

T.C.
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI
DEVLET SU İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı

YAYIN NO : MLZ. 904

SOĞUK HAYADA BETONLAMA VE ANTİFRİZ KATKI MADDELERİ



NİSAN, 1997 — ANKARA

T.C.
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI
DEVLET SU İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı

YAYIN NO : MLZ. 904

SOĞUK HAVADA BETONLAMA VE ANTİFRİZ KATKI MADDELERİ

Daire Başkanı
Şube Müdürü

: Doç. Dr. Ergün DEMİRÖZ
: İnş. Müh. Ali ÖZTÜRK

Raporu Yazan

: Kim. Yük. Müh. Aydın SAĞLIK

NİSAN, 1997 — ANKARA

İÇİNDEKİLER

1.	Giriş	1
2.	Beton Antifriz Katkıları	10
3.	Antifriz Katkıların Hazırlanması, Kullanılması ve Uygulanması	12
4.	Beton Antifriz Katkıların Yapı Tipine Göre Seçimi	15
5.	Betonun Fiziksel Özellikleri Üzerine Antifriz Katkıların Etkileri	17
5.1.	Terleme	17
5.2.	Betonun Reolojik Özellikleri	18
5.3.	Betonda Boyutsal Değişmeler	19
5.4.	Çimento Pastası Mikroyapısı	20
5.5.	Betonun Sünmesi	21
5.6.	Çimento Pastası Boşluk Yapısı	22
5.7.	Betonun Geçirgenliği	22
5.8.	Betonun Priz Alması	22
5.9.	Çimento Hidratasyon Isısı	24
5.10.	Antifriz Katkıların Kullanıldığı Sertleşmiş ve Taze Betondaki Buz Oluşumunun Termodinamiği	26
6.	Antifriz Katkıların Betonun Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri	36
6.1.	Beton Basınç Dayanımı	36
6.2.	Betonun Elastik Özellikleri	41
6.3.	Beton ve Çelik Donatı Arasındaki Bağ	42
7.	Antifriz Katkıların Dayanıklılık Üzerine Etkileri	43
7.1.	Betonda Karbonatlaşma	43
7.2.	Betonun Sülfata Karşı Direnci	43
7.3.	Alkali-Agrega Reaksiyonu	44
7.4.	Deniz Suyunun Etkisi	45
7.5.	Betonun Buz Çözücülere Karşı Direnci	45
7.6.	Betonun Dona Karşı Direnci	45
7.7.	Çiçeklenme	48
8.	Yeni Gelişmeler	49
9.	Standard ve Spesifikasyonlar	52
10.	Referanslar	53
11.	Eki : TSE Beton Antifriz Standardı	54

SOĞUK HAVADA BETONLAMA VE ANTİFRİZ KATKI KULLANIMI

1. Giriş

Soğuk havada betonlamada karşılaşılan güçlük düşük hava sıcaklığının taze beton üzerinde gösterdiği donma aktivitesinden kaynaklanmaktadır. Eğer beton henüz taze iken donmaya maruz bırakılırsa, içerisindeki veya yüzeye yakın kısımlardaki kapiler boşluklara yerleşen karışım suyu buza dönüşecek ve bu durum betonun genel hacminde bir artışa neden olacaktır. Bunun sonucunda ise ortamda çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyon için yeterince su kalmayacak ve aynı zamanda düşük sıcaklıkta reaksiyon hızı da yavaş olacağından betonun priz alması ve sertleşmesi gecikecektir. Bu olayın daha sonrasında ise oluşan buzdan dolayı reaksiyon için gerekli su miktarı azalacak ve çok az miktarda çimento pastası meydana gelecektir. Bu şekilde taze iken donmaya maruz kalmış beton ileri yaşlarda çözüldükten sonra genleşmiş halde iken priz alıp, sertleşerek daha fazla miktarda hava boşluğuna sahip olacağından dolayı da düşük dayanımlı olacaktır.

Beton çözüldüğü zaman betonu yeniden vibrasyon ile sıkıştırmaya tabi tutmak mümkündür, ancak böyle bir işlem genellikle tavsiye edilmez, çünkü bu durumdaki bir betonun priz alıp almadığını tespit etmek oldukça zor bir işlemdir.

Eğer donma olayı taze beton priz aldıktan sonra ve yeterli derecede dayanım kazanmadan meydana gelecek olursa, buz oluşumuyla meydana gelen genişleme beton yapısını tahrip edecek ve telafi edilemez dayanım kaybına yol açacaktır. Ancak, beton donmadan önce yeterli derecede bir dayanım seviyesine ulaşırsa, geriye kalan karışım suyundan oluşan buzdan dolayı meydana gelecek olan genişlemenin yaratacağı iç basınca beton dayanabilecektir. Bu belli dayanıma ulaşmış olan betonda buzdan dolayı oluşacak olan iç basınç çok fazla olamaz, çünkü bu durumdaki betonda çimento yeterli derecede hidratasyona uğramış ve ortamdaki su miktarını azaltmıştır ve suyun bir kısmı da jel boşluklarında olduğu için de donamayacağından dolayı betona bir zarar veremeyecektir. Betonun donmaya karşı koyabileceği yeterli dayanım derecesi ve bu dayanıma ulaşma süresi hakkında bazı değerler verilmiş olsa da uygulamada güvenilir dayanım seviyesini tahmin etmek oldukça zor bir işlemdir. Genel olarak, hidratasyon ne kadar fazla ilerlemişse, ulaşılan dayanım seviyesi de o derecede yüksek olacağından, beton da donmaya karşı o nispette direnç gösterebilecektir.

Soğuk iklim şartlarında dökülen betonlarda, betonu sadece erken yaşlarda don etkisinden korumak yeterli olmamaktadır, ileri yaşlarda da betonu donma-çözülme tesirine karşı koruma altına almak gerekir ve bu işlem ile beton servis süresince dona karşı bir direnç gösterebilir. Bu çalışma içerisinde betonun ileri yaşlardaki dayanıklılığına değinilmeyecektir. Bu çalışmamızda, daha çok taze betonun donmasını önleme yolları ve ilk yaşlardaki hidratasyonunun devam ettirilmesi ele alınacaktır. Taze betonun donmasını önlemek için öncelikle taze beton karışım suyunun donmasını engelleyecek yeterli döküm sıcaklığının sağlanması ve bundan sonra da yeterli dayanım derecesine ulaşması için gerekli süre boyunca ısı yalıtımı ile taze beton korunması gerekir. Soğuk havada betonlama yapılırken değişik hava sıcaklıkları ve farklı eleman boyutları için ACI (Amerikan Beton Enstitüsü) tarafından tavsiye edilen minimum beton döküm sıcaklıkları Tablo 1'de verilmektedir. Tablodan görüleceği üzere büyük boyutlu elemanlar için beton döküm ve koruma sıcaklıkları daha düşüktür, çünkü bunlarda hidratasyon nedeniyle ortaya çıkan ısının çevreye doğru kaybı daha azdır.

Yine Tablo 1'den görüleceği üzere, hava sıcaklığı +5 °C'nin altında olduğu zaman betonun taşınması ve yerleştirilebilmesi esnasında mücade edilen en yüksek ısı kayıpları için beton daha yüksek bir sıcaklıkta karıştırılmaktadır. Bunun yanında, taze betonun donmuş bir yüzeye dökülmesi veya konulması da doğru değildir. Koruma sonrasında ilk 24 saatte termal çatlak oluşumundan kaçınmak amacıyla betonun ortam sıcaklığına kadar soğuması için ilk 24 saat süresince mücade edilebilir maksimum sıcaklık düşmeleri Tablo 1 de verilen değerleri geçmemelidir.

Tablo 1'de yerleştirme ve koruma sıcaklıkları verilmiş olan normal ağırlıklı agrega ile yapılmış hava sürüklenmiş beton için soğuk hava etkisinden koruma süreleri Tablo 2'de verilmektedir. Burada servis şartlarında tekrarlı donma ve çözülme etkisinin olacağı da varsayılarak hava sürüklenmiş beton kullanılması önerilmektedir, ancak yapıda hava sürüklenmemiş beton kullanılacaksa, Tablo 2'de verilmiş olan koruma süreleri en azından, (beton hava boşluklarının az olması nedeniyle suya daha fazla doygun olacağından ve donmaya daha meyilli olacağından), ikiye katlanmalıdır. Tablo 2'de verilen koruma süreleri, kullanılacak çimentonun tipine ve dozajına, herhangi bir kimyasal katkı kullanılıp kullanılmamasına ve servis şartlarına göre ayarlanmalıdır. Bu koruma periyotları betonun hem erken yaş don zararını ve aynı zamanda da daha sonraki dönemlerdeki dayanıklılık problemlerini azaltacak şekilde ayarlanmalıdır.

Tablo 1. Soğuk hava betonlaması için tavsiye edilen beton sıcaklıkları

Hava Sıcaklığı	Yapı Elemanının Minimum Boyutu			
	<300 mm	300-900 mm	900-1800 mm	>1800 mm
	Minimum Beton Sıcaklığı (Döküm ve Koruma)			
5 °C'nin altında	13 °C	10 °C	7 °C	5 °C
Verilen Hava Sıcaklığı için Betonun Minimum Karıştırma Sıcaklığı				
-1°C'nin üzerinde	16 °C	13 °C	10 °C	7 °C
-18 °C ile -1 °C arası	18 °C	16 °C	13 °C	10 °C
-18 °C'nin altında	21 °C	18 °C	16 °C	13 °C
Koruma sonrasında ilk 24 saat içinde beton sıcaklığı için mücadele edilen maksimum düşme				
	28 °C	22 °C	17 °C	11 °C

Tablo 2. Soğuk Havada Betonlama için Tavsiye Edilen En Az Koruma Süreleri (Hava Sürüklenmiş Beton Kullanılması Durumunda)

Çimento Tipi	Don zararını önlemek için koruma süresi (Gün)*			Emniyetli dayanıma ulaşma için koruma süresi (Gün)*		
	PÇ 32.5 KÇ 32.5	PÇ 42.5 PÇ 52.5		PÇ 32.5 KÇ 32.5	PÇ 42.5 PÇ 52.5	
Çimento Dozajı (kg/m ³)	250 ~ 300	350 ~ 400	250 ~ 350	250 ~ 300	350 ~ 400	250 ~ 350
1**	3	2	2	5	3	3
2**	4	3	3	7	4	4
3**	5	3	3	10	6	6
4**	7	5	5	Tablo 3'e Bakınız		

*Mukavemet ve dayanıklılığın birlikte düşünüldüğü hallerde mukavemet için öngörülen koruma süreleri uygulanmalıdır. Herhangi bir katkı (Örnek olarak Priz Hızlandırıcı verilebilir) kullanılmak istendiğinde koruma süresi katkı ile laboratuvar düzeyinde yapılacak çalışma sonucunda tayin edilmelidir.

***Beton Eleman Şartları* : 1- Yük taşımayan ve soğuk hava ortamına maruz kalmayan beton,
2- Yük taşımayan, ancak soğuk havaya maruz kalan beton,
3- Kısmi olarak yük taşıyan ve soğuk havaya maruz kalan beton,
4- Tam yüke ve soğuk havaya maruz kalan beton.

Yapı betonunun yüksek dayanımlı olması istendiği durumlarda ve emniyetli olarak kalıp ve dikmelerin kaldırılması için gerekli koruma süreleri Tablo 3 de verilmektedir. Bu tablodaki süreler 28 günlük dayanımları 21 ila 34 MPa olan betonlar için tipik değerlerdir. Diğer dış ortam şartları ve beton sınıfları için koruma süreleri daha önceden belirlenen dayanım-olgunluk ilişkisi kullanılarak çıkarılmalıdır.

Tablo 2 ve 3'den açıkça görülmektedirki hidrasyon esnasında yüksek hızda ısı gelişimini ve aynı zamanda erken sıcaklık artışını sağlamak için hızlı sertleşen portland çimentosu (Tip III) veya uygun evsafa bir priz hızlandırıcı katkı kullanılmalıdır, tercihen düşük su/çimento oranına sahip çimentoca zengin bir beton karışımı kullanılması genelde tavsiye edilir.

Betonun yerleştirme sıcaklığı 7 ila 21 °C olmalıdır. 21 °C'nin üzerine çıktığında betonun uzun dönemdeki dayanımı olumsuz yönde etkilenebilir. Döküm esnasında taze betonun sıcaklığı karışım bileşenlerinin sıcaklıklarının bir fonksiyonudur ve aşağıdaki eşitlik (1) ile hesaplanır;

Tablo 3. Soğuk havaya maruz ve tam yüklü beton için tavsiye edilmiş koruma periyotları*

Çimento Tipi	Koruma Süresi** (Gün)			
	28 Günlük Dayanım Yüzdesi			
	50	65	85	95
	10 °C lik Beton Kür ve Koruma Sıcaklığı İçin			
PÇ 32.5 ve KÇ 32.5	6	11	21	29
TÇ 32.5 ve UKÇ 32.5	9	14	28	35
PÇ 42.5 ve PÇ 52.5	3	5	16	26
	21°C lik Beton Kür ve Koruma Sıcaklığı İçin			
PÇ 32.5 ve KÇ 32.5	4	8	16	23
TÇ 32.5 ve UKÇ 32.5	6	10	18	24
PÇ 42.5 ve PÇ 52.5	3	4	12	20

*Bu tablodaki veriler 21°C de 28 gün boyunca kür edilmiş 20 ila 35 MPa dayanımlara sahip betonlardan çıkarılmıştır. Her bir çimento tipi için 28 günlük beton dayanımı %100 olarak düşünülmekte ve 10 °C ve 21°C de kür edilen betonlar bu dayanımların birer yüzdesi olarak bulunmuşlardır.

**Bu tablodaki koruma süreleri kalıpların kısımlar halinde sökülmesi ve kalıbı sökülen yerlere tekrar ve yeterli sayıda dikmeler konması şartı ile geçerlidir.

$$T = \frac{[0.22(T_s W_s + T_a W_a + T_c W_c) + T_w W_w + T_s W_{ws} + T_a W_{wa}]}{[0.22(W_s + W_a + W_c) + W_w + W_{ws} + W_{wa}]} \quad (1)$$

Burada,

T	=	Taze betonun karışım sonunda ulaşacağı sıcaklık,	°C
T _c	=	Çimentonun sıcaklığı,	°C
T _s	=	İnce agreganın ortalama sıcaklığı,	°C
T _a	=	İri agreganın ortalama sıcaklığı,	°C
T _w	=	Karışım suyunun sıcaklığı,	°C
W _c	=	Çimento dozajı,	(kg/m ³)
W _s	=	İnce agreganın DKY kütlesi,	(kg/m ³)
W _a	=	İri agreganın DKY kütlesi,	(kg/m ³)
W _w	=	Karışım suyu kütlesi,	(kg/m ³)
W _{ws}	=	İnce agrega üzerinde absorbe olmuş serbest su kütlesi, (Rutubet yüzdesinden hesap edilmelidir)	(kg/m ³)
W _{wa}	=	İri agrega üzerinde absorbe olmuş serbest su kütlesi, (Rutubet yüzdesinden hesap edilmelidir)	(kg/m ³)

Gerekli olduğu durumlarda uygun beton bileşenleri ısıtılabilir. Bu ısıtma işleminin kolay ve etkili olanı karışım suyunu 60 ila 80 °C' ye kadar ısıtmaktır, ancak bu değerler aşılmamalıdır. Çünkü yüksek sıcaklıkta çimento ani priz alabilir ve bu nedenle istenmeyen sonuçlar ortaya çıkabilir. Su ile çimentonun sıcaklık farkı da fazla olmamalıdır. Gereğinden fazla sıcak bir karışım suyu ile temas ettirilen çimento topaklaşmaya maruz kalabilir. Bu nedenle de betonyere konulacak olan bileşenlerin karışıma girme sıraları sıcaklık dengelenmesine uygun olmalıdır.

Eğer ısıtılan karışım suyu taze beton sıcaklığını istenilen seviyeye çıkarmaya yeterli görülmez ise, agregalar buharla indirekt olarak kuru şekilde yaklaşık 52°C' ye kadar ısıtılmalıdır. Direkt olarak buharla ısıtma işleminden agreganın nem içeriğinin artması tehlikesi olacağından kaçınılmalıdır. Agreganın sıcaklığı 0 °C'nin altında ise bu durumda absorbe nem içeriği (Toplam rutubet içeriği kadar su) buz halindedir. Bu durumda, agreganın bulunduğu T_a sıcaklığından buzun sıcaklığını artırmak için gerekli ısıyı değil, aynı zamanda buzun suya dönüşmesi esnasında ortamdaki alacağı ısı (erime gizli ısı) da hesaba katılmalıdır. Bu durumda, henüz yeni karışmış taze betonun sıcaklığı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır;

$$T = \frac{[0.22(T_s W_s + T_a W_a + T_c W_c) + T_w W_w + W_{ws}(0.5T_s - L) + W_{wa}(0.5T_a - L)]}{[0.22(W_s + W_a + W_c) + W_w + W_{ws} + W_{wa}]} \quad (2)$$

Burada, 0.5, buzun özgül ısısının suyunkine oranı ve L, buzun erime gizli ısısının suyun özgül ısısına oranı olmaktadır ve 80 °C'ye eşittir.

Döküm sonrasında, beton için yeterli kür sıcaklığı, betonun yalıtım yapılması yoluyla dış ortamla ilişkisi kesilerek ve gerekirse yapının etrafını tamamen korugan içerisine almak ve bu korugan içerisinde bir ısı kaynağı kullanmakla sağlanabilmektedir. Isıtma sistemi şekli öyle olmalıdır ki betonu hemen kurutacak nitelikte olmamalıdır ve betonun hiç bir kısmı çok fazla ısıtılmamalıdır. Beton yüzeyinin temasta bulunduğu dış ortamda yüksek konsantrasyonlu CO₂ oluşumu önlenmelidir, çünkü bu karbonasyona neden olabileceğinden, egzoz buharı muhtemelen en uygun ısı kaynaklarından biridir. Bazı durumlarda kapalı çelik borular içerisinde sıcak su sirkülasyonu betonu korumak için kullanılmaktadır.

Önemli yapılarda, beton sıcaklığı sürekli izlenmelidir. Termometrelerin veya Isılçiftlerin (thermocouple) yerleştirilecek kısımların belirlenmesinde, köşeler ve yüzeylerin donmaya çok daha elverişli olduğu dikkate alınmalıdır. Sıcaklığın izlenmesi, bizlere yalıtımın veya ısıtmanın ayarlanması konusunda yardımcı olacaktır. Atmosferik şartlar, örneğin bir rüzgar esintisi sıcaklığın birden düşmesine neden olabilir ve bu donma olayını hızlandırır. Diğer yandan, kar yağışı nedeniyle beton üzerinde biriken kar tabakası bir yalıtım malzemesi gibi davranır ve dolayısıyla doğal bir koruma sağlar.

Beton dökümü esnasında taze betonu don etkisinden korumanın bilinen bir kaç yöntemi vardır;

1. Beton bileşenlerinin sıcaklıkları normal sıcaklık değerlerine veya gerektiğinde daha yüksek sıcaklıklara getirilerek karıştırılır ve taze betonun yeterli dayanıma ulaşması sağlandıktan sonra dondan zarar görmesi önlenir. Burada önemli olan betonun önemli bir bileşeni olan çimentonun hidratasyonunun devam etmesidir.

2. Diğer bir yöntem ise betonun hemen dökümünün akabinde uygun ısı yalıtım malzemeleri ile yüzeyden korunmasıdır.
3. Bir başka yol taze betonu dökümden sonra dışardan verilecek ekstra bir enerji ile bir kısım ısıtma yöntemleri ile ısıtmaktır. Bu ısıtma sistemleri genellikle pahalı yöntemlerdir. Bunlardan en uygun olanı ve en yaygın olarak kullanılanı buhar kr uygulamasıdır ve betonu dondan koruma yoludur. Elektriksel bir kaynağa bağlı enerji kullanımı ise biraz pahalı bir yöntemdir ve çok gerekmedikçe kullanılmaz.
4. Son yöntem ise bir beton katkısı olan antifriz katkı kullanmaktır. Ancak antifriz katkıların tek başlarına betonu dondan güvenli şekilde korumaları şüpheyle karşılandığı için, antifriz katkı kullanımı diğer koruma yöntemleri ile birlikte kullanılmaktadır.

Soğuk havada betonlama yapmanın bir kaç önemli nedeni vardır. Örneğin, sulama kanallarının tamiri ve bakımı gerektiği durumlarda yaz aylarına kadar beklemek ekonomik ve teknik olarak uygun olmayabilir, soğuk havada acil beton yüzey tamiri gerekebilir veya zamanında yetişmesi gereken bir proje için soğuk havada beton dökümü gerekebilir. Bu ve benzeri yerlerde zamandan ve insan gücünden de tasarruf etmek amacıyla antifriz katkıların kullanımı ekonomik bir çözüm olabilir. Günlük ortalama sıcaklığın 5°C nin altına düştüğü sıcaklıklarda beton döküm ve bakım işlemleri mutlaka gerekli tedbirler alınarak yapılmalıdır. Soğuk hava betonlaması genellikle taze betonu don etkisinden korumak için bazı önlemlerin alınması ihtiyacından dolayı pahalı bir işlemdir. Uygulama açısından kolay ve ekonomik ve aynı zamanda teknolojik olarak basit bir alternatif bu tür işlerde antifriz katkı kullanarak taze betonun dondan korunması sağlanabilmektedir. Bugün piyasada ticari olarak temin edilebilen bir çok antifriz katkı vardır. Bunlar betondaki boşluklara yerleşerek suyun donma noktasını düşürürler, ancak bu katkılar genellikle klor ve sodyum iyonları içerdiklerinden beton donatısına zarar (korozyon) verebilmektedirler. Beton donatısına zarar vermeyen antifriz katkılar da mevcuttur.

Antifriz katkıların beton teknolojisinde kullanılması aslında yeni bir metot değildir. Bu tür katkılar özellikle kuzey yarımküre ülkelerinde; Rusya, Norveç, İsveç, Finlandiya ve diğer Kuzey Avrupa ülkelerinde eskiden beri kullanılmaktadır. Bu çalışmada özellikle antifriz katkıları üzerinde yapılacak kapsamlı bir literatür araştırmasının sonuçları verilecek ve tartışılacaktır. Öncelikle antifriz katkıının tanımı, kullanımı ve öneminden bahsedildikten sonra bu katkıların değişik bileşenleri ile bugüne kadar yapılan bazı çalışmaların teorik ve deneysel sonuçları verilecektir. TAKK Dairesi, Beton-Malzeme laboratuvarlarında daha sonra yapılacak bir araştırma ile ülkemiz koşulları için değişik türdeki antifriz katkıların beton teknolojisinde kullanılmaları ile ilgili gerek teorik ve gerekse detaylı deneysel bilgiler elde edilmeye çalışılacaktır.

2. BETON ANTİFRİZ KATKILARI

Antifriz katkıları özellikle soğuk iklimin hakim olduğu bölgelerde beton döküm işlemleri için önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle eski Sovyetler Birliği'nde bu konuda oldukça fazla bilgi ve tecrübe mevcuttur. Bu katkıları beton karışım suyuna katıldıktan sonra meydana gelen çözeltinin donma noktasını düşürerek betonu soğuktan koruma görevini yerine getirirler.

Bu antifriz katkıları yerinde dökümlü, ön-dökümlü donatılı veya donatısız beton dökümlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu katkıları dışarıda hava veya yer sıcaklığının +5 °C altında ve günlük minimum 0 °C sıcaklık altında -30 °C ye kadar beton dökümü yapılabilmektedir.

Antifriz katkılarının kış betonlamasında kullanılması ve uygulanması teknolojik olarak basit ve faydalıdır. Bu tekniğin buhar kürü ve içten ısıtmalı sistemlerin uygulanmasından 1.2 ila 1.5 kere ve elektrikli ısıtmalı sistemlerin kullanılmasından da 1.3 ila 1.5 kere daha ekonomik bir yöntem olduğu ispatlanmıştır. Kış şartlarında antifriz katkıları kullanılması ısı ve elektrik enerjisi tasarrufu sağladığı gibi aynı zamanda da daha kolay bir yapı teknolojisi fırsatını sunmaktadır.

Antifriz katkıları esas olarak iki önemli yönde betonda etkin olmaktadır:

1. Antifriz katkıları beton sıvı fazının donma noktasını düşürerek donmayı önler; bunlar zayıf priz hızlandırıcılar veya priz geciktiriciler olabilmektedir. Örneğin güçlü elektrolitlerden Sodyum Nitrit (NaNO_2) veya Sodyum Klorür (NaCl) priz hızlandırıcılar olarak kullanılırken, zayıf bir elektrolit olan amonyak'ın sulu çözeltisi ve organik orijinli çok atomlu alkoller ve karbamidler (üre içeren katkıları) de priz geciktiriciler olarak kullanılırlar.

2. Bir kısım antifriz katkıları çimentonun priz alma ve sertleşme sürecini oldukça hızlandırmak suretiyle erken dönemde hidrasyon ısısının artmasına neden olmaktadır ve bu da donmaya karşı betonu korumaktadır. Bu katkıları potas ve Kalsiyum Klorür (CaCl_2) esaslı maddeler olabilirler. Örneğin CaCl_2 (CC) ve NaCl

(SC) karışımı, Sodyum Nitrit (SN), Kalsiyum Nitrit-Nitrat (CNN), Kalsiyum Nitrit-Nitrat + Üre (CNN+Ü) ve diğerleri bu gruba dahildir.

Bu yukarıda bahsedilen katkılara ek olarak bir de zayıf antifriz özelliği gösteren fakat çimento hidratasyonu reaksiyonunu hızlandıran ve priz almayı ve sertleşmeyi kısa sürede sağlayan Ferrik Sülfat ve Alüminyum Sülfat gibi katkıları vardır, ancak çok yaygın olarak kullanılmazlar, çünkü bu tür katkıları kullanılarak yapılan betonlar fazla miktarda kapiler boşluk içermektedirler.

Antifriz katkıları esas işlevlerini suyun donma noktasını düşürmek suretiyle gerçekleştirirler. Bu nedenle katkı dozajlarını karışım suyuna oranla kütlece vermek daha pratik olmaktadır. Ülkemizde katkıların kullanılma oranları genellikle çimento kütlesine oranla verilmektedir. Ancak bu çalışmamızda oranlar suya göre verilmiştir. Rusya'da ve diğer bazı kuzey avrupa ülkelerinde en çok kullanılan antifriz katkı maddeleri Tablo 4'de verilmiştir. Bu katkıların çoğu başka amaçlar için de kullanılabilir ve sadece kalsiyum-nitrit-nitrat ve kalsiyum klorür-nitrit-nitrat antifriz katkı maddeleri özellikle formüle edilip antifriz olarak kullanılırlar. Kalsiyum nitrit esaslı katkıları A.B.D'de üretilmektedirler.

İklim koşullarının rölatif olarak ılımlı geçtiği ve beton sıcaklığının -10°C 'nin altına düşmediği bölgelerde, Karbamid (Üre içeren antifriz) uygun olarak kullanılabilir. Bu antifriz katkı maddesi betonun işlenebilirliğini artırdığı gibi aynı zamanda üniform bir karışım meydana getirir. Ancak, betonun sertleşmesini, yani priz almasını çok fazla hızlandırmaz.

Karbamid kompleks antifriz katkıların bileşiklerinden bir tanesini oluşturmaktadır. CNNÜ veya CCNNÜ (kalsiyum-nitrit-nitrat veya kalsiyum klorür-nitrit-nitrat içeren üreli bileşikler).

Çok yaygın olarak kullanılan beton antifiriz katkıları aşağıdaki Tablo-4 de verilmiştir.

Tablo 4. Çok Kullanılan Antifiriz Katkıları

Katkı İsmi	Kısaltma	Formül
Sodyum Klorür	SC	NaCl
Kalsiyum Klorür	CC	CaCl ₂
Potas	P	K ₂ CO ₃
Sodyum Nitrit	SN	NaNO ₂
Üre (Karbamid)	Ü	C0(NH ₂) ₂
Kalsiyum Nitrat	CN	Ca(NO ₃) ₂
Kalsiyum Nitrit-Nitrat	CNN	Ca(NO ₂) ₂ +Ca(NO ₃) ₂ (a)
Kalsiyum Nitrit-Nitrat + Üre	CNN+Ü	Ca(Na ₂) ₂ +Ca(NO ₃) ₂ +C0(NH ₂) ₂ (b)
Kalsiyum Klorür Nitrit Nitrat	CCNN	Ca(NO ₂) ₂ +Ca(NO ₃) ₂ +CaCl ₂ (c)
Kalsiyum Klorür Nitrit Nitrat + Üre	CCNN+Ü	Ca(NO ₂) ₂ +Ca(NO ₃) ₂ +CaCl ₂ +C0(NH ₂) ₂ (d)
Kalsiyum Nitrat Kompleks Tuzu ve Üre	CNÜ	Ca(NO ₃) ₂ · 4C0(NH ₂) ₂
Kalsiyum Nitrat ve Üre(Mekanik karışım)	CN+Ü	Ca(NO ₃) ₂ C0(NH ₂) ₂ (e)

(a) Kalsiyum Nitrit ile Kalsiyum Nitrat oranı kütlece 1:1.

(b) CNN ile üre oranı kütlece 3:1 ila 1:1 olabilir.

(c) Kalsiyum Nitrit-Nitrat ile Kalsiyum Klorür oranı kütlece 1:1

(d) Kalsiyum Klorür Nitrit-Nitrat ile üre oranı kütlece 3:1 ila 1:1.

(e) Kalsiyum Nitrat ile üre oranı kütlece 3:1 ila 1:1

3. Antifiriz Katkıların Hazırlanması, Kullanılması ve Uygulanması

Antifiriz katkıları kararlı bileşiklerdir ve katı veya çözeltiler halinde çok uzun yıllar boyunca stok edilebilmektedirler. Denemeler sonucunda bulunmuşturki 5 yılı aşkın bir süre içerisinde hiç bir oksidasyona veya indirgenmeye maruz kalmadıkları tespit edilmiştir. Antifiriz katkıları beton karışım suyuna direkt olarak karıştırılmak suretiyle kullanılırlar. Bu katkıların tavsiye edilen dozajları ise aşağıdaki Tablo 5 de gösterilmektedir. Bu tablo'da verilen değerler sadece ortalama değerlerdir ve değişik faktörlere bağlı olarak % 10 ila % 15 oranında değişebilirler.

Tablo 5. Antifriz Katkıların Tavsiye Edilen Kullanım Oranları

Beton Kür Sıcaklığı (Hava Sıcaklığı) (°C)	Toplam Katkı Miktarı* (Karışım Suyuna Oranla % Kütlege)							
	SN	CC+SC	CNU CN+U ^a	CNN ^c	CN+U ^b CNN+U ^b	CCNN ^d CC+SN ^e	CCNNU ^b	P
0 ila -5	8	6+0 6+4	6	9	8	6	8	10
-6 ila -10	12	7+3 8+5	12	16	15	12	15	12
-11 ila -16	16	6+9 7+10	15	—	18	15	18	16
-17 ila -20	—	5+12 6+14	20	—	22	18	20	20
-21 ila -25	—	—	—	—	—	25	25	25-30

*Bu tabloda verilen değerler tek başlarına beton koruması için şartlara bağlı olarak yeterli olmayabilir, bu nedenle diğer koruma yöntemlerini de kullanmak gerekebilir. Tek başlarına yeterli olabilmeleri için öncelikle betonun kritik bir dayanıma ulaşması gereklidir. Bu kritik dayanım ise proje dayanımının %30, %25 veya %20'sidir.

*Bütün oranlar kütlege verilmiştir

^aÜrenin bütün diğer bileşenlere oranı 1:1.

^bÜrenin diğerlerine oranı 1:3.

^cCCN içerisinde Kalsiyum Nitrit'in Kalsiyum Nitrat'a oranı 1:1.

^dCCNN içerisinde Kalsiyum Klorür'ün CNN'ye oranı 1:1

^eSodyum Nitrit'in Kalsiyum Klorür'e oranı 1:1 ila 3:1.

Antifriz katkıları betonda genellikle tek başlarına kullanılmazlar. İlave olarak şartlara uygun başka bir katkı kullanılması çok sık rastlanan bir durumdur. Örneğin gaz oluşturmaya yardımcı, hava sürükleyiciler, su azaltıcılar veya süperakışkanlaştırıcılar bu amaçla sıklıkla kullanılırlar. Bu ilave katkıların birlikte kullanılma dozajları yapılacak olan laboratuvar deneyleri ile şartlara göre tespit edilmelidir. Genellikle, antifriz katkılarıyla birlikte kullanıldıkları zaman normalde kullanıldıklarından daha yüksek dozlarda kullanılırlar.

Antifriz katkıları yüksek oranlarda kullanıldıklarından yüksek maliyet getirmektedirler ve tasarruf etmeyi gerektirebilirler. Bu nedenle yeni metodlar geliştirilmekte ve antifriz katkıları ısıtma sistemleri ile birlikte kullanılarak dozaj miktarlarının azaltılması sağlanmıştır.

Antifriz katkıları Tablo 5 de verildiği oranlarda kullanıldığı zaman ekonomik olarak uygun olmamaktadırlar. Bu nedenle yeni metotların geliştirilmesi gerekmektedir. Bir metot, antifriz katkıları için genellikle normalde uygulanan dozaj miktarlarından 1.5 ila 2 kez daha az oranda kullanımı sunmaktadır. Tablo 6' da ortalama hava sıcaklığına göre antifriz katkılarının kullanım oranları verilmiştir.

Tablo 6. Hava Sıcaklığına Göre Tavsiye Edilen Antifriz Katkı Miktarları

Ortalama Hava Sıcaklığı (°C)	Toplam Antifriz Katkı Miktarı* (Karışım Suyuna Oranla % Kütlece)		
	SN+CC	CCNN	CCNNÜ
0 ile -5	4 - 6	3 - 5	4 - 6
-6 ile -10	6 -10	5 - 10	6 - 10
-11 ile -35	10 -15	10 - 15	10 - 15

*Eğer CNÜ kullanılacaksa CCNNÜ ile aynı dozajlarda kullanılabilir, ancak CNÜ en düşük -30 °C ye kadar kullanılabilir. -10 °C ye kadar CNÜ deki CN ile Ü oranı 1:1 olmalıdır, ancak daha düşük sıcaklıklar için bu oran 3:1 olmalıdır. Burada CCNNÜ içindeki CCNN ile Ü oranı 3:1 ve SN ile CC arasındaki oran ise 1:1 dir.

Bu yukarıda Tablo 5 ve 6' da verilen katkıları ve kullanım oranları aşağıda verilmekte olan şartlarda kullanılmalıdır.

1. Tablo 5' de verilen antifriz katkı dozajları koruma önlemleri ile beraber kullanılacak olan değerlerdir. Bu koruma önlemleri genellikle beton yüzeyine konulan kaplamalar veya ışıklı ısıtma sistemleridir. Bu durumda, hava sıcaklığı -10°C nin altına düşerse, beton için dayanım şartı daha yüksektir. Normal kür şartlarında 28 günlük beton basınç dayanımına göre gerekli dayanım yüzdeleri; 10-15 MPa için %50 sinden daha düşük olmamalıdır. 20, 30 ve 40-50 MPa dayanımlar için ise sırasıyla %40, %30 ve %25 den az olmamalıdır.

2. Bu metot $T \leq -15^{\circ}\text{C}$ altındaki sıcaklıklarda kış betonlaması yapılmasına müsaade eder ve beton zamanla dayanım gelişmesini sürdürür ve $T > -10^{\circ}\text{C}$ de proje dayanımına ulaşır. Özellikle bütün kış boyunca sıcaklığın çok düşük olduğu ve fazla değişim göstermeyen bölgelerde bu metot kullanılabilir ve beton dökümü takip eden kısa bir zaman içinde servis verebilir hale gelebilir.

Antifriz katkı kullanmaksızın betonun erken yaşlarda dondurulması metodu bazı dezavantajlara sahiptir. Bu şekilde donmaya maruz bırakılmış betonun normal küre tabii tutulmuş betonunkine oranla, basınç dayanımında %20 ila %40 civarında ve don karşı direncinde de %40 ila %60 civarında bir azalma kaydedilmiştir. Beton ile donatı arasındaki bağda ise %70 civarında bir azalma görülmüştür. Ancak, Tablo 6 da önerilen miktarlarda kullanılan antifriz katkılarıyla -10°C ye kadar betonun erken dönemdeki priz alması hızlandırılır ve kritik dayanıma ulaşarak donması engellenir.

Bu metotla, zemin döşeme betonlarının zorunlu olarak servis dışı kalmaları geçici çözümler esnasında önlenir. Bunun olması mümkündür, çünkü önerilen miktarlarda kullanılan antifriz katkıları betonun sertleşmesini hızlandırarak hidratasyonun devam etmesini -10°C ye kadar sağlayacaktır. Tablo 6'da verilen katkı ve hatta CaCl₂ zemin sıcaklığının 0 °C altındaki sıcaklıklarda bile tavsiye edilmektedirler, çünkü zeminde bulunan buz bu antifrizler ile eriyip su haline dönüştüğü için betonun dayanımına katkıda bulunduğu düşünülmektedir. Zeminin yük taşıma kapasitesi sıcaklığına ve tuzluluk derecesine göre değişir. Zeminin içinde bulunduğu şartlarını korumak için su yalıtımı sağlanmalıdır. Tablo 6'da gerekli dozajlar değişik sıcaklık rejimleri için verilmiştir.

3. Antifriz katkı birer elektrolit gibi davranırlar ve bu nedenle sadece prizi hızlandırmakla kalmazlar aynı zamanda elektrik ısıtmalı sistemlerin kullanılma sürelerini de kısaltırlar. Çünkü bu katkı beton sıvı fazının elektriksel iletkenliğini artırmaktadırlar. Böyle oluncada 0°C altında elektrikli ısıtma işlemi uygulama imkanı da doğmaktadır.

4. Beton Antifriz Katkılarının Yapı Tipine Göre Seçimi

Tablo 7 de yapı tipi ve çalışma şartlarına bağlı olarak kullanılacak antifrizin ve ne tür bir antifrizin kullanılması gerektiğini göstermektedir. Bu tabloda verilen veriler aynı zamanda antifriz katkı ile beraber kış betonlaması esnasında başvurulan diğer metotlarla birlikte de kullanılabilir.

Tablo 7. Yapı Tipine Göre Antifiriz Katkının Seçimi
(+ mäsade edilen ve - mäsade edilmeyen)

Yapı Tipi ve Çalışma Şartları	Katkılar						
	CC+SC	CNU CN+U CNN+U	CC+SN	CCNN CCNN+U	SN	P	CNN
1. Öngermeli Yapılar	-	-	-	-	+	-	+
2. Öngermesiz Beton Donatı Çapına Göre							
(a) >5 mm	-	+	+	+	+	+	+
(b) <5 mm	-	+	-	-	+	+	+
3. Donatısız Beton (Öngermesiz)							
(a) Korumasız	-	+	-	-	+	+	+
(b) Çinko Kaplama	-	-	-	-	+	-	+
(c) Diğer Kaplamalar (Alkali dirençli boyalar veya alkali dirençli koruyucu kaplamalar)	-	+	-	-	+	+	+
4. Monolitik çekirdekli bloklar içeren öndökümlü monolitik yapılar	-	+	+	+	+	+	+
5. Donatılı Beton							
(a) Korozifsiz gaz ortamı	-	+	+	+	+	+	+
(b) Korozifli gaz ortamı	-	+	-	-	+	+	+
(c) Korozifli ve korozifsiz sulu ortam, (d) deki hariç korozif su ortamı	+	+	+	+	+	+	+
(d) Tuz ve alkali içeren korozif su ortamı	-	-	-	-	+	-	+
(e) Değişen Su Seviyeli bölgeler	-	+	-	-	-	-	-
(f) Bağıl Nem % 60'ın üzerinde olduğu su ve gaz ortamı (agrega reaktif silika içeriyor)	-	+	-	+	-	-	+
(g) Dış kaynaklardan gelen sabit kaçak akımlı bölgeler.	-	+	-	-	+	+	+

*Sadece su azaltıcı ve priz azaltıcı katkılarla kullanılmasına mäsade edilmektedir.

Betonlama işlemleri tamamlandıktan sonra, beton yüzeyinde açık kalan kısımlar bir su geçirimsiz malzeme ile örtülerek su kaybı ve yüzeyde tuzlu bileşikler oluşması önlenmelidir. Betonun sıcaklığının belli seviyede korunması da sağlanmalıdır. Betondan kalıp alma işlemleri betonun belli dayanıma ulaşmasından sonra yapılmalı ve bu işlemlerde aşağıda verilen kriterlere uyulmalıdır;

Kalıp alma için gerekli beton dayanımları ;

- Öngermeli beton yapılar için proje dayanımının %80 inden az olmamalıdır
- Erken yaşta donma-çözülmeye maruz kalacak beton yapılar için proje dayanımının %70 inden az olmamalıdır.
- Yük taşıyıcı beton yapılar için Tablo 8 deki değerlere uyulmalıdır.

Tablo 8. Kalıp Sökme İçin Gerekli Beton Dayanımları

Beton Yapı Elemanının Uzunluğu (m)	Gerçek Yük Altındaki Dayanım (Proje Dayanımının % si Olarak)	
	Öngermeli Beton Yapılar >70	Erken Yaşta Donma Çözülmeye Maruz Beton Yapılar <70
>6	100	80
<6	100	70

Hiç bir yük taşımayan kalıpların ve diğer ısı yalıtım malzemelerin alınması için betonun en son dayanımına ulaşması gereklidir.

5. Betonun Fiziksel Özellikleri Üzerine Antifiriz Katkıların Etkileri.

Antifiriz katkıların betonun fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi bir çok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Kullanılan çimentonun dozajına, tipine ve kompozisyonuna, sıcaklık koşullarına, antifiriz katkının özelliklerine ve oranına göre ve yapının tipine bağlı olarak bu katkıların betonun fiziksel özelliklerini farklı şekilde etkilediği görülmektedir. Bu etkileri, yapılan deneysel çalışmalar sonucunda meydana getirilmiş olan grafik ve tablolardan görebilmek mümkündür.

5.1. Terleme

Terleme ve katı parçacıkların sedimentasyonu çok yaygın olarak kullanılan antifiriz katkılarla yapılmış olan beton karışımlarında olmamaktadır. Bunun nedeni bu tür katkıların çimento prizini oldukça hızlandırmasından kaynaklanmaktadır. Diğer bir nedeni de yüksek oranlarda kullanılan bu katkıların beton sıvı fazının viskozitesini artırması ve sıcaklığını azaltmasıdır.

Terleme, güçlü priz yavaşlatıcılar ve akışkanlaştırıcılarla veya sodyum nitrit, karbamid (Üre), amonyak ve buna benzer zayıf priz yavaşlatıcı veya azaltıcılarla birlikte kullanıldığında artmaktadır. Bu durumlara rastlanıldığında terlemeyi azaltmak için bazı önlemler alınmalıdır. Betonun ince kısım oranını arttırmak, düşük incelik modülü, veya bazı mineral katkıları kullanmakla terleme azaltılabilir.

5.2. Betonun Reolojik Özellikleri

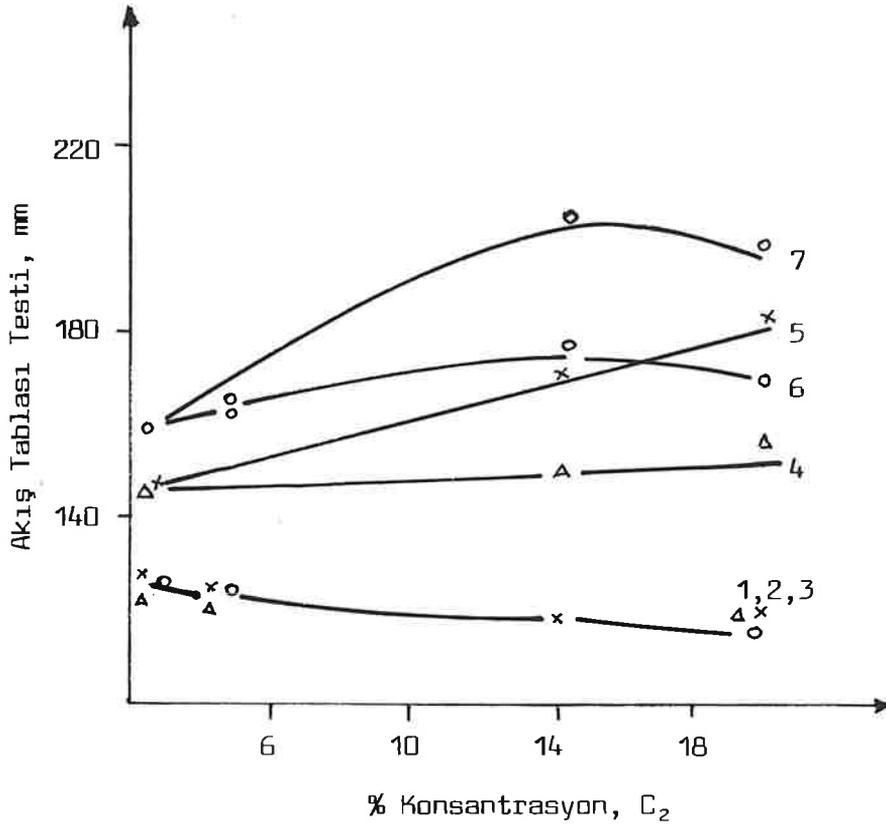
Antifriz katkıları, özellikle kalsiyum tuzları zayıf akışkanlaştırıcılar gibi davranırlar ve su-çimento oranını %3 ila 5 civarında azaltırlar, ancak işlenebilirlik üzerinde etkili olmazlar. Sodyum Klorürle birlikte kalsiyum klorür ve nitritli karışımlar zayıf akışkanlaştırıcılar olarak davranırlar.

Daha yüksek akışkanlaştırıcı etki karbamid (Üre) kullanılması ile sağlanabilmektedir. Bunlar işlenebilirliği ve akıcılığı oldukça artırır; CNÜ, CNNÜ, ve CCNNÜ gibi katkıları buna örneklerdir. Ancak bunlar aynı zamanda priz yavaşlatıcı özelliğe de sahiptirler.

Diğer tuzlar, yalnız başlarına veya kompleks antifriz bileşiği olarak kullanıldıklarında karbamid gibi işlenebilirliği artırmazlar. Bu nedenle karbamid içermeyen katkıları bir akışkanlaştırıcı veya süperakışkanlaştırıcı ile birlikte kullanmak daha faydalıdır.

Naftalin-formaldehid tipinde veya liginosülfonatlı potas içeren bir süperakışkanlaştırıcıyı sodyum nitrit ile kombinasyonu halinde kullanmak suretiyle süperakışkanlaştırıcının istenilen konsantrasyonu %0.3 ila 0.15 arasında azaltılabilir.

Süperakışkanlaştırıcılarla birlikte kalsiyum tuzlu antifrizlerin kombinasyonlarının birlikte kullanılması aşağıda verilen Şekil.1 de gösterildiği gibi betonun akıcılığını etkilemektedir.



Şekil-1. Harç üzerinde değişik dozajlarda kullanılan elektrolitler ve akışkanlaştırıcı katkılarla beton akıcılığının test sonuçları. (1) CNN, (2) CC, (3) CCNN (4) % 0.2LS+CCNN, (5) %0.5 Süperakışkanlaştırıcı + CNN, (6) % 0.7 Süperakışkanlaştırıcı+CC, (7) % 0.7 Süperakışkanlaştırıcı+CCNN. Organik katkıların dozajı çimento kütlesine oranla verilmiş ve inorganik katkıların oranı karışım suyunun kütlesine göredir.

5.3. Betonda Boyutsal Değişmeler

Kalsiyum içeren antifriz katkıları (örneğin NaCl ile birlikte CaCl₂) 0°C veya daha yüksek sıcaklıkta kür edilen betonda katkısız referans betona göre %5 ila 10 civarında daha fazla rötreye neden olmaktadır. Diğer tür antifriz katkıların neden olduğu boyutsal değişim (rötre) ise çok daha düşüktür.

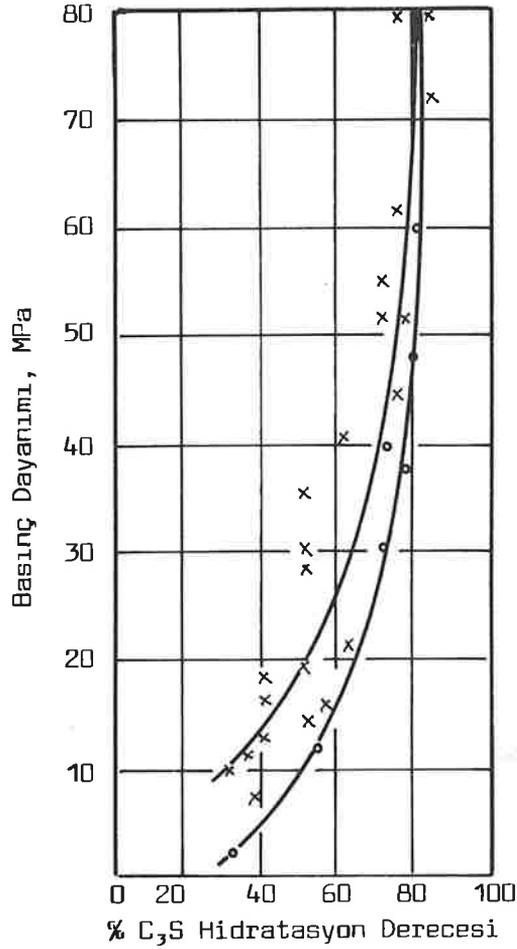
Antifriz katkı ile birlikte birden fazla katkı kullanılması durumunda betonda rötre sadece bu katkıların ayrı ayrı kullanılmalarıyla gösterdikleri etki mertebesinde olmaktadır.

5.4. Çimento Pastasının Mikroyapısı

Çimento pastasının mikroyapısı çeşitli fiziksel ve kimyasal tesirlerden etkilenmektedir. Herhangi bir ısıtma işlemi uygulanmayan kış betonlamasında kür sıcaklığı çimentonun hidratasyon ve dayanım kazanma hızını etkilemektedir. Düşük sıcaklıkta çimento hidratasyonunda daha az kusurlu hidrat fazları oluşmakta ve bunun sonucunda katkısız referans betonun dayanımı 0 ila 10 °C arasında aynı hidratasyon derecesine sahip katkılı betonunkine oranla daha yüksek çıkmaktadır. Antifriz katkının bu tesiri çimentonun silikat ve alüminat bileşenlerinin hidratasyonu üzerinde göstermiş olduğu etkiden kaynaklanmaktadır.

Kalsiyum hidrosilikatların morfolojik (mikroyapı gelişimi) yapıları antifriz katkıların kullanılmasıyla herhangi bir değişikliğe uğramazlar. Ancak bu durum hidrate olmuş alüminat içeren çimento fazları için geçerli olmamakta ve değişik kristal yapıları oluşabilmektedir.

Şekil.2 de değişik sıcaklıklarda kür edilmiş ve antifriz katkı içeren ve içermeyen çimento pastalarının basınç dayanımları C_3S (alite) in hidratasyon derecesi esas alınarak verilmektedir. Bu şekilden anlaşılacağı gibi antifriz katkı içeren çimento pastası aynı hidratasyon derecesinde daha yüksek basınç dayanımı vermektedir. Bunun muhtemel sebebi ise kalsiyum hidrosilikatların değişik bir mikroyapı oluşturmasındandır. Diğer bir nedeni de antifriz katkıların çimento pastasının özgül yüzey alanını artırması ve bunun da dayanımı artırmasıdır. Kalsiyum esaslı antifriz katkıları aynı zamanda betonun porozitesini azaltıklarından dayanımı yine artırır. Bu dayanım artışı hiç kuşkusuz ki süperakışkanlaştırıcı katkı kullanmakla daha da yüksek oranda olmaktadır. Sodyum Nitrit, kalsiyum tuzları kadar etkili değildir. Potaslı antifriz katkıları ise betonun permeabilitesini artırdıklarından su azaltıcılarla birlikte kullanılmaları tavsiye edilmektedir.



Şekil-2. Çimento pastasıyla yapılmış olan numunelerin basınç dayanımları antifriz katkı ve katkısız olarak yukarıdaki şekilde karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Basınç Dayanımları çimentonun hidratasyon derecesine bağlı olarak verilmektedir. o-o-o katkısız ve x-x-x CNU ve CCNU katkıları ile yapılmış olan çimento pastalarının basınç dayanımlarıdır.

5.5. Betonun Sünmesi

Antifriz katkı betonun sünmesini minimal bir düzeyde etkilerler. Antifriz katkıların betonda yarattığı sünme normal priz hızlandırıcıların oluşturduğu sünme miktarından belki daha az olabilmektedir. Antifriz katkıyla diğer katkıların birlikte kullanılması sonucunda rötre olayında gözlemlenen etkiler sünme olayında da aynı şekilde olmaktadır.

5.6. Çimento Pastası Boşluk Yapısı

Antifriz katkıların bir çoğu çimento pastasının boşluk yapısını etkilemektedir. Bu etki, çimento pastası içerisindeki büyük boşlukların daha küçük boşluklara (mikro boşluklar veya jel boşlukları) dönüşmesi ile kendini belli eden bir durumdur. Toplam boşluk miktarında bir değişiklik meydana gelmez. Büyük boşlukların daha küçük boşluklara dönüşmesi antifriz katkının kullanım dozajına bağlı olarak değişmektedir. Ancak, %20-25' i geçen durumlarda bu etki boşluk yapısı için zararlı tesirler doğurabilmektedir.

Antifriz katkıları çok sık olarak bazı organik priz yavaşlatıcılar, akışkanlaştırıcılar, ve hava sürükleyiciler gibi yüzey aktif maddeler ile birlikte kullanılırlar. Bu gibi durumlarda, her bir katkı boşluk yapısı üzerinde birbirlerinden bağımsız olarak etkiye bulunurlar. Bu tür kombinasyonların kullanılması sonucunda betonda mekanik ve don direnci özellikleri açısından optimum bir boşluk yapısı oluşumu sağlanmaktadır.

5.7. Betonun Geçirgenliği

Özellikle kalsiyum esaslı antifriz katkıların kullanımı ile betonun boşluk yapısındaki olumlu gelişmeler, yani, büyük boşlukların daha küçük mikro ve jel boşluklarına dönüşmesi ile, ve agrega ile çimento pastası arasındaki temas yüzeyinin daha güçlü bağlanması sonucunda betonun geçirimsizliğinde bir artış belirtilmektedir. Süperakışkanlaştırıcılarla bu geçirimsizlik daha da artırılabilir. Sodyum nitrit kalsiyum tuzları kadar etkili değildir. Potas kullanımı da, çimento pastasında küçük boşluklar oluşturmadığından geçirimsizliği artırmaz. Bu nedenle, potas bir su azaltıcı ile birlikte kullanılmalıdır.

5.8. Betonun Priz Alması

Antifriz katkı kullanılarak yapılan betonlarda priz başlangıç ve bitiş süreleri kullanılan katkının tipine bağlı olarak değişmektedir. Özellikle kalsiyum klorürlü, Potaslı ve diğer tür antifriz katkılardan bazıları betonun priz başlangıç süresini kıs

şartları (düşük sıcaklık) olmasına rağmen oldukça kısaltırlar. Bu nedenle sıcaklığın düşük olduğu şartlarda bile bazı organik veya inorganik kökenli priz yavaşlatıcı katkılarla taze betonun priz alması geciktirilebilir. Kalsiyum nitrat, CNÜ, ve CNNÜ gibi katkılar betonun priz almasını sınırlı olarak etkilerken Sodyum nitrit fazla bir değişikliğe neden olmaz. Ancak, karbamid yani üreli bileşikler betonun priz almasını geciktirmektedir. Aşağıda verilen Tablo 9, 10 ve 11 de değişik tipteki antifriz katkılarıyla yapılmış harçların priz süreleri verilmektedir.

Tablo 9. 20 °C kür edilmiş antifriz katkı içeren Çimento-Kum, (1:2), (Harç) karışımlarının Priz Süreleri

Antifriz Katkı		Priz Başlangıç ve Bitiş Süreleri (Saat : Dakika)			
Bileşim	Karışım Suyuna % Kütlece	Normal Portland Çimentosu		Cüruflu Portland Çimentosu	
		Priz Başlangıç	Priz Bitiş	Priz Başlangıç	Priz Bitiş
Katkısız SN	-	2 : 50	6 : 10	2 : 57	4 : 27
	8	2 : 35	4 : 35	3 : 58	7 : 43
	12	2 : 56	6 : 16	3 : 52	7 : 52
	16	3 : 18	6 : 18	4 : 30	7 : 45
	20	4 : 00	6 : 30	5 : 22	7 : 22
SC+CC	6+0	3 : 10	3 : 40	3 : 42	5 : 50
	7+3	2 : 28	3 : 13	4 : 02	5 : 40
	6+9	1 : 45	2 : 15	3 : 37	5 : 00

Tablo 10. 20 °C kür edilmiş %10 Potaslı ve yüzey aktif maddesi içeren çimento pastasının priz süreleri

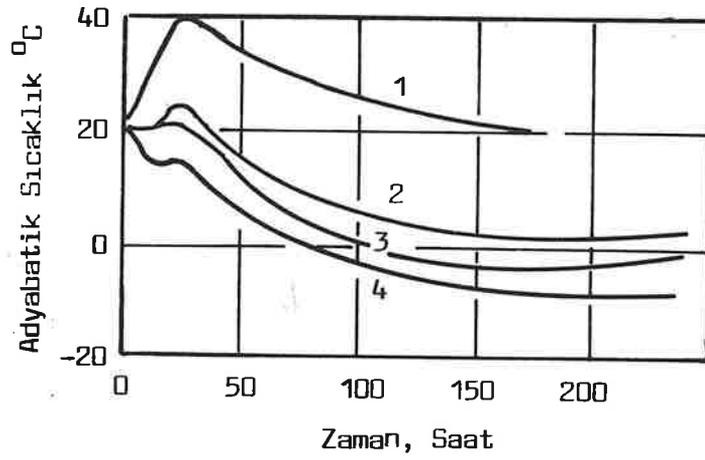
Yüzey Aktif Maddenin % Kütlece Oranı		K ₂ CO ₃ Antifriz Katkı İçeren Çimentonun Priz Süreleri (Saat : Dakika)	
Tip	Çimentoya Göre	Priz Başlangıcı	Priz Sonu
Katkısız Lignosülfonat	-	0 : 20	0 : 30
	0.5	0 : 30	2 : 02
	0.75	0 : 25	1 : 53
	1.5	0 : 45	5 : 00
	3.0	2 : 06	7 : 20

Tablo 11. Klorlu tuz bileşikleri ile lignosülfonat içeren ve Portland çimentosuyla yapılmış çimento-kum, (1:2), (Harç), numunelerin priz süreleri.

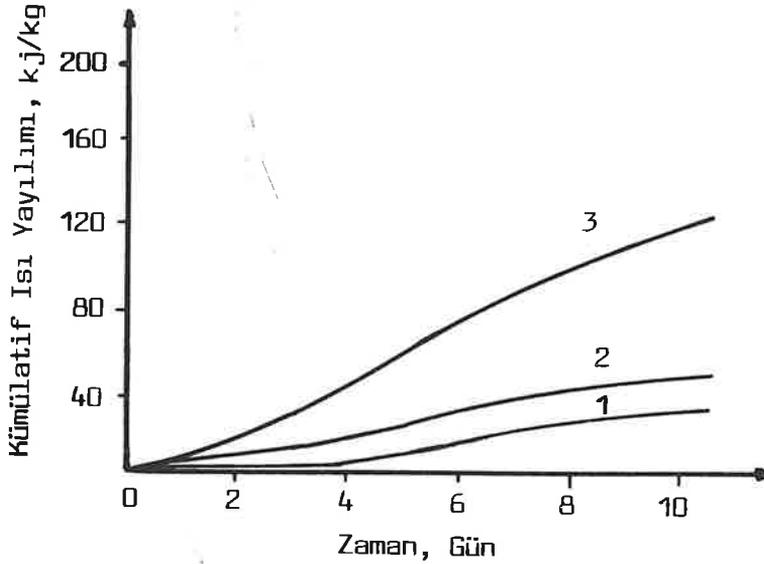
Çimento Dozajına % Kütlice Lignosülfonat (Akışkanlaştırıcı)	20 °C kür edilmiş NaCl + CaCl ₂ İçeren Harç Numunelerin Priz Süreleri (Saat : Dakika) Karışım Suyuna % Kütlice			
	7+3		6+9	
	Priz Başlangıcı	Priz Sonu	Priz Başlangıcı	Priz Sonu
0	1 : 45	2 : 15	0 : 10	0 : 22
0.25	6 : 02	8 : 00	0 : 29	3 : 25
0.50	6 : 32	8 : 02	0 : 30	6 : 05
0.75	7 : 17	14 : 12	0 : 39	2 : 20
1.00	8 : 15	15 : 21	0 : 43	2 : 33

5.9. Çimento Hidratasyon Isısı

Değişik kür sıcaklıklarında çimento ile yapılan deney sonuçlarına göre elde edilen çimento hidratasyonunda antifiriz katkıların kullanımıyla erken dönemde oldukça fazla miktarda ısı açığa çıktığı gözlenmiştir. Bu erken dönem ısındaki artış hızının, betona düşük sıcaklıklarda sağladığı bir takım yararlar da mevcuttur. Bu açığa çıkan ısı betonu doğal olarak dona karşı korumaktadır. Hidratasyon ısısının miktarı da özellikle çimentonun cinsine bağlı olarak değişmektedir. Şekil 3 ve 4 de hidratasyon ısısının etkileri gözlenebilmektedir. Şekil 3 de beton numuneler adyabatik olarak kür edilirken, Şekil 4 de -10°C de izotermal olarak kür edilmişlerdir. Kullanılan çimentolar PÇ 52.5 ve EYÇ 52.5 muadili olarak seçilmiştir.



Şekil 3. Çimento Hidratasyon Isısı üzerine antifrizlerin etkisi. (1) 20 °C de katkısız, (2) ve (3) % 6 SN ile sırasıyla 0 °C ve -5 °C, (4) -10 °C de % 14 SN ile kür şartları belirlenmiştir.



Şekil 4. Antifriz katkı içeren betonda -10 °C de kümülatif isothermal ısı yayılımı verilmektedir. (1) % 20 SN, (2) % 6 CC + % 14 SC ve (3) % 20 Potas.

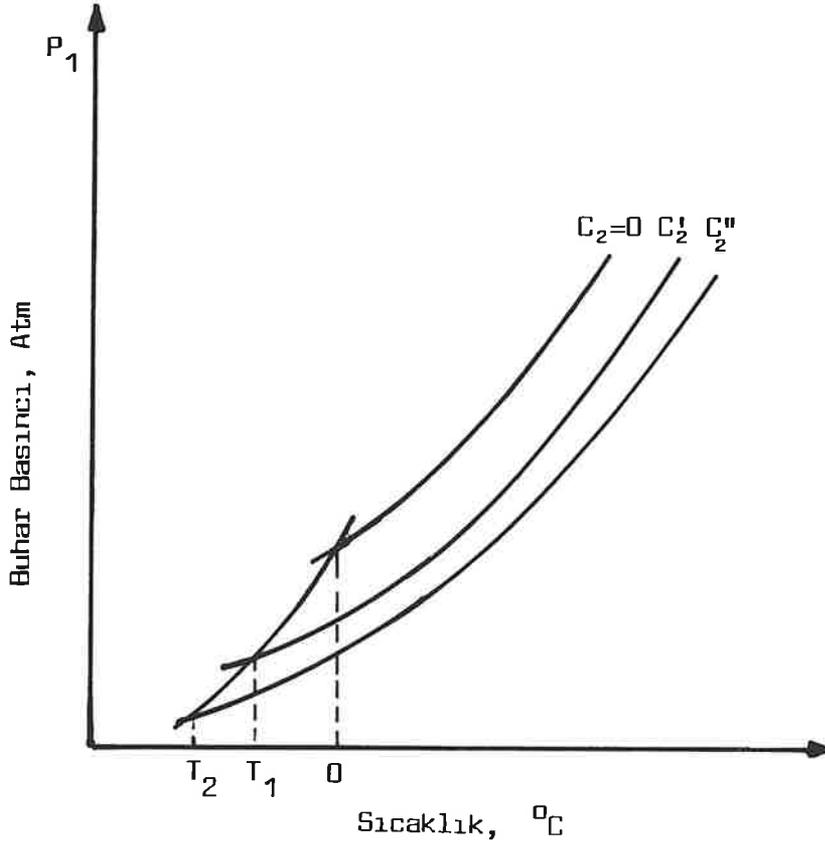
5.10. Antifriz Katkının Kullanıldığı Sertleşmiş ve Taze Betondaki Buz Oluşumunun Termodinamiği

Taze ve sertleşmiş betonda antifriz katkıların etkinliği aşağıda açıklandığı gibi üç alanda incelenebilir; (a) Beton kütlesi içerisinde farklı katı tanecikleri olarak değilde henüz prizini tam almamış beton içerisinde homojen bir şekilde dağılmış bir çözelti gibi etkisini gösterir, (b) tamamıyla hidrate olmuş çimentonun (çimento pastası) içerisinde oluşan boşluk yapısına yerleşmiş bir çözelti olarak, (c) zamana bağlı olarak kısmen hidrate olan çimentonun içerisinde oluşan boşluk yapısında yerleşen bir çözelti olarak etkilerini gösterirler.

Katılaştıran bir yapıya sahip beton karışımlarındaki buz oluşumu çimento pastasında olduğundan daha farklıdır. Daha önce antifriz katkıların suyun veya beton sıvı fazının donma noktasını düşürdüğünü ve donmayı önlediğini belirtmiştik. Bu olayın gerçekleşmesi termodinamiksel olarak suyun buhar basıncının herhangi bir sıcaklıkta antifriz katkının artan konsantrasyonu ile düşürülmesine (dolayısı ile donma noktası düşmesi) bağlı olan bir durumdur. Seyreltik çözeltiler için Raoult Yasası diye bilinen ve antifriz konsantrasyonu ile buhar basıncından yararlanılarak donma noktası düşmesi hesap edilen bağıntı mevcuttur.

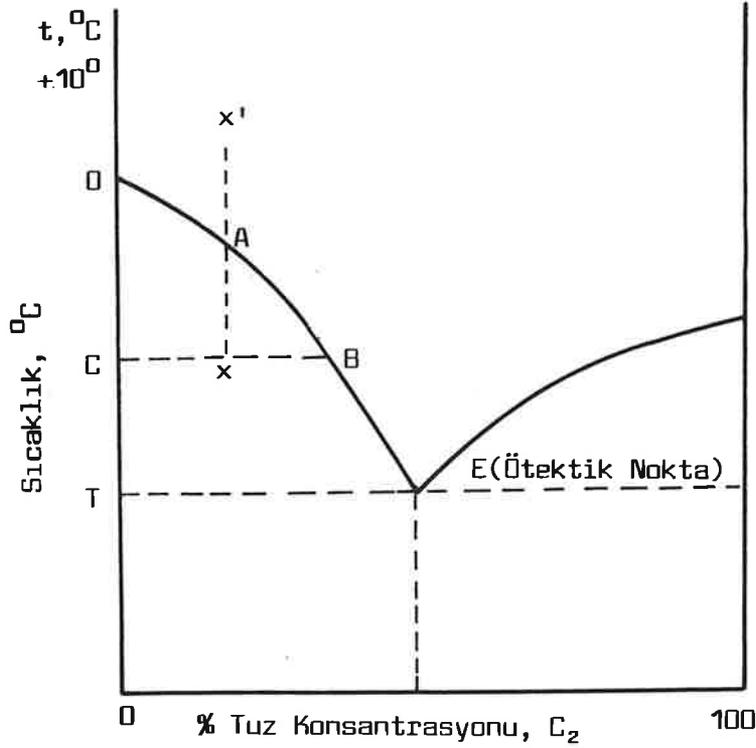
$$\Delta T = K_{cr} \cdot i \cdot C_2 \quad (3)$$

Burada " ΔT " çözeltilinin donma noktasındaki düşme miktarını, °C, " K_{cr} " Cryoscopy Sabitini, " i " bir düzeltme sabitini ve " C_2 " ise antifriz konsantrasyonunu göstermektedir. Ancak bu bağıntı yüksek konsantrasyonlarda doğru sonuçlar vermemektedir. Bu durumda düzeltme faktörü " i " kullanılır. Sıvı fazın donma noktası kapiler boşlukların büyüklüklerine göre de değişiklik gösterir. Çok küçük boşluklarda suyun hiç donmaması da mümkündür. Şekil.5 farklı tuz konsantrasyonlarında buz-su dönüşümünü veren su buharı basıncı ile sıcaklık eğrilerini vermektedir.



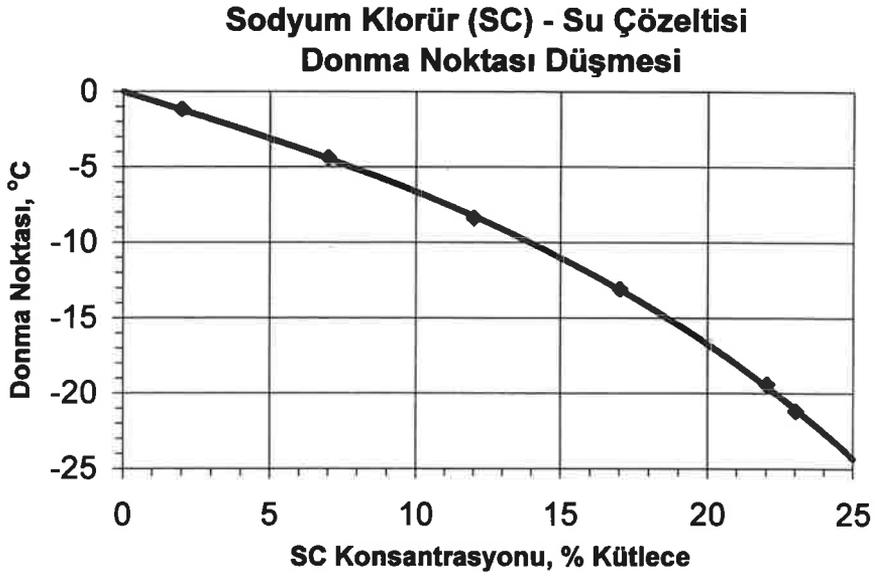
Şekil-5. Suyun buhar basıncı ile donma noktası arasındaki ilişki

Şekil-6 normal bir su-tuz çözeltisinin soğutulması ve çözeltinin konsantrasyonunun artması sonucunda saf buz oluşumunun meydana geleceğini göstermektedir; Burada optimum bir tuz konsantrasyonuna gelindiğinde çözeltinin artık daha fazla konsantrasyondaki artış sonucunda donma noktasında bir düşme gözlenmemektedir. Bu nokta Şekil 6'da E noktası ile gösterilmektedir ve "Ötektik Nokta" olarak adlandırılır. Bu sıcaklık çözeltinin en düşük donma noktasını gösterir.

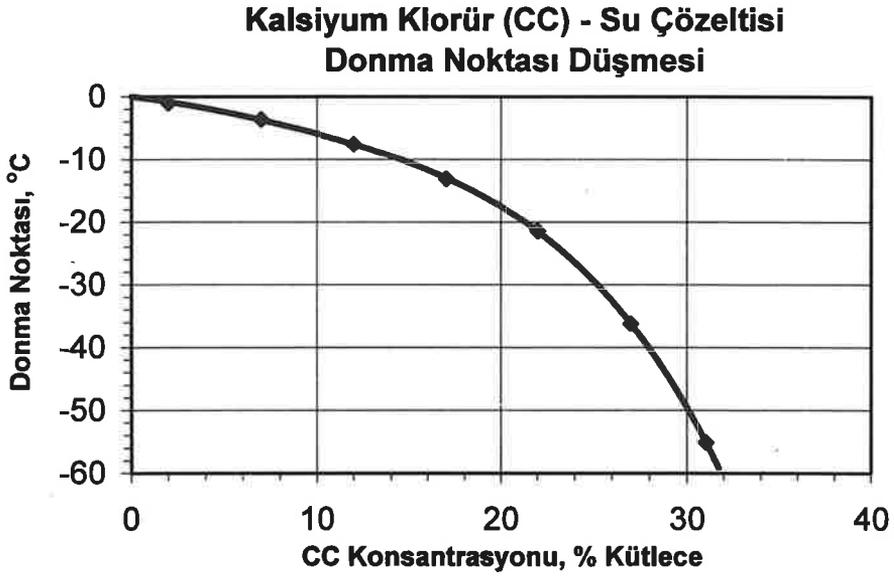


Şekil-6. Su-tuz denge diyagramı.

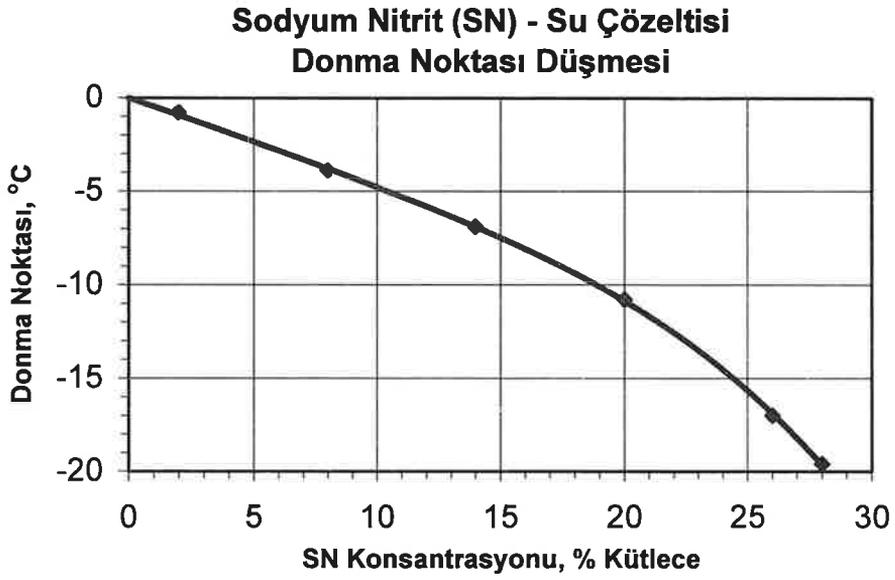
Aşağıda verilen şekil.7-15 arasında çok kullanılan bazı antifriz katkıların ötektik noktalarına ilişkin grafikler sunulmaktadır. Grafiklerden görüleceği üzere değişik antifriz katkılarla yapılmış çözeltilerin donma noktaları konsantrasyonun bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Bu grafiklerde Raoult Kanunu geçerli olmamaktadır. Çünkü bu kural çözünmüş maddelerin doğasından bağımsızdır ve aynı zamanda bu çözeltiler oldukça derişiktirler. Bu grafiklerde maddelerin konsantrasyonu suya göre kütlece verilmişlerdir.



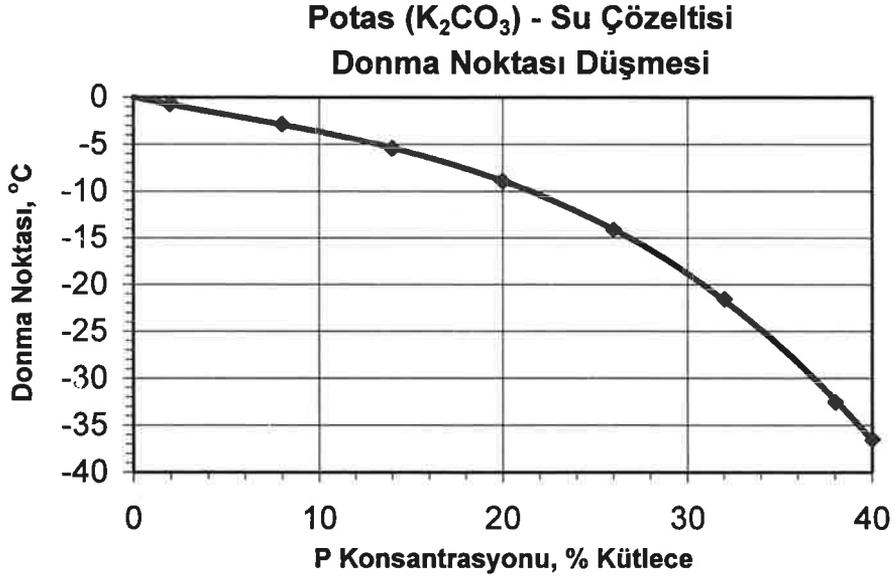
Şekil-7. Sodyum Klorür (SC) - Su çözeltisinin Donma Noktası ile SC konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi gösterir grafik.



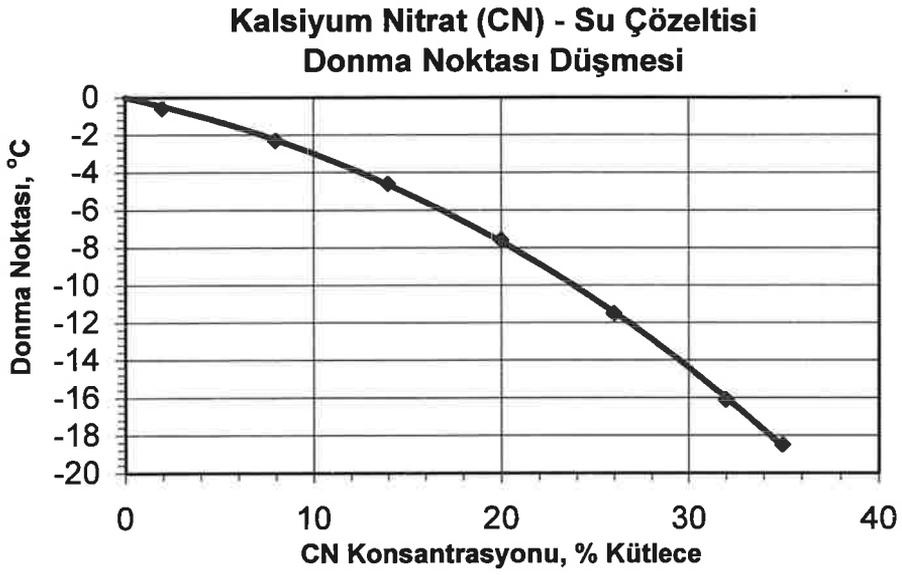
Şekil-8. Kalsiyum Klorür (CC) - Su çözeltisinin Donma Noktası ile CC konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi gösterir grafik.



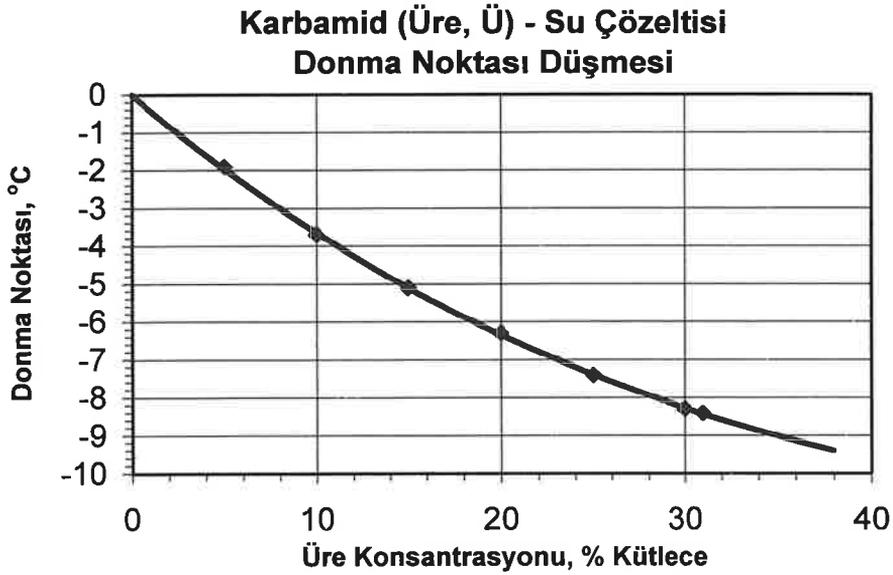
Şekil-9. Sodyum Nitrat (SN) - Su çözeltisinin Donma Noktası ile SN konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi gösterir grafik.



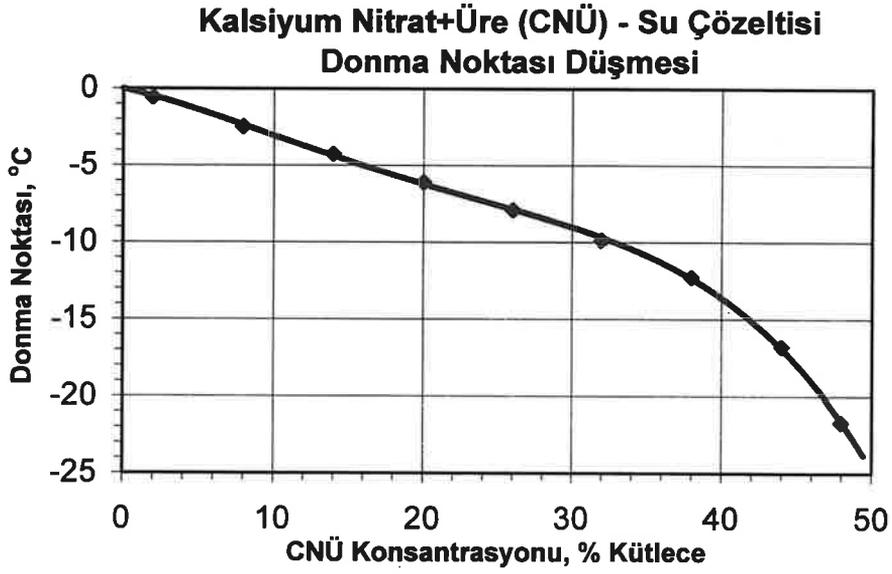
Şekil-10. Potas (P) - Su çözeltisinin Donma Noktası ile Potas konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi gösterir grafik.



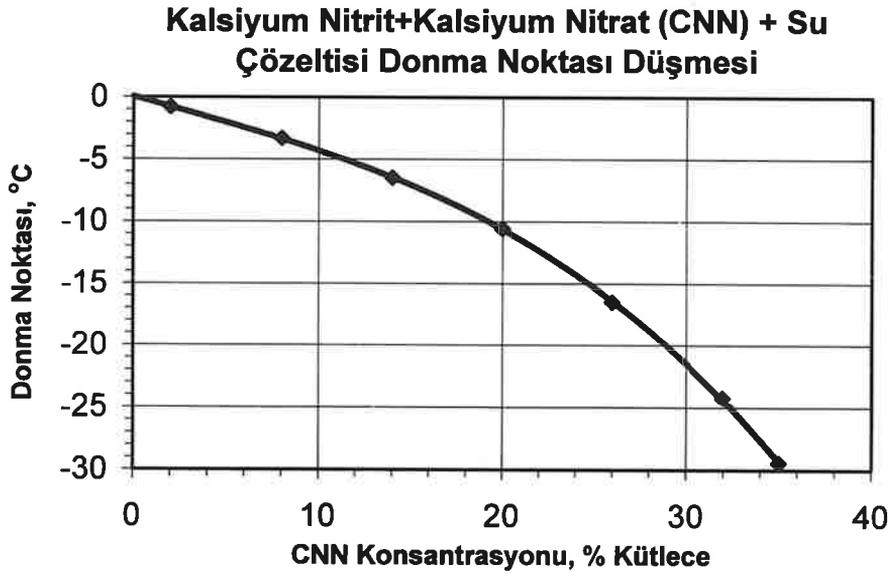
Şekil-11. Kalsiyum Nitrat (CN) - Su çözeltisinin Donma Noktası ile CN konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi gösterir grafik.



Şekil-12. Karbamid (Üre, Ü) - Su çözeltisinin Donma Noktası ile Üre konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi gösterir grafik.

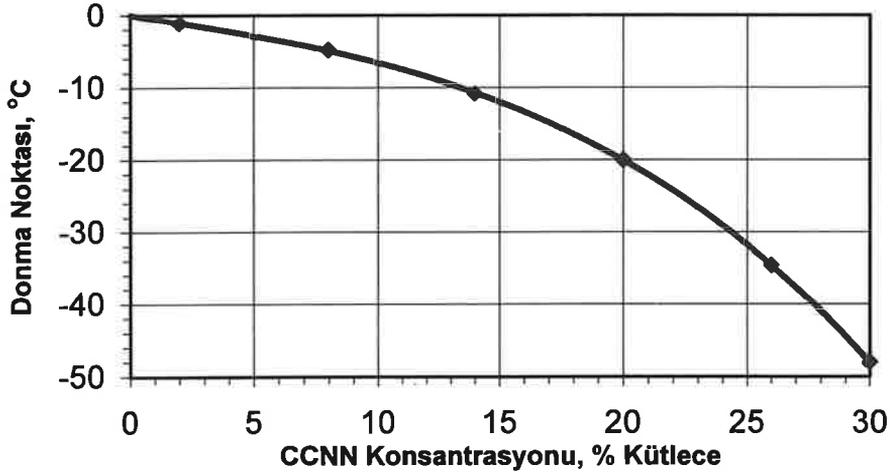


Şekil-13. Kalsiyum Nitrat + Üre (CNÜ) - Su çözeltisinin Donma Noktası ile CNÜ konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi gösterir grafik.



Şekil-14. Kalsiyum Nitrit + Kalsiyum Nitrat (CNN) - Su çözeltisinin Donma Noktası ile CNN konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi gösterir grafik.

**Kalsiyum Klorür+Kalsiyum Nitrit+Kalsiyum Nitrat
(CCNN) - Su Çözeltisi Donma Noktası Düşmesi**



Şekil-15. Kalsiyum Klorür + Kalsiyum Nitrit + Kalsiyum Nitrat (CNN) - Su çözeltisinin Donma Noktası ile CCNN konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi gösterir grafik.

Bir kapiler poroz yapı içerisinde buz oluşumunun termodinamiği çimento pastası içinde çok daha farklı olmaktadır. Hidratasyon sonucunda sertleşen çimento pastası çok küçük boyutlarda (1000 Å den daha az) büyük miktarlarda poroziteye (boşluklara) sahip bir malzemedir. Küçük boşluklardan oluşan bir poroz yapı içerisinde bulunan bir sıvının menüsküs üzerindeki boşluk yapısında oluşturduğu buhar basıncı düşüktür ve boşluk yapısının çapıyla ters orantılıdır. Buna bağlı olarak bir poroz yapı içerisindeki sıvının donma noktası da düşüktür ve aşağıda verilen bağıntı ile açıklanabilmektedir;

$$\Delta T = \frac{2\sigma V_k T_o}{\gamma L} \quad (4)$$

burada σ ve V_k sırasıyla sıvının yüzeysel gerilim enerjisi ve moleküler hacmi olmaktadır. $\Delta T = T_o - T_r$, kapiler boşluktaki (çizgi yüzey halinde) suyun donma noktası T_o ve onun konveks yüzey haldeki donma noktası T_r arasındaki farktır, L buz erime gizli ısısını gösterirken γ ise kapiler çaptır.

Çimento pastası çok geniş bir aralıkta porozite ve jel boşlukları (1000 ila 15 Å) içeren bir heterojen yapıya sahiptir ve bu boşluklarda bulunan su, çok değişik sıcaklıklarda (-3 ila -50 °C) donma eğilimi gösterir. Çok kuvvetli olarak adsorbe olmuş su ise hiç donmaz. Antifriz katkı içeren ve bir poroz yapı içerisinde bulunan suyun donma noktası daha da düşecektir. Bu durum büyük kapiler boşluklarda daha da önem kazanan bir olay olmaktadır, çünkü büyük çaptaki boşluklarda suyun donması -10 °C nin üzerinde bile gerçekleşmektedir. Bu etkileri biraraya topladığımızda gerçek donma noktası hesaplanmasında yukarıda bahsedilen her iki bağıntının aynı zamanda bir arada kullanılması gerektiği görülmektedir.

Antifriz katkıların çoğu yüzey aktif maddeleri (hava sürüklenme etkisine sahip) değildirler. Bu tür maddelerin kapiler boşluk yapısı içerisindeki miktarı, kapiler boşluk duvar yüzeyinde adsorbe olmuş miktarından daha yüksektir. Diğer taraftan, yüzey aktif maddeleri içeren antifriz katkıların kapiler boşluklardaki davranışlarında ters etkiler görülmektedir. Genellikle bu oluşan etkiler ihmal edilebilir düzeyde olduklarından dikkate alınmazlar, ancak bu durum karbamid (üre) kullanılması durumunda önemli olmaktadır. Karbamid kullanıldığında aşağıda verilen bağıntı ihmal edilmemelidir;

$$\frac{1}{RT\delta} \cdot \frac{d\sigma}{dC}$$

ve genel eşitliğe ilave edilmelidir;

$$\Delta T = K_{cr} i C_2 \left(1 \pm \frac{1}{RT\delta} \cdot \frac{d\sigma}{dC} \right) \quad (5)$$

Burada, ΔT : çözeltinin donma noktası düşmesini, °C, δ : kapiler boşluk duvarına adsorbe olmuş tuzun konsantrasyonundaki değişim için bir düzeltme katsayısını, C : antifriz (tuz) konsantrasyonunu, ve R bir gaz sabitini göstermektedir, σ daha önce tanımlanmıştı. Termodinamik esaslar, antifriz katkıların elektrolitler halinde yüzey aktif maddelerle birlikte veya onlarsız kullanılmasını söylemektedir. Ancak, bu yüzey aktif maddeler tek başlarına kullanılmamalıdır.

Sertleşen betonda buz oluşumu ise daha farklı olmaktadır. Yukarıdaki açıklamamızda çimentonun hidratasyonunun tamamlandığı ve kimyasal olarak suya ve katkılara inert olduğu varsayılmıştır. Ancak, gerçek durumda bu her iki varsayımda geçersizdir. Öncelikle, çimento hidratasyonu devam ederken pasta içerisinde sürekli olarak ve sistematik bir şekilde boşluk dağılımı mevcuttur ve bunun sonucunda daha küçük çaplı boşluklar oluşmaktadır. Hemen hemen bütün antifriz katkıların çimento pastası poroz yapısını aynı şekilde etkilediği gözlenmiştir. Bunun sonucunda ise bu daha küçük çaplı boşluklara yerleşen suyun donma noktası oldukça düşmektedir.

Potas antifriz katkısı çok küçük çaplı boşluklar oluşturmama etkisiyle diğer antifriz katkılarla bir ayrıcalık oluşturmaktadır. Potas, alüminat bileşikleri ve kalsiyum hidroksitlerle reaksiyona girmekte ve karışımın çok hızlı priz almasına neden olmaktadır. Potaslı bir karışımda boşluklardaki sulu çözeltinin donma noktasının çok fazla düşmemesi bu boşluklarda meydana gelen zengin alkali bileşiklerinin çözelti donma noktasını aşağı indirme etkisiyle dengelenmektedir. Bu nedenle oluşan güçlü asidik çözeltinin ötektik noktası $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$ ye kadar düşmektedir. Potas, kış betonlamasında oldukça etkili olarak kullanılabilen bir antifriz katkı türüdür.

Antifriz katkı içeren hidrate olmuş çimentoda buz oluşumunun temel kurallarını anlayabilmek için sadece betondaki mikro yapıda meydana gelen değişiklikler değil aynı zamanda poroz boşluk yapıdaki çözeltilerin moleküler yapısında meydana gelen değişiklikleri de anlamak gereklidir.

Çimentodaki silikatlar karışım suyunun büyük miktarını reaksiyon sırasında tüketirler. Ancak, kompleks ve basit tuzların oluşumu katkıların tüketilmesini meydana getirmektedir. Boşluk yapıda oluşan çözelti konsantrasyonu bu meydana gelen reaksiyonların bağıl hızlarına ve yeni oluşan bileşiklerin kompozisyonuna bağlıdır.

Düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen denemelerde betonun ilk 3-7 günlük sertleşme süresince antifriz katkıların belli bir miktarının kompleks ve hidroksil tuzlar halinde bağlandığını göstermiştir. 14. güne kadar, bu reaksiyonlar hemen hemen

tamamlanma durumuna ulaşmaktadırlar. Ancak, çimento hidratasyonu aylarca devam eden bir prosestir. Bu reaksiyonların gerçek oluşma hızları sıcaklığa, konsantrasyona, katkı tipine, su/çimento oranına ve çimento bileşimine bağlı olmaktadır. Bu tür kararsız sistemlerde klasik termodinamik esasların uygulanması doğru sonuçlar vermemektedir, ancak aşağıda belirtilen şartlar sağlandığı durumlarda termodinamik esaslar kısmen de olsa uygulanabilir ;

a) Kompleks ve basit tuzların oluşumu tamamlandığı zaman bir referans nokta esas alınmalıdır, yani, çimento bileşikleri ve reaksiyon sonucu oluşan ürünler arasında meydana gelen etkileşim sonucunda katkının tüketilmesi.

b) Beton sıcaklığı -10°C ile -20°C arasında olduğu zaman, çimento hidratasyonu çok yavaş ilerleyen bir prosestir. Bu nedenle, kısa zaman aralıkları için sistemin yarı kararlı bir halde olduğu varsayılabilir.

Bu yukarıdaki şartlar, antifriz katkıları kullanılması ile (çok düşük ötektik sıcaklıklarda izotermal şartlar altında) hidratasyon esnasında oluşan buzun düzenli olarak erimesini açıklamaktadır. Bu sonuç, kalorimetrik, ultrasonik ve yüksek frekanslı dalgaların genliklerinin sönümlenmesini inceleyen teknikler gibi metotların uygulanması ile doğrulanmaktadır.

6. Antifriz Katkıların Betonun Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri

6.1. Beton Basınç Dayanımı

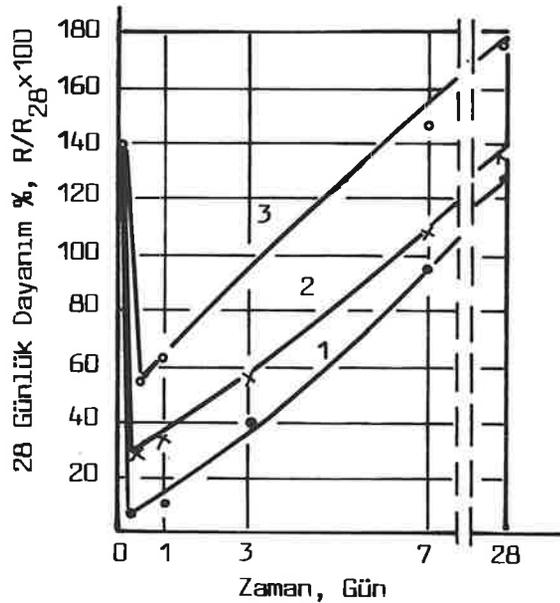
Bir çok antifriz katkısının etkisi betonun gerek fiziksel ve gerekse mekanik özelliklerini iyileştirici yöndedir. Taze betonun karışımının yerleştirilmesini takiben çimento hidratasyonu düşük sıcaklıklarda yavaş ilerleyen bir işlem olarak ortaya çıkar. Aşağıdaki Tablo 12' de farklı antifriz katkıları ile hazırlanmış beton numunelerinin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması verilmektedir.

Antifriz katkıları kullanılarak yapılan betonlarda, çok büyük sıcaklık farklarına maruz kalsalar dahi (bu sıcaklıklar -20°C den 30°C ye ve hatta -50°C den 20°C ye

kadar denenmiştir) beton numunelerin bir kez ilk kritik dayanıma ulaştıktan sonra bir daha çok fazla bir dayanım kaybına uğramadıkları gözlenmiştir. Bunu aşağıdaki Şekil 16' da görebiliriz. Şekil 16' da donmaya maruz bırakılmış test numunelerinin dayanım kazanma eğrilerinin birbirlerine paralel olarak ilerlediği ve 28 günlük dayanımlarının referans numune dayanımlarından daha yüksek çıktığı görülmektedir.

Tablo 12. Antifriz Katkı Kullanılarak Hazırlanmış Beton Dayanımları (-20 °C de 28 gün kürlendikten sonra 28 gün de normal şartlar altında kürlenmişlerdir.)

Katkı	Katkı Miktarı (karşım suyana % kütlece oranı)	Basınç	Eğilmede	Yarıda
		Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
CCNN	10	38.8	4.3	2.4
	15	35.7	4.4	2.4
CCNNU	10	40.0	4.7	2.65
	15	38.5	4.6	2.6
SN+CC	10	36.0	4.5	2.6
	15	34.2	4.2	2.4
CNU	15	36.0	4.4	2.5
Katksız	-	36.0	4.3	2.4



Şekil-16. -30°C de 56 gün boyunca külden sonra 28 gün -2°C ila 4°C arasında değişen sıcaklıklarda tutulan ve %15 CCNN içeren betonda dayanım gelişme oranı, standart numunenin 28 günlük dayanımının % si olarak verilmiştir. Donmadan önceki dayanımlar; (1) 0, (2) 5 MPa, (3) 11 MPa.

Antifiriz katkıların düşük miktarlarda dahi betona katılmaları ile -30 veya -35 °C de kür edilmelerinden sonra beton numunelerden elde edilen basınç ve çekme dayanımlarında fazla bir düşmeye rastlanmamıştır (Tablo 13 ve Tablo 14). Ancak, beton henüz taze iken sıcaklık -50°C ye düşürülürse ve daha sonra 0°C nin üzerinde bir sıcaklıkta sertleşmesini tamamladıktan sonra, son dayanımı % 20 kadar düşmektedir.

Tablo 13. Erken Yaşlarda Donmaya Maruz Kalmış Betonun Yapısal ve Teknik Karakteristikleri. (-30°C de 30 gün, -10°C de 28 gün ve 28 gün normal kür koşullarında)

	Katkı	Mekanik Özellikler						
		Katkı Miktarı (Karışım Suyuna % Kütleye)	Donmadan Önce Basınç dayanımı R_{comp} (MPa)	Basınç Dayanımı R_c (%)	Eğilimde Çekme Dayanımı R_t (%)	Yarımada Çekme Dayanımı R_t (%)	Çarpma Dayanımı R_t (%)	Aşınma Dayanımı R_w (%)
Beton Taze Halde İken	CCNN	15	0	106	103	102	101	95
	CCNNÜ	15	0	99	105	104	102	93
Donmaya Bırakılmış	SN+CC	15	0	100	98	99	104	89
	Katkısız	-	0	61	63	64	-	-
Beton Bir Miktar Sertleştikten	CCNN	15	5.5	100	138	136	116	90
	CCNNÜ	15	6.5	107	129	130	118	66
Sonra Donmaya Bırakılmış	SN+CC	15	5.7	105	133	132	113	74
	Katkısız	-	6.2	69	73	60	-	-

1. Beton numuneler M400 (PÇ 42.5) diye bilinen hidrofobik (su sevmeyen) portland çimentosundan yapılmışlardır.
2. Referans numuneler 28 gün normal kür şartlarında tutulmuşlardır.
 $R_c=33.7$ MPa, $R_t=3.66$ MPa, $R_t=2.12$ MPa, $R_t=12.4-104$ J/m³, ve $R_w=93$ N/m². Referans numunelerin dayanımlarının % 100' ü olarak alınmıştır.

Antifiriz katkıların geleneksel uygulamasında elde edilen veriler betonun dayanımı ile kür sıcaklığı arasında bir ilişki kurulmasını mümkün kılmaktadır. Tablo 15 da bu ilişkiyi gösteren değerler verilmektedir. Bu tabloda aynı zamanda antifiriz katkıların kullanılabilirleri sıcaklık aralıklarında gösterilmektedir. Tablo 15' in diğer bir faydası da antifiriz katkı seçiminin doğru olarak yapılmasını ve açık hava koşullarına maruz kalmadan önce yapının en kısa kür süresini seçmekte kullanılabilmesidir.

Tablo 14. Değişik Sıcaklık Rejimleri Altında Sertleşen Betonların Dayanımları

Katkı	Standart Dayanımın (38.7 MPa) % si Olarak Basınç Dayanımları			
	Katkı Miktarı (Karışım Suyunun % si Olarak)	T= -35°C de 14 gün T= -10°C de 14 gün	T= -35°C de 14 gün 28 gün normal kür şartlarında	T= -35°C de 14 gün T= -10°C de 14 gün 28 gün normal kür şartları
CCNN	7	6	68	85
	10	8	118	103
	15	13	135	111
	20	23	120	102
	25	40	112	88
CCNNÜ	7	4	81	88
	10	8	107	90
	15	8	110	91
	20	13	103	86
	25	23	110	85
SN+CC	7	9	73	67
	10	9	80	75
	15	15	86	89
	20	18	87	79
	25	20	79	77
CNÜ	7	2	62	67
	10	3	67	70
	15	4	64	73
	20	4	69	80
	25	5	68	76
Potas	25	22	70	69
SN	25	13	55	66
Katkısız	-	0.5	44	50

Tablo 15. Portland Çimentosu ve Antifiriz Katkılarla Yapılmış Olan Beton Dayanımları.

Katkı	Beton Sertleşme Sıcaklığı °C	Değişik Sıcaklıklarda 7, 14, 28 ve 90 gün boyunca kür edilen numunelerin normal küre tabi tutulmuş betonun 28 günlük dayanımına oranı % olarak Basınç Dayanımları			
		7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
SN	-5	30	50	70	90
CNN	-10	20	35	55	70
	-15	10	25	35	50
CC+SC	-5	35	65	80	100
	-10	25	35	45	70
	-15	15	25	35	50
	-20	10	15	20	40
CNÜ	-5	35	50	80	100
CN+Ü	-10	20	35	60	80
CNN+Ü	-15	15	25	35	60
	-20	10	20	30	50
CC+CN	-5	40	60	90	105
	-10	25	40	65	90
	-15	20	35	45	70
	-20	15	30	40	60
	-25	10	15	25	40
CCNN	-5	50	70	95	105
CCNN+Ü	-10	30	45	70	90
	-15	20	35	45	70
	-20	15	30	40	60
	-25	10	15	25	40
Potas	-5	50	65	75	100
	-10	30	50	70	90
	-15	25	40	65	80
	-20	20	35	55	70
	-25	15	30	55	60

Aşağıda verilmekte olan Tablo 16 de Portland Çimentosu ve Antifiriz katkılarıyla yapılmış olan beton numunelerinin kritik dayanıma ulaşabilmeleri için gerekli ortalama kür süreleri gösterilmektedir.

Tablo 16. Değişik Antifriz Katkılarla Yapılmış Betonların Kritik Dayanımlara Ulaşmaları İçin Gerekli Kür Süreleri.

Katkı	Beton Sertleşme Sıcaklığı °C	Farklı Betonlar İçin Kür Süreleri (Gün)		
		M-200	M-300	M-400
SN	-5	7	6	4
CNN	-10	12	9	7
	-15	19	14	11
CC+SC	-5	6	5	4
	-10	9	7	5
	-15	19	14	10
	-20	58	45	28
CNÜ	-5	7	6	4
CNÜ+Ü	-10	12	9	7
CNN+Ü	-15	19	14	10
	-20	28	19	14
CNNÜ	-5	5	4	3
CNNÜ+Ü	-10	9	7	5
CC+SN	-15	11	9	7
	-20	9	7	5
	-25	14	10	7
Potas	-5	3	2	1
	-10	7	5	4
	-15	9	7	5
	-20	10	8	6
	-25	14	10	7

6.2. Betonun Elastik Özellikleri

Antifriz katkı içeren betonların elastik özelliklerindeki değişimler Tablo 17 de gösterilmektedir. Tabloda sadece Potas kullanılmış olan numunenin elastisite modülünde bir miktar düşüş görülmektedir.

Tablo 17. Antifriz katkı içeren betonların elastik ve uzama özellikleri

Katkı	Katkı Miktarı Karışım Suyuna Oranı % kütlece	Dinamik Elastisite Modülü $E \times 10^4$ (MPa)	Maksimum Uzama Katsayısı $U \times 10^{-5}$
Katkısız	-	4	5.6
CC+SC	10	4.25	5.95
SN	15	4.2	5.75
SN + CC (1:1)	15	4.2	6.2
CN	15	4.3	6.8
CNÜ	15	4.3	6.5
CNN	15	4.4	6.8
CNNÜ	15	4.25	7.1
CCNN	15	4.65	6.75
CCNNÜ	15	4.3	7.1
Potas	15	3.5	4.5

6.3. Beton ve Çelik Donatı Arasındaki Bağ

Antifriz katkıları, çelik donatı ile beton arasındaki bağı ya hiç etkilemezler veya %10 ila %20 arasında bir artış sağlarlar. Erken yaşlarda donmaya maruz kalmış antifriz katkısız ve katkılı beton numunelerinin bağ dayanımları arasında büyük farklar gözlenmiştir; çelik donatı ile beton arasındaki bağ, donma etkisinden dolayı meydana gelen olumsuz etki nedeniyle katkısız betonda %50 ile 70 arasında bir düşmeye maruz kalmaktadır. Düşük dozajlarda antifriz katkı kullanılarak yapılmış betonlarda ise bağ dayanımındaki bu düşme önlenmekte ve yüksek bağ dayanımları elde edilmektedir.

7. Antifriz Katkıların Dayanıklılık Üzerine Etkisi

Dayanıklılık, bir beton yapının bulunduğu ortam koşullarında servis özelliklerini uzun bir süre koruyabilme kabiliyeti olarak değerlendirilmektedir.

Antifriz katkıların betonun dayanıklılığına etkisi bir çok faktöre bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Antifriz katkının tipine ve dozajına, diğer kullanılan katkı tiplerine (hava sürükleyici katkılar, akışkanlaştırıcılar gibi), çevresel şartlara, çimentonun kimyasal ve fiziksel özelliklerine ve agreganın özelliklerine göre beton dayanıklılığı hakkında bilgi edinmek mümkündür.

7.1. Betonda Karbonatlaşma

Antifriz katkı kullanılarak yapılmış betonlarda, genelde çimento pastası içerisindeki mikro boşluk oranı artışı ve agrega ile çimento pastası arasındaki bağın güçlenmesi nedenlerinden dolayı geçirimsizliklerinde ve su emmelerindeki artış (mikro boşluk oranının artışı her zaman geçirgenliğin artması anlamını taşımaz, boşluklar birbirlerinden bağımsız oluşabilirler) her ne kadar CO₂ nin düşük sıcaklıkta çözünürlüğü artsa da betonun karbonasyonunu azaltır. Akışkanlaştırıcılarla beraber kullanıldıklarında ise beton hem daha kıvamlı ve kohezyonlu olur hemde karbonasyon hızı düşer.

7.2. Betonun Sülfata Karşı Direnci

Betonun sülfata karşı direnci, ortamda eriyik halde sülfat bulunması durumunda gösterdiği dayanıklılıktır. Sülfat genellikle, sodyum sülfat olarak kendini gösterir. Bütün antifriz katkıları betonun sülfat direncini aynı şekilde etkilemezler. Kalsiyum tuzları içeren antifriz katkıları, çimento pastasında ve çimentoda bulunan alüminat bileşikleri ile reaksiyona girip kompleks tuzlar oluşturduğundan (çok az çözünebilir etringit oluşumu betonda şişmelere yol açabilir) genellikle betonun sülfata karşı dayanıklılığını düşürürler. Buna karşılık alkali metallerin tuzlarını içeren antifriz katkıları (Potas, Sodyum Nitrit, vs.) bu direnci artırır. Bu nedenle, antifriz

katkıların bir çok yönde sülfat direncinde gösterdikleri direnç, donmaya karşı gösterdikleri dirençten farklılık gösterir.

Düşük dozajlarda (0 ila %5 arasında) antifriz katkı kullanılarak yapılan betonların sülfata karşı dayanımları betonun mikroyapısı ve dayanımını olumlu yönde etkilediğinden dolayı çok fazla değiştirmez. Sonuç olarak 5000 mg/l sülfat konsantrasyonuna sahip bir ortamda CNN ve CCNN içeren betonların sülfat dirençleri katkısız betonunkine oranla hemen hemen aynıdır. Daha yüksek konsantrasyonlarda antifriz katkı içeren betonların sülfat dirençleri azalır.

Akışkanlaştırıcı, süperakışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici katkıları gibi yüzey aktif maddeler içeren betonların sülfata karşı dirençleri artar, ancak sülfat konsantrasyonunun 5000 mg/l değerini aştığı ortamlarda, yüksek oranda kalsiyum tuzu içeren antifriz ve yukarıdaki katkılarıyla kombinasyon halinde antifriz kullanılarak yapılan betonların sülfat dirençlerinde fazla bir artış olmaz. Bu nedenle sülfata dayanıklı bir beton yapı inşaa edileceği zaman, sülfata dirençli çimento kullanımı durumu hariç bu tür katkı maddelerinin kullanımları durumunda ortamdaki sülfat konsantrasyonu dikkate alınmalıdır.

7.3. Alkali-Agrega Reaksiyonu

Betonda alkali-agrega reaksiyonu bekleniyorsa sodyum ve potasyum tuzlarını içeren antifriz katkılarının kullanımı (Sodyum Nitrit ve özellikle Potas) kesinlikle engellenmelidir. Antifriz katkılarıyla birlikte akışkanlaştırıcı, süperakışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici kullanıldığında alkali tesiri bir miktar azalmaktadır. Ancak yinede sodyum nitrit ve potas alkali-agrega reaksiyonu ihtimali olan durumlarda kullanılmamalıdır. Kalsiyum tuzları alkali-agrega reaksiyonunu engellediklerinden ötürü kullanılmalarında bir sakınca yoktur. Çünkü bu katkıları, amorf silika ile reaksiyona girerek çok az çözünen kalsiyum hidrosilikatları oluşturur ve bu da agrega tanelerinin yüzeylerinde bir koruyucu film tabakası meydana getirir.

7.4. Deniz Suyunun Etkisi

Deniz suyuyla temas eden beton yapılarda klor ve sülfat iyonlarının etkileri mutlaka dikkate alınmalıdır. Klor iyonları beton donatısını korozyona uğratabilmektedir. Bu tür yapılarda korozyon yavaşlatıcı katkıları kullanılmalıdır. Sodyum Nitrit katkısı, hem bir korozyon yavaşlatıcı olduğundan ve hem de sülfata karşı dirençli olduğundan bu tür yapılarda kullanılması uygundur. Ancak, burada suyun beton içerisine nüfuz edip kalsiyumu çözmesini ve beton yüzeyine çıkartarak çirçekenmeye neden olmasını engellemek için akışkanlaştırıcılar kullanılarak üretilen betonlarda kullanılması daha uygundur.

7.5. Betonun Buz Çözücülere Karşı Direnci

Antifriz katkılı betonun, deniz suyuna karşı gösterdiği direnci bu tür maddelere karşı da gösterebilmelidir. Ancak, buz çözücü maddeler genellikle beton yollarda ve hava alanlarında kullanıldıklarından deniz yapıları ile aynı yük şartlarına maruz kalmazlar. Bu alanlarda kullanılan antifriz katkıları dona ve tuz çözümlerine karşı dirençli olmaları sağlanmalıdır. Bu alanda kullanılacak en uygun antifriz katkıları kalsiyum nitrit, CNN ve CNNÜ dir.

7.6. Betonun Dona Karşı Direnci

Burada sadece sertleşmiş betonun donmaya karşı direnci ele alınacaktır. Sürekli olarak donma ve çözölmeye maruz kalan beton yapıların hasara uğrama mekanizması bugün için üç hipotezle açıklanmaktadır.

1. Kapiler boşluklarda buz oluşumu bunun sonucunda hacim genişmesi ile meydana gelen lokal çekme gerilmeleri sonucu betonun içerisinde oluşan kılcal çatlaklar.

2. Boşluklarda buz oluşumunu müteakip donmamış sıvı fazın daha içeri kısımlardaki boşluklara itilmesinin oluşturduğu hidrostatik basınç nedeniyle meydana gelen gerilmeler ve bu nedenle çatlakların oluşması,

3. Son yıllarda daha çok üzerinde durulan osmotik basınç oluşumu.

Antifriz katkılardan özellikle Kalsiyum Tuzları ve Karbamid (Üre) sertleşmiş betonun donmaya ve tuz etkilerine karşı direncini arttırmaları. Bunu Şekil 17 ve 18 de görmek mümkündür. Bunun nedeni çimento pastası boşluk yapı dağılımının iyi oluşması, çimento pastası ile agrega arasındaki temas bölgesinin iyi bağlanması ve ayrıca buz oluşumunun önlenmesinden kaynaklanmaktadır. Bununla beraber, yüksek konsantrasyonlu çözeltilerden ayrılarak oluşan buz yapısı ince tabakalı ve daha zayıf bir kristal yapısına sahip olmaktadır. Karbamid (Üre) ve diğer bazı yüzey aktif maddeleri yukarıda bahsedilen türden buz oluşumuna yol açar bu da buzun mekanik özelliklerini zayıflattığından betona bir zarar veremez. Bu durum kompleks yapıda ve üre içeren antifriz katkıları yapılmış (CNÜ, CNNÜ, CCNNÜ) betonların neden daha yüksek don dayanıklılığına sahip olduğunu açıklamaktadır. Buna karşın kalsiyum nitrit, CNN ve CCNN ile yapılmış betonların dona karşı dirençleri daha azdır (Tablo 18).

Yukarıda bahsedilen antifriz katkıları yapılmış betonların su içerisinde tekrarlı donma-çözülme etkisine maruz bırakılmalarından sonra standart betona göre don dayanımlarında yaklaşık olarak 1.5 ile 2 kat ve alternatif olarak %5 lik bir sodyum veya kalsiyum klorür çözeltisi içerisinde dondurulup çözüldükten sonra da 5 ile 7 katlık bir artış olmaktadır (Şekil 17 ve 18).

Antifriz ve hava sürükleyici katkıların birlikte kullanılması sonucunda ise betonun dona karşı dayanımı daha da artmaktadır. Diğer taraftan akışkanlaştırıcı ve süperakışkanlaştırıcı katkıları birlikte antifriz katkı kullanıldığı zaman da betonun su/çimento oranı azalacağından dona direnci yine artmaktadır. Kalsiyum tuzu esaslı antifriz katkıları hazırlanmış betonların sadece -20°C de değil aynı zamanda -50°C ve hatta -60°C ye kadar düşük sıcaklıklarda bile dona dayanıklılığı olmaktadır.

Değişik türde katkıları yapılan betonlarda donma-çözülme etkisine karşı dirençlerini gösteren Tablo 18 aşağıdadır.

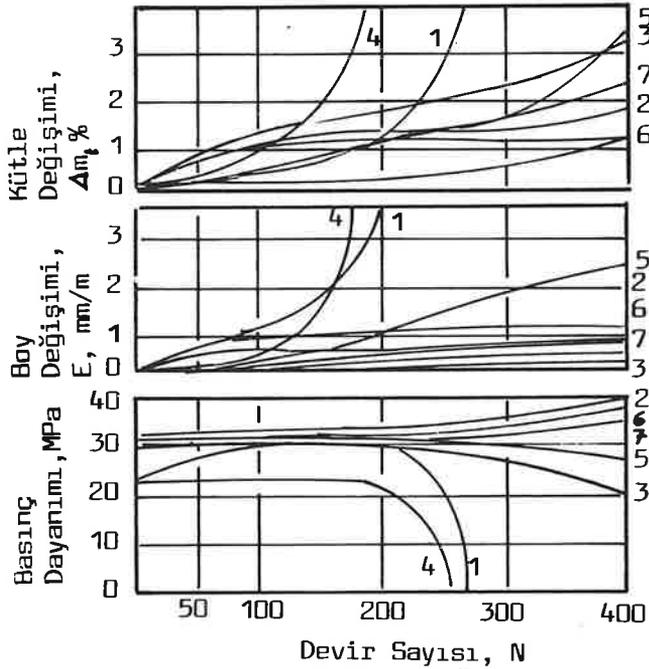
Tablo 18. %15 antifriz katkı içeren çimento-kum harçlarının donma dirençleri*

Katkı	Donma Direnci Katsayısı (K_{fr})** X devre sonunda			
	X=50 -60°C de	X=350 -20°C de	X=500 -20°C de	X=750 -20°C de
Katkısız	0.2	0.78	-	-
Potas***	-	-	-	-
SN	0.24	0.87	0.41	-
CN	0.96	0.94	0.88	0.79
CNÜ (3:1)	1.40	0.94	0.94	0.89
CNÜ (1:1)	1.65	0.97	0.95	0.96
CCNN	0.93	0.96	0.82	0.81
CCNNÜ (3:1)	0.90	1.04	0.97	0.87
CCNNÜ (1:1)	1.01	1.02	1.03	1.02

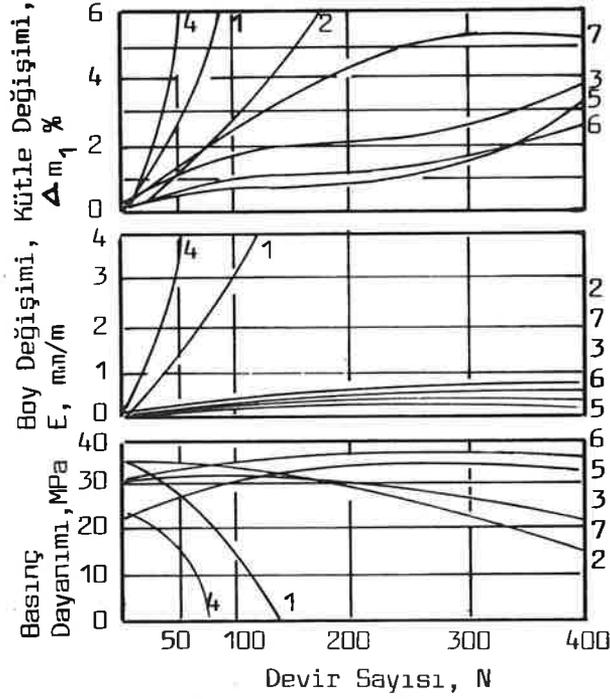
* Numunelerin Kompozisyonları : Çimento-Kum 1:3, w/c=0.55.

** Donma Direnci Katsayısı eğilmede çekme dayanımının değişiminden hesaplanmaktadır.

*** % 15 Potas içeren numuneler -60 °C de yapılan 5 ila 10 devreden oluşan donma-çözülmeden sonra ve -20 °C de 100 ila 150 devrenin sonunda parçalanmıştır.



Şekil-17. Betonda ağırlık kaybı, boyut değişimi ve basınç dayanımının değerlendirilmesi sonunda donmaya karşı direnci. Beton numuneler 28 gün boyunca -20°C de kür edildikten sonra 28 gün boyunca da 20°C de kür edilmişlerdir. (1) katkısız, (2) %9.7 CC + %6.5 SC, (3) %22 SN, (4) %22 Potas, (5) %25 CNÜ, (6) %25 CCNNÜ ve (7) %25 SC + SN (1:1).



Şekil-18. Değişik katkılarla hazırlanmış beton numunelerin donmaya karşı direnci. Burada numuneler -20°C dondurulduktan sonra %5' lik NaCl çözeltisinde çözülmüşlerdir. (Diğer detaylar yukarıdaki Şekil-8 ile aynıdır.)

Kalsiyum tuzları ve sodyum nitrit betonun dona karşı direncini artırmasına karşın antifriz katkılardan Potas betonun dona ve tuzlara karşı direncini oldukça düşürmektedir. Tablo 18 den bu sonuç görülmektedir. Potas betonun boşluk yapı dağılımını bozmakta ve boşluk boyutunu artırdığından kullanılmamalıdır. Bu katkı yüksek don dayanıklılığının istendiği yerlerde, hava sürükleyiciler ve gaz oluşturuçularla bile birlikte kullanılması tavsiye edilmez.

7.7. Çiçeklenme

Priz ve sertleşmeyi hızlandırıcı bazı katkılar (sodyum tuzları) betonda kalsiyum bileşiklerinin beton yüzeyine penetrasyonu sonucu çiçeklenmeye neden olurlar. Özellikle yüksek dozlarda kullanılan sodyum nitrit, sodyum klorür ve kompleks inorganik antifriz katkıları çiçeklenmeyi hızlandırır. Bu katkıları kullanılacağı zaman eğer çiçeklenmenin azaltılması isteniyorsa antifriz katkı içeriğine lignosülfonatlı bileşiklerin katılması ve öylece kullanılması tavsiye edilir.

Çiçeklenmeyi azaltmanın diğer bir yolu ise betonda ısı ve kütle transfer koşullarının değiştirilmesi ile sağlanmaktadır. Bu ise beton sertleştikten sonra yüzeyine uygulanacak bir takım koruyucu malzemeler ile sağlanır. Estetikliğin ön planda tutulduğu yerlerde yukarıda bahsedilen önlemlerle birlikte kalsiyum ve potasyum tuzlarından ibaret antifriz katkıların kullanılması tavsiye edilir.

8. Yeni Gelişmeler

Antifriz katkıları ile ilgili son 10 yıl içinde daha ileri düzeyde araştırmalar yapılmış ve pek çok gelişmeler kaydedilmiştir. Örnek olarak, sülfonatlı naftalin formaldehid (SNF) ve sülfonatlı melamin formaldehid (SMF) olarak bilinen süperakışkanlaştırıcı katkıları antifriz katkıları ile birlikte kullanıldığı zaman, beton karma suyunu azalttığından daha az antifriz katkı kullanımına müsaade ederler. Bu yolla daha kaliteli beton üretimi de sağlanır. Süperakışkanlaştırıcılara ek olarak diğer bazı yeni katkıları da araştırılmaya devam etmektedir. Akışkanlaştırıcılar, hava sürükleyiciler ve kaprolaktam (ChSPK) veya onun bir diğer modifikasyonu olan (ChSPK-M) üretiminden elde edilen alkali yan ürünler örneklerdir. Bu maddeler içinde aktif madde adipik asit diye bilinen bir maddenin tuzudur.

Tablo 19 de bu tür katkıları ile yapılmış betonların daha düşük dayanımlar verdiği görülmektedir, ancak bu katkıların kullanılması daha ekonomik olmaktadır.

Tablo 19. Betonun Dayanım Gelişmesinde Kompleks Antifrizlerin Etkisi (Beton numuneler -5°C de kür edilmişlerdir)

Katkı	Proje Dayanımının % si Olarak Dayanımlar			
	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
SN + %0.7 SNF	80	90	110	130
SN + %3 ChSPK	60	75	90	110
SN + %3 ChSPK-M	70	80	100	120
CN + %0.7 SNF	60	80	90	100
CN + %0.3 ChSPK	35	50	75	100
CN + %3 ChSPK-M	40	60	80	100

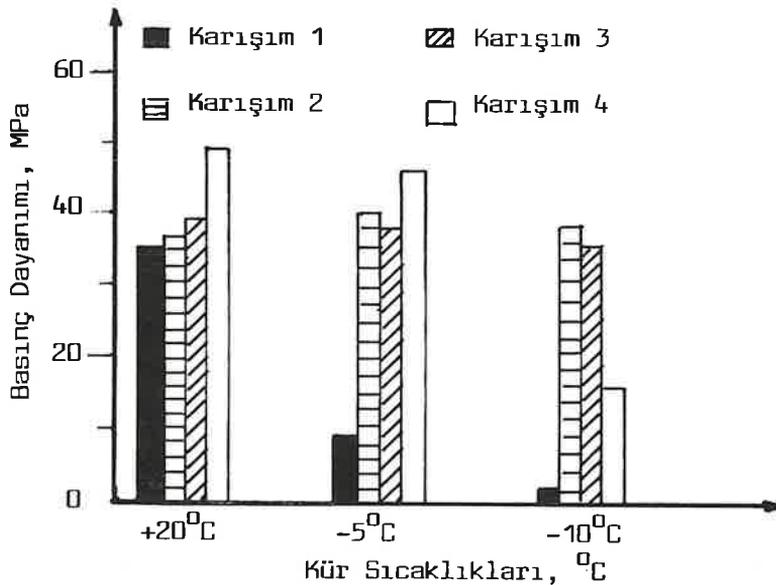
CN = Kalsiyum Nitrat, SN = Sodyum Nitrit, SN ve CN miktarı karışım suyuna oranla kütlece %6 dır.

Son zamanlarda yukarıda verilen antifriz katkılarıyla birlikte Sodyum Asetat (SA) ve Sodyum Format (SF) kullanımı üzerine sayısında oldukça fazla sayıda araştırma yapılmaktadır. Bir çalışmada SA + SNF formülasyonuna sahip az miktarda katkı kullanılarak yapılmış betonların özellikleri, -15°C de kürde sertleşmeye bırakılan SN + SNF ile yapılanlarınkine oranla aynı özelliklere sahip olarak ortaya çıkmıştır. SA + SNF ile yapılan betonların dona karşı dirençleri de oldukça iyi çıkmıştır. Bu etkiler Tablo 20 de verilmiştir.

Tablo 20. Kompleks Antifriz Katkılı Betonlarda Dayanım Gelişmesi

Katkı	Sıcaklık °C	Proje Dayanımı % si Olarak Dayanımlar			
		7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
SN + %0.4 SNF	-5	70	80	90	110
	-10	40	60	70	100
	-15	20	30	50	90
SA + %0.4 SNF	-5	60	70	80	100
	-10	30	50	60	70
	-15	10	20	30	50

Şekil-19 da değişik katkılarla yapılmış betonların farklı kür sıcaklıklarında gösterdikleri performansları görülmektedir.



Şekil-19. 28 günlük basınç dayanımları. (Tuz % leri su kütlesine oranla verilmiştir ve w/c=0.39 dur) Mix 1: Katkısız; Mix 2: %15 Sodyum Nitrit + %5 Kalsiyum Nitrit; Mix 3: %15 Sodyum Nitrit + %0.15 Potas; Mix 4: %15 Kalsiyum Nitrit.

SN ve Kalsiyum Nitritin (CN) 3:1 oranında karıştırılmasıyla oluşturulan katkı bir kombinasyon olarak betonda kullanılmasıyla -5°C de oldukça iyi mekanik özellikler elde edilmiştir. Bugün Rusya'da yeni bir teknoloji olarak ortaya çıkan ve çimentonun veya onun diğer karışımlarının bir takım mineral katkılarla veya katı haldeki süperakışkanlaştırıcılar ile yoğun mekanokimyasal prosesiyle üretilmesi sonucu daha iyi gelişmeler sağlanmıştır. Bu işlem sonucunda düşük su ihtiyaçlı bağlayıcılar veya bir çeşit çimento cinsi (DSİB) üretilmeye başlanmıştır. Bu yolla elde edilen çimentolarla çok düşük su-çimento oranlı ($w/c=0.15-0.18$ gibi değerlerde) betonlar yapılabilmektedir. Bunun sonucunda da çok yüksek dayanımlar elde edilmiştir. Tablo 21 da bu katkılarla yapılmış betonların dayanımlarını görebiliriz.

Tablo 21. Düşük Su İhtiyaçlı Bağlayıcı çimento (DSİB) ve Mineral Katkılarla Yapılmış Betonların Dayanımları

Bağlayıcı	Mineral Katkı	Su/Katı Oranı	28 Günlük Dayanım (MPa)	
			Eğilmede Çekme	Basınç dayanımı
Portland Çimentosu	-	0.27	5.4	41.7
%0.7 SNF + Portland Çimentosu	-	0.23	6.7	53.4
%100 DSİB	-	0.15	10.2	87.8
%50 DSİB	Kum	0.16	7.0	61.0
%50 DSİB	Cüruf	0.17	6.7	59.3
%30 DSİB	Uçucu Kül	0.18	6.8	53.1

DSİB ile SN bir antifriz katkı olarak -10°C nin altındaki sıcaklıklarda kış betonlamasında oldukça başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. SN bu yeni çimento türü ile daha düşük dozlarda kullanılabilir. DSİB kendi başına 0 ile -60°C arasında hiç bir başka katkı ilavesi olmaksızın da kullanılabilir. DSİB ile yapılan betonların dona karşı dayanımları da çok iyi çıkmaktadır.

Yeni bir inşaat malzemesi olan ve alinit içeren bir malzeme de geliştirilmiştir. Bu malzemenin esası C_3S dir ve yapısında klor içermektedir. Bir sıvı fazı içerisinde alinitli çimentonun hidrolizi ve hidratasyonu esnasında, kalsiyum klorür kullanımı sonucunda oldukça düşük ötektik sıcaklıkları (-55°C) elde edilebilmektedir. Bunun sonucunda, suyun donma noktası oldukça düşmektedir. Alinitli çimentonun

donatısız büyük yüzeyli beton yapılar da kullanılması uygundur. Eğer donatılı betonda kullanılması gerekiyorsa, korozyon yavaşlatıcılarla (SN, CNN veya CN) birlikte kullanılması tavsiye edilir. Ancak, diğer formülasyonlarda normal olarak kullanılanın sadece %50 si kadar kullanılabilir. Bu tür sistemlerde, başlangıç aşamasında, sıvı faz önce nitrit ile doymun hale gelecektir ve zamanla klor iyonları da ortama girecektir. Bunun sonucunda da betonun sertleşmesindeki ilk dönemde nitritin klora oranı yeterince yüksek olacağından çelik donatının pasivasyonunu hızlandıracaktır. Klorun ortamda olmasından dolayı, alinat çimentosu 5°C de portland çimentosuna kıyasla %30 daha aktif ve -5°C de de %15-20 kadar aktif olacaktır. Bu çimento önerilmeli beton yapılar da kullanılmamalıdır.

9. Standard ve Spesifikasyonlar

Standartlar ve Spesifikasyonlarla ilgili bir çok döküman özellikle Rusya'da mevcuttur (Tablo 22). 1996 yılında TSE bu konuda bir Türk Standardı meydana getirmiştir; TS 11746, "Beton Kimyasal Katkı Maddeleri-Beton Antifirizi" adlı bu standart ekte sunulmuştur. Ancak bu standardın günümüz koşullarına uygun olarak bir antifriz katkısı için olması gerekenler yönünde geliştirilmesinin uygun olacağına inanılmaktadır. Antifriz katkıların mutlak surette bir adyabatik veya izotermal kalorimetri kabında denenmesi ve ısı yayılım eğrileri veya adyabatik sıcaklık eğrileri türetilmelidir.

Tablo 22. Antifrizlerle İlgili Rusya'daki Standard ve Spesifikasyonlar

Katkı	No
Kalsiyum Klorür, (CC)	GOST 450-77, Minchimprom
Kalsiyum Nitrat, (CN)	TU 6-03-367-79, Minchimprom
Kuru Potasyum Karbonat (Potas), (P)	GOST 13830-68
Sodyum Klorür, (SC)	GOST 19906-74 TU 6-01-540-70, Minchimprom TU 6-13-5-75, Minchimprom
Sodyum Nitrit, (SN)	GOST 19906-74 TU 3810274-79, Minneftechimprom
Üre (Karbamid), (Ü)	GOST 2081-75, GOST 52206-74
Kalsiyum Nitrit-Nitrat, (CNN)	TU 6-03-704-74, Minchimprom
Kalsiyum Klorür-Nitrit-Nitrat, (CCNN)	TU 6-18-194-76, Minchimprom
Kalsiyum Nitratın Kompleks Tuzu ve Üre, (CNÜ)	TU 6-03-349-73, Minchimprom

10. Referanslar

1. M. F. Kocabeyler, "Anormal Hava Koşullarında Beton Yapım, Döküm ve Bakım Kuralları", TAKK Dairesi, Beton-Malzeme Lab., Kalite Kontrol Teknik Semineri, Eylül 1993, Fethiye.
2. V.S. Ramachandran, "Concrete Admixtures Handbook" Properties, Science, and Technology, Noyes Publication, Park Ridge, New Jersey, USA, 1984.
3. S. Mindess, J.F. Young, "Concrete", Prşntice-Hall, Inc. Englwood Cliffs, New Jersey, USA, 1991.
4. ACI Committee 306, "Cold Weather Concreting", ACI 306R-88, Manual of Concrete Practice, 1989.
5. TS 11746/Nisan 1995, "Beton Kimyasal Katkı Maddeleri-Beton Antifirizi", TSE, Ankara.
6. TS 1248 / 89, "Anormal Hava Koşullarında, Beton Yapım, Döküm ve Bakım Kuralları", TSE, Ankara.

BETON KİMYASAL KATKI MADDELERİ - BETON ANTİFRİZİ
(Soğuk Havada Taze Betonu ve Harcı Donmaya Karşı Koruyucu Madde)

0 - KONU, TARİF, KAPSAM, UYGULAMA ALANI**0.1 - KONU**

Bu standard, beton kimyasal katkı maddelerinden soğuk havada taze betonu ve harcı donmaya karşı koruyucu madde-Beton Antifrizinin tarifine, sınıflandırma ve özelliklerine, numune alma, muayene ve deneyleri ile piyasaya arz şekline dairdir.

0.2 - TARİFLER**0.2.1 - Beton Kimyasal Katkı Maddesi**

TS 3452¹⁾ 'de tarif edilmiştir.

0.2.2 - Soğuk Havada Taze Betonu ve Harcı Donmaya Karşı Koruyucu Madde (Beton Antifrizi)

Soğuk havada taze betonu ve harcı donmaya karşı koruyucu madde, soğuk hava şartlarında yapı harcına veya taze betona ilave edilerek, çimento başlangıç hidrasyon ısısını artırma ve taze beton veya harç boşluklarındaki suyun donma derecesini düşürme yolu ile beton veya harcın korunma süresini ve korunma tedbirlerini azaltan, don etkisinden koruyan sıvı veya katı haldeki kimyasal katkı maddeleridir.

0.3 - KAPSAM

Bu standard; taze beton veya harcı dondan korumak ve soğuk hava şartlarında sürekli beton dökümüne yardımcı olmak amacıyla beton karma suyuna veya çimento içerisine katılan kimyasal katkı maddelerinden beton antifrizini kapsar.

NOT - Bu standard metninde soğuk havada taze beton ve harcı donmaya karşı koruyucu madde-beton antifrizi deyimi yerine beton antrifrizi deyimi kullanılmıştır.

0.4 - UYGULAMA ALANI

Bu standardda belirtilen katkı maddeleri yapı harçları ve taze betonda kullanılabilir.

0.5 - KULLANIM ŞARTLARI

Soğuk hava şartlarında beton dökümü için beton antifrizi kullanımında aşağıdaki hususlara riayet edilmelidir:

- +5 C-0° C hava sıcaklığında; Beton antifrizi kullanılması tavsiye edilir.

- 0°C'den düşük - (-5°C) hava sıcaklığında; Beton antifrizi kullanılması yeterli olabilir.

- -5°C'den düşük - (-10°C) hava sıcaklığında; Beton antifrizi kullanılması yanında mutlaka TS 1248'de belirtilen diğer koruyucu tedbirlerin de alınması gereklidir.

NOT - Hava sıcaklıkları TS 1248'de tarif edilmiştir.

1 - SINIFLANDIRMA VE ÖZELLİKLER**1.1 - SINIFLANDIRMA****1.1.1 - Sınıflar**

Beton antifrizleri klorür ihtiva edip etmemelerine göre;

- Klorür ihtiva eden

- Klorürsüz (Klorür ihtiva etmeyen)

olmak üzere iki sınıfa ayrılır.

1) Bu Standard metninde atıf yapılan Standardların numaraları, yayım tarihleri, Türkçe ve İngilizce isimleri kapak arkasında verilmiştir.

1.2 - ÖZELLİKLER

1.2.1 - Klorür İhtiva Eden Beton Antifrizinde Suda Çözünmeyen Kalıntı Miktarı

1.2.1.1 - Kalsiyum Klorürlü Beton Antifrizi

1.2.1.1.1 - Katı Halde Kalsiyum Klorür İhtiva Eden Beton Antifrizi

Madde 2.3.1'e göre yapılacak deney sonucunda suda çözünmeyen kalıntı miktarı kütlece %2 (yüzde iki)'den fazla olmamalı, kalsiyum klorürün saflık oranı %75 olmalı ve bileşiminde;

Toplam NaCl en çok %8

Toplam MgCl₂ en çok %0,5

su dışındaki diğer bileşenler en çok %1,0 oranlarında bulunmalıdır.

1.2.1.1.2 - Sıvı Halde Kalsiyum Klorür İhtiva Eden Beton Antifrizi

Berrak veya berrak görünüme yakın olmalıdır. Madde 2.3.1'e göre yapılacak deney sonucunda suda çözünmeyen kalıntı miktarı kütlece % 1 (yüzde bir) den fazla olmamalıdır. Madde 2.3.2'ye göre yapılacak muayene sonucunda oda sıcaklığındaki yoğunluğu en az 1,284 g/cm³'den az olmamak şartıyla üretici tarafından belirtilen yoğunluk $\pm 0,03$ toleransla temin edilmelidir.

1.2.1.2 - Klorür Bileşiği İhtiva Eden Beton Antifrizi

1.2.1.2.1 - Katı Halde Klorür Bileşiği İhtiva Eden Beton Antifrizi

Toz şeklinde olmalı Madde 2.3.1'e göre yapılacak deney sonucunda suda çözünmeyen kalıntı miktarı kütlece %2 (yüzde iki)'den fazla olmamalıdır.

1.2.1.2.2 - Sıvı Halde Klorür Bileşiği İhtiva Eden Beton Antifrizi

Madde 2.3.1'e göre yapılacak deney sonucunda kalıntı miktarı kütlece %1 den fazla olmamalıdır.

UYARI : Öngerme veya sonradan gerilmeli betonlarda klorür ihtiva eden beton antifrizi kesinlikle kullanılmamalıdır. Diğer donatılı betonlarda, dayanıklılık açısından klorür ihtiva etmeyen beton antifrizi tercih edilmelidir. Dayanıklılığın önemli olmadığı donatılı betonlarda klorürlü beton antifrizi kullanılabilir, ancak bu durumda klorür miktarı kütlece %2 (yüzde iki)'yi geçmemelidir.

1.2.2 - Klorür İhtiva Etmeyen Beton Antifrizi Katkıları Klorür Miktarı

Madde 2.3.3'e göre yapılacak deney sonucunda klorür miktarı betonda zararlı etki oluşturmayacak oranda olmak üzere %0,2 (binde iki)'yi geçmemelidir.

1.2.3 - Beton Antifrizinin Betona Etkisi

1.2.3.1 - Basınç Mukavemetine Etkisi

Madde 2.3.4.2.2'de belirtilen deney uygulandığında beton antifrizi ilave edilmiş betonun 3,7,28 günlük basınç mukavemeti değerlerinin, aynı şartlarda hazırlanmış olan kıyaslama betonunun aynı yaşlardaki mukavemet değerlerine oranı en az % 115, % 100 ve % 95 olmalıdır.

1.2.3.2 - Eğilmede Çekme Mukavemetine Etkisi

Madde 2.3.4.2.3'de belirtilen deney uygulandığında beton antifrizi ilave edilmiş betonun 3,7,28 günlük eğilmede çekme mukavemeti değerlerinin aynı şartlarda hazırlanmış olan kıyaslama betonunun aynı yaşlardaki mukavemet değerlerine oranı en az % 110, % 100, ve % 90 olmalıdır.

1.2.3.3 - Priz Başlangıcına Etkisi

Madde 2.3.4.1.3.3' de belirtilen deney uygulandığında beton antifrizi ilave edilmiş beton, prize en erken dökümden 45 dakika sonra başlamalı ve kıyaslama betonuna göre de priz başlangıcında bir saatten fazla gecikme olmamalıdır.

1.2.3.4 -Boy Değişimine Etkisi

Madde 2.3.4.2.4' de belirtilen deney uygulandığında beton antifrizi ilave edilmiş numunelerin boy değişimi oranı, kıyaslama betonu boy değişimi oranının en fazla 2 katlı olmalıdır.

1.2.3.5 - Taze Beton Sıcaklığı Değişimine Etkisi

Madde 2.3.4.1.3.4' de belirtilen deney uygulandığında beton antifrizi ileve edilmiş katkılı harç numune ile katkısız harç numune sıcaklık farkı en az 0,25°C olmalıdır.

1.2.3.6 - Donma Çözülme Dayanıklılığı Etkisi

Madde 2.3.4.2.5'de belirtilen deney uygulandığında, beton antifrizi ilave edilmiş numunelerin dayanıklılık faktörünün, kıyaslama betonu dayanıklılık faktörüne oranı en az %80 olmalıdır.

1.3 - ÖZELLİK MUAYENE VE DENEY MADDE NUMARALARI

Beton antifrizi kullanılmış beton ve antifriz katkısı özellikleri, muayene ve deneylerine ait madde numaraları Çizelge 1'de verilmiştir.

ÇİZELGE 1 - Özellik, Muayene ve Deney Madde Numaraları

Sıra No	Özellikler ve Madde No	Muayene ve Deney Madde No
1	1.2.1.1.1 Suda Çözünmeyen Kalıntı Miktarı	2.3.1
2	1.2.1.1.2 Yoğunluk	2.3.2
3	1.2.2 Klorür Miktarı	2.3.3
4	1.2.3.1 Basınç Mukavemeti	2.3.4.2.2
5	1.2.3.2 Eğilmede Çekme Mukavemeti	2.3.4.2.3
6	1.2.3.3 Priz Süresi	2.3.4.1.3.3
7	1.2.3.4 Boy Değişimi	2.3.4.2.4
8	1.2.3.5 Taze Beton Sıcaklığı	2.3.4.1.3.4
9	1.2.3.6 Donma-Çözölmeye Dayanıklılık	2.3.4.2.5
10	3.1 Ambalajlama	2.2
11	3.2 İşaretleme	2.2.1

2 - NUMUNE ALMA, MUAYENE VE DENEYLER**2.1 - NUMUNE ALMA**

Aynı sınıftan olan ve bir defada muayeneye sunulan beton antifrizi bir parti sayılır.

Beton antifrizi katkı maddelerinin her partisinden TS 2756' da belirtilen rasgele sayılar çizelgesi kullanılarak 4 ambalaj numune olarak ayrılır. Bunun mümkün olmaması halinde aşağıdaki metot uygulanır.

Partinin herhangi bir yerinden başlanarak, partideki ambalaj sayısı N olmak üzere ambalajlar 1, 2, 3,.....N şeklinde numaralanır veya numaralandığı var sayılır. Bir numune takımını oluşturan ambalaj sayısı 4 olduğuna göre $N/4=r$ sayısı hesaplanır. Tam sayı değilse tam sayıya yuvarlatılır. r'inci, 2'inci, 3'üncü, 4'üncü ambalajlar ayrılır. Böylece alınan 4 ambalaj bir numune takımını oluşturur.

2.1.1 - Sıvı Haldeki Beton Antifrizi Katkı Maddelerinden Numune Alma

Madde 2.1' de belirtilen şekilde ayrılan dört ambalaj Madde 2.2'de belirtilen muayeneler yapıldıktan sonra kapakları açılarak bir tahta çubuk vasıtasıyla iyice karıştırılır. Her ambalajdan yaklaşık ikişer litre deney numunesi alınarak bunlar temiz bir kapta toplanır. Beton antifrizinden etkilenmeyen ve beton antifrizini etkilemeyen kapaklı kaplara konur. Doğrudan güneş etkisinde kalmayan ortamda saklanır.

2.1.2 - Katı Haldeki Beton Antifrizi Katkı Maddelerinden Numune Alma

Madde 2.1' de belirtilen şekilde ayrılan dört ambalaj madde 2.2' de belirtilen muayeneler yapıldıktan sonra ambalaj kapakları açılarak içlerine TS 23'de belirtilen numune alma borusu sokulmak sureti ile her birinden yaklaşık 0.5 kg deney numunesi alınır. Alınan bu numuneler beton antifrizini etkilemeyen ve beton antifrizinden etkilenmeyen kuru bir kap içerisinde toplanır. Rutubet almayan kaplara konularak doğrudan güneş ışığında kalmayan ortamda saklanır.

2.2 - MUAYENELER**2.2.1 - Gözle Muayene**

Madde 2.1' de belirtilen şekilde ayrılan dört ambalaj numune alınmadan önce gözle muayene edilir. Bu muayenede ambalajların yırtık, bozuk ve kapaklarının açık olup olmadığı incelenip madde 3.1'e uygun olup olmadığına ve ambalajlar üzerinde madde 3.2'de belirtilen işaretlerin bulunup bulunmadığına bakılır.

2.2.2 - Kütle Muayenesi

Kütle muayenesi, madde 2.1'de belirtilen şekilde ayrılmış olan dört ambalaj tartılarak yapılır. Dolu ambalaj kütlelerinin aritmetik ortalaması alınarak dolu ambalaj kütlesi bulunur. Boş ambalajın kütlesini bulmak üzere, ambalajlardan biri boşaltılarak tartılır. Dolu ve boş halde tartılan ambalaj kütleleri arasındaki fark net ambalaj kütlesini verir. Sonucun madde 3.1'e uygun olup olmadığına bakılır.

2.3 - DENEYLER

2.3.1 - Suda Çözünmeyen Kalıntı Miktarı Tayini

TS 3040'a uygun olarak yapılan deney sonucunun madde 1.2.1.1.1, 1.2.1.1.2, 1.2.1.2.1 ve 1.2.1.2.2'ye uygun olup olmadığına bakılır.

2.3.2 - Yoğunluk Tayini

TS 1210'a uygun olarak yapılan deney sonucunun Madde 1.2.1.1.2'ye uygun olup olmadığına bakılır.

2.3.3 - Klorür Miktarı Tayini

TS 3732'ye uygun olarak yapılan deney sonucunun Madde 1.2.2'ye uygun olup olmadığına bakılır.

2.3.4 - Beton Antifrizinin Beton Üzerindeki Etkisinin Tayini

Beton antifrizinin beton özellikleri üzerinde yapmış olduğu değişimin belirlenmesi amacıyla, biri katkı maddesi ilavesiyle hazırlanmış deney betonu diğeri aynı şartlarda katkı maddesi katılmadan hazırlanmış kıyaslama betonu olmak üzere iki ayrı beton karışımı hazırlanır. Yapılacak bütün deneyler bu iki beton karışımı üzerinde paralel olarak yürütülür.

Her iki beton karışımının hazırlanmasında katkı maddesi dışında bütün beton karışım malzemeleri aynı miktar ve özellikte olmalı, deney metot ve şartları aynı kalmalı ve bütün deneyler aynı sıra ve süreyle yapılmalıdır.

2.3.4.1 - Taze Beton Üzerinde Yapılan Deneyler

2.3.4.1.1 - Deney Malzemeleri

2.3.4.1.1.1 - Çimento

Bütün deneylerde TS 19'da belirtilen portland çimentosu PÇ 32.5 veya TS 10156'da belirtilen katkı portland çimentosu, KÇ 32.5 kullanılır. Bir partinin kontrolü için hazırlanacak olan deney betonu ve kıyaslama betonunda aynı çimento kullanılmalıdır.

2.3.4.1.1.2 - Agregası

Deneylerde kullanılacak agregası TS 706'da belirtilen özelliklere sahip kırılmamış doğal agregası olmalıdır. 0.07/1 mm, 1/2 mm, 2/4 mm, 4/8 mm, 8/16 mm, 16/32 mm, tane sınıflarına ayrılarak ve kullanılacak tüvenan agregası granülometri eğrisi şekil 1'de verilen sınırlar içerisinde tercihan eğrilerin aritmetik ortalamasından geçecek şekilde seçilmelidir. Kullanılacak agregası en büyük tane büyüklüğü 32 mm olmalıdır.

2.3.4.1.1.3 - Beton Karışım Suyu

Deneylerde kullanılacak beton karışım suyu, TS 1247'de belirtilen şartlara sahip olmalıdır.

2.3.4.1.2 - Taze Beton Hazırlanması

2.3.4.1.2.1 - Çimento Dozajı

Yapılan bütün betonlarda çimento dozajı $300 \pm 3 \text{ kg/m}^3$ olmalıdır.

2.3.4.1.2.2 - Beton Antifrizi

Katkılı betonlarda, Antifriz katkı Maddesi üretici tarafından önceden belirtilen miktarda kullanılır. Katı haldeki beton antifrizi önce karışım suyundan alınan bir miktar su içerisinde çözüldükten sonra beton karışım suyu ile birlikte veya çimentoya homojen bir şekilde karıştırılarak, sıvı haldeki beton antifrizi karışım suyu içerisinde betona ilave edilmelidir.

2.3.4.1.2.3 - Karıştırma

Beton karışımları, yapılacak bütün deneylere yetecek miktarda olmak üzere TS 3068'de belirtilen kurallara uyularak hazırlanmalı karışım hazırlandıktan sonra zaman geçirilmeden deneylere başlanmalıdır. Deneylerde kullanılmış olan beton karışımları bir sonraki deney için kullanılmamalı, ve her deney serisi için yeni numune hazırlanmalıdır.

2.3.4.1.3 -Taze Beton Deneyleri**2.3.4.1.3.1 - Kıvam**

Yapılan bütün betonlarda TS 2871'e göre yapılan kıvam deneyi (çökme hunisi metodu ile) sonucunda taze beton çökmesi 6 ± 1 cm olmalıdır.

2.3.4.1.3.2 -Hava Miktarı

Yapılan bütün betonlarda TS 3261 veya TS 2901'e göre taze beton hava miktarı % 3'ü geçmemelidir.

2.3.4.1.3.3 - Priz Süresi

Beton antifrizi katılarak hazırlanmış beton karışımı ile, katkı maddesi katılmadan hazırlanmış olan kıyaslama betonu karışımı üzerinde TS 2987'ye uygun olarak prize başlama ve bitiş süreleri tayin edilmelidir. Sonucun Madde 1.2.3.3'e uygun olup olmadığına bakılır.

2.3.4.1.3.4 - Taze Beton Sıcaklık Farkı Ölçümü

Deney; katkılı ve katkısız olarak aynı ortam şartlarında hazırlanmış taze betonun 4 mm göz açıklıklı elekten yaş elenmesi ile oluşturulan harç ile yapılmalıdır. Deney iki harç arasında beton hazırlanmasından itibaren 12 saatlik süre içerisinde gelişen sıcaklık farkının ölçülmesi esasına dayanır.

Taze beton sıcaklığı ölçümü deneyinde kullanılacak deney tertibatı Şekil-2'de gösterilmiştir. Deney tertibatında küp şekilli iki adet numune kabı, her iki numune sıcaklığı ölçümü için iki adet direnç termometresi, direnç termometrelerinin bağlanacağı köprü ve kaydedici bulunmalıdır. Numune kapları polietilen malzemeden imal edilmiş ve Şekil 2'de gösterilen ölçülerde olmalı, kapak plakalarının ortasına direnç termometresi yerleştirilmek üzere bakır bir yuva monte edilmelidir. Direnç termometresi platinen yapılmış ve termometre direnci 20°C'de 100 ohm olmalı, termometre numune kabının ortasında olacak şekilde yerleştirilmelidir.

Numune kaplarının herbiri yaklaşık 1,5 litre hacminde olmalıdır. Deney eşnasında her iki numune kabı da yanyana ve ısı geçirmez bir zemin üzerine yerleştirilmeli, hava cereyanlarından korunmalıdır. Negatif etkilerin de görülebilmesi için kaydedicinin mekanik 0 noktası, köprüde akım yok iken skala alanının 1/3-1/2'si arasında kalacak şekilde ayarlanmalıdır. Kaydedici dijital göstergeli tipte ise bu işleme gerek yoktur. Köprü dengelenmesi (ayar), her iki direnç termometresinin de bakır yuvalar içerisinde olmak şartıyla 25 °C sıcaklıkta bir su banyosu içerisinde konularak yapılmalıdır.

Gösterge skalasının en büyük sapma derecesini belirlemek üzere yukarıdaki işlemten sonra direnç termometrelerinden biri 3-4°C sıcaklıktaki soğuk suya yerleştirilerek köprüdeki direnç farkı neticesinde göstergede oluşan en büyük sapma derecesine göre kaydedici göstergesi ayarlanmalıdır.

Sıcaklık ölçümü yapılacak numuneler numune kabına iki tabaka halinde şişlenerek yerleştirilmeli ve üst plakanın harç üzerine tam olarak oturtulması sağlanmalıdır.

Beton hazırlanmasından itibaren 12 saatlik süre içerisinde, beton antifrizi katkılı harç sıcaklığı ile katkısız harç sıcaklık farkı takip edilerek sıcaklık farkının en yüksek değeri tespit edilir ve sonucun Madde 1.2.3.5'e uygun olup olmadığına bakılır.

2.3.4.2 - Sertleşmiş Beton Üzerinde Yapılan Deneyler**2.3.4.2.1 - Sertleşmiş Beton Numunelerinin Hazırlanışı**

Madde 2.3.4.1.2'ye göre biri beton antifriz katkısı ilaveli, diğeri de katkısız olarak hazırlanmış olan iki beton karışımından ayrı ayrı çizelge-2'ye uygun olarak birer seri deney numunesi hazırlanır.

ÇİZELGE 2 - Sertleşmiş Beton Numune Sayı, Biçim ve Boyutları ile Kür Şartları

Sıra No	Deneyin Adı	Numune Sayısı	Numune Biçim ve Boyutları	Kür Şekli
1	Basınç Mukavemeti	9	Silindir (150mm.çapx 300mm boy) veya Küp (150 mmx150 mmx150mm)	% 100 nispi nemli kür odası veya 23±2°C sıcaklıkta su banyosu
2	Eğilmede çekme mukavemeti	9	Prizma (150mmx 150mm 500mm)	% 100 nispi nemli kür odası veya 23±2°C sıcaklıkta su banyosu
3	Boy Değişimi	3	Prizma (75mmx 75mmx 285mm)	% 50±% 10 nispi nemli ortamda
4	Donma-Çözölmeye Dayanıklılık	6	Prizma (75 mmx75 mmx100 mm)	%100 nispi nemli kür odası veya 23±0°C sıcaklıkta su banyosu

2.3.4.2.2 - Basınç Mukavemeti Tayini

Basınç mukavemeti tayini TS 3114'e uygun olarak yapılır. Her yaş grubu için üç numune basınç mukavemeti deneyine tabi tutularak bu üç değerin ortalaması alınır. Aynı deneyler katkılı olarak imal edilmiş beton numuneler üzerinde de tekrar edilir. Aynı yaş için bulunan mukavemet değerleri birbirine oranlanarak sonucun Madde 1.2.3.1'e uygun olup olmadığına bakılır.

2.3.4.2.3 - Eğilmede Çekme Mukavemeti Tayini

Eğilmede çekme mukavemeti tayini TS 3284'e uygun olarak yapılır. Her iki seri betondan her yaş grubu için üçer numune hazırlanarak deneye tabi tutulur. Üç değerin ortalaması alınır. Bulunan katkılı ve katkısız numune mukavemetleri birbirine oranlanarak sonucun Madde 1.2.3.2'ye uygun olup olmadığına bakılır.

2.3.4.2.4 - Boy Değişimi Tayini

Boy değişim tayini TS 3322'ye uygun olarak yapılır. Madde 2.3.4.1'e uygun olarak hazırlanmış olan deney numuneleri, 24 saat ± 0,5 saat sonra kalıptan çıkarılarak 13 gün süre ile nispi nemi % 50 ± % 10 ve sıcaklığı 23±2°C olan ortam koşullarında bekletilir. Bu süre sonunda beton numunelerinin boy değişimi ölçülür. Aynı deney katkısız beton deney numuneleri üzerinde de yapılır. Her iki beton numune grubundan bulunan ortalama boy değişimi oranları birbirine oranlanarak sonucun Madde 1.2.3.4'e uygun olup olmadığına bakılır.

2.3.4.2.5 - Donma ve Çözölmeye Dayanıklılık Tayini

Donma ve çözölmeye dayanıklılık tayini TS 3449'a uygun olarak yapılır. Altı numunedan elde edilen dayanıklılık faktörü değerinin ortalaması alınır. Aynı deney referans kıyaslama betonu ile de yapılır. Her iki betondan elde edilen donma ve çözölmeye dayanıklılık faktörü değerleri birbirine oranlanarak sonucun Madde 1.2.3.6'ya uygun olup olmadığına bakılır.

2.4 -DEĞERLENDİRME

Madde 2.2 ve Madde 2.3 de belirtilen muayene ve deney sonuçlarının herhangi birinin bu standarda uymaması halinde partinin standarda uygun olmadığına karar verilir.

2.3 - MUAYENE VE DENEY RAPORLARI

Muayene ve deney raporunda en az aşağıdaki bilgiler bulunmalıdır.

- Muayene ve deneylerin yapıldığı yerin ve laboratuvarın muayene ve deneyi yapanın ve / veya raporu imzalayan yetkililerin adları, görev ve meslekleri,
- Muayene ve deneylerde uygulanan standartların numaraları,
- Muayene ve deneylerin sonuçları,
- Muayene ve deney sonuçlarını değiştirebilecek etkenlerin mahzurlarını önlemek üzere alınan tedbirler,
- Uygulanan muayene ve deney yöntemlerinde belirtilmeyen veya zorunlu görölmeyen fakat muayene ve deneylerde yer almış olan işlemler,
- Standarda uygun olup olmadığı,
- Rapor tarihi ve numarası.

3 - PİYASAYA ARZ

3.1 - AMBALAJLAMA

Sıvı haldeki beton antifrizi, malzeme özelliğini bozmayan sızdırmayan ve hava almayan kapaklı kaplarda piyasaya arz edilir. Madde 2.2.2'ye göre yapılan kütle muayenesinde net kütle 25 kg, 50kg, veya katlan olmalıdır. Net kütle toleransı \pm %1 dir. Katı haldeki beton antifrizleri piyasaya kağıt ve benzeri torbalar içerisinde ambalajlanmış olarak çıkarılır. Torbalar olağan depolama ve taşıma şartlarında yırtılmamalı, delinmemeli ve kapatma yerleri akıtmamalıdır. Torbalar içerisinde bulunan beton antifrizinin Madde 2.2.2'ye göre yapılan kütle muayenesinde net kütle 25 ve 50 kg. olmalıdır. Net kütle toleransı \pm % 1 dir.

3.2 - İŞARETLEME

Ambalajlar üzerinde kolayca okunabilecek ve bozulmayacak şekilde en az aşağıdaki bilgiler yazılmış olmalıdır.

- Firmanın ticari ünvanı, kısa adı, adresi veya varsa tescilli markası,
- Bu standardın işaret ve numarası (TS 11746 şeklinde),
- Sınıfı, klorür ihtiva eden katkı üzerine "öngermeli ve sonradan gerilmeli betonda kullanılmamalıdır" uyarısı konulmalıdır,
- Net kütlesi, kg
- Beton karışımına katılacak oran,
- Kullanma talimatı,
- İmal yılı ve ayı,
- Son kullanma tarihi.

Bu bilgiler gerektiğinde yabancı dil ile de yazılabilir.

3.3 - DEPOLAMA

Beton antifrizi doğrudan güneş ışığı almayacak şekilde depolanmalıdır. Depolama ortamı rutubetsiz olmalı ve sıcaklık donma noktasının altına düşmemelidir. Altı aydan fazla depoda bekletilmiş olan beton antifrizi yeniden muayene edilmeden kullanılmamalıdır.

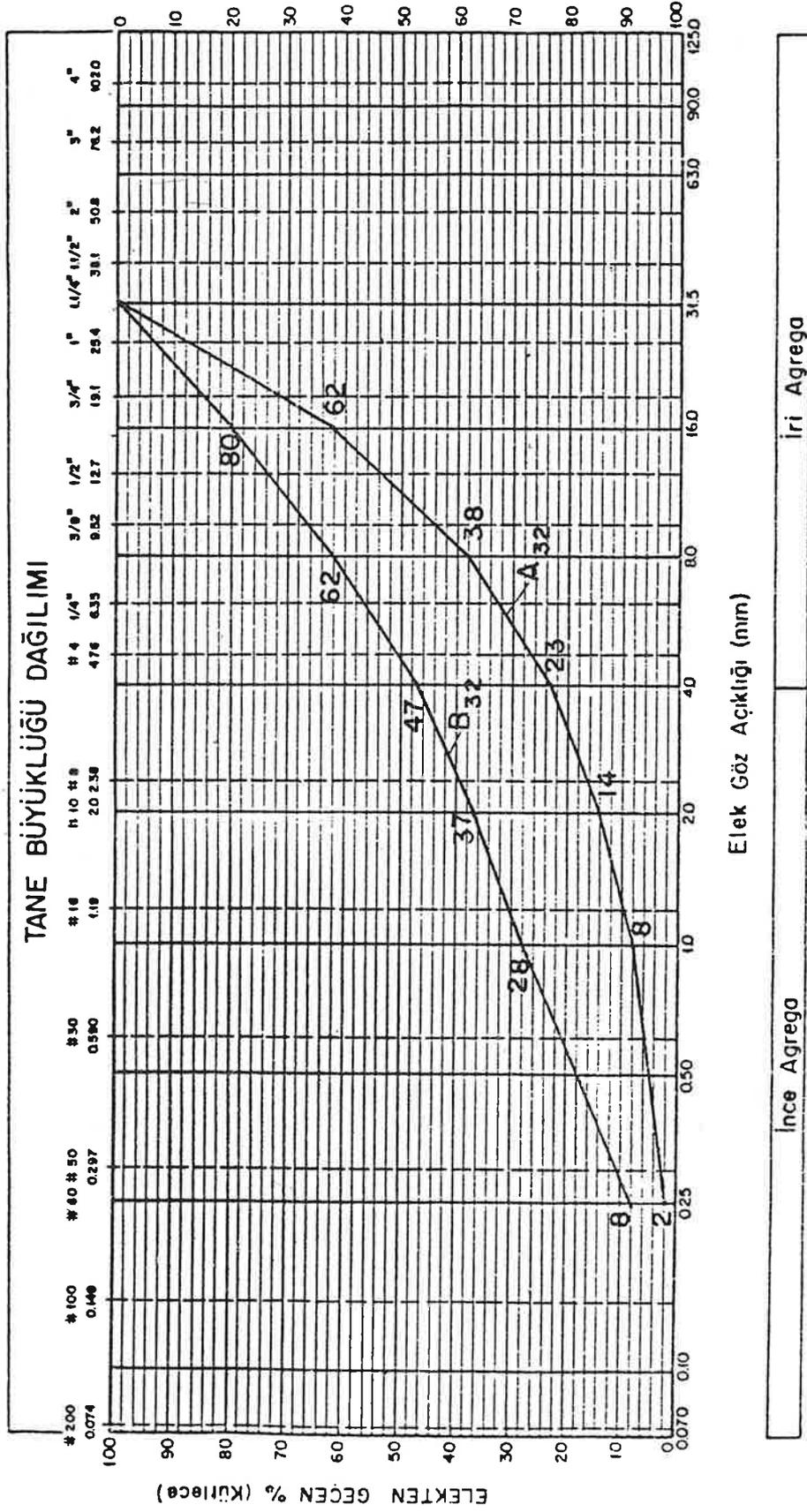
4 - ÇEŞİTLİ HÜKÜMLER

Yapımcı veya satıcı bu standarda uygun olarak imal edildiğini beyan ettiği beton antifrizleri için istendiğinde bu standarda uygunluk beyannamesi vermek veya göstermek zorunluluğundadır. Bu beyannamede satış konusu, antifrizinin,

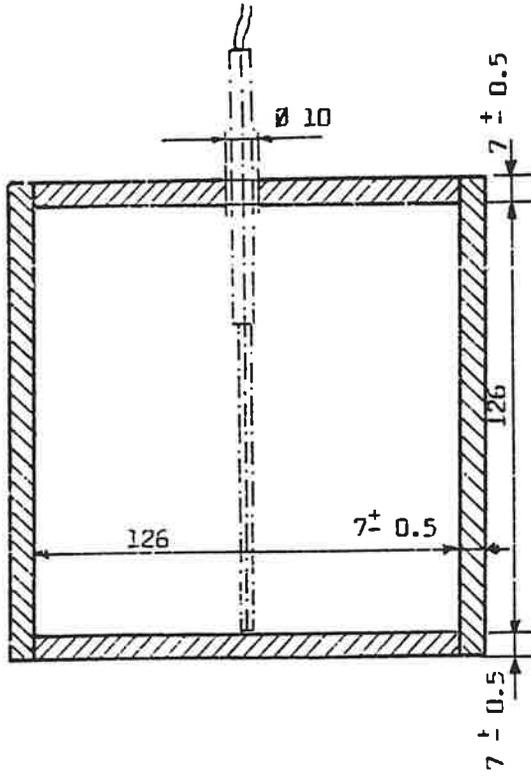
- Madde 1'deki özelliklerde olduğunun,
- Madde 2'deki muayene ve deneylerin yapılmış ve uygun sonuç alınmış olduğunun belirlenmesi gerekir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

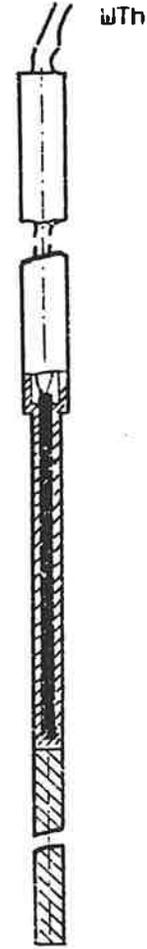
- 1 - Önorm B3332 - Zusatzmittel für Mörtel und Beton Frostschutzmittel
- 2 - Concrete - sidney Mindess, J. Francis Young Printice - Hall, INC. Engluood Cliffs, New Jersey 07632



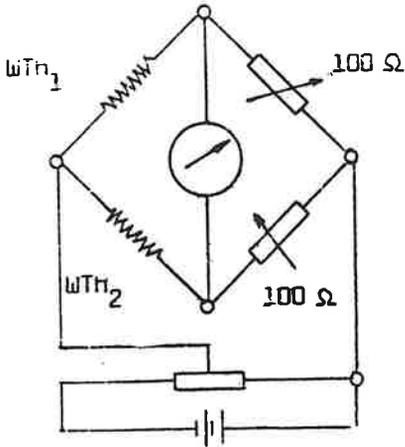
ŞEKİL 1 - Beton Karışımları İçin Önerilen Agregat Granülometri Sınırı



Deney Kabı



Direnc Termometresi



Bağlantı Şeması

NOT - Ölçüler mm olarak verilmiştir.

ŞEKİL 2 - Taze Beton Sıcaklığı Ölçümünde Kullanılacak Deney Tertibatı ve Kısımları

