARI

6.6 OPTİMİZASYON

6.7 DEĞERLENDİRME KRİTERİ

6.8 MÜDAHALE DÜZEYİ

6.9 KARAR MODELLERİ

6. OLASI KARAR MODELLERİ

6.1 Giriş

Varolan binaların bakımı ve dolayısıyla korunması çok pahalı ve karmaşık olabilir. Bu yüzden, doğru zamanda doğru kararı verebilmek için uygun yöntemlere sahip olunması gerekir. Bu bölümde, bu hedefe ulaşmayı sağlayan girişimler açıklanacaktır. Bunun için de önce, kullanma süresinin tahminine ilişkin teoriler genel çizgileriyle açıklanacak ve bakım yöntemleri verilecektir. Sonra, karar verme süreçleri ve girişim stratejileri iki karar modeli kullanılarak açıklanacaktır.

6.2 Kullanım süresinin tahmin edilmesiyle ilgili teoriler ve

Bir yapının ömrü içerisinde müdahaleyi gerektiren doğru zamanın belirlenmesi için, kullanım ömrünün tahmin edilmesine ilişkin teorilerin kullanılması zorunludur. Ne yazık ki, bu konuda halen varolan bilgiler çok sınırlıdır. Bu bağlamda girişimlerde bulunulması gerekir.

Gene de, bu bağlamda bazı sistematik yöntembilimler ve yaklaşımlar geliştirmeye yönelik girişimlerde bulunulmuştur. Bu önerilerden biri CIB W80/RILEM 71-PSL Teknik Komitesi (International Council of Building Research/CIB, Réunion International des Laboratoires d'Essais de Matériaux) tarafından yapılmıştır. Yaklaşımda, yapı malzemeleri ve bileşenlerinin kullanım ömrünün tahmin edilmesiyle ilgili bir sistematik yöntembilim geliştirilmiştir.

Yaklaşımda, gittikçe çoğalan bilgiler temel alınarak tahminlerin iterasyonla geliştirilmesi sağlanmaktadır. Kullanım süresinin tahminine ilişkin gereksenen matematiksel çözümlemelerin henüz ayrıntılı tanımlanmamasına karşın, deterministik ya da olasılıksal çözümlemelerin yapılması mümkündür.

Tahminlerin ve kararların sağlanabilen en elverişli (optimum) bilgiler temeline dayanmasının olumlu yönü gözönünde bulundu-

rularak, iterasyon ya da karar verme yönteminin kullanılması salık verilir. Bilgi temeli arttıkça, kullanım ömrü tahminlerinin güvenilirliği de artar. Bu bağlamda kullanıcının her zaman bu konulardaki gelişmeleri yansıtan bildirimlerden (State-of-the-Art Report) ilgili veriler ve yöntemler hakkında bilgi edinmesi mümkündür.

Malzeme ya da bileşenin beklenen kullanım ömrü, "kullanım ömrü tahmini" deneylerinin sonuçlarına dayanılarak tahmin edilebilir. Sonra, anılan deneylerdeki değişme oranlarıyla kullanım koşulları altında yapılan "yaşlandırma" (ageining test) deneyleri karşılaştırılarak kullanım ömrü tahmin edilebilir. Bu yaklaşımın bir alternatifi de, kullanım ömrünü tahmin etmek için çeşitli malzemeler ve bileşenlerinin göreceli dayanıklılıklarının benzer şekilde deney yoluyla belirlenmesi ve karşılaştırılmalarıdır.

6.3 Çözüm yollarının değerlendirilmesi

Bu bölümün amacı, varolan yapıların bakımı, daha iyi bir konuma getirilmesi, onarılması ya da güçlendirilmesiyle ilgili sağlanabilen tüm çözüm yollarının, girişimlerin, varolan çarelerin sıralanması değildir. Yalnızca, küçük kusurların düzeltilmesi, onarım, güçlendirme ve yapının işlevinin değiştirilmesi ya da yıkılması gibi geniş bir çareler yelpazesinin bulunduğunu belirtmektir.

Bu önemli çözüm yollarının herbirinin olumlu ve olumsuz yönleri vardır. Bu bağlamda, bu iyileştirme yöntemlerinin hangisinin kullanılmasının doğru olacağına karar vermeden önce, bunların yapı ve kullanıcı üzerindeki etkilerinin ne olacağı araştırılmalıdır.

Öte yandan, bir yapının daha iyi bir konuma getirilmesi gereksiniminin, onun bakım düzeyinin bir fonksiyonu olduğu açıktır. Geçmişte, bakımla ilgili tasarımlar çok seyrek yapılmıyordu. Fakat bugün, bir yapının, teknolojinin ulaştığı limitlere göre tasarlanabilmesi ve geçmişten kazanılan deneyimler, onun bakımına çok daha fazla özen gösterilmesini gerektir-

mektedir.Özetle,kabul edilen bakım politikası ile iyileştirme çarelerine olan gereksinim birbiriyle çok yakından ilişkilidir.davranışının tam olarak bilinmesine karşın,bu davranışa yol açan koşullar nadiren belirlenebilir.

6.4 Araştırmalardan ve sonuçlarından çıkan nihai sonuçlar

Bu açıklamalar,önemli ya da karmaşık yapıların yük taşıma Araştırmalardan çıkan sonuçlar üç temel tipte olabilir :

- (i) Yapı ve bileşenleri iyi konumdadır.
- (ii) Sonuçlar,nihai sonuçlara ve kararlara varılmasını sağlayabilecek kadar açık değildir.
- (iii) Yapı ya da bileşenleri kötü konumdadır.

Yukarıda belirtilen olguların birincisi ve sonuncusu açıkça tanımlanmıştır.Doğal olarak,sonuncu olguyla ilgili kimi çözüm yollarının yapıya uygulanması gerekir. İkinci olgu ise,daha duyarlı yöntemlerin kullanıldığı üst düzeyde araştırmaların yapılmasını gerektirir. Bu sonuçlara varılabilmesi için şu araştırmalar yapılmalıdır :

Çoğu olgularda,bir yapının yük taşıma kapasitesinin ya da kullanılabilirliğinin tahmin edilmesinde statik teorilerinden yararlanılır.Bu,dış yüklerden,farklı oturmalarından,öngörmeden oluşan gerilme değerlerinin,sehimlerin ve çatlak genişliklerinin belirlenmesi demektir.Bu bağlamda,yapının güvenlik katsayısının belirlenmesi de mümkündür.

Öte yandan,yapının ya da elemanlarının durumunun değerlendirilmesi ve uzun süreli davranışıyla ilintili kullanım ömrünün tahmin edilmesi;malzeme özelliklerinin,malzemelerin değişik etkiler altındaki davranışlarının çok yakından bilinmesini ve bu konuda deneyimli olunmasını gerektirir. Bu bağlamda,şu konunun açıkça belirtilmesi yararlı olacaktır.Gelecekteki deney yöntemleri esas olarak, malzeme özelliklerinin kesinlikle tanımlanan koşullar altında belirlenmesi ile ya da bir veya daha fazla deney parametresinin kesinlikle tanımlanan değişimlerinin bu özellikleri ne şekilde etkilediğinin ve değiştirdiğinin araştırılmasıyla ilgilidir.

Oysa, bir yapıdan alınan malzeme örneklerinin değerlendirilmesi konusu bunun tamamen karşıtı bir olgudur. Bu olguda, malzemenin davranışının tam olarak bilinmesine karşın, bu davranışa yol açan koşullar nadiren belirlenebilir.

Bu açıklamalar, önemli ya da karmaşık yapıların yük taşıma kapasitesinin, kullanılabilirliğinin ve uzun süreli yükler altındaki davranışının ancak deneyimli mühendisler tarafından değerlendirilebileceğini vurgulamaktadır. Bu durumda, daha az deneyimli mühendislerin, varolan yöntemleri kullanarak basit yapıları değerlendirmelerine izin verilebilir.

6.5 Kararın sonuçları

Yapının durumunu değerlendirmek için seçilen düzeye ve nihai bulgulara bağlı olarak, özel bir yöntem belirlenir ya da araştırmaların geliştirilmesine devam edilir. Araştırmaların devamı gerekiyorsa, kesin yöntem belirleninceye kadar bu süreç tekrarlanır.

Değerlendirme düzeyinden bağımsız girişimler şöyledir :

- (i) Hiçbir şey yapılmaması.
- (ii) Küçük hataların düzeltilmesi.
- (iii) Onarım ya da güçlendirme.
- (iv) Yıkma, işlev değiştirme.

Öncede belirtildiği gibi, her türden çeşitli yöntemlerin bulunması, bunlardan gereksenenin kullanılmasını sağlar. Yöntem seçiminde, bu çözüm yollarının her birinin olumlu ve olumsuz yönleri, teknik, ekonomik, politik ve ekolojik açılardan karşılaştırılmalı, irdelenmeli, ayrıca her çözüm yolunun ikincil etkileri de gözönünde bulundurulmalıdır.

Aynı zamanda, uygulanabilecek yöntemlerin her birinin gerçekleşmesi muhtemel şu sonuçları da hesaba katılmalıdır:

- (i) Yapının gelecekteki davranışının kesinlikle beklenildiği gibi olması.
- (ii) Yapının gelecekteki kullanım ömrü için elverişsiz bir

duruma gelmiş olması.

(111) Yapı güvenliğinin azalması ve göçme ihtimalinin artması.

Çözüm yollarına ilişkin bütün bu olasılıklar karar verme sürecinde gözönüne alınmalıdır.

6.6 Optimizasyon

En doğru çözümün ve en doğru kararın verilebilmesi için uygun optimizasyon stratejilerine gerek vardır [4]. Bunun için, en düşük birikimli maliyetin elde edilmesi yolu seçilebilir. Bu mümkün olan çözüm yolları arasında toplam maliyeti minimum olanın en iyi çözüm yolu olduğu anlamına gelir. Bu bağlamda, bir çözümün muhtemel sonuçlarına ilişkin maliyet de, bu sonuçların ortaya çıkma ihtimalleri hesaba katılarak belirlenmelidir.

Böyle bir yaklaşım, olgunun parasal açıdan ele alınması demektir. Parasal değerlendirmeyi yapan uzmanın sübjektif tahminlerine göre politik bakımdan oldukça zor kararların verilmesini gerektirir. Ayrıca bu yaklaşımda; bilimsel, objektif ve gerçekçi bilgilere dayanılarak verilen kararların, başka bir anlatımla, teknik etkinliklerin gözardı edilmesi ve parasal değerlendirmeyi yapan uzmanın sübjektif yargısına öncelik verilmesi gibi olumsuz bir durumla karşılaşılabilir.

6.7 Değerlendirme kriteri

Bir yapının yük taşıma kapasitesinin, kullanılabilirliğinin ve dayanıklılığının değerlendirilebilmesi için, yapıyı etkileyen tüm yüklere, bunlara ilişkin yük etkilerine ve malzeme özelliklerine ilişkin kapsamlı bilgilerin sağlanmış olması gerekir.

Yük etkileri (eğilme momenti, kesme kuvveti vb.) yapısal çözümlemeyle tahmin edilebilir. Çözümleme, dış yükler, göreceli oturmalar, sıcaklık değişimleri ve benzeri etkiler hesaba katılarak gerçekleştirilir. Ayrıca, agresiv kimyasal etkiler ve

benzeri etkiler de gözönüne alınmalıdır.

Malzemenin güncel durumunu ve -yapının geriye kalan ömrü içerisindeki- davranışının değerlendirilmesi, geniş bir malzeme teknolojisi bilgisine ve deneyimine sahip olunmasını gerektirir. Önce de belirtildiği gibi, malzeme deneylerinde; bir malzemenin kesinlikle tanımlanan koşullar altında davranışının belirlenmesi ya da deneysel parametrelerden birinin ya da birkaçının kesinlikle tanımlanan değişiminden bu davranışın nasıl değiştiğinin araştırılmasıyla ilgilenilmesi temel alınır.

Öte yandan, varolan bir yapıdan sağlanan malzemelerin değerlendirilmesinde karşıt bir olguyla karşılaşılır. Bu olguda malzeme davranışı bilinir ama malzemenin bu davranışı göstermesine neden olan geçmişi çok seyrek belirlenebilir.

Araştırmanın düzeyine ve özelliğine göre, muhtemel bulgular Tablo 6.1'de özetlenmiştir. Tablo tipik bir değerlendirme ölçütü olarak kullanılabilir.

Bu çalışma, bütün bu bulguların ayrıntılı açıklamasını kapsamayacaktır. Yalnızca, çatlakların, yük taşıma kapasitesinin değerlendirilmesindeki katkısı örnek olarak verilecektir.

Betonarme ve öngerilmeli beton elemanlardaki çatlaklar tamamen farklı nedenlerle oluşur. Örneğe, çatlaklar, bir yapının ömrünün başlangıcında, betona elverişsiz ya da kötü bakım uygulanması sonucu, yapısal elemanlarda oluşan rötire gerilmeleri nedeniyle ortaya çıkar. Bu rötire çatlakları, özellikle yapısal eleman değişken kesitli ise, beton kesit kapsamında kurluma/sertleşme hızlarının farklı olmasından kaynaklanır. Dış yüklerin ya da sehimlerin etkisiyle betonun çekme mukavemeti aşıldığı zaman, eğilme çekme çatlakları oluşur. Çatlaklar, tekil yüklerin uygulandığı yapısal eleman bölümlerinde de, betonun parçalanmasının neden olduğu etkiyle ortaya çıkabilir. Kırılsız döşemelerde de kesme ve zımbalama çatlakları gözükabilir. Son olarak, paslanma sonucu, donatı boyunca çatlaklar ortaya çıkabilir. Bu tür paslanma çatlakları, donatı çubukla-

Araştırma düzeyi	Yük kapasitesi	Kullanılabilirlik	Dayanıklılık
Görsel inceleme ve malzeme deneyleri	Çatlaklar, deformasyonlar, burkulma.	Çatlaklar, sehimler, yer değiştirmeler (deplasman). deplasman yeteneği	Çatlaklar, çukurlar, nem lekeleri, sarkıt oluşumları.
	Mukavemet, dayanıklılık, yorulma mukavemeti, paslanma.	Yıpranma, renk değişimi, statik sürtünme ve kayma sürtünmesi katsayıları (örneğin, mesnetlerde).	Paslanma, karbonatlaşma, klorit içeriği, boşluk içeriği, donmaya karşı mukavemet.
Kapsamlı araştırmalar	Öngerilim kablolarının kopması, büyük kalıcı deformasyonlar.	Sehimler, titreşimler.	Paslanma biçimleri, titreşim frekansları

Tablo 6.1 Ölçütlerin sınıflandırılmasıyla ilgili bulgu örnekleri

rının ucunda oluşan çatlaklardan farklıdır. Genellikle, donatı çubuğunun uç kesiminde, çubuk eksenine ile az eğimli bir çatlak ailesi şeklinde ortaya çıkan bu çatlaklar, donatı ankrajlarının yetersiz olduğunu ve ankraj kırılmasına ulaşıldığını belirtirler.

Buraya dek yapılan açıklamalar, belirtilen çatlakların tiplerine göre ayrı, ayrı ele alınmasının ve değerlendirilmesinin gereğini vurgulamaktadır. Bu bağlamda, kesme çatlakları ve özellikle kesme-zımbalama çatlakları yapının yük taşıma kapasitesinin tehlikede olduğunu göstergeleridir. Öte yandan rötire ve eğilme çatlaklarının, yapının su geçirimsizliği sağlandığı sürece, genellikle olumsuz etkisi olmayabilir.

6.8 Müdahale düzeyi

İki müdahale düzeyi tanımlanabilir :

- (1) Gerekli olabilirlik düzeyi; müdahalenin gerekli olabileceğini belirtir.
- (11) Gereklilik düzeyi; müdahalenin zorunlu olduğunu belirtir.

6.9 Karar modelleri

Ne yazık ki, bu iki düzey için genel bir tanım yapılması mümkün değildir. Çünkü bu düzeyler ele alınan konunun niteliğine bir ölçüde bağlıdır; yük taşıma kapasitesi, kullanılabilirlik ya da yapı sahibinin istemleri gibi.

Bununla birlikte, yük taşıma kapasitesi için bir dereceye kadar, hesaplanan yük katsayısına uyan bir aralığın üst limiti "gerekli olabilirlik düzeyi"nin, alt limiti de "gereklilik düzeyi"nin karşılığı olur. Bu limitler, beklenen göçme tipi (gevrek ya da düktil), ilgili yapının önemi ve değeri, aşırı bir yüklemenin oluşması ve bunun sonucu yapının kısmen ya da bütünüyle göçmesi olasılıkları niceliksel olarak tanımlanabiliyor ve betimlenebiliyorsa belirlenebilirler. Dolayısıyla, alt limit, güvenlik katsayısıyla tanımlanabilir. Üst limit ise kişisel ve sübjektif yargılara bağlı değişir.

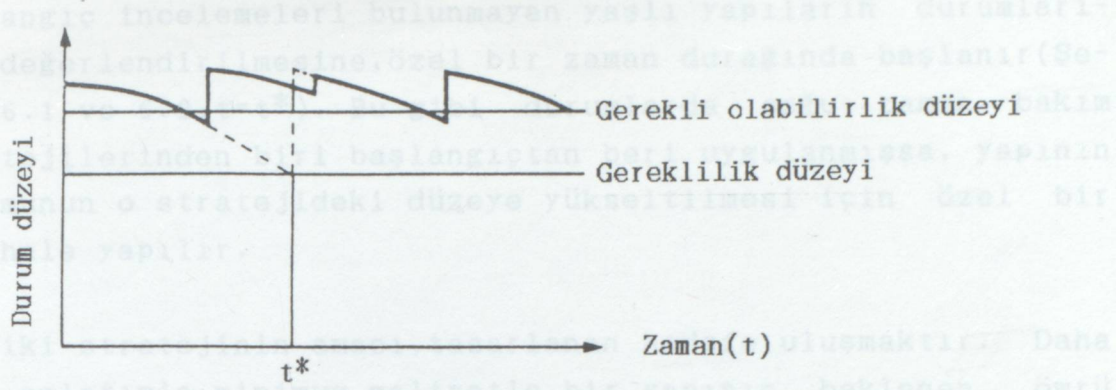
Bu limitlerin kullanılabilirlik evresi için tanımlanması ve

niceliksel biçimde belirlenmesi daha güçtür. Bu durumda bir binanın durumuna ilişkin tüm gereksemeler önceden toplanmalı ve belirlenmelidir. Örnekse, bir betonarme binada oluşan her çatlak kullanılabilirliği aynı şekilde etkilemez. Bir betonarme binanın içinde oluşan ince çatlaklar yapıya ve kullanıcıya zarar vermez. Oysa, betonarme borularda oluşan aynı genişlikteki çatlaklar, bunların kullanılabilirliğini aksatır. Öte yandan herhangi bir zamanda, bir beton bina cephesinde oluşan lekeler-renk değişimleri-cephenin işlevini ve yük taşıma kapasitesini etkilemediği halde, estetik yönden bir müdahaleyi gerektirebilirler. Gene, kenetlerin paslanması yüzünden küçük beton parçaları cepheaden kopup düşebilir. Her ne kadar cephe göçmese de, bu tür parçaların düşmesi, binada oturanlar için sürekli tehlike oluşturur, kullanılabilirliği aksatır. Bu örnekler, kullanılabilirliğe ilişkin "gerekli olabilirlik" ve "gereklilik" düzeylerinin niceliksel tanımlarının ayrı, ayrı uzmanın deneyimine bağlı olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, herhangi bir olguda, belirli bir durum için, bu limitlerin yapının kullanılmaya başlanmadan ve herhangi bir hasar oluşmadan önce tespit edilmesi doğru olur.

6.9 Karar modelleri

Bir yapının davranışı ile bakım, onarım ve müdahale etkinlikleri arasındaki karmaşık, karşılıklı ilişkilere açıklık kazandırmak için basit modeller oluşturulabilir. Ayrıca, bu modeller, herhangi bir etkinlikteki riskin tahmin edilmesini de sağlar. Basitleştirilmiş iki bakım stratejisi kabul edilebilir.

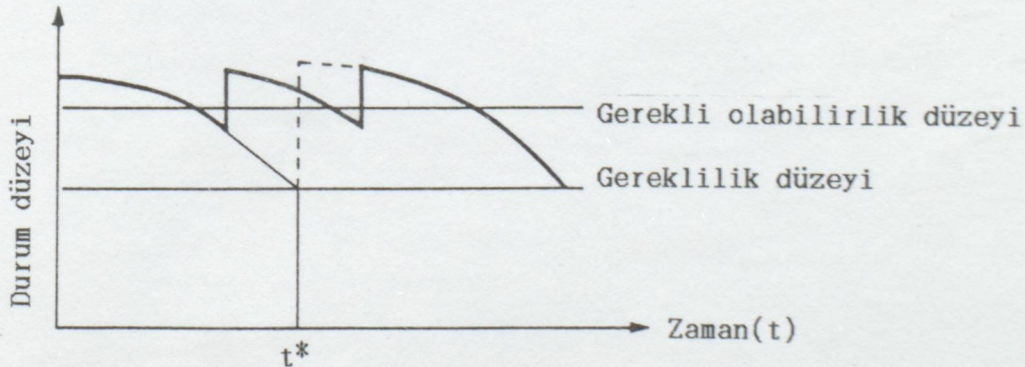
Birinci tip stratejinin önemli ya da değerli binalar için kullanılması uygundur. Bu durumda, yapının kullanım ömrünün olabildiğince uzatılması öngörülür. Bu bağlamda, bakım stratejisinin hedefi, ilgili yapının herhangi bir özelliğinin, onun kullanım ömrü süresince, "gereklilik düzeyi"nin hatta "gerekli olabilirlik düzeyi"nin altına inilmemesini gerçekleştirmektir. Böyle bir özelliğe ilişkin strateji kavramsal olarak Şekil 6.1'de betimlenmiştir.



Şekil 6.1 Durum düzeyi-zaman ilişkisi

Bu, yapının bakımının ve incelenmesinin belirli aralıklarda yapılması gerektiği anlamına gelir. Ayrıca, yapının tümüne ve temel bileşenlerine ilişkin kullanım ömürleri de önceden tahmin edilmelidir. Bu belirlemeler, önceden hazırlanmış ve iyi tasarlanmış, mantıksal aralıklarla yapılacak müdahalelere ilişkin etkili -güçlü- bir stratejinin oluşumunu sağlar. Tahmin edilen davranışın doğruluğu, belirli aralıklarda gerçekleştirilen yapısal incelemelerle denetlenebilir. Yapının gerçek ve tahmin edilen davranışları arasında oluşması muhtemel farklılıklar, özenle çözümlenmeli ve gelecekteki etkiler bu çözümleme sonuçlarına göre ayarlanmalıdır.

İkinci tip bakım stratejisi, başlangıçta, kullanım ömrünün sınırlandırılması kabul edilen yapılara uygulanır. Burada da yapı durumunun, yapının kullanım ömrü süresince "gereklilik düzeyi" sınırının altına düşmemesi istenir. Bu stratejide, özellikle, kullanım ömrünün son evresinde, yapının durumunun "gerekli olabilirlik düzeyi"nin altına inmesi kabul edilebilir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2 Durum düzeyi-zaman ilişkisi

Başlangıç incelemeleri bulunmayan yaşlı yapıların durumlarının değerlendirilmesine, özel bir zaman durağında başlanır (Şekil 6.1 ve 6.2, $t=t^*$). Bu gibi durumlarda çoğu zaman, bakım stratejilerinden biri başlangıçtan beri uygulanmışsa, yapının durumunun o stratejideki düzeye yükseltilmesi için özel bir müdahale yapılır.

Her iki stratejinin amacı, tasarlanan hedefe ulaşmaktır. Daha açık anlatımla, minimum maliyetle, bir yapının beklenen ömrü süresince güvenliğinin ve kullanılabilirliğinin sağlanmasıdır. Bu konuda, başarılı olmak için de, varolan teknikler en doğru ve en etkili biçimde kullanılmalıdır. Ayrıca, tespit edilen kriterler ve yapılan tahminler, zaman zaman yapı üzerinde inceleme yapılarak elde edilen güncel bulgularla ve en son yapılan ilgili araştırma sonuçlarıyla karşılaştırılmalıdır. Bu iteratif karar verme yaklaşımı, kullanım evresinde bulunan tüm yapıların herhangi bir zamanda bir dereceye kadar gözden geçirilmesini ve kullanımın en iyi şekilde yürütülmesini sağlayan geçerli bir yaklaşımdır.

7. GÜVENİLİRLİK MODELLERİ

7.1 VAROLAN YAPILAR İÇİN STANDART VE YÖNETMELİKLER

7.2 GÜVENİLİRLİK DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ

7.3 OLASILIKSAL GÜVENİLİRLİK MODELLERİ

7. GÜVENİLİRLİK MODELLERİ

7.1 Varolan yapılar için standart ve yönetmelikler

Varolan beton yapıların güvenilirliliği ile ilişkili kayıtlar henüz hiç bir ülkenin ilgili yönetmeliğinde ya da standartında bulunmamaktadır.

Bu bağlamda, varolan beton yapıların, yapısal güvenilirlilik düzeylerinin ve gerçek yük taşıma kapasitelerinin belirlenmesi ile ilgili yönetmelik ve standartlar hazırlanmalıdır. Bu, varolan beton yapıların, mantıksal bir güvenilirlilik düzeyi ile, günümüzün istemlerini karşılayabilecek duruma getirilebilmeleri için gereklidir.

7.2 Güvenilirlilik düzeyinin belirlenmesi

Günümüzün yönetmeliklerinde yapısal güvenliğin, malzeme ve yüklerle ilgili kısmi güvenlik katsayıları kullanılarak "yarı-olasılıksal" şekilde sağlanabileceği belirtilmektedir [10, 17, 18]. Başka bir anlatımla, bu katsayılar belirli bir güvenilirlilik düzeyi için, ilgili malzemenin ya da yükün varyasyon katsayısının fonksiyonu olarak belirlenebilir [8,9]; yapısal güvenilirlilik düzeyinin bu belirlemede kabul edilen düzeyde olduğu varsayılabilir. Önce de belirtildiği gibi, bu yönetmelikler ve anılan katsayılarla ilişkin değerler yeni yapılara aittir. Varolan yapılara ilişkin kısmi güvenlik katsayısı değerlerinin belirlenmesi ise, kolay değildir; yapının karmaşık davranışının ve/ya da yük geçmişinin bilinmesini gerektirir.

Bu bağlamda, yapısal güvenlik ortak komitesi (JCSS / Joint Committee on Structural Safety)'nin yapısal güvenilirliliğin sağlanmasına ilişkin ilkeleri, varolan yapılar için de geçerli kabul edilmelidir [1].

7.3 Olasılıksal güvenilirlilik modelleri

Olasılık dağılımları ve bunlara ilişkin parametrelerle betim-

lenen ve tanımlanan olasılıksal güvenilirlik modelleri, yapısal güvenliğin gerçekçi biçimde tahmin edilmesini sağlar[8,9] tahminin duyarlı olabilmesi için çözümlemelerde hesap modeli ve stokastik model belirsizlikleri de gözönüne alınmalıdır [9,14,15].

Varolan bir yapının değerlendirilen(tahmin edilen) güvenilirlik düzeyi,tasarımında kabul edilenden yüksek ya da ona eşitse,yeterli kabul edilebilir.Ne var ki,tasarımda,güvenilirliğe ilişkin kabuller her zaman varolan yapıyla uyuşmayabilir. Örnekse,bilinen bir yük toplumuna ilişkin rastgele yüklerin etkisinde kalan yapıda hasar oluşmayabilir.Yapının bu mukavemeti göstereceğinin tasarım aşamasında tahmin edilmesi ise mümkün değildir.Gerçek malzeme mukavemetlerinin doğrudan ya da doğrudan olmayan yöntemlerle tespit edilmesi, yapıya ilişkin bilgilerin gelişmesini sağlar.Bu bilgiler yapının ya da yapısal elemanların güncel mukavemetlerinin değerlendirilmesinde kullanılabilir.Geliştirilmiş yapısal modeller nominal yük taşıma kapasitesinin artmasına neden olabilir. Çözümlemelerde güncel malzeme mukavemetlerinin kullanılması,belirli bir yük aşaması için güvenilirliği arttırabilir. Başka bir anlatımla,belirli bir güvenilirlik için izin verilen yük düzeyi yükseltilebilir.Kimi zaman,güncel güvenilirlik orijinal tasarımda-kinin altında kalabilir.Bu gibi durumlarda yapının değiştirilmeden kullanılmasıyla ilgili göçme olasılığına ve bunun karşılığı iyileştirme alternatifleri temel alınarak yapılan "maliyet-yarar" [4] çözümlemesi sonucuna göre,yapının bir değişiklik yapılmadan kullanılmasına izin verilebilir.

Bu bağlamda karşılaşılan özel ve karmaşık sorun, çözümlemelerde,göçme sonuçlarının nasıl belirlenebileceği ve göçmenin yolaçabileceği yaralanma ve/ya da ölümlerin maliyetinin nasıl tahmin edilebileceğidir.

8.BETON YAPILARIN DAYANIKLILIĞI İLE İLGİLİ İRDELEMELER

8.1 FİZİKSEL SÜREÇLER

8.1.1 Çatlama

8.1.1.1 Çatlamanın nedeni

8.1.1.2 Çatlak genişliği limitleri

8.1.2 Donma ve buzlanmayı önleyici maddeler

8.1.2.1 Hasar mekanizmaları

8.1.2.2 Etkiyen parametreler

8.2 KİMYASAL SÜREÇLER

8.2.1 Kimyasal olayların beton üzerindeki olumsuz etkileri

8.2.2 Asit etkisi

8.2.3 Sülfat etkisi

8.2.4 Alkali etkisi

8.3 BİYOLOJİK SÜREÇLER

8.4 DONATININ KOROZYONU

8.4.1 Karbonatlaşma

8.4.2 Elektro-kimyasal korozyon

8.4.3 Klorür kirlenmesi

8.BETON YAPILARIN DAYANIKLILIĞI İLE İLGİLİ İRDELEMELER

8.1 Fiziksel süreçler

8.1.1 Çatlama

8.1.1.1 Çatlamanın nedeni

Çatlama, betondaki çekme birim boy değişiminin, onun birim uzama kapasitesinin (0,00015-0,0002 gibi) aştığı zaman oluşur. Betonun çekme birim boy değişimi (birim uzama) kapasitesi, betonun yaşına ve uygulanan birim uzamanın hızına bağlı değişir. Birim boy değişimlerini oluşturan farklı temel mekanizmalar şunlardır [16,20-26] :

(1) Betonun içinde oluşan etkinlikler

Bu tür etkinliklere (hareketler), örnek olarak kuruma rötresi, ısı değişiminden kaynaklanan genleşmeler ya da kasılmalar, plastik oturma ya da plastik rötre gösterilebilir. Bu etkiler, ancak engellendikleri zaman çekme gerilmeleri oluşturur. Engelleme, betonun rötresinin donatı ile sınırlandırılması durumunda olduğu gibi, yöresel ya da yapısal elemanın rötresinin, o elemanla birleşen başka elemanlarla kısıtlanması halindeki gibi kapsamlı olabilir.

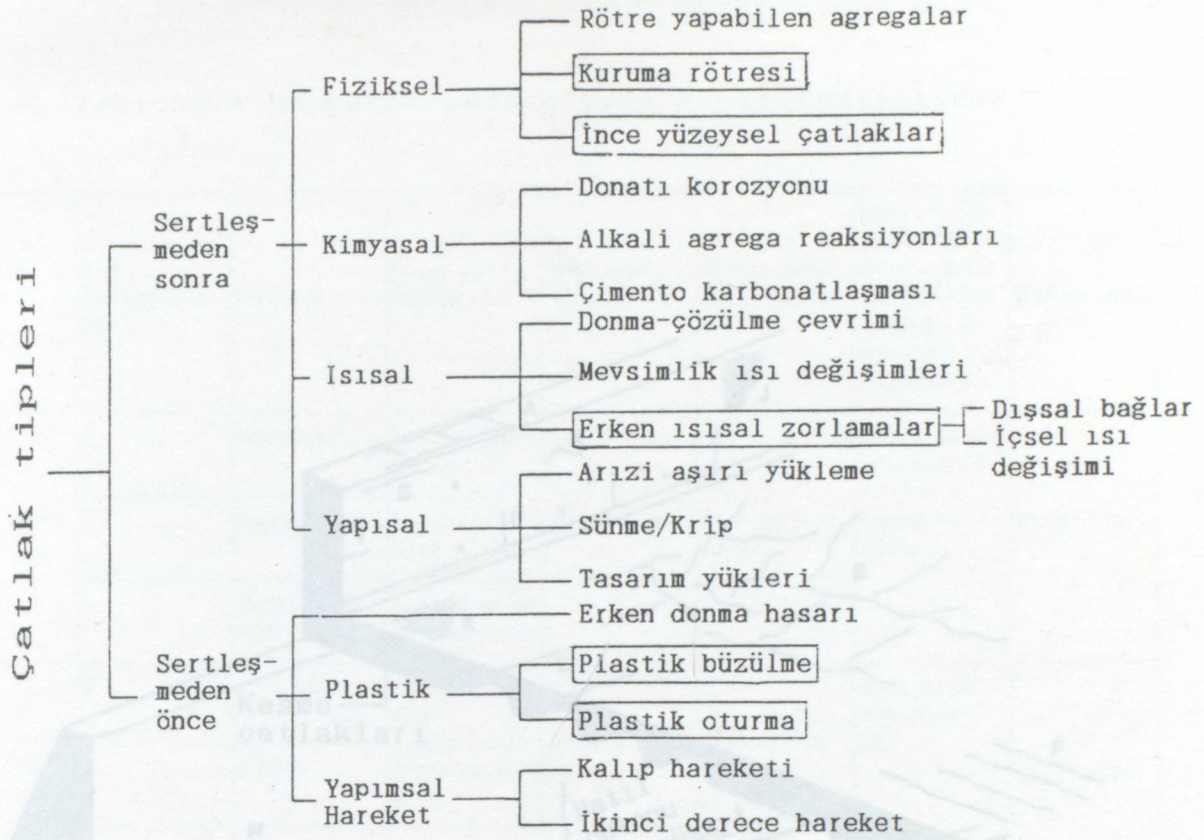
(11) Betonun içindeki malzemenin genleşmesi

Örneğe, donatıdaki korozyon.

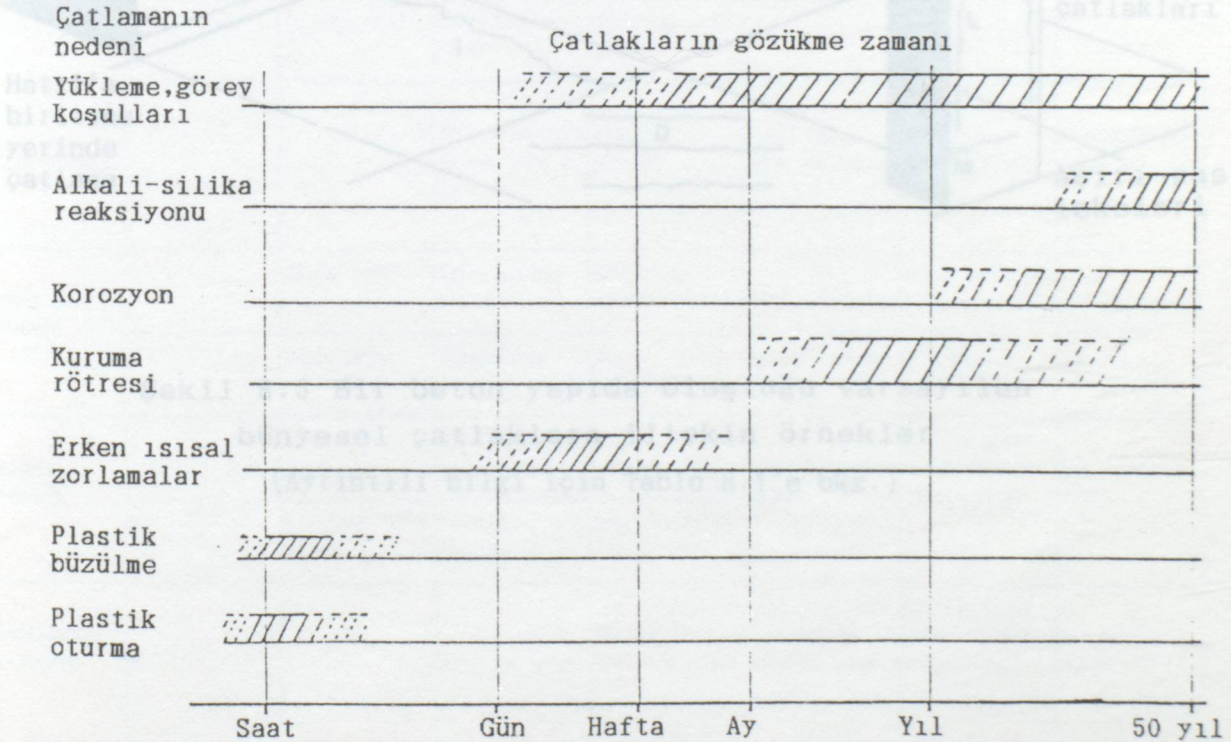
(111) Dışsal koşullar

Temellerdeki farklı oturmalar sonucu oluşan yükler ve deformasyonlar bu tür mekanizmaya örnek gösterilebilir. Şekil 8.1'de, olası çatlama nedenleri özetlenmiştir. Çeşitli çatlama biçimlerinin oluşmasının beklendiği yaşlar da Şekil 8.2'de belirtilmiştir.

(1).ve (11). mekanizmalar çeşitli asli (bünyesel, intrinsic) çatlaklara neden olurlar. Bunlara ilişkin ayrıntılı bilgi Şekil 8.3'de ve Tablo 8.1'de verilmiştir. (111).mekanizma ise

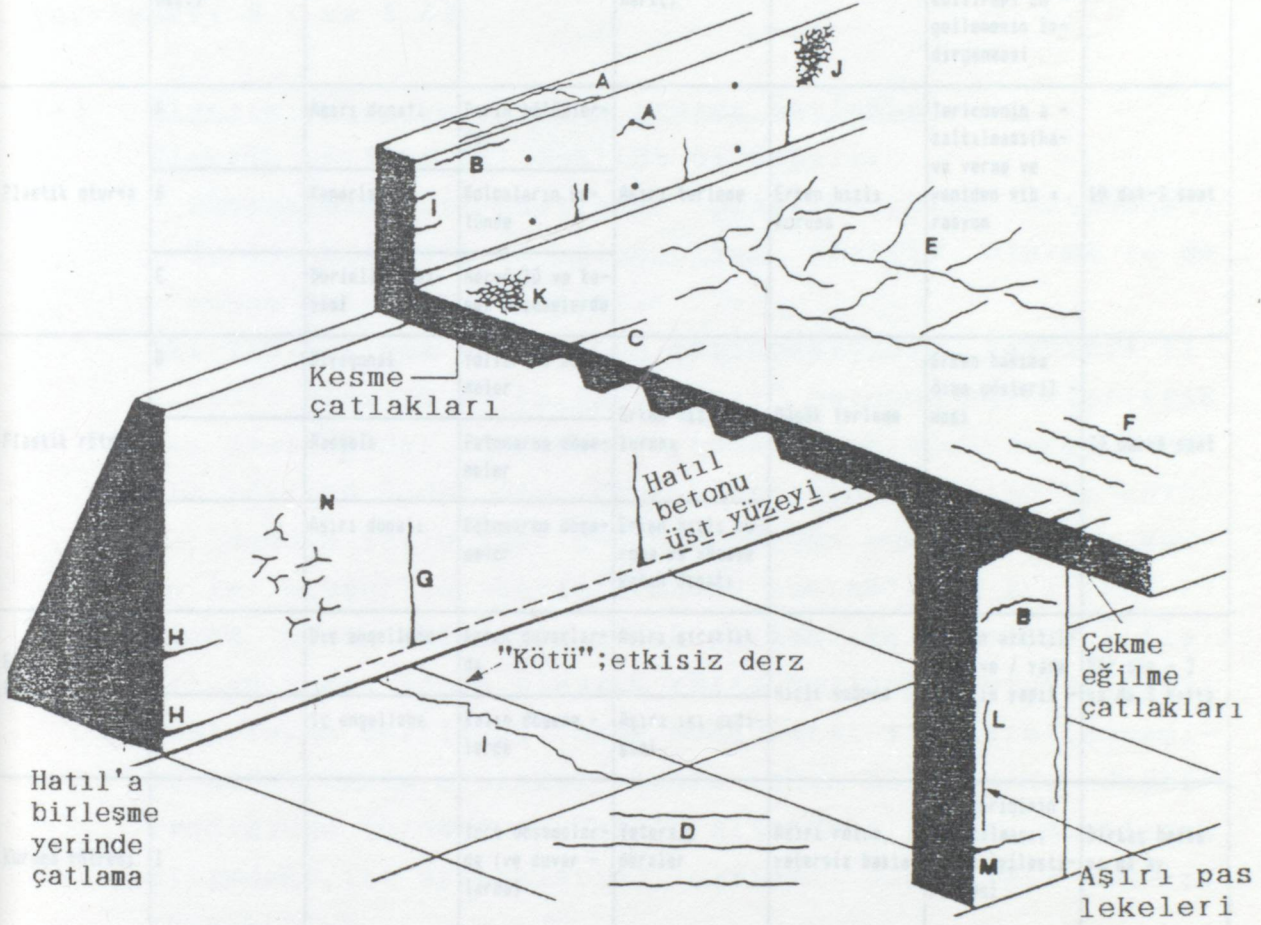


Şekil 8.1 Çatlak tipleri



Şekil 8.2 Çatlakların gözükme zamanı

Tablo 8.1 Bünyesel çatlakların sınıflandırılması



Şekil 8.3 Bir beton yapıda oluştuğu varsayılan bünyesel çatlaklara ilişkin örnekler
(Ayrıntılı bilgi için Tablo 8.1'e bkz.)

Tablo 8.1 Bünyesel çatlakların sınıflandırılması

Çatlamanın Tipi	Harf (Şekil 8.3 'e bkz.)	Alt sınıf	En sık görüldüğü yer	Temel nedeni (Engellemeler hariç)	İkincil nedenler / etkenler	Çözüm (Yeniden tasarım yapılmasının mümkün olmadığı kabul edilirse) En - gellenenin in - dirgenmesi	Sözükme zamanı
Plastik oturma	A	Aşırı donatı	Derin bölümlerde			Terlemenin azaltılması (havalandırma ve yeniden vib rasyon)	10 dak-3 saat
	B	Kemerleşme	Kolonların üstünde	Aşırı terleme	Erken hızlı kuruma		
	C	Derinlik değişimi	Nervürlü ve kaset döşemelerde				
Plastik rötre	D	Diyağonal	Yollar ve döşemeler	Erken hızlı kuruma	Düşük terleme hızı	Erken bakıma özen gösterilmesi	30 dak-6 saat
	E	Rasgele	Betonarme döşemeler				
	F	Aşırı donatı	Betonarme döşemeler	Erken hızlı kuruma ve yüze yakın donatı			
Erken ısısal kasilma	G	Dış engelleme	Kalın duvarlarda	Aşırı sıcaklık	Hızlı soğuma	Isının azaltılması ve / yada yalıtım yapılması	Bir gün - 2 ya da 3 hafta
	H	İç engelleme	Kalın döşemelerde	Aşırı ısı değişimi			
Kuruma rötresi	I		İnce döşemelerde (ve duvarlarda)	Yetersiz derzler	Aşırı rötre, yetersiz bakım	Bu içeriğinin azaltılması, bakım iyileştirilmesi	Birkaç hafta ya da ay
Yüzeyde ince çatlaklar	J	Kalıba karşı	Zayıf yüzeyli betonda	Gecirimsiz kalıp	Zengin karışımlar. Yetersiz bakım, koruma	Bakım iyileştirilmesi ve ince işlere özen gösterilmesi	1-7 gün ve bazen çok sonra
	K	Yüzen beton	Döşemelerde	Aşırı perdahlama			
Donatının korozyonu	L	Doğal	Kolonlarda ve girişlerde	Örtübeton yetersizliği	Düşük kaliteli beton	Sayılan nedenlerin ortadan kaldırılması	İki yıldan fazla
	M	Kalsiyum klorür	Öndöküm betonda	Aşırı kalsiyum klorür			
Alkali-agrega reaksiyonu	N		Nemli yerlerde	Edilgen (reaktif) agrega ve yüksek alkali cimento		Sayılan nedenlerin ortadan kaldırılması	Bes yıldan fazla

arızı (bünyesel olmayan, extrinsic) çatlaklara neden olur.

Özellikle, "genç(young)" beton çatlamaya eğilimlidir. Taze "yeşil (green)" betondan, sertleşmiş "genç" betona geçiş evresinde dö-kümden sonra, çok düşük çekme mukavemetli ve çok düşük defor-masyon yetenekli kritik bir süreç, birkaç saat içinde (en erken 2 saat) başlar ve bu süreç yaklaşık 4-16 saat içinde sona e-rer (Şekil 8.4 ve 8.5).

(1) Plastik rötire ve plastik oturma çatlaması

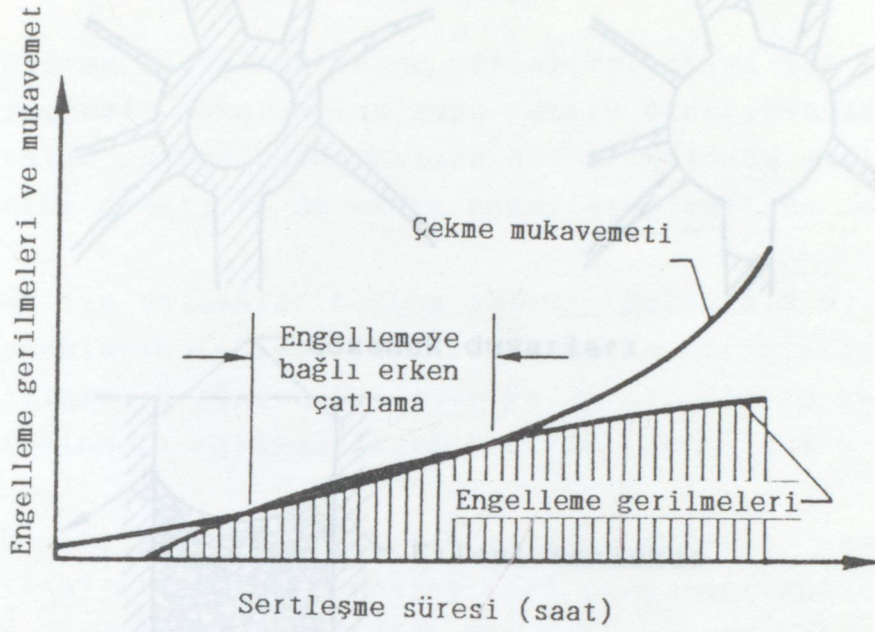
Plastik çatlama iki şekilde oluşabilir:

- ~ Döşemelerde sık rastlanan plastik rötire çatlaması.
- ~ Derin elemanlarda oluşabilen plastik oturma ya da çökme (slump) çatlaması.

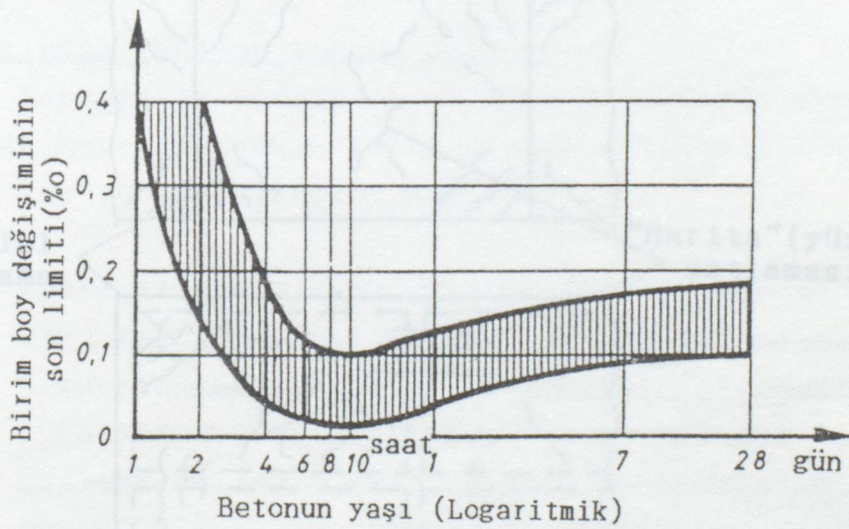
İki tip çatlama da betonun terlemesiyle, su kaybıyla il-gilidir. Plastik rötire, taze "yeşil" betonun karakteristik bir özelliğidir. Gözenek suyundaki kapiller çekme plas-tik rötreye neden olur. Eğer buharlaşmayla olan su kaybı terlemeden fazla ise, gözeneklerdeki suda kapiller kuv-vetler oluşur ve karıştırmadan sonraki ilk 2-4 saat i-çinde, beton yüzeyinin ıslak parlaklığı kaybolur, matla-şır ve hemen sonra plastik rötire çatlaması oluşur (Şekil 8.6). Çekme gerilmesi, çekme mukavemeti ile karşılanmadı-ğı için, hacim azalması yüzeye yakın bölgelerde engel-lendiğinde (örneğin, yüzeyin altındaki ya da donatının altındaki iri agregalarla) çatlama olasılığı oldukça yüksek olur.

Döşemeler gibi, geniş yatay yüzeylere sahip yapısal ele-manlarda plastik rötire sonucu oluşan çatlaklara rastla-nır. Döşemelerdeki tipik çatlaklar, paralel ve döşeme kö-şelerinde 45°'lik açılar oluşturacak şekildedir. Çatlak uzaklıkları 0,2-1 m. arasında değişebilir. Aralıklar dü-zenli değildir (Şekil 8.7).

Şekil 8.7'de "harita çatlaması" olarak bilinen bir baş-ka çatlama türü gösterilmiştir. Plastik rötrenin neden olduğu çatlaklar, genellikle yüzey çatlaklarıdır. Seyrek durumlarda bu çatlaklar döşemenin içinde ilerler. Bu du-



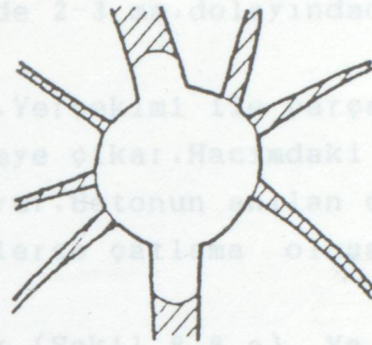
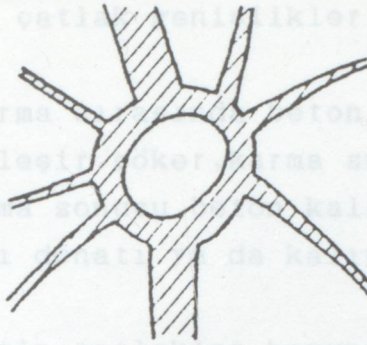
Şekil 8.4 Genç betonda engelleme gerilmeleri ve mukavemet



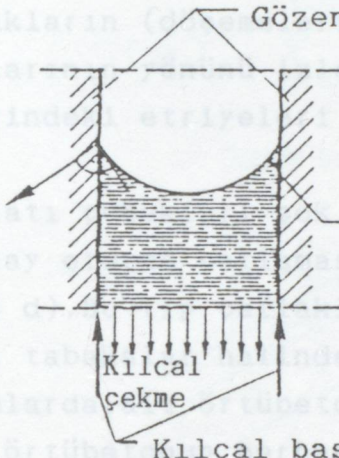
Şekil 8.5 Beton çekme birim boy değişimi son limitinin betonun yaşına göre değişimi

~Suyla doyma

Kuruma



Gözenek duvarları



Kılcal menisküs

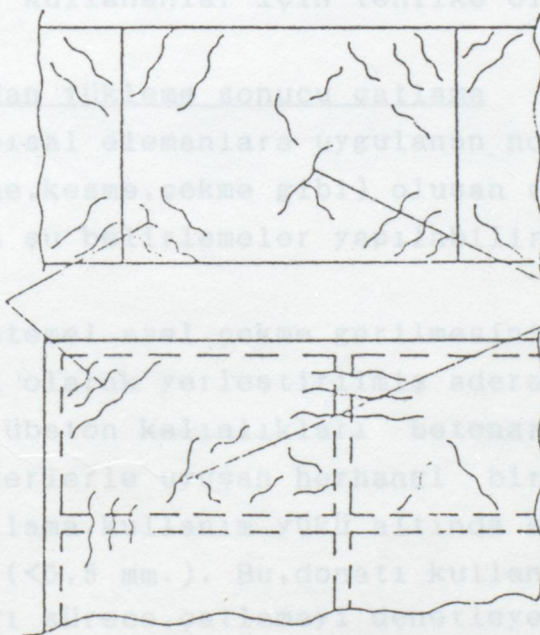
Kılcal
çekme

Kılcal basınç

Şekil 8.6 Dar gözeneklerdeki suyun davranışı

Der z

Derz

Paralel
çatlama

"Harita" (yüzey)
çatlaması

Şekil 8.7 Beton kaldırımların ve sürekli döşemelerin yüzeyindeki plastik rötre çatlakları

rumda, çatlak genişliği, yüzeyden içeri derinlik arttıkça önemli oranda azalır. Plastik rötrenin neden olduğu tipik çatlak genişlikleri yüzeyde 2-3 mm. dolayındadır.

Oturma sırasında beton terler. Yerçekimi ile parçacıklar yerleşir, çöker, karma suyu yüzeye çıkar. Hacımdaki bu azalma sonucu beton kalıba oturur. Betonun anılan oturmasını donatı ya da kalıp engellerse çatlama oluşabilir.

Bu tip çatlaklar boyuna oluşur (Şekil 8.8 a). Ya kalın plakların (döşemelerin) ya da derin girişlerin üst donatılarının yönünü izlerler ya da kolonların yanal yüzeylerindeki etriyeleri belirtirler (Şekil 8.8 b ve 8.8 c).

Çubuk boyunca oturma çatlakları

Donatı çubukları çok sık yerleştirildiği zaman oluşan yatay oturma çatlamasına özel önem verilmelidir (Şekil 8.8 d). Bu tip çatlaklar, üst donatıya ilişkin örtübetonun tabakalar halinde ayrılmasına neden olur. Kimi durumlarda, alt örtübeton da tabaka halinde ayrılabilir. Bu da, örtübetonun herhangi bir uyarıda bulunmadan parçalanma riskini doğurur. Donma ya da donatı korozyonu gibi daha önemli öteki yıkıcı mekanizmalar da eklenirse, örtübetonun önemli bölümleri ani olarak parçalanabilir ve yapıyı kullananlar için tehlike oluşturur.

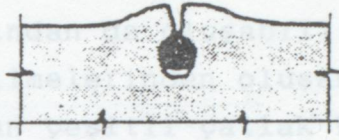
(11) Doğrudan yükleme sonucu çatlama

Bu, yapısal elemanlara uygulanan normal yük etkilerinden (eğilme, kesme, çekme gibi) oluşan çatlamları içerir. Bu konuda şu belirlemeler yapılabilir :

(a) Muhtemel asal çekme gerilmesinin yönüne, az ya da çok dik olarak yerleştirilmiş aderanslı donatı içeren, örtübeton kalınlıkları betonarme standartlarındaki değerlerle uyuşan herhangi bir yapısal elemandaki çatlama, kullanım yükü altında bağıl olarak küçük olur ($< 0,5$ mm.). Bu, donatı kullanım yükü altında akmadığı sürece, çatlamayı denetleyecek bir önlem alınmasa da geçerli bir olgudur.

(b) YÜKÜN neden olduğu geniş çatlaklar varsa, bunlar genellikle, son limit durumu hesaplarına hatalı olduğunu gösterir. Bu hesap hatasından ya da yanlış değerlendirilme ya da yok varsayılması bir yükün etkisinden kaynaklanıyor olabilir. Örnekte, hatalı değerlendirilme yükün gerçek etkisine mukavemet edecek donatının bulunmaması ya da miktarının küçük tutulmuş olması halinde, kullanılan yükü altında donatı akar ve çatlak oluşur. Çatlama betonun yerel aşırı gerilme altında kalmasıdır. Çubuk boyunca, aşırı aderans çatlakları gibi. YÜK etkisiyle oluşan çatlakların örnekleri Şekil 8.9'da gösterilmiştir.

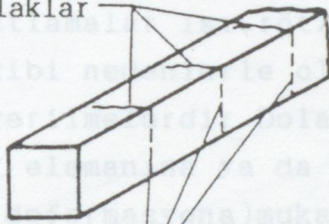
(a)



Çubuk boyunca oturma çatlağı

(b)

Çatlaklar

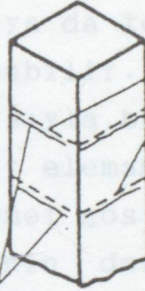


Etriyeler

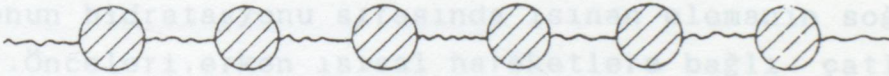
Çatlaklar

Etriyeler

(c)



(d)



Şekil 8.8 Plastik oturmadan dolayı oluşan çatlaklar
(Çökme/slump çatlama)

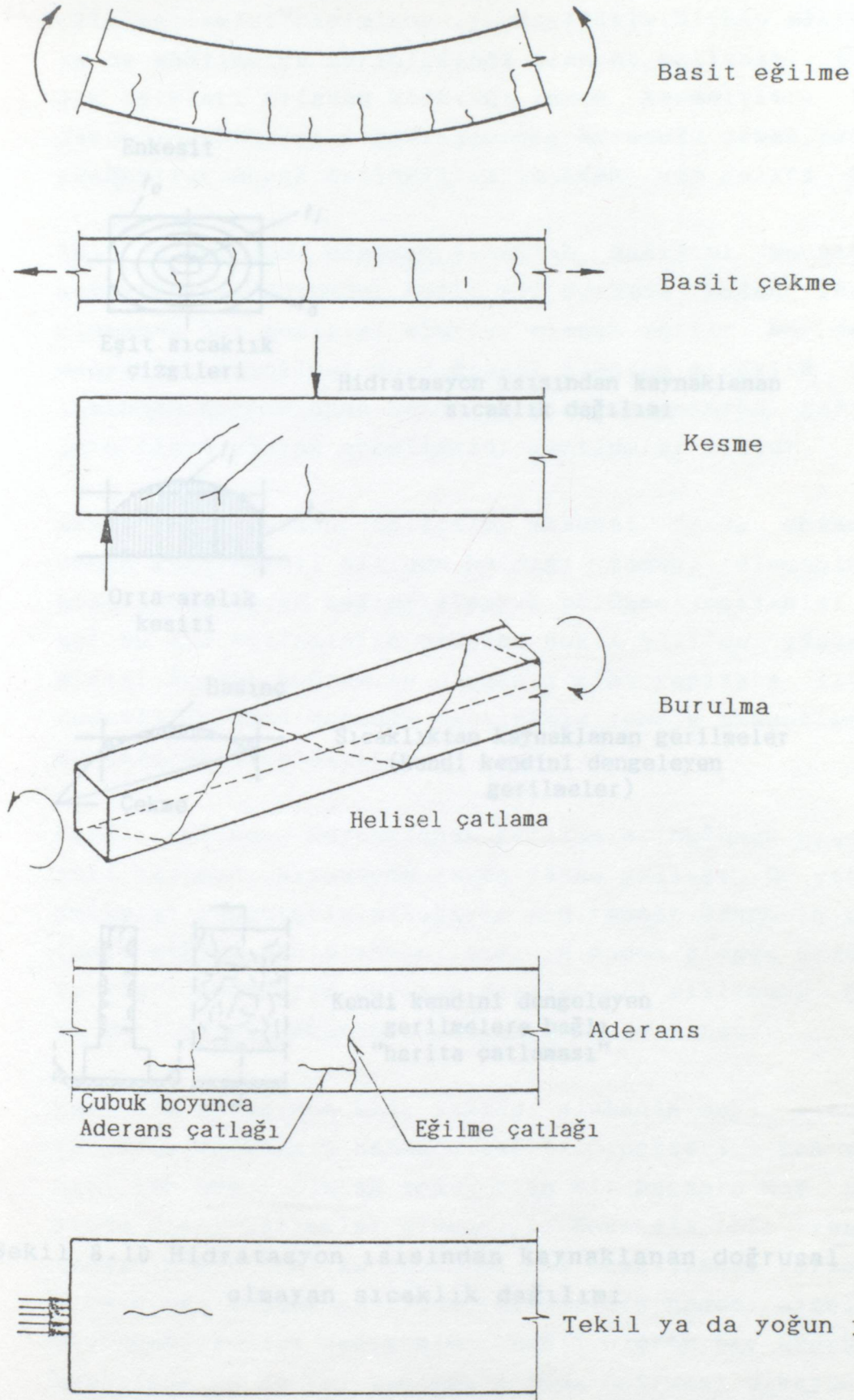
(b)Yükün neden olduğu geniş çatlaklar varsa, bunlar genellikle,son limit durumu hesaplarının hatalı olduğunu gösterir.Bu,hesap hatasından ya da yanlış değerlendirilmiş ya da yok varsayılmış bir yükün etkisinden kaynaklanmış olabilir.Örnekse, hatalı değerlendirilmiş yükün gerçek etkisine mukavemet edecek donatının bulunmaması ya da miktarının küçük tutulmuş olması halinde,kullanım yükü altında donatı akar ve çatlak oluşur.Çatlama,betonun yerel aşırı gerilme altında kalmasından da oluşabilir.Çubuk boyunca,aşırı aderans gerilmelerinden oluşan çatlaklar gibi.Yük etkisiyle oluşan çeşitli çatlak biçimleri Şekil 8.9' da gösterilmiştir.

(111) Uygulanan deformasyonlar nedeniyle oluşan çatlamalar

Bu tür çatlamlar ısı,rötre ya da temellerin farklı oturması gibi nedenlerle oluşabilir.Bunların ortak özellikleri gerilmelerdir.Dolayısıyla,bu tür çatlaklar yapının,bir elemanına ya da bir eleman bölümüne,uygulanan harekete(deformasyona)mukavemet gösterilen yerde oluşur Yapının gösterdiği engellemenin derecesi arttıkça,gerilmeler de artar,çatlaklar büyür.

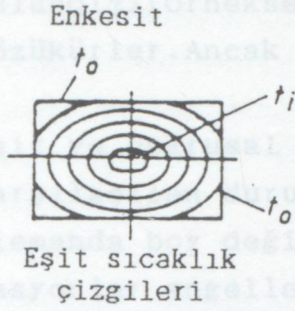
Sıcaklık farkları çatlamanın en sık görülen nedenidir.Yapıdaki çatlamanın en önemli nedenlerinden biri de,çimentonun hidratasyonu sırasında ısınan elemanın soğumasıdır.Önceleri,erken ısısal hareketlere bağlı çatlamlar rötre çatlamları olarak tanımlanırdı.

Beton yerleştirilmesi ve sertleşmesi sırasında açığa çıkan çimentonun hidratasyon ısısı,özellikle kütle betonlarında,beton yüzeyden havaya verilemez. Betonun çekirdeğinden yüzeyine doğru bir sıcaklık değişimi(eğimi) oluşur.Bu eğim,betonun sıcaklığı arttıkça ve hava sıcaklığı azaldıkça artar (Şekil 8.10). Dış tabakalardaki çekme gerilmeleri ve çekirdekteki basınç gerilmeleri,kendi kendini dengeleyen gerilmeler oluşturur.Çekme gerilmeleri sertleşmekte olan betonun henüz düşük olan çekme mukavemetini aşarsa çatlaklar oluşur.

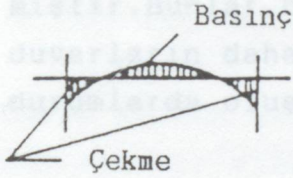
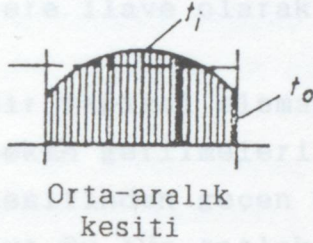


Şekil 8.9 Yük etkisiyle oluşan çatlaklar

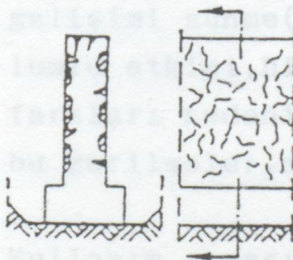
Çatlaklar, her zaman yüzey çatlaması olup soğumukla "harita çatlaması" biçimindedir. Genellikle birkaç milimetre ya da santimetre derinliğinde olan bu çatlaklar, sıcaklık farkları ortadan kalktığı zaman kapanırlar. Yüzey çatlakları, örneğin yağmurda sonra kuruduğu zaman, yeniden kapanırlar. Ancak çatlakların içindeki nem kalıcı olur.



Hidratasyon ısısından kaynaklanan sıcaklık dağılımı



Sıcaklıktan kaynaklanan gerilmeler
(kendi kendini dengeleyen gerilmeler)



Kendi kendini dengeleyen gerilmelere bağlı "harita çatlaması"

Şekil 8.10 Hidratasyon ısısından kaynaklanan doğrusal olmayan sıcaklık dağılımı

Çatlaklar, her zaman, yüzey çatlaması olup çoğunlukla "harita çatlaması" biçimindedir. Genellikle, birkaç milimetre ya da santimetre derinliğinde olan bu çatlaklar, sıcaklık farkları ortadan kalktığı zaman kapanırlar. Yüzey ıslandığı (Örneğe, yağmurla) sonra kuruduğu zaman, yeniden gözüktürler. Ancak çatlakların içindeki nem kalıcı olur.

Eşit ve doğrusal olmayan sıcaklık dağılımı genellikle karşılaşılan durumdur. Böyle bir durumda kalan yapısal elemanda boy değişimi olur ve eleman eğilir. Bu deformasyonlar engellenirse, doğrusal olmayan sıcaklık dağılımından kaynaklanan kendi kendini dengeleyen gerilmelere ilave olarak engelleyici gerilmeler oluşur.

Bir yapısal eleman özellikle, aksenel ya da eksantrik çekme gerilmeleri altında kaldığı zaman, elemanın tüm kesitinden geçen bağımsız (ayrık, bölümsel) çatlaklar oluşur. Bu tür çatlakların oluşumu Şekil 8.11'de gösterilmiştir. Bunlar, bodrum, su depoları gibi yapılara ilişkin duvarların daha önceden sertleşmiş temele mesnetlendiği durumlarda oluşabilir.

Farklı rötreden kaynaklanan gerilmeler, betonun uzun süreli kuruması sırasında yavaş, yavaş gelişir. Bu gerilme gelişimi sünme (krip) etkisiyle indirgenir. Sünmenin bu olumlu etkisi, hidrasyon ısısının neden olduğu sıcaklık farkları nedeniyle gelişen gerilmeleri etkilemez. Çünkü bu gerilmeler, dökümden kısa süre sonra oluşur.

Kullanım sırasında kimi yapısal elemanlardaki sıcaklık farkları çatlamaya neden olabilir. Örneğe, içi çok sıcak dışı ise bağıl olarak soğuk olan bir bacanın dış yüzeyinde dikey çatlaklar oluşabilir. Basınçlı bir reaktör tankının bir tehlike yüzünden ani kapatılması sırasında oluşan ani soğuma da ciddi çatlamalara neden olabilir. Çevredeki günlük değişimlere bağlı olarak, bir köprü döşemesinde ya da yol kaplamalarında doğrusal olmayan sıcaklık dağılımları oluşabilir. Bunlar uygun donatıyla denetlenemezlerse, çatlamaya yol açan gerilmeler oluştururlar.

Rötre(Büzülme),yükten bağımsızdır.Betonun kurumaya bağılı hacim azalmasından(hacımsal büzülmesinden) dolayı oluşan uzun süreli deformasyondur [20-24].

Bir yapı elemanının rötre nedeniyle oluşan kısılması dıştan engellenirse,eksenel ya da eksantrik kuvvetler oluşur.Bu kuvvetlerden dolayı,betondaki birim uzama,betonun son limit birim uzamasını aştığı zaman çatlaklar oluşur.

Yüzeydeki beton kururken,çekirdekle yüzeydeki bölüm arasında oluşan farklı rötre,yüzeyde çekme gerilmeleri, çekirdekte basınç gerilmeleri meydana getirerek birbirini dengeleyen gerilme durumu oluşturur.

Sıcaklıktan doğan çatlamlar gibi, rötreden kaynaklanan yüzey çatlamları da genellikle"harita çatlamları" biçiminde olurlar ve çoğu zaman sıcaklıktan kaynaklanarlardan ayırdedilemezler (Şekil 8.10).

Rötre kısmen geriye dönüşümlüdür.Nem de artıyorsa, farkedilir bir şişme oluşur.Rötre hareketleri,yapının yeni olduğu evre ile sınırlı değildir.Yapı ömrünün herhangi bir anında(merkezi ısıtma ya da klimanın çalışmasındaki bir değişimden kaynaklanan)bağıl nemdeki düşme farkedilir hareketlerin ve çatlak oluşumunun nedeni olabilir.

Temellerin oturmasından doğan çatlama, oturma farkları çok büyük olmadığı sürece,bölme ve dolgu duvarları, kapılar ve benzerleri gibi yapısal olmayan elemanları etkiler.Oturmalar arasındaki fark çok büyükse,yükten kaynaklanan çatlaklara benzer çatlaklar oluşur.

(iv) Çatlakların donatıya göre konumu

Yapının dayanıklılığı ve kullanım ömrünün performansı bağlamında,çatlamanın önemi,çatlakların donatı çubukları doğrultusunda olup olmamasıyla(boyuna çatlaklar) yakından ilgilidir (Şekil 8.12).

Öncede belirtildiği gibi, bu, donatı korozyonu açısından önemlidir. Ayrıca, boyuna çatlakların oluşumu, aderans ve kesme mukavemetini oldukça azaltabilir.

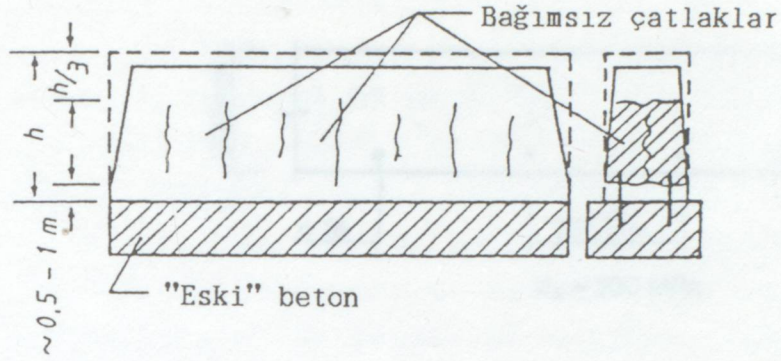
Doğrudan etkiyen yük ya da uygulanan deformasyonlar altında çekme ya da eğilme sonucu oluşan çatlamanın yönünün, esas çekme yönünde yerleştirilmiş ana donatı çubuklarının yönüne dik olması beklenir. Bu tür yükleme, ana çubuklar boyunca çatlak oluşumuna hemen hemen hiç neden olmaz.

Bu tür etkiler altında kalan yapısal elemanlarda genellikle enine donatı bulunur. Anılan çatlaklar bu enine çubukların doğrultusunda oluşur. Aslında, enine çubuklar, bu tür çatlakların oluşumuna katkıda bulunurlar (Şekil 8.12).

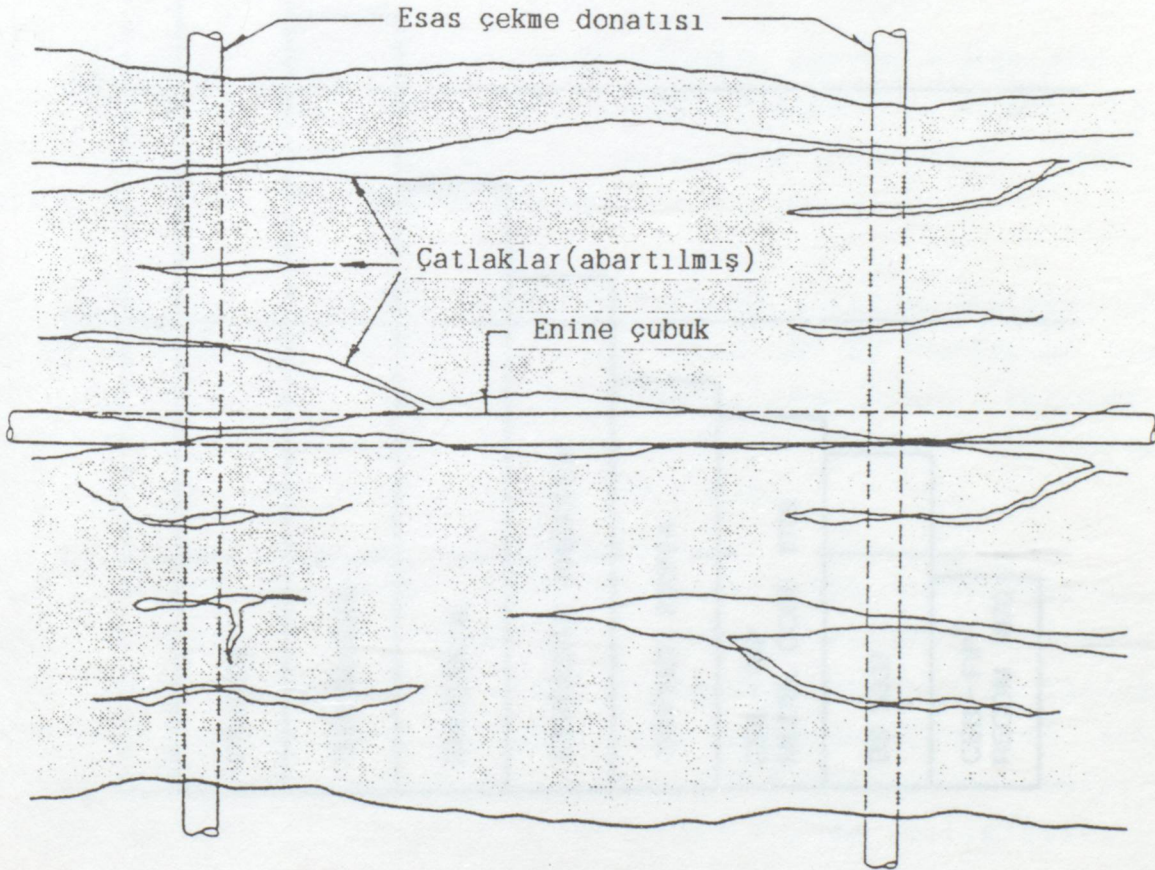
Çekme ve kesme kuvvetleri, donatı çubuklarının doğrultusu ile pek çakışmayan diagonal çatlaklara neden olur. Aderans çatlakları, ana donatı çubukları boyunca oluşurlar. Yapısal tasarım doğru yapılmışsa, bu tür çatlakların kullanım yükü altında oluşmaları ihtimali çok az olur. Plastik rötire çatlakları, yalnızca rastlantısal olarak donatı doğrultusunu izleyebilirler. Bu olgu, çatlakların genelde, donatıdan kaynaklandığı, plastik oturma (slump) çatlakları için geçerlidir. Kimi donatı çubukları doğrultusunda çatlama riski yüksek olur. Kiriş etriyeleri gibi, ana donatı çubuklarından daha küçük örtübeton kalınlığı olan çubuklarda olduğu gibi.

8.1.1.2 Çatlak genişliği limitleri

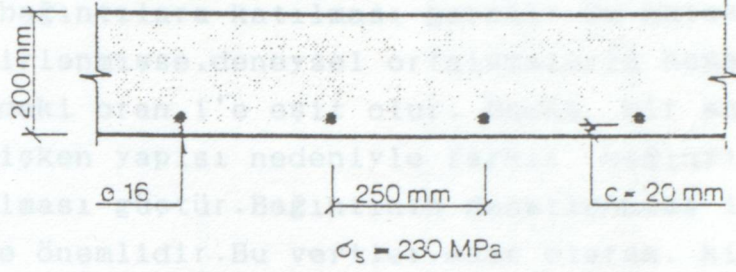
Tasarım standartlarında izin verilen çatlak genişliği limitleri genellikle şöyledir: ılımlı ortamda 0,3 mm., normal ortamda 0,2 mm. ve sert ortamda 0,1 mm. dir. Şekil 8.13'de görüldüğü gibi, tasarım kurallarının ikisi, plağı her ortam için elverişsiz; ikisi, yalnızca ılımlı ortama uygun; üçü, yalnızca ılımlı ve normal ortama uygun ve biri de her ortama uygun kabul etmektedir [16-18, 20-22].



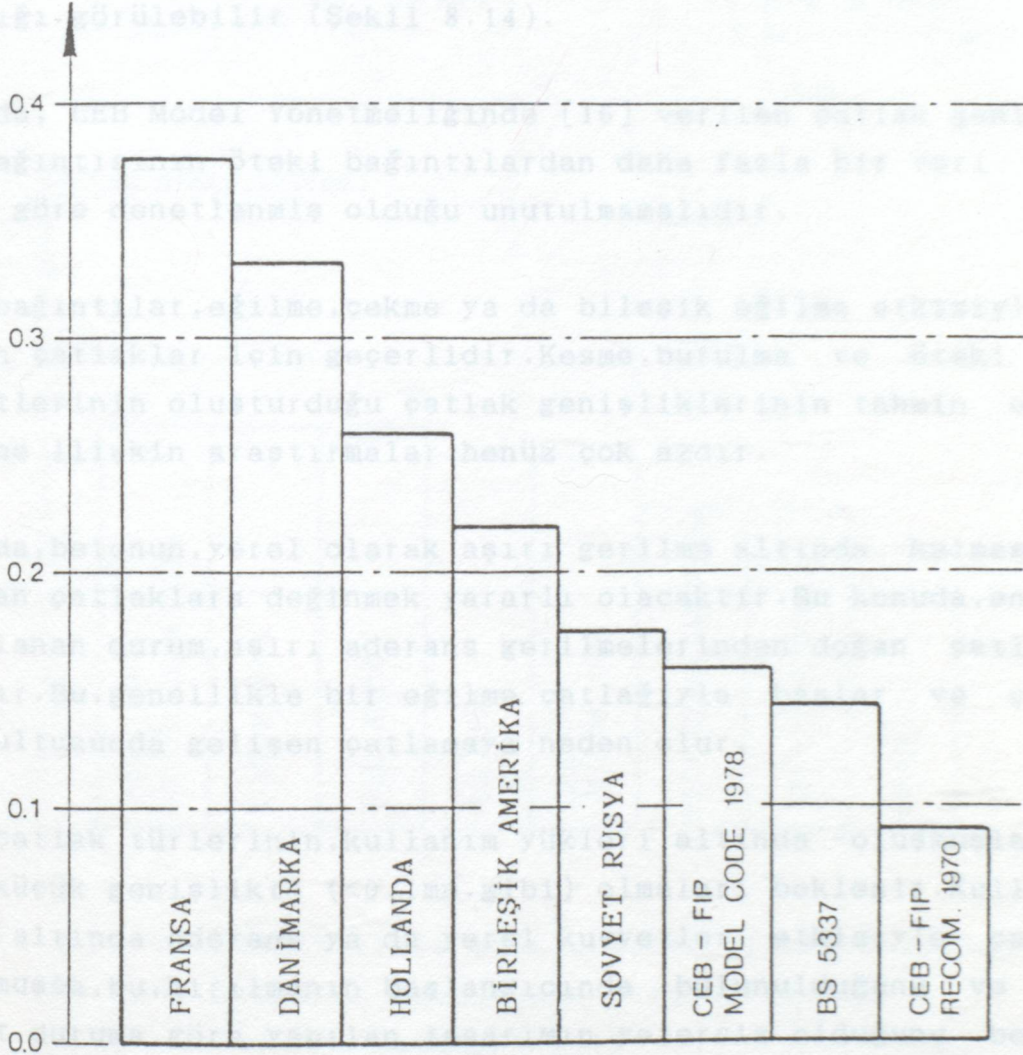
Şekil 8.11 Bir duvarda,erken ısısal etkinliklerden doğan çatlama



Şekil 8.12 Çatlakların donatıya göre konumu



Çatlak genişliği(mm)



Şekil 8.13 Şekildeki plâk için,çeşitli standart kurallarına göre,tasarımda belirlenen çatlak genişlikleri

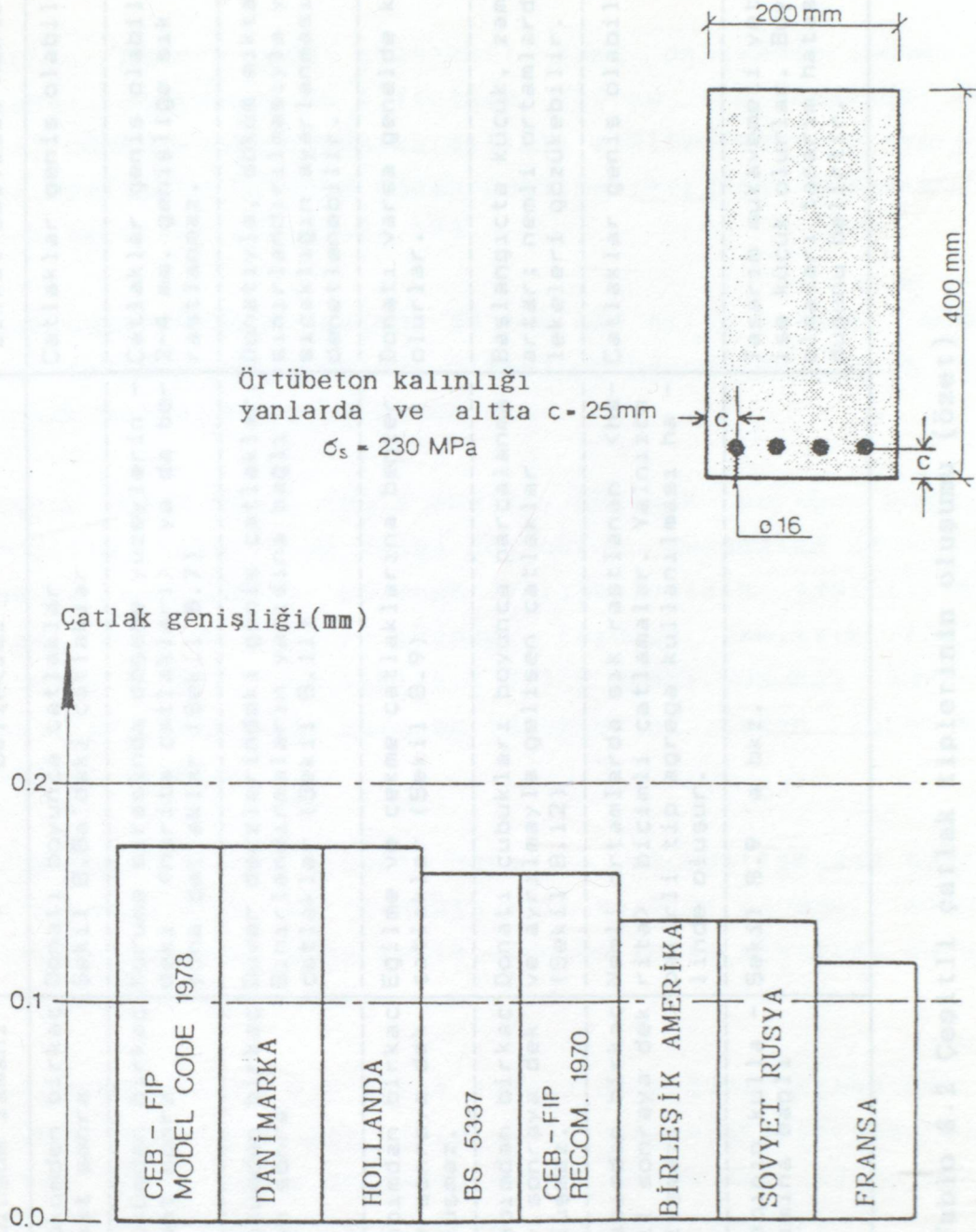
Bu farklı kabullerin nedeni olayın yapısından kaynaklanmaktadır. Üretilen hiçbir bağıntı tamamen teorik olamaz. Aderans etkileri ya da çatlak genişliklerinin dağılımlarıyla ilgili deneysel katsayıların bağıntılara katılması gerekir. Bu katsayılar uygun olarak belirlenmişse, deneysel ortalamalarla hesapla belirlenenler arasındaki oran 1'e eşit olur. Başka bir anlatımla, çatlamanın değişken yapısı nedeniyle farklı bağıntılar arasında tercih yapılması güçtür. Bağıntının denetlenmesi için kullanılan veriler de önemlidir. Bu veriler, esas olarak, kırış deneylerinden sağlanmış verilerdir. Bu bağlamda, çekme donatısı yüzdesi 0,01 olan dikdörtgen kırışla ilgili çeşitli bağıntılarla hesaplanan çatlak genişliklerinin, aynı sınırlar içinde kaldığı görülebilir (Şekil 8.14).

Burada, CEB Model Yönetmeliğinde [16] verilen çatlak genişliği bağıntısının öteki bağıntılardan daha fazla bir veri grubuna göre denetlenmiş olduğu unutulmamalıdır.

Tüm bağıntılar, eğilme, çekme ya da bileşik eğilme etkisiyle oluşan çatlaklar için geçerlidir. Kesme, burulma ve öteki yük çeşitlerinin oluşturduğu çatlak genişliklerinin tahmin edilmesine ilişkin araştırmalar henüz çok azdır.

Burada, betonun, yerel olarak aşırı gerilme altında kalmasıyla oluşan çatlaklara değinmek yararlı olacaktır. Bu konuda, en sık rastlanan durum, aşırı aderans gerilmelerinden doğan çatlamlardır. Bu, genellikle bir eğilme çatlağıyla başlar ve çubuk doğrultusunda gelişen çatlama neden olur.

Tüm çatlak türlerinin, kullanım yükleri altında oluşmuşlarsa çok küçük genişlikte ($<0,1\text{ mm}$. gibi) olmaları beklenir. Kullanım yükü altında aderans ya da yerel kuvvetler etkisiyle çatlak oluşmuşsa, bu, kırılmanın başlangıcında bulunulduğunu ve son limit duruma göre yapılan tasarımın yetersiz olduğunu belirtir. Çatlaklarla ilgili özet bilgi Tablo 8.2'de verilmiştir.



Şekil 8.14 Şekildeki kiriş için, çeşitli standart kuralları
kullanılarak hesaplanan tasarım çatlak
genişlikleri

Nedeni	Oluşum zamanı	Belirtisi	Dikkat edilecek noktalar
Plastik oturma (çökme/slump çatlaması)	Dökümden birkaç saat sonra	Donatı boyunca çatlaklar Şekil 8.8a'daki çatlaklar	Çatlaklar geniş olabilir.
Plastik büzülme/rötre (Erken rötre)	Dökümden birkaç saat sonra	Kuruma sırasında dökme yüzeylerin deki <harita çatlakları> ya da bo- yuna çatlaklar (Şekil 8.7)	Çatlaklar geniş olabilir. 2-4 mm. genişliğe sık rastlanmaz.
Erken ısısal çatlaklar	Dökümden birkaç gün sonra	Duvar derzlerindeki geniş çatlaklar. Sınırlandırmaların yapısına bağlı çatlaklar (Şekil 8.11)	Donatıyla, döküm miktarının sınırlandırılmasıyla ya da sıcaklığın ayarlanmasıyla denetlenebilir.
Büzülme/Rötre	Yapımdan birkaç ay sonraya dek oluşmaz.	Eğilme ve çekme çatlaklarına benzer çatlaklar (Şekil 8.9)	Donatı varsa genelde küçük olurlar.
Korozyon	Yapımdan birkaç ay sonraya dek oluşmaz.	Donatı çubukları boyunca parçalanma ve ayrılmayla gelişen çatlaklar (Şekil 8.12)	Başlangıçta küçük, zamanla artar; nemli ortamlarda pas lekeleri görülebilir.
Alkali-agrega reaksiyonları	Yapımdan birkaç yıl sonraya dek oluşmaz.	Nemli ortamlarda sık rastlanan <ha- rita> biçimli çatlaklar. Yalnızca belirli tip agrega kullanılması ha- linde oluşur.	Çatlaklar geniş olabilir.
Kullanım sırasında yükleme	Yapının kulla- nımına bağlı	Şekil 8.9 'a bkz.	Tasarım mukavemeti yeterli ise küçük olurlar. Büyük olmaları tasarım hatası ol- duğunu belirtir.

Tablo 8.2 Çeşitli çatlak tiplerinin oluşumu (özet)

8.1.2 Donma ve buzlanmayı önleyici (de-icing) maddeler

8.1.2.1 Hasar mekanizmaları

Çimento hamuru gibi gözenekli yapı malzemelerindeki suyun donması olgusunda dört fiziksel süreç çok önemlidir (Şekil 8.15).Çünkü bu dördünün,karşılıklı etkileşimleri donma direncini,özellikle betonun donma-çözülme çevrimine gösterdiği direnci belirler [20,21,24,27].

Sudan buza dönüşüm hacimda %9'luk bir artış yaratır. Gözeneklerin tamamen suyla dolmuş olması durumunda bu hacim artışı betonun parçalanmasına neden olur.

Gözenek yüzeyindeki fazla enerji, gözenek suyunun potansiyel enerjisini azaltır ve donma noktasının düşmesine neden olur. Çimento hamurundaki gözenek yarıçaplarının çeşitliliğinden dolayı,-30°C'de (-22°F) gözenek suyunun yaklaşık 1/3'ü ve -60°C'de (-76°F) ise,yaklaşık 2/3'ü donar.Gözenek suyu buza dönüştüğü zaman bile,gözenek yüzeylerini örten ince bir su tabakası vardır.

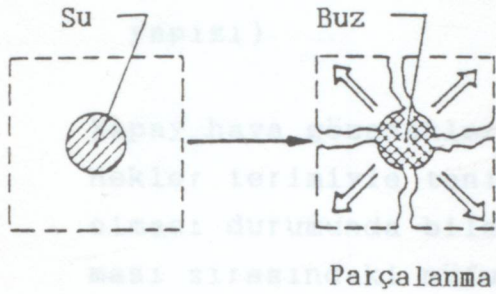
Çevre koşullarının(örneğin hava) ve betonun(tamamen suya doymamış beton)doyma derecesinin izin verdiği ölçüde, gözenekli sistemlerde sudan buza geçiş,oldukça fazla miktarda suyun buharlaşmasına neden olur.

Yüzey enerjisinin bir başka sonucu da,soğuma sırasında daha küçük gözeneklerde bir hidrolik altbasınç(underpressure)oluşmasıdır.Bu da,henüz donmamış suyun, betondaki küçük gözeneklerden büyük gözeneklere nüfuz etmesine yolaçar.

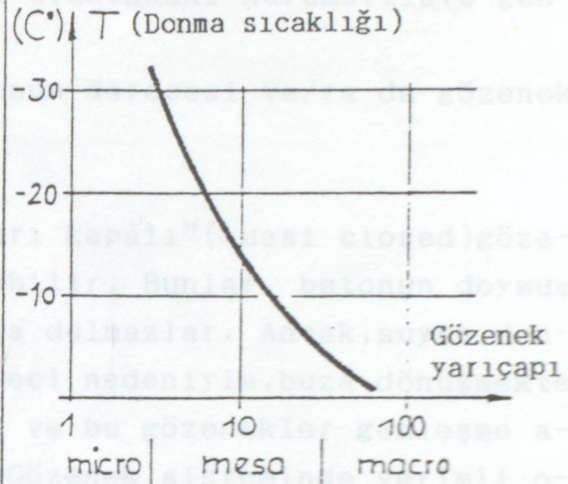
(1) Kritik doyma ve hava girişinin etkisi

Donma sırasında suyun hacminin artmasına ve soğuma sırasındaki nüfuzuna bağlı olarak yeterli sayıda suyla dolmamış gözenek bulunur.Bunlar,suyun genleşmesine imkân verir ve don nedeniyle oluşacak hasarı önlerler.Bu tip hasara neden olan su içeriğinin limit değeri, "kritik doyma"noktası ile tanımlanır.Bağlı olduğu başlıca

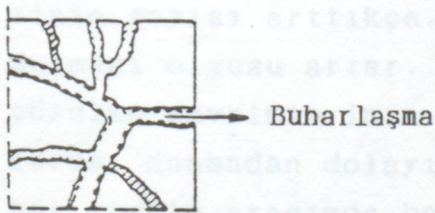
① Donmadan sonra hacim artışı +9%



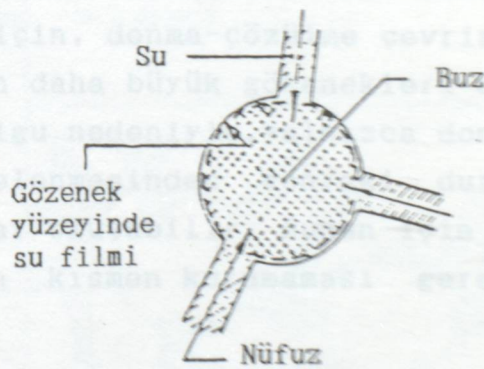
② Donma noktasının düşmesi



③ Soğuma sırasında buharlaşma



④ Soğuma sırasında nüfuz



Şekil 8.15 Suyun donması-Temel olgu

parametreler şöyledir(Şekil 8.16) [21]. :

- ~ Gözenek büyüklüklerinin dağılımı (yapay hava gözenekleri de dahil)
- ~ Çevre koşulları (suyun buharlaşabilmesi)
- ~ Soğuma hızı ile donma-çözülme çevriminin frekansı(suyun yeniden dağılımı)
- ~ Donma-çözülme çevrimleri arasındaki kuruma(ilâve genleşme alanı sağlanması)
- ~ Betonun yaşı (hidratasyonun derecesi ve/ya da gözenek yapısı)

Yapay hava gözenekleri,"yarı kapalı"(quasi closed)gözenekler terimiyle tanımlanabilir. Bunlar, betonun doymuş olması durumunda bile suyla dolmazlar. Ancak,suyun donması sırasındaki nüfuz süreci nedeniyle,buza dönüşmekte olan su bunlara erişebilir ve bu gözenekler genleşme alanı olarak kullanılırlar.Gözenek sisteminde verimli olabilmeleri için, aralarındaki uzaklık ,a, belirli bir maksimum değeri geçmemelidir.

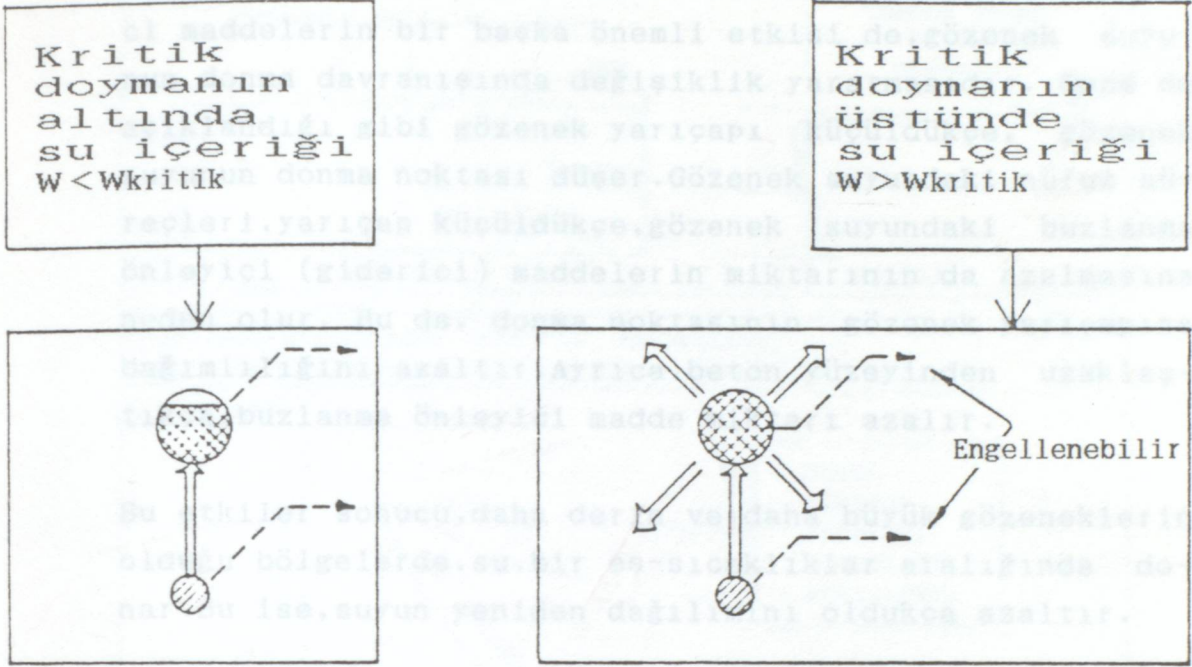
" $a_{krit.}$ " olarak tanımlanan kritik uzaklık,donma olayının etkisi arttıkça azalır.

Suyun donması sırasındaki nüfuz süreçleri bir noktaya kadar "dönüşümsüz" olduğu için, donma-çözülme çevrimlerinin sayısı arttıkça,suyun daha büyük gözenekleri doldurması olgusu artar. Bu olgu nedeniyle,yalnızca donma-çözülme çevrimlerinin yinelenmesinden sonraki durumlarda, donmadan dolayı hasar oluşabilir. Bunun için de, her çevrim arasında betonun kısmen kurumaması gerekir [20,21,24].

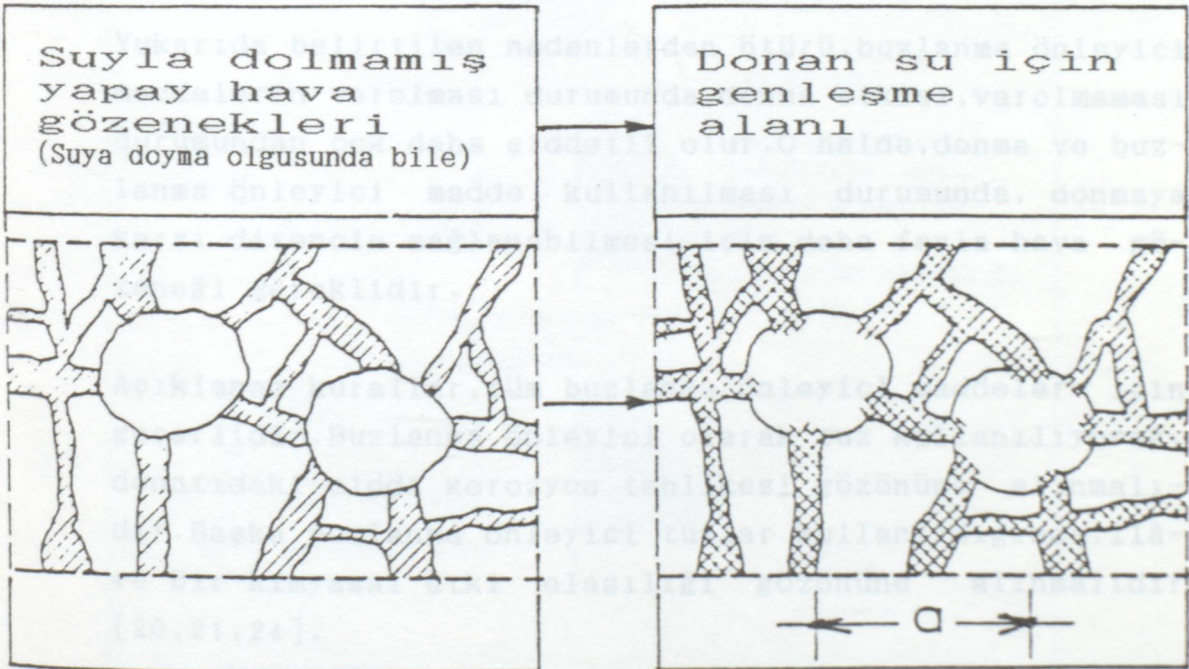
(11) Buzlanma önleyici maddelerin etkisi

Buzla kaplı beton yüzeyine buzlanma önleyici maddeler uygulanması,buzun çözülmesi sırasında betonun yüzeyinde farkedilir bir ısı düşmesine (ısı şoku) neden olur. Betonun yüzeyi ile iç kesimleri arasındaki sıcaklık farklılıkları,betonun dış kesimlerinde çatlamaya neden ola-

KRİTİK DOYMA



HAVA GİRİŞİNİN ETKİSİ



Şekil 8.16 Kritik doyma ve hava girişinin etkisi

bilecek iç gerilmeler doğurur.

Betonun dışından içeri doğru ilerleyen buzlanma önleyici maddelerin bir başka önemli etkisi de,gözenek suyunun donma davranışında değişiklik yaratmasıdır. Önce de açıklandığı gibi gözenek yarıçapı küçüldükçe, gözenek suyunun donma noktası düşer.Gözenek suyundaki nüfuz süreçleri,yarıçap küçüldükçe,gözenek suyundaki buzlanma önleyici (giderici) maddelerin miktarının da azalmasına neden olur. Bu da, donma noktasının gözenek yarıçapına bağımlılığını azaltır.Ayrıca,beton yüzeyinden uzaklaştıkça,buzlanma önleyici madde miktarı azalır.

Bu etkiler sonucu,daha derin ve daha büyük gözeneklerin olduğu bölgelerde,su,bir eş-sıcaklıklar aralığında donar.Bu ise,suyun yeniden dağılımını oldukça azaltır.

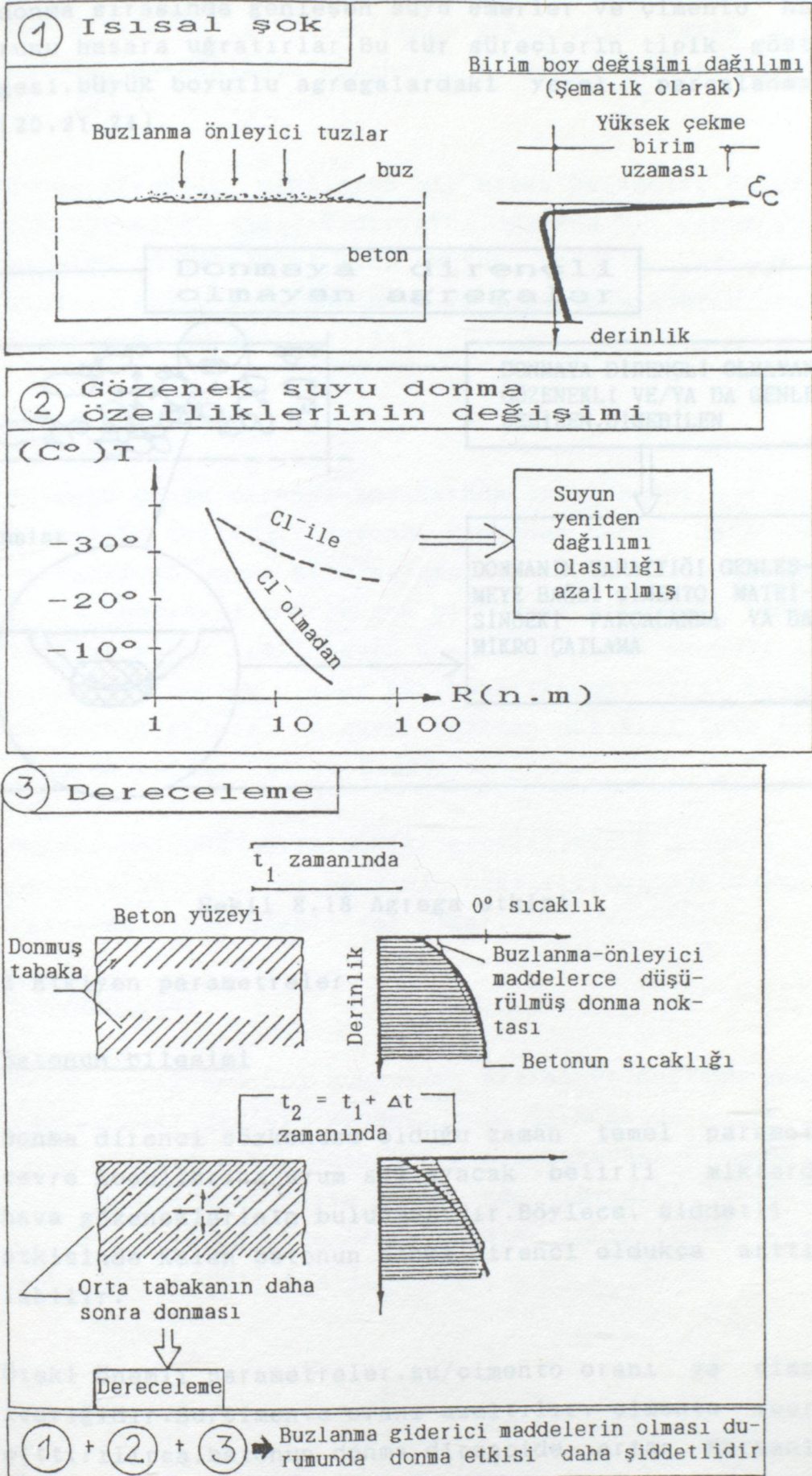
Sonuç olarak,betonun yüzeyinden uzaklaştıkça ısıdaki ve buzlanma önleyici madde miktarındaki değişmelerden dolayı,betonun farklı tabakaları farklı zamanlarda donar. Şekil 8.17'de gösterilen bu olgu dereceleme doğurur.

Yukarıda belirtilen nedenlerden ötürü,buzlanma önleyici maddelerin varolması durumunda,donma etkisi,varolmaması durumundan çok daha şiddetli olur.O halde,donma ve buzlanma önleyici madde kullanılması durumunda, donmaya karşı direncin sağlanabilmesi için daha fazla hava gözenegi gereklidir.

Açıklanan kurallar,tüm buzlanma önleyici maddeler için geçerlidir.Buzlanma önleyici olarak tuz kullanılıyorsa, donatıdaki ciddi korozyon tehlikesi gözönüne alınmalıdır.Başka buzlanma önleyici tuzlar kullanıldığında,ilâve bir kimyasal etki olasılığı gözönüne alınmalıdır [20,21,24].

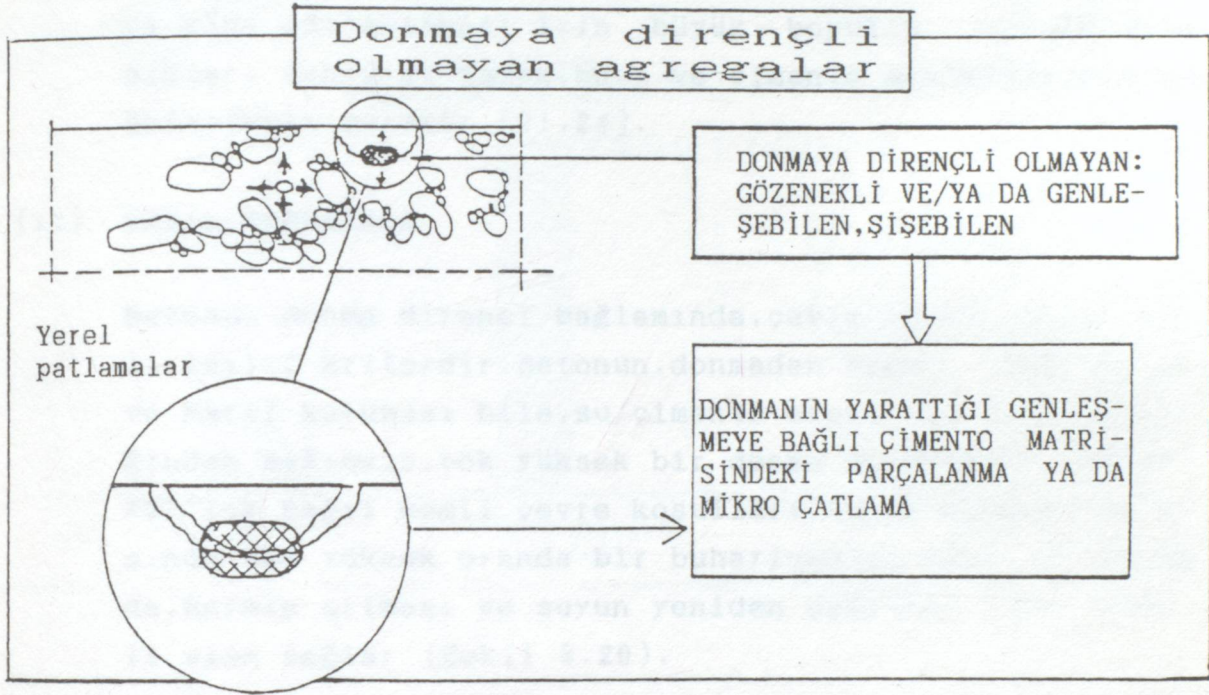
(111) Agregaların etkisi

Donmaya karşı dirençli olmayan agregalar, kural olarak,



Sekil 8.17 Klorürlerin etkisi

donma sırasında genleşen suyu emerler ve çimento hamurunu hasara uğrattırırlar. Bu tür süreçlerin tipik göstergesi, büyük boyutlu agregalardaki yerel parçalanmadır [20,21,24].



Şekil 8.18 Agrega etkisi

8.1.2.2 Etkiyen parametreler

(1) Betonun bileşimi

Donma direnci söz konusu olduğu zaman temel parametre, çevre koşullarına uyum sağlayacak belirli miktardaki hava gözeneklerinin bulunmasıdır. Böylece, şiddetli don etkisinde kalan betonun donma direnci oldukça arttırılabilir.

Öteki önemli parametreler, su/çimento oranı ve çimento içeriğidir. Su/çimento oranı azaltılır, çimento içeriği arttırılırsa, betonun donma direncide artar. Harmanlama yapılan maddelerin içeriğindeki artış, gözenek yapısını

değiştirir. Karıştırılan madde miktarının fazla olması betonun derecelenme direncini olumsuz yönde etkileyebilir (Şekil 8.19).

Donma direncini etkileyen bir başka parametre de, parçacık büyüklüğü dağılımıdır. Aynı düzeyde bir donma direnci elde edilebilmesi için büyük boyutlu agregaların miktarı azaldığı zaman, hava ve çimento miktarlarının çoğaltılması gerekir [21,24].

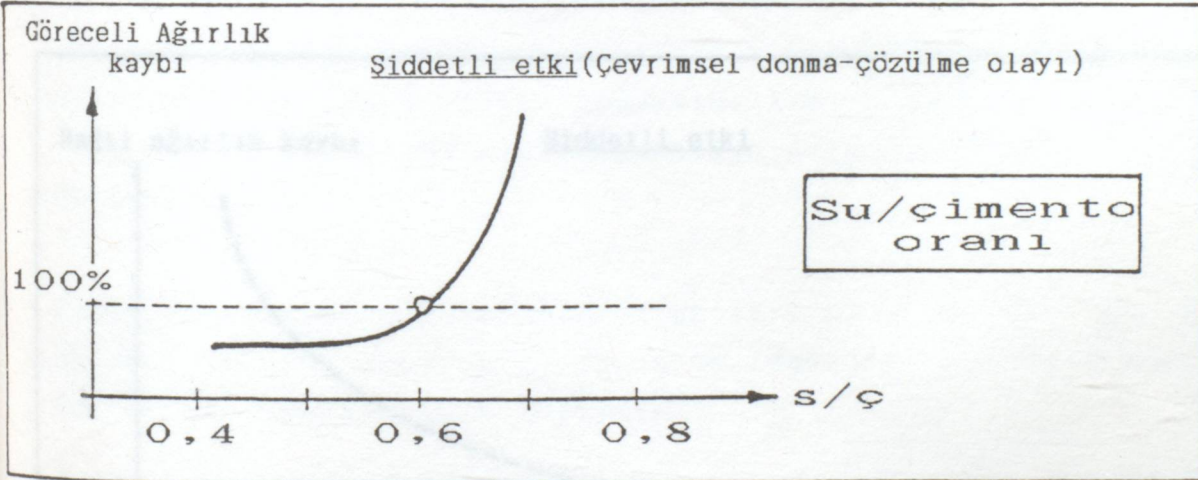
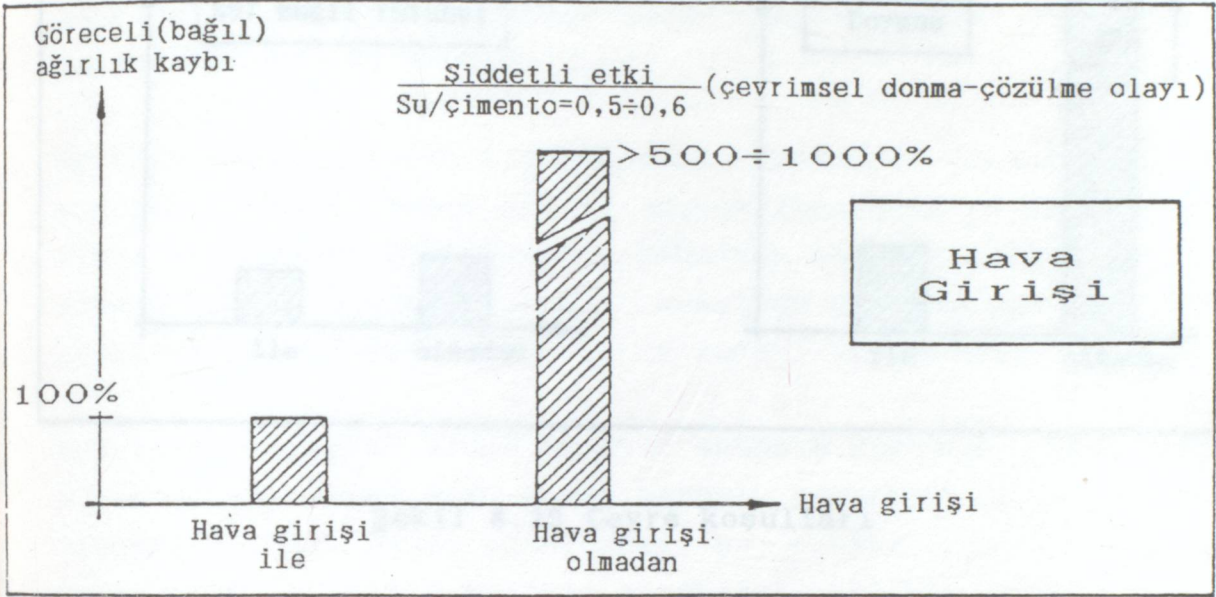
(11) Çevre koşulları

Betonun donma direnci bağlamında, çevre koşulları en belirleyici kriterdir. Betonun, donmadan hemen önce çok az ve hafif kuruması bile, su/çimento oranı ile hava içeriğinden bağımsız, çok yüksek bir donma direncini sağlar. %97'lik bağıl nemli çevre koşulları, suyun donması sırasında çok yüksek oranda bir buharlaşmayı olası kılar. Bu da, hacmin artması ve suyun yeniden dağılımı için yeterli alan sağlar (Şekil 8.20).

Önceki bölümde betimlendiği gibi, yalnızca doymuşa yakın betonlarda, beton bileşiminin etkileri, betonun donma direnci üzerinde önemli rol oynar.

(111) Betonun yaşı

Betonun yaşlandıkça mukavemet artışı ve değişen gözenek yapısındaki değişim sonucu, donma direnci de artar. Çevredeki nemin donma hasarına yol açmayacağı durumda bile betonun çok genç yaşta yüksek nem içerdiği ve dolayısıyla sınırlı bir genleşme alanına sahip olduğu unutulmamalıdır (Şekil 8.21).

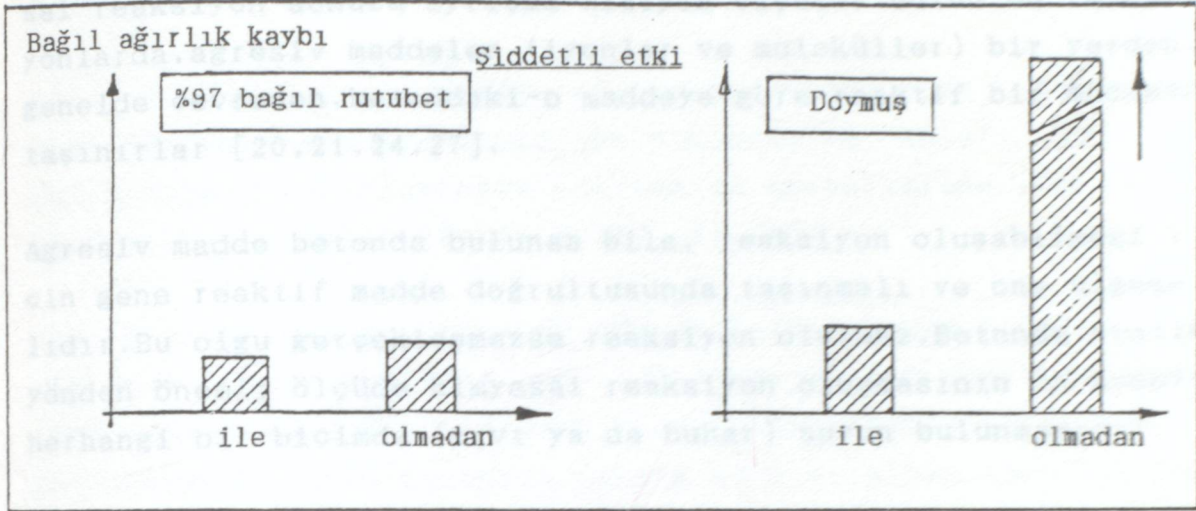


Şekil 8.19 Betonun bileşimi

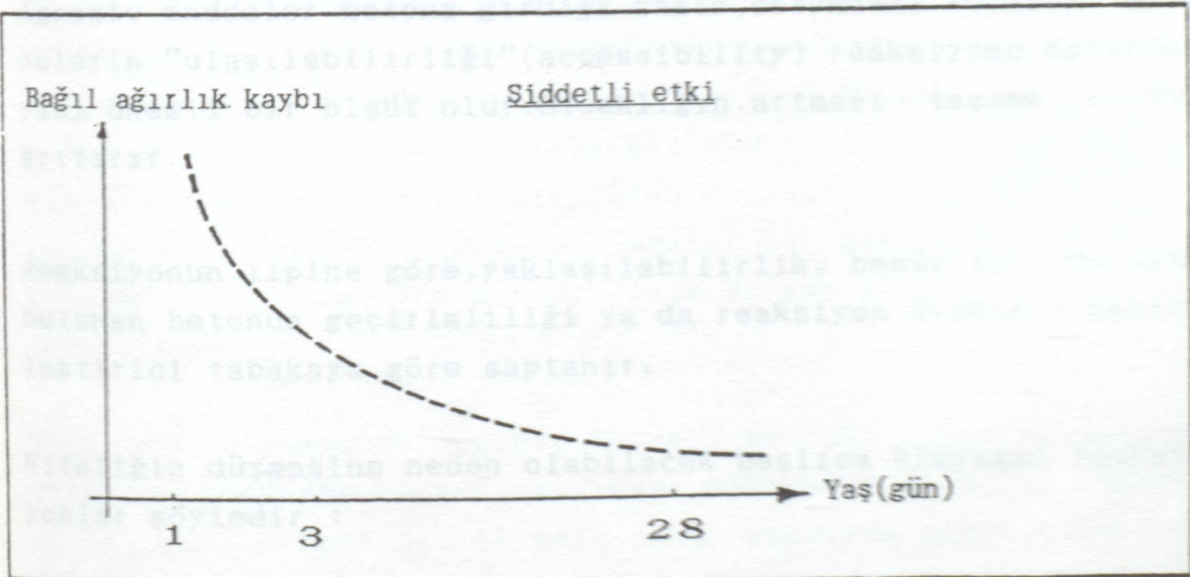
8.2 Kimyasal Süreçler

8.2.1 Kimyasal olayların beton üzerindeki olumsuz etkileri

Bir beton yapının dayanıklılığı, çoğu zaman, betonun bir kimyasal



Şekil 8.20 Çevre koşulları



Şekil 8.21 Betonun yaşı

8.2 Kimyasal Süreçler

8.2.1 Kimyasal olayların beton üzerindeki olumsuz etkileri

Bir beton yapının dayanıklılığı, çoğu zaman, betonun bir kimyasal reaksiyon sonucu ayrışma hızıyla ölçülür. Bütün bu reaksiyonlarda, agresiv maddeler (iyonlar ve moleküller) bir yerden, genelde çevreden, betondaki o maddeye göre-reaktif bir maddeye taşınırlar [20,21,24,27].

Agresiv madde betonda bulunsa bile, reaksiyon oluşabilmesi için gene reaktif madde doğrultusunda taşınmalı ve ona ulaşmalıdır. Bu olgu gerçekleşmezse reaksiyon oluşmaz. Betonda pratik yönden önemli ölçüde kimyasal reaksiyon oluşmasının ön koşulu herhangi bir biçimde (sıvı ya da buhar) suyun bulunmasıdır.

Genellikle, agresiv madde reaktif maddeye ulaştığı zaman reaksiyon oluşur. Fakat, çoğu zaman, agresiv maddenin beton içindeki taşınma hızları yavaş olduğundan, bu reaksiyonların olumsuz, hasar oluşturuvcu etkilerinin gözükmesi yıllar sonra ortaya çıkabilir.

Agresiv maddeler betona girdiği zaman, betondaki reaktif maddelerin "ulaşılabilirliği" (accessibility) reaksiyonu belirleyici önemli bir ölçüt olur. Sıcaklığın artması taşıma hızını arttırır.

Reaksiyonun tipine göre, yaklaşılabirlik, henüz iyi durumda bulunan betonun geçirimliliği ya da reaksiyon ürünleri pasifleştirici tabakaya göre saptanır.

Niteliğin düşmesine neden olabilecek başlıca kimyasal reaksiyonlar şöyledir :

- (1) Asitlerin, amonyum ve magnezyum tuzlarının ve yumuşak suyun sertleşmiş çimento ile reaksiyonu.
- (11) Sülfatların betondaki alüminatlarla reaksiyonu.
- (111) Alkalilerin betondaki reaktif agregalarla reaksiyonu.

Kalsiyum bileşimleri arasındaki kimyasal reaksiyon, özellikle,

Ca(OH)_2 ile CO_2 reaksiyonu, betondaki donatının korozyon riskini arttırır. Bu kimyasal reaksiyon, betonun karbonatlaşmasına ve dolayısıyla alkalilikte düşüşe neden olur.

8.2.2 Asit etkisi

Agresiv madde olarak asitlerin, reaktif madde olan betona etkisi, tüm kalsiyum bileşimlerine etkimesi ve onları kalsiyum sülfata, kalsiyum alüminyum sülfata ve benzerlerine dönüştürmesi anlamına gelir (Şekil 8.22) [21,27].

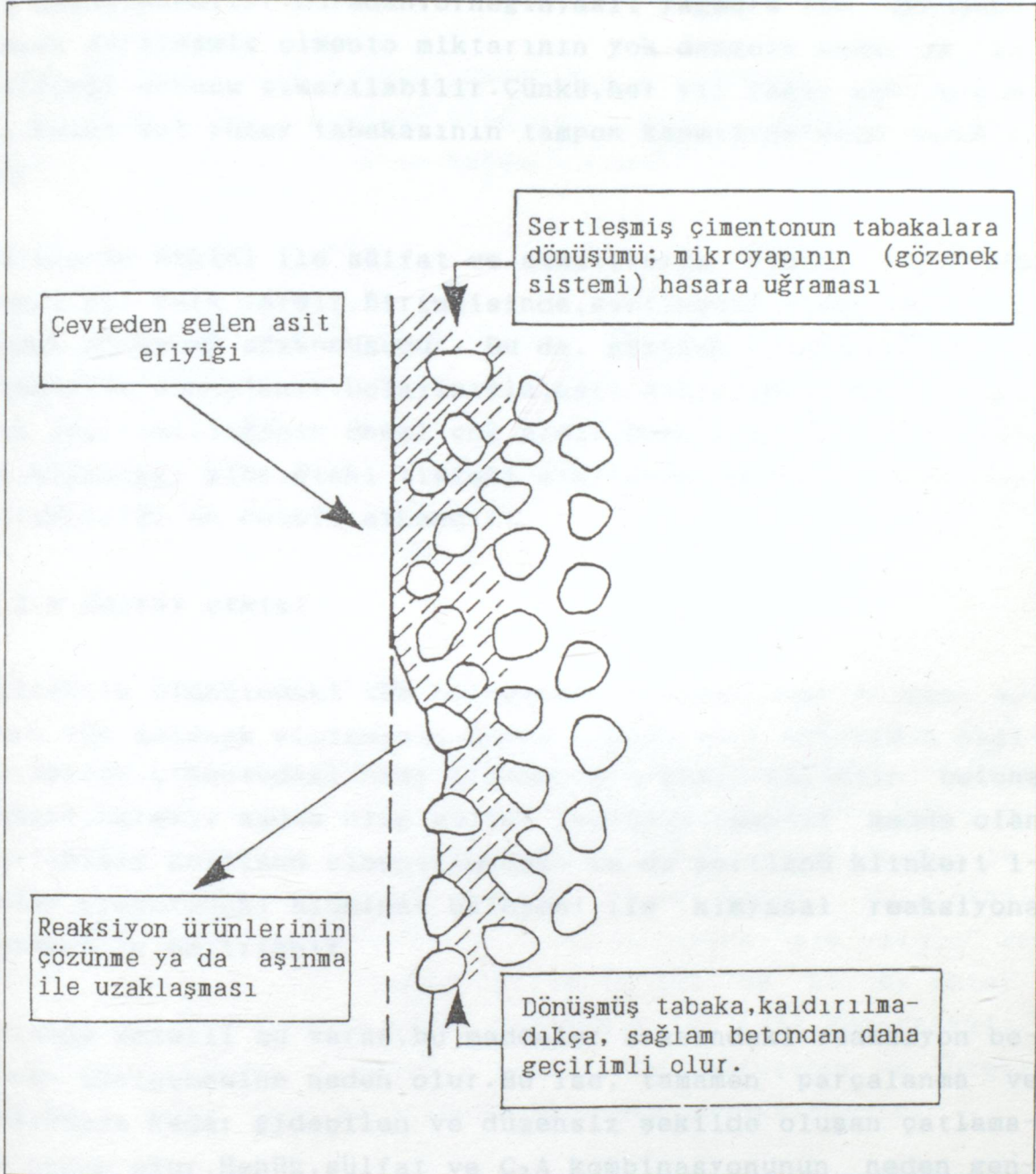
Hidroklorik asit, çözünürlüğü yüksek kalsiyum klorürün; sülfürik asit, kalsiyum sülfat (alçı taşı)'ın; nitrik asit, çözünürlüğü yüksek kalsiyum nitratın oluşmasına neden olur. Organik asitlerde de sonuç aynıdır: Laktik asit, kalsiyum laktatların; asetik asit, kalsiyum asetatın oluşmasına neden olur. Dönüşümün (conversion) sonucu olarak, sertleşmiş çimentonun aderans kapasitesi hasar görür.

Çeşitli asitlerin betondaki reaksiyon hızı etkiyen asidin agresivliğinden çok, oluşan kalsiyum tuzunun çözünürlüğüne bağlıdır. Tuzun çözünürlüğü azaldıkça (başka etkilerle uzaklaştırılmadığı taktirde), çöken tuzun "pasifleştirici etkisi" artar. Kalsiyum tuzu çözünürse, reaksiyon hızının önemli bir kısmı, kalsiyum tuzunun erime hızıyla belirlenir. Bu, tahrip edici kimyasal reaksiyonları yönlendiren önemli ve genelde geçerli duruma bir örnektir: Agresiv kimyasal bir etki sonucu olan bozulma hızı, akım olan bir eriyikte durgun bir eriyiğe göre daha yüksektir.

Magnezyum ve amonyum tuzları, benzeri asitler gibi, reaksiyona girerler: Amonyum klorür, serbest hidroklorik asit; Amonyum nitrat ise serbest nitrik asit gibi reaksiyon gösterirler. Bu iki tuzun ve serbest asitlerin reaksiyonları arasındaki tek fark ilk durumda magnezyum ve amonyum hidroksidin açığa çıkmasıdır.

Şekil 8.22 Asit etkisi

Yumuşak su da asitler gibi, kalsiyum bileşimlerini eritir. Dolayısıyla, sertleşmiş çimento hasar görür. Herşeyden önce (dönü-



Şekil 8.22 Asit etkisi

şüm hızı gözönüne alınmadan)muhtemel asit etkileri ve/ya da magnezyum tuzlarının, amonyum tuzlarının ve yumuşak suyun etkileri irdelenmeli ve betonla temas eden madde miktarı belirlenmelidir. Böylece, asidin tümünün kalsiyum tuzuna dönüştüğü varsayılarak, zaman içindeki maksimum "yüzey" kaybının ne olacağı hesaplanabilir. Buradan, örneğin, asit yağmuru ile dönüşebilecek sertleşmiş çimento miktarının yok denecek kadar az olabileceği sonucu çıkarılabilir. Çünkü, her yıl yağan asit miktarı, beton üst yüzey tabakasının tampon kapasitesinden düşük olur.

Asitlerin etkisi ile sülfat ve alkalilerin etkisi arasında temel bir fark vardır. Birincisinde, sertleşmiş çimentonun tamamen dönüşümü söz konusudur. Bu da, gözenek sisteminin harap olmasıyla sonuçlanır. Dolayısıyla, asit etkisinde, sağlam betonun geçirimsizliğinin önemi çok azdır. Daha sonraki bölümlerde açıklanacağı gibi, öteki tipteki etkilerde, sağlam betonun geçirimsizliği en önemli etkindir.

8.2.3 Sülfat etkisi

Asitlerin çimentodaki tüm bileşenlerle reaksiyona girmesi sonucu tüm gözenek sisteminin harap olduğu asit etkisinin aksine, sülfat, çimentodaki bazı bileşenlere etkir. Sülfatın betona etkisi, agresiv madde olan sülfat iyonunun, reaktif madde olan sertleşmiş portland çimentosundaki ya da portland klinkeri içeren çimentodaki alüminat bileşeni ile kimyasal reaksiyona girmesiyle belirlenir.

Ortamda yeterli su varsa, bu maddeler arasındaki reaksiyon betonun genleşmesine neden olur. Bu ise, tamamen parçalanma ve dağılmaya kadar gidebilen ve düzensiz şekilde oluşan çatlama ya neden olur. Henüz, sülfat ve C_3A kombinasyonunun neden genleşme oluşturduğuna ilişkin bir açıklama yapılamamıştır.

Pratikte, genleşme oluşumunu etkileyen önemli parametreler şunlardır :

- (1) Betonun içinde bulunduğu ortam; başka bir deyişle, etkisinin şiddeti (agresiv maddenin miktarı),

- (11) Ulaşılabilirlik; başka bir deyişle betonun geçirimsizliği (taşıma hızı).
- (111) Betonun duyarlılığı; başka bir deyişle, çimentonun cinsi (reaktif madde miktarı).
- (1v) Varolan su miktarı.

Beton, sülfat etkisine karşı dayanıklı bir çimento tipi kullanılmasıyla ya da geçirimsizliğinin yeterli düzeyde olması sağlanarak sülfat etkisine karşı korunabilir (Şekil 8.23).

İçinde bulunulan ortam

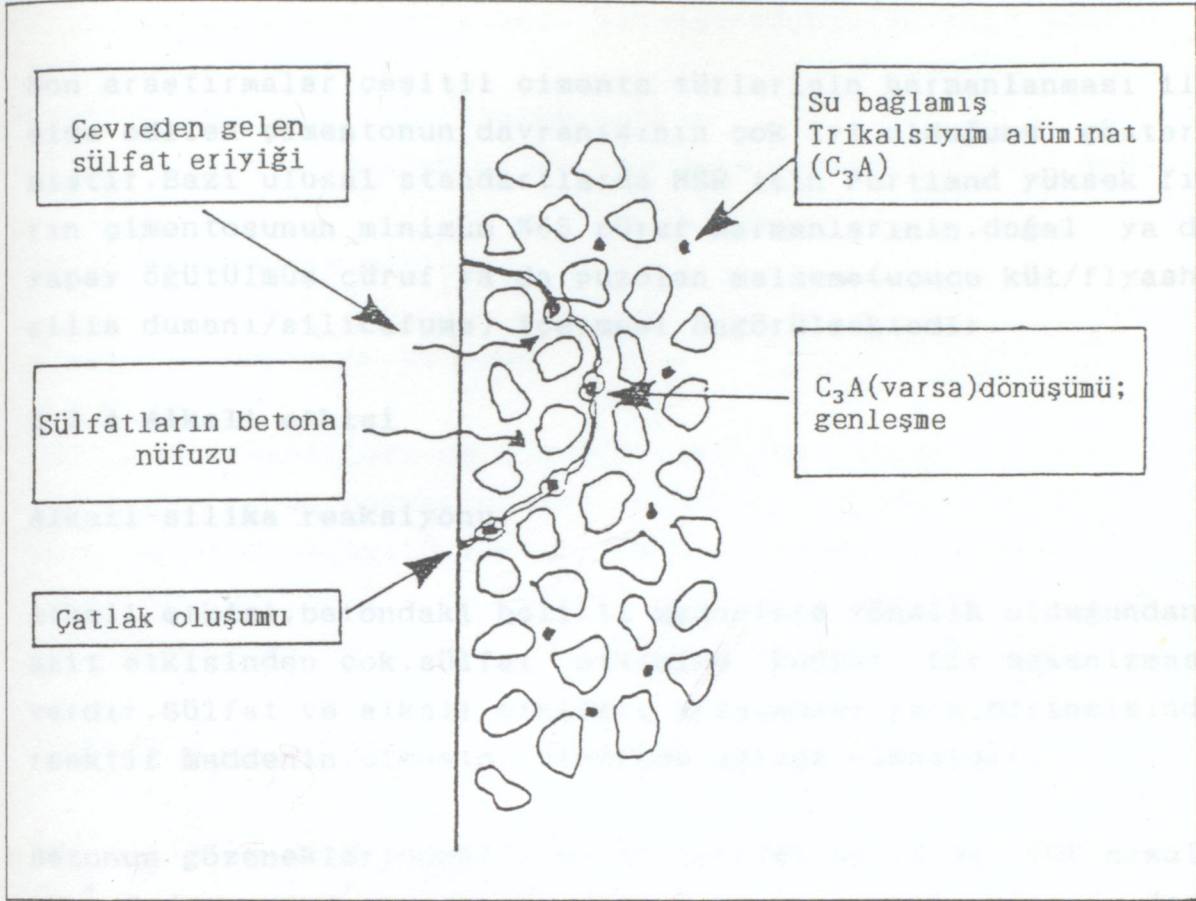
Ortam, sülfat dışındaki bileşenlerin varlığı ile dengelenebilir. Kloro-alüminatın (Fridell tuzu) öncelikli oluşumunun klorür iyonları üzerindeki ılımlaştırıcı etkisi bu duruma bir örnektir. Böylece, hasar oluşturunca genleşme oluşmaz. Yüksek sülfat içeriği nedeniyle çok agresiv olarak sınıflandırılması gereken deniz suyu, bu mekanizma dolayısıyla orta agresiv kabul edilebilir.

Betonun ulaşılabilirliği

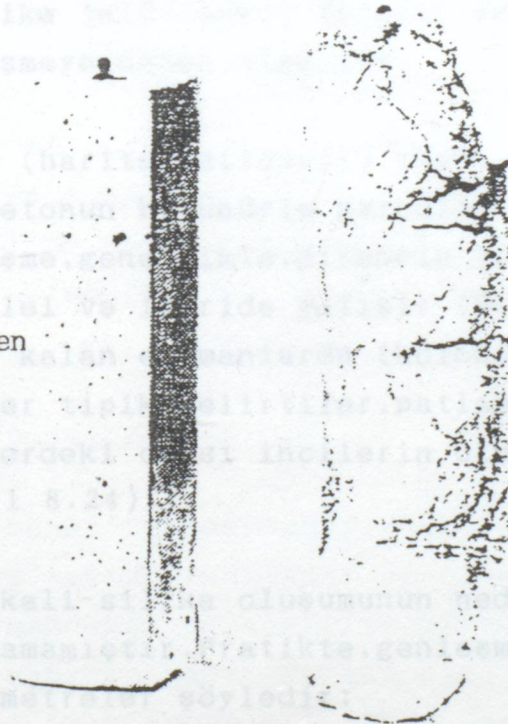
Bir betonun sülfata karşı dirençli olabilmesi için gerekli geçirimsizlik derecesi, belirli bir zaman aralığında nüfuz eden su derinliğinin sınır değerleriyle belirtilebilir. Pratikte, bu, genellikle, su/çimento oranını ya da beton kalitesini sınırlayan değerlere dönüştürülür. Bu, yalnızca, "sık dokulu" betonlar için geçerlidir; yerel ayrışmalardan ve koruma yetersizliğinden kaynaklanan yüzey kalitesizliği için geçersizdir. Agresivliği yüksek ortamlarla ilgili su nüfuzunun ve öteki etkilerin sınır değerleri henüz tartışma aşamasındadır.

Çimento tipi

Çeşitli çimento tipleri, sülfat etkisine gösterdikleri dirence göre sınıflandırılabilirler. C_3A için ASTM (American Society of Testing Materials) limitleri normal sülfat direnci (MSR) için maksimum %8, yüksek sülfat direnci (HSR) içinse maksimum %5'dir. Avrupa'da ise (yüksek) sülfat direnci için %3 limiti ka-



Sülfat etkisinden doğan çatlama



bul edilmiştir.

Son araştırmalar, çeşitli çimento türlerinin harmanlanması ile elde edilen çimentonun davranışının çok iyi olduğunu göstermiştir. Bazı ulusal standartlarda HSR için Portland yüksek fırın çimentosunun minimum %65 cüruf harmanlarının, doğal ya da yapay öğütülmüş cüruf ya da puzolan malzeme (uçucu kül/flyash, silis dumanı/silicafume) içermesi öngörülmektedir.

8.2.4 Alkali etkisi

Alkali-silika reaksiyonu

Alkali etkisi, betondaki belirli maddelere yönelik olduğundan, asit etkisinden çok, sülfat etkisine benzer bir mekanizması vardır. Sülfat ve alkali etkileri arasındaki fark, birincisinde reaktif maddenin çimento, ötekinde agrega olmasıdır.

Betonun gözeneklerindeki alkalın içeriği az ya da çok alkali (Na^+ =Sodyum ve K^+ =potasyum) içerir ve her zaman kirece doymuştur. Alkalın eriyiklerinin silika içeren agregalara etkisiyle, alkali-silika jeli oluşur. Yeterli su varsa, bu jel hasar oluşturuca genleşmeye neden olabilir.

Düzensiz şekilde (harita çatlaması) küçük yüzey çatlaklarıyla başlayan hasar, betonun bütünüyle parçalanması ve dağılmasıyla sonuçlanır. Genleşme, genellikle, direncin çok az olduğu doğrultuda yüzeye paralel ve içeride gelişir (Döşemeler) ve/ ya da basınç etkisinde kalan elemanlarda (kolonlar) basınç yörüngelerini izler. Diğer tipik belirtiler, patlamalar (pop-outs) ve değişen bileşimlerdeki camsı incilerin oluşması (terleme) şeklinde olur (Şekil 8.24).

Şimdiye kadar, alkali-silika oluşumunun neden genleşme yarattığı tam açıklanamamıştır. Pratikte, genleşme oluşumunu etkileyen başlıca parametreler şöyledir:

- (1) Amorf ya da kristalleşmiş silikanın bulunmasına bağlı olarak, agreganın reaktivitesi.

- (11) Reaktif maddenin miktarı ve tane büyüklüğü
- (111) Gözenek suyunun alkali konsantrasyonu (agresiv maddenin içsel miktarı).
- (1v) Çimentonun tipi (taşıma hızı).
- (v) İçinde bulunulan ortam (agresiv maddenin dışsal miktarı)
- (vi) Varolan su miktarı.

Alkali-karbonat reaksiyonu

Karbonat mineralleri de alkaline etkisine karşı duyarlıdır. Dolomitte ya da magnezyum içeren kireç taşında, reaksiyon sonucu $Mg(OH)_2$ oluşur. Dolomitsizleştirme (dedolomitization) denilen bu olgu harita ve benzeri çatlamalardan, betonun tamamen harabolmasına kadar giden bir etki oluşturabilir.

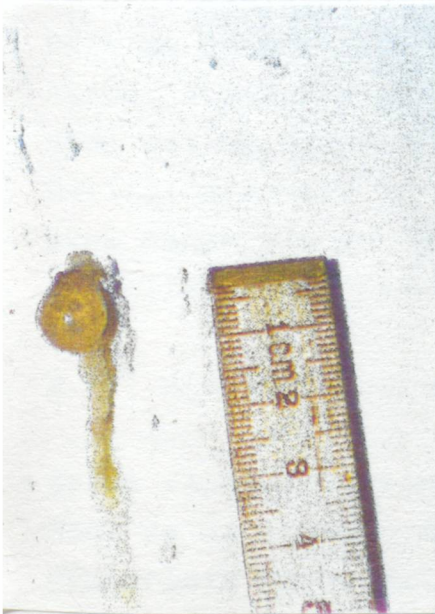
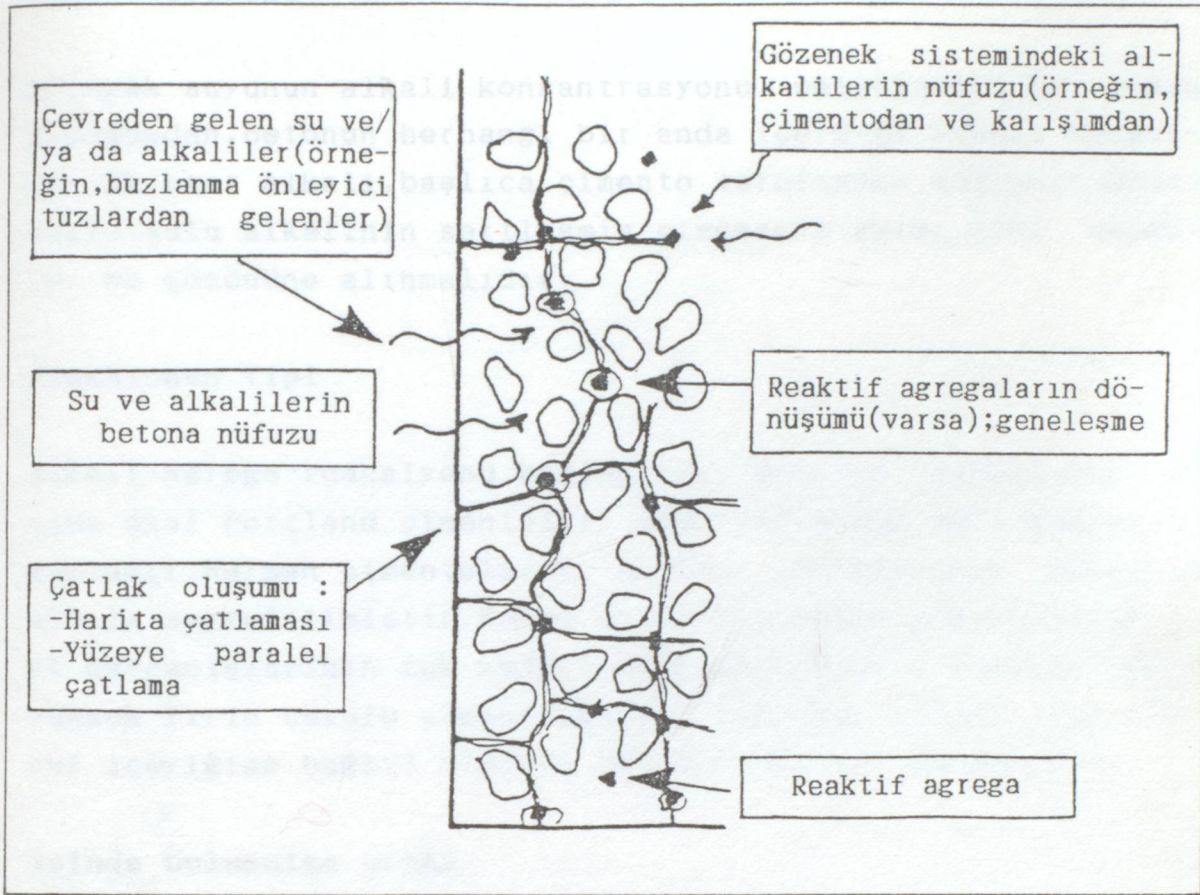
Agreganın duyarlılığı

(1) Alkali-silika reaksiyonu

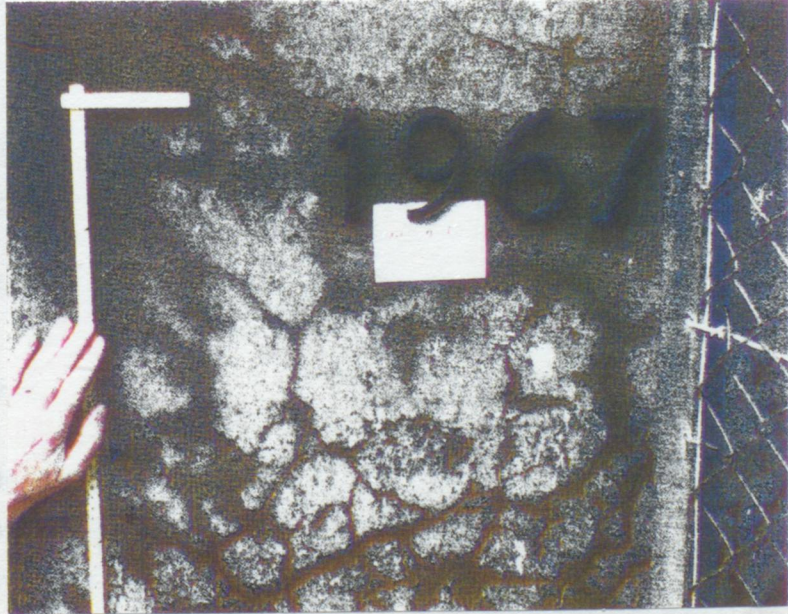
Reaktif silikanın varlığı temel sınırlayıcı etkidir. Reaktivitenin tahmin edilmesi ise zordur. Bütün olası koşullar altında, tüm agregalar için inandırıcı sonuçlar veren kapalı bir sistem henüz bulunamamıştır. Alkali reaksiyonunun hasar oluşturucu etkisi yalnızca reaktif agrega miktarıyla artmaz. Genleşme belirli bir oranda maksimum olur. Genellikle, bu miktarın yüzdesi çok küçük olur. Çimento tipi ve beton karışımı da bu yüzdeyi etkiler.

(11) Alkali-karbonat reaksiyonu

Alkali-karbonat reaksiyonuna, alkali-silika reaksiyonundan daha seyrek rastlanır. Bu olguda, potansiyel tehlike olan maddenin petrografik ayrımı kolayca yapılabilir. Genleşmenin hasar verici bir dereceye ulaşması yalnızca killi bileşenlerin bulunmasıyla mümkündür. Bu da alümin içeriğiyle ifade edilebilir.



Alkali-silika jelinin terlemesi (weeping)



Alkali-silika reaksiyonunun yolaçtığı çatlama

Şekil 8.24 Alkali-agrega reaksiyonu

Alkali içeriği

Gözenek suyunun alkali konsantrasyonu, belirleyici bir etken olduğundan, betonun herhangi bir anda içerdiiği alkali önemlidir. Serbest alkali, başlıca çimento tarafından sağlanır. Özellikle, sulu alkalinin sertleşmiş çimentoya akımı gibi nedenler de gözönüne alınmalıdır.

Çimentonun tipi

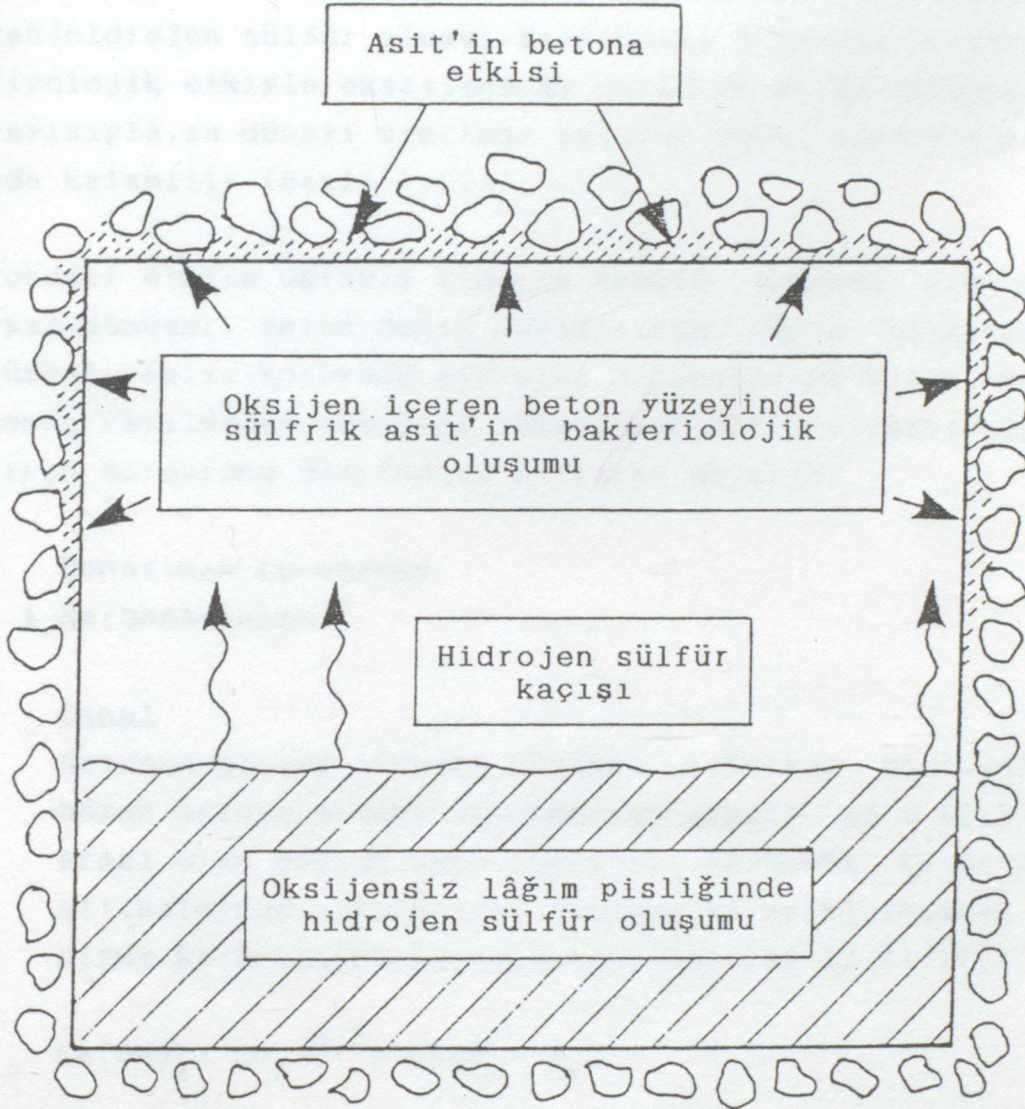
Alkali-agrega reaksiyonu bağlamında, sınırlı alkali içeriği olan özel Portland çimentoları uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Harman çimentolarda, klinker bileşeninin içerdiiği alkali seyreltilmiştir. Fakat bu, harmanlanmış çimentoların iyi davranışlarının tek nedeni değildir. Çeşitli standartlarda yüksek fırın cürufu çimentolarının içerdiiği alkali için (cüruf içeriğine bağlı) oldukça yüksek limitler konulmuştur.

İçinde bulunulan ortam

Yürürlükteki standartlarda gözönüne alınmamış olsa bile, için de bulunulan ortamın önemli bir rolü vardır. Ortam dolayısıyla aynı miktarda ve tipte reaktif agregaların, betonu hasara uğratma oranlarında büyük değişiklikler oluşabilir. Beton tasarımı sırasında agregalar, sabit ve yüksek nemli ortamda elde edilen deney sonuçlarına dayanılarak gerçekleştirilir. Belirli aralıklarla kuruma ve ıslanmanın, genleşmenin artmasına neden olduğu da bilinmektedir. Beton, suya dayanıklı hale getirilerek bir hasarın gelişimi hatta oluşumu önlenabilir.

8.3 Biyolojik süreçler

Beton yapılar üzerinde yosun, bitki ve ağaç köklerinin yetişmesi ya da oluşumu mekanik bozulmaya yolaçar. Bitki ve ağaç köklerinin küçük çatlaklardan ve betonun zayıf kesimlerinden nüfuz etmeleriyle betonda büyük çatlama ve hasar oluşur. Bitkilerin büyümesi sırasında beton yüzeyinde su tutulur. Yüksek nemle doymuş beton oluşur. Dolayısıyla donmaya bağlı hasar riskini arttırır [20,21]. Ayrıca, mikrobüyüme, çimento



Şekil 8.25 Kanalizasyon sistemlerinde oluşan biyolojik etki

hamurunu parçalayan humik asit oluşturur, kimyasal etkiye neden olur.

Pratikte, beton için en önemli biyolojik etki tipi, lağım sistemlerinde görülür. Oksijensiz ortamlarda, lağımdaki protein ya da sülfat nedeniyle (beton için tek başına çok zararlı olmayan) hidrojen sülfür oluşur. Eriyikteki hidrojen sülfür, bakteriyolojik etkiyle oksitlenerek sülfürik aside dönüşebilir. Dolayısıyla, su düzeyi üzerinde bulunan beton asit etkisi altında kalabilir (Şekil 8.25).

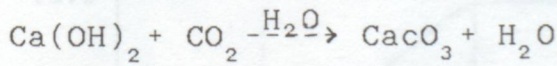
Betondaki etkiye uğramış çimento hamuru tamamen alçıtaşına (jips) dönüşür. Beton deniz yapılarında, deniz bitkilerinin büyümesi, yapıyı koruyucu bir etki yapabilir. Bitkiler, oksijen betonda yayılmadan, oksijeni tüketirler. Böylece, oksijenin, donatının korozyonu üzerindeki etkisini önlerler.

8.4 Donatının korozyonu

8.4.1 Karbonatlaşma

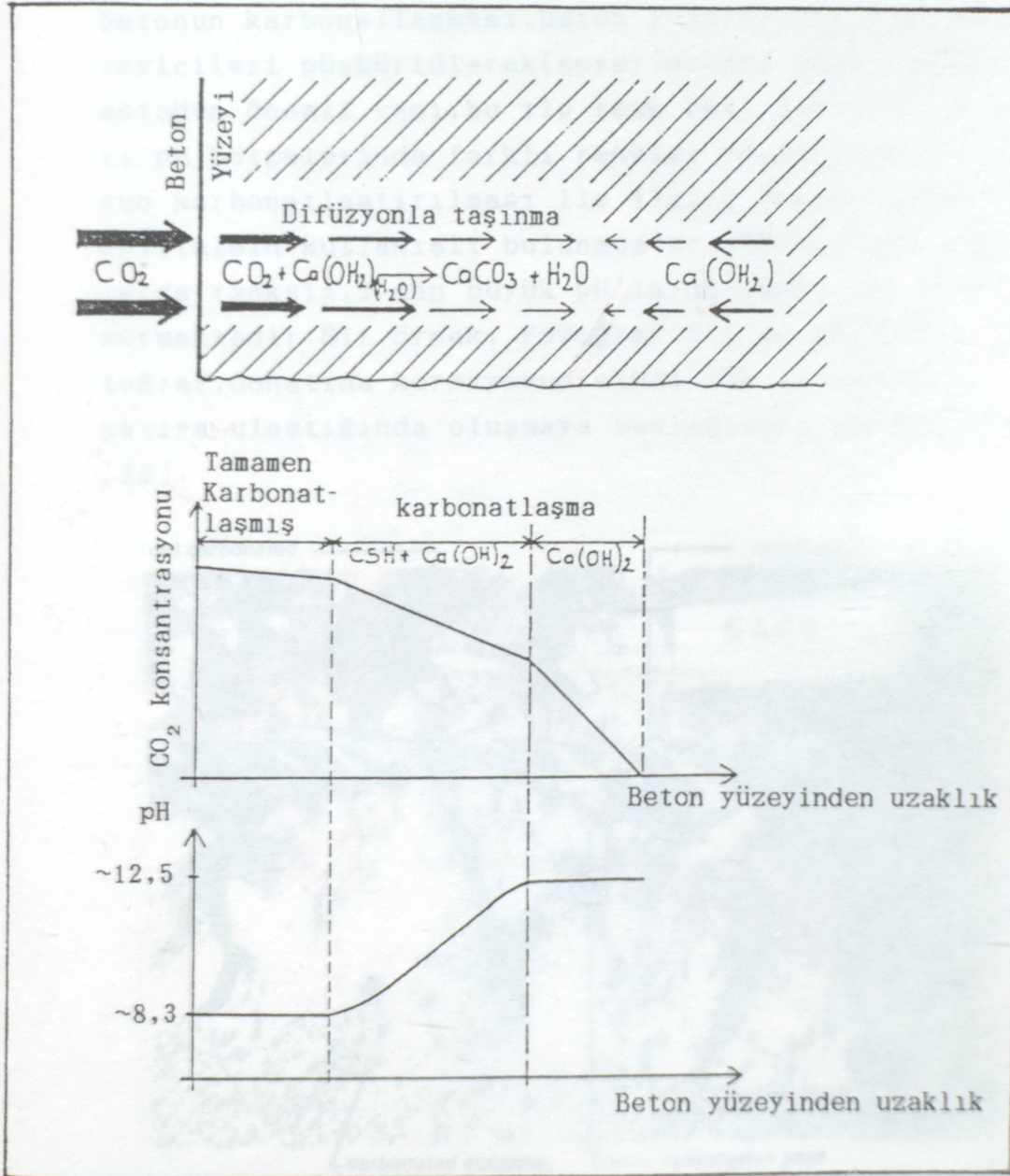
(1) Genel

Betonun boşluk suyunda çözünen kalsiyum hidroksit ve bazen agregalardaki çözünebilen alkali, pH'ı 12,5-13,5 arası olan boşluk suyu sağlarlar. Havadaki karbondioksit, kalsiyum hidroksitle (sönmüş kireç) birleşerek kalsiyum karbonat (kireçtaşı) oluşturur [20-22, 24, 27]:



Bu reaksiyonun oluşması için az miktarda su gerekir. Çünkü kuru beton karbonatlaşmaz. En yüksek karbonatlaşma hızı, nemlilik oranı %50-60 olan havada gerçekleşir. Daha yüksek nemlilik oranlarında, karbondioksit yayımı (difüzyonu), boşluklarda biriken su tarafından engellenir. Boşluklardaki kalsiyum hidroksit tekrar eridikten ve karbonatlaştıktan sonra, pH düşmeye başlar. Aynı zamanda kalsiyum silikatların (CaO, SiO_2) bir bölümü de eriyiğe geçer ve havadaki karbondioksit ile reaksiyona girer. Sertleşen çimento tamamen karbonatlaştığı zaman,

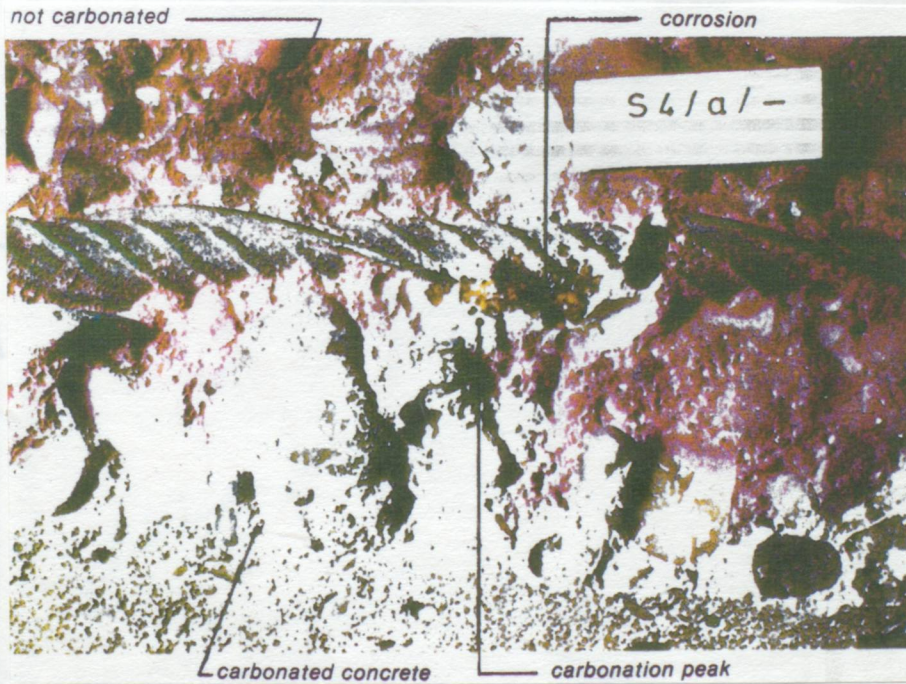
karbondioksidin normal kısmi basıncı altında yaklaşık 8.3'lük bir pH oluşur. Kısaca, kimyasal reaksiyon, belirli bir anda, belirli bir derinlikte değil, bir bölgede oluşur. Karbonatlaşma olayı, Şekil 8.26'da şematik olarak gösterilmiştir [20].



Şekil 8.26 Betonun karbonatlaşmasına ilişkin basitleştirilmiş model

Alkalilik içyüzeyi, beton yüzeyine tam paralel gitmez; betonun, homojen olmayan özelliklerine bağlı olarak az ya da çok değişir. İlk bakışta karbonatlaşma, genelde, beton özelliklerine zararlı görülmemelidir. Zararlı olan yalnızca donatının korozyondan korunmasına olan etkisidir. Çünkü, pH'daki azalma çelik yüzeyinin pasifliğini ortadan kaldırır.

Betonun karbonatlaşması, beton yüzeylerine renk belirleyicileri püskürtülerek (sprey) ortaya çıkarılabilir. Bu metodun önemli yanı, bu tip renk belirleyicilerin farklı pH bölgelerinde farklı renkler vermesindedir. Betonun karbonatlaştırılması ile ilgili araştırmalarda, fenolftalein kullanışlı bulunmuştur. Çünkü, 9'dan düşük pH larda renksiz, 9'dan büyük pH'larda canlı kırmızı renk vermektedir. Bir örnek, Fotoğraf 8.1'de görülebilir. Fotoğraf, donatıda korozyonun alkalilik iç yüzeyinin donatıya ulaştığında oluşmaya başladığını göstermektedir [22].



Fotoğraf 8.1 Karbonatlaşma ucu [22]

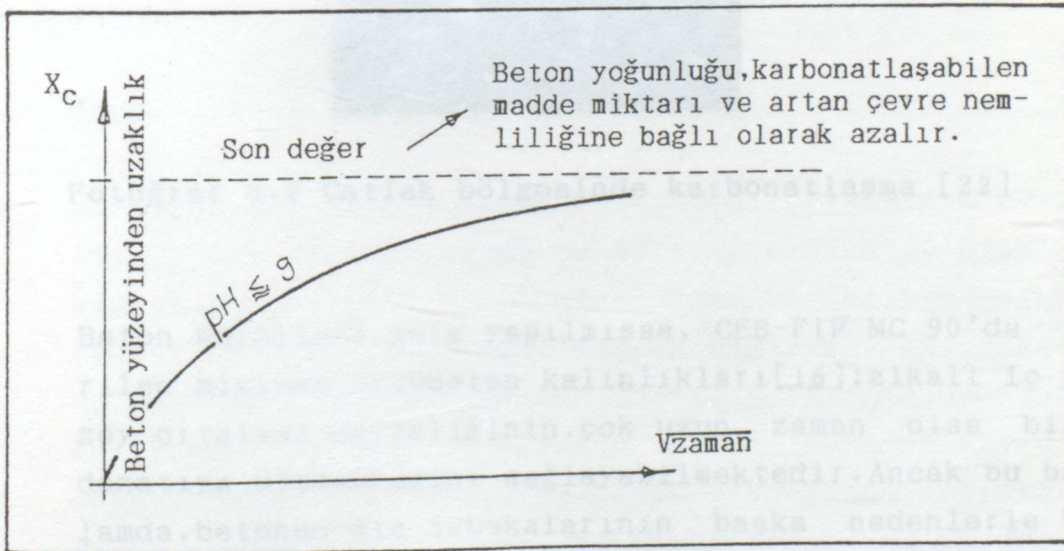
Sekil 8.27 Alkalilik iç yüzeyinin
betonun içlerine ulaşması

(11) Karbonatlaşma hızı

Betonun karbonatlaşma hızı ve/ya da alkalilik iç yüzeyinin hızı korozyon korunmasında büyük öneme sahiptir. Karbonatlaşmanın beton içindeki yayılışı, aşağıdaki etkenlere bağlıdır:

- ~ Karbondioksitin kısmi basıncına (havanın normal karbondioksit içeriği %0,03)
- ~ Beton geçirimsizliğine (Su/çimento oranı, çimento içeriği, tane büyüklüğü, dağılım eğrisi, betonun bakımı "kür", betonun nemi)
- ~ Karbonatlaşabilecek madde miktarına (çimento içeriği, kullanılan çimento tipi)

Karbonatlaşma difüzyon olayı olduğundan, alkalilik iç yüzeyi betonun içine, beton yaşının kareköküyle yaklaşık doğru orantılı olarak girer. Ancak, daha duyarlı hesaplar, alkalilik iç yüzeyinin betonun içerisinde; betonun sertleşmesinden, betonun içindeki kalsiyum hidroksit difüzyonundan ve bazı başka nedenlerden dolayı, karekök zaman fonksiyonunun gösterdiğine göre, gittikçe yavaşlayan bir hızla girdiğini ve uzun zaman sonra son bir değere ulaştığını göstermektedir (Şekil 8.27]. Bu eğri deneysel verilerle doğrulanmıştır.

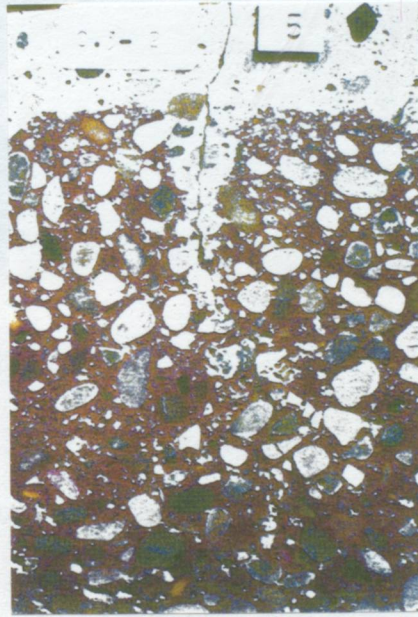


Şekil 8.27 Alkalilik iç yüzeyinin ($pH \leq 9$) betonun içlerine ulaşımı

Hava kirliliğindeki artış, betonun dış tabakalarının niteliğini olumsuz yönde etkiler.Örnekse,betona nüfuz eden Kükürtdioksit,karbonatlaşmanın betonun iç tabakalarına daha kısa zamanda ulaşmasına neden olur.

(111) Konuyla ilgili bilgi düzeyi ve belirlemeler

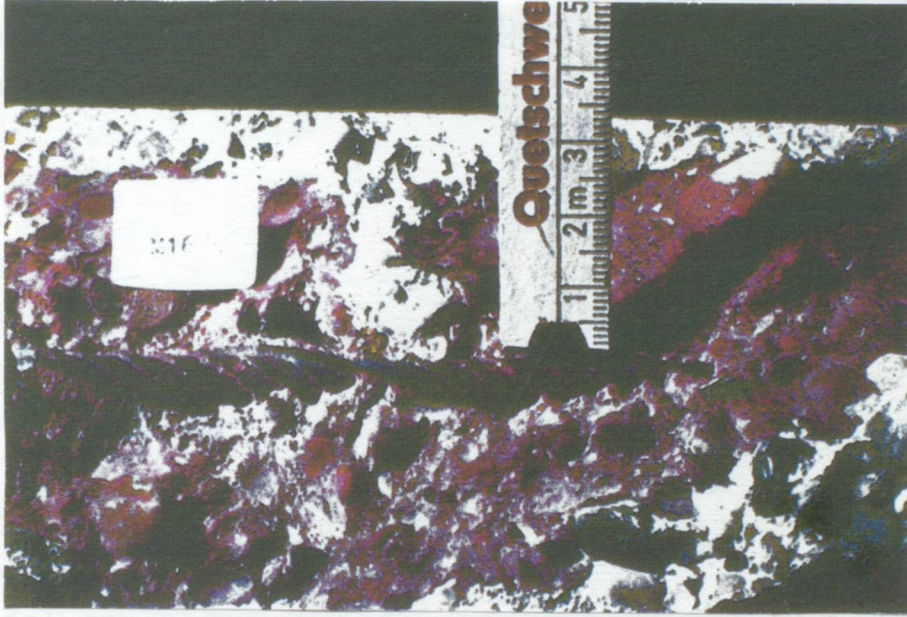
Havadaki karbondioksidin betonun karbonatlaşmasına neden olduğu ve karbonatlaşma hızını etkilediği belirlenmiştir.Betonda, çatlakların olduğu bölgelerdeki karbonatlaşmanın,çatlamamış bölgelere oranla daha fazla olduğu görülmektedir (Fotoğraf 8.2).



Fotoğraf 8.2 Çatlak bölgesinde karbonatlaşma [22]

Beton kurallara göre yapılmışsa, CEB-FIP MC 90'da verilen minimum örtübeton kalınlıkları[16];alkali iç yüzey ortalama derinliğinin,çok uzun zaman olsa bile, donatıya ulaşmamasını sağlayabilmektedir.Ancak bu bağlamda,betonun dış tabakalarının başka nedenlerle bozulmuş olmaması gerekir.Betondaki homojen olmayan bölgelerde(büyük boşluklar,çatlaklar vb. Bkz.Fotoğraf 8.1 ve 8.3) ve düşük pH'lı yerlerde (karbonatlaşmanın tepe

noktalarında)alkalilik iç yüzeyi,ortalama derinlikten daha fazla olur. Bu gibi bölgelerdeki korozyon riski, çatlak bölgelerindeki gibi olur.



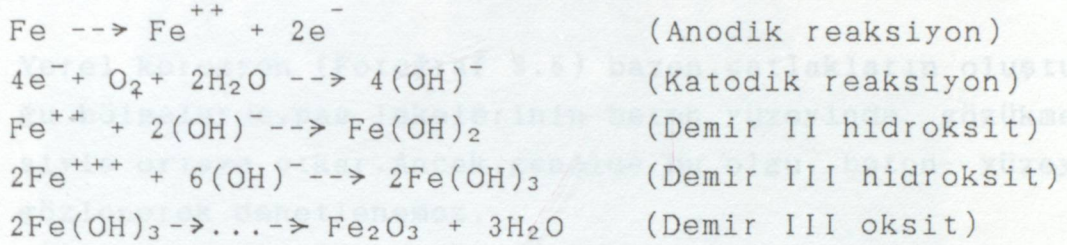
Fotoğraf 8.3 Karbonatlaşma ucu(tepesi)[22]

8.4.2 Elektro-kimyasal korozyon

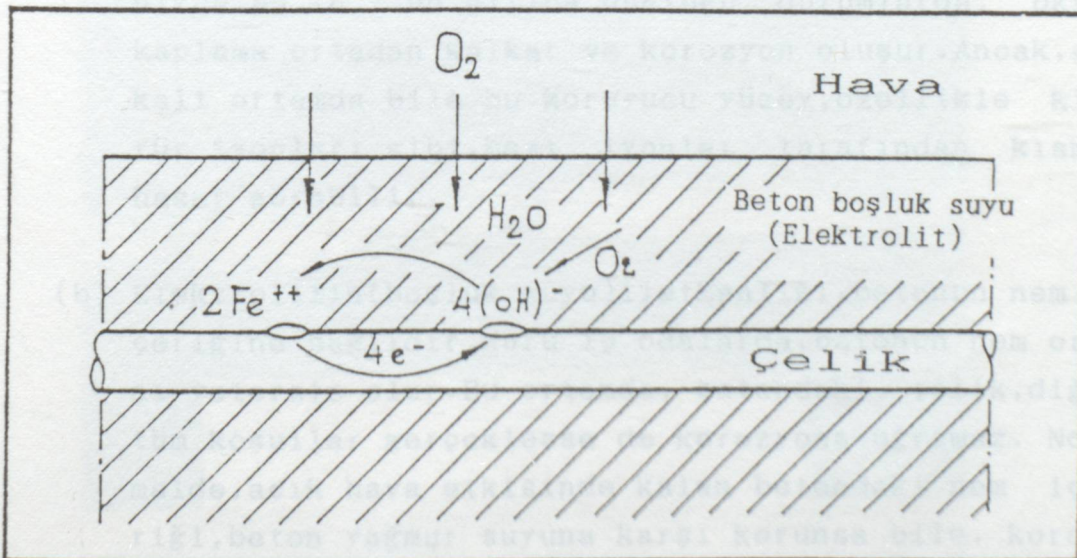
(1) Genel

Korozyon bir elektro-kimyasal olaydır.Ortamin elektro-litliğı artarsa korozyon da artar [20-22,24]. Elektro-kimyasal korozyona neden olabilecek bir eleman elekt-riksel ve elektrolitiksel olarak bağlanmış birer katot ve anottan oluşur.Betondaki donatı açısından,donatı e-lektriksel iletken ve betonun boşluk suyu elektrolit görevi yapar.Anot ve katot,çelik yüzeyinde birbirine yakın olarak ya da ayrı bulunabilirler. Bu nedenle, elektrolitin(başluk suyu) iletkenliğine özel önem ve-rilmelidir.

Elektro-kimyasal olay, anot ve katot arasındaki potansiyel farkından doğar. Sonuç olarak, anottaki(+)yükü metal iyonları Fe^{++} olarak sıvıya girer ve yeterli derecede bağımsız elektronları metalde bırakarak katoda geçerler. Burada, elektrolitin elemanları tarafından emilerek, su ve oksijenle birleşip hidroksit $(OH)^-$ iyonları oluştururlar ve nemle oksijen miktarına bağlı olarak çeşitli pas ürünlerine dönüşürler. Bu olaylar basitleştirilmiş olarak aşağıdaki kimyasal reaksiyonlarla da gösterilebilir (Şekil 8.28).



Yukarıdaki bağıntılar yalnızca, gerçekte belirli durumlarda, birkaç ara evrede oluşan korozyon sürecinin biçimsel tanımıdır. Örneğin, pas ürünleri hiçbir zaman tamamen Fe_2O_3 olmaz. Aksine, nem ve oksijene göre değişen çok çeşitli pas ürünleri oluşabilir. Pas bağıntısı genel olarak şöyle tanımlanabilir : $x.FeO.y.Fe_2O_3.z.H_2O$. Pas ürünlerinin renkleri yeşilden, kırmızı ve siyaha kadar değişir.



Şekil 8.28 Elektro-kimyasal korozyon

Yukarıdaki basitleştirilmiş bağıntılar, korozyon süreci içerisinde yalnızca oksijenin tüketildiğini, suyun, yalnızca korozyonun devamı için gerekli olduğunu ve miktarına bağlı olarak Fe_2O_3 oluştuğunu göstermektedir.

Korozyon ürünleri, donatının kapsadığı hacmin artmasına neden olur. Dolayısıyla, bu ürünlerin etkisiyle betonda ilâve gerilmeler oluşur. Bu gerilmeler, özellikle, korozyonun çubuk boyunca olduğu yerlerde, önce çubuk boyunca boylamasına çatlaklar oluşmasına ve daha sonra örtübetonun parçalanmasına neden olur (Fotoğraf 8.4) [22].

Yerel korozyon (Fotoğraf 8.5) bazen, çatlakların olduğu bölgelerde, pas lekelerinin beton yüzeyinde gözükmeye başlayarak ortaya çıkar. Ancak, genelde bu olgu, beton yüzeyi gözlenerek denetlenemez.

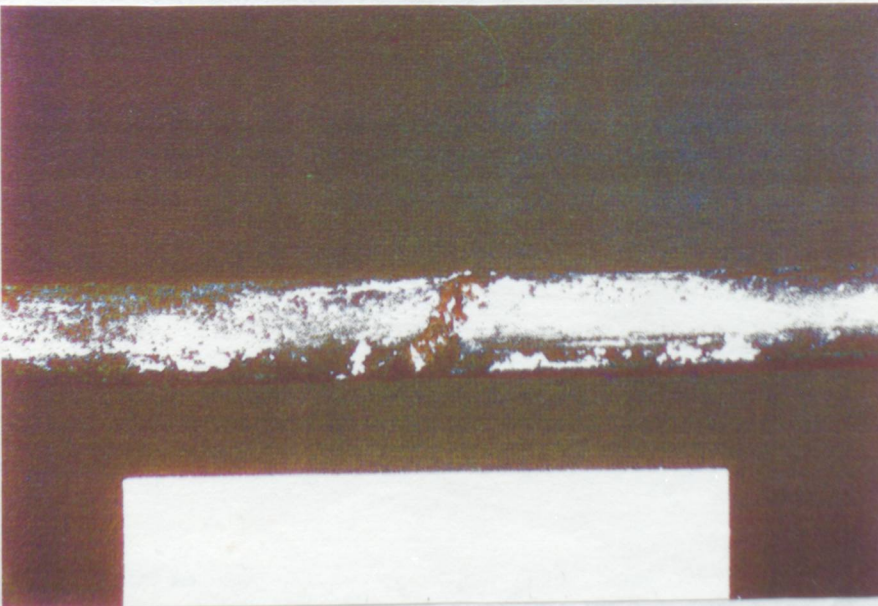
(11) Beton içindeki çeliğin korozyona uğraması için gereken ön koşullar

(a) Karbonatlaşmamış betonun sağlayabileceği varsayılan alkali ortamlarda, mikroskobik incelikte oksit örtü ya da film tabakası çubuk yüzeyini kaplayarak Fe^{++} iyonlarının anotta çözünmelerini engeller (pasifleştirme). Bunun sonucu olarak, karbonatlaşmamış betonda tüm diğer koşullar varolsa da korozyon olmaz. Yalnızca, pH'nın 9'un altına düştüğü durumlarda, oksit kaplama ortadan kalkar ve korozyon oluşur. Ancak, alkali ortamda bile bu koruyucu yüzey, özellikle klorür iyonları gibi, bazı iyonlar tarafından kısmen hasar görebilir.

(b) Elektrolitin (boşluk suyu) iletkenliği, betonun nem içeriğine bağlıdır. Kuru iç odalarda, betonun nem oranı yetersiz olur. Bu ortamda, betondaki çelik, diğer tüm koşullar gerçekleşse de korozyona uğramaz. Normalde, açık hava etkisinde kalan betondaki nem içeriği, beton yağmur suyuna karşı korunsa bile, korozyon için yeterli olur. Korozyon hızı, elektrolitin



Fotoğraf 8.4 Korozyon nedeniyle oluşan boyuna çatlak [22]

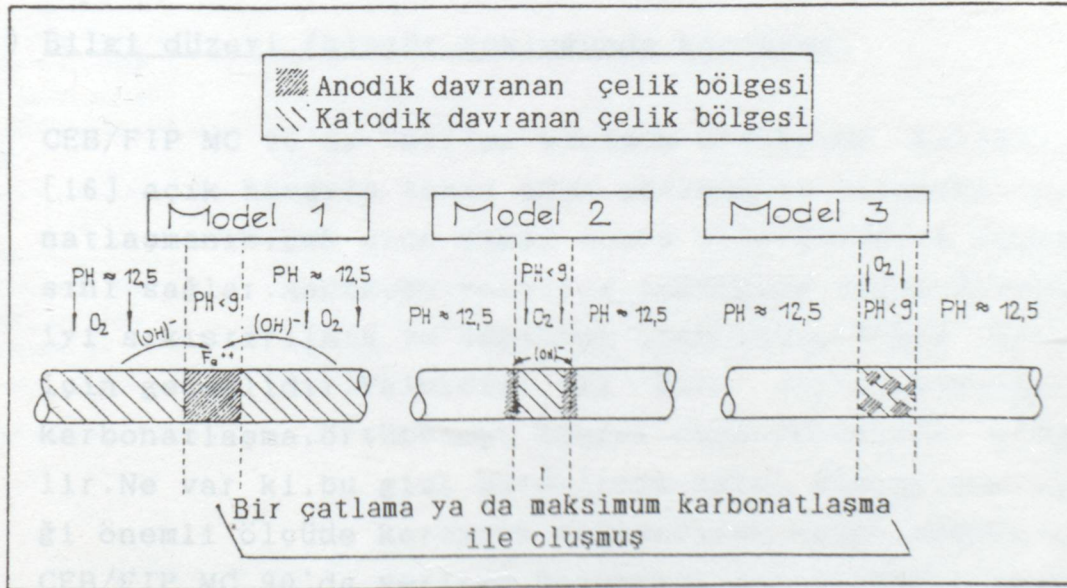


Fotoğraf 8.5 Yanal çatlak nedeniyle oluşan korozyon [22]

artan iletkenliğinin bir fonksiyonu olarak, betonun nemli arttıkça artar. Bu süreç, oksijenin çubuk yüzeyine nüfuzu durmadığı sürece devam eder.

- (c) Korozyon için gerekli oksijen bağıl olarak düşüktür, ve normalde, havayla temas eden örtü betona (20-40 mm) nüfuz eder ve çubuğun yüzeyine ulaşır. Bu nedenle, sadece yüksek mukavemetli ya da son derece nemli ve/ya da suya doymuş beton, oksijenin çelik yüzeyine nüfuzunu engelleyebilir.

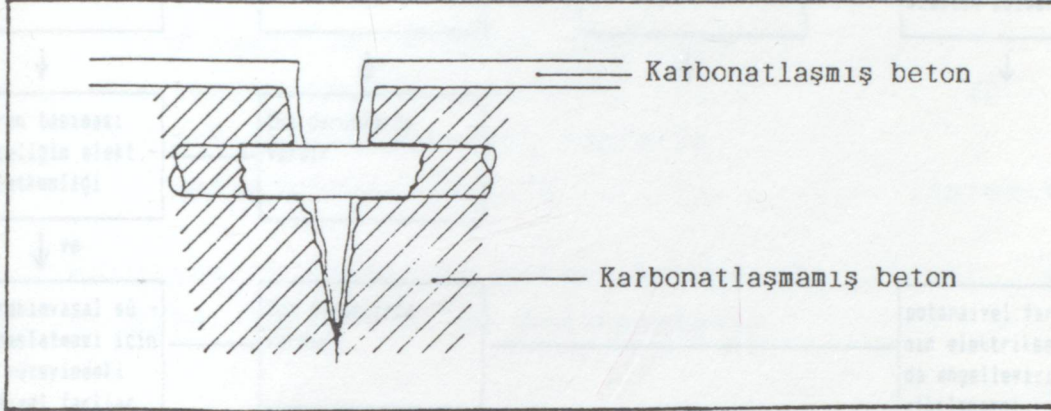
Donatı boyunca, potansiyel farkı olmadan da genel korozyon oluşabilir. Eğer, çelik yüzeyindeki pasifleşme çok küçük bir alanda yokolabiliyorsa (örnekse, betondaki çatlak bölgelerinde, karbonatlaşmanın donatı yüzeyine ulaştığı tepe, zirve kesimlerinde) o zaman, anodik ve katodik davranışta bulunan çubuk bölgelerinin yeri ve dağılımı korozyon hızına ilişkin bir etken olur. Teorik olasılıklar Şekil 8.29'da üç modelle açıklanmıştır.



Şekil 8.29 Betonun alkaliliğinin azaldığı yörelerdeki korozyon sürecine ilişkin modeller

Uygulamada bu üç modelin bir karışımıyla karşılaşılabılır.

Betondaki çatlaklar dolayısıyla etkili çelik yüzeyi, çelik çubuğun çatlak genişliği içinde kalan yüzeyinden daha fazla olur (Şekil 8.30).



Şekil 8.30 Çatlak bölgelerindeki etkili çelik yüzeyi

Korozyona neden olan koşullar ve korozyon hızını etkileyen ilişkiler Şekil 8.31'de gösterilmiştir.

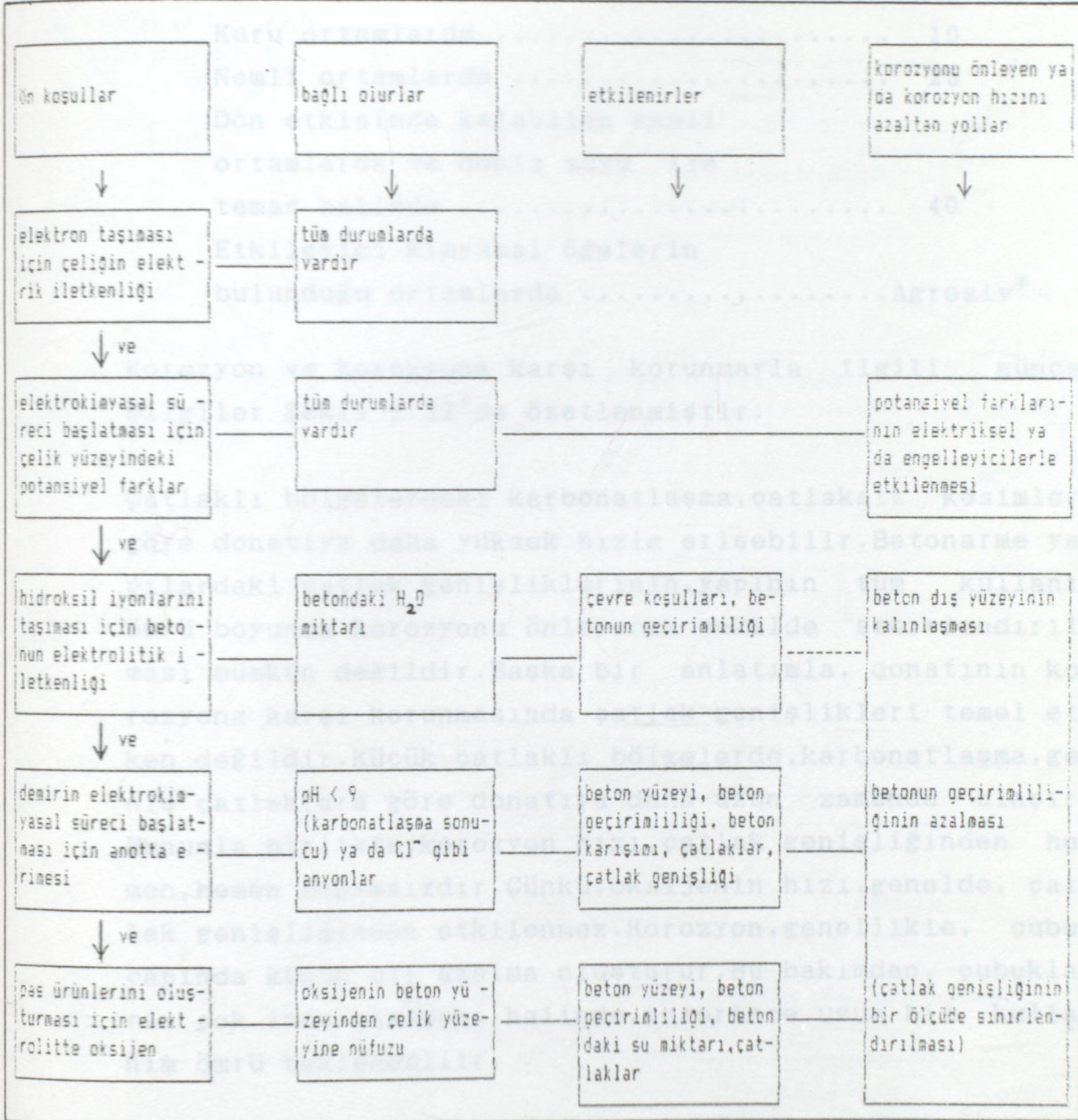
(111) Bilgi düzeyi (klorür yokluğunda korozyon)

CEB/FIP MC 90'da verilen minimum örtübeton kalınlıkları [16] açık havayla temas eden çatlamamış betondaki karbonatlaşmanın, çok uzun zaman sonra bile, donatıya ulaşmamasını sağlar. Ancak, bu, yalnızca tekniğine uygun üretilmiş, iyi sıkıştırılmış ve bakımına özen gösterilmiş betonlar için geçerlidir. Yalnızca, çok kuru çevre koşullarında karbonatlaşma, örtübetonu aşarak daha derinlere erişebilir. Ne var ki, bu gibi durumlarda, kural olarak, nem içeriği önemli ölçüde korozyon oluşturacak kadar yüksek olmaz. CEB/FIP MC 90'da verilen örtübeton kalınlıkları açık hava etkisinde kalan çatlamamış yapısal elemanlardaki çelik için yeterli güvenliği sağlar [16]. Bu değerlerin, yapımda, altına inilmesi öngörülme-yen minimum değerler olarak anlaşılması gerekir.

CEB/FIP MC 90'da verilen Ortubeton kalınlıkları şöyledir
[16] :

Ortubeton minimum kalınlıkları

Çatın(ma)



Şekil 8.31 Çeliğin elektro-kimyasal korozyonu,
önkoşullar ve ilişkiler

CEB/FIP MC 90'da verilen örtübeton kalınlıkları şöyledir [16] :

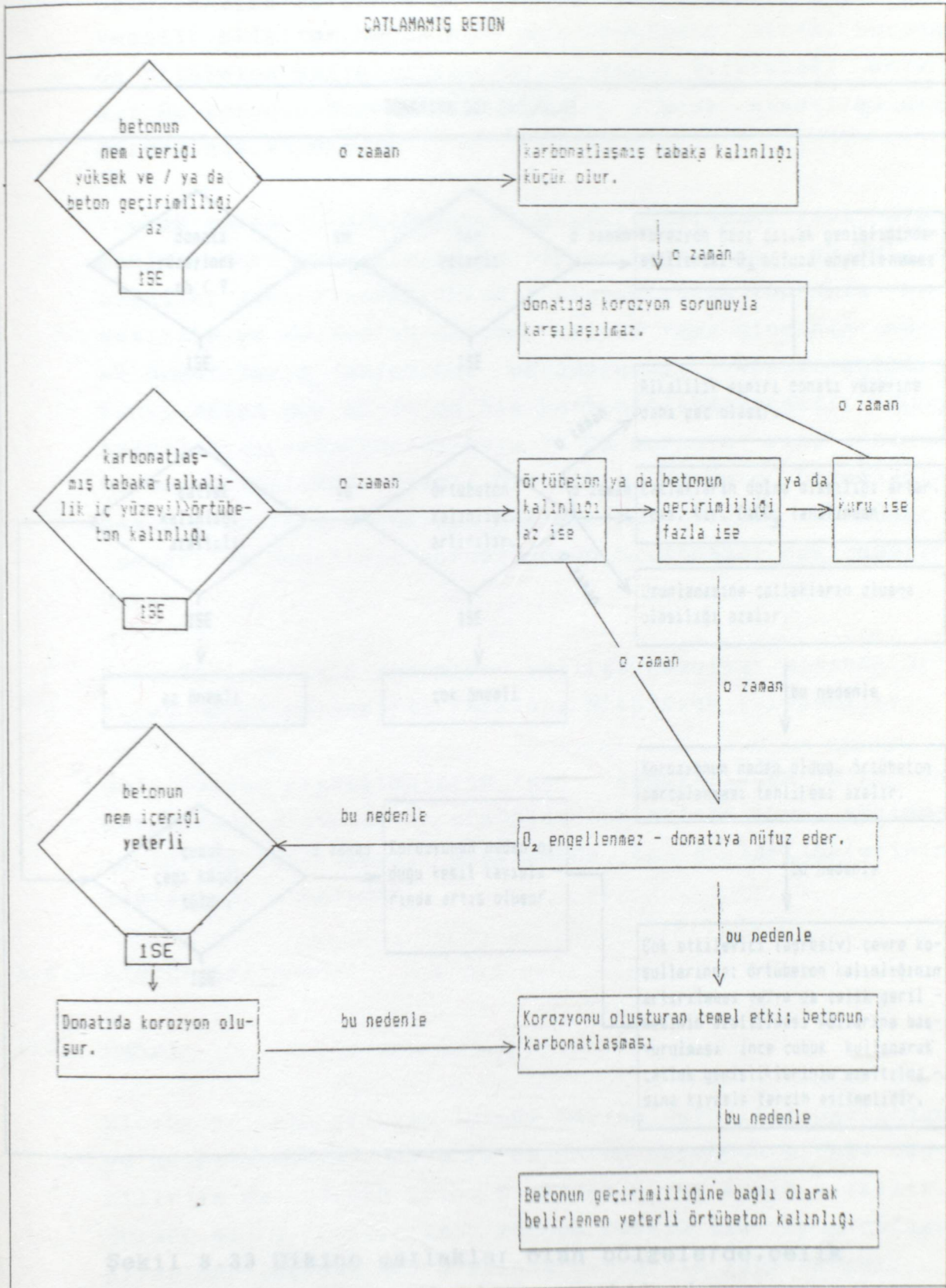
<u>Örtübeton minimum kalınlıkları</u>	<u>C_{min}(mm)</u>
Kuru ortamlarda	10
Nemli ortamlarda	25
Don etkisinde kalabilen nemli ortamlarda ve deniz suyu ile temas halinde	40
Etkileyici kimyasal öğelerin bulunduğu ortamlarda	Agresiv*

Korozyon ve korozyona karşı korunmayla ilgili güncel bilgiler Şekil 8.32'de özetlenmiştir.

Çatlaklı bölgelerdeki karbonatlaşma, çatlaksız kesimlere göre donatıya daha yüksek hızla erişebilir. Betonarme yapılardaki çatlak genişliklerinin, yapının tüm kullanım ömrü boyunca korozyonu önleyecek şekilde sınırlandırılması mümkün değildir. Başka bir anlatımla, donatının korozyona karşı korunmasında çatlak genişlikleri temel etken değildir. Küçük çatlaklı bölgelerde, karbonatlaşma, geniş çatlaklara göre donatıya daha uzun zamanda ulaşır. Bununla birlikte, korozyon hızı, çatlak genişliğinden hemen, hemen bağımsızdır. Çünkü, oksijenin hızı, genelde, çatlak genişliğinden etkilenmez. Korozyon, genellikle, çubuk çapında küçük bir azalma oluşturur. Bu bakımdan, çubukların çok ince olmaması halinde, yeterince uzun bir kullanım ömrü beklenebilir.

Örtübeton kalınlığı korozyonu engelleyen temel öğedir. Kalınlık arttıkça, betonun korozyon ürünlerinin etkisiyle parçalanması riski azalır. Çok korozyonlu ortamlarda, izin verilen çelik gerilmelerini azaltma, örtübeton kalınlığını arttırma ve ince çubuk kullanılarak çatlak genişliklerinin küçültülmesi salık verilir (Şekil 8.33).

* Kimyasal çevrenin türüne göre belirlenir.



Şekil 8.32 Çatlamamış betondaki çeliğin korozyonu, etkenler ve etkileri

Uzunlamasına çatlakların olduğu bölgelerle ilgili güvenilir bilgiler henüz elde edilememiştir. Ancak, burada da örtübeton kalınlığının parçalanmayı önleyeceği açıktır. Bu sorunun önemi nedeniyle, bu alanda araştırmalara gereksinim vardır.

Toprak ya da su (deniz suyu dışında) altındaki yapı elemanlarındaki donatıların korozyonu hakkında güvenilir bilgiler yoktur. Ancak, sürekli olarak, ıslak toprakla kuşatılmış ya da toprak altında kalmış yapı elemanlarındaki donatıların korozyona uğramayacağı varsayılabilir. Çünkü, beton çok az ya da hiç karbonatlaşmayacaktır. Buna karşılık, sırayla, toprak/hava ya da su/hava sınırlarında korozyon tehlikesi vardır. Özellikle, bu kuru ortamların nemli ortamlara dönüştüğü kesimlerde, betonun karbonatlaşması ve donatının korozyonunun hızlanması beklenmelidir.

Betondaki çeliğin korozyonu, belirli koşullar altında, örtübetondaki potansiyel farkları ölçülerek izlenebilir.

Gelecekteki araştırmaların temel konularından biri de korozyonun sonuçlarını çözümleyecek matematiksel yöntemlerin geliştirilmesi, uygulamada kullanılabilmelerinin sağlanması olmalıdır.

8.4.3 Klorür kirlenmesi

(1) Genel

Klorür ya taze betonun içinde baştan vardır (agregalardan ve katkılardan çözünmüş ya da karma suyundan girmiş olabilir) ya da betonun içine dışardan nüfuz etmiş olabilir. Burada, klorür iyonlarının gerçek nüfuzu ile suyun nüfuzu sırasında taşınmaları arasında bir ayırım yapılmalıdır.

Klorürün bir bölümü çimento ile kimyasal bir bağ yaparak "Friedell tuzu"nu oluşturmuş olabilir. Bu, kimyasal olarak bağlanmış klorür, donatının korozyonu açısından zararsız-

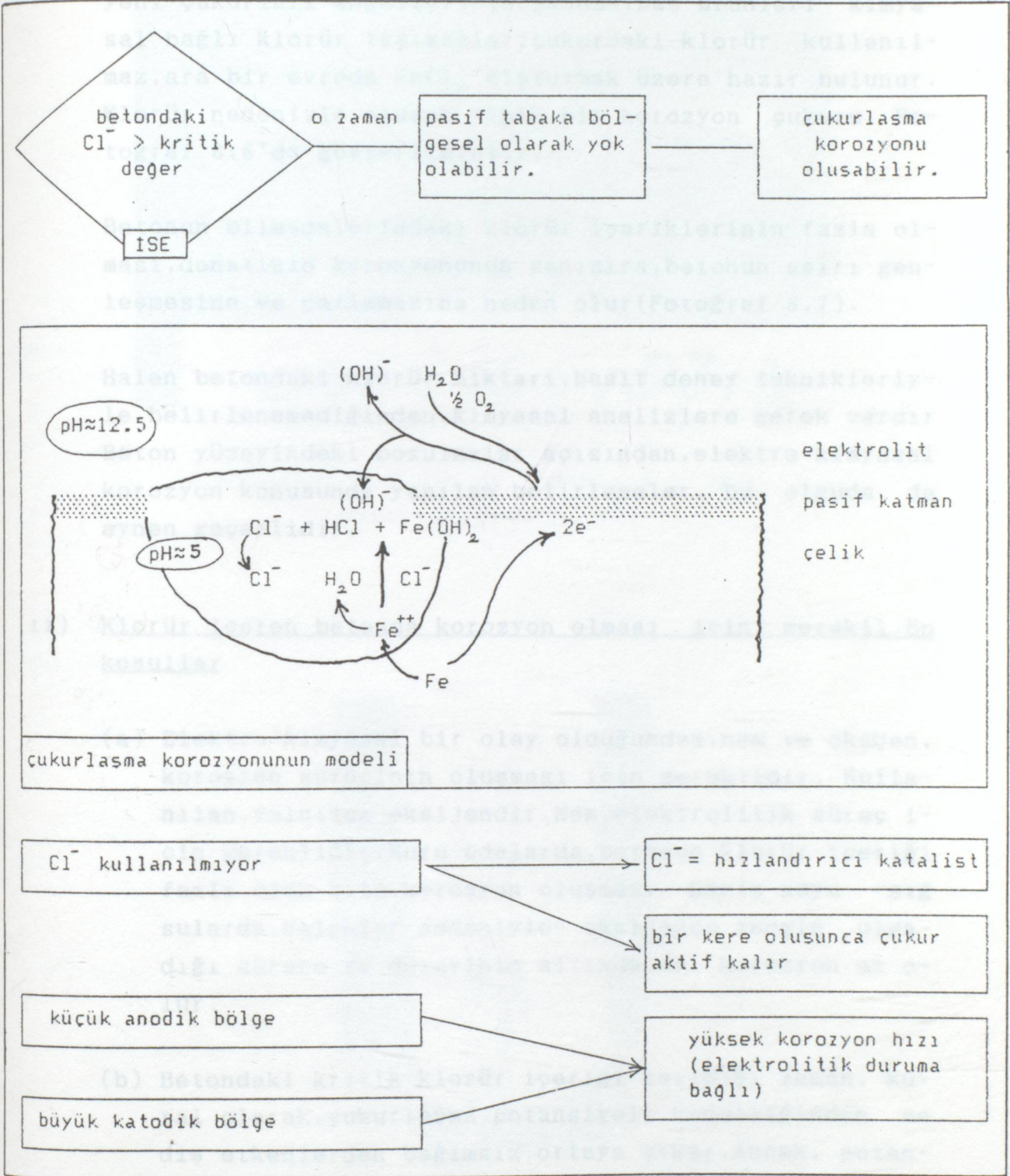
dır.Çimento ağırlığının yaklaşık %0,4'lük bölümünü oluşturan klorür,Friedell Tuzu'nu oluşturabilir.

Ancak,Friedell Tuzu ile betonun boşluk suyundaki klorür arasında bir denge durumu oluşur. Başka bir anlatımla, %0,4'den az klorürle bile boşluk suyunda bir miktar bağlanmamış klorür bulunabilir.Bu da,uygun olmayan durumlarda klorür korozyonunun oluşabileceği anlamına gelir.

Beton tamamen karbonatlaştıktan sonra,klorürün %0,4'ünü bağlama özelliği kaybolur.Bu yüzden, %0,4' ün altındaki klorür miktarlarında bile,beton karbonatlaştıktan sonra korozyon tehlikesi artabilir.

Boşluk suyundaki bağımsız klorür iyonları,karbonatlaşmamış betonda bile,çelik yüzeyindeki oksit kaplamayı(pasif tabaka)örseleyebilir.Yüzeyin bölgesel etkinleşmesi(aktifleşmesi)sonucunda,çok küçük bir anodu (aktif alan) ve büyük katodu (pasif yüzey) olan elektro-kimyasal bir eleman ortaya çıkar.Yüzey oranlarının uygun olmaması nedeniyle, demirin erimesi yalnızca çubuğun iç tarafına doğru meydana gelecektir.Bu,çukurlaşmaya yol açar (Şekil 8.34).Anodik hareket eden çukurda,demir iyonları eriyiğe geçecektir,buna karşılık katodik hareket eden çukur dışındaki çubuk bölümünde,su ve oksijen,hidroksil iyonlarını oluşturmak için birbirlerinden ayrılacaklardır.Kimyasal olaylar,8.4.2.bölümde açıklananlara benzer.Hidroksil iyonları,suyla birleşir ve hidroklorik asit oluşturur.Böylece,pas ürünlerinin neden olduğu çukurun dibinde bir asit ortam oluşur ve korozyonun artmasına neden olur Korozyon çukuru,bir kez oluşunca sürekli aktif kalır ve gittikçe derine doğru ilerler.

Çukurlaşma korozyonu,sadece belli bir potansiyelde oluşur,buna "çukurlaşma potansiyeli" denir. Kuru çimentoda bu potansiyel yüksektir,ancak artan nemle azalır.Bu kritik potansiyel değeri,betonun kritik klorür miktarının değeriyle ilgilidir.Betondaki zararsız klorür miktarı da artan nemle artar.Bir başka önemli sonuç da, çukurlaşma



Şekil 8.34 Klorür iyonlarının yarattığı çukurlaşma

korozyonunda, ilişkilerin basitleştirilmiş

gösterimi

başlar başlamaz, komşu çelik bölgelerindeki potansiyelin ani olarak düşmesidir. Bu olgu, en azından bir süre için yeni çukurları engeller. Öte yandan, pas ürünleri kimyasal bağlı klorür taşımazlar; çukurdaki klorür kullanılmaz, ara bir evrede FeCl_3 oluşturmak üzere hazır bulunur. Klorür nedeniyle oluşan tipik bir korozyon çukuru, Fotoğraf 8.6'da gösterilmiştir.

Betonun bileşenlerindeki klorür içeriklerinin fazla olması, donatının korozyonunun yanı sıra, betonun aşırı genişlemesine ve çatlamasına neden olur (Fotoğraf 8.7).

Halen betondaki klorür miktarı, basit deney teknikleriyle belirlenemediğinden, kimyasal analizlere gerek vardır. Beton yüzeyindeki bozulmalar açısından, elektro-kimyasal korozyon konusunda yapılan belirlemeler, bu olguda da aynen geçerlidir.

(11) Klorür içeren betonda korozyon olması için gerekli ön koşullar

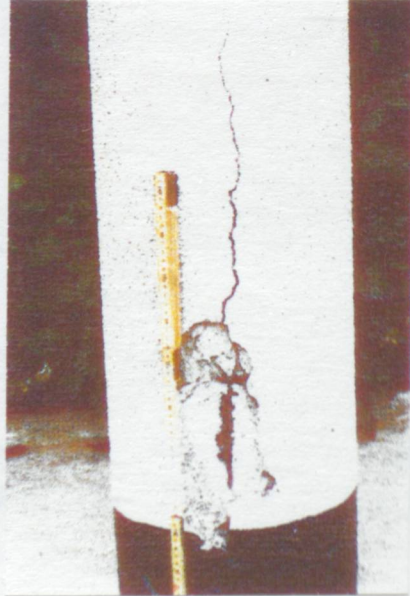
(a) Elektro-kimyasal bir olay olduğundan, nem ve oksijen, korozyon sürecinin oluşması için gereklidir. Kullanılan, yalnızca oksijendir. Nem, elektrolitik süreç için gereklidir. Kuru odalarda, betonun klorür içeriği fazla olsa bile, korozyon oluşmaz. Deniz suyu -sığ sularda, dalgalar nedeniyle- oksijence zengin olmadığı sürece su düzeyinin altında da korozyon az olur.

(b) Betondaki kritik klorür içeriği aşıldığı zaman, kural olarak, çukurlaşma potansiyeli kendiliğinden ve dış etkenlerden bağımsız ortaya çıkar. Ancak, potansiyelin ortaya çıkması engellenirse (örneğin, potansiyeli isteyerek etkileyerek) korozyon önlenabilir.

Fotoğraf 8.7 Ağaçlarındaki klorür korozyonunun etkileri. Klorür korozyonunu etkileyen ilişkiler, basitleştirilmiş şekliyle Şekil 8.35'de gösterilmiştir.



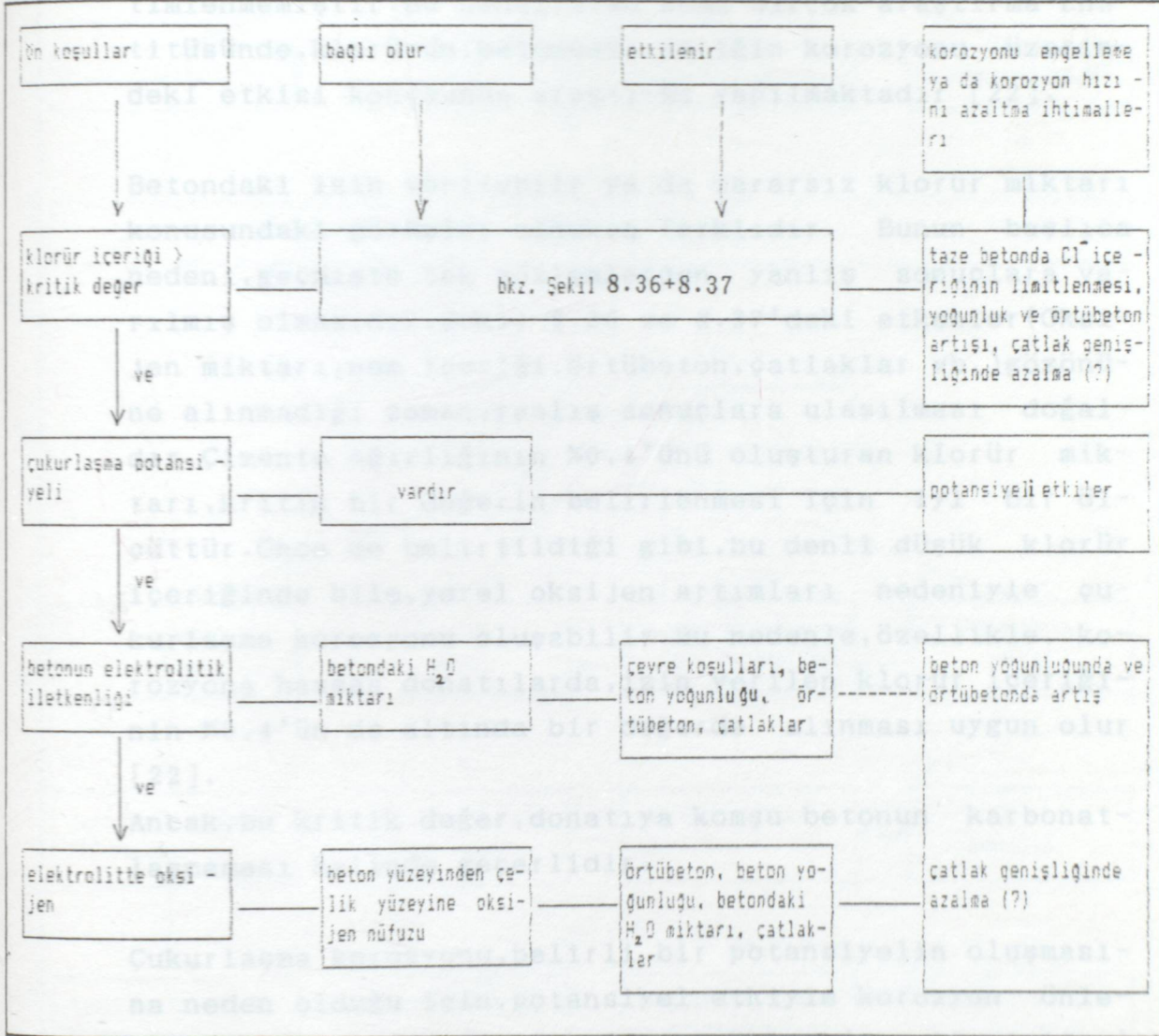
Fotoğraf 8.6 Klorür nedeniyle oluşan korozyon çukuru [22]



Fotoğraf 8.7 Agregalardaki klorür içeriğinin fazla olması donatının korozyonuna, betonun genişlemesine ve çatlamasına neden olur [22]

(iii) Bilgi düzeyi

Betondaki klorür miktarı, betonun en üst alan kısmı ve korozyon tehlikesiyle ilgili olarak, çok sayıda etkene bağlı olarak değişir. Bu nedenle, betonun klorür miktarı olarak da



Şekil 8.35 Betondaki çeliğin klorür nedeniyle korozyonu, önkoşullar ve iç ilişkiler

(111) Bilgi düzeyi

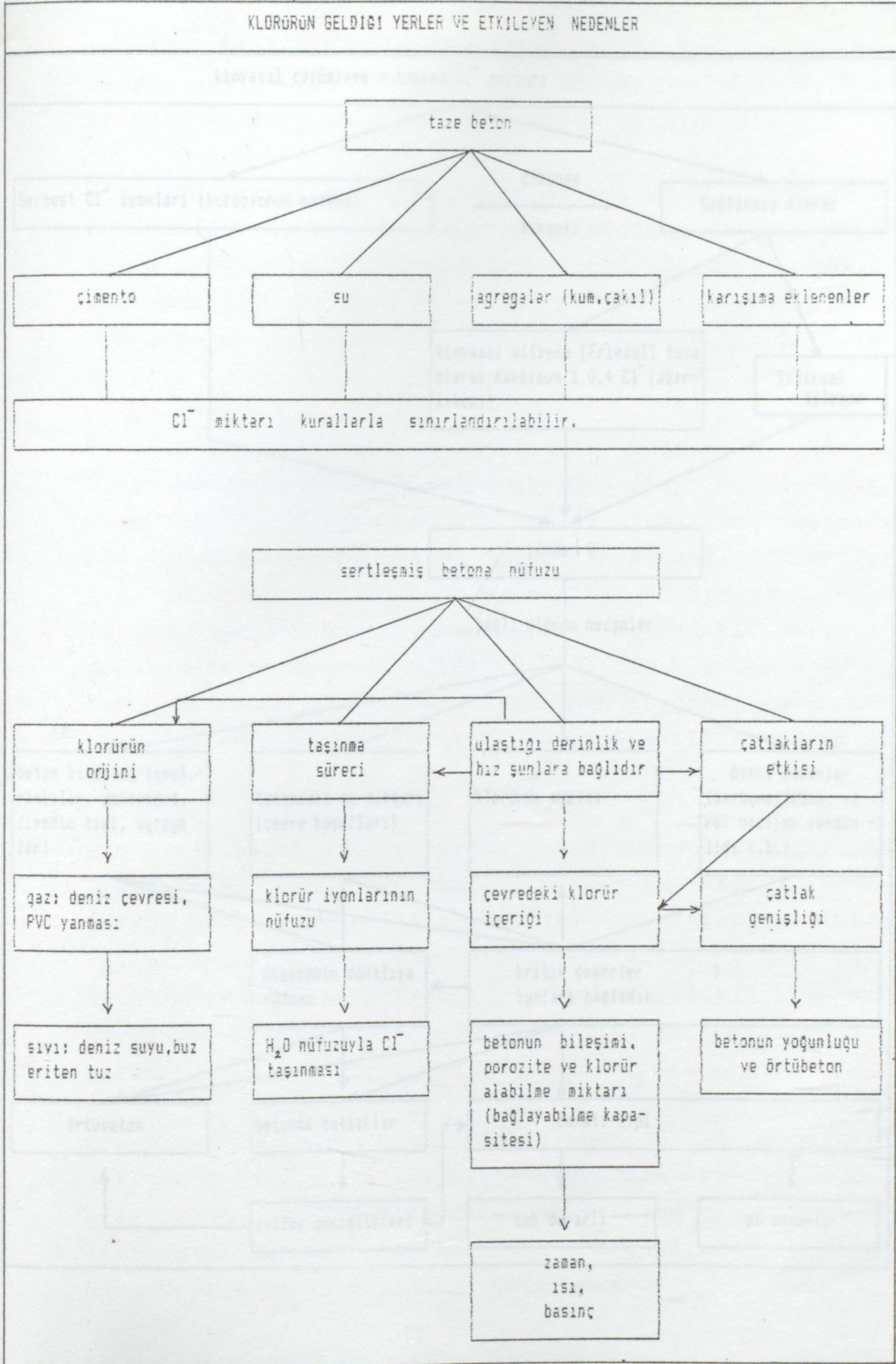
Betondaki klorür miktarı, bunların serbest olan kısmı ve korozyon tehlikesiyle ilgili kritik değerler, çok sayıda etkene bağlı değişir. Bu ilişkiler, henüz tam olarak belirlenmemiştir. Bu nedenle, şu anda birçok araştırma Enstitüsünde, klorürün, betondaki çeliğin korozyonu üzerindeki etkisi konusunda araştırma yapılmaktadır [22].

Betondaki izin verilebilir ya da zararsız klorür miktarı konusundaki görüşler oldukça farklıdır. Bunun başlıca nedeni, geçmişte tek gözlemlerden yanlış sonuçlara varılmış olmasıdır. Şekil 8.36 ve 8.37'deki etkenler (Oksijen miktarı, nem içeriği, örtübeton, çatlaklar vb.) gözönüne alınmadığı zaman, yanlış sonuçlara ulaşılması doğaldır. Çimento ağırlığının %0,4'ünü oluşturan klorür miktarı, kritik bir değerin belirlenmesi için iyi bir ölçüttür. Önce de belirtildiği gibi, bu denli düşük klorür içeriğinde bile, yerel oksijen artımları nedeniyle çukurlaşma korozyonu oluşabilir. Bu nedenle, özellikle, korozyona hassas donatılarda, izin verilen klorür içeriğinin %0,4'ün de altında bir değerde alınması uygun olur [22].

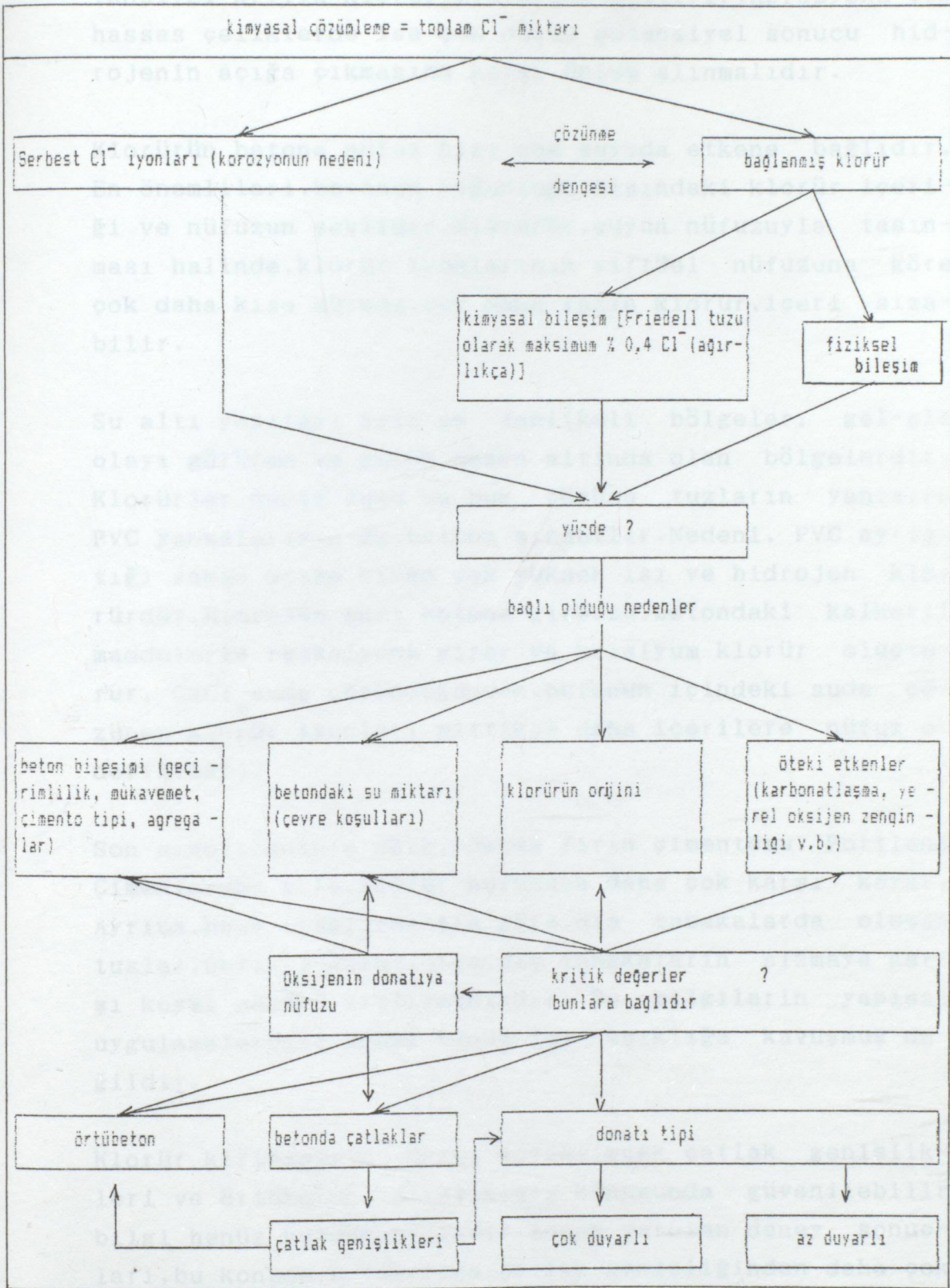
Ancak, bu kritik değer, donatıya komşu betonun karbonatlaşmaması halinde geçerlidir.

Çukurlaşma korozyonu, belirli bir potansiyelin oluşmasına neden olduğu için, potansiyel etkiyle korozyon önlenabilir. Bu amaçla, örneğin, inhibitörler (engelleyiciler) in kullanılması ya da dış akım oluşturularak katodik korunma yapılması tavsiye edilebilir. Heterojen beton/çelik sistemi için zararsız bir engelleyici henüz keşfedilmemiştir. Kural olarak, engelleyiciler ya homojen olmayan bir şekilde dağılır ya da betondan su etkisiyle dışarı atılır.

Bazı durumlarda katodik korunma uygun olabilir. Denize yakın çevrelerde, korozyona uğramamış yeni yapılarda, en küçük bir koruma bile yararlı olur. Çünkü, düşürülmüş po-



Şekil 8.36 Betondaki klorür içeriğiyle ilgili etkenler ve ilişkiler



Şekil 8.37 Kritik ya da zararsız klorür içeriğiyle ilgili etkenler ve ilişkiler

tansiyel kritik klorür miktarını arttırır.Korozyona çok hassas çeliklerde ise çok düşük potansiyel sonucu hidrojenin açığa çıkmasına karşı önlem alınmalıdır.

Klorürün betona nüfuz hızı çok sayıda etkene bağlıdır. En önemlileri,betonun yoğunluğu,dışındaki klorür içeriği ve nüfuzun şeklidir.Klorürün,suyun nüfuzuyla taşınması halinde,klorür iyonlarının virtüel nüfuzuna göre çok daha kısa sürede,çok daha fazla klorür,içeri sızabilir.

Su altı yapıları için en tehlikeli bölgeler, gel-git olayı görülen ve suyun hemen altında olan bölgelerdir. Klorürler,deniz suyu ve buz çözücü tuzların yanısıra PVC yanmalarıyla da betona sızabilir.Nedeni, PVC ayrıştığı zaman açığa çıkan çok yüksek ısı ve hidrojen klorürdür.Hidrojen gazı betona girerse,betondaki kalkerli maddelerle reaksiyona girer ve kalsiyum klorür oluşturur. CaCl_2 suda çözündüğünden,betonun içindeki suda çözünen klorür iyonları gittikçe daha içerilere nüfuz eder(sızar).

Son araştırmalara göre,yüksek fırın çimentosu, Portland Çimentosuna göre,klorür nüfuzuna daha çok karşı koyar. Ayrıca,bazı araştırmalara göre,dış tabakalarda oluşan tuzlar,belirli koşullarda,dış tabakaların sızmaya karşı koyma gücünü arttırmaktadır. Bu bilgilerin yapısal uygulamalardaki önemi henüz tam açıklığa kavuşmuş değildir.

Klorür kirlenmesine karşı koyabilecek çatlak genişlikleri ve örtübeton kalınlıkları konusunda güvenilebilir bilgi henüz bulunmamaktadır.Ancak varolan deney sonuçları,bu konuda,örtübetona,çatlak genişliğinden daha çok önem verilmesi gerektiğini göstermektedir.

Bu bağlamda,yoğunluğu fazla betondaki donatı, çatlaklı betondakine göre korozyondan daha az etkilenmektedir.

9. TANI KOYMA VE DEĞERLENDİRMEDE KULLANILAN DENEY YÖNTEMLERİ

- 9.1 GİRİŞ
- 9.2 YAPISAL DENEYLER
 - 9.2.1 Yerinde yükleme deneyi
 - 9.2.2 Uzun süreli izleme
 - 9.2.3 Titreşim deneyi
 - 9.2.4 Laboratuvarda gerçekleştirilen taşıma gücü deneyi
 - 9.2.5 Ölçümlleme teknikleri
 - 9.2.5.1 Akustik yayım
 - 9.2.5.2 Fotogrametri
- 9.3 FİZİKSEL DENEYLER
 - 9.3.1 Mukavemete ilişkin olanlar
 - 9.3.1.1 Karot deneyi
 - 9.3.1.2 Geri-tepmeli çekiç (Schmidt çekici)
 - 9.3.1.3 Çekip-çıkarma deneyi
 - 9.3.1.4 İçsel kırılma deneyi
 - 9.3.1.5 Çekme deneyi
 - 9.3.1.6 Koparma deneyi
 - 9.3.1.7 Penetrasyon mukavemeti (Windsor sonda deneyi)
 - 9.3.1.8 Ultrases titreşim hızı (Pundit)
 - 9.3.2 Boşluk olan yerlerin belirlenmesi
 - 9.3.2.1 Endoskop
 - 9.3.2.2 Radyografi
 - 9.3.2.3 Radar
 - 9.3.2.4 Tabakalaşmayı belirleyici cihaz
 - 9.3.2.5 Termografi
 - 9.3.2.6 Tomografi
 - 9.3.3 Donatı yerlerinin belirlenmesi
 - 9.3.4 Su penetrasyonu
 - 9.3.4.1 Emme
 - 9.3.4.2 Geçirimsizlik
 - 9.3.4.3 Başlangıç yüzey emmesi deneyi
 - 9.3.4.4 Sızıntı arama

- 9.3.5 Gaz yayımı (nüfuzu)
- 9.3.6 Hava doluluğu
- 9.3.7 Agregatı
- 9.4 KİMYASAL VE ELEKTRO-KİMYASAL DENEYLER
- 9.4.1 Betonun bileşenleri
- 9.4.2 Klorit içeriği
- 9.4.3 Karbonatlaşma derinliği
- 9.4.4 Donatı potansiyeli
- 9.4.5 Dirençlilik

9. TANI KOYMA VE DEĞERLENDİRMEDE KULLANILAN DENEY YÖNTEMLERİ

9.1 Giriş

Bu bölümde,değerlendirmelerde kullanılabilecek mikro,makro ve kimyasal düzeylerdeki başlıca deney yöntemlerinin bazıları genel çizgileriyle açıklanacaktır.Uygulanabilecek tüm deneyler şöyle sıralanabilir [1-3,5,28-31] :

Yapısal deneyler

- Yerinde yükleme deneyi
- Uzun süreli izleme
- Titreşim deneyi
- Laboratuvarda yapılan taşıma gücü deneyi
- Ölçme teknikleri
 - ~ Akustik yayım
 - ~ Fotogrametri

Fiziksel deneyler

- Mukavemete ilişkin olanlar
 - ~ Karot deneyi
 - ~ Geri-tepmeli çekiç
 - ~ Çekip-çıkarma deneyi
 - ~ İçsel kırılma
 - ~ Çekme deneyi
 - ~ Koparma deneyi
 - ~ Penetrasyon deneyi
 - ~ ultrases titreşim hızı
- Boşluk olan yerlerin belirlenmesi(Boşluk araştırılması)
 - ~ Endoskop
 - ~ Radyografi
 - ~ Radar

9.2.1 Tabakalaşmayı belirleyen cihaz

- ~ Termografi
- ~ Tomografi

- Donatı yerlerinin belirlenmesi
- Su penetrasyonu
 - ~ Emme
 - ~ Geçirimsizlik
 - ~ Başlangıç yüzey emmesi deneyi
 - ~ Sızıntı arama
- Gaz yayımı (nüfuzu)
- Hava doluluğu
- Agregatı tipi

Kimyasal ve elektro-kimyasal deneyler

- Betonun bileşenleri
- Klorit içeriği
- Karbonatlaşma derinliği
- Donatı potansiyeli
- Dirençlilik

9.2 Yapısal deneyler

Yapının mukavemeti, çözümsel yöntemlerle yeterli güvenilirlikle belirlenemediği zaman, yapısal deneyler yapılabilir. Ayrıca bu deneyler, yapıyı güçlendirme tekniklerinin etkinlilik düzeylerinin belirlenmesi için de kullanılabilir [2,3].

Yapısal deneyler, şu temel biçimlerde gerçekleştirilebilir :

- (1) Yerinde yükleme deneyi
- (11) Uzun süreli izleme
- (111) Titreşim deneyi
- (1v) Taşıma gücü deneyi (Son limit yük deneyi)

Deney yöntemi, araştırmanın amacı ve nedeni gözönünde bulundurularak seçilmelidir. Bu dört deneye ilişkin özet bilgiler ve deneylerin kullanışlılık dereceleri Tablo 9.1'de verilmiştir.

9.2.1 Yerinde yükleme deneyi

Bu deneyin temel amacı, bir yapısal elemanın karakteristik yüklerden (işletme yükleri) daha büyük yükler altındaki performansının belirlenmesidir. Yükleme deneyi, inşaatın ya da tasa-

rinin niteliği konusundaki kararsızlığın giderilmesi ya da yapı-
nın bütünüdürün davranışı hakkında bilgi edinilmesi için yapı-
lır. Yükleme deneyleri yapılarak yapıya zararlı sonuçlara tek-
nikleri geliştirilebilir.

Yüklemeyi gerçekleştirirken yükler azar azar artırılır ve
kaldırılır. Maksimum yük, hareketli ve hareketli yüklerin top-
lamına eşit alınır. Diğer taraftan oluşturan yükde belirlen-
mesini amaçlar.

Tablo 9.1 Yükleme deneyleri için yöntemler

Deney yöntemleri	İlke	Olumlu yönleri	Sınırları
Yerinde yükleme deneyi	Karakteristik yükün (işletme yükü) üze- rindeki yükler altın- da kalan yapısal ele- manın yeterli perfor- mansa sahip olduğunun gösterilmesi.	Yapıda hasar oluşturmaz.	Yükler genellikle son limit durum yüküne yaklaşmalı.
Uzun süreli izleme	İşletme yükleri al- tında yapının güvenli- liğinin belirlenme- si ve bu yüklere tep- kisiyle ilgili bilgi- lerin sağlanması.	İşletme yükleri için kullanıla- bilmesi.	Yükler tasarım yükü değerlerine ulaşmaya- bilir. Deney süresin- ce ölçme düzenlerinin dengesi sağlanmalı - dır. Sıcaklık ve nem etkileri gözönüne al- ınmalıdır.
Titreşim deneyi	Binanın temel titre- şim modlarından biri için uyarılması ve tepkisinin ölçülmesi.	Yüklerin öz a- ğırlıkla üretil- mesi.	Pahalı olması. Yorum isteyen çözüm- lemeleri gerektirir.
Taşıma gücü (son limit yükü) deneyi	Çok sayıda benzer bi- rimlerin ya da hazır yapı elemanlarının denenmesinde kulla- nılır.	Gerçek son limit yükünün belir- lenmesi.	Hasar oluşturur. Ta- mamlanmış yapıdaki e- lemanların kaldırıl- ması ve yerine yeni lerinin konulması ma- lİYETİ gözönüne alın- malıdır.

9.2.2 Uzun süreli izleme

Bir yapının, belirli bir zaman periyodu içinde izlenmesi, onun
hem kullanım güvenliğinin denetlenmesini hem de yükler
tepkisinin belirlenmesini sağlar. Gittikçe artan sonuçlar o-
lusu bu bir yapının uzun süreli izlenmesi, ona müdahaleyi (nada-

rımın niteliği konusundaki kuşku­ların giderilmesi ya da yapı­nın bütününün davranışı hakkında bilgi edinilmesi için yapı­lır.Yükleme deneyleri yardımıyla daha duyarlı çözümleme tek­nikleri geliştirilebilir.

Yüklemeyi gerçekleştiren ağırlıklar azar azar arttırılır ve kaldırılır.Maksimum yük,hareketsiz ve hareketli yüklerin top­lamına eşit alınır.Deney,kırılmayı oluşturan yükün belirlen­mesini amaçlar.

Deney,yapının yük altındaki davranışının,istenen şekilde olup olmadığını araştırmak için yapılıyorsa,genellikle, sehimlerin ölçülmesi yeterlidir.Böylece,sehimlerin,kabul edilebilir sı­nırları aşıp aşmadığı ve geriye dönüşümlü olup olmadığı be­lirlenebilir.

Yükün kaldırılmasından sonra,sürekli ve dönüşümsüz sehimler oluşuyorsa,yapıya uygulanan yükün izin verilebilir maksimum işletme yükünden büyük olduğu kabul edilebilir.Ayrıca,yük­leme deneyi periyodik şekilde tekrarlanabilir ve yapısal davranış farklılıkları belirlenebilir.Bu bulgular,inşası henüz bitmiş yapılarla ilgili son deneylere ilişkindir.

Deneyin amacı,yapısal davranış hakkında bilgi edinmek ya da çözümsel yöntemleri ayarlamak ise,deformasyonların ve birim boy değişimlerinin daha ayrıntılı ölçülmesi gerekir.

Göçmeye ilişkin minimum güvenlik katsayısının bulunması öngö­rülüyorsa,kanıtlayıcı yükleme deneylerinin yapılması gerekir. Bu durumda,uygulanan yük,karakteristik yükten oldukça büyük olur,ancak yapıda hasar oluşturmaması için hesaplanan son li­mit yükünden küçük olmalıdır.

9.2.2 Uzun süreli izleme

Bir yapının,belirli bir zaman periyodu içinde izlenmesi,onun, hem kullanım güvenliğinin denetlenmesini hem de yüke karşı tepkisinin belirlenmesini sağlar.Gittikçe artan bozulmalar o­luşan bir yapının uzun süreli izlenmesi,ona müdahaleyi (amaç

değiştirme ya da onarım gibi)gerekli zamanı belirler. Uzun süreli izlemede,yükleme deneylerinin aksine,yapının normal kullanımı sırasındaki yüklerin belirlenmesiyle ilgilenilir.İzlemede,yapısal yeterliliğin belirlenmesi için yükler ölçülür.

Uzun süreli izleme,uygulanan yüklerin biçiminin ya da büyüklüğünün bilinmediği ya da denetlemeli yük uygulamasının pratik olmadığı durumlarda gerçekleştirilir.Yöntemin olumsuz yönü,yüklerin tasarım değerlerine ulaşmamasıdır.Bu durum gözönüne alınarak,ekstrapolasyonla tasarım yükleri karşılığı tepkiler tahmin edilir.

Ölçüm yapılan süre içinde cihazların uzun süreli stabilitesi sağlanmalıdır.Yapısal hareketler güvenilir verilerle belirlenmelidir.Bunun için de,bağımsız ikinci bir ölçümleme sistem oluşturulabilir.Günlük ya da mevsimlik sıcaklık değişimlerinin etkisi gözönüne alınmalı,bunların,çatlak genişliklerinin artması gibi sürekli hareketlerden ayrılması sağlanmalıdır.

9.2.3 Titreşim deneyi

Titreşim deneyi,binanın temel titreşim modlarından biriyle uyandırılmasını ve tepkisinin ölçülmesini içerir.Binanın tüm tepkisinin ölçülmesi halinde,çözümleme yoluyla, onun rijitliği değerlendirilebilir.Birleşim bölgelerinde yapılan ayrıntılı ölçümler,yerel rijitliklerin belirlenmesini ve yapısal sürekliliğin sınırlanmasını sağlar.

İki temel yöntemle yapıya titreşim uygulanabilir :

- (1) Eksantrik dönen ağırlıklarla titreşim oluşturulabilir.
- (ii) En büyük kuvvet yüksek frekanslarda üretilebilir. Alçak frekanslar yapıyı uyaramayabilir.
- (iii) Servo-hidrolik çekiçlerle (tokmak, şahmerdan) doğrusal titreşimler üretilebilir.Böylece, frekans ve üretilen kuvvet denetlenebilir.Ancak, bu düzenlemenin şantiyede gerçekleştirilmesinde güçlüklerle karşılaşılabilir.

Ölçümler, genellikle, ivme ölçer (accelerometer) kullanılarak yapılır. Cihazın tipi, titreşimin frekansı gözönünde bulundurularak belirlenir.

9.2.4 Laboratuvarda gerçekleştirilen taşıma gücü (son limit durum) deneyi

Yerinde yükleme deneyleri, genellikle, yapıda sürekli bir hasarın oluşmaması öngörülerek tasarlanır. Buna karşılık, laboratuvarda gerçekleştirilen deneylerde, kesitin son limit duruma (taşıma gücüne) ilişkin davranışının belirlenmesi amaçlanır.

Laboratuvarda gerçekleştirilen taşıma gücü deneyleri, genellikle prefabrik elemanların nitelik denetimi (kalite kontrolü) için yapılır. Bununla birlikte, yerinde deney yapılması zor olan ya da sağlanan bilginin yetersiz olduğu durumlarda, anılan deneyler yapılabilir.

Bir yapısal elemanın yenilenme maliyeti fazla olabilir. Buna karşılık, taşıma gücü deneyleri, yapısal performansla ilgili çok yararlı bilgiler sağlayabilir.

9.2.5 Ölçümleme teknikleri

Yapısal deneylerle ilgili ölçüm teknikleri oldukça fazladır. Sehimlerin ve çatlak genişliklerinin belirlenmesinden, gerilme birim deformasyon çözümlemelerine kadar çeşitli teknikler uygulanabilir (Tablo 9.2).

Cihazın seçiminde şu hususlar gözönünde bulundurulmalıdır:

- (i) Hareketin derecesi
- (ii) Gereksenen duyarlılık ve doğruluk
- (iii) Deney süresi ve okuma sıklığı (frekansı)
- (iv) Şantiye koşulları

9.2.5.1 Akustik yayım

Artan yük altındaki betonda çatlama sonucu oluşan akustik yayımın izlenmesi kırılmanın yaklaştığını belirtir. Böylece, kı-

rilma yerleri tespit edilebilir. Uygulanan gerilme sonucu oluşan akustik yayımın gerilme dönüşümü (Kaiser etkisi) ve betonun kendini düzeltme yeteneğinin sınırlı olması nedeniyle, bu yöntem, gerilme geçmişinin değerlendirilmesinde kullanılmaz.

9.2.5.2 Fotogrametri

Fotogrametri, belirli ve sabit bir noktadan çekilen fotoğraflar kullanılarak bir cisim cephesindeki hareketlerin haritalanmasıdır. Cisimlerin hareketleri, bütün cephelerdeki durum aynı anda tespit edilebilir. Bu tekniğin, yerel yerleşim-

Tablo 9.2 Ölçümleme teknikleri ve cihazları

Ölçülecek büyüklük	Cihazlar
Sehimler	Kadranlı mekanik ölçüm cihazı Optik izleme cihazı Deplasman dönüştürücüleri (transducer) a) Doğrusal dönüştürücü (transformer) b) Doğrusal potansiyel ölçer Eğrilik kapasitesi ölçme cihazı Eğim ölçer (Inclinometer)
İvmeler	İvme-ölçer (Accelerometer) a) Elektro-mekaniksel b) Elektrikli (piezoelectric)
Çatlak genişlikleri	Aydınlatılmış optik el mikroskobu Ayarlanmış bildirici (Calibrated tell-tale)
Birim boy değişimleri (Birim deformasyonlar)	Mekanik cihaz Titreşim teli cihazı Elektrik direnç ölçer Elektrik oluşturan deplasman dönüştürücüsü Yarı iletken birim deformasyon ölçer

Çok sayıda karot çıkarılmasının maliyeti oldukça yüksektir. Bu nedenle, az sayıda karot alınması uygun olur. Deney sonuçlarının kullanılması bağlamında, iki yaklaşım vardır:

- (i) Yıkıcı olmayan deneylerle beton mukavemetinin belirli olduğu bölgeler belirlenir. Bu bölgelerden alınan örnekler yapıdaki beton mukavemetinin alt sınırını belirler.
- (ii) Karot deneyi sonuçları, yapının tamamı üzerinde değerlendirilerek, yapıdaki beton mukavemetinin alt sınırı belirlenir.

rılma yerleri tespit edilebilir.Uygulanan gerilme sonucu oluşan akustik yayımın geriye dönüşümsüz(Kaiser etkisi) ve betonun kendini düzeltme yeteneğinin sınırlı olması nedeniyle, bu yöntem,gerilme geçmişinin değerlendirilmesinde kullanılamaz.

9.2.5.2 Fotogrametri

Fotogrametri,belirli ve sabit bir noktadan çekilen fotoğraflar kullanılarak,binanın cephesindeki hareketlerin haritalanmasıdır.Olumlu yönü,görülebilien bütün cephelerdeki durumun aynı anda tespit edilebilmesidir.Bu tekniğin,yerel yerdeğıştirmelerden çok,büyük çarpılmaların belirlenmesinde kullanılması uygundur.

9.3 Fiziksel deneyler

Yıkıcı olmayan fiziksel teknikler;ilkeleri,uygulama yerleri,olumlu yönleri ve sınırları belirtilerek Tablo 9.3'de özetlenmiştir.

9.3.1 Mukavemete ilişkin olanlar

9.3.1.1 Karot deneyi

Beton mukavemetini belirlemek için yapıdan karot çıkarılarak deney yapılabilir.Böylece,örnek alınan bölgedeki gerçek mukavemeti ya da 28 günlük küp mukavemetinin bir tahmini olan potansiyel mukavemeti belirtir.

Çok sayıda karot çıkarılmasının maliyeti oldukça yüksektir.Bu nedenle,az sayıda karot alınması uygun olur.Deney sonuçlarının kullanılması bağlamında,iki yaklaşım vardır:

- (1) Yıkıcı olmayan deneylerle beton mukavemetinin düşük olduğu bölgeler belirlenir.Bu bölgelerden alınan örnekler yapıdaki beton mukavemetinin alt sınırını belirler.
- (11) Karot deneyi sonuçları,yapının kapsamlı şekilde değerlendirilmesinde kullanılan yıkıcı olmayan deneylerin a-yarlanmasında kullanılır.

Tablo 9.3 Fiziksel deneyler

Deney yöntemleri	İlke	Baslıca uygulama alanı	Olumlu yönleri	Sınırları
Garot deneyi		Görsel araştırmayla betonun basınç ve çekme mukavemetinin tahmin edilmesinde kullanılır.	En düşük mukavemetli bölgenin yerinin belirlenmesi için yıkıcı olmayan deneyler yapılabilir. Görsel inceleme, yoğunluk ve kimyasal deneylerle birlikte yapılabilir.	Pahalıdır. Boy ile çap arasındaki oran $1.0 \approx 1.2$ olmalıdır.
Schmidt çekiçi (Geri tepmeli çekiç)	Yüzey sertliğini ölçer. Yaylı çekiç, beton yüzeyine çarpar ve geri tepme (R) değerini verir.	Betonun basınç mukavemetinin, uniformluğu ve kalitesinin tahmin edilmesinde kullanılır.	Pahalı değildir. Büyük ölçüde veri kısa sürede sağlanabilir. Betonun uniformluğunun belirlenmesi için uygun bir yöntemdir. Betonda hasar oluşturmaz.	Sonuçlar, betonun yüzey koşullarından etkilenir. Beton mukavemetini duyarlı olarak vermez.
Çekip çıkarma deneyi	Betona saplanmış, ucu genişletilmiş bir çubukun betonndan çekip çıkarılması için gereken kuvvetin belirlenmesi.	Betonun basınç ve çekme mukavemetlerinin tahmin edilmesinde kullanılır.	Beton mukavemetiyle iyi korelasyonlu mukavemetin yerinde ve doğrudan belirlenmesini sağlar.	Çekip çıkarma düzeni yapım sırasında ya da yapımdan sonra beton delinerek yerleştirilir. Basit onarımları gerektirir.
İşsel kırılma	Betondan ankraj civatasının çekip çıkarılması için gereken kuvvetin belirlenmesi.	Betonun çekme mukavemetinin tahmin edilmesinde kullanılır.	Ucuzdur ve kısa sürede gerçekleştirilir.	Basit onarımları gerektirir.
Çekme deneyi	Dipteki çekirdek çubuk için tepede, çekirdek eksenine dik uygulanan kuvvetin belirlenmesi.	Betonun eğilme mukavemetinin tahmin edilmesinde kullanılır.	Ucuzdur, kısa sürede gerçekleştirilebilir.	Basit onarımları gerektirir.
Hindsor sonda deneyi	Betona nüfuz etme (penetrasyon) derinliğinin ölçülmesi. Yüzey ve alt yüzey sertliğinin ölçümü.	Betonun mukavemetinin, uniformluğunun ve niteliğinin belirlenmesinde kullanılır.	Deney düzeni basit ve dayanıklıdır. Betonun yüzey kalitesinin tespiti için iyi bir yöntemdir.	Küçük alanlarda hasar oluşturmaz. Mukavemet duyarlı olarak tahmin edilemez.
Ultrases titreşim hızı	Betonda basınç dalgalarının oluşturan titreşimlerin geçiş zamanı belirlenir.	Betonun niteliğinin ve uniformluğunun belirlenmesinde ve betondaki boşluk yerlerinin tespit edilmesinde kullanılır.	Deney kısa sürede gerçekleştirilebilir. Boşluklar da kısa sürede belirlenebilir. Betonda hasar oluşturmaz.	Mukavemet duyarlı şekilde belirlenemez. Sonuçların yorumlanması uzmanlık ister. Nem de etkileyebilir.
Endoskop	Mercek ve aydınlatma sistemleri iç oyukları araştırmak için küçük çaplı bir deliğe sokulur.	Öngörülen kırıklar boyuna boşluklar için denetlenmesinde kullanılır.	Baska türlü erişilemeyen bölümlerin doğru incelenmesini sağlar.	Endoskop için delikler açılmalı ve delik boyuyla bağlantılı olmalıdır.
Radyografi (X-ışını)	Gama radyasyonu betonun içinden geçerken incelenir (daralır). İncelenen kapsamı betonun yoğunluğu ve kalınlığı belirler.	İçsel çatlakların yerlerinin, boşlukların yoğunluk değişimleri ve betonun bileşiminin belirlenmesinde kullanılır. Ayrıca donatı yerlerinin tespit edilmesini sağlar.	Taşıması kolaydır. İçsel kusurları belirler. Betonda hasar oluşturmaz.	Radyasyon şiddeti artırılmaz, radyasyon tehlikeli olabilir. Elemanın hasarlı iki yüzüne erişilebilmelidir.
Radars	* Yüksek frekanslı elektro-manyetik titreşimler betona uygulanır ve yansıyan titreşimler grafik olarak tespit edilir.	Boşluk ve donatı yerlerinin belirlenmesinde kullanılır.	Beton elemanının yüzeyi altındaki durumun kısa sürede belirlenmesini ve kayda geçirilebilmesini sağlar. Betonda hasar oluşturmaz.	Deneyim henüz azdır. Yöntem gelişme aşamasındadır.

Tablo 9.3 Fiziksel deneyler (devam)

Deney yöntemleri	İlke	Başlıca uygulama alanı	Olumlu yönleri	Sınırları
Tabakalaşma belirleyici cihaz	Çarpma enerjisinin yansıyan şiddeti belirler ve çözülür.	Beton yüzeyinin altındaki tabakalaşmaların ve boşlukların belirlenmesinde kullanılır.	Betonda hasar oluşturmaz.	Deneyim sınırlıdır. Yöntem gelişme aşamasındadır.
Termografi	Betonun ısınması ve soğuması sırasındaki yüzeysel ısı farklılıklarının belirlenmesi için kızıl-ötesi (infra-red) radyasyonun ölçülmesi.	Beton yüzeyi altındaki boşlukların ve tabakalaşmaların belirlenmesi için kullanılır.	Taşınabilir. İnceleme sonuçlarının sürekli kayıtlarla (fotoğraf) tespit edilebilmesini sağlar.	İkincil ısı etkileri gözönüne alınmamalıdır. İki farklılık küçük, küçüktür.
Tomografi	Yassı yelpaze biçimindeki gama-ışınları ya da pısal eleman içinden geçerken incelenir.	Bosluklar ve donatı yerlerinin belirlenmesinde kullanılır.		Pahalı bir yöntemdir. Yöntem gelişme sürecindedir.
Ortu ölçer	Elektrikle uyarılan bir bobinle alternatif akım oluşturulur.	Donatı çubuklarının yerlerinin ve derinliklerinin belirlenmesinde kullanılır.	Ucuzdur, taşınabilir, kullanılması kolaydır.	Manyetik agregalardan etkilenir. Çelik yoğunlaşması olan durumlarda güvenilir olmaz. Donatı yüzeye yakın olmalıdır.
Emme	Boyutları belirli fırınlanmış numune soğutulur ve 30 dakika su içinde bekletilir.	Betonun niteliğinin ve özellikle dayanıklılığı ile ilişkili su emmesinin belirlenmesinde kullanılır.		Çok duyarlı on ayarlamaları gerektirir.
Gecirimlilik	Beton içinden geçen su miktarının ölçülmesi.	Donatının örtübetonla koruma derecesini belirler.	Potansiyel dayanıklılığı göstergesidir.	Çok duyarlı on ayarlamaları gerektirir.
Başlangıç yüzey emmesi deneyi	Beton içinden geçen su miktarının ölçülmesi.	Beton kalitesinin belirlenmesinde kullanılır.	Gözüken agregaya ya da profil yüzeylerde, su geçirmez katmanın elde edilebilmesi için kullanılır.	Su geçirmez katmanın elde edilmesi güçtür. Genellikle deney sırasında deney
Sızıntı arama	Yüzeyle donatı arasındaki elektrik direncinin saptanması.	Gecirimsiz olması istenen kabuk yapılarında sızıntının belirlenmesinde kullanılır.		Alan üzerinde, en az 25
Oksijen yayımı (nufuzu)	Beton yapıya oksijen girişi miktarının ölçümü.	Maksimum teorik paslanma miktarının belirlenmesinde kullanılır.		Çok duyarlı on ayarlamaları gerektirir.
Karbondioksit yayımı	Beton yapıya karbondioksit girişi miktarının ölçümü.	Karbonatlaşma miktarının tahmin edilmesinde ve dolayısıyla muhtemel paslanmadan önceki zamanın belirlenmesini sağlar.		Çok duyarlı on ayarlamaları gerektirir.
Hava doluluğu	Stero mikroskop ile boyayla geçirimsizleştirilmiş beton numunenin incelenmesi.	Cimento hamurunun donma ve erime çevrimine karşı etkili koruma derecesinin belirlenmesinde kullanılır.		
Agrega tipi	Cekirdek numuneden kesilen bir dilimin görsel incelemeye belirlenmesi.	Cimento karışımında kullanılan agreganın tanınması için.		Uzmanlaşmış olmayı gerektirir.

Belirleyici bir beton örnek elde etmek için karot çapı 150 mm olmalıdır. Donatının yoğun olduğu bölgelerde ise, 100 mm. çaplı karotlar çıkarılabilir. Karot boyu ile çapı arasındaki oran 1,0~1,2 olmalıdır. Böyle olmadığı zaman, belirlenen mukavemet bir düzeltme katsayısıyla çarpılmalıdır. Karot uç yüzeyleri, düz ve birbirine paralel olmalıdır ve gerekiyorsa uçlarına kapak geçirilmelidir.

Herbir karot, gereksenen deney boyunun sağlandığını belirlemek için incelenir, etiketlenir ve fotoğrafı çekilir.

9.3.1.2 Geri-tepmeli çekiç (Schmidt Çekici)

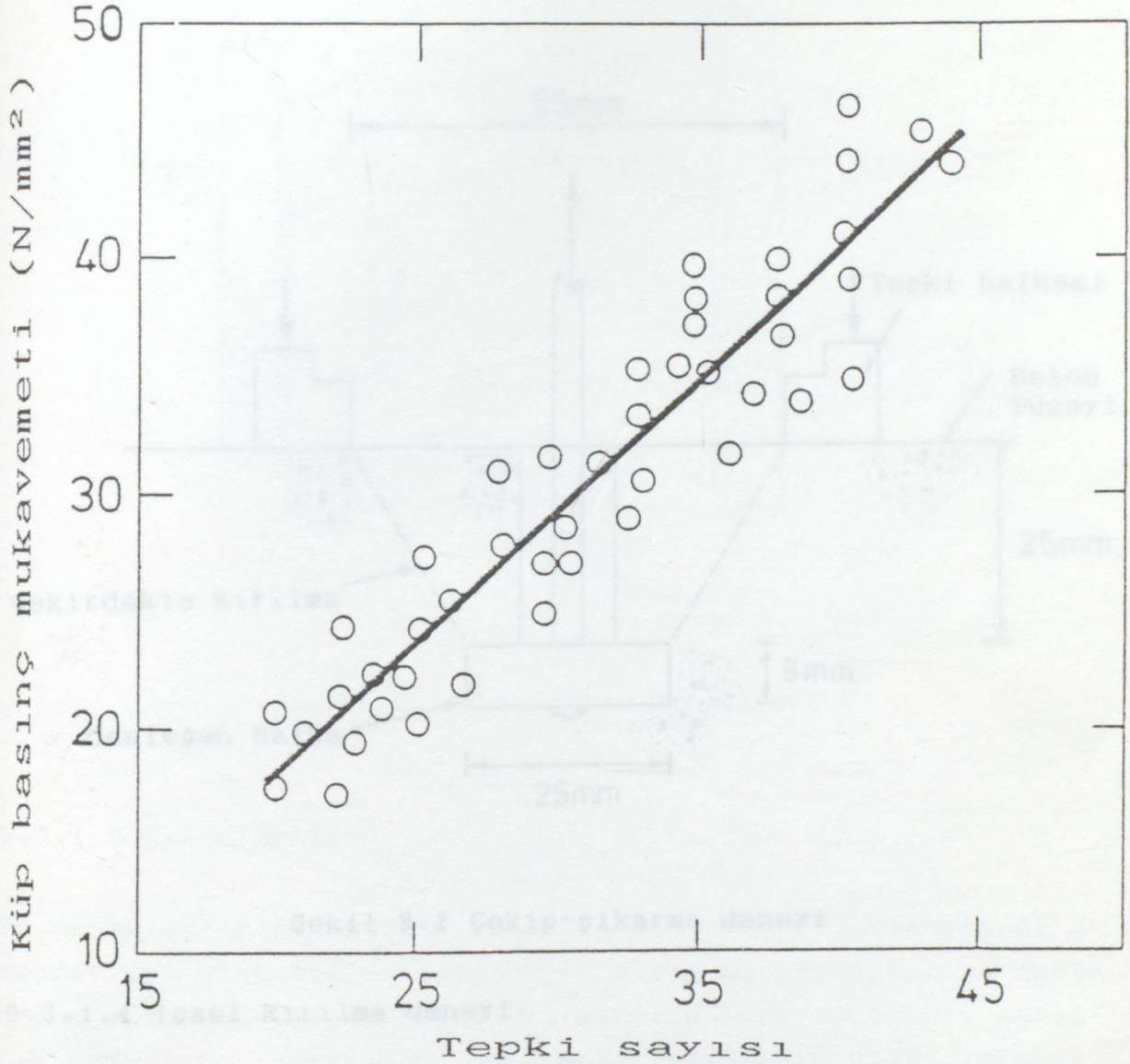
N tipi Schmidt Çekici, öncelikle, bir beton eleman yüzeyinin sertliğinin ölçülmesinde kullanılır. Deney, Brinell metal sertliği deneylerinin benzeridir. Belirli bir enerjiyle, bir kütlenin fırlatılması esasına göre çalışır. Bu kütle, betonla temas halinde olan bir çelik örstür.

"Geri tepme numarası" terimi ile adlandırılan geri tepme (geri yaylanma) yüzdesi, çekicin yanında gözükür. Alet, örtübetonun niteliksel şekilde değerlendirilmesini sağlar. Bu bağlamda, deney sonuçlarının yorumlanabilmesi için, deneysel ölçütlerin konulması gerekir. Bu amaçla, deney yapılan alan üzerinde, en az on okuma yapılmalı ve okumaların ortalama değeri, örtübeton için belirleyici değer kabul edilmelidir. Değerlendirme ölçütleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Schmidt Çekici (N tipi) değerlendirme ölçütü

Ortalama geri tepme	Örtübeton niteliği
> 40	İyi, sert tabaka
30 - 40	Geçerli
20 - 30	Zayıf
< 20	Çatlakların veya yüzeye yakın tabakalaşmaların oluşumunu belirtir.

Schmidt Çekici ile beton mukavemeti de yaklaşık olarak belirlenir. Bu amaçla, alet üzerindeki ayarlama eğrisi kullanılır (Şekil 9.1). Mukavemetin daha duyarlı belirlenmesi isteniyorsa yapıdan çıkarılan karotlar üzerinde deney yapılmalıdır.



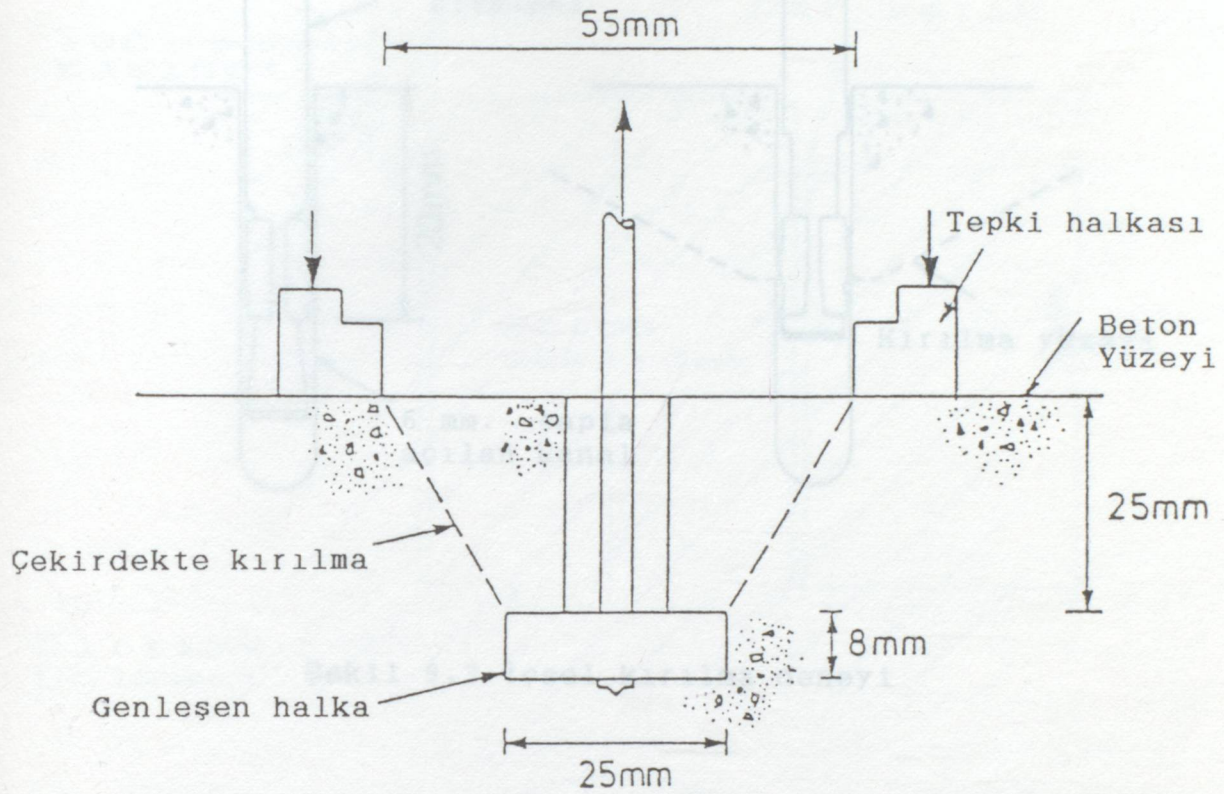
Şekil 9.1 Tepki sayısı-beton mukavemeti ilişkisi

9.3.1.3 Çekip-çıkarma deneyi

Beton yüzeyinden bir çekirdek (Karot) çekip çıkarılır ve deneysel bir ayarlamayla, bu iş için gerekli kuvvetin karşılığı beton mukavemeti belirlenir.

Standart Capo Deneyi şu şekilde gerçekleştirilir : Betonda 15 mm genişliğinde bir delik açılır. Delik, dipte, eni 25 mm olacak

şekilde genişletilir (Şekil 9.2). Bu deliğe, genleşebilen bir halka sokulur ve dipteki oyuğa yerleştirilir. Sonra, bu halka somuna bağlı civata, bir hidrolik kriko ile çekip çıkarılır ve kırılmayı oluşturan kuvvet belirlenir.



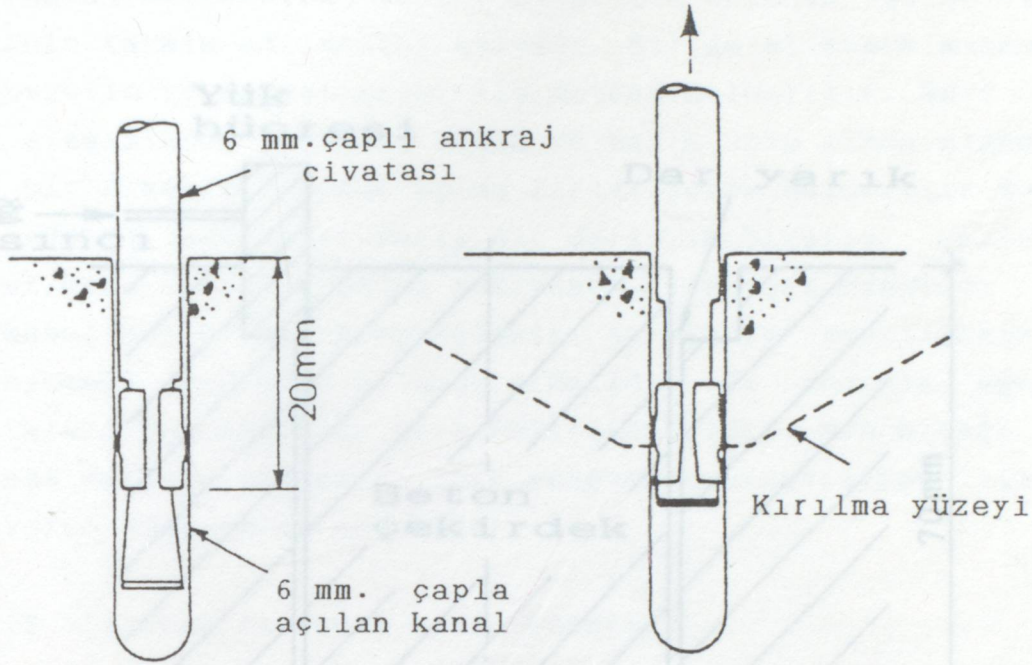
9.3.1.5 Çekme deneyi

Bu deney, beton Şekil 9.2 Çekip-çıkarma deneyi

9.3.1.4 İçsel kırılma deneyi

Betonun çekme mukavemetinin belirlenmesi için yapılan bir deneydir. Bu mukavemet, betona kamalama (takozlama) yoluyla tespit edilen 6 mm çaplı ankraj çivatasının çekip çıkarılması için gerekli kuvvet aracılığıyla belirlenir. Bu amaçla, betonda 6 mm genişliğinde ve 30-35 mm derinliğinde bir delik açılır. Deliğe genleşen kılıflı (bilezikli) bir ankraj çivatası sokulur (Şekil 9.3). Sonra, örnekte, şişe mantarı çıkarmaya yarayan bir düzene benzer bir düzene civata çekilir, içsel kırılmayı oluşturan kuvvet ve dolayısıyla betonun çekme mukavemeti belirlenir.

Bundan kopuncaya dek üstten çekirdek eksenine dik kuvvet uygulanır (Şekil 9.4).



Şekil 9.3 İçsel kırılma deneyi

9.3.1.5 Çekme deneyi

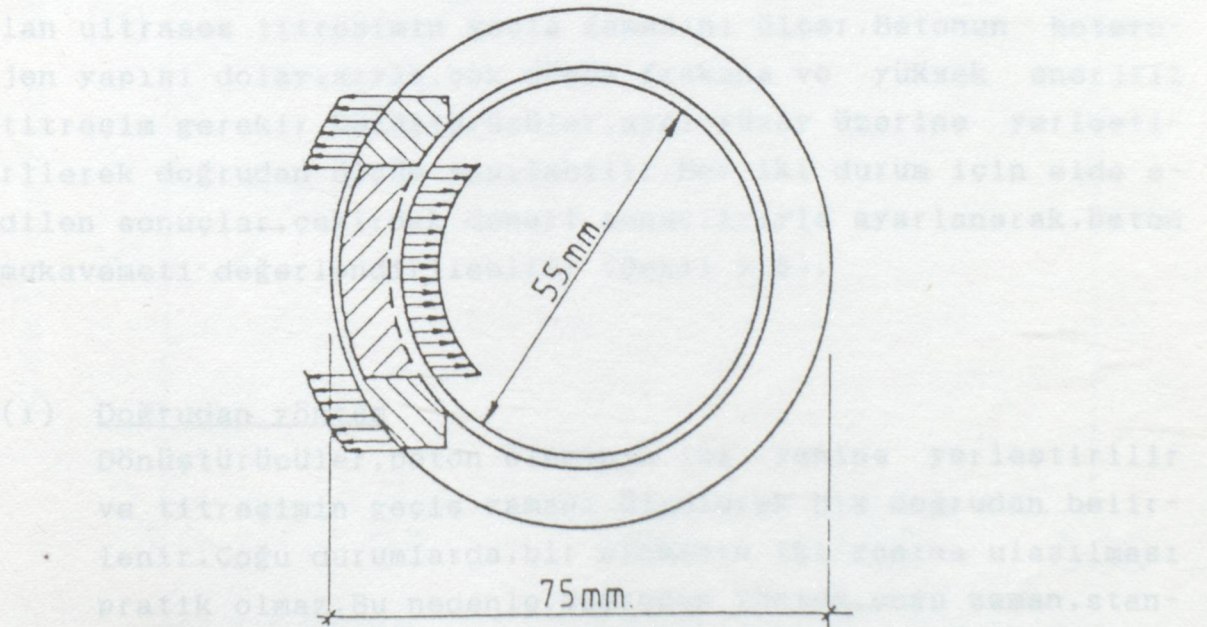
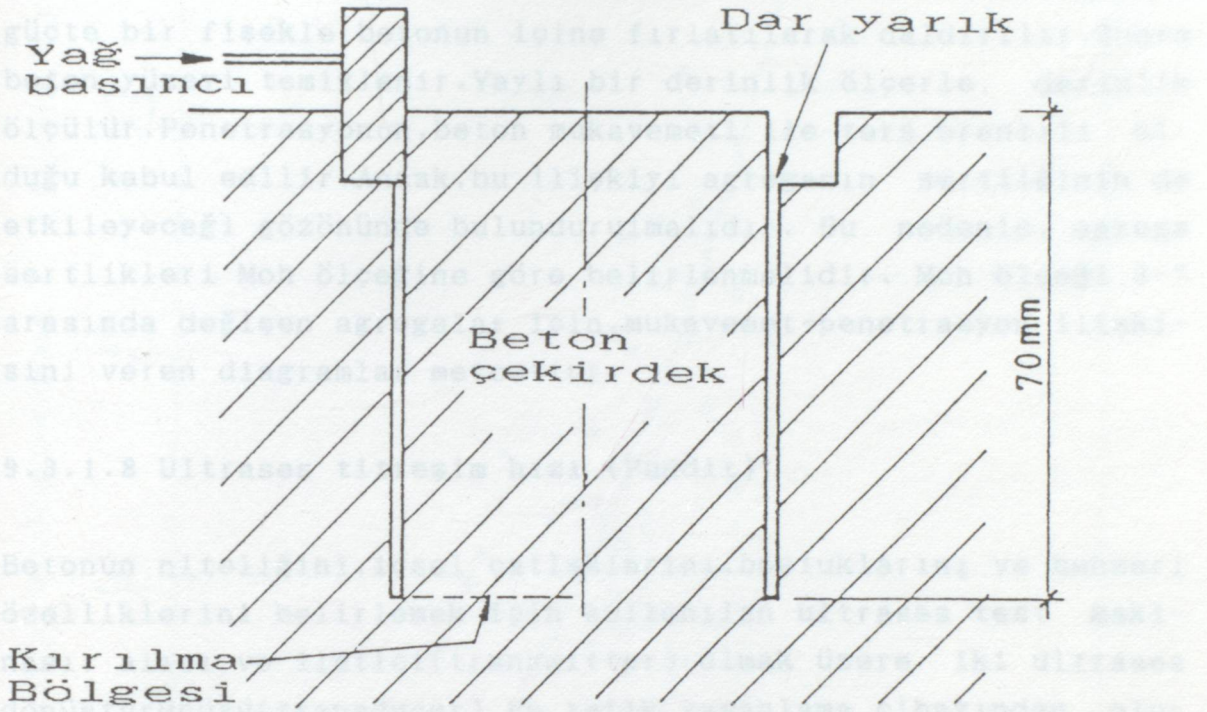
Bu deney, beton çekme mukavemetinin doğrudan belirlenmesini amaçlar. Dairesel biçimli çelik bir plaka, bir epoksi reçineyle beton yüzeyine yapıştırılır. Sonra, beton yüzeyinden bir parçanın kopmasını sağlayan kuvveti belirlemek için plaka sökülür. Çekme mukavemeti, çekme doğrultusuna dik çekirdek alanı ya da boyun alanı esas alınarak hesaplanır.

9.3.1.6 Koparma deneyi

Deney, beton yüzeyinden belirli bir derinlikte, yüzeye paralel bir düzlemdeki eğilme mukavemetinin belirlenmesi için yapılır. Taze betonun içine bir tüp yerleştirilir. Sertleşmiş betonda bu işlem, beton delinerek yapılır, tüp çıkarılır. Beton çekirdek dibinden kopuncaya dek üstten çekirdek eksenine dik kuvvet uygulanır (Şekil 9.4).

9.3.1.7 Penetrasyon mukavemeti (Windsor Sonda Deneyi)

Deney, daldırma (penetrasyon) derinliği ile betonun basınç mukavemetinin tahmin edilmesini amaçlar. Bir metal çubuk, standart bir kuvvetle yük hücresi ile betona daldırılır. Sert bir çelik alaşımın konik ve basık ucu sonda, standart



- (i) Doğrudan z...
Dönüştür...
ve titrasyon...
lenir. Çoğu...
pratik olma...
dort çekirdek...
zı çekirdek...
Deneylerin...

Şekil 9.4 Koparma deneyi

9.3.1.7 Penetrasyon mukavemeti(Windsor Sonda Deneyi)

Deney,daldırma(penetrasyon)derinliği ile betonun basınç mukavemetinin tahmin edilmesini amaçlar. Bir metal çubuk,standart bir kuvvetle ya da patlayıcı ile betona daldırılır. Sert bir çelik alaşımından yapılmış konik ve basık uçlu sonda,standart güçte bir fişekle betonun içine fırlatılarak daldırılır.Sonra beton yüzeyi temizlenir.Yaylı bir derinlik ölçerle, derinlik ölçülür.Penetrasyonun,beton mukavemeti ile ters orantılı olduğu kabul edilir.Ancak,bu ilişkiyi agreganın sertliğinin de etkileyeceği gözönünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, agregası sertlikleri Moh ölçeğine göre belirlenmelidir. Moh ölçeği 3-7 arasında değişen agregalar için,mukavemet-penetrasyon ilişkisini veren diagramlar mevcuttur.

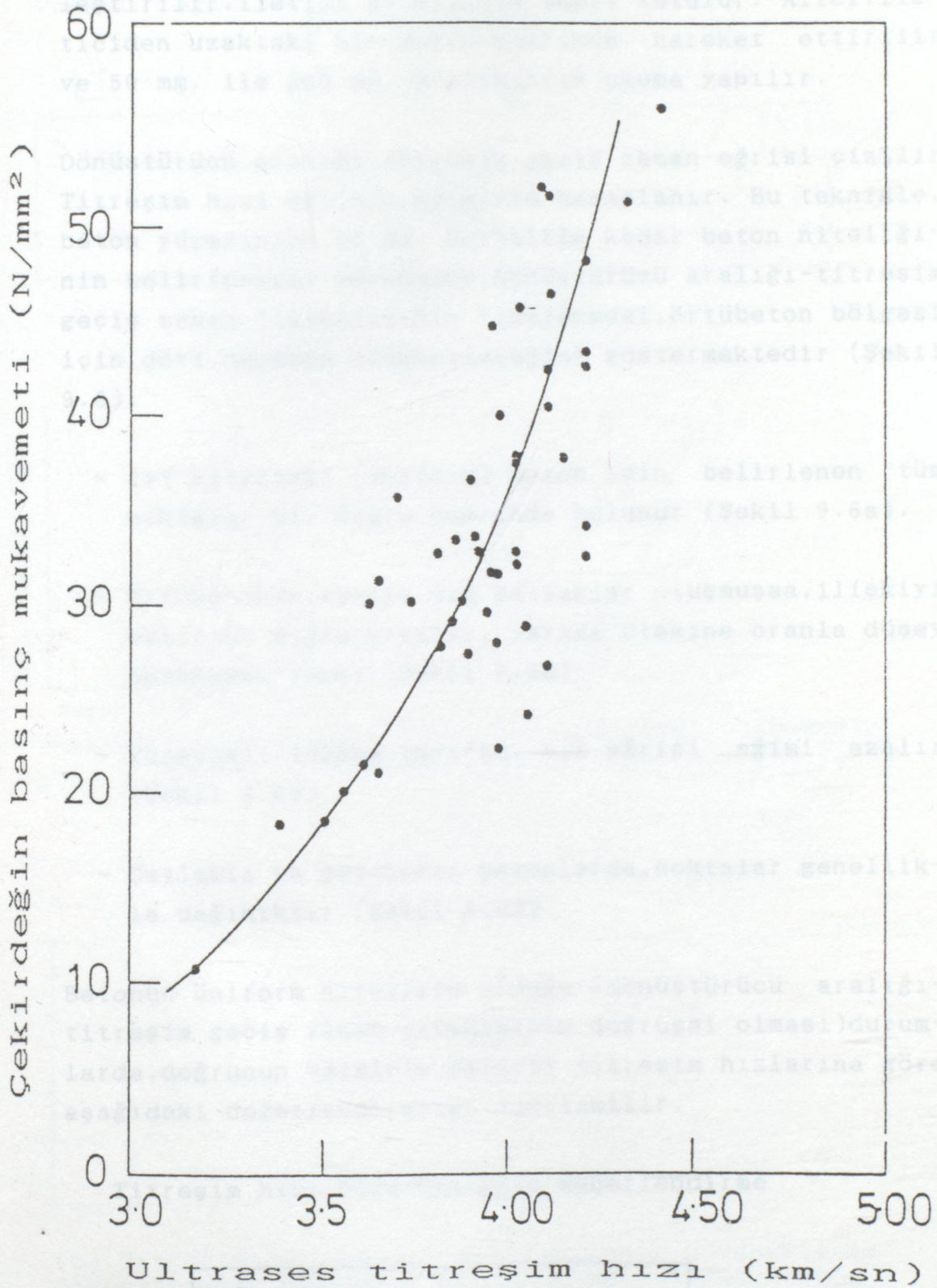
9.3.1.8 Ultrases titreşim hızı (Pundit)

Betonun niteliğini,içsel çatlaklarını,boşluklarını ve benzeri özelliklerini belirlemek için kullanılan ultrases test makinası, alıcı ve iletici(transmitter) olmak üzere iki ultrases dönüştürücüsü(transducer) ve tetik zamanlama cihazından oluşur.Bu alet,beton içinden geçerek,ileticiden alıcıya aktarılan ultrases titreşimin geçiş zamanını ölçer.Betonun heterojen yapısı dolayısıyla,çok düşük frekans ve yüksek enerjili titreşim gerekir.Dönüştürücüler,aynı yüzey üzerine yerleştirilerek doğrudan ölçüm yapılabilir.Her iki durum için elde edilen sonuçlar,çekirdek deneyi sonuçlarıyla ayarlanarak,beton mukavemeti değerlendirilebilir (Şekil 9.5).

(1) Doğrudan yöntem

Dönüştürücüler,beton elemanın iki yanına yerleştirilir ve titreşimin geçiş zamanı ölçülerek hız doğrudan belirlenir.Çoğu durumlarda,bir elemanın iki yanına ulaşılması pratik olmaz.Bu nedenle,doğrudan yöntem,çoğu zaman,standart çekirdekler üzerinde ayarlama(ultrases titreşim hızı-çekirdek basınç mukavemeti ilişkisinin belirlenmesi) deneylerinin yapılmasında kullanılır.

Şekil 9.5 Ultrases titreşim hızı-Beton basınç mukavemeti ilişkisi



Şekil 9.5 Ultrases titreşim hızı-Beton basınç mukavemeti ilişkisi

(11) Doğrudan olmayan yöntem

Üssel kafalı dönüştürücüler beton elemanın yüzüne yerleştirilir. İletici genellikle sabit tutulur. Alıcı, ileticiden uzaktaki bir doğru üzerinde hareket ettirilir ve 50 mm. ile 300 mm. aralıklarla okuma yapılır.

Dönüştürücü aralığı-titreşim geçiş zaman eğrisi çizilir. Titreşim hızı eğrinin eğimiyle hesaplanır. Bu teknikle, beton yüzeyinden 50 mm. derinliğe kadar beton niteliğinin belirlenmesi mümkündür. Dönüştürücü aralığı-titreşim geçiş zaman ilişkilerinin irdelenmesi, örtübeton bölgesi için dört durumun oluşabileceğini göstermektedir (Şekil 9.6).

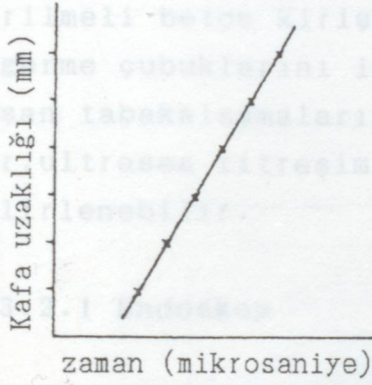
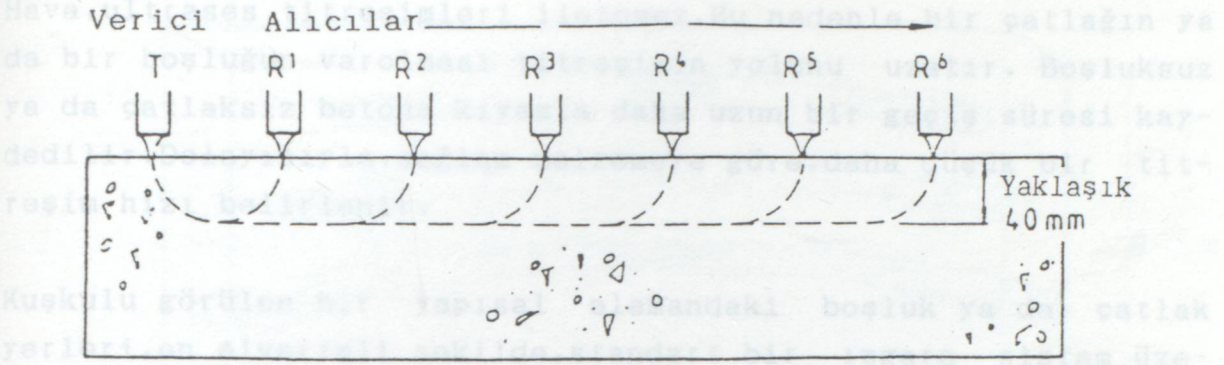
- ~ İyi nitelikli (üniform) beton için belirlenen tüm noktalar bir doğru üzerinde bulunur (Şekil 9.6a).
- ~ Örtübetonda, yüzeye dik çatlaklar oluşmuşsa, ilişkiyi belirten doğru kırılır, yarısı ötekine oranla düşey deplasman yapar (Şekil 9.6b)
- ~ Yüzeydeki tabaka zayıfsa, hız eğrisi eğimi azalır (Şekil 9.6c).
- ~ Çatlaklı ve gözenekli betonlarda, noktalar genellikle dağınıktır (Şekil 9.6d).

Betonun üniform nitelikte olduğu (dönüştürücü aralığı-titreşim geçiş zaman ilişkisinin doğrusal olması) durumlarda, doğrunun eğimiyle belirli titreşim hızlarına göre aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir.

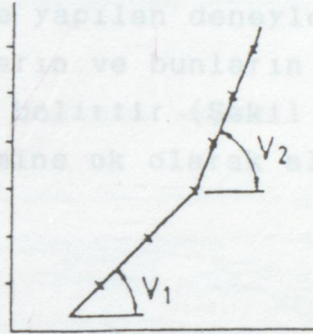
Titreşim hızı ölçütüne göre değerlendirme

Titreşim hızı (km/sn)	Örtübeton niteliği
> 4	İyi
3 - 4	Geçerli
< 3	Niteliksiz

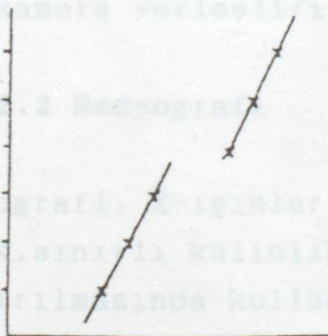
9.3.2 Boşluk araştırılması



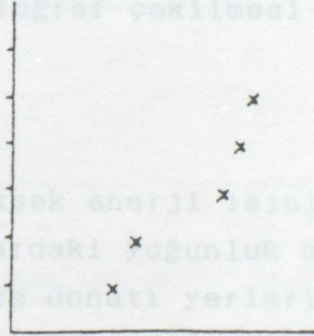
(a) Üniform/Homojen Beton



(c) Yüzeydeki tabakanın zayıf olması durumu $V_2 > V_1$



(b) Örtübetonda yüzeye dik çatlaklar oluşmuşsa



(d) Betonun gözenekli ve çatlaklı olması durumu

Şekil 9.6 Ultrases titreşim hızıyla doğrudan olmayan ölçüm

9.3.2 Boşluk araştırılması

3. Hasar görmemiş

Hava, ultrases titreşimleri iletemez. Bu nedenle, bir çatlağın ya da bir boşluğun varolması titreşimin yolunu uzatır. Boşluksuz ya da çatlaksız betona kıyasla daha uzun bir geçiş süresi kaydedilir. Dolayısıyla, sağlam malzemeye göre, daha düşük bir titreşim hızı belirlenir.

Kuşkulu görülen bir yapısal elemandaki boşluk ya da çatlak yerleri, en elverişli şekilde, standart bir ızgara sistem üzerinde doğrudan ölçüm yapılarak belirlenir. Elemanın kalınlığı değişmiyorsa, geçiş sürelerine ilişkin "çevre haritası" (contour map) boşlukların kapsadığı alanı gösterir (Şekil 9.7). Gene, öngerilmeli beton kirişler üzerinde yapılan deneylerin sonuçları öngerme çubuklarını içeren boruların ve bunların civarında oluşan tabakalaşmaların yerlerini belirtir (Şekil 9.7). Boşluklar, ultrases titreşim hızı yöntemine ek olarak altı yaklaşımla belirlenebilir.

9.3.2.1 Endoskop

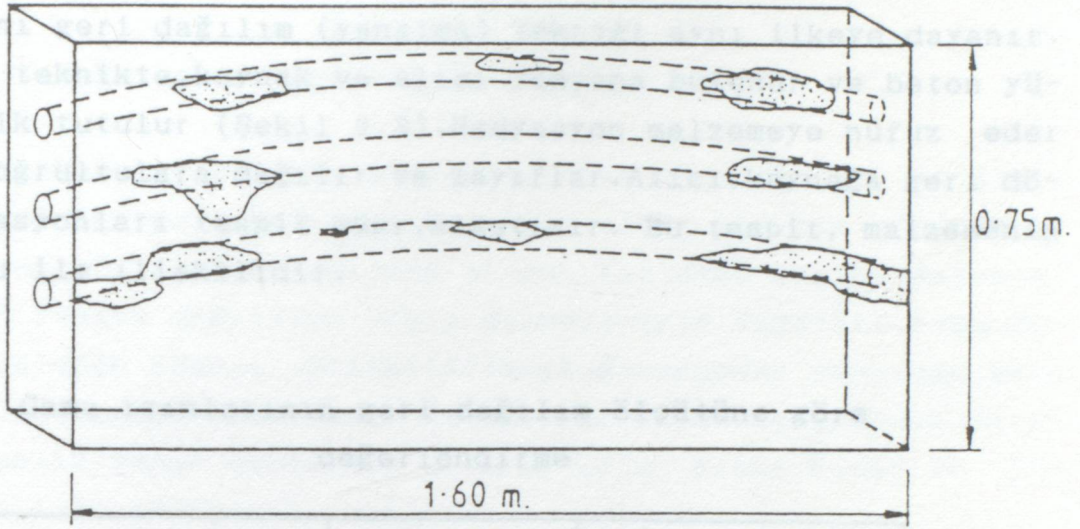
Endoskop, bir demet eğilebilir optik liflerden, mercekten ve aydınlatma sisteminden oluşur. Çimento harcıyla korunan öngerme kabloları boyunca boşluk araştırılmasında kullanılır. Betonda ve koruyucu boruda, küçük çaplı (10 mm. gibi) bir delik açılır. Endoskop deliğe sokulur ve oyuk araştırılır. Endoskop'un ucuna bir kamera yerleştirilmesi ve fotoğraf çekilmesi de mümkündür.

9.3.2.2 Radyografi

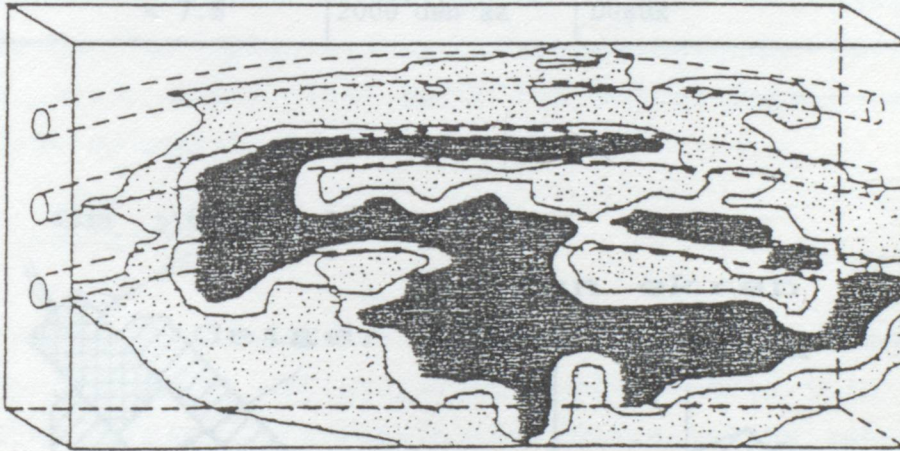
Radyografi, X-ışınları ya da yüksek enerji ışınları kullanılarak, sınırlı kalınlıkta elemanlardaki yoğunluk değişiminin araştırılmasında kullanılır. Böylece donatı yerlerini ve boşlukların yerlerini gösteren bir film elde edilir.

X-ışınları ve yüksek enerji ışınları, elektro-manyetik yelpazenin, enerjinin yüksek olduğu ucunda yer alır. Bu ışınlar, malzemeye nüfuz ettiği zaman, onun yapısına ve sıklığına göre zayıflarlar. Malzemenin bir yanına radyasyon kaynağı, öteki yanına a-

a. Hasar görmemiş



b. Hasar görmüş (Aşırı yüklemekten sonra)



GÖRÜNEN HIZ		
Doğrudan yol	> 3.6 km/sn	
Çatlama ya da boşluklar tarafından	$3.2 \cdot 3.6$ km/sn	
Engellenmiş yol	$2.6 \cdot 3.2$ km/sn	
	≤ 2.6 km/sn	

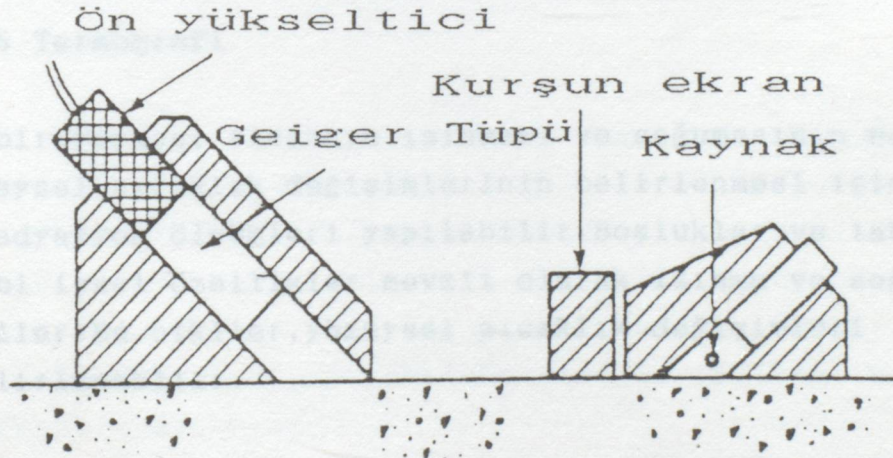
Şekil 9.7 Boşluk ve çatlak yerlerinin belirlenmesi

lıcı (fotoğraf levhası vb.) konulur. Böylece sıklık ya da yoğunluk belirlenir.

Gama-ışını geri dağılım (yansıma) tekniği aynı ilkeye dayanır. Ancak, bu teknikte, kaynak ve alıcı yanyana bulunur ve beton yüzeyine dik tutulur (Şekil 9.8). Radyasyon malzemeye nüfuz eder ve tüm doğrultulara dağılır ve zayıflar. Alıcı, kaynağa geri dönen radyasyonları tespit eder, araştırır. Bu tespit, malzemenin yoğunluğu ile ilişkilidir.

Gama ışınlarının geri dağılım ölçütüne göre değerlendirme

Geri dağılım okuması (mm.çelik)	Yoğunluk	Beton niteliği
> 8.5	2300'den büyük	İyi
7.5 - 8.5	2000-2300	Ortalamanın altında
< 7.5	2000'den az	Düşük



Şekil 9.8 Geridağılımlı radyometre

9.3.2.3 Radar

Radar, yapıdaki boşlukların ve donatı yerlerinin belirlenmesinde kullanılır. Bir dönüştürücü aracılığıyla yüksek frekanslı elektro-manyetik titreşimler betonun içine yollanır. Boşluklar,

bu titreşimleri dönüştürücülere yansıtır ve radar kontrol biriminde sinyal oluşur. Dönüştürücüler beton yüzeyinde gezdirilerek, boşluk yerleri ve derinlikleri grafik olarak kaydedilir.

9.3.2.4 Tabakalaşmayı belirleyici cihaz

Betondaki tabakalaşmaları araştıran bir el aletidir. Bu alet, beton yüzeyine yerleştirilen bir ivme ölçer ile, bir çözümleyici/dijital gösterim biriminden oluşur. Yapıdaki basınç dalgaları, beton yüzeye indirilen çekiç darbeleriyle üretilir. İvme ölçer, çekiçlenen yüzeye yerleştirilerek, malzemeden yansıyan çarpma enerjisi dalgalarını alır. Cihaz, ivme ölçer tarafından üretilen genlik/zaman eğrisinin altında kalan alanı ölçer ve dijital şekilde okunmasını sağlar.

Hasar görmemiş bir beton yapı söz konusu olduğu zaman, çarpma enerjisinin küçük bir yüzdesi yansır. Bu da, agrega sınırlarından içsel süreksizliklerden, donatıdan ve malzeme homojenliğindeki değişimlerden kaynaklanır. Aksine durumda, betonda çatlaklar oluşmuşsa, çarpma enerjisinin büyük bir bölümü yansır ve dolayısıyla, büyük okumalar elde edilir.

9.3.2.5 Termografi

Beton bir yapısal elemanın ısınması ve soğumasının neden olduğu yüzeysel sıcaklık değişimlerinin belirlenmesi için kızıl ötesi radyasyon ölçümleri yapılabilir. Boşluklar ve tabakalaşmalar gibi içsel özellikler mevzii olarak ısınma ve soğuma hızını etkiler. Bu etkiler, yüzeysel sıcaklık değişimleri incelenerek belirlenebilir.

Beton yüzey, gündüz, güneş dolayısıyla ısınır, gece soğur. Bu olgu yazları oldukça belirginleşir. Günün en sıcak zamanında, betonun ısısı derinlikle azalır. Gece ise tersi olur. Tabakalaşmalar ve boşluklar bu sıcaklık eğimini ve dolayısıyla yüzey sıcaklığını etkiler.

9.3.2.6 Tomografi

Bilgisayar destekli tomografi, yapıdaki boşluk ve donatı yerlerinin belirlenmesinde kullanılabilir. Gama ışın kaynaklı detektörlerle tarama yapılarak boşluk ve donatı yerleri filme alınarak belirlenebilir.

9.3.3 Donatı yerlerinin belirlenmesi

Donatı yerinin ve donatının bulunduğu derinliğin belirlenmesinde, iki elektriksel yöntem kullanılabilir. Bu yöntemler, beton içindeki çeliğin, elektro-manyetik ve Eddy akımı alanlarına sahip olması ilkesine dayanır.

(1) Donatının büyüklüğünden ve yakınlığından etkilenen bir alternatif akımdan yararlanılarak oluşturulan bir "örtüölçer" (covermeter) ile donatının yeri ve derinliği ölçülür.

(11) Eddy akım tekniğiyle daha duyarlı bir düzen oluşturulabilir ve 200 mm. derinliğe kadar donatı yeri ve çapı belirlenebilir. Bu cihaza "Donatı-derinlik ölçeri" adı verilmektedir.

Çoğu durumlarda cihaz, beton yüzeyi üzerinde gezdirilen bir sonda kafasıyla donatılır. Ölçü aleti iğnesinin hareketi, donatı yerini gösterir. Sonda kafasının dönmesiyle de donatı çubuklarının doğrultusu belirlenir. Örtü derinliği ölçülmeden önce, izgara donatının durumu belirlenmelidir. Nedeni, donatıların kestiği noktalarda ölçüm yapılmamasını, derinliğin hatalı ölçülmemesini sağlamaktır.

Ayarlama ve şantiyede yapılan denetlemeler

Cihazla ilgili temel ayarlamalar kullanım süreçlerinde ana çizgileriyle belirtilmiştir. Çimentonun demir içermesi örtü okumalarını etkiler. Bu tür etkinin büyüklüğü, beton deney elementlerine çelik çubuk katılarak değerlendirilebilir. Manyetik agregaların varlığı, tekniği olumsuz yönde etkiler. Şantiyede ya

da laboratuvarda standart kalınlıktaki beton bloklara,yapıdaki gibi donatı yerleştirilir ve cihazla ölçüm yapılarak, gerekli ayarlamalar gerçekleştirilir.Ayrıca,delik açma yoluyla donatı yerleri tespit edilebilir ve gerekli ayarlamalar yapılabilir.

9.3.4 Su penetrasyonu

9.3.4.1 Emme

Bu deney,özellikle,betonun dayanıklılığıyla ilgili niteliğini belirtir.Standart deney için 75 mm. çapında,75 mm. boyunda ve 105°C sıcaklıktaki fırında kurutulmuş çekirdek kullanılır.Numune,oda sıcaklığında soğutulur,sonra,30 dakika suda tutulur.Emme,kuru ağırlığın yüzdesi ile belirtilir.Emme deneyi değerlendirme ölçütleri aşağıda verilmiştir.

Emme değerlendirme ölçütleri
(Beton Birliği,Concrete Society,1985)

Emme, %	Betonda emme	Beton niteliği
< 3.0	Düşük	İyi
3.0-5.0	Orta	Orta
> 5.0	Yüksek	Niteliği düşük

Bu bağlamda,başka bir emme deneyi de şöyle gerçekleştirilir : Bir beton dilimin bir kenarı suya sokulur. Su,kılcallık etkisiyle beton içinde yükselir.Belirli zaman aralıklarıyla numunenin ağırlığı ölçülür.Birim enkesit alanının, birim zamanda emdiği su hacmi hesaplanır.Bu hacim,kılcal boşlukların doğrudan olmayan yolla ölçülmesi ve dolayısıyla numunenin geçirimliliğinin belirlenmesi demektir.

9.3.4.2 Geçirimlilik deneyi

Geçirimlilik deneyi,suyun beton içindeki akış hızının belir-

lenmesi amacıyla yapılır. Dolayısıyla, donatının örtübeton tarafından korunma derecesini belirtir. Numune, deney havuzuna konulur ve bir yüzüne su basıncı uygulanır. Suyun betondaki akış hızıyla, geçirimlilik katsayısı hesaplanır. Geçirimlilikle ilgili değerlendirme ölçütleri aşağıdaki Tablo'da verilmiştir.

Geçirimliliğin değerlendirilmesine ilişkin ölçütler
(Beton Birliği, Concrete Society, 1985)

Geçirimlilik (ms)	Betonda geçirimlilik	Beton niteliği
$< 10^{-12}$	Düşük	İyi
$10^{-12} - 10^{-10}$	Orta	Orta
$> 10^{-12}$	Yüksek	Niteliksiz

9.3.4.3 Başlangıç yüzey emmesi deneyi

Suyun beton yüzeyi içinde akış hızının ölçülmesidir. Beton numune bir kaba konularak, kap suyla doldurulur. Bir kılcal tüple suyun betona girişi ölçülür ve emme hızı hesaplanır. Değerlendirme ölçütleri aşağıda gösterilmiştir.

Değerlendirme ölçütleri
(Beton Birliği, Concrete Society, 1985)

Akış ml/m ² /s				Beton Niteliği
10 dak. sonra	30 dak. sonra	1 saat sonra	Betonda emme	
< 0.25	< 0.17	< 0.10	Düşük	İyi
$0.25 - 0.50$	$0.17 - 0.35$	$0.10 - 0.20$	Orta	Orta
> 0.50	> 0.35	> 0.20	Yüksek	Niteliksiz

9.3.4.4 Sızıntı arama

Su geçirmemesi istenen kabuk yapılarıdaki sızıntı, yüzeyle donatı arasındaki elektriksel direncin ölçülmesiyle belirlene-

bilir.Yüzey üzerine ızgara şeklinde ıslatılmış süngerler konulur.Su geçirmez kabuğa sızan su,dirençte bir azalma oluşturur.Bu da sızıntı yerlerini belli eder.

9.3.5 Gaz yayımı

Betona gaz giriş hızının ölçülmesidir.Donatıdaki paslanma oranının ve paslanma başlamadan önceki zamanın belirlenmesini sağlar.

Oksijen yayımı

Silindirik beton numune,üst ve alt yüzleri açıkta kalacak şekilde,dairesel çelik bir halkayla kuşatılır.Basıncı,sıcaklığı ve akış hızı bilinen oksijenin,numunenin bir tarafından, aynı basınçta,sıcaklıkta ve akış hızında helyum gazının da öteki tarafından verilmesi ve oksijen yayım(nüfuz) katsayısının belirlenmesi esasına dayanır.

Oksijen yayımına ilişkin değerlendirme ölçütleri

(Beton Birliği,Concrete Society,1985)

28 gün oksijen yayım katsayısı	Betona nüfuzu	Beton niteliği
$< 5 \times 10^{-8}$	Düşük	İyi
$5 \times 10^{-8} - 5 \times 10^{-7}$	Orta	Orta
$> 5 \times 10^{-7}$	Yüksek	Niteliksiz

Oksijen yayım katsayısı,örtübeton kalınlığındaki oksijen akışının hesaplanmasını ve dolayısıyla maksimum teorik paslanma miktarının belirlenmesini sağlar.

Karbondioksit yayımı

Deney,oksijen yerine karbondioksit kullanılarak,oksijen yayımında olduğu gibi gerçekleştirilir.Karbondioksit yayım hızı

(miktarı, oranı) karbonatlaşmanın tahmin edilmesinde kullanılabilir. Dolayısıyla, karbonatlaşma oranına göre, muhtemel paslanma öncesi zaman dilimi belirlenebilir.

9.3.6 Hava doluluğu

Çimento hamurunu donma ve erime çevriminden koruyacak etkili hava boşluğu büyüklüğünün üst limiti 1 mm. dolayındadır. Boşluklar küresel ve üniform büyüklükte dirler. Hava doluluğu yüzdesi, boşlukların büyüklüğü ve dağılımı mikrometrik yöntemlerle belirlenebilir. Beton numune kesilir, düzeltilir, cilalanır, uygun bir boya içirilir ve verniklenir. Hava doluluğu iki yolla belirlenebilir:

- (1) Doğrusal tarama
- (11) Geliştirilmiş nokta sayımı teknikleri

Doğrusal tarama, hava boşluklarının toplam kesişme sayısının, boşluklar arasındaki toplam uzaklığın ve geriye kalanlar arasındaki toplam uzaklığın kaydedilmesidir. Geliştirilmiş nokta sayımı ise, boşluklara kesişen boşluklara ilişkin frekansların sistematik olarak belirlenmesidir.

Her iki teknikte de, hava boşluklarının büyüklüğü ve aralığı belirlenir. Büyüklük, belirli bir yüzeyle tanımlanır. Hamurun herhangi bir noktasından bir hava boşluğunun çevresine olan maksimum uzaklık "aralık katsayısı" terimiyle adlandırılır. Bu bilgilerden, çimento içeriği, toplam agrega içeriği ve hava içeriği de belirlenebilir.

9.3.7 Agrega tipi

Çekirdek numune ya da numuneden kesilen bir dilim üzerinde görsel inceleme yapılarak agrega tipi belirlenebilir. Agreganın tüm yüzleri, biçimi ve dokusu incelenir, agrega biçimi ve yüzey dokusuyla ilgili tablolar kullanılarak tipi belirlenir. Kaba agregalar en yakın büyüklüğe göre derecelendirilir. Kabuk silt ve kil gibi istenmeyen maddeler varsa bunlar kayda geçirilir.

9.4 Kimyasal ve elektro-kimyasal deneyler

Ayrıntılı bilgi Tablo 9.4'de gösterilmiştir.

Tablo 9.4 Kimyasal ve elektro-kimyasal deneyler

9.4.1 Betonun bileşenleri

Kimyasal deneyler, sertleşmiş betonda karışım tasarımı belirlenen beton bileşiminin sağlanıp sağlanmadığını araştırmak için yapılır; beton içeriği, agrega/çimento oranı, su/çimento oranı ve çimento tipi belirlenir.

Çimento içeriği ve agrega/çimento oranı

Çimento içeriğinin belirlenmesinde kullanılan bir yöntem, Portland çimentosunun kireçli bileşimlerinin ve silikatlarının sulandırılmış hidroklorik asitte çözülmesi ve erimesi esasına dayanır. Çözülmeyen kalıntı yüzdesiyle silis ve kalsiyum oksit içeriği belirlenir. Ayrıca, (yanmadan) kızışmadan dolay oluşan ağırlık kaybı da ölçülür. Çimento içeriği ve agrega/çimento oranı standart bağıntılar kullanılarak belirlenir.

Su/çimento oranı

Yerleştirme sırasında, kılcal boşluklara dolan su hacmi ve çimento hidratlarındaki su miktarı ölçülerek betonun su içeriği belirlenir.

Beton numune 105°C'de kurutulur ve karbon tetra klorit (CCl_4) içine batırılır. Ağırlıktaki artış ölçülür ve kılcal su yüzdesi belirlenir. Sonra, numune, ağırlığı sabitleşinceye kadar ısıtılır. 1800°C'deki nitrojen gazı uygulanarak yakılır ve su içeriği belirlenir. Kılcal su ile bileşimindeki su toplanarak, su/çimento oranı hesaplanır.

Çimento tipi

Kırılmış beton numunenin sulandırılmış hidroklorik asitte çözülmesiyle hazırlanan eriyikte, atomik spektrofotometre (radyasyonların ölçülmesi) ile Al_2O_3 ve Fe_2O_3 belirlenir.

Tablo 9.4 Kimyasal ve elektro-kimyasal deneyler

Deney yöntemleri	İlke	Temel uygulama	Olumlu yönleri	Sınırları
Cimento içeriği ve agrega cimento oranı	Kırılan betonun kimyasal çözülmesi	Cimento kesitin ve agrega / cimento oranının belirlenmesi		Kimyasal deneyin pahalı olması ve uzmanlaşmış olmayı gerektirmesi
Su / Cimento oranı	Cimentonun hidratasyon kılcal su içeriğinin belirlenmesi	Su / cimento oranını veren toplam su içeriğinin belirlenmesi		Kimyasal deneyin pahalı olması ve uzmanlaşmış olmayı gerektirmesi
Cimento tipi	Kırılan numunenin kimyasal çözülmesi	$Al_2O_3 : Fe_2O_3$ 0.9 = SPRC 1.5 = OFC		Kimyasal deneyin pahalı olması ve uzmanlaşmış olmayı gerektirmesi
Karbonatlaşma derinliği	Alkol ve su karıştırılmış fenolftalein solüsyonu yeni kesilmiş yüzeye püskürtülerek belirlenir.	Değerlendirme, karbonatlaşma donatı düzeyine ulaşmadan önce yapılmalıdır.	Basit, hızlı ve görsel incelemeyle belirlenebilir.	Yüzey hemen kesilip denenmelidir. Yalnızca karbonatlaşmanın kapsamını verir.
Donatı potansiyeli	Beton yüzeyi ile donatı arasındaki elektrik potansiyeli ölçülür.	Betondaki donatı durum saptaması	Ucuz ve makul ustalıkla kullanılabilir.	Donatıyla doğrudan bağlantı gerektirir. Donatı ortaya çıkarılması için örtübetonun sökülmesi gerekebilir.
Dirençlilik	Dörtlü bir elektrot dizisi beton yüzeyine dik olarak karşılıklı tutulur. Dış elektrotlardan geçen akım ve iç elektrot arasında düşen potansiyel ölçülür.	Donatının aktif hale gelmesinden sonra maksimum korozyon miktarının ölçülmesini sağlar.	Taşınabilir, ucuzdur ve ölçümler çabuk alınabilir.	Toprağın dirençliliği temel alınır. Donatıdan, neden, tuzlardan ve sıcaklık etkilerinden etkilenmesi nedeniyle yorumlanması zordur.

Korozyon riski	
Korozyon riski	Korozyon riski
< 0.6	< 0.4
0.6 - 1.0	0.4 - 1.0
> 1.0	> 1.0
Düşük	Orta
Yüksek	Yüksek

İngiltere'de Al_2O_3 / Fe_2O_3 oranı 0,9'dan küçükse, çimentonun sülfata (sülfrik asit tuzlarına) dirençli Portland çimentosu, oran 1,5'dan büyükse, normal Portland çimentosu olduğu kabul edilmektedir. Bu değerler arasındaki çimento türü tanımlanmaktadır.

Yüksek alüminli çimento kullanıldığından kuşkulaniyorsa, "Diferansiyel Termal Çözümleme" yoluyla, bu çimentonun varlığı belirlenebilir.

9.4.2 Klorit içeriği

Sertleşmiş betondaki klor asidi tuzları içeriğinin belirlenmesi, donatıdaki korozyon riskinin tahmin edilmesini sağlar. Betondaki klor asidi tuzları (Kalsiyum klorit gibi), onun orijinal karışımında bulunabilir ve beton derinliğince sabit düzeyde olabilir. Buzlanmanın önlenmesi için ya da deniz suyu dolayısıyla sertleşmiş betona kloritler giriyorsa, bunlar beton yüzeyi dolayında fazla olur ve derinlikle azalır. Penetrasyon eğiminin güvenilir şekilde elde edilebilmesi ve donatıdaki klorit yoğunluğunun tahmini için numuneler, farklı derinliklerden alınmalıdır. Bir deniz atmosferiyle temas eden betondan elde edilen klorit profili Şekil 9.9'da gösterilmiştir.

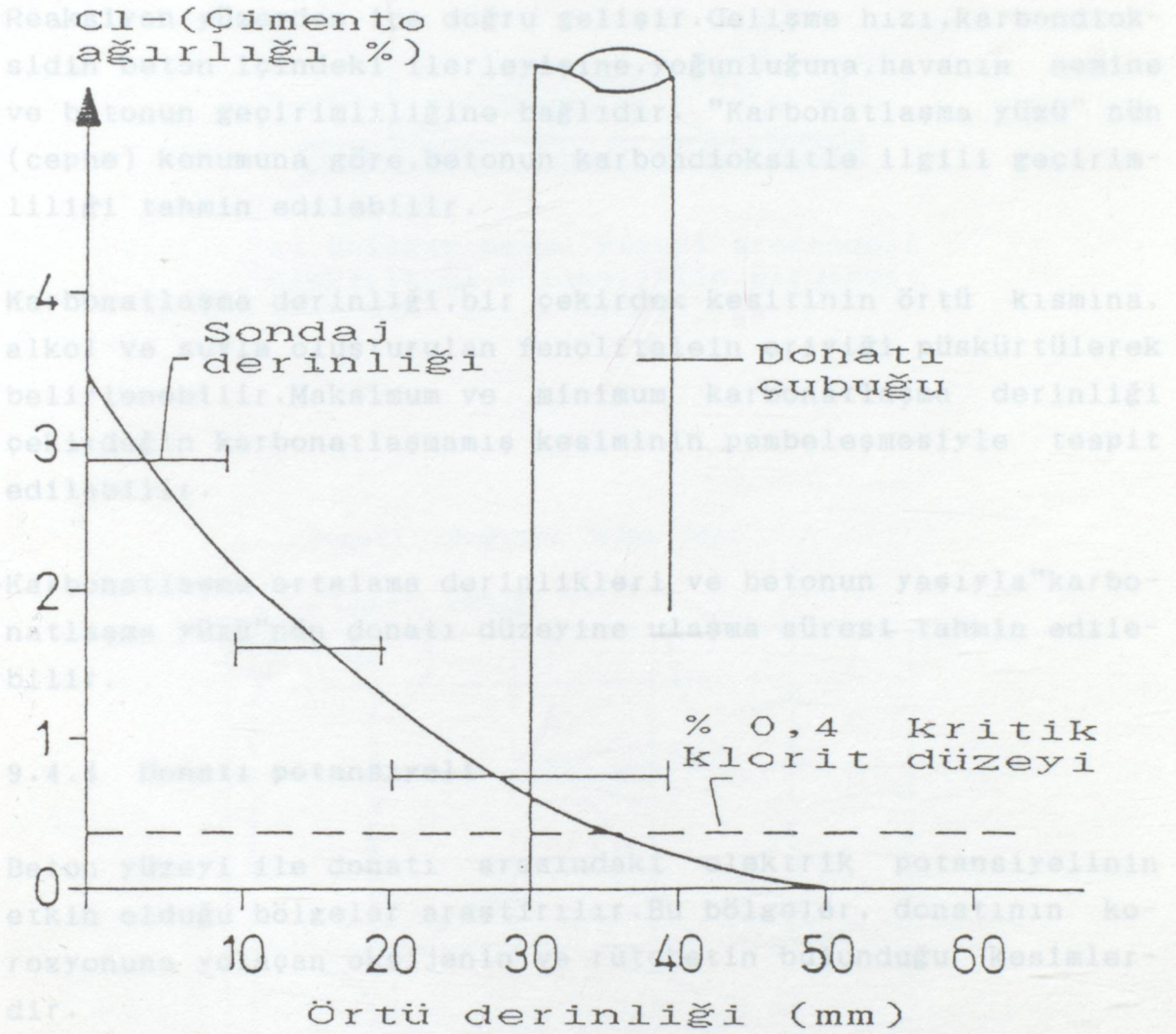
Kritik klorit düzeyi, karıştırma sırasında betona giren tuza (agrega, su ve katkı maddelerinden kaynaklanan) ya da daha sonra yüzeyden giren tuza bağlıdır. Donatı düzeyindeki kritik klorit düzeyleri aşağıda verilmiştir.

Kritik değerlendirme ölçütleri

%Cl-Çimento ağırlığına göre		Korozyon riski
Karışıma giren	Sonradan giren	
< 0.6	< 0.4	Düşük
0.6 - 1.0	0.4 - 1.0	Orta
> 1.0	> 1.0	Yüksek

9.4.3 Karbonatlaşma derinliği

Karbonatlaşma, hidratlaşma çimento bileşimlerinin (betondaki alkali maddeler) havadaki karbondioksitle birleşerek, kalsiyum karbonat haline dönüşmesidir. pH derecesi 11-11,5 olur. Eylemsizlik (passivation) için bu düzeyin altına inilmesi gereksizdir.



Şekil 9.9 Deniz atmosferi etkisinde kalan beton yapıda derinliğe göre klorit profili

9.4.3 Karbonatlaşma derinliği

Karbonatlaşma, hidratlaşmış çimento bileşimlerinin (betondaki alkali maddeler) havadaki karbondioksitle birleşerek, kalsiyum karbonat haline dönüşmesidir. pH derecesi 11-11,5 olur. Eylemsizlik (passivation) için bu düzeyin altına inilmesi gerekir.

Reaksiyon yüzeyden içe doğru gelişir. Gelişme hızı, karbondioksitin beton içindeki ilerleyişine, yoğunluğuna, havanın nemine ve betonun geçirimsizliğine bağlıdır. "Karbonatlaşma yüzü" nün (cephe) konumuna göre, betonun karbondioksitle ilgili geçirimsizliği tahmin edilebilir.

Karbonatlaşma derinliği, bir çekirdek kesitinin örtü kısmına, alkol ve suyla oluşturulan fenolftalein eriyiği püskürtülerek belirlenebilir. Maksimum ve minimum karbonatlaşma derinliği çekirdeğin karbonatlaşmamış kesiminin pembeleşmesiyle tespit edilebilir.

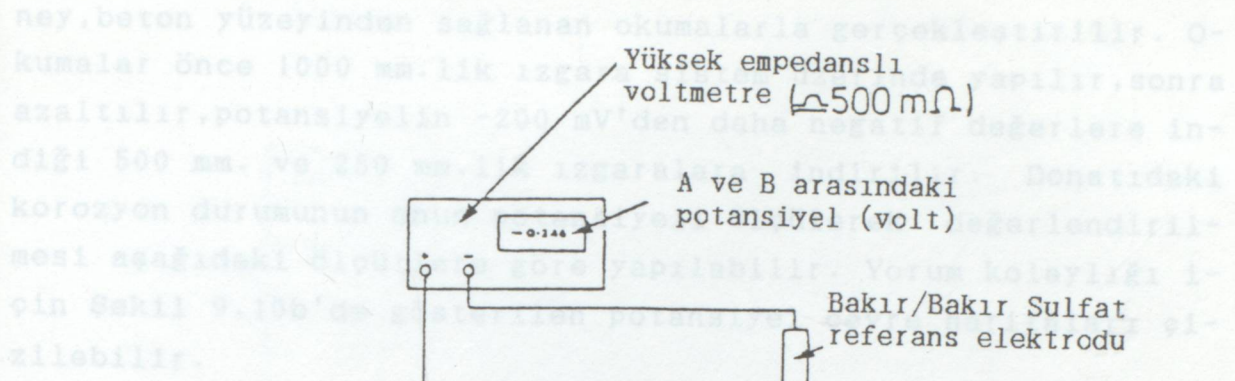
Karbonatlaşma ortalama derinlikleri ve betonun yaşıyla "karbonatlaşma yüzü" nün donatı düzeyine ulaşma süresi tahmin edilebilir.

9.4.4 Donatı potansiyeli

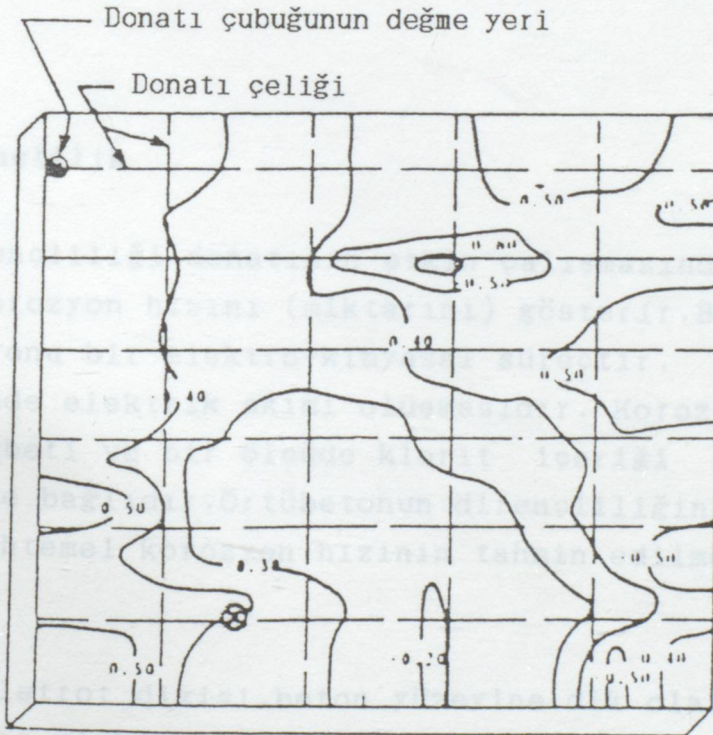
Beton yüzeyi ile donatı arasındaki elektrik potansiyelinin etkin olduğu bölgeler araştırılır. Bu bölgeler, donatının korozyonuna yolaçan oksijenin ve rutubetin bulunduğu kesimlerdir.

Bir elektrot ile beton yüzeyi ve donatı arasındaki potansiyel farkı belirlenir. Bu amaçla, bakır/bakır sülfat elektrodu beton yüzeyine yerleştirilir (Şekil 9.10a).

Deney, laboratuvar da gerçekleştirilen, bakır/bakır sülfat elektrodu, güçlü bağlantı telleri ve şarj edilebilir bir voltameterden oluşan düzenle yapılır. Donatıyla çeşitli yerlerde elektriksel bağlantı oluşturularak sürekliliği değerlendirilir. De-



a) Çelik ile beton yüzeyi arasındaki elektriksel potansiyelin ölçülmesi



b) Eşpotansiyel çevre haritası

Şekil 9.10 Donatı potansiyeli

ney, beton yüzeyinden sağlanan okumalarla gerçekleştirilir. Okumalar önce 1000 mm.lik ızgara sistem üzerinde yapılır, sonra azaltılır, potansiyelin -200 mV'den daha negatif değerlere indiği 500 mm. ve 250 mm.lik ızgaralara indirilir. Donatıdaki korozyon durumunun onun potansiyeli ölçülerek değerlendirilmesi aşağıdaki ölçütlere göre yapılabilir. Yorum kolaylığı için Şekil 9.10b'de gösterilen potansiyel çevre haritaları çizilebilir.

Potansiyel değerlendirme ölçütleri

Elektromekanik potansiyel	Korozyon ihtimali
> -200mV	5%
-200mV ile -350mV	50%
< -350mV	95%

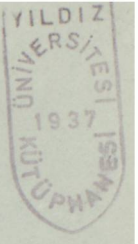
9.4.5 Dirençlilik

Betonun dirençliliği donatının etkin çalışmasından sonra oluşabilecek korozyon hızını (miktarını) gösterir. Betondaki çeliğin korozyonu bir elektro-kimyasal süreçtir. Betondaki su gözeneklerinde elektrik akımı oluşmasıdır. Korozyon miktarı, betonun rutubeti ve bir ölçüde klorit içeriği ile ilişkili iletkenliğine bağlıdır. Örtübetonun dirençliliğinin ölçülmesi, donatının muhtemel korozyon hızının tahmin edilmesini sağlayabilir.

Dörtlü bir eletrot dizisi, beton yüzeyine dik olarak karşılıklı tutulur. Dış elektrotlardan geçen akım ve iç elektrotlar arasında düşen potansiyel ölçülür. Maksimum hızının (miktarının) değerlendirilmesi için kullanılan ölçütler aşağıda verilmiştir.

Dirençlilik değerlendirme ölçütleri

Betonun dirençliliği (ohm cms)	Muhtemel korozyon hızı
> 20,000	İhmal edilebilir
10,000 - 20,000	Düşük
5,000 - 10,000	Yüksek
< 5,000	Çok yüksek



10.SONUÇ VE ÖNERİLER

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Varolan beton yapıların güvenilirliği ile ilintili kayıtların henüz hiçbir ülkenin ilgili yönetmelik ya da standartında bulunmadığını 7.Bölüm'de belirtmiştik. Varolan yapıların değerlendirilmesinde, yeni yapıların tasarımındaki yönetmelik ve standartların gözönüne alınması bazı soruları da beraberinde getirdiğinden, bu yapıların değerlendirilmesiyle ilgili bir model yönetmeliğine gereksinim vardır. Yeni yapılar için geçerli yönetmeliklerden farklı olacak böyle bir yönetmeliğin düzenlenmesinde şu konuların gözönünde bulundurulması önerilir :

- 1- Yönetmelikte, genellikle, yeni yapılar için, geçerli güvenlik düzeylerinin, varolan yapılarda da gerçekleşmesi öngörülmelidir.
- 2- Yönetmelikte, varolan yapılardaki yükleme durumlarıyla ilgili dağılımların ve yapıların gerçek bütünsel performanslarının, tasarımda kabul edilmesi muhtemel basitleştirilmiş dağılım ve yöntemlerden daha duyarlı yaklaşımlarla belirlenmesi ve tahmin edilmesi istenmelidir.
- 3- Yapının güvenlik düzeyi olabildiğince güvenilirlik modelleri kullanılarak irdelenmelidir.
- 4- Değerlendirme mühendisi için, bir kılavuz hazırlanmalıdır.

Varolan yapıların değerlendirilmesi, yeni yapıların tasarımından çok daha fazla deneyim ve yetenek isteyen bir olgudur. Bunun, ilgililer tarafından algılanması ve kurumsallaştırılması sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

1. CEB, "Diagnosis and Assessment of Concrete Structures", State of The Art Report, *Bulletin d'Information* 192, Lausanne, January 1989, 120 pp.
2. CEB, "Assessment of Concrete Structures and Design Procedures for Upgrading (Redesign)", *Bulletin d'Information* 192, Lausanne, August 1989, 288 pp.

SARTARÇALI, S. ÖZGEÇMİŞ

Betonarme Yapıların Onarımı ve/veya Değiştirilmesi İçin Yöntemlerin Tasarımı", Lisans Tezi, Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1991.

1967 yılında Ankara'da doğdum. İlk ve orta öğrenimimi Ankara'da, sırasıyla, Mimar Kemal İlkokulu ve Yükseliş Koleji'nde tamamladım. 1986 yılında, Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü kazanarak, dört yıl süren üniversite öğrenimim sonunda, 1990 yılında mezun oldum. Aynı yıl, Yüksek Lisans sınavını kazanarak, Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Bölümü Yapı Anabilim Dalı'nda, Yüksek Lisans eğitimine başladım. Aldığım dersleri başarıyla tamamlayarak Yüksek Lisans Tezi'mi hazırlamaya hak kazandım.

Lausanne, July 1988, 51 pp.

7. POINEAU, D., "Diagnostic et Processus de Décision" *Bulletin d'Information* 163, CEB, Lausanne, March 1984, pp. 147-166.

8. GÜNDOĞ, A., "Structural Risk Analysis and Reliability-Based Design of Reinforced Concrete Structures", *Bulletin of Technical University of Istanbul*, V. 41, No. 3, Istanbul, pp. 387-393.

9. GÜNDOĞ, A., "Yapısal Güvenlilik ve Betonarme Yapısal Sistemlerin Güvenliliğe Başarılı Tasarımı", *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası*, Cilt 2, Sayı 3, Ankara, Temmuz 1991, ss. 367-383.

K A Y N A K L A R

Final Report of

Commission 202. Lau-

1. CEB,"Diagnosis and Assessment of Concrete Structures", State of The Art Report, Bulletin d'Information 192, Lausanne, January 1989, 120 pp.
2. CEB,"Assessment of Concrete Structures and Design Procedures for Upgrading (Redesign)", Bulletin d'Information 162, Lausanne, August 1989, 288 pp.
3. SARIAKÇALI,S., "Hasar Görmüş ve/ya da Düşük Mukavemetli Betonarme Yapıların Onarımı ve/ya da Güçlendirilmesi(Yeniden Tasarım)", Lisansüstü Tezi, Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1986, 296 s.
4. BLOCKLEY,D., The Nature of Structural Design and Safety, Ellis Horwood, Chichester, England, 1980, 365 pp.
5. FITZSIMONS,N., "Guidance for Load Test of Buildings", Proceedings ASCE, V.101, ST7, July 1975, pp.1367-1380.
6. CEB,"General Principles on Reliability for Structures", A Commentrary on ISO 2394, Bulletin d'Information 191, Lausanne, July 1988, 51 pp.
7. POINEAU,D., "Diagnostic et Precessus de Décision" Bulletin d'Information 163, CEB, Lausanne, March 1984, pp.147-166.
8. GÜNDÜZ,A., "Structural Risk Analysis and Reliability-based Design of Reinforced Concrete Structures " , Bulletin of Technical University of Istanbul, V.41, No.3, Istanbul, pp. 387-399.
9. GÜNDÜZ,A., "Yapısal Güvenilirlik ve Betonarme Yapısal Sistemlerin Güvenilirliğe Dayanan Tasarımı", Teknik Dergi TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Cilt 2, Sayı 3, Ankara, Temmuz 1991, ss.367-383.

10. CEB,"Reliability of Concrete Structures ", Final Report of Permanent Commission 1, Bulletin d'Information 202, Lausanne, July 1991, 163 pp.
11. CEB,"Conceptional Preparation of Future Codes"Bulletin d'Information 147,Paris,February 1982,230 pp.
12. CEB,"CEB-FIP Model Code 1990 ",Final Draft, Chapters 1-3, Bulletin d'Information 203,Lausanne,July 1991,154 pp.
13. CEB,"Plain and Slightly Reinforced Concrete Structures,and Fatigue",Bulletin d'Information 185, Lausanne, May 1988, 202 pp.
14. CEB,"Basic Notes on Model Uncertainties",State of The Art Report,Bulletin d'Information 170,Lausanne,February 1985, pp.1-33.
15. GÜNDÜZ,A."Assessment of Model Uncertainties in Structural Design"; Yıldız Üniversitesi Dergisi,Sayı 4,İstanbul,1986 ss.65-76.
16. CEB,"CEB-FIP Model Code 1990",Final Draft, Chapters 4-10, Bulletin d'Information 204,Lausanne.July 1991,262 pp.
17. TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ(TSE)Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları (TS 500-84),Ankara,1984,75 s.
18. BRITISH STANDARTS INSTITUTION (BSI), Code of Practice for Structural Use of Concrete (CP 110,Part 1:Design,materials and Workmanship.November 1972),London,1980,154 pp.
19. ACI Committee 318,Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318 M-83),ACI Publication,Detroit,111 p.
20. CEB,"Durability of Concrete Structures", Workshop Report, Bulletin d'Information 152,Lausanne,April 1984,432 pp.

21. CEB,"Durable Concrete Structures",CEB Design Guide,Bulletin d'Information 182,Lausanne, June 1989, 268 pp.+Appendices.
22. CEB,"Durability of Concrete Structures", State of The Art Report, Bulletin d'Information 148, Paris, February 1982, 329 pp.
23. DUNHAM,C.W.,The Theory and Practice of Reinforced Concrete, McGraw-Hill,New York,1953,pp.415-450.
24. AKMAN,S.,Yapı Malzemeleri, İTÜ Kütüphanesi, Sayı 1336,İstanbul,1987,162 s.
25. POSTACIOĞLU,B.,Yapı Malzemesi Esasları,Cilt I, İTÜ Kütüphanesi,Sayı 637,İstanbul,1966,461 s.
26. BARADAN,B.,Yapı Malzemesi,Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yayını,İzmir,1987,209 s.
27. GRUN,R.,Yapı Mühendisleri ve Mimarlar İçin Kimya,Çeviren: N.Serdaroğlu,İTÜ Kütüphanesi,Sayı 279,İstanbul,1951,222 s.
28. AKMAN,S.,ve SEVİM,İ., "Ses Hızı ve Geritepme Birleşik Yıkıntısız Denetim Yöntemiyle Beton Mukavemeti Saptanmasında Faktörler",TÜBİTAK VII. Ulusal Bilim Kongresi, İzmir, 1981,ss.859-870.
29. POSTACIOĞLU,B., "Betonun Yerinde Yapılan Muayene Sonuçlarının Değerlendirilmesi",Malzeme Seminerleri, İTÜ İnşaat Fakültesi,1982,ss.150-188.
30. AKMAN,S., "Betonun İstatistiksel Değerlendirilmesinde Kavramlar",Beton Semineri, D.S.İ. Genel Müdürlüğü, Araştırma Geliştirme Dairesi Başkanlığı,6-10 Şubat 1984,ss.211-230.
31. GÜNER,A., "Betonların Kimyasal Korozyonlarını belirleme Yöntemleri",Malzeme Seminerleri, İTÜ İnşaat Fak.,1983,ss. 127-136.

