

KALSIYUM NİTRİT KOROZYON İNHİBİTÖRÜ VE BETONARMEDE DAYANIKLILIK

I.A. Callander

GRACE Construction Products

Slough - INGİLTERE

F. Gianetti

GRACE Construction Products

Passirana, İTALYA

ÖZET

Klor atağı nedeniyle çelik donatının korozyonu, betondaki tahribatın önemli sebeplerinden biridir. Bu bildiride, kalsiyum nitrit korozyon inhibitörü ilavesinin iyi kaliteli betonun betonarme servis ömrünü önemli oranda artırmak için etkili bir araç olabileceği gösterilecektir. Kalsiyum nitrit, beton içine konulan çelik için kullanılan ve iyi bilinen bir korozyon inhibitörüdür ve bütün dünyada 18 yılı aşkın süredir başarıyla kullanılmaktadır. Yapılan kapsamlı laboratuvar ve saha araştırmaları, kalsiyum nitritin koruduğu klor seviyesinin belirlenebileceğini ve bu klor seviyesine erişme süresinin tahmin edilebileceğini göstermiştir. Karşım malzemelerinde bulunan klor için de kalsiyum nitritin koruma seviyeleri bilinmektedir.

Mevcut kapsamlı korozyon veri tabanı ve mevcut yapılarda belirlenen klor profilleri ile, betonarme için tahmini klor profilleri ve servis ömrü analizleri yapılabilir. Bu bildiride, çeşitli yapılara uygulanabilecek bazı örnekler verilmektedir.

1. GİRİŞ

Çelik donatı takviyeli beton, bütün dünyada en fazla kullanılan inşaat malzemelerinden en ekonomik olanlarından biridir. Genellikle dayanıklı ve maliyete etkin bir malzeme olarak kabul edilmektedir, çünkü klor ve karbon dioksit gibi agresif etkenlerin yokluğunda, çimento hamurunun yarattığı alkalın ortam, çeliğin etrafında koruyucu ve pasifize edici bir tabaka oluşturarak çeliği korozyona karşı korur.

Olumsuz etkenlerin bulunmadığı koşullarda, bir yapının bakım gerektirmeden veya çok az bakımla proje ömrüne ulaşması için gereken tek şey, yeterli pas payı ve iyi kaliteli bir betondur. Ancak kötü ortamlarda iyi kaliteli beton bile yeterli koruma sağlayamaz ve çelik paslanmaya başlayabilir. Korozyon ürünlerinin hacmi çeliğin hacminin 2 ilâ 4 katıdır ve oluşan iç basınçlar betonun çatlamasına neden olur. Sonuç olarak, tabakalar çözülür ve parçalanma meydana gelir, çeliğin taşıyıcı kesit alanı azalır ve beton yapıların bütünlüğü kaybolur.

1987 yılına kadar, A.B.D.'de beton köprülerin tamir maliyeti 20 milyar \$'ın üzerindeydi (1) ve gereken ilave tamirler için bir yılda yaklaşık 500 milyon \$ maliyet gerektiği tahmin ediliyordu (2). Araştırmalar, ABD'deki 575.000 köprünün yarısından fazlasının korozyondan etkilendiğini ve yaklaşık yüzde 40'ının da yapısal olarak bozulmuş kabul edildiğini göstermektedir (3).

Çelik takviyeli betonun korozyonunun yarattığı problemler "ad nauseam" dokümanite edilmiştir ve Körfez ülkelerinde bu durum iyi raporlanmış ve anlaşılmıştır.

Genelde, betonarme korozyonu aşağıda sıralanan yapıları kapsar :

- deniz ortamı içindeki yapılar,
- havada bulunan klor iyonlarına bağlı olarak, sahile yakın yerlerde bulunan binalar ve diğer yapılar;
- kış aylarında buz çözücü kimyasallara maruz kalan köprü döşemeleri ve destek yapıları (1.5 ilâ 3.0 kg/m²/ yıl);

- buz çözücü kimyasalların kullanıldığı iklimlerde otopark alanları;
- yüksek klor konsantrasyonları içeren topraklarla temas halindeki yapılar.

Yüksek sıcaklığın betona klor nüfuz oranını artırdığı ve bunun da, korozyon reaksiyonlarının oluşum hızını artırdığı not edilmelidir. Sıcaklıkta 10°C'lık bir artışın klor nüfuz oranını 2.33 katı artırdığı ve korozyon hızını iki katına çıkardığı rapor edilmiştir (34).

Ayrıca, beton malzemelerinin bir kısmı, özellikle de ince agregalar ve karışım suyu, korozyon reaksiyonlarına katkıda bulunabilecek oranda klor seviyeleri içerir.

Betonun donatı çeliğini korozyona karşı koruma yeteneğini etkileyen temel faktörler, beton kalitesi, betonarme donatısı üzerindeki pas payı, ilave korozyon koruyucu sistemlerin kullanılmasıdır.

2. BETON DAYANIKLILIĞI NASIL ARTIRILIR ?

Çelik donatı takviyeli betonun dayanıklılığını artırmak için yapılması gereken ilk şey beton kalitesini artırmaktır. CEB-FIB Model Standardı 1990'ın proje, inşaat ve bakımla ilgili maddeleri genelde yapının hizmet ömrünü 50 yılın üzerinde tutmayı hedefler. Ancak bazı yapılarda daha uzun bir hizmet ömrü olması istenebilir (Tablo 1).

Tablo 1 : BETON YAPILARIN BEKLENEN HİZMET ÖMRÜ (YIL)

Kral Fahd Şosesi (Suudi Arabistan - Bahreyn)	75
Tejo Nehri Köprüsü (Portekiz)	99
Great Belt Link Yolu (Danimarka)	100
Sidney Liman Tüneli (Avustralya)	100
Oresund Link Yolu (Danimarka - İsveç)	100
Manş Tüneli (Fransa - İngiltere)	120
Messina Köprüsü (İtalya)	200
Delta Fırtına Bariyeri (Hollanda)	200

Norveç N5 3474 Standardı, Körfez Bölgesinde Beton İnşaatlar için CIRIA Kılavuzu, ACI 201, ACI 318 ve ACI 357 gibi başka standartlarda da servis ömürleri için koşullar öngörülmektedir (4-7).

3. KOROZYON KORUMA SİSTEMLERİ

Beton yukarıda sayılan standartların en katı olanına göre üretilmiş olsa bile, klor betona nüfuz eder ve korozyon meydana gelir (8-12) ve istenen yüksek hizmet ömürlerine ulaşmak için ilave korozyon koruma tedbirleri gerektirir.

Betonarmede çelik donatı korozyonu problemini çözmek için bazı ilave korozyon koruma sistemleri pazarlanmaktadır. İtalyan Standardı UNI 9747 "Agresif Koşullarda Betonda Donatı Çeliğinin Korozyonu - Müdahale ve Önleme Metodları", en yaygın ve en iyi bilinen ek koruma yöntemlerini önerir : korozyon inhibitörlerinin kullanılması, füzyon bağlı epoksi kaplamalı donatı demirleri (FBECR) ve katodik koruma (CP) .

3.1 Kalsiyum Nitritin Korozyon İnhibitörü Olarak Katkısı

Korozyon inhibitörleri, bu prosesten sorumlu olan elektrokimyasal reaksiyonların kinetiğini ve/veya termodinamiğini etkileyerek ve korozyon prosesinin hızını değiştirerek, klor iyonlarının mevcudiyetine karşı donatı çeliğini korur. İnhibitörler anodik, katodik veya her iki reaksiyonu aynı zamanda geciktirmelidir.

Kalsiyum nitrit, diğer sıvı beton katkıları gibi betona üretim tesisinde ilave edilen bir anodik inhibitördür. DCI ve DCI-S Korozyon İnhibitörleri (TM) (W.R. Grace & Co. tarafından üretilmektedir), ABD, Avrupa, Orta Doğu ve Uzak Doğu'da Normal Portland Çimentoları veya Katkılı Portland Çimentolarıyla (pozzolanik çimentolar, yüksek fırın curuf çimentoları, vb.) 1970'li yıllardan bu yana başarıyla kullanılan kalsiyum nitrit bazlı ürünlerdir. Bu ürünler, Güney Kaliforniya, Teksas, Florida, Karaibler, Cibuti ve Arap Körfezi gibi sıcak iklimlerde büyük projelerde kullanılmaktadır. DCI-S, kalsiyum nitritin

hızlandırıcı özelliklerinin istenmediği durumlarda, beton piriz süresi ve slump kaybı üzerindeki negatif etkileri asgariye indirmek amacıyla özel olarak formüle edilmiş, kalsiyum nitrit bazlı bir nötr korozyon inhibitörü setidir.

Kalsiyum nitritin betonarme donatı çeliğinin korozyonunu önleme mekanizması (15)'de detaylı bir şekilde açıklanmaktadır. Özet olarak, kalsiyum nitrit kullanımı, geleneksel betonda korozyonun başlaması için kritik klor konsantrasyonundan (yaklaşık 0.9 kg klor iyonu/m³) daha yüksek klor seviyelerinde bile, beton içindeki donatı çeliğinin üzerinde daha güçlü, tahribatsız ve sürekli bir pasif tabakanın oluşturulması ve muhafaza edilmesini sağlar.

Nitrit, anodun kaybında yer alan reaksiyonlara girmez, fakat anodun sonuç ürünleriyle reaksiyona girer. Bu nedenle, anodun büyüklüğünü etkileyemez. Sadece oksit mono tabakaları söz konusu olduğundan dolayı, ilk koruyucu oksitler veya hidroksitin oluşumunda hemen hemen hiç nitrit ve hidroksit tüketilmez.

Kalsiyum nitritin, BS 6920 : Bölüm 1 : Madde 8 : 1990 "Su Kalitesi Üzerindeki Etki Testleri" koşullarına uygun olduğu ve su tüzüğü/içme suyu için WRc koşullarına uyduğu tespit edilmiştir. British Board of Agreement (BBA) DCI ve DCI-S korozyon inhibitörlerine 96/3232 sayılı sertifikayı vermiştir.

3.2. Katodik Koruma

Avrupa'da ve Orta Doğu'da korozyonun yoğun olduğu yerlerde yeni yapıların projelendirilmesinde katodik koruma kullanımı giderek artan oranda önerilmekte ve kullanılmaktadır. Klorla kontamine olan bir ortamda eski ve paslanmaya başlamış olan çeliği tekrar pasifize etmek amacıyla gereken ters akım yoğunluğuna kıyasla, artık daha düşük akım yoğunlukları istenmektedir. Katodik korumanın en büyük dezavantajı karmaşıklığı ve maliyetidir. Aşırı koruma nedeniyle çeliğin hidrojenle kırılganlaşması olasıdır (bu yüzden katodik koruma, ön gerilmeli betonda kullanılamaz). Beton yüzeyinde asitleşme ve inşaat donatı çeliğinin civarında alkalinite oluşumu da alkali-agrega reaksiyonu tehdidini oluşturur.

3.3. Füzyon Bağlı Epoksi Kaplamalı İnşaat Çeliği (FBECR)

FBECR 1974 yılından beri kullanılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada'da, özellikle dört veya altı yıl önce inşa edilmiş bazı köprülerde FBECR korozyonu olduğu gözlenmiş ve Florida Keys Köprülerinde yapılan araştırmalardan sonra, bazı gruplar son yıllarda FBECR'nin faydasını sorgulamaya başlamışlardır. Yeni bir yayında (13), kalsiyum nitrit kullanımının epoksi kaplamalı inşaat donatı çeliğinin korozyon önleme performansını da önemli oranda artırabileceği gösterilmiştir. Uzun süreli testler, epoksi kaplı çelik performansının birleşik alkali ve klor ortamlarında zamanla azaldığını açıkça göstermektedir. Bu direnç düşüşü, kalsiyum nitrit korozyon inhibitörünün bulunmadığı ortamlarda kaplamanın zamanla bozulduğunu gösterir. Kalsiyum nitrit ilavesi epoksi kaplı inşaat donatı demirlerini korumaktadır. Kusurların kaçınılmaz olduğu ve denetimin iyi olmadığı gerçek dünya koşullarında, kalsiyum nitrit ve epoksi kaplı betonarme çeliğinin birlikte kullanılması korozyon koruması problemine yararlı bir çözüm sunmaktadır.

4. STANDART TEST PROSEDÜRLERİNİN BULUNMAMASI

Dayanıklılık artırıcı katkıların doğru kullanılması, zararlı klorürlere maruz kalan betonarme yapıların hizmet ömrünün sürdürülmesinde önemli bir rol oynar. Uygun katkıların seçimi kanıtlanmış standart test sonuçlarına dayandırılmalıdır. Maalesef, Avrupa veya ABD'de, mimarlar, mühendisler ve şartname hazırlayıcı makamların çeşitli korozyon inhibitörlerini değerlendirmesine ve kıyaslamasına yardımcı olabilecek, yayınlanmış bir şartname yoktur. İyi bilinen ASTM C494'de (16) ve Avrupa Normları prEN 934 (17) ve prEN 480'de (18), karışımlar temel fonksiyonlarına göre tiplere bölünür, fakat bunlar korozyon inhibitör performansını değerlendirmezler.

Kalsiyum nitritin etkili bir korozyon inhibitörü olduğunu göstermek amacıyla, bütün dünyada kapsamlı araştırma programları uygulanmış ve bu programlar (12), (14) ve (15)'de incelenmiştir.

4.1 Kısa Süreli (İzleme - Saptanan) Korozyon Özellikleri

Normalde, hangi korozyon inhibitörünün uzun süreli test gerektirdiğini tespit etmek amacıyla kısa süreli izleme testleri yapılır.

Korozyon inhibitörlerini değerlendirmek amacıyla yapılan en yaygın izleme testlerinden biri, test ürününün korozyon inhibisyon özelliklerini analiz etmek amacıyla bir çevrimli polarizasyon taraması yapmaktır (ASTM G61'in bir varyasyonu (19)). Bu, korozyonun nasıl görüldüğünü (oyuklanma, çatlama, genel, vb.) ve korozyon inhibitörü etkisinin anodik mi yoksa katodik mi olduğunu gösterir. Bu test, çeşitli düzeylerde klorür ihtiva eden doygun kalsiyum hidroksit çözeltilerinde bir kaç saat içinde yapılır. Test, metal yüzeyini, beton boşluk suyunda bulunan koşullara benzer ortamlarda karıncalanmayı artıran koşullara maruz bırakır. En önemli parametre, oyuklanma korozyonunun meydana gelebileceği oyuklanma potansiyeli düzeyidir (Ep). Bu potansiyel ne kadar pozitif olursa, inhibitör o kadar iyidir (15). Eriyğe kalsiyum nitrit katılması durumunda, mükemmel performans ve mükemmel karıncılaşma direnci elde edilmiştir.

Başka bir izleme testi de, kimyasal karışımın betonarme çeliğinin korozyonu üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yönelik ASTM G109 prosedürüdür (20). Bu test metodu yaklaşık bir yıl gerektirir ve 25 mm beton kaplamasıyla 0.5 su/çimento oranında 355 kg/m³ çimentoyla üretilen betonarme prizmalarda (300 x 150 x 100 mm) %3 sodyum klorür çözeltilisinde havuzlamayı gerektirir. Korozyonun başlama zamanını belirlemek amacıyla, üst ve alt betonarme donatı demirleri arasındaki akım aylık periodlarda ölçülür. Diğer testlerde olduğu gibi, cihaz ölçümleri ile fiili performans arasındaki bağıntıyı belirlemek amacıyla betonarme donatı demirlerinin gözle incelenmesi önem taşır. Kalsiyum nitrit, 11 bağımsız laboratuarda ASTM'nin sponsorluğunu yaptığı bir dizi testten geçirilmiş ve bu testlerde, kontroldeki betonarme donatı demirlerinde ve kalsiyum klorürle karıştırılmış betondaki donatı çeliklerinde önemli korozyon olduğu, oysa kalsiyum nitritli örneklerde korozyon olmadığı görülmüştür.

4.2 Uzun Süreli Testler

Uzun süreli performans testleri bir kaç yıl sürer ve saha betonunu temsil eden koşullarda (düşük su/çimento oranı, daha kalın pas payı, vb.) korozyon inhibitörlerinin etkisini ve belirli dozaj oranlarının performansını belirlemek amacıyla kullanılır ve korozif ortamlarda kullanılan beton için daha endikatif sonuçlar verir. Kalsiyum nitrit on yılı aşkın bir süredir bu koşullar altında test edilmiştir ve bu testlerde, hem görsel olarak hem de cihaz ölçümleri yoluyla inhibitörün koruma seviyesi çeşitli dozajlarda tespit edilmiştir (15). Kalsiyum nitritin çatlamış betonda da etkili olduğu gösterilmiştir (21).

Geniş kapsamlı korozyon testleri son derece faydalıdır, çünkü gerçek dünya koşullarını temsil ederler. Yeni bir yayım (22), üç farklı çimento [bir normal Portland (ENV 197-1 CEM I 42.5 R), bir pozzolanik (ENV 197-1 CEM IV/A 42.5 R) ve bir cüruf çimento (ENV 197-1 CEM II/B-S 42.5)] kullanılarak hazırlanan dokuz büyük plakta (150 x 75 x 30 cm) yapılan ve üç kalsiyum nitrit dozaj düzeyini kapsayan bir deneysel değerlendirmenin orta vadeli sonuçlarını göstermektedir.

4.3 Saha Performansı

Saha korozyon testi, inhibitörün bir yapının ömrünü uzatıp uzatmadığını belirlemek amacıyla yönelik bir tür turnsol testidir. Uzun süreli ürün performansının belirlenmesinde, ilk projelerin periyodik olarak izlenmesi çok önemlidir. Bu testin tek dezavantajı sonuçlanmasının uzun zaman almasıdır (en azından beş ilâ on yıl). Bu test, yapıya klorür girişini gösterir ve test edilen inhibitörün stabilitesi hakkında doğru bilgiler verir. 1978 ile 1987 yılları arasında inşa edilen saha yapılarında Berke ve arkadaşları (33) tarafından bir veri analizi yapılmış ve bu analiz gerçek betonda performansı göstermiştir. Sonuçlar bu bildirinin Saha Tarihçesi bölümünde tartışılmaktadır.

4.4 Beton Özellikleri

Bir korozyon inhibitör karışımının taze ve sertleştirilmiş betonun özellikleri üzerinde ya da yapının genel mühendislik veya mimari koşulları üzerinde olumsuz etkisi olmamalıdır. Bu nedenle, testlere bazı "geleneksel" beton özellikleri de dahil edilmelidir. Normalde,

kalsiyum nitrit kullanımı elastisite modülünün ve basınç dayanımının artmasını sağlar ve çelik ile beton arasındaki aderansı artırır.

5. KALSİYUM NİTRİT İLAVE ORANININ SEÇİLMESİ

Piyasaya çıkartılmadan önce 13 yıl süreyle yapılan ürün araştırmaları 18 yıl devam eden saha projeleri, kapsamlı test tarihçesi ve klor verileri analizi sayesinde, belirli bir klor seviyesine maruz kalacak yapıyı korumak için gereken kalsiyum nitrit dozajını belirlemek mümkün olmuştur (Tablo 2'ye bakınız). Bu veriler çeşitli bağımsız kuruluşlar tarafından incelenmiş ve teyid edilmiştir.

TABLO 2 - KALSİYUM NİTRİT DOZAJ TABLOSU

Gerekli Kalsiyum Nitrit (%30 Çözelti) (l/m ³)	Korunabilen Klor İyon Düzeyi (inşaat çeliği seviyesinde) (kg/m ³)
10	3.6
15	5.9
20	7.7
25	8.9
30	9.5

Yukarıda Tablo 2'de gösterilen klor seviyelerine ulaşmak için geçecek süre, yapının inşa edildiği ortam koşulları, beton kalitesi ve beton pas payı verilerine dayanılarak hesaplanabilir.

6. PRATİK UYGULAMA ALANLARI

Aşağıda verilen örnekler, laboratuvar ve saha verilerinden hesaplanan veya çıkartılan klor difüzyivite tahminlerine dayanmaktadır (23). Mahalli malzemeler, işçilik, beton yerleştirme ve kürleme koşulları ve yapının geçmişi betona klor nüfuzunu etkileyebilir. Bu nedenle, bu

örnekler fikir edinilmek üzere yararlıdır ve tabii ki, tüm benzer beton yapılarda donatı yüzündeki klor oranının tam değerlerini göstermesi beklenemez.

6.1 Köprü Yapıları

İlk örnek, yıllık ortalama sıcaklığın 10°C olduğu ve karayollarına buz çözücü tuzların konulduğu bir bölgede bulunan bir köprü tabliyesizdir. Bu, klor difüzyonunun tek boyutlu olduğu bir radyeyle kıyaslanabilir. Yüzey konsantrasyonu olarak, 25 yıl sonra ulaşılan azami 14.8 kg/m³ değeri kullanılabilir.

Bu güne kadar çeşitli ülkelerde deneylerle elde edilmiş klor difüzyon eğrilerine göre, 30 mm'lik pas payına sahip betonda 50 yıl sonra donatı çeliği yüzeyindeki tahmini klor miktarı yaklaşık 6.0 kg/m³ olacaktır. Korozyon inhibitörü, korozyonun başlaması için ulaşılması gereken ve donatı çeliğindeki kritik klor konsantrasyonu düzeyini yükseltmiştir. Tablo 2'den, 15 litre kalsiyum nitrit çözeltisi kullanıldığında kiritik düzeyin altında kaldığı ve böylece yapının 50 yıllık proje ömründe gereken korumayı sağlayacağı anlaşılır. Halbuki inhibitör katkısız durumda kritik konsantrasyon düzeyi 0.9 kg/m³ tür ve klor bu eşiğe 15 yılda varacaktır.

Avrupa'da kalsiyum nitrit bir köprü yapısında ilk kez 1988 yılında Kuzey İtalya'da kullanılmıştır (24). Bu önerilmeli köprü, yeni "Trafori Otoyolunun" bir parçasıdır (Autostrade S.p.A., Roma'ya aittir) ve 15 l/m³ kalsiyum nitrit çözeltisi içeren 7.500 m³ beton kullanılmıştır. Beton donatı çeliğinde korozyon durumunu izlemek amacıyla bir izleme sistemi kurulmuş ve 1995'e kadar yapılan ölçümler, pasifleşmenin devam ettiğini göstermiştir.

6.2 Deniz Yapıları

Köprüler, rıhtımlar ve benzeri yapılar gibi deniz ortamlarında betonarme, deniz suyunda yüksek oranda klorür bulunması ve havanın rutubetli olması nedeniyle özellikle etkiye açıktır. Kalsiyum nitritin kanıtlanmış etkisi, aşağıda tanımlanan çeşitli deniz kıyısı projelerinin spesifikasyonlarına alınmasına ve bu projelerde kullanılmasına yol açmıştır:

- İskele 62 (Long Beach Limanı, Long Beach, Kaliforniya, ABD)
- Roanake Sound Köprüsü (Nags Head, Kuzey Carolina, ABD)
- Jamestown Köprüsü (Jamestown, Rhode Island, ABD)

7. DİĞER KOROZYON KORUMA SİSTEMLERİYLE UYUM

Son yıllarda, diğer önlemlerle birlikte korozyon inhibitörlerinin kullanıldığı yerlerde birden fazla korozyon koruma sistemine duyulan ilgi artmaktadır. Kalsiyum nitritin FBECR (13,28), galvanizli çelik (28), katodik koruma (kalsiyum nitrit çeliğin elektriksel iletkenliğini olumsuz etkilemez) gibi diğer korozyon koruma sistemleriyle uyumlu olduğu gösterilmiştir. Kalsiyum nitrit ve silis dumanının sinerjetik etki (28-32) oluşturdukları bilinmektedir ve kalsiyum nitrit ve silis dumanı kombine sisteminin kullanılması halinde, her ikisi de düşük konsantrasyon seviyelerinde ilave edildiği zaman bile, donatı çeliğine uzun süreli koruma sağlamaktadırlar (28).

8. SAHA TARİHÇESİ

Berke ve arkadaşlarının yayınladığı uzun süreli saha verileri (33), kalsiyum nitritin, betonda istikrarlı olduğunu, korozyon direncini artırdığını ve beton performansını olumsuz etkilemediğini göstermektedir.

O bildiride, kalsiyum nitrit korozyon inhibitörü kullanılan eski yapıların oniki tanesi korozyon performansını belirlemek amacıyla değerlendirilmiştir. Durum değerlendirmesi yapıların (1978 ile 1987 yılları arasında inşa edilmişlerdir) gözle incelemesini, betonlarda klor ve nitrit miktarının tespit edilmesini ve değerlendirme süresi içinde (1985 ile 1992 yılları

arasında) korozyon hızını belirlemek amacıyla, korozyon potansiyeli haritası ve polarizasyon direnci testi yoluyla korozyon aktivitesinin tespit edilmesini kapsamaktadır. Donatı çeliği yüzeyinde klor seviyeleri 2.7 ile 7.2 kg/m³ arasındaydı; bu seviye, genel kabul gören 0.9 kg/m³ korozyon başlama seviyesinin 3 ilâ 8 katıdır. Değerlendirme, kalsiyum nitritli bütün yapıların iyi performans gösterdiğini göstermektedir. İki durumda da, kalsiyum nitritle korunmayan bitişik yapılarda korozyonun devam ettiği görülmüştür. Nitrit analizleri, kalsiyum nitritin betonda eksilmediğini ve donatı çeliği yüzeyinde orijinal dozaj düzeyinde kaldığını göstermektedir. Ayrıca, klor difüzyonu kalsiyum nitritli betonlarda artmamaktadır ve bazı örneklerde klor penetrasyonunun azaldığını gösteren deliller vardır.

9. SONUÇLAR

Olumsuz koşulların bulunduğu yerlerde inşa edilen betonarme yapılarla ilgili son spesifikasyonların çoğunda öngörülen hizmet ömrünü sağlamak için iyi kaliteli beton kullanımının tek başına yeterli olmadığı belirtilmektedir. Kalsiyum nitrit korozyon başlama süresini geciktirir ve korozyonun başlamasından sonra korozyon hızını azaltır. Kalsiyum nitrit, iyi kaliteli betonla birlikte kullanıldığında korozyon direncinde önemli artış sağlayan, iyi test edilmiş ve kendisini kanıtlamış bir korozyon inhibitörüdür. Uzun ve başarılı bir performans kaydı vardır ve betonun mekanik özellikleri üzerinde zararlı bir etki yapmaz. Kalsiyum nitrit dayanıklı betonun proje spesifikasyonlarına bir alternatif olarak ya da zayıf kaliteli betonu "geliştirmek" için bir araç olarak görülmemelidir. İyi kaliteli betonla kombinezonu halinde kalsiyum nitrit korozyon inhibitörü, uzun süreli dayanıklılığa ulaşmak için geçerli bir yöntemdir. Kalsiyum nitrit diğer korozyon önleme tedbirleriyle birlikte kullanılabilir.

KAYNAKLAR

1. Chamberlain, W.P., "Performance and Service Life of Low Slump Concrete Bridge Deck Overlays in New York State", Proc. Corrosion/87, NACF, Houston, 1 (1987)
2. Menzies, T.R., "National Cost of Damage to Infrastructure from Highway Deicing", ASTM STP 1137, V. Chaker Ed., Philadelphia 1 (1992).
3. Participant Workbook, Strategic Highway Program National Workshop, Washington D.C., September 1985, page TRA 4-1
4. "CIRIA Guide to Concrete Construction in the Gulf Region", Publication 31, 1984.
5. ACI 201, "Guide to Durable Concrete".
6. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete, (ACI 318-83)", Detroit, 1983.
7. ACI 357, "Guide for the Design and Construction of Fixed Offshore Concrete Structures", Detroit, 1982.
8. Browne, R.D., Durability of Building Materials, Volume 1, pages 113-125 (1982).
9. Pfeifer D.W. ve Landgren J.R., "Protective Systems for New Prestressed and Substructure Concrete", Report No. FHWA/RP-86/193, Washington D.C., April 1987, pages 113.
10. Tuutti K., Corrosion of Steel in Concrete, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stokholm (1982), page 469
11. Berke N.S., Dallaire M.P. ve Hicks M.C. "Plastic, Mechanical, Corrosion and Chemical Resistance Properties of Silica Fume (Microsilica) Concretes", in Fly Ash, Silica Fume, Slag

and Natural Pozzolans in Concrete", Proceedings Fourth International Conference, İstanbul Turkey, SP-132, V.M. Malhotra, ACI, Detroit, 1992, pages 1125-1149.

12. Berke N.S., Scali M.J., Regan J.C. ve Shen D.F, "Longterm Corrosion Resistance of Steel in Silica Fume and/or Fly Ash Concretes", in the Second CANMET/ACI Conference on Durability of Concrete, V.M. Malhotra, ACI, Detroit (1991), pages 393-442.

13. Berke N.S., Hicks M.C. "Calcium Nitrite Corrosion Inhibitor With and Without Epoxy-Coated Reinforcing Bar for Long Term Durability, in the Gulf", Arap Körfezinde Beton Dayanıklılığı İkinci Bölgesel Beton Konferansı, Bahreyn 19-21 Mart 1995, sayfa 119-132.

14. Berke N.S. ve Weil T.G. "Worldwide Review of Corrosion Inhibitors in Concrete", in Advances in Concrete Technology, ed. V.M. Malhotra, CANMET, Ottawa, Kanada 1992, p. 899-924

15. Berke N.S., Gianetti F., Tourney P.G., Matta Z.G. "The Use of Calcium Nitrite Corrosion Inhibitor to Improve the Durability of Reinforced Concrete in the Arabian Gulf", 4th Int. Conf. on Deterioration, G.L. MacMillan ed. Manama, Bahreyn (1993)

16. ASTM C494, "Chemical Admixtures for Concrete", ASTM, Philadelphia.

17. European Standard prEN 934, "Admixtures for Concrete, Mortar and Grout"

18. European Standard prEN 480, "Admixtures for Concrete, Mortar and Grout - Test Methods"

19. ASTM G61 "Standard Test Method for Conducting Cyclic Potentiodynamic Polarization Measurements for Localised Corrosion Susceptibility of Iron, Nickel or Cobalt-Based Alloys", ASTM, Philadelphia.

20. ASTM G109 "Test Method for Determining the Effects of Chemical Admixtures on the Corrosion of Embedded Steel Reinforcement in Concrete Exposed to Chloride Environments" ASTM, Philadelphia
21. Berke N.S., Dallaire M.P., Hicks M.C. ve Hoopes R.J., "Corrosion of Steel in Cracked Concrete", NACE Corrosion 93, Paper No. 322, NACE Houston, 1993.
22. Cignia R., Familiari G., Gianetti F. ve Proverbio E. "Influence of Calcium Nitrite on the Reinforcement Corrosion in Concrete Mixtures Containing Different Cements", International Conference on Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete, University of Sheffield (24-29 Temmuz 1994).
23. Berke N.S. ve Hicks M.C. "Predicting Chloride Profiles in Concrete", Corrosion 89, Paper No. 341, NACE Houston TX (1989)
24. Berke N.S., Chiruzzi M. "An Application of Corrosion Inhibitor in Site Produced Concrete", X European Ready Mixed Concrete Congress Report XII/B-3, XII/B-3, Madrid (1992).
25. Matta Z.G., Gianetti F., "The Use of Calcium Nitrite Admixtures Inhibitor in the Arabian Gulf", Second Regional Concrete Conference on Concrete Durability in the Arabian Gulf, Bahreyn 19-21 March 1995, p. 157-171.
26. Matta Z.G. "Chlorides and Corrosion in the Arabian Gulf Environment", Concrete international, May 1992, sayfa 47- 48.
27. Matta Z.G., Unpublished data.
28. Berke N.S., Hicks M.C., Abdelrazig B.I., Lees T.P. "A Belt and Braces Approach to Corrosion Protection", International Conference on Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete, University of Sheffield (24-29 Temmuz 1994).

29. Svenkerud P.I., Lewis R., Mujahed F.S., "The Use of Microsilica Concrete in the Arabian Gulf Environment",. Second Regional Concrete Conference on Concrete Durability in the Arabian Gulf, Bahrain 19-21 March 1995.
30. Berke N.S., Third International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Trondheim, Norway, June 19-24, 1989 ACI SP114 (V.M. Malhotra), p. 861.
31. Berke N.S., Weil T.G. Second International Conference On Performance of concrete in marine Environment, August 21-26 1988, St. Andrews by the Sea, New Brunswick, Canada.
32. Berke N.S., Pfeiffer D.W., Weil T.G., "Protection Against Chloride-Induced Corrosion A Review of Data and Economics on Microsilica and Calcium Nitrite", Concrete International, Vol. 10, No. 12, 1988, p 45-55.
33. Berke N.S., Hicks M.C., Hoopes R.J. "Condition Assessment of Field Structures with Calcium Nitrite", ACI SP 151-3, 1993, p 43-72
34. Berke N.S., Hicks M.C. "Estimating the Life Cycle of Reinforced Concrete Decks and Marine Piles Using Laboratory Diffusion and Corrosion Data", Corrosion Forms and Control for Infrastructure ,ASTM STP 1137, Victor Chaker, ASTM, Philadelphia, 1992.