

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETON YOLLARDA BUZ ÇÖZÜCÜ TUZ ETKİSİNE  
SU-ÇİMENTO ORANININ ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Şenol BERBEROĞLU**

**Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK**

**Haziran 2011**

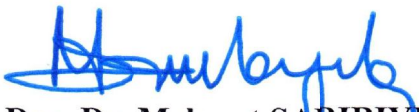
**BETON YOLLARDA BUZ ÇÖZÜCÜ TUZ ETKİSİNE  
SU-ÇİMENTO ORANININ ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Şenol BERBEROĞLU**

**Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ**

Bu tez 17/06/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK  
Jüri Başkanı

  
Prof. Dr. Ahmet C. APAY  
Üye

  
Prof. Dr. Kemal YILMAZ  
Üye

## **TEŐEKKÜRLER**

Bu tezin hazırlanmasında bana her türlü desteği veren danıőman hocam sayın Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK'a, Yrd. Doç. Dr. Metin İPEK'e, Arő. Gör. Ferhat AYDIN'a, deneyin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Sakarya İnci Beton Santrali çalıőanlarına, bana her türlü desteği sağlayan Aileme teőekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii

### BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

### BÖLÜM 2.

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Don Hareketi Mekanizması Hakkında Teoriler.....	3
2.2. Makroskopik Düzeyde Buz Oluşumu.....	5
2.3. Mikroskopik Düzeyde Buz Oluşumu.....	7
2.4. Hidrolik Basınç.....	11
2.5. Donma ve Don Çözücü Tuzların Birlikte Etkisi.....	13
2.5.1. Negatif etkiler.....	13
2.5.1.1. Doygunluk derecesi.....	13
2.5.1.2. Önleyici olarak tuz uygulaması yüzünden süper soğutma..	14
2.5.1.3. Tabakalı donma.....	14
2.5.1.4. Temperatur şoku.....	14
2.5.1.5. 0°C İzoterminin temperatur şokuna göre yer değiştirmesi...	15
2.5.1.6. Kristalizasyon basıncı.....	15
2.5.2. Pozitif etkiler.....	15
2.6. Hava Sürükleyici Katkı Maddesinin Etkisi.....	16

### BÖLÜM 3.

BETON YOLLARIN GÜNÜMÜZE KADAR GELİŞİMİ .....	17
3.1. Beton Yolların Tarihçesi .....	17
3.2. Beton Yol Çeşitleri .....	19
3.2.1. Beton kaplamalı üstyapılar .....	19
3.2.1.1. Beton kaplamalı üstyapılarda kullanılan malzemeler.....	21
3.2.2. Beton kaplamalı üstyapı tipleri .....	22
3.2.2.1. Kalın plak kaplamalar .....	22
3.2.2.2. Lifli beton plak kaplamalar .....	23
3.2.2.3. Ön gerilmeli beton kaplamalar .....	24
3.2.2.4. Silindirele sıkıştırılan beton (SSB) kaplamalar .....	25
3.2.2.5. Kendinden yerleşebilen betonlar .....	30
3.2.2.6. Sürekli betonarme yol kaplamaları.....	31
3.3. Günümüzde Uygulanan Bazı Beton Yol Tasarımları .....	33
3.3.1. Dünyada beton yollar .....	33
3.3.2. Örnek beton yol yapımı .....	36

### BÖLÜM 4.

KARAYOLLARINDA BUZLA MÜCADELE .....	45
4.1 Buzlanmanın Çözülmesi .....	46
4.2. Buzlanmanın Önlenmesi .....	46
4.3. Kullanılan Kimyasal Malzemeler ve Gradasyonları.....	49
4.3.1. Sodyum klorür (NaCl, Tuz).....	50
4.3.2. Kalsiyum klorür (CaCl <sub>2</sub> ).....	52
4.3.3. Magnezyum klorür (MgCl <sub>2</sub> ) .....	53
4.3.4. Kalsiyum magnezyum asetat (CMA).....	53
4.3.5. Potasyum asetat (KAC) .....	54
4.4. Katı Kimyasal Buz Çözücülerin Yola Serilmesi .....	58
4.5. Sıvı Kimyasal Malzemelerin Uygulanması.....	60
4.6. Ön İslatma ve Malzemelerinin Gradasyonu .....	60
4.6.1. Ön ıslatmalı malzeme; tuz ve aşındırıcılar .....	61

## BÖLÜM 5.

MATERYAL VE METOT .....	65
5.1. Materyal.....	65
5.2. Metot .....	65
5.2.1. Malzemeler ve ekipmanlar .....	66
5.2.2. Beton karışımlarının hazırlanması .....	67
5.2.3. Deney numunelerinin elde edilmesi.....	71
5.2.4. Donma-çözülme deneyinin yapılışı.....	73
5.2.5. Numunelere Ultrasonik Hız Deneyi uygulanması .....	76
5.2.6. Numunelere Basınç Deneyi Uygulanması.....	77

## BÖLÜM 6.

BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	78
6.1. Donma Çözülme Deneyinin Sonuç Değerlendirmesi .....	78
6.1.1. Katkısız numunelerin değerlendirilmesi.....	81
6.1.2. Akışkanlaştırıcı katkı numunelerin değerlendirilmesi .....	81
6.1.3. Hava sürükleyici ve akışkanlaştırıcı katkı numunelerin değerlendirmesi.....	82
6.1.4. Genel değerlendirme .....	82
6.2. Ultrasonik Hız Deneyinin Sonuç Değerlendirmesi .....	82
6.3. Basınç Dayanım Deneyinin Sonuç Değerlendirmesi.....	85

## BÖLÜM 7.

SONUÇ VE ÖNERİLER.....	88
KAYNAKLAR.....	90
ÖZGEÇMİŞ .....	93

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AASHTO	: Amerikan Devlet Otoyolları ve Resmi Taşımacılık Birliği
ASTM	: Amerika Standart Test Metot
CBR	: Kaliforniya Taşıma Oranı
DOT	: ABD Ulaştırma Bakanlığı
D	: Doygunluk derecesi
FHWA	: Amerikan Karayolları İdaresi
KGM	: Kişisel Gelişim Müteahhitliği
PCA	: Amerika'da Portland Çimentoları Topluluğu
SSB	: Silindirle sıkıştırılan beton
TS	: Türk Standartları
W/C	: Su/Çimento oranı

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Zeminlerle, muhtemel don kabarması arasındaki ilişki .....	6
Şekil 2.2.	Donma başladığında ani sıcaklık yükselmesi ve numunenin kendiliğinden boyuna genişmesini gösteren diyagram.....	10
Şekil 2.3.	Power ve Helmuth'un raporlarına göre çimento hamurlarında hava boşluğu olması ve olmaması durumundaki boydaki değişme .....	11
Şekil 3.1.	Ohio'da bir beton yol şantiyesinin görüntüsü ve hala kullanılan beton yoldan alınan karot numunesi.....	17
Şekil 3.2.	Amerika da beton yol uygulaması yapılan yerlerin görüntüsü.....	18
Şekil 3.3.	Almanya da kurulan ilk beton yol şantiyesi ve Fransa da bir beton yol uygulaması .....	18
Şekil 3.4.	Beton elemanlarının hacimce ve ağırlıkça dağılımı.....	21
Şekil 3.5.	Uygulamadaki kaplama tipleri.....	33
Şekil 3.6.	Beton santrali .....	36
Şekil 3.7.	Kamyonla taşıma.....	36
Şekil 3.8.	Mikserle taşıma.....	36
Şekil 3.9.	Finişer paletlerinin oturduğu yer.....	37
Şekil 3.10.	Kılavuz teli .....	37
Şekil 3.11.	Beton dökümü.....	37
Şekil 3.12.	Derzlere kayma demiri yerleştirmesi .....	38
Şekil 3.13.	Kayma demirli finişer.....	38
Şekil 3.14.	Kayma demiri montajı.....	39
Şekil 3.15.	Kayma demirleri üzerine beton dökümü .....	39
Şekil 3.16.	Bağlantı demirleri .....	39
Şekil 3.17.	Beton yüzeyinin düzlenmesi.....	40
Şekil 3.18.	Hassas düzleyici.....	40
Şekil 3.19.	Çuval ile pürüzleme .....	40
Şekil 3.20.	Çelik süpürge ile pürüzleme .....	40



Şekil 3.21. Agregayı açığa çıkaran pürüzleme.....	41
Şekil 3.22. Yol üzerinde yivler meydana getirilmesi (tining).....	41
Şekil 3.23. Yol üzerindeki yivler.....	42
Şekil 3.24. Derz kesimi.....	42
Şekil 3.25. Kesilmiş derz .....	42
Şekil 3.26. El ile kür işlemi.....	43
Şekil 3.27. Makine ile kür işlemi.....	43
Şekil 3.28. Derz Yalıtımı .....	44
Şekil 4.1. Faz diyagramları .....	55
Şekil 4.2. Besleme hunili dağıtıcı.....	58
Şekil 4.3. Arka-alt dağıtıcılar ile ön ıslatma ekipmanı .....	59
Şekil 4.4. Sıvı kimyasalların uygulandığı püskürtme sistemine örnek.....	60
Şekil 4.5. Kaplama yüzeyinde tuz dağılımı .....	62
Şekil 4.6. Önceden ıslatılmış kalsiyum klorür ile kuru tuz arasındaki fark....	63
Şekil 4.7. Kuru tuz ile ön ıslatmalı tuzun buzda bıraktığı izler.....	64
Şekil 5.1. Elekten geçen malzeme grafiği.....	69
Şekil 5.2. Karışım için malzemelerin tartılarak hazırlanması.....	71
Şekil 5.3. Karışımın kalıplara yerleştirilmesi.....	71
Şekil 5.4. Numunelerin kür havuzuna yerleştirilmesi.....	72
Şekil 5.5. Numunelerin gruplar halinde yüzey havuzu elde edilmesi ve çuval kaplanması .....	72
Şekil 5.6. Derin dondurucu ve numunelerin derin dondurucu içindeki görüntüsü .....	73
Şekil 5.7. Dijital derece ölçer .....	74
Şekil 5.8. Buzların parçalanarak kar haline getirilmesi.....	74
Şekil 5.9. Derin dondurucunun içindeki numunelerin görüntüsü (alt ve üst kak).....	74
Şekil 5.10. Derin dondurucudan çıkartılan numuneler tuz serpilerek erimeye bırakılmış hali.....	75
Şekil 5.11. Etüvün dış ve iç görüntüsü .....	75
Şekil 5.12. Numunelerin etüvden çıktıktan sonraki halleri.....	76
Şekil 5.13. Ultrasonik Test Cihazı.....	76
Şekil 5.14. Bilgisayar kontrollü basınç test makinesi.....	77

Şekil 6.1.	Katkısız numunelerin etüvden çıktıktan sonraki yüzey görüntüleri	79
Şekil 6.2.	Akışkanlaştırıcı katkıli numunelerin etüvden çıktıktan sonraki yüzey görüntüleri.....	80
Şekil 6.3.	Akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici katkıli numunelerin etüvden çıktıktan sonraki yüzey görüntüleri.....	80
Şekil 6.4.	Numunelerin tekrarlı donma-çözülmeden sonra malzeme kayıp oranları.....	81
Şekil 6.5.	Numunelerin deney öncesi ve sonrası dalga hız değerlerinin grafik gösterimi (W/C 0,30).....	83
Şekil 6.6.	Numunelerin deney öncesi ve sonrası dalga hız değerlerinin grafik gösterimi (W/C 0,40).....	84
Şekil 6.7.	Numunelerin deney öncesi ve sonrası dalga hız değerlerinin grafik gösterimi (W/C 0,50).....	84
Şekil 6.8.	Numunelerin deney öncesi ve sonrası basınç dayanım değerlerinin grafik gösterimi (W/C 0,30).....	86
Şekil 6.9.	Numunelerin deney öncesi ve sonrası basınç dayanım değerlerinin grafik gösterimi (W/C 0,40).....	86
Şekil 6.10.	Numunelerin deney öncesi ve sonrası basınç dayanım değerlerinin grafik gösterimi (W/C 0,50).....	87

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Beton yolların tarihçesi .....	19
Tablo 3.2. ABD'nin çeşitli eyaletlerindeki 2006 yılı için yol kaplamalarının servis ömrü açısından karşılaştırılması.....	20
Tablo 3.3. Beton liflerin özellikleri .....	24
Tablo 3.4. Agrega ve bağlayıcı karışımının gradasyon sınırları .....	27
Tablo 3.5. Geleneksel beton ve SSB kaplamalar için hazırlanmış karışım örneği.....	30
Tablo 3.6. Örnek bir beton bileşimi ve özellikleri.....	32
Tablo 3.7. Trafik kategorilerine göre AASHTO tipi beton kaplama tabakaları .....	34
Tablo 3.8. Trafik kategorilerine göre Almanya tipi beton kaplama tabakaları.....	34
Tablo 3.9. Trafik kategorilerine göre Belçika tipi beton kaplama tabakaları .....	35
Tablo 3.10. Trafik kategorilerine göre asfalt kaplama tabakaları .....	35
Tablo 4.1. Kar ve buz mücadelesinde kullanılan malzemeler.....	49
Tablo 4.2. Bazı kimyasalların etkin oldukları sıcaklıklar ve konsantrasyonları .....	50
Tablo 4.3. Kimyevi malzemelerin suya göre korozif etkileri .....	51
Tablo 4.4. Buz önleyici kimyasalların özellikleri .....	56
Tablo 4.4. (Devam) Buz önleyici kimyasalların özellikleri.....	56
Tablo 5.1. Numune çeşit ve adetleri .....	68
Tablo 5.2. Kullanılan malzeme elek analizi.....	68
Tablo 5.3. W/C 0,30 için karışım miktarları .....	70
Tablo 5.4. W/C 0,40 için karışım miktarları .....	70
Tablo 5.5. W/C 0,50 için karışım miktarları .....	70
Tablo 6.1. Katkısız numunelerin deney öncesi, sonrası ağırlıkları ve malzeme kayıp oranları .....	78
Tablo 6.2. Akışkanlaştırıcı katkılı numunelerin deney öncesi, sonrası ağırlıkları ve malzeme kayıp oranları.....	79

Tablo 6.3. Hava sürükleyici ve akışkanlaştırıcı katkılı numunelerin deney öncesi, sonrası ağırlıkları ve malzeme kayıp oranları .....	79
Tablo 6.4. Numunelerin deney öncesi ultrasonik hız sonuçları .....	83
Tablo 6.5. Numunelerin deney sonrası ultrasonik hız sonuçları .....	83
Tablo 6.6. Numunelerin deney öncesi dayanım ve ağırlık sonuçları .....	85
Tablo 6.7. Numunelerin deney sonrası dayanım ve ağırlık sonuçları .....	85

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Kompasite, Donma-Çözülme, Tuz, Katkı maddesi, Boşluk oranı, Dayanım

Bu çalışmada beton yollarda ve betonarme yol sanat yapılarında donla mücadelede tuz kullanılması, deneysel yoldan incelenerek yapısındaki değişimler incelenerek çözüm aranmıştır.

Taze beton olarak farklı kompasiteli üç tür beton üretilmiştir. Bunların su/çimento oranları 0,3, 0,4 ve 0,5'tir. Aynı betonlar akışkanlaştırıcı ve hem akışkanlaştırıcı hem de hava sürükleyici katkı maddeleri kullanarak da üretilmiştir. Numuneler 28 gün boyunca kür havuzunda bekletilmiştir. Şahit numunelere işlem yapılmamış, diğer numunelere ise derin dondurucu vasıtasıyla 20 tekrar donma-çözülme tabi tutulmuştur. Donma-çözülme esnasında yüzeye  $0,142 \text{ gr/cm}^2$  NaCl ham tuz konsantrasyonu kullanılmıştır.

Deney öncesi ve sonrası numunelere ultrasonik hız deneyi yapılmış, çıkan sonuçlar incelenerek betondaki boşluk oranlarında düşmeler saptanmıştır. Daha sonra numuneler basınç dayanımına tabi tutularak somut mekanik dayanım sonuçları elde edilmiştir.

Betonun su/çimento oranının, sıkıştırılmayı etkilemesi nedeni ile dayanımda en önemli faktör olduğu kesindir. Hava sürükleyici katkı maddesinin donma-çözülme hasarlarında betona olumlu yönde büyük fayda sağlamaktadır. Hava sürükleyici katkısı bulunan numunelerde donma-çözülmedeki ilk tekrarlarında bir miktar hasar olmakta, daha sonra hasar azalmaktadır.

# **THE EFFECTS OF DE-ICING SALT TO THE WATER-CEMENT RATIO IN THE CONCRETE ROADS**

## **SUMMARY**

Key Words: Compactness, Freeze-Dissolve, Salt, Additive, Cavitation Ratio, Strength

In this work, the use of salt in struggling against the effect of freeze on concrete roads and concrete art-structures was experimentally investigated by observing the changes on the structure.

Three types of concrete with different composites were produced as fresh concrete. The water/cement ratio of these are 0,3, 0,4 and 0,5. Same concretes were also produced by using plasticizer and, both plasticizer and air entraining additives. Samples were left in the curing condition for 28 days. Part of the samples were subjected to freeze-dissolve 20 times by using deep-freeze. During freeze-dissolve 0,142 gr/cm<sup>2</sup> NaCl concentration was used on the surface.

The ultrasonic rate experiment was done on the pre-experiment and post-experiment samples and the decrease in the cavitation ratio was determined by investigating the results of these experiments. Then, the samples were subjected to compressive strength and mechanical strength results were obtained.

The water/cement ratio of the concrete is certainly the most important factor on the strength due to its effect on the jam. The air entraining additive provides in a big positive effect on the concrete against the freeze-dissolve damage. In the initial repeats of freeze-dissolve of the samples which contain air entraining additives, there occurs an amount of damage, but this damage decreases later on than.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Karayolları, üstleneceği trafiğin yoğunluğu, araç tipi dağılımı, sürüş güvenliği vb. unsurlarla, iklim koşullarına ve bölgenin gereksinimlerine uygunluğu göz önüne alınarak projelendirilip inşa edilmektedir. Karayolu tipleri genel olarak, esnek üstyapılar (Asfalt Yollar) ve rijit üstyapılar (Beton Yollar) olmak üzere iki ana gruba ayrılmıştır.

Günümüze kadar uzanan süreç içerisinde, birçok ilerlemeler kat eden beton yol tasarımları, her geçen gün yeni araştırmalar neticesinde kendini yenilemekte ve yol kaplaması uygulamalarında, öncelikli seçenek haline gelmektedir.

Karayollarında, yol yüzeyindeki buz veya karın trafik etkisiyle sıkıştırılmasıyla oluşan kaygan tabaka, sürtünme katsayısının önemli bir oranında azalmasına yol açar. Bu durum trafik kazalarına yol açar ve trafik akışını önemli derecede etkiler. Kayganlığa mani olmak ve yoldan sıkışmış karı veya buzunu eriterek uzaklaştırmak için genellikle aşındırıcı malzemeler, aşındırıcı malzeme ve kimyasal maddeler birleşimi veya yalnız kimyasal maddeler kullanılır.

Sıkışmış karı veya buzunu kaldırmak ve azaltmakta kaya tuzu ve kalsiyum klorür gibi kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Bunun yanında kırmataş, kum veya kömür cürufu kaygan yola atılarak sürtünme katsayısının artırılması sağlanmaktadır.

Kar ve buz mücadelesinde aşındırıcı malzemeler veya bunların tuzla birleşimleri yerine, yalnız kaya tuzu kullanılması daha uygun görülmektedir. Bunun nedenlerini şöyle özetleyebiliriz.

1. Tuz artık bırakmaz, dolayısıyla aşındırıcılarda olduğu gibi yolun temizlenmesi için ilave bir işçiliğe gerek yoktur.
2. Tuz, kar ve buza çabuk tesir eder.
3. Uygun kullanılırsa aşındırıcılara oranla daha ekonomiktir.

Kaya tuzu ve kalsiyum klorürün sertleşmiş betona etkisi olmadığı varsayılır, ancak bunlar buzla birlikte beton yüzeyinin zarar görmesine neden olurlar. Beton yüzeyindeki hasar, kaya tuzu ve kalsiyum klorür ile buzun sık sık kaldırılmasından sonra ortaya çıkmaktadır. Etki bu tuzların birkaç defa kullanılmasından sonra belirginleşir.

Hasarın şiddeti betonun kalitesine, tuz konsantrasyonuna, kuruma ve ıslanmanın sık sık olmasına bağlıdır. Bozulmanın diğer bir nedeni kuruma sırasında boşluklardaki tuzun kristalleşmesi ve genişmesidir.

Bu çalışmada betonlar da donma etkisinin çözdürücü tuz kullanılması halinde nasıl geliştiği, bu gelişme üzerinde betona ait özelliklerin nasıl rol oynadığı araştırılmıştır. Hasar kriteri olarak tahribatsız yolla ölçülen ultrasonik hız değerleri, donma-çözünme yirmi tekrardan sonra beton tahribatı ve basınç mukavemet değerleri incelenerek çözümlenmiştir.



## BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 2.1. Don Hareketi Mekanizması Hakkında Teoriler

Normal betonun don etkisiyle çeşitli fiziksel özelliklerindeki değişimler konularında önemli ilerlemeler yapılmıştır. Geniş kapsamlı bir araştırma Amerika'da Portland Çimentoları Topluluğu (PCA) Laboratuvarlarında Powers ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada sertleşmiş normal betonun çeşitli don mekanizmaları detaylı olarak analiz edilmiştir [1].

Boşluklu bir malzeme donduğu zaman oluşan hasar nedenleri aşağıda sıralanmıştır.

1. Makroskopik düzeyde buz oluşum,
2. Çok küçük boşlukların dışının kuruması ile mikroskopik düzeyde buz oluşumu,
3. Kapiler boşluklardaki suyun donmasıyla hidrolik basıncın oluşması ve artması.

Beton bilindiği gibi agrega ve çimento hamurundan ibarettir. Çimento hamuru ve agreganın, her ikisi de karakteristik poroziteye sahiptir.

Donma ve erime esnasında betonun tahribatını anlamak için önce çimento hamurunun yapısı bilinmelidir. Çimento çeşitli unsurların birleşimidir. Bunların en önemlisi trikalsiyum silikat ( $C_3S$ ) ve  $\beta$ -dikalsiyum silikat ( $\beta-C_2S$ ) tır. Bunların toplamı çimento ağırlığının %75' ini oluşturur. İki silikatın hidratasyonu sırasında hidratasyon ürünleri (CSH) ve  $Ca(OH)_2$  oluşur. Kalsiyum silikat hidrat, tobermorit jeli olarak da bilinir.

Bu jel, sertleşmiş çimento hamurunun ve dolayısı ile betonun en önemli parçasıdır. Tobermorit jeli taze çimento hamurunun jeolojik özelliklerini belirlediği gibi hamurun sertleşme ve katılaşmasında da etkilidir, ayrıca betonun ve sertleşmiş çimento hamurunun boyutsal stabilitesi ve mukavemetini de etkiler.

Çimento jeli çok ince kolloidal ve çok küçük kristallerden ibarettir [1, 2]. Jel boşlukları, jeller arasında mevcuttur. Çapları yaklaşık olarak 15-20 Å'dur. Toplam jel hacminin %72'sini katılar, %28'ini jel boşlukları oluşturur. Betondaki jel boşlukları, jel katılarının oluşturduğu yüzey kuvvetleri tarafından tutulan su ile doludur.

Jel parçaları arasındaki dolmamış boşlukları kapiler boşluklar olarak bilinir. Kapiler boşluklar beton döküldüğünde betonun içindeki fazla sulardan oluşur [3]. Toplam boşluk hacmi gerçek su/çimento (W/C) oranına ve çimentonun hidratlaşan miktarına bağlıdır. En az boşluklu hamur kuvvetli beton meydana getirdiğinden, gereğinden fazla su kullanılması uygun değildir. Hidratasyon olayı sırasında kapiler boşlukların hacmi azalır, fakat W/C oranı 0,35-0,38'den büyük olduğu zaman bütün boşlukların dolması için jel hacmi yeterli değildir. Genellikle W/C oranı 0,50'den büyüktür. Şu halde normal beton daima büyük bir kapiler hacme sahiptir. Çimento hamuru içindeki suyun gerçek miktarı sıcaklık ve rutubetle değişir.

Hidrate çimento hamurundaki su, buharlaşabilen ve buharlaşamayan diye ikiye ayrılır. Bu belirli buhar basıncından buhar haline gelen ve gelemeyen demektir. Buharlaşabilen su 105°C'de sabit ağırlıkta çimento hamurunun kurutulmasıyla ölçülebilir. Buharlaşamayan su miktarı hidrate olmuş hamurda %18, tamamen hidrate olmuş hamurda ise %23'tür [4, 5]. Sertleşmiş çimento hamuru gözeneklidir ve gözeneklilik rutubetle ilgili olarak değişir. Su, boşluklu sistemin dışında ve içinde hareket eder. Suyun emilmesi çimento hamurunun genişlemesine ve suyun kaybolması daralmasına neden olur.

Üçüncü boşluk türü, katkı maddeleri ile oluşturulan hava boşluklarıdır ve betonun don direnci üzerinde önemli etkisi vardır.

Katkılarla sağlanan hava boşluklarının hacimleri beton hacminin %1-10 arasında değişir. Hava boşluklarının hacimleri ve boyutları çeşitli faktörlere bağlıdır, örneğin hava boşluğu içeren reaktiflerin tip ve miktarına agreganın max. dane boyutuna ve granülometrisine, karıştırma sırasında sıcaklığa, karıştırma müddetine, sıkıştırma yöntemine v.s. Hava boşluklarının boyutu 10mm den 2mm. ye kadar değişir. Hava boşlukları genellikle hava ile doludur ve beton su altında saklansa bile hava boşlukları suyla pek dolmaz, çünkü su hava boşlukları içine çok yavaş girmektedir. Fakat, su birikmesi uzun zaman devam ederse betonun don direnci azalır; bu, hava boşluğu sürüklenen betonlar için de geçerlidir.

Doymuş bir betonda, çimento hamurunun kılcal boşlukları ve bütün jel boşlukları su ile dolmuştur. Sıcaklık düştüğünde buz kristalleri en büyük kılcal boşluklarda oluşurlar.

Normal atmosfer basıncında saf suyun donma noktası  $0^{\circ}\text{C}$ 'dir. Kapiler boşluk çeperleri ile serbest su yüzeyleri arasındaki yüzey gerilim kuvvetleri kapiler boşluklardaki suyu basınç altında tutar, su kolonu çapı ne kadar küçükse basınç daha yüksek değer alır. Bundan dolayı bu boşluklardaki suyun donma noktası düşer. Öte yandan betondaki su, genellikle donma noktasını düşürücü az miktarda alkali maddeler ihtiva eder.

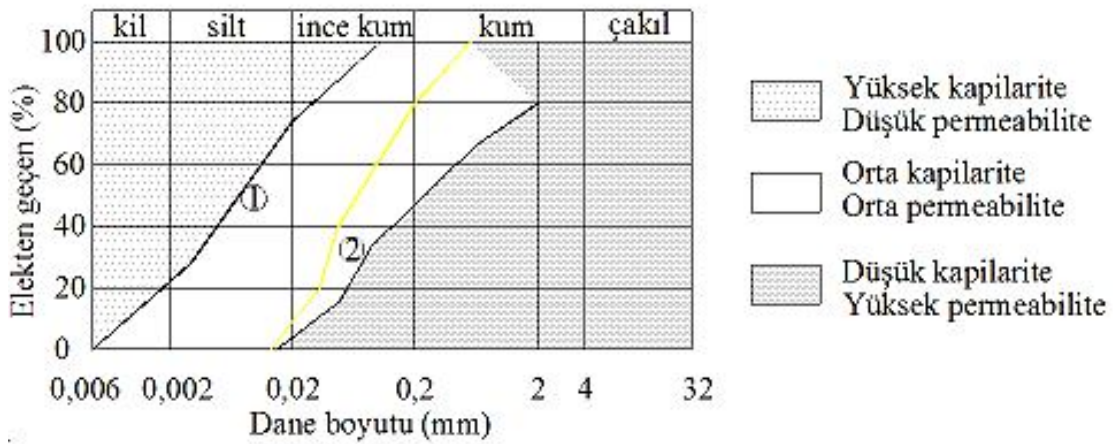
Bir varsayıma göre  $-20^{\circ}\text{C}$ 'de donma işlemi  $35\text{A}^{\circ}$  dan boşluklarda oluşur. Bunun anlamı, buharlaşabilen suyun bir kısmı bu sıcaklıkta ve hatta düşük sıcaklıklarda dahi sıvıdır. Normal donma koşullarında kapiler boşluklardaki suyun ancak %9'u donma ve genişleme eğilimindedir [1].

## **2.2. Makroskopik Düzeyde Buz Oluşumu**

Taber, zeminde oluşan makroskopik buz oluşumundan dolayı don kabarmasını şöyle açıklamıştır [6, 7]. Boşluklardaki ve çukurlardaki serbest su buza dönüştüğünde, donmamış zemin içindeki kılcal su donmuş bölgelere doğru çekilir ve buz mercekleri oluşur. Eğer kılcal hareketle yeryüzü su seviyesine sürekli su sağlanırsa

bu buz mercikleri gelişir ve don kabarmalarına yol açar. Bu merciklerin oluşumu kapiler harekete ve zemin permeabilitesine bağlıdır [8].

Casagrande'ye [10] göre buz mercikleri ve don kabarmaları; 0,02mm. den küçük zemin tanesinin miktarı %3'ten fazla olan ve partikül büyüklükleri değişen zeminlerde meydana gelebilir. Partikül büyüklükleri yaklaşık olarak %10 olabilir (Bkz. Şekil 2.1.) [9].



Şekil 2.1. Zeminlerle, muhtemel don kabarması arasındaki ilişki

Şekil 2.1'e göre, 1. eğrinin solunda kalan alandaki zeminler yüksek kapilariteye fakat düşük permeabiliteye sahiptirler, bu nedenle de don kabarmaları normal kış aylarında meydana gelmez. Yeryüzü su seviyesinden suyun taşınımı buz merciklerinin gelişimi için yetersizdir. 2. eğrinin sağında kalan alandaki zeminler yüksek permeabilite ve düşük kapilariteye sahiptirler. Böylece su donar, fakat buz mercikleri oluşmaz.

Casagrande kriterine göre; taze beton özel şartlar altında buz mercikleri oluşumuna duyarlı olacak dane boyutlu bir karışım oluşturabilir, bu durumda beton ince partiküller içeren suni bir zemin gibi düşünülebilir [10].

Collins'de [11] alt yüzeyleri su ile temas edip, üst yüzlerinden donan düşük kaliteli beton silindirlerde buz mercikleri oluştuğunu göstermiştir.

1945'de Powers [12], Taber-Collins teorisinin orta kalitede sertleşmiş betona uygulanamayacağını ispatlamıştır. Çünkü, buz mercceklerinin gelişimi, zemin kohezyonundan daha fazla olan beton içsel çekme gerilmeleri tarafından önlenir. Powers [12], bundan başka buz mercceklerinin makroskopik sistemle değil, mikroskopik bir sistemle oluştuğuna inanmaktadır; sertleşmiş hamur daha ziyade kapiler boşluklar sistemini içeren gözenekli bir jelden yapılmış gibi düşünülmelidir.

Eğer buz sadece kapiler boşluklardan oluşuyorsa, bunu suya karşı geçirimli ve jelden yapılmış gözenekli bir kap çerperinde buz oluşması olarak düşünebiliriz. Sonuç olarak buz, gerekli olan suyu bu çerperlerden de elde edecektir. Çimento jelinden elde edilen su miktarı çok sınırlıdır ve bunun bir genişleme kuvvetine sebep olacağı düşünülmez.

1956'da Kopenhag'daki RILEM sempozyumunda Powers, makroskopik buzun olgunlaşmış betonda W/C oranının 0,90'dan daha fazla olması ve özel iklim şartlarının bulunması halinde oluşacağını öne sürmüştür, halbuki herhangi bir betonda hidrasyon olayının ilk aşamalarında bile buz oluşmaktadır.

### **2.3. Mikroskopik Düzeyde Buz Oluşumu**

Sertleşmiş çimento hamurunun boşluklarında mikroskopik buz oluşumu teorisini Powers ve Helmuth [13] açıklamışlardır.

Donma, kılcal boşluklarda ve küçük hava boşluklarındaki suyun, mikroskopik buz partikülleri oluşumu niteliğine sahip olmasına bağlıdır. Mikroskopik buz partikülleri, çoğalmaları için gerekli suyu jelden çekerler.

Hava sürükleyici katkı içermeyen çimento hamurunun tipik özelliği donma sırasında genişmesidir. Halbuki hidrolik basınç teorisi de geçerli kabul edilirse, hava kabarcıkları, donma esnasında boşluklarda hidrolik basınç yüzünden meydana gelen gerilmelerin şiddetini düşürecektir. Bu yüzden ve diffüzyon işlemi nedeniyle donmakta olan betonun büzülmesi, normal sıcaklıklardaki sıcaklığın düşürülmesi halindeki büzülmeden daha büyüktür. Kapiler boşluklardaki su ve hava kabarcıkları

çeperindeki su mikroskopik buz partiküllerini oluşturur. Bu buz partikülleri, jelden suyu çeker. Bu işlem termodinamik açıdan aşağıdaki gibi açıklanır: Donmuş çimento hamurunun kapiler boşluklarındaki buz, jel boşluklarındaki donmamış su ile çevrilidir. Eğer çimento jeli doygunsa, jel suyunun serbest enerjisi normal suda ki serbest enerjiye eşit değerdedir.

Eğer kılcal boşluklar, suyun yüzey enerjilerini ihmal ettirecek mertebede geniş iseler, termodinamik denge artık kılcal boşluklarda  $0^{\circ}\text{C}$ 'daki jel suyu ile buz arasında teşekkül edilebilir. (Burada buzun ve jel suyunun atmosferik basınç altında olduğu varsayılmaktadır). Eğer sıcaklık kapiler boşluklardaki suyun donma noktasının altına düşerse (burada donma noktası  $0^{\circ}\text{C}$  kabul edilmiştir), jel suyu artık buzla termodinamik dengede kalmaz. Jel suyunun serbest enerjisi buzunkinden daha fazla olduğundan, jel suyu onu kapiler boşluklara iten ve orada donduran bir potansiyel enerji kazanır. Sonuç olarak buz partikülleri sadece kapiler boşluklarda oluşur.

Su, jelden dışarıya doğru diffüze olursa, jel büzülme eğilimi gösterir. Kılcal boşluklardaki buz partiküllerinin büyümesi buz ve çevresindeki su filmini basınç altında tutar. Buz tabakasındaki şişme basıncı hamurun genişlemesi için yeterlidir. Örneğin, jel doygun ve kılcal boşluklar  $-5^{\circ}\text{C}$ 'de buz içeriyorsa buz çevreleyen su tabakası yaklaşık  $84,4\text{kgf/cm}$  [14] basınca maruzdur. Böyle bir basınç hamurun önemli bir şekilde genişleme deformasyonuna ve sonuç olarak da betonun genişlemesine kesinlikle sebep olacaktır.

Termodinamik görüş açısından, buharlaşan su sadece kapiler boşluklara yayılmaz, hidrolik basınç nedeniyle daha önceden hava boşluklarına itilmiş buzların içine de diffüze olur.

Yeterli miktarda ve iyi bir şekilde yayılmış hava kabarcıkları içeren hamurda ise bu buz, yeterli hava hacmi nedeniyle hamurda herhangi bir genişleme olmadan artabilir.

Eğer hamur hiç hava boşluğu içermiyorsa veya kapiler kavitelemeler elemanın yüzeyinden çok uzaksa önceden hava ile dolu kılcal kavitelere diffüzyon olayı ile

girebilen jel suyu miktarı max. olacaktır. Bu durumda kapiler boşluklardaki buz jel suyuyla dengeye ulaşmak için artacaktır. Hidrolik basınç veya kapiler buzun daha sonraki büyümesi yüzünden meydana gelen gerilmeler jeli çatlatır ve böylece buz basıncı düşerse, buzun büyümesi sadece sistemdeki donabilecek su miktarı ile sınırlandırılmış olacaktır.

Eğer hamur hava boşluğu içerirse, kapiler boşluklara doğru olan diffüzyon periyodu kısadır.

Laboratuvar deneyleri donma esnasındaki jel suyunun diffüzyonu ve numunenin genişmesi kabullerinin doğruluğunu kuvvetlendirmektedir [13]. Yukarıda bahsedildiği gibi donma esnasındaki hızlı genişleme kapiler suyun donmasıyla ortaya çıkan hidrolik basınçla açıklanabilir.

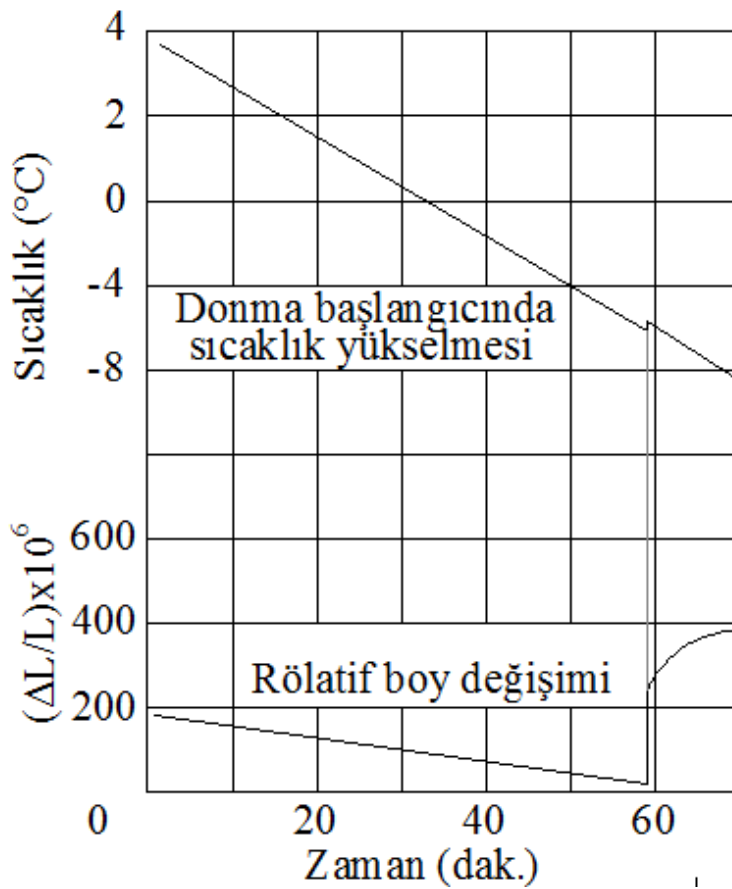
Şekil 2.2'de eğrinin yükseldiği kısım hidrolik basınç nedeniyle numunenin genişmesini temsil eder. Şekil 2.3'de jel suyunun kapiler boşluklara doğru diffüzyonu nedeniyle oluşan genişmesi noktalı çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 2.3'deki alttaki eğri hava sürüklenmiş harçlardaki ters etkiyi göstermektedir.

Eğer don çözülme işlemi sırasında çatlaklar boyunca su sağlayacak bir dış nem kaynağı varsa malzemede teorik olarak sınırsız bir şekilde kristal oluşumu yer alabilir.

Powers, mikroskopik buz oluşumunu şöyle özetlemiştir. Bu olay özellikle, fazla miktarda çimento içeren olgunlaşmış beton hamuruna uygulanabilir. (W/C oranı 0,55'in altında olacak)

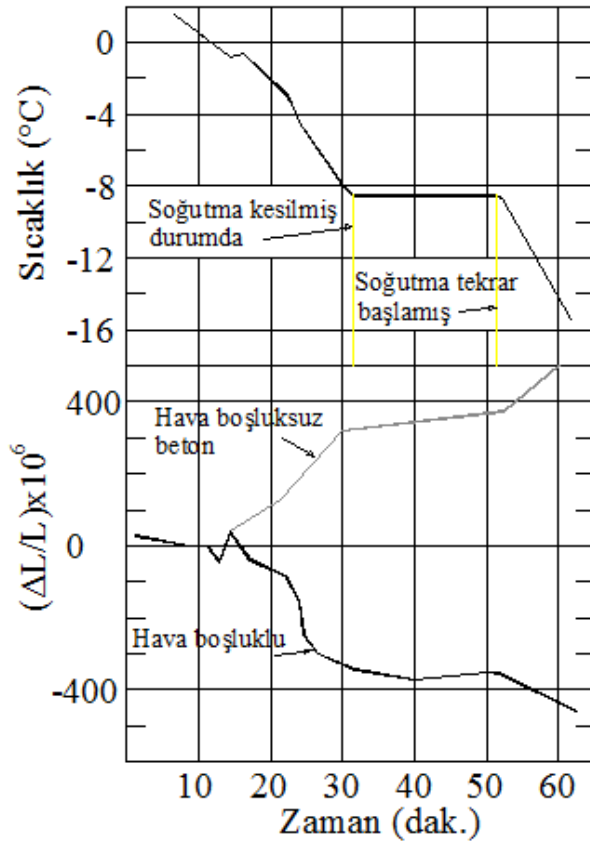
Wood [15] W/C oranı 0,40'in altında ve hava sürükleyici katkı maddesiz betonların dona mukavemetli olduğunu göstermiştir. Powers [16] suyun ilk miktarını esas alarak donabilen su miktarının hesabını farklı sıcaklıklarda verebilen bir formül vermiştir. Buradan Şu sonuç çıkarılabilir; hidrasyon olayından sonra W/C oranı 0,30 olan hamur -30 °C'de dahi donabilir su içermez.

Chapelle [17] deneylerle hamurun don mukavemeti göz önüne alındığında. W/C oranının karar verici bir faktör olduğunu göstermiştir. Chapelle W/C oranı 0,45'in altında olan betonun sadece sıcaklık değişimi nedeniyle meydana gelen mekanik gerilmelerden zarar gördüğünü açıklamıştır. Chapelle hava sürükleyici maddeyi don mukavemeti göz önüne alındığında etkili bir faktör kabul etmemektedir ve çimentonun kimyasal kompozisyonunun etkisini vurgulamaktadır. Chapple, ayrıca hava sürükleyici katkı maddesiz hamurdaki hidrate olmuş kireçin bulunması halinde bunun düşük don mukavemeti vereceğini iddia etmektedir.



Şekil 2.2. Donma başladığında ani sıcaklık yükselmesi ve numunenin kendiliğinden boyuna genişlemesini gösteren diyagram





Şekil 2.3. Power ve Helmuth'un raporlarına göre çimento hamurlarında hava boşluğu olması ve olmaması durumundaki boydaki değişme

## 2.4. Hidrolik Basınç

Doymuş çimento hamurundaki kılcal boşluklar ve jel boşlukları tamamen veya tamamına yakın suyla doludur. Sıcaklık donma noktasına düştüğünde en büyük boşluklarda buz kristalleri oluşur. Su, bu boşluklarda buza dönüşmeye başladığında, su hacmi ve buz boşluklarının orjinal hacmi artacaktır. Bu yüzden su kılcal boşluklarda buza dönüştüğünde boşluklar genişleyecek veya fazla su boşluklardan çıkmak isteyecektir. Su buza dönüştüğü zaman orjinal hacminin %9'u kadar genişleyecektir. Eğer doyma derecesi 0,917'den fazla olursa, donma esnasında herhangi bir hasar meydana gelmez. Bu varsayım, suyun hareketiyle buz meydana gelirken, maddede herhangi bir gerilme artışına sebep olmazsa ve su homojen bir şekilde dağılmışsa doğrudur. Betonla ilgili yapılan deneylerde; 0,917'den daha küçük doyma derecelerinin donma zararları meydana getirdiği gözlenmiştir [18].

Eğer beton tamamen doymuş ise (boş hava gözenekleri yok); hidrolik basınç, kılcal boşluklardaki buz oluşumu yüzünden gelişir. Bu, donma ve genişleme hasarlarına neden olur. Thomasa göre [19]; eğer donma oranları değişirse aynı doyma derecesine sahip taş parçaları farklı şekilde genişler.

Powersta [12] göre, donma anında betonun davranışını açıklamak için kritik doyma derecesi yeterli değildir. Bu, düşük geçirgenliğe ve çok büyük gözeneklere sahip sertleşmiş çimento hamurunun fiziksel özellikleri yüzündendir.

Hava boşluklarının sınır yüzlerine hamur boyunca pompalanan su, kılcallardaki buz parçalarının büyüklüğüyle orantılıdır. Böyle bir su pompalanması olayı basınç meydana getirir.

Basınca etki eden unsurlar şunlardır ;

- a) Suyun uygulandığı maddenin geçirgenlik katsayısı
- b) Kılcal boşluklardan, hava gözeneklerinin sınır yüzlerine olan mesafe
- c) Donma olduğu zaman suyun hızı

Genellikle donma işlemi sebebiyle hamurun her yerinde hidrostatik basınç meydana gelebilir, bu basınç elemanın yüzeyinden çok uzak noktalarda da artar. Eğer hamurdaki bir nokta elemanın yüzeyinden yeteri kadar uzaktaysa basınç, jelin elastisite limit ve çekme dayanımı ötesinde birim deformasyona ve sürekli hasara neden olur.

Kliper [20], hava sürüklenmemiş betonun, donma ve çözülme deneylerinde (W/C oranı 0,37 ve donma noktası  $-11^{\circ}\text{C}$ ) genleştiğini deneysel olarak ispatlanmıştır.

Eğer uygun hava sürüklenme işlemi çimento hamuru içine uygulanırsa büyük miktarda hava boşlukları elde edilir ve bu boşluklar hamur kalınlığını azaltır. Bu yolla çimento hamuru sık sık donma ve erimeye karşı dayanıklı olur.

## **2.5. Donma ve Don Çözücü Tuzların Birlikte Etkisi**

Betonun, donma ve buz çözücü tuzun birlikte etkisine karşı direncinin, yalnız dona karşı direncinden daha az olduğu gözlenmiştir.

Pratikte buz çözen tuzların kullanılmasının, betonun durabilitesi üzerinde negatif olduğu kadar pozitif etkileri de olmaktadır. Bu etkiler tuzun durumuna, kuru, nemli veya çözelti halinde olmasına, uygulama metoduna, buz ve kar üstüne veya önleyici olarak nemli ve ıslak beton üzerine uygulanmasına, bağlıdır.

### **2.5.1. Negatif etkiler**

#### **2.5.1.1. Doymunluk derecesi**

Betona tuz uygulanmasıyla doymunluk derecesi artar. Çünkü tuz ve çözeltileri higroskopik özelliklere sahiptir ve havadaki su buharını kolaylıkla yoğuştururlar. Tuzların çözeltilerinin buhar basıncı saf suyunkinden daha düşüktür. Pratikte beton yüzeyi tuzla örtüldüğünde, tuzsuz bölgeye göre yüzeyin daha nemli olduğu görülür.

Doymunluk derecesi (D),  $S_a/S_b$  oranı olarak tanımlanır.  $S_a$  atmosfer basıncı altındaki,  $S_b$  ise yüksek basınç altındaki su emme değerleridir.  $D > 0,80$  ise taşın don etkisine dayanamayacağı varsayılır. 0,80 değeri istatistik çalışmalar sonunda belirlenen bir kritik sınırdır.

Tuzlu su, boşluklara daha kolay nüfuz ettiği için betonun doymunluk derecesi artar ve kritik sınırın üstüne çıkabilir. Kritik limit aşıldığından betonda don hasarı etkisi olasıdır.

### 2.5.1.2. Önleyici olarak tuz uygulaması yüzünden süper soğutma

Aşırı soğutma; don oluşumunu önleyici tuz uygulanmasıyla ortaya çıkar. Beton yüzeyi 0°C'ye ulaşmadan donmaya engel olmak amacıyla önleyici tuz serpilir. Tuz, betondaki suyun donma noktasını aşırı bir şekilde düşürür ve dış ortam sıcaklığı çok düşükse beton yüzeyi de bu düşük sıcaklığa maruz kalabilir. Böylece süper soğutma denilen olay oluşur. Bu durumda betonun termik büzülmesi daha fazla olacaktır. Aynı zamanda suyun 0°C'nin çok altındaki sıcaklıkta aniden donmasıyla oluşan buz değişik karakterdedir ve absorbe edilmiş jel suyu donabilecek hale gelir. Aşırı büzülme ve mikro düzeyde buz oluşması betondaki tahribatı normal donmaya göre daha şiddetli kılar.

### 2.5.1.3. Tabakalı donma

Yüzeye tuz serpilmesi veya tuzlu suya daldırma durumunda yüzeyden iç kısma doğru tuz çözeltisinin konsantrasyonu değişik olacaktır. Konsantrasyon değişikliği betondaki boşluk suyunun farklı sıcaklıklarda donmasına neden olur. Böylece betonda tabaka tabaka donma meydana gelir. Tabakalı donmuş betondaki gerilmeler, donmuş ve donmamış tabakalar arasındaki dilatasyon farkına bağlı olarak artar.

### 2.5.1.4. Temparatür şoku

Beton yüzeyindeki buz ve karı eritmek için ısı gereklidir. Tuzlar vasıtasıyla erime sağlandığında gerekli olan bu ısı betondan alınır. Doğal olarak en büyük ısı kaybı da betonun üst yüzeyinde oluşur. Betonun üstünde birkaç mm. kalınlığındaki kısımda ani sıcaklık düşmesi görülür. Bu literatürde temparatür şoku denmektedir. Temparatür şokunun sonucu, çok kısa sürede çekme gerilmeleri büyük değerlere varır.

### 2.5.1.5. 0°C İzotermi nin temparatör şokuna göre yer değiştirmesi

Betondaki 0°C izotermi temparatür şoku nedeniyle yer değiştirir. 0°C izotermi betonda daha iç kısımlara doğru iner. Bunun sonucunda beton, derinliğine hasar görmüş olur.

### 2.5.1.6. Kristalizasyon basıncı

Çimento pastasındaki daha büyük boşluklardaki tuz kristallerinin büyümesi, katı fazda basınç meydana gelmesine neden olur. Ön koşul, süper doymuş bir tuz çözeltisinin var olmasıdır. Bu, ya çözeltiden suyun buharlaşması (ısıtma) veya boşluk suyunun bir kısmının donmasıyla (Soğutma) ile sağlanır. Çözelti süper doymunluğa ulaştığında geniş boşluklarda tuz kristalleri şekillenmeye başlar.

Suyun taşınımı (tuz iyonlarının taşınmasına benzer şekilde) küçük boşluklardan tuz kristallerine doğru olur. Çimento pastası ile tuz kristali arasına, çözelti nüfuz ettiğinde kristal büyüyebilecek ve çimento jeline artan bir basınç uygulayacaktır.

Buz kristallerinin benzer şekilde büyümesi, muhtemel zarara yardımcı olur ve yüzeyde tabaka halinde ayrılma hasarına neden olur.

### 2.5.2. Pozitif etkiler

Sulu tuz çözeltilerin kristalizasyon sıcaklığı düşüktür. Buz çözen tuzların ilk uygulanması betonun dayanaklılığına pozitif etki eder. Çünkü tuz, buz oluşumunu geciktirir. Biraz buz oluşsa bile, geri kalan çözeltide tuz konsantrasyonu artacak ve daha fazla buz büyümesi gecikmiş olacaktır.

Sonuç olarak, yüksek doymunluk derecesindeki bir betona tuz uygulanırsa negatif sonuçlar elde edilir. Temparatür şoku, tabaka tabaka donma ve boşluk suyunun soğutulmasından dolayı iç çekme gerilmeleri oluşur.

Diğer taraftan sulu çözeltilerin kristalizasyon sıcaklığının düşmesi işletmecilik yönünden amaçlanan çok olumlu bir etkidir. Ancak durabilite yönünden buz çözücü tuzların negatif etkileri, pozitif etkiye oranla daha ağır basmaktadır.

## **2.6. Hava Sürükleyici Katkı Maddesinin Etkisi**

Hava sürükleyici katkı maddesinin kullanılması kötü hava şartlarında ve beton yol üzerindeki buzun eritilmesinde NaCl ve CaCl<sub>2</sub> kullanılması durumlarında gerekmektedir. Çok sayıda küçük hava kabarcığı sürükleyen katkı maddesi kullanılarak yapılmış bir beton, aynı malzemedan yapılmış ama hava sürükleyici katkı maddesi kullanılmamış betondan birkaç kat daha fazla don karşı mukavemettir. Hava sürükleyici katkı maddesi kullanılmış beton; yerine iyi yerleştirilmiş iyi korunmuş ve bakımı iyi yapılmış olursa maksimum dayanıklılık elde edilebilir.

Hava sürükleyici katkı maddesi dayanıklılığı artırırken mukavemeti azaltabilir. Hava sürükleyici katkı maddesi kullanılarak oluşturulan hava kabarcıkları, taze betonun işlenebilme karakteristikleri olan kohezyon ve iç sürtünme açısını faydalı bir şekilde etkiler.

Kohezyonun artması betonun çözülme tehlikesini azaltmakta, hatta tamamen ortadan kaldırmaktadır. İç sürtünmenin azalması sayesinde ise beton, kalıbına normal betona nazaran daha kısa zamanda yerleşmekte ve bu iş için daha az enerji gerekmektedir. Bu suretle betonun işlenebilme özelliği artmaktadır.

Hava sürükleyici madde normal oranda kullanıldığı zaman mukavemette meydana gelebilecek azalma, hava sürükleyici maddenin miktarı ile yaklaşık olarak doğru orantılıdır.

## BÖLÜM 3. BETON YOLLARIN GÜNÜMÜZE KADAR GELİŞİMİ

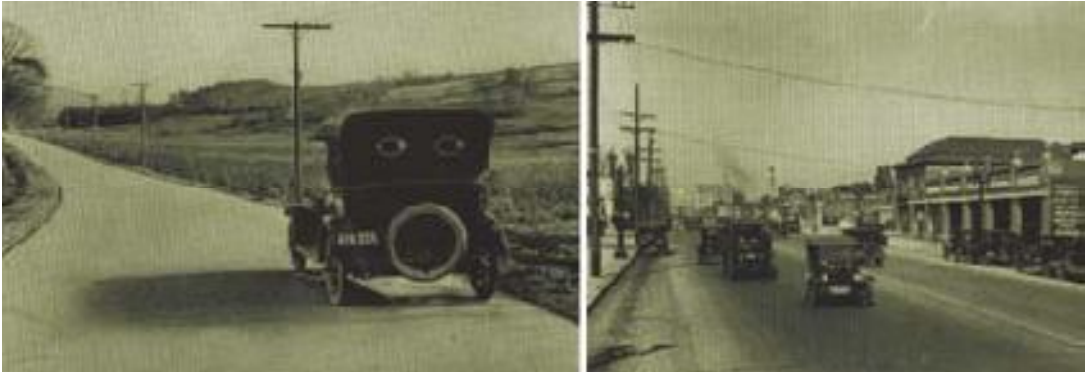
### 3.1. Beton Yolların Tarihçesi

İlk olarak Romalılar M.Ö. I. yüzyılda yollarda taşları birbirine bağlamak için puzzolanik bağlayıcılar kullanmışlardır. Çok eskiye dayanan bu örnekten sonra beton yollar konusunda gelişmeler 19. yüzyılın sonlarına dayanmaktadır. İlk beton yollar ABD’de yapılmıştır. 1891 yılında Ohio’da bir sokak bilinen en eski beton yoldur. (Bkz. Şekil 3.1.)



Şekil 3.1. Ohio’da bir beton yol şantiyesinin görüntüsü ve hala kullanılan beton yoldan alınan karot numunesi [22]

Çok fazla hesaba dayanmayan bu yollardan sonra 1920’li yıllarda tasarım ilkelerine sahip yollar yapılmıştır. Daha sonra alt zemin problemleri baş göstermiş ve alt zeminleri olan beton yollar inşa edilmiştir (Bkz. Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Amerika da beton yol uygulaması yapılan yerlerin görüntüsü [22]

Gerçek anlamda endüstriyel döneme 1933 yılından itibaren girilmiştir. Almanya'da işsizlikle mücadele etmek için ve askeri birimlerin hızlı ve güvenli bir şekilde yer değiştirmelerini sağlamak amacıyla ilk beton otoyol şantiyeleri kurulmuştur. Daha sonra Belçika ve Fransa, beton otoyol yapmaya başlamışlardır (Bkz. Şekil 3.3.).

Deforme olmayan kalıplar ve beton santralleri sayesinde kalite garanti altına alınmaya başlamıştır ve bu sayede beton yol yapımı hız kazanmıştır. Sırf 1960'lar ve 1970'lerde ABD'de 70.000km'lik bir beton yol ağı bitirilmiştir. Önce ABD'de başlayan bu gelişmeler, Almanya, Belçika ve Japonya'da da gerçekleşmiştir.



Şekil 3.3. Almanya da kurulan ilk beton yol şantiyesi ve Fransa da bir beton yol uygulaması [22]

Beton yol teknolojisinde yaşanan hazır beton, kayar kalıp, geçirimli beton, lifli beton, ön gerilmeli beton, sürekli betonarme gibi yenilikler ve hızlı gelişmelerle beton



kaplama, günümüzün modern yolları için asfalt kaplamalara karşı vazgeçilmez bir seçenek haline gelmiştir [21].

Tablo 3.1. Beton yolların tarihçesi [22]

BETON YOLLARIN TARİHÇESİ	
M.Ö. I. y.y.	Romalılar'ın çimento benzeri puzolanik bağlayıcılar kullanarak yaptıkları yollar
1865	İskoçya'da ilk beton yol denemeleri
1880	Avustralya'da ilk beton yolların yapılmaya başlaması
1891	Ohio'da Amerika'nın, bugün de kullanılmakta olan ilk beton yolunun yapılması
1913	Arkansas'ta Amerika'nın ilk beton otoyolunun yapılması
1914	Amerika'da 3.500 km beton yol yapımının tamamlanması; yol yapımında "Silindirle Sıkıştırılan Beton" (Roller Compacting Concrete) kullanılmasına başlanması
1924	Fransa'da beton yol yapımı programının başlatılması
1930	Almanya'da 4.000 km uzunluğunda beton otoyol yapımına başlanması, İsviçre, Belçika başta olmak üzere, diğer Avrupa ülkelerinde de beton yol yapımının başlaması
1950	Kayar kalıp kullanımıyla beton yol yapımında hız ve kalitenin artması
1960 – 70	ABD ve Kanada'da beton yol yapımının yoğunlaşması; ABD'de 70.000 km beton yol yapılması.
1990	Beton teknolojisindeki ilerlemelerle beton yol yapımında yeni gelişmelerin kaydedilmesi : Betonda lif kullanımı, öngerme teknolojisi, akıcı-kuru kıvamlı beton üretimi vb.

## 3.2. Beton Yol Çeşitleri

### 3.2.1. Beton kaplamalı üstyapılar

Beton kaplamalar; çok yüksek trafik hacmine ve ağır taşıt trafiğine sahip karayollarında taşıtlar için gerekli sürüş konforu ve sürüş emniyetini temin etmek amacıyla yapılan yüksek standartlı rijit üstyapılardır. Beton kaplamalar, yeterli mukavemete sahip zeminler üzerine belirli bir kalınlıkta serilen granüler alttemel tabakası ile kısmen donatılı, sürekli donatılı veya donatısız beton plaklardan meydana gelirler.

Beton kaplamanın denenmiş en önemli üstünlüğü, hizmet ömrünün uzun olması ve üstün dayanıklılığıdır. Şimdiye kadar uygulanan projelerde, aynı iklim koşullarında asfalt ve beton yolların performansı karşılaştırılmıştır. Örneğin ABD'de eyalet karayolu performansları yıllar içerisinde izlenerek kaydedilmiştir. Ağır kış koşullarına ve yaz sıcaklıklarına maruz kalan ve ağır araçları taşıyan bu yolların performansları incelendiğinde, Tablo 3.2'de görülen sonuçlar elde edilmiştir [23].

Tablo 3.2. ABD'nin çeşitli eyaletlerindeki 2006 yılı için yol kaplamalarının servis ömrü açısından karşılaştırılması

Kuruluş Eyalet	Beton	Asfalt	Beton/Asfalt oranı
Coloroda	20 - 25	12 - 14	1,7 – 1,8
Minnesota	35	20	1,8
Kentucky	20	12	1,7
New York	20-25	10-13	2,0-1,9
Wisconsin	27	6-12	4,5-2,3
FHWA(1990)	13-30	6-20	2,2-1,5
FHWA(1976)	25	15	1,7

Görüldüğü gibi, beton yolların servis ömürleri (tamire ihtiyaç gösterme süresi) eyaletler bazında 20-25 yıl civarında olurken, asfalt yollarda 6-14 yıl olmaktadır. Servis ömürleri oranı hesaplanarak, beton kaplama ömrünün asfalt kaplama ömrüne oranının 1,7 ila 4,5 arasında değiştiği, ağırlıklı olarak da bu oranın 1,7 – 2,0 civarında olduğu görülmektedir.

Başka bir araştırmaya göre de beton yolun beklenen ömrü 34 yıldır, asfalt yolun ise tam yarısı, 17 yıldır.

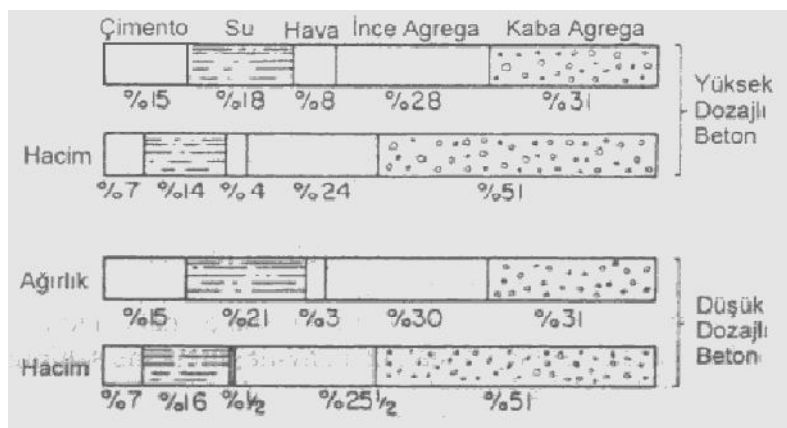
Bu araştırma aynı zamanda asfaltın küçük bakımlarının her 3-5 yılda bir, rehabilitasyonunun da 17'nci yılda olduğunu, öte yandan betonun ilk küçük bakımının 12'nci yıldan, yüzeyinin yeniden düzeltilmesinin ise 18'inci yıldan sonra yapıldığını ortaya koymaktadır.

Beton kaplamalarda aşınma miktarı normal dayanımlı betonlarda (20MPa) kuru halde asfaltın %60'ı, ıslak halde ise %33'ü kadar olmaktadır. Beton sınıfı yükseldikçe aşınma dayanımı artmakta, yüksek dayanımlı beton kullanılması durumunda aşınma miktarı doğal granitelerle eşit olmaktadır.

ABD'deki Washington Otoyolu üzerinde yapılan performans değerlendirmelerinde, kaplamanın ömrü süresince verdiği hizmetin kalitesi karşılaştırılarak puanlanmıştır. Buna göre, asfalt yol performansının %20'sini yaklaşık 7 yılda kaybederken, beton yolda bu süre 13 yıldır. Diğer bir ilgi çekici sonuç ise, asfalt tamir kaplamasının bozulma hızının yeni yapılan asfaltın da çok üzerinde olduğu, tamir kaplamasının ömrünün 7 yılda %70'e indiği ve 20 yılda tamamen ortadan kalktığıdır.

### 3.2.1.1. Beton kaplamalı üstyapılarda kullanılan malzemeler

Beton, genel olarak hava, agrega ve çimento ve sudan ibarettir. Çimento hamuru, su ve çimentonun belli bir oranda karıştırılması ile elde edilir. Su ve çimento kimyasal reaksiyon yaparak sertleşmekte ve agrega tanelerini birbirine bağlayarak karışımı yapay bir taş haline getirmektedir. Taze betonu oluşturan elemanların miktarları, Şekil 3.4.'de verilmiştir [24].



Şekil 3.4. Beton elemanlarının hacimce ve ağırlıkça dağılımı

Betonun kalitesi, daha çok çimento hamurunun kalitesine bağlıdır. Kaliteli bir betonda agrega taneleri tamamen çimento hamuru ile sarılmış ve agrega taneleri

arasındaki boşlukların büyük bir bölümü çimento hamuru ile doldurulmuştur. Şekil 3.7'den görüldüğü gibi beton karışımının hacmen %21 ila %23'ü ve ağırlıkça %33 ila %36'sı çimento hamurundan oluşmaktadır. Çimento hamurunu oluşturan suyun bir kısmı kür şartlarına bağlı olarak buharlaşırken, belli bir kısmı da çimento ile kimyasal reaksiyona girmekte ve reaksiyon sonunda da ne çimentonun ne de suyun özelliğini taşıyan yepyeni bir madde olarak ortaya çıkmaktadır [23].

### **Beton agregaları**

Betonun hacimce yaklaşık %75'i ve ağırlıkça yaklaşık %60'ı agregalardan oluşmaktadır. Ayrıca betonun işlenebilirlik, durabilite ve mukavemet özelliklerine önemli ölçüde etki etmesinden dolayı agrega, beton karışımlarında önemli bir malzemedir.

Beton agregaları doğal, kırmataş veya kırma çakıl olmak üzere çok farklı şekillerde elde edilebilirler. Doğal agregalar dere yataklarından elde edilir. Kırmataş, taş ocaklarından çıkarılan taş parçalarının veya kırma çakıl, dere yataklarından çıkarılan 25mm'den büyük çakılların konkasörlerde kırılmasıyla elde edilir.

### **3.2.2. Beton kaplamalı üstyapı tipleri**

Dünyada uygulanmış ve uygulanması için araştırılmış bir çok rijit üstyapı tipi bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılan ve ülkemizin fiziksel, teknolojik ve ekonomik koşullarına en uygun olacağı düşünülen ve yurdumuzdaki çeşitli yayınlarda üzerinde tartışılmakta olan rijit üstyapı tiplerinin bazıları avantaj ve dezavantajlarıyla aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.

#### **3.2.2.1. Kalın plak kaplamalar**

Kaplama ve temel tabakalarını, mevcut makine donanımı ile bir tek geçişte dökerek işlem sayısı azaltılmaktadır.

Kalın plak uygulamalarında kaplamanın harekete karşı olan eylemsizliği artar. Derzlerde dingil yüklerinin aktarımı iyileşir. Betonun rötresi azalır. Isı değişikliklerine karşı duyarlılık düşer. Bileşimde tane boyutu daha büyük olan agregalar kullanılarak, ince agregalar ve çimento oranları azaltılabilir. Bu olanak; eğimi yüksek yol kesimlerinde ve deşer uygulamalarında kolaylık sağlar.

Beton üretimi, ulaştırılması, dökümü, serilmesi, sıkıştırılması tek işlemlerle yapılabildiği için yatırım maliyetlerinde önemli ölçüde düşüşe neden olur.

Kaplama plağının eylemsizliği yüksek olduğundan, iyice azaltılmış olan plak köşeler ve kenarlarındaki çökmeler, ince tanelerin ayrılmasıyla derzlerin açılmasına ve pompaj olayının başlamasına ortam oluştururlar. Kalın plak uygulamaları elverişli görünmesinin yanında, dingil yüklerinin tekrarından ve iklim değişikliklerinden kaynaklanan zorlamalar altında davranışlarının iyice tanımlanması için plakların deneylere tabi tutulması gerekir.

Zeminin geoteknik özellikleri ve günlük ortalama trafik değerleri, yapının belirlenmesinde önemli faktörleri oluştururlar. Zemindeki suyun neden olduğu erozyon, kaplamanın kalınlığının belirlenmesinde ve drenaj sisteminin projelendirilmesinde önemli rol oynar. Özellikle kaplama bünyesine girme potansiyeli yüksek olan yağış sularının, bu ortamı çabuk terk edebilmeleri için sisteme özgü drenaj önlemleri tasarlanmalıdır. Alttemel-kaplama arayüzünde su akımının hızlandırılması için, arayüzdeki enine eğim değerleri yükseltilmeli, plak kenarına serilecek banket betonu, geçirimsiz beton türünden seçilmelidir.

### **3.2.2.2. Lifli beton plak kaplamalar**

Çimento, agregalar ve liflerden oluşan betona lifli beton denir. Lifler genellikle süresiz ve beton içine homojen dağılmış olarak yer alır. Betonu takviye etmek için uygun olan lifler, çelik, cam, seramik ve polimer kökenli olur. Liflerin çeşitli boyutları ve biçimleri bulunmaktadır. Lifi tanımlayan en uygun parametrenin “boy/çap oranı” olduğu kabul edilmektedir. Bu parametre lif uzunluğunun eşdeğer lif çapına

bölünmesiyle bulunur. Eşdeğer lif çapı, alanı lifin enkesit alanına eşit olan dairenin çapı olarak alınır. Beton takviyesinde kullanılmakta olan bazı liflerin önemli özellikleri Tablo 3.3'te verilmiştir [24].

Yol betonlarında en çok kullanılan lifler arasında yer alan çelik lifler, betonun eğilme direncini, çarpmaya dayanıklılığını, tokluğunu, yorulma direncini ve çatlamaya karşı direncini hissedilir düzeyde iyileştirmektedir. Teorik olarak betonda kullanılacak lif miktarı %4–5'i kadar olsa da bu oran inşaat alanlarında liflerin topaklaşma risklerinden dolayı en fazla %2 olarak uygulanır.

Tablo .3.3. Beton liflerin özellikleri

Lif Türü	Yoğunluk (kg/cm <sup>3</sup> )	Elastiklik Modülü (kN/mm <sup>2</sup> )	Çekme Direnci (kN/mm <sup>2</sup> )	Kaplama-Uzama (oranı %)
Çelik	7,8	200	1-3	3-4
Cam	2,6	80	2-4	2-3,5
Kenevir	1,5	-	0,8	3
Polipropilen	0,9	5	0,5	20

Betonun içine 4cm uzunluğunda ve 0,4mm çapında çelik tel parçaları konması durumunda, malzemenin çekme gerilmelerine karşı direnci artmakta, ayrıca betonun gevrekliği azalmaktadır.

### 3.2.2.3. Ön gerilmeli beton kaplamalar

Yeterli bir ön gerilme işlemi uygulamak suretiyle, gerilmeler yönüyle homojen duruma getirilen beton plak da, ısı değişikliklerinden ve mekanik zorlamalardan kaynaklanabilecek çekme gerilmeleri oluşmamakta, bu sayede plak kalınlıklarının, taşıma gücü yüksek tabakalar üzerinde 12–15cm'ye kadar düşürülebilmesi mümkün olmaktadır.

Ön gerilmeli plak, dingil yüklerinin uygulanmasından önce plak da yatay yönde basınç gerilmelerinin oluşmasını sağlayan tek döşeme türüdür. Yapılan araştırmalar

ve deneyimler, ön gerilmeli plağın, en az iki konuda olumlu etkisinin bulunduğunu göstermiştir. Yol malzemeleri daha etkin ve ekonomik bir biçimde kullanılabilir. Daha az bakım ve onarım talebi, ayrıca daha uzun hizmet ömrü gibi olumlu sonuçları doğuracak olan, daha az sayıdaki derze gereksinim duyulmakta, ayrıca çatlak oluşum ve gelişme olasılıkları azalmaktadır.

Klasik beton plak da, tekerlek yüklerinden kaynaklanan gerilmelerin malzemenin elastik bölgesinde kalması gerektiğinden, kaplama kalınlığı, eğilme gerilmelerine veya betonun kopma – kırılma modülüne göre hesaplanmaktadır. Bu tasarım yaklaşımında plağın en üst ve en dibindeki liflerde çok farklı gerilme tür ve değerleri ortaya çıktığından malzeme, uygulanan yüklere göre tam ölçü ve biçimde kullanılamamaktadır. Bu olgu, malzemedan optimum düzeyde faydalanılmadığını göstermektedir. Ön gerilmeli plak ile betonun efektif eğilme gerilmesi, basınç gerilmelerinin dahil edilmesiyle yoluyla artırılır. Bu özellik sonuç olarak plağın kalınlığının azaltılmasını sağlamaktadır.

Ön gerilmeli plağın tasarım aşamasında taban zemininin taşıma durumu, plak uzunluğu, ön veya ard germe işleminde uygulanacak kuvvet değerleri, ön gerilmeli donatı ve ankraj aralıkları gibi özellikler dikkate alınmalıdır.

#### **3.2.2.4. Silindirle sıkıştırılan beton (SSB) kaplamalar**

Silindirle sıkıştırılabilen beton (SSB) kaplamalar, geleneksel beton kaplamalara göre yeni bir beton kaplama türü olup, karıştırılması, serilmesi ve sıkıştırılması, beton asfalt kaplamalarda kullanılan benzer teknikler kullanılarak yapılmaktadır. Geleneksel beton kaplamalara göre daha düşük su/çimento oranına sahip olan SSB kaplamalar, bitümlü kaplama yapımında kullanılan araçlarla taşınabilmekte, serilebilmekte ve sıkıştırılabilmektedir. SSB kaplamalar genellikle çift tamburlu titreşimli silindir ile sıkıştırılmaktadır. SSB ismini, kaplamanın yapım yönteminden almaktadır. Bu yapım tekniği kullanılarak, büyük miktarda beton, donatısız olarak yerleştirilmektedir. SSB kaplamaların maliyeti, geleneksel beton kaplamalardan %10 ile %30 arasında daha düşüktür.

SSB kaplamalar; genellikle düşük hızlı ağır taşıt trafiğine sahip olan yol kesimleri ile havaalanı pisti ve taksi yolları gibi mukavemet, dayanıklılık ve ekonominin çok önemli olduğu yerlerde kullanılmaktadır.

İlk geleneksel beton kaplama, 1865 yılında İskoçya'da inşa edilmiştir. Aradan yaklaşık 50 yıl geçtikten sonra, 1910'lu yıllarda bir çok ülkede silindirle sıkıştırılan beton kaplamalar yapılmıştır. 1930'lu yıllarda inşaat mühendisliğinin bir çok alanında, sıkıştırmalar titreşim uygulanarak yapılmasına karşın, titreşimli sıkıştırma kadar iyi kalite sağlayabilecek silindir bulunmadığı için, sıkıştırmada silindir kullanılmamıştır. Silindir, yalnızca çimento içeren temel tabakalarının yapımında kullanılmıştır. 1970'li yıllardaki petrol krizi nedeniyle bitümlü bağlayıcı fiyatlarının yükselmesi, SSB kaplamalarının gündeme gelmesini sağlamıştır.

SSB kaplamaların bilinen ilk modern örneği 1970 yılında, İspanya'da, düşük hacimli trafiğe sahip olan bir yolda uygulanmıştır. Ağır taşıt trafiğini taşıyan diğer bir SSB kaplama uygulaması da 1976 yılında Kanada'da yapılmıştır. 1980 yılından sonra, Fransa, Almanya, Norveç, İsveç, Finlandiya, Danimarka, Avusturya, Arjantin ve Japonya gibi ülkelerin her birinde 100.000m<sup>2</sup> den fazla SSB inşa edilirken, Şili, Uruguay, Meksika, Kolombiya, Ekvator ve Güney Afrika gibi ülkelerde çok az veya deneme yolu olarak kullanılmıştır. Uygulanan SSB miktarı 1990 yılının sonunda toplam 12.000.000 m<sup>2</sup>'yi aşmış olup SSB uygulamasının yarısı İspanya'da yapılmıştır. Otoyollarda kullanılan 1.500.000m<sup>2</sup> SSB üzerine, yüzey düzgünlüğünü sağlamak için beton asfalt aşınma tabakası yerleştirilmiştir. Geriye kalan 10.500.000m<sup>2</sup> SSB kaplama, ikinci sınıf yol, sanayi ve askeri alanlar gibi düşük hızlı trafiğin olduğu yerlerde kullanılmıştır.

Bu kadar geniş alanda kullanılması, özel bir ekipmana ihtiyaç duyulmamasından ve beton asfalt kaplamaların yapıldığı makinelerle inşa edilebilmesinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte; yapım kolaylığı, çalışan eleman sayısını azaltması ve yüksek üretim hızı ve bunlara bağlı olarak maliyetinin düşmesi de büyük oranda kullanılmasının nedenleri olarak sıralanabilir. Ayrıca, SSB kaplamalar, geleneksel beton kaplamalara göre daha kısa bir sürede trafiğe açılabilmektedir.



SSB' de geleneksel betonlarda kullanılan kaba ve ince agregalar, çimento, uçucu kül, katkı maddeleri ve su kullanılmaktadır. Karışımlarda su/çimento oranı, 0,20 ile 0,40 arasında olmaktadır.

Diğer beton türlerinde olduğu gibi, SSB' nin ekonomikliğini ve kalitesini belirlemedeki en önemli faktörlerden biri, uygun agregaya kaynağının seçilmesidir. SSB kaplama karışımlarının hacminin %70-80'ini agregalar oluşturmaktadır. Kaba agregaya; kırılmış veya kırılmamış çakıl, yeniden kullanılan beton, kırmataş veya karışımından oluşmaktadır. Kırmataş veya kırılmış çakıldan yapılmış SSB'lerin sıkıştırılması, yuvarlak çakıldan yapılmış SSB'lerden daha zor olmasına karşılık, taşıma ve yerleştirme sırasında daha az ayrışma ortaya çıkmaktadır. İnce agregalar, doğal kum, kırılarak üretilen kum veya her ikisinin karışımından meydana gelmektedir. Yüksek oranda plastik olmayan silt parçacıkları içeren kumlar, mineral filler olarak görev yaptığı gibi ihtiyaç duyulan çimento gereksinimini de azaltmaktadır. Bunun aksine, yüksek oranda kil içeren ince agregalarla yapılmış olan karışımlarda kullanılan su miktarı artmakta, büzülme ve çatlama oluşmakta, dolayısıyla mukavemet azalmaktadır. Bu yüzden karışımda kullanılacak kumların su emme kabiliyeti ve özgül ağırlıklarının belirlenmesi gerekmektedir.

SSB ve geleneksel betonda kullanılan agregalar arasındaki en önemli farklılıklardan biri agregaya gradasyonudur. SSB'de maksimum tane boyutunun 25 mm veya daha az olduğu görülmektedir. Ayrışmalardan sakınmak, karıştırma işlemini kolaylaştırmak ve yüzey düzgünlüğünü sağlamak amacıyla, tane boyutu yüksek seçilmemektedir.

Tablo 3.4. Agregaya ve bağlayıcı karışımının gradasyon sınırları

Elek Boyutu (mm)	Elekten Geçen (%)	
25 mm	100	100
20 mm	100	85 - 100
16 mm	88 - 100	75 - 100
10 mm	70 - 87	60 - 83
5 mm	50 - 70	42 - 63
2 mm	35 - 50	30 - 47
400 µm	18 - 30	16 - 27
80 µm	10 - 20	9 - 19

Bazı ülkelerde, ince ve kaba agrega bileşimlerinin gradasyon sınırları belirlenmiştir. Fransa ve İspanya'da kabul edilen gradasyon eğrileri, bağlayıcıları da (çimento + uçucu kül) kapsamaktadır. İspanya'da kullanılan iki farklı maksimum tane boyutu için agrega gradasyon sınırları Tablo 3.4'te görülmektedir [24].

Yeni sıkıştırılan malzemede yeterli stabiliteyi sağlamak için büyük miktarda kırılmış malzeme kullanılmaktadır. Agregalar en azından iki grubun karışımından oluşmalıdır, örneğin 0/5mm ve 5/20mm. Eğer kaplamanın düzgünlüğü fazla önemli değilse, kaba ve ince agregalar önceden harmanlanıp tek bir grup olarak depolanabilmektedir.

Takviye tabakası çalışmalarında, agrega seçimindeki en önemli faktör, karışımın sıkıştırıldığı anda yüksek iç dayanıma ulaşabilme yeteneğidir. SSB, fazla gecikme oluşmadan trafiğe açılabilir. Stabilite, anlık taşıma gücü testi ile ölçülmektedir. Test, CBR testinde kullanılan aynı ekipmanlarla, yeni sıkıştırılmış numuneler üzerinde uygulanmaktadır. Anlık taşıma gücü indeksi 65'in üzerinde çıktığında, SSB'nin yeterli kapasiteye sahip olacağı ileri sürülmüştür. Kırılmış kaba agrega kullanıldığında, bu sınır belirgin bir şekilde aşılmaktadır.

Çimento oranı, kuru karışım toplam ağırlığının %10 ile %17'si arasında olup  $m^3$  de  $300 \pm 30$  kg kullanılmaktadır. Bağlayıcı (çimento + uçucu kül) malzemelerin %25 ile %40'ını C veya F sınıfı uçucu küller meydana getirmektedir.

Hava sürükleyici katkı maddeleri, SSB kaplama karışımlarında sınırlı olarak kullanılmaktadır. Laboratuvar araştırmaları homojen bir şekilde hava dağılımı sağlandığında, don nedeniyle meydana gelecek zararların azaltılabileceğini göstermiştir. Kıvamlilik testlerini içeren karışım oranlarını belirleme yöntemleriyle; su oranı, bağlayıcı malzeme oranı veya agrega oranı gibi karışım parametreleri belirlenmektedir.

Daha sonra da serme ve sıkıştırma için gerekli olan kıvamı elde edebilmek için parametrelerden biri değiştirilmektedir. Geleneksel beton ve SSB'nin karışım bileşim

oranlarını saptama işlemleri aynıdır. Karışım bileşim oranlarını saptama işlemlerindeki küçük farklar, taze SSB'nin kıvamının yüksek olmasından, geleneksel gradasyon dışında gradasyon kullanılmasından ve sıkıştırma işlemlerinden kaynaklanmaktadır.

SSB'nin, geleneksel betondan farklı özellikleri şunlardır:

- 1.SSB, hava kabarcıklı beton değildir,
- 2.SSB, düşük su oranına sahiptir,
- 3.SSB, düşük çimento, uçucu kül ve su oranına sahiptir,
- 4.SSB' de ince agrega oranı yüksektir.

Çimento ile karıştırılmış granüler malzeme için kullanılan su oranı, kuru karışımın ağırlıkça %4,5 ile %6'sı arasındadır. Su oranını belirlemek için iki yaklaşım kullanılabilir. Geliştirilmiş Proktor testi veya Kango titreşimli çekiç ile değişik su oranlarına sahip numuneler sıkıştırılarak hazırlanmaktadır. SSB'nin yoğunluğu ve su oranı arasındaki ilişki saptanır. Optimum su oranı, su - yoğunluk eğrisinde, maksimum yoğunluğu veren su oranıdır. Kıvam testlerinden biri olan geliştirilmiş vibrasyon testiyle optimum işlenebilirlik bulunmaktadır. Geliştirilmiş vibrasyon testinde taze malzeme üzerine yük konularak titreşim uygulanmaktadır. Bilindiği gibi vibrasyon metodunda kıvam ölçüsü, betonun tam olarak oturması için saniye olarak geçen titreşim süresidir. Laboratuvar çalışmaları, 22.7kg yük altında, geliştirilmiş vibrasyon sürelerinin 30–40 saniye olduğunu, bunda SSB kaplama karışımlarına uygun olduğunu göstermiştir. Geleneksel vibrasyon testinde malzeme üstüne yük konulmamaktadır, SSB karışımlarında su oranı düşük olduğu için üzerine yük yerleştirilmektedir. Kıvam testlerinde kullanılan cihazlardan bazıları, numune yapımında veya su oranı-yoğunluk eğrisini elde etmek için de kullanılmaktadır. Proktor testi gibi sıkıştırma testlerinde, sıkıştırma darbe ile yapıldığından malzemeler zarar görebildiği halde, kıvam testleri kullanıldığında malzemeler zarar görmemektedir. Geleneksel beton ve SSB kaplamalar için hazırlanmış karışım tasarımı örneği Tablo 3.5'te verilmiştir [24].

SSB karışımlarının işlenebilirlik süresini belirlemek için bazı test yöntemleri ileri sürülmüştür. Bu yöntemlerde genellikle ultrasonik cihazlar kullanılmaktadır.

Priz işlemi süresince bir numune içinden geçen ultrasonik atış yayılım süresindeki değişim, sürekli olarak gözlenmektedir. Yayılım süresi, %60 azaldığında, işlenebilirliğin bittiği anlaşılmaktadır. Bu işlemler genellikle Fransa'da uygulanmaktadır. İspanya'da geliştirilen diğer bir yöntem, atışların ultrasonik enerjisini ölçmekte olup daha kesin sonuçlar vermektedir. İşlenebilirlik sıcaklık koşullarına bağlı olduğu için, testler sıcaklık kabini içinde yapılmalıdır.

Sertleşmiş beton üzerinde, mekaniksel dayanımların belirlenmesinin yanı sıra, kışları sert geçen ülkelerde, dona ve aşınmaya karşı direnç testleri de uygulanmaktadır.

Tablo 3.5. Geleneksel beton ve SSB kaplamalar için hazırlanmış karışım örneği

Beton Cinsi	Maks. Tane Boyutu (mm)	Su/çim. Oranı (%)	Kullanılan Malzeme kg/m <sup>3</sup>				Ağırlıkça çim. oranı (%)	Ağırlıkça çim. Oranı (%)
			su	çimento	kaba agr.	ince agr.		
SSB	20	0.406	104	256	1.241	936	10.6	5.4
Geleneksel beton	40	0.425	138	325	1.341	599	14.5	7.8

### 3.2.2.5. Kendinden yerleşebilen betonlar

Katkı maddesiyle akışkan hale getirilmiş yüksek mukavemete sahip betonlardır. Bu betonların avantajları arasında; çok yüksek mukavemet, durabilite, şekil verilebilme kolaylığı, iş gücü azalması vb. sayılabilirken dezavantajları arasında küre karşı hassasiyet, rötre çatlaklarının çabuk oluşumu ve ilk yatırım maliyetinin yüksek olması sayılabilir. Bu betonların rijit üst yapılarda kullanılması henüz araştırılmamış bir konudur.

### 3.2.2.6. Sürekli betonarme yol kaplamaları

Çimento betonunun sakıncalı özelliklerinden biri, büzülme, nem ve sıcaklık değişimleri ile çatlama eğilimidir. Geniş yüzeyli beton kütlelerinde kaçınılmaz olarak gelişen bu karakteristik, yol üstyapısında çatlakların belirmesine ve hızla genişleyip derinleşmesine yol açar. Klasik beton yol teknolojisinde, beton plaklar, tasarım aşamasında planlanan aralıklarla yapılacak enine ve boyuna derzlerle parçalara bölünmektedir. Bu çözüm geniş çatlakların ortaya çıkmasının bir dereceye kadar önlenmesini ve en önemlisi, plak süreksizliklerinin belirli yerlerde oluşmasını sağlar. Dingil yüklerinden kaynaklanan tekrarlı zorlamalar ayrıca iklim koşullarının sürekli değişimi derzlerin açılmasına, diğer taraftan geçirimsiz malzemelerle doldurulmuş olmasına rağmen, derz aralıklarından giren suların taban zeminine doğru sızmasına neden olur. İnce kum, şilt, kil gibi ufak taneli taban zeminleri sızan su ile doymuş duruma erişince, sık tekrarlanan ağır tekerlek yükleri etkisi ile su - zemin karışımı çatlak ve derzlerden hızla yukarı çıkar. Pompaj olayı adı verilen bu etki plak altındaki taban malzemesinin kaybı, kaplamanın kenar ve köşelerde desteksiz kalması ve direncinin kaybolması sonucunu doğurur. Derzlerle ayrılmış plaklarda kot farkları meydana gelir. Bakımsız kalmış ve dolayısıyla geçirimsizliğini kaybetmiş derzlerde belirlenen diğer bir sakıncalı durum da, donatıların paslanarak belli bir dönem sonunda dirençlerini kaybetmeleridir. Diğer taraftan plak yüzeyinde kaçınılmaz bir süreksizlik yaratan derzlerin seyir konforunu azalttığı, yapılan gözlem ve deneylerden, taşıt lastiklerinde hızlı aşınmaya yol açtığı belirginlik kazanmıştır [24].

Anılan bu sakıncaların giderilmesi amacıyla geliştirilen sürekli (derzsiz) betonarme yol tekniğinde çatlakların meydana gelmesini önlemek veya bunların belirli ve arzu edilen yerlerde oluşmasını sağlamak yerine, çatlakların rastgele oluşmasına olanak tanınır. Ancak karşılığında meydana çıkan çatlakların açılmaması ve yüklerin iletilmesi sürekli donatılarla temin edilir. Bu amacın yerine getirilmesi için donatı kesitinin çeliğin elastik limitini ile çarpılması sonucu elde edilen değer, kopma gerilmesinde çalışan beton keskindeki çekme değerinden yüksek olması gerekecektir. Tasarım hesapları, bu sonuca durumun temini için beton kesitinde yaklaşık %0,67 oranında donatı kullanılması gerektiğini göstermektedir.

Yol yapılarında olduğu kadar, hava alanları pistlerinde de sürekli betonarme üstyapıların başarıyla kullanılması mümkün olmaktadır.

Tablo 3.6. Örnek bir beton bileşimi ve özellikleri [24]

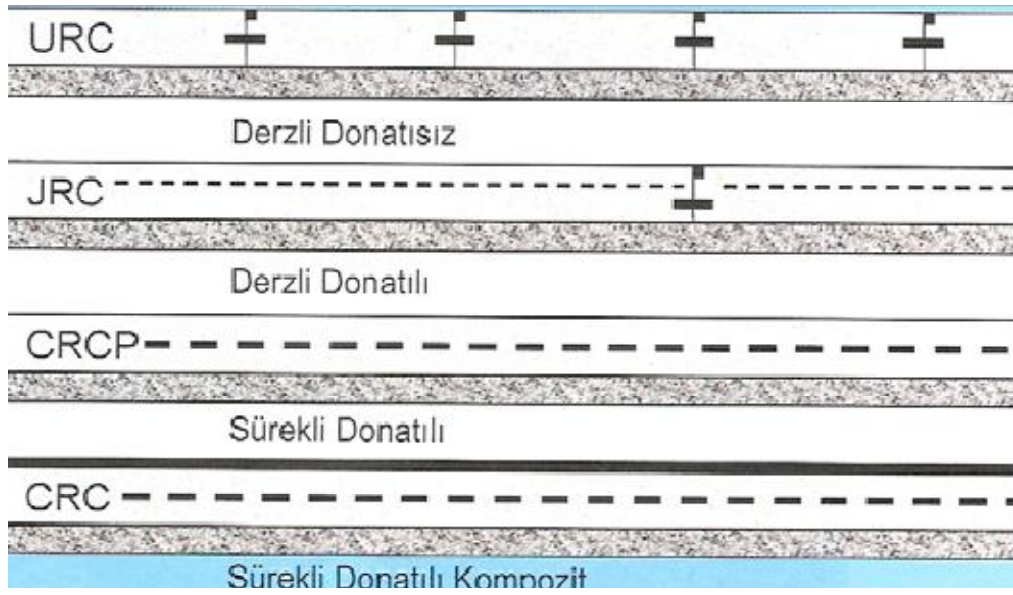
Malzeme Bileşenleri	Miktarları
Yuvarlak kum 0/5	746 kg
Kırılmış çakıl 8/20	485 kg
Kırılmış çakıl 20/40	628 kg
Çimento NPC 45	330 kg
Akışkanlaştırıcı	0.16 kg
Yoğurma suyu	160 kg
Mekanik ve fiziksel özellikleri	Değerleri
Yarmada çekme direnci	2,95kPa
Taze betonda çökme	4 cm
Hava boşluğu yüzdesi	%4,2
Minimum tabaka kalınlığı	18cm
Boyuna donatı yüzdesi	%0,67

Klasik betonarmede donatı, yapı elemanının işletme sırasında çekme gerilmelerine maruz kalacağı kesit bölgesine yerleştirilir. Sürekli betonarme yol plağında, bu elemanın eğilmesi nedeniyle doğacak gerilmeler, büzülme dolayısıyla oluşacak gerilmelerden oldukça küçük kalır. Diğer taraftan büzülme gerilmeleri plak kesitinin tamamına üniform biçiminde dağılır. Bu nedenle donatıların plağın yan yükseldiğine yerleştirilmesi gerekir.

### 3.3. Günümüzde Uygulanan Bazı Beton Yol Tasarımları

#### 3.3.1. Dünyada beton yollar

Rijit kaplamalarda değişik tasarımlar mümkün olmakla birlikte, Şekil 3.5'te mevcut uygulanmakta olan dört değişik kaplama tipi gösterilmektedir [21].



Şekil 3.5. Uygulamadaki kaplama tipleri

Amerika Birleşik Devletlerinde uygulanan AASHTO tipi tasarım yöntemine göre, kaplama sadece bir beton kaplama ve alt temelden oluşmaktadır. Tablo 3.7'de farklı trafik kategorilerine göre AASHTO tipi beton kaplama tabakaları görülmektedir [21].

Tablo 3.7. Trafik kategorilerine göre AASHTO tipi beton kaplama tabakaları

Üstyapı Tabakaları (cm)	Trafik Kategorileri (T8.2 : 8,2 tonluk eşdeğer standart dingil yükü tekrar sayısı-Yolun hizmet ömrü boyunca)								
	3-10 Milyon	10-20 Milyon	20-30 Milyon	30-40 Milyon	40-50 Milyon	50-65 Milyon	65-80 Milyon	80-100 Milyon	100-160 Milyon
Beton Kaplama	23	26	28	30	31	32	33	35	36
Kırmetaş Alt Temel	15	15	15	15	20	20	20	20	20

Almanya standartlarına göre ise beton kaplamanın altında zayıf beton bir temel tabakası ve onun altında da kum-çakıl bir alt temel tabakası kullanılmıştır. Tablo 3.8.' de farklı trafik kategorilerine göre Almanya tipi beton kaplama tabakaları görülmektedir [21].

Tablo 3.8. Trafik kategorilerine göre Almanya tipi beton kaplama tabakaları

Üstyapı Tabakaları (cm)	Trafik Kategorileri (T8.2 : 8,2 tonluk eşdeğer standart dingil yükü tekrar sayısı-Yolun hizmet ömrü boyunca)								
	3-10 Milyon	10-20 Milyon	20-30 Milyon	30-40 Milyon	40-50 Milyon	50-65 Milyon	65-80 Milyon	80-100 Milyon	100-160 Milyon
Beton Kaplama	23	24	24	25	25	25	25	27	27
Zayıf Beton Temel	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Kum-Çakıl Alt Temel	38	39	39	40	40	40	40	42	42

Belçika tasarım yöntemine göre ise, kaplama üst yapı tipi beton kaplamanın altında bitümlü bir ara yüzey tabakası, zayıf beton bir temel tabakası veya plentmiks bir temel tabakası, onun altında da kırma taş alt temel tabakası ele alınmıştır. Tablo 3.9' da farklı trafik kategorilerine göre Belçika tipi beton kaplama tabakaları görülmektedir [21].





### 3.3.2. Örnek beton yol yapımı

Beton yol yapımında öncelikle yol betonunun yüksek kalitede olması gerekmektedir. Bunun için yeterli kapasitede ve yeterli yükleme ekipmanına sahip iyi bir tesise ihtiyaç duyulmaktadır (Bkz. Şekil 3.6.) [21].



Şekil 3.6. Beton santrali

İmalattan sonra, beton şantiyeye kamyon veya transmikserle taşınmaktadır (Bkz. Şekil 3.7.-3.8.) [21].



Şekil 3.7. Kamyonla taşıma



Şekil 3.8. Mikserle taşıma

Beton yol yapımının büyük bölümü “Slip Form Paver” (kayar kalıp kaplayıcı, finişer) ile yapılmaktadır. Yolun iki yanında, aracın palet ve tekerleklerinin geçeceği alan yeterli genişlikte, temiz, düz ve sağlam olmalıdır (Bkz. Şekil 3.9.) [21]. Kılavuz telini taşıyacak çubuklar yere ayarlanabilir ve sağlam bir şekilde tutturulmalı, araları 7 metreyi geçmemelidir. Kılavuz çubuklarından geçen ve finişere yön veren telin gerginliğinin ve sıcaklığın sürekli kontrolü gerekmektedir (Bkz. Şekil 3.10.) [21].



Şekil 3.9. Finişer paletlerinin oturduğu yer



Şekil 3.10. Kılavuz teli

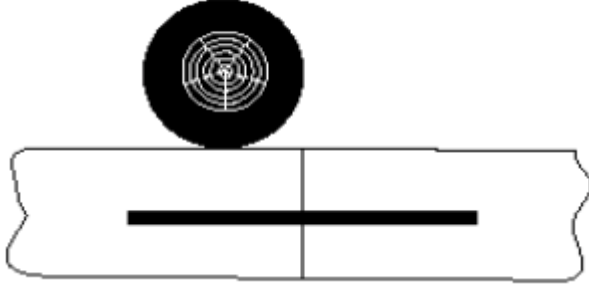
Finişer betonu yol genişliğince yaymakta, sıkıştırmakta ve düzlemektedir. Şantiyede daima bir aydınlatma ekipmanı bulunmalı, vibratör, hafif destek ve kalıp elemanları temin edilmelidir.

Yapım için, önce ekskavatörle beton dökülmekte, sonra yayılmaktadır. Gerekliği taktirde yan besleyici kullanılabilir (Bkz. Şekil 3.11) [21].



Şekil 3.11. Beton dökümü

Beton yol üzerinde açılacak olan derzlerin bulunduğu bölgeye, kayma demirleri yerleştirilmektedir. Bu sayede, iki plak arasında seviye farkı oluşması önlenmektedir. (Bkz. Şekil 3.12.)



Şekil 3.12. Derzlere kayma demiri yerleştirmesi

Günümüzde finişerlerin bazılarında kayma demirlerini yerleştiren donanım bulunmakta, çubuklar doğrudan taze betona yerleştirilmektedir (Bkz. Şekil 3.13.) [21]. Çubukların bu şekilde yerleştirilmesi sayesinde kamyonların yaklaşmasında sorun yaşanmamakta, aksi halde önceden şerit tabanındaki destekler üzerine yerleştirilen çubuklar kamyonların yaklaşmasında engel teşkil etmektedirler.



Şekil 3.13. Kayma demirli finişer

Finişerde, kayma demiri yerleştirici donanım olmadığı zaman, çubuklar yol tabanındaki metal desteklere yerleştirilmektedir. Çubukların üzerlerine beton

döküldüğünde, yerlerinden oynamamaları için desteklerin tabana iyice yerleştirilmesi çok önem taşımaktadır (Bkz. Şekil 3.14.-3.15.) [21].



Şekil 3.14. Kayma demiri montajı

Şekil 3.15. Kayma demirleri üzerine beton dökümü

Betonun birden fazla şeritte dökülmesi durumunda, Şekil 3.16'da görüldüğü gibi, bitişik şerit dökülmeden önce bağlantı demirleri deliklere yerleştirilmektedir [21].



Şekil 3.16. Bağlantı demirleri

Düzgün bir yol yüzeyi elde etmek için taze betonu yayıp sıkıştırdıktan sonra hassas bir düzleyici kullanılması çok önemlidir (Bkz. Şekil 3.17.- 3.18.) [21].



Şekil 3.17. Beton yüzeyinin düzlenmesi



Şekil 3.18. Hassas düzleyici

Yüzey pürüzlemesi için  $300\text{gr/m}^3$  çuval örtü veya 45cm genişliğinde çelik süpürge kullanılabilir (Bkz. Şekil 3.19.- 3.20.) [21].

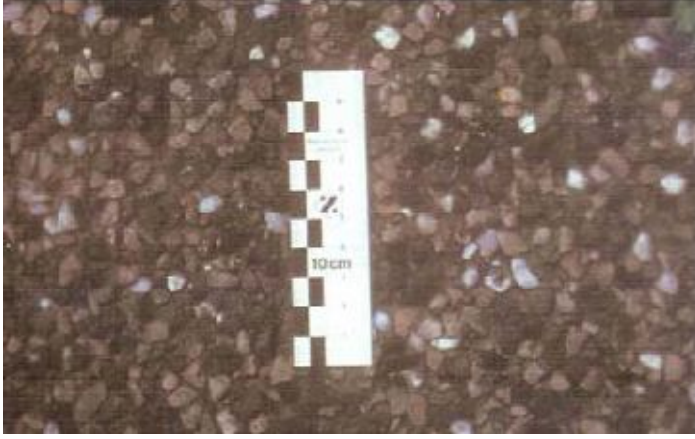


Şekil 3.19. Çuval ile pürüzleme



Şekil 3.20. Çelik süpürge ile pürüzleme

Uygulanan bir diğer metod, yzeyi özel bir örtü ile silip, ince harcı temizleyerek agregayı kısmen açığa çıkarmaktır (Bkz. Şekil 3.21.) [21].



Şekil 3.21. Agregayı açığa çıkaran pürüzleme

Özellikle son zamanlarda, üzerinde çalışmalar yapılan bir diğer teknik ise “tining” adı verilen, beton yol üzerinde yivler meydana getirme işlemidir (Bkz. Şekil 3.22.-3.23.) [26].



Şekil 3.22. Yol üzerinde yivler meydana getirilmesi (tining)

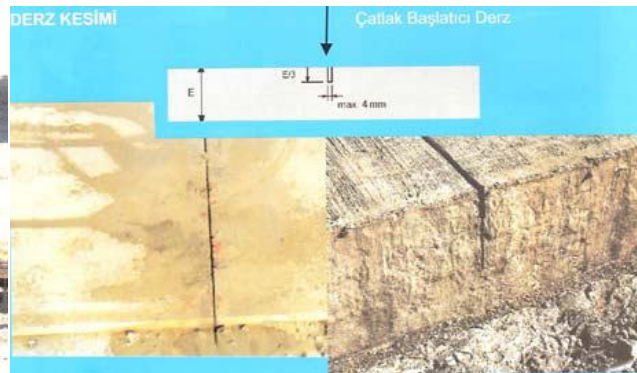


Şekil 3.23. Yol üzerindeki yivler

Kaplamada derz bulunacaksa, bu derzler doğru ekipman kullanılarak kesilmeli ve bu iş doğru zamanda yapılmalıdır. Bu işlem betonun kendi kendine çatlamasını önlemek için çok geç yapılmamalı, agregayı betondan sıyırmamak için de çok erken yapılmamalıdır. Önerilen derz aralığı 5m'dir. Uygulamada doğru zaman beton döküldükten 6 ila 24 saat sonrası arasındadır. Kontrollü bir çatlak başlatıcı olarak oluşturulan derzlerin kesilmesi ve kesilen derzler Şekil 3.24 ve Şekil 3.25'te görülmektedir [21]. Kesim, tüm derinlik boyunca değil, plak kalınlığının 1/3' ü kadardır.



Şekil 3.24. Derz kesimi



Şekil 3.25. Kesilmiş derz



Beton yol yüzeyinden nem kaybını önlemek için kür işlemi uygulanmaktadır. Kür uygulanması, ayrıca betonun düzgün bir şekilde dayanım kazanmasına yardımcı olmaktadır (Bkz. Şekil 3.26. – 3.27.) [21].



Şekil 3.26. El ile kür işlemi



Şekil 3.27. Makine ile kür işlemi

Derzler daima yalıtılmalıdır. Bu işlem sıcak dökülen bir ürünle veya soğuk uygulanan bir yalıtıcı ile yapılabilir (Bkz. Şekil 3.28.) [21]. Derzler beton kaplamanın zayıf noktalarıdır. Buralardan yol temeline su geçmesi durumunda “pompaj” gibi istenmeyen sorunlarla karşılaşılmaktadır [21].



Şekil 3.28. Derz Yalıtımı

## **BÖLÜM 4. KARAYOLLARINDA BUZLA MÜCADELE**

Kar yüksekliği 5cm'ye ulaştığında, kar kontrol çalışmalarıyla karın platformdan uzaklaştırılması gerekmektedir. Aksi taktirde kar trafik altında sıkışarak buzlaşır. Ayrıca yol yüzeyindeki nemin ve suyun donmasıyla da buzlanma görölür ve buzlanmanın oluştuğu yerlerde sürtünme katsayısı azaldığından trafiğin seyri tehlikeye girer [27].

İki farklı buzla mücadele yöntemi vardır; kaplama üzerindeki oluşmuş buzun çözölmesi ve kaplamanın buz tutmasının önlenmesi. Buzun çözölmesinde, mevcut buz u aşındırıcılar ve/veya kimyasallar kullanarak çözmek ya da yol ile bağlantısını koparmak amaçlanmaktadır. Buzlanmanın önlenmesi, kar yağışından önce ya da kar yağışı esnasında karın yüzeye yapışmasını ve buzlanma oluşumunu önlemeye yönelik çalışmalardır.

Ülkemizdeki buz mücadelesinde, genellikle buzlanmanın çözölmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Kar yağışından sonra tuz ile patinaj önleyici malzemeler kullanılarak buz mücadelesi yapılmaktadır. Ancak son dönemlerde, bu geleneksel yöntemler yerine modern yöntemler de uygulanmaya başlanmıştır. Gelişmiş ülkelerde, geleneksel yöntemlerden büyük ölçüde vazgeçilmiştir. Buz mücadelesinde daha etkili olmak için, kar ilk yağdığında, önce birikmiş kar kürünmekte, ardından sıkışmış olarak kalan kar da buz çözölücü katı ya da sıvı kimyasallar ile eritmeye çalışılmaktadır. Bununla beraber, otoyollar ve köprülerde genellikle buzlanmanın önlenmesine yönelik çalışmalar yürütölmektedir.

#### 4.1. Buzlanmanın Çözülmesi

Buzun çözülmesi çalışmalarında, yolda oluşmuş mevcut buzlu aşındırıcılar ve/veya kimyasal maddeler kullanarak çözmek ya da yol ile bağlantısını koparmak amaçlanmaktadır. Buz mücadelesi çalışmaları öncelikle, dik meyillere, keskin kurplara, kavşaklara, köprülere, köprü yaklaşım dolgularına, demiryolu geçidi yaklaşımlarına, korkuluklarla emniyete alınmamış yüksek dolgular gibi tehlike arz eden yerlere yöneltilmelidir. Daha sonra trafiği en fazla olan yollar ele alınmalı ve bunun ardı sıra bu çalışmalar diğer yollarda da yapılmalıdır. Buzla mücadele çalışmalarına trafik emniyeti sağlanıncaya kadar aralıksız devam edilmelidir.

Patinaaj önleyici olarak en uygun malzemeler; kum, kömür tozu, tas kırıntıları, cüruf kırıntıları, maden cevheri artıkları ve kok fırınlarından arta kalan artıklardır. Bu malzemelere aşındırıcılar denilmektedir. Aynı büyüklükteki danelerden oluşmuş malzemeler daha iyi netice vermektedir. Malzeme, hiçbir zaman araçlar için tehlike oluşturacak büyüklükte daneler içermemelidir. Buz mücadelesinde kullanılacak kumlar temiz ve daneleri sert olmalı ve içerisinde kil, mil veya donmuş malzemeler olmamalıdır [27].

Patinaaj önlenmesinde kullanılacak en iyi malzemenin, trafiğin altında çabuk toz haline gelmeyen, su ile doymuş hale geldiğinde yer yer topak halinde birikmesine sebep olacak ince daneleri içermeyen malzeme çeşitleri olduğu bilinmektedir. Kömür tozu ve cüruf kırıntıları, kaymaya karşı en etkili malzemelerdir [27].

#### 4.2. Buzlanmanın Önlenmesi

Buzlanmayı önleme, önceden tedbir alınan bir kar ve buz kontrol yöntemidir. Yollarda ya da köprülerde az miktarda bir sıvı kimyasal kullanımı ile sathın karla kaplanmasını ya da buz bağlamasını engellemek mümkündür. Bununla beraber kimyasallar, fırtına sırasında ya da sonrasında, yol yüzeyinde oluşan buzlu eritmek için de kullanılırlar. Bu uygulamalar sonucunda, kar kürüycüler ile yollardaki kar ve buz daha kolay temizlenebilmektedir [28].

Katı kimyasallar, birçok koşulda buz önleyici olarak kullanılabilirler, fakat bazıları kaplama üzerinde yeteri nemde ve uygun miktarda olduğu zaman etkilidirler. Nem iki sebep için gereklidir; birincisi kuru bir kaplamadan malzeme kaybını önlemek, diğeri ise tuz çözeltisi oluşumunu başlatıp daha etkili olmak içindir. İlk müdahalede, yeterli yağış düştükten sonra, bakım ekipleri tarafından kar kürüme araçları ve ardından katı kimyasallar kullanarak etkili olmak mümkündür. Kaplama üzerinde kar yığınlarının oluşmasından ya da buz kütlelerinin oluşmasından önce sıvı kimyasallar uygulanırsa, hem buzlanmanın önüne geçilir, hem de yağış sonunda kaplamanın kar tutması önlenmiş olur. Sonraki müdahaleler için, katı kimyasallar yeterli nem varsa veya kar yığıntısı oluşuyorsa etkili olmaktadır. Bununla birlikte ilk ve sonraki müdahalelerde, kaplamada nem ve kar yığıntısı olmadığı zaman, kimyasal çözücülerde kayıplar oluşmaktadır. Bu kayıplar trafik hareketlerinden dolayı sürüklenmeyle, yüksek hızdaki araçların tekerleklerinin sıçratmasıyla veya dağıtım esnasında kaplamadan parçaların sıçramasıyla oluşmaktadır. Geleneksel dağıtımlardan sonra kaplamadan 0,5m'ye kadar sıçrayan kuru katı kimyasallar görülmektedir. Bununla beraber son zamanlarda hız düzeyi düşük dağıtıcılarla katı kimyasalları en düşük zayıyla kaplama üzerine sermek mümkün olmaktadır [30]. Tuzun daha etkili olması için ortamda nem olması gerekmektedir. Tuzun, buz sathı üzerinde nemlenmesi uzun sürmesinden dolayı önceden ıslatılarak buz eritmesi hızlandırılabilir.

Buzlanmayı önleme, yolda yüksek bir hizmet kalitesi istendiğinde ya da kuru bir kaplama gerektiren durumlarda kullanılır. Kullanılan sıvı ya da katı kimyasalların uygulanmasında özel araçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca ayrıntılı hava tahminleri de bu sisteme yardımcı olmaktadır [28].

Gelişmiş ülkelerde artık geleneksel yöntemlerden çıkılarak, modern yöntemlerle kar mücadeleleri yapılmaktadır. Yani kışlık bakımda, karın yağmasından sonra müdahale değil de yağmadan önce ya da yağış esnasında mücadele başlatılmaktadır. Böylece çalışma, hem insan gücü açısından verimli olmakta, hem de yapılan çalışma hedefine ulaşmaktadır. Elbette bu çalışmalar yürütülürken, iyi bir hava tahmin ekibinin olması gerekmektedir. Sert kışlar geçiren Rusya'da buzun önlenmesine yönelik yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Rusya'da, çevreye ve kaplamaya verdiği zarardan

dolayı sodyum klorürden vazgeçilmiştir ve sadece sıvı kalsiyum klorür kullanılmaktadır. Kar ile dolmuş yola kimyasal uygulanması yeterli olamamaktadır. Bu sebeple önce bu kar kürünmekte, ardından kimyasal uygulanmaktadır. Kar kürüyücü bıçaklarda asfaltın zarar görmemesi için 10-15cm kalınlığında lastik bulunmaktadır.

Ülkemizde de geleneksel yöntemlerden çıkma çalışmaları sürmektedir. Karayolları Genel Müdürlüğü ve bazı belediyelerin, buzlanmanın önlenmesine yönelik yaptığı çalışmalar son yıllarda başlamıştır.

Buzlanmayı önleme yönteminin buz çözülmesi yöntemine göre sağladığı başlıca avantajları şunlardır:

- Kaplama yüzeyinde kar ve buz birikimini önlediğinden trafik kazası oranları azalmaktadır (Idaho'daki bir çalışmanın raporları kazaların %83 oranında azaltılabileceğini göstermektedir).
- Bu yöntemde kaplamalar ve yollar buz tuttuktan sonra kullanılan kimyasal miktarına göre çok daha az kimyasal kullanılır. 1999-2002 yıllarını kapsayan bir Michigan DOT raporunun bulguları buzlanmayı önleme yönteminin kimyevi malzeme masraflarını azalttığını göstermektedir [29].
- Özellikle köprü tabliyelerinde buzlanmanın önlenmesi yöntemi çok faydalı olmaktadır. Bunun yanında kavsak ve köprülerde sabit püskürtme sistemleri kurmak da mümkündür.
- Büyük kar fırtınalarında, yüzeyde daha az kar birikmesi sayesinde, fırtına sonrası temizlik daha kolay olmaktadır.
- Uygulamanın mesai saatlerinde yapılabilir olması fazla mesai masraflarını azaltmaktadır.

### **4.3. Kullanılan Kimyasal Malzemeler ve Gradasyonları**

Klorürlü tuzlar, sodyum klorür, kalsiyum klorür ve magnezyum klorürden oluşmaktadır. Buz önleyici olarak klorür esaslı tuzların yanı sıra organik esaslı ürünler de kullanılmaktadır. Bunlar asetatlar (kalsiyum magnezyum asetat, potasyum

asetat gibi) ve diğer organik malzemelerden oluşmaktadır (Tablo 4.1). Organik malzemeler (glikol, metanol ve nitrojen), genellikle havaalanı pistlerinde kullanılmaktadır. Uygulamalarda, katı sodyum klorür ile katı kalsiyum klorür karıştırılarak da kullanılabilir. Katı kimyasallar, çalışma durumlarına göre buz önleyici ya da buz çözücü olarak kullanılmaktadırlar [30, 31]. Kar ve buz mücadelesinde kullanılan kimyasalların, sıvı halde kullanılması daha etkilidir. Çünkü, uygulamada homojen olarak yola tatbik edilerek, malzeme kayıpları azaltılmaktadır ve buz çözme işlemi katı kimyasallara göre daha hızlı yapılmaktadır. Tablo 4.2 kimyasalların etkin oldukları sıcaklıkları ve konsantrasyonlarını göstermektedir [30].

Tablo 4.1. Kar ve buz mücadelesinde kullanılan malzemeler

<b>Malzeme Tipi</b>	<b>Malzeme Çeşitleri</b>	<b>Başlıca Bileşenleri</b>
Klorür Esaslı Tuz	Sodyum Klorür (NaCl)	Na, Cl
	Kalsiyum Klorür (CaCl <sub>2</sub> )	Ca, Cl
	Magnezyum Klorür(MgCl <sub>2</sub> )	Mg, Cl
Organik Ürünler	Kalsiyum Magnezyum Asetat (CMA)	Ca, Mg, C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>
	Potasyum Asetat (KAC)	K, C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>
	Tarımsal Ürünler	Karmaşık Sekerler
	İmal Edilen Organik Ürünler	Glikol, Metanol
Nitrojen Ür.	Üre	Üre, Amonyum
Aşındırıcı	Aşındırıcılar	Kaynağına Göre Değişen Materyaller

Tablo 4.2. Bazı kimyasalların etkin oldukları sıcaklıklar ve konsantrasyonları

<b>Kimyasal</b>	<b>Etkin olduğu Sıcaklık 0°C</b>	<b>Etkin olduğu konsantrasyonu %</b>	<b>Bulunduğu Form</b>
Kalsiyum Klorür (CaCl <sub>2</sub> )	-51	29,8	Genellikle sıvı, bazen katı
Sodyum Klorür (NaCl)	-21	23,3	İlk olarak katı, tuzlu su çözeltisi
Magnezyum Klorür (MgCl <sub>2</sub> )	-33	21,6	Genellikle sıvı, bazen katı
Kalsiyum Magnezyum Asetat (CMA)	-27,5	32,5	Karışımlarla sıvı
Potasyum Asetat (KAC)	-60	49	Sadece sıvı

#### 4.3.1. Sodyum klorür (NaCl, Tuz)

Sodyum Klorür (NaCl), yollarda buz önleyici katı kimyasal olarak uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bu kullanılan tuz üç çeşit olarak karşımıza çıkmaktadır; kaya tuzu, kaya tuzu madenlerinden elde edilmektedir, solar tuz, deniz veya göl suyunun buharlaştırılmasıyla oluşmaktadır, buharlaştırma veya solüsyon veya vakum tuzu, derinlerdeki yer altı suyunun vakumlanmasıyla üretilmektedir ve çok saftır. ABD’deki otoyollarda en çok kullanılanı kaya tuzudur, buna rağmen ABD’nin bazı batı eyaletleri, solar tuzu da ithal ederek kullanmaktadırlar [30].

ABD otoyollarında buz kontrolünde kullanılan tuzlar, ASTM’de belirtilen “D632 Standard Specification for Sodium Chloride” isimli standartta açıklanmaktadır.

Buz mücadelesinde genellikle kullanılan kimyevi maddeler; sodyum klorür, kalsiyum klorür, magnezyum klorür, sodyum nitrat, üre, kalsiyum format ve sodyum format gibi ‘tuz’ esaslı maddelerdir. Tuzlar fazla korozif (paslandırıcı) olduğundan çelik esaslı yapılarda kullanılması sakıncalıdır. Sodyum klorür, kalsiyum klorür ve magnezyum klorür esaslı malzemelere kıyasla daha koroziftir. Aşağıda Tablo 4.3’da kimyevi malzemelerin suya göre korozif etkileri gösterilmektedir [32].



Tablo 4.3. Kimyevi malzemelerin suya göre korozif etkileri

<b>Klorürlü Tuzlar</b>	<b>Suya Kıyasla Korozif (paslandırma) Etkisi</b>
Sodyum Klorür	%100
Kalsiyum Klorür	%50-70
Magnezyum klorür	%40-60

Tuzun (NaCl) diğer kimyasal buz çözücülerde bulunmayan, kendine has özellikleri vardır. Buz ve kar eriticisi olarak, tuzun tercih edilmesinin sebepleri şunlardır.

- Tuz eridiğinde aşındırıcı olur, sürtünmeyi artırır.
- Tuz kuvvetli bir buz eriticisidir.
- Tuzun yavaş erime özelliği, kristallerinin buz kütlesi veya sıkışmış kar içinde, düşey istikamette çalışmalarını sağlar ve meydana gelen tuzlu su satha erişince, donan kütleyle zemin arasındaki bağı koparır.
- Tuz tamamen eriyinceye kadar rutubeti kendine çeker ve buz çözmeye devam eder.
- Tuz ülkemizde bol bulunduğundan diğer buz eriticilere göre ekonomiktir. Diğer kimyasal buz eriticilerden ve aşındırıcılardan daha ucuza mal olur ve saklanması daha kolaydır.
- Tuz eridiğinde, hendek ve kanalizasyon tıkayacak artık bırakmaz. Ayrıca kanalların dolmasına sebep olmaz ve serbest akışı engellemez.
- Tuz, gerekli tedbirler alınmak şartıyla, uzun süre depolanabilir.

Tatbikatta üç tip tuz ve bunların karışımları kullanılmaktadır. Bu tuzlar (NaCl); kaya, deniz ve göl tuzlarıdır. NaCl'ün en etkili olduğu sıcaklık  $-21^{\circ}\text{C}$  ise de,  $-13^{\circ}\text{C}$  sıcaklığın altında kullanılması ekonomik yönden tercih edilmez. Düşük sıcaklıklarda gereken konsantrasyon sağlandığında  $\text{CaCl}_2$  tuzları, NaCl'den daha etkili olmaktadır [27].

Tuzun zararlı etkisi;

Türkiye'de, kışın buzlanmayı önlemek amacıyla yollara atılan tuzun, çevreye verdiği zararı araştıran, kapsamlı bir araştırma henüz yapılmamıştır. ABD'de yapılan bir araştırmaya göre, bir ton tuzun çevreye verdiği zarar 800 dolardır. Tuz yerine

çevreye zarar vermeyen bir malzemenin kullanılmasının ABD ekonomisine katkısının yaklaşık yılda 100 milyon dolar olacağı tahmin edilmektedir. Ülkemizde buz mücadelesinde kullanılan tuz miktarının yıllık ortalama 40 bin ton civarında olduğu bilinmektedir. Beton kaplamalı yollara zarar veren tuzlar ( $\text{NaCl}$  ve  $\text{CaCl}_2$ ), beton yüzeyinin soyulmasına neden olmaktadır. Hava katkısız betonlarda suda eriyen tuzlar kurduğunda kristalleşerek boşluk çeperlerinde basınç yaratırlar. Bu basınç, beton yüzeyinin kabarması yanında oyukların ve çatlakların oluşmasına da neden olmaktadır. Kullanılan tuzun miktarı ve uygulanma sıklığı beton yüzeyinin bozulmasını artırır, %2'lik  $\text{NaCl}$  çözeltisi bile betona büyük zarar verebilir. Hava katkılı betonlar buz çözücü maddelere karşı normal betonlara göre daha fazla duyarlıdır. Yeni yapılmış beton yolların üst tabakalarında dağılmalara sebep olduğundan mecbur kalınmadıkça tuz kullanılmamalıdır. Beton yollarda organik içerikli kimyasal buz çözücüler tercih edilmelidir [33, 34].

Deneysel çalışmalar sonucunda, tuzlu su çözeltisindeki tuz konsantrasyonunun artmasıyla birlikte kaplamanın esnekliğini kaybettiği, rijitliğinin arttığı ve yorulmanın olduğu saptanmıştır. Tuz, araçların madenî aksamalarının korozyona uğramasına da neden olmaktadır. Bu sebeple, kimyasal uygulamaların yapılacağı yerlere, sürücülerin uyarılması için gerekli ikaz levhaları konulmalıdır [34].

#### **4.3.2. Kalsiyum klorür ( $\text{CaCl}_2$ )**

İki metotla kalsiyum klorür elde edilmektedir; derin kuyulardaki tuzlu sudan veya sodyum klorür ile kalsiyum karbonatın tepkimeye girip sodyum karbonat (soda) ve kalsiyum klorür açığa çıkarmasıyla üretilmektedir [30].

ASTM'de kalsiyum klorür ile ilgili 2 standart hazırlanmıştır; D98 Specification for calcium chloride ve E449 Standart test method of analysis of calcium chloride [30].

### 4.3.3. Magnezyum klorür (MgCl<sub>2</sub>)

Magnezyum klorür (MgCl<sub>2</sub>)'ün kaynağı tuzlu su gölleridir. Kar ve buz kontrolü için katı ve sıvı halde kullanılabilir. Optimum %21,6 konsantrasyonda etkili olmaktadır ve buz eritme sıcaklığı -33°C'ye kadar düşmektedir. Kalsiyum klorürden %40 daha fazla buz eritme kapasitesine sahiptir. Su içerisinde hızlı ve kolay erimektedir [30].

Buz eritici kimyasallar, iyonlarına ayrılarak kar ve buz eritmektedir. Ancak klor (Cl) iyonları çevreye, betona, asfalta ve metal yüzeylere zarar vermektedir. Bu zararlı etkileri azaltmak için, bazı buz çözücü kimyasal üreten firmalar, MgCl<sub>2</sub> içine korozyon önleyici katkı maddesi katarak yeni sıvı kimyasallar üretmektedirler. MgCl<sub>2</sub> ve CaCl<sub>2</sub>, bir Ca ve Mg iyonlarına karşılık iki tane Cl iyonunu serbest bırakmaktadır. Böylelikle sodyum klorüre nazaran bu kimyasallar kar ve buz daha hızlı eritmektedir.



### 4.3.4. Kalsiyum magnezyum asetat (CMA)

Kalsiyum magnezyum asetat (CMA), asetik asit ile dolamatik kireç tasının tepkimesi sonucunda oluşmaktadır. Asetik asit, doğal gaz ve petrolden üretilmektedir.

CMA, klorürlü tuzlar (NaCl, CaCl<sub>2</sub> ve MgCl<sub>2</sub>) gibi suda çözülür. Bu bileşiğin katı hali ufak toprak sekinde bulunur, ancak CMA genellikle sıvı halde uygulanır. Katı halde buz çözücü olarak çok etkili değildir. CMA, ön ıslatma yönteminde de kullanılmaktadır [30, 31].

CMA, diğer kimyasallara göre, bitki örtüsüne, betona ve su kaynaklarına daha az zarar vermektedir, korozif değildir, kimyasal çözülmeden sonra toprak tarafından emilir ve yağışlardan sonra yol yüzeyinde oluşacak buzlanmaya karşı oldukça etkilidir.

CMA, kaya tuzundan 30 kat daha pahalıdır. Pratik uygulamada en pahalı kimyasaldır. Düşük sıcaklıklarda etkilidir. Etkili olduğu sıcaklık %32 konsantrasyonda  $-28^{\circ}\text{C}$ 'dir. CMA, genellikle kritik bölgelerde (korozyon istenmeyen, doğal yeşilliklerin olduğu yerlerde veya temiz su yataklarına yakın bölgelerde) uygulanır. Diğer kimyasallarla karıştırıldığında, korozyon ve yol yüzeyine verdiği zarar daha azdır [36].

Ufak toprak sekinde bulunan CMA bileşigi, suda eritilerek sıvı CMA oluşturulmaktadır. Karışım sürecinin sonunda, üstte homojen sıvı CMA bulunmaktadır, tabanda ise çözünemeyen CMA tortuları bulunmaktadır ve bu parçaların dışarı atılması gerekmektedir [30].

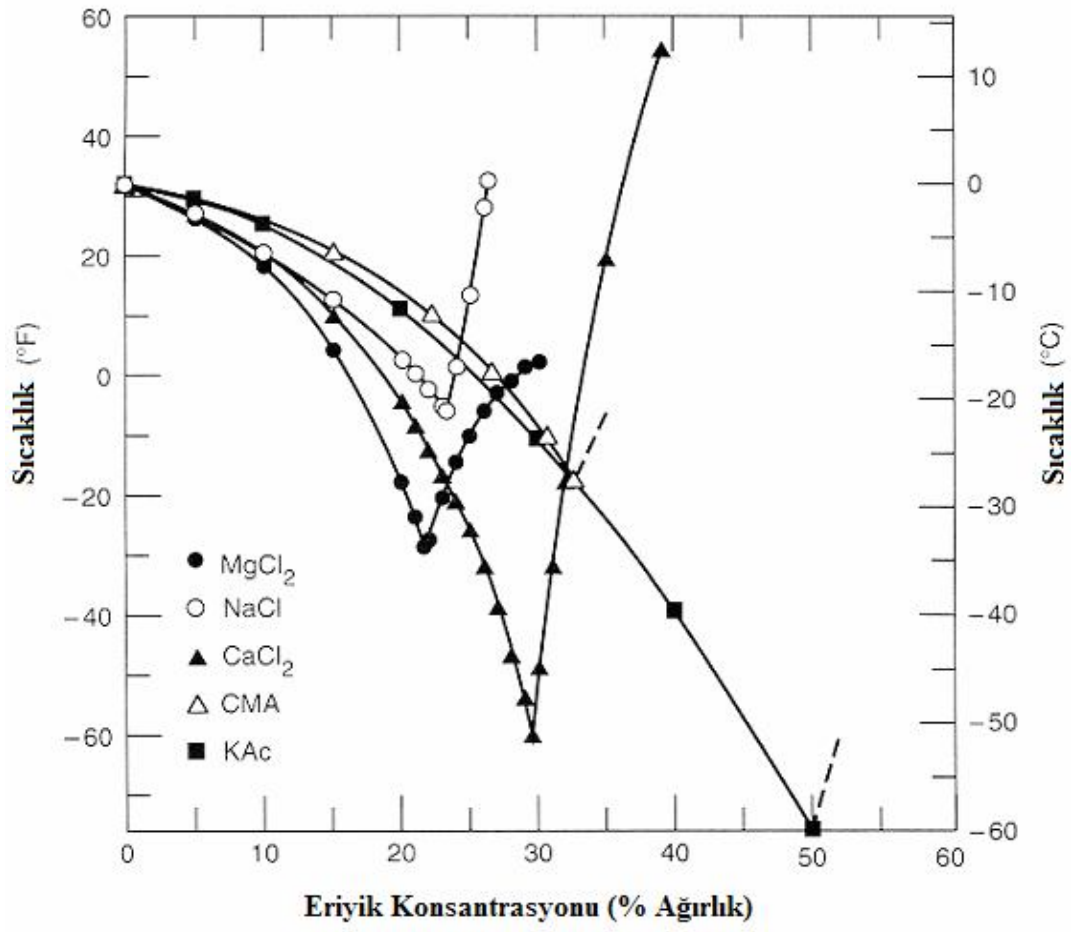
#### 4.3.5. Potasyum asetat (KAC)

Potasyum asetat (KAC), genellikle asetik asit ile potasyum karbonatın tepkimeye girmesiyle üretilmektedir. Asetik asit, kalsiyum magnezyum asetatın üretilmesinde de kullanılmaktadır. Potasyum karbonat, potasyum hidrat tuz grubundan meydana gelmektedir. Kimyasal olarak üretilen ve ayrışabilen, sıvı bir buz çözücüdür.

Korozif etkisinin çok düşük olması sebebiyle genellikle havaalanlarında kullanılmaktadır. Karayollarında kullanılan buz çözücüler arasında en yüksek performanslı olanlarından biridir. Maliyeti azaltmak için içerisine katılan asetik asit miktarında oynama yapılabilir [30, 36].

KAC, %49 oranında konsantrasyonda  $-60^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta etkili olmaktadır. KAC ile CMA grafikte neredeyse kesişmektedirler. Bu bileşikler diğer kimyasal çözücülere göre daha iyi performans göstermektedir.

Bütün kimyasal çözeltilerde, optimum olduğu konsantrasyona kadar etkili oldukları sıcaklıklar azalmaktadır (Bkz. Şekil 4.1.). Optimum konsantrasyondan sonra bu sıcaklıklar artmaktadır [29]. Aşağıdaki Tablo 4.4 buz önleyici kimyasalların genel özelliklerini göstermektedir [37].



Şekil 4.1. Faz diyagramları

Tablo 4.4. Buz önleyici kimyasalların özellikleri

Sodyum Klorür (NaCl) Katı	Kullanım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basit.</li> <li>• Sıvı CaCl<sub>2</sub> ile ön ıslatma yapılabilir.</li> <li>• Sıvı NaCl ile ön ıslatma yapılabilir.</li> </ul>
	Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düşük maliyetli.</li> </ul>
	Dezavantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Araçlar, çelik yapılar ve betona karşı korozif</li> <li>• Yol kenarındaki bitkilere zararlı.</li> <li>• Yüzey ve içme sularını kirletir.</li> </ul>
	Notlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• -9 °C'ye kadar etkilidir.</li> </ul>
Sodyum Klorür (NaCl) Sıvı	Kullanım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ön ıslatma için kullanılır</li> <li>• Buz çözücüdür</li> </ul>
	Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düşük maliyet</li> <li>• Kaplamada artık bırakmaz</li> <li>• Nem çekmez veya ıslaklık olmaz</li> <li>• Kaplamada ince bir tabaka oluşturmaz</li> </ul>
	Dezavantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betona, köprülere ve araçlara koroziftir</li> </ul>
	Notlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ön ıslatmada ve buz çözmede kullanılır</li> <li>• -9 °C'ye kadar etkilidir.</li> </ul>
Kalsiyum Magnezyum Asetat (CMA)	Kullanım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tuz veya kum ile karıştırılabilir</li> </ul>
	Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tuzdan daha az koroziftir</li> <li>• Çelik köprülerde daha az koroziftir</li> </ul>
	Dezavantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yüksek konsantrasyonda, göl ve nehirlerde oksijen seviyesini düşürür</li> <li>• Kaplamada ıslaklık bırakır</li> </ul>
	Notlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Çevresel bakımdan en iyi buz çözücüdür</li> <li>• -28 °C'ye kadar etkilidir.</li> </ul>
Magnezyum Klorür (MgCl <sub>2</sub> )	Kullanım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yola direkt spreylenebilir</li> <li>• NaCl ve diğer buz çözücülerle karıştırılabilir</li> </ul>
	Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Havadan nem çeker ve buz eritmeye devam eder</li> <li>• Dağıtımdan sonra temizlik gerekmez</li> </ul>
	Dezavantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eğer havadan nem çekerse, kaplama nemli kalır</li> <li>• Pahalıdır</li> <li>• Metallerle karşı koroziftir</li> </ul>
	Notlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hava sıcaklığı -12 °C'yi geçtiğinde sıvı halde kullanılabilir.</li> <li>• - 33 °C'ye kadar etkilidir.</li> <li>• (NaCl)'den yaklaşık 3 kat daha pahalıdır.</li> </ul>

Tablo 4.4. (Devam) Buz önleyici kimyasalların özellikleri

Kalsiyum Klorür (CaCl <sub>2</sub> )	Kullanım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NaCl ile karıştırılabilir</li> <li>• Ön ıslatmada kullanılabilir</li> <li>• Direkt / tek basına yada çözelti olarak kullanılabilir</li> </ul>
	Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Çözündüğü zaman ısı çıkartmaktadır</li> <li>• NaCl ile kullanıldığı zaman %10-15 arasında malzeme tasarrufu sağlanmaktadır</li> <li>• Nem çekerek buz erimesine yardımcı olmaktadır</li> <li>• Bitkilere karşı NaCl'den daha az zararlı malzeme içermektedir</li> </ul>
	Dezavantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maliyeti yüksek</li> <li>• Kaplamayı nemli tutar</li> <li>• Metallerle karşı koroziftir</li> <li>• Kaplamada tortu bırakmaktadır</li> </ul>
	Notlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yaklaşık olarak %30 çözelti kullanılır</li> <li>• Kuru bir mekanda ve üzeri kapalı tutulmalıdır</li> <li>• - 55 °C'ye kadar etkilidir</li> <li>• NaCl'den 3 kat daha pahalıdır</li> </ul>
Potasyum Asetat (KAC)	Kullanım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ön ıslatmada katılarla; kum, tuz, üre ve CMA</li> </ul>
	Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daha az uygulanır</li> <li>• Çok iyi performans verir</li> <li>• Yapı çeliği için tuzdan daha güvenlidir</li> <li>• Korozif değildir ve çevreye zararı yoktur</li> </ul>
	Dezavantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maliyeti yüksektir</li> <li>• Kaplama üzerinde parlak kaygan bir yüzey oluşturmaktadır</li> <li>• Su yapısındaki oksijen seviyesini düşürmektedir</li> </ul>
	Notlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• İhtiyaç duyulduğunda tek basına kullanılır</li> <li>• - 60 °C'ye kadar etkilidir</li> <li>• NaCl'den yaklaşık 8 kat pahalıdır</li> </ul>
Kum	Kullanım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sürtünmeyi arttırmaktadır</li> </ul>
	Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maliyeti düşük</li> </ul>
	Dezavantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drenaj kanallarını kapatır ve temizlenmesinde maliyet artırır</li> </ul>
	Notlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diğer buz çözücülerle karışık halde kullanılmaktadır.</li> </ul>

#### 4.4. Katı Kimyasal Buz Çözücülerin Yola Serilmesi

Ülkemizde kar ve buz mücadelesinde kullanılan kimyasal malzemeler ve aşındırıcılar genellikle, kamyon arkasından kürekle yola serilmektedir ve bunun sonucunda dağıtım yavaş yürüdüğünden zaman kayıplarına, çok fazla işçi gerektiğinden emek kayıplarına ve malzeme yola orantısız dağıtıldığı için de malzeme sarfiyatına neden olmaktadır.

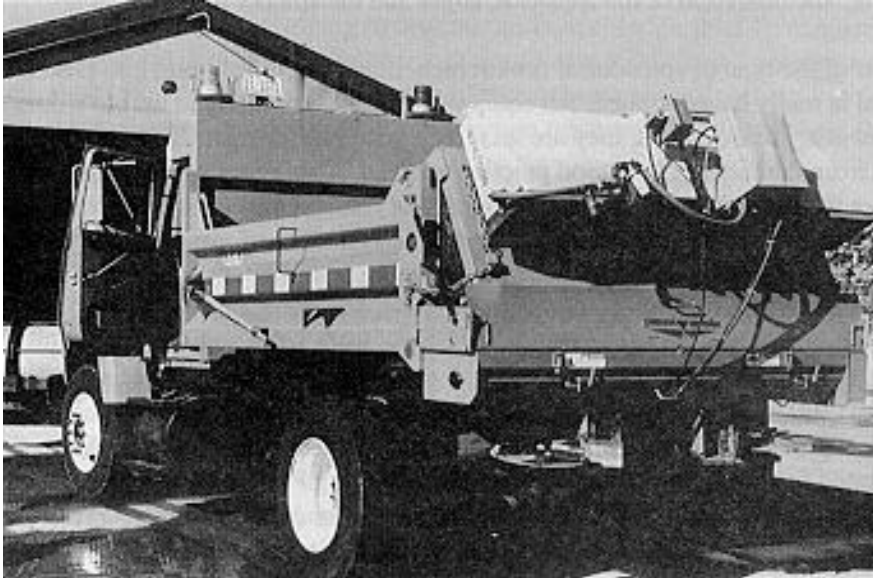
Son yıllarda, tarımda gübre dağıtıcılarıyla birlikte, kamyonlara takılan tuz dağıtıcıları geliştirilmiştir. Bu dağıtıcılar tuzun, yola üniform bir şekilde dağıtılmasını sağlamaktadır. Bunların ilk modellerinde kontrol oranı yeterli değildi, çünkü kamyon hızı spreyleme hızıyla değişiklik göstermekteydi. Kamyon yavaşladığı zaman fazla spreyleme ve kamyon hızlandığı zaman daha az spreyleme olduğu görülmüştür. Bununla beraber ekipman üreticileri, kar ve buz kontrol malzemelerini dağıtmada kullanılan araçları modifiye ederek, malzeme dağıtım miktarı ile araç hızı arasında uyum sağlamışlardır [27, 30].

Günümüzde katı kimyasallar yola, kamyonlara monte edilen dağıtıcılarla tatbik edilmektedir. Aşağıda Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te dağıtıcı ekipmanları görülmektedir [30].



Şekil 4.2. Besleme hunili dağıtıcı





Şekil 4.3. Arka-alt dağıtıcılar ile ön ıslatma ekipmanı

Bu dağıtıcılar, kimyasal malzeme parçalarını min. 1m ve max. 12m atabilmektedir. Genellikle silolar kısmın kamyonlara monte edilir ve kış sezonundan sonra çıkartılarak bakımları yapıp, yeni sezon için hazır olarak bekletilirler. Kamyonlar ise kış sezonu dışında diğer bakım-onarım işleri için kullanılabilirler. Bu dağıtıcı sistem bir çelik V-kutu, tahliye ve besleme helezonu, dönen disk ve gerekli diğer parçalardan oluşmaktadır. V-kutu silolarının kapasiteleri,  $3,4m^3$ 'ten  $13,2m^3$ 'e kadar değişmektedir. Silonun üzerinde bulunan besleme sistemi, şoför tarafından kontrol edilmektedir. Bu besleme sistemi tam boy kemer, yürüyen bir bant veya uzunlamasına bir helezonla olmaktadır. Bu sistemlerde malzemeler, oluk içerisinde dağıtıcıların ağzına dökülür ve buradan da malzeme yola serpilir [30].

Kamyon arkasına monte edilen dağıtıcı sisteminde, malzemeyi tankın içerisine dökabilen hidrolik bir makine vardır. Bu makine, küçük bir silo, besleyici helezon mekanizması, hidrolik basınç sistemi ve dağıtıcı dönen bir diskten meydana gelmektedir [30].

Malzeme dağıtılmasına etkiyen faktörler şunlardır;

- Dağıtıcı altındaki döküm kapağının alanı ve deponun yükleme oranı.
- Besleme bölgesi veya helezon hızı

- Kamyon hızı

Malzeme giriş yerinin yüksekliği sabitlenmiştir ve malzeme dağıtımı sırasında yükseklik değişmez. Dağıtım hızını kontrol etmek için, kamyon hızı ile dağıtıcı hızının uyum içinde olması gerekmektedir [30].

#### 4.5. Sıvı Kimyasal Malzemelerin Uygulanması

Buzlanmayı önlemede, ön ıslatmalı katı kimyasallar yanında, özellikle kaplama sıcaklığının  $-5^{\circ}\text{C}$  ve altında olduğu durumlarda avantaj sağlayan bazı sıvı kimyasal buz çözücüler de kullanılmaktadır. Bu yöntemde, ön ıslatmada olduğu gibi kimyasalı üniform oranda hızlı bir şekilde kaplama üzerine serpmek amaçlanır. Diğer işlevi de kuru kaplama üzerinde buz ve karın birleşip sertleşmesini önlemektir (Şekil 4.4.). Ana amaç, kar birikmeden kuru kaplamayla teması azaltmak ya da kar ve buzu aşırı bir şekilde seyreltmeyi sağlamaktır. Böylece geleneksel yöntemlere göre önemli avantajlar sağlanacaktır [30].



Şekil 4.4. Sıvı kimyasalların uygulandığı püskürtme sistemine örnek

#### 4.6. Ön Islatma ve Malzemelerinin Gradasyonu

Ön ıslatma kuru, ıslak, karlı veya buzlu yüzeylere önceden ıslatılmış buz eritici katı bir kimyasalın, buzlanmanın önlenmesi ya da buzlanmanın çözülmesi amacıyla

uygulandığı bir yöntemdir. Bir sıvı ile katı kimyasal karıştırıldığında, katı kimyasal parçacıkları yoğunluklarını artıran bir miktar sıvıyı emerler. Sıvı aynı zamanda kimyasalı sarmalar, yumuşatır ve kimyasal parçacıklarını çözmeye baslar, bunun ardından ıslatılmış malzeme yola tatbik edilebilir. Islak katı kimyasal yol yüzeyinde daha iyi kalır [28].

Tuz, ön ıslatmada yaygın olarak kullanılmaktadır. Nemlendirme için suyla veya tuz çözeltileriyle ıslatılır. Ön ıslatma yapıldığı zaman, ıslak tuz yolda daha az sıçrama eğilimi gösterir veya sürüntü ile daha az yer değiştirir. Bu nedenden dolayı tuz kayıpları %20 ile %30 oranında azalır [27]. Ön ıslatma, düşük uygulama maliyetleri, daha az emek, daha az tuz kullanımı ile zaman kayıplarını önleyen bir yöntem olarak karsımıza çıkmaktadır [39].

Sıvı buz çözücü kimyasallar da, ön ıslatmada kullanılabilir. Örneğin sıvı kalsiyum klorür oldukça fazla kullanılanlar arasındadır. Uygulamada her m<sup>3</sup> tuza 26,7 lt ile 44,5 lt arasında sıvı kalsiyum klorür karıştırılmaktadır. Sıvı kalsiyum klorür katılarak buz eritmede ekstra bir etki oluşturmaktadır [28].

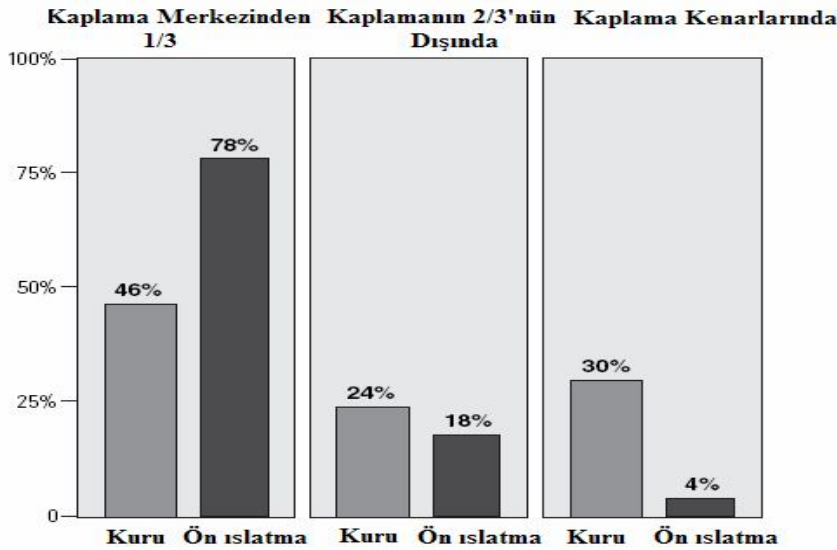
Buz önlemede kullanılan parçacık büyüklükleri, ön ıslatma yöntemi için kullanılan gradasyona uygun değildir. Ön ıslatma yönteminde amaç, katı parçacığın en hızlı şekilde yol yüzeyindeki kar ya da buzun içine girmesidir. Büyük bir parçacık daha fazla bir ağırlığa sahiptir ve bu aşamada parçacığın ağırlığı daha etkili olmaktadır. Buzlanmayı önleme uygulamalarında, parçacık büyüklüğü ya da parçacık ağırlığı bir avantaj değildir [30].

#### **4.6.1. Ön ıslatmalı malzeme; tuz ve aşındırıcılar**

Tuzu önceden ıslatma yöntemi 1960'lardan beri kullanılmaktadır. Bu yöntemin en önemli avantajları aşağıda verilmiştir [28];

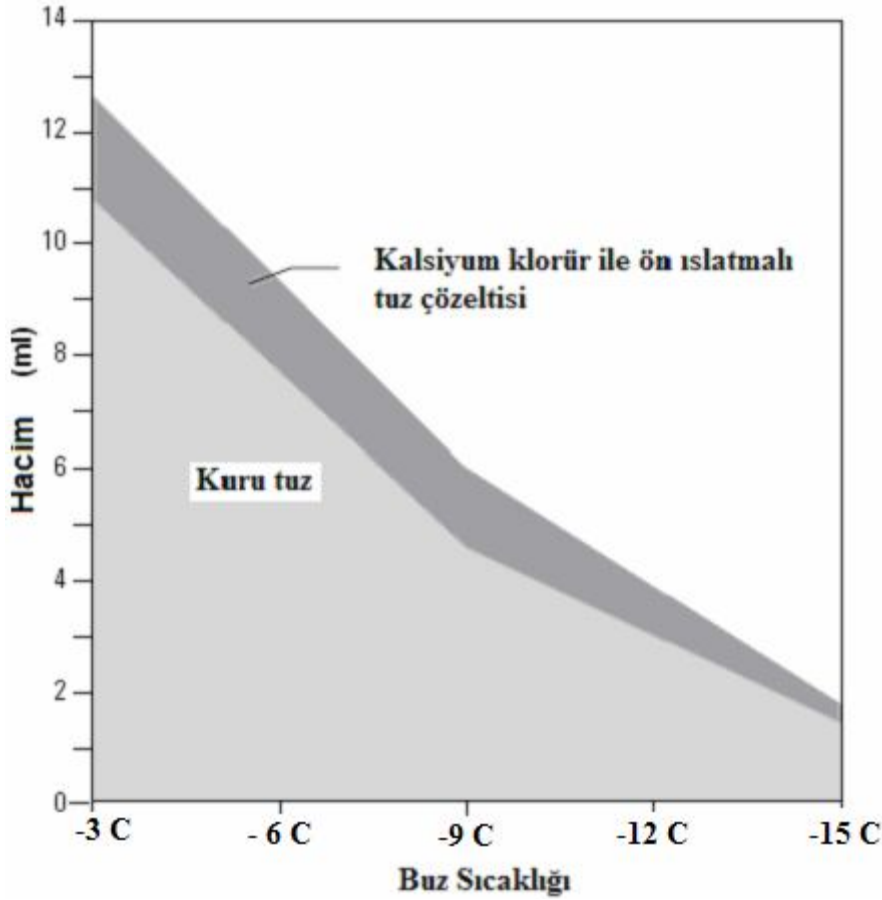
- Saçılmadan ya da sekmeden kaynaklı tuz kayıplarını %30'lara varan oranda azaltır (Şekil 4.5.).

- Tuzun daha etkili olması için ortamda nem olması gerekmektedir. Tuzun, buz sathı üzerinde nemlenmesinin uzun sürmesinden dolayı önceden ıslatılarak buz eritmesi hızlandırılmaktadır.
- Önceden ıslatılmış tuzun kuru tuza oranla, kar ve buz yığınının içine girişi ve hareketi kolaydır.
- Diğer buz eritici sıvı kimyasallarla ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ , CMA gibi) birlikte ıslatıldığında düşük sıcaklıklarda erimenin gerçekleşmesi sağlanır.
- Parçaların yol yüzeyine daha sıkı tutunmasını sağlar.



Şekil 4.5. Kaplama yüzeyinde tuz dağılımı

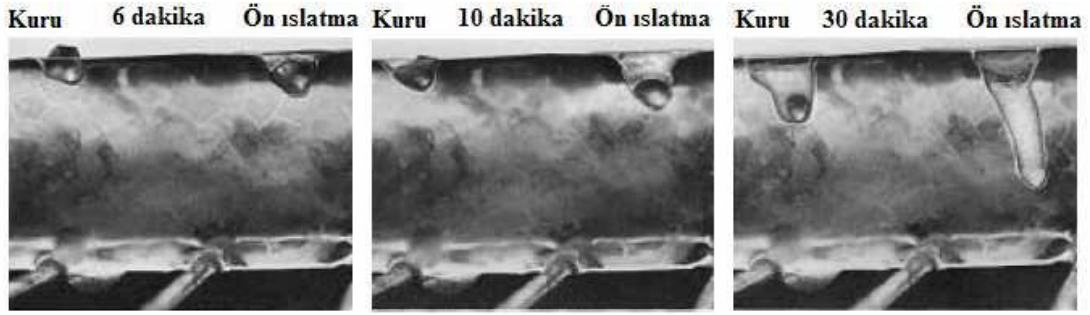
Herhangi bir buz eritici sıvı kimyasal önceden ıslatma yönteminde kullanılabilir. Ön ıslatma yönteminde tuz çözeltisi, kalsiyum klorür, magnezyum klorür ve klorürlü karışımlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Düşük sıcaklıklarda etkili olan kimyasallar tuzla karıştırıldığında, tuzun etkinliğinin daha da artmasını sağlamaktadır. Sıcaklık düştükçe kuru tuz ve önceden ıslatılmış tuzun erime etkinliği azalmaktadır ve  $-12^{\circ}\text{C}$ 'nin altında neredeyse eritmeye hiç yararı yoktur. Şekil 4.6'de önceden kalsiyum klorür ıslatılmış ile kuru tuz arasındaki fark gösterilmektedir [28].



Şekil 4.6. Önceden ıslatılmış kalsiyum klorür ile kuru tuz arasındaki fark

Tuzun ön ıslatmasında genellikle, tuzun tonu başına 30-45 litre arası sıvı kullanılmaktadır. Ön ıslatmada, püskürtücü kamyonlara yüklemek suretiyle stoklama yapılır ve yol yüzeyine püskürtme yapılması ile uygulanır. Ön ıslatma daha az ekipman gerektirir ve bunun yanında yöntemin uygulaması da kolaydır [28].

Sıvı kalsiyum klorür ile ön ıslatma yapılmış tuzun performansı, kuru tuzdan daha iyidir. Erime olayı, tuzun asfalt ile buz arasındaki bağı gevşetmesiyle gerçekleşir ve sonrasında mekanik olarak müdahale edilerek buz kaldırılmalıdır. Kuru tuz ile ön ıslatmalı kalsiyum klorür tuzunun, belli zaman içerisinde yaptığı etkiler gözle görülecek kadar açıktır. Şekil 4.7 zamana ve sıcaklığa bağlı kuru tuz ile ön ıslatmalı tuz arasındaki farkı göstermektedir [38].



Şekil 4.7. Kuru tuz ile ön ıslatmalı tuzun buzda bıraktığı izler

Kaplama üzerinde daha kalıcı olmaları için kum ve diğer aşındırıcılara da ön ıslatma uygulanabilmektedir. Aşındırıcıların önceden ıslatılmasında, her bir ton aşındırıcı başına 37,8 lt ile 113,5 lt arasında sıvı kimyasal uygulanmaktadır. Ön ıslatma uygulanan kum, kamyonlardan daha hızlı yayılabilmektedir. Araştırmalar, ön ıslatma için sıcak su kullanılmasının daha iyi sonuç vereceğini ifade etmektedirler [28].

## **BÖLÜM 5. MATERYAL VE METOT**

### **5.1. Materyal**

Bu çalışmada, beton yol yüzeyleri tekrarlı donma çözünme sonucu meydana gelen tahribatlara bakılmış, numunelere 0,30, 0,40 ve 0,50 W/C oranları uygulanarak, karışımların bir kısmına %1 akışkanlaştırıcı, %0,1 hava sürükleyici katkı maddeleri katılarak deneye tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler öncesi ve sonrası malzeme kayıplarını tespit edebilmek için ağırlıkları ölçülmüştür. Deney sonrasında bulunan dayanım ve ultrasonik hız değerleri karşılaştırılarak numuneler üzerinde ne türlü etkiler oluşturduğu tespit edilmeye çalışılmıştır.

Deney çalışmaları için, 10x10x10 cm boyutlarında küp kalıplar kullanılmıştır. Bu numunelerin yapımında plywood kullanılmıştır. Beton numunelere yüzey havuzu oluşturulmuştur. Sızdırmazlık için çevre şartlarına dayanıklı silikon kullanılmıştır. Beton numune yüzeyi dışında kalan kısımların donmaya karşı direk temasa geçmemesi için çuval kaplanmıştır. Donma olayını gerçekleştirmek için 200lt.‘ lik derin dondurucu kullanılmıştır. Dondurucu içerisindeki sıcaklığı tespit etmek için dijital göstergeli derece ölçer kullanılmıştır. Boşluk oranını tespit etmek için ultrasonik hız cihazı kullanılmıştır. Donmuş numunelerin içerisindeki kılcal boşluklardaki buzları eritmek için etüv kullanılmıştır. Beton numunelerin basınç dayanım değerlerini bulmak için elektronik basınç test makinesi kullanılmıştır.

### **5.2. Metot**

Beton yol numunelerinin donma çözünmeye karşı verdiği tepki, basınç dayanımları ve boşluk oranlarının değerlendirilmesinde aşağıda sıralanan adımlar gerçekleştirilmiştir.

- 10x10x10 küp numuneler elde etmek için 3'erli gruplar halinde pylwood malzemesinden imal edilip kalıpların hazırlanması.
- W/C oranları 0,30, 0,40, 0,50 olan karışımların katkılı ve katkısız olarak hazırlanması.
- Numunelerin kür havuzunda 28 gün bekletilmesi.
- Elde edilen numuneleri 3'lü gruplar halinde birleştirilip, yüzey havuzu elde edilmesi.
- Numuneleri tekrarlı donma-çözünmeye maruz bırakarak meydana gelen tahribatların karşılaştırılması.
- Deney öncesi ve sonrası numunelere ultrasonik hız ölçümü yapılarak sonuçların karşılaştırılması.
- Basınç test makinesi ile yapılan deneyler sonucunda, numunelerin basınç dayanım değerlerinin karşılaştırılması.

### 5.2.1. Malzemeler ve ekipmanlar

- Agreka : TS 706 EN 12620'ye uygun doğal kum, kırma taş.

- Çimento : TS EN 197-1:2002 CEM IV/B (P) 32.5 R

Standartlarında tanımlanmış oranda (en çok % 55) mineral katkı maddeleri ( puzolan ) ile portland çimentosu klinkerinin belirli miktarda priz düzenleyici (alçıtışı) ile beraber öğütülmesi sonucu elde edilen; suyla karıştırıldıktan bir süre sonra donarak dayanım kazanan üründür.

Portland çimento (CEM I 42,5 R ve CEM I 52,5 N) ile portland puzolanlı çimentoya (CEM II/A-P 42,5 R) göre daha geç dayanım kazanır. Su/çimento oranları da göreceli olarak daha yüksektir. Alkali-agrega reaksiyonuna ve kimyasal dış etkilere karşı daha dayanıklıdır. Genel olarak yapılarda tamirat işlerinde, sıva yapımı ve yapı kimyasalları üretiminde kullanılır.

- Su : Sakarya şebeke suyu.

- Hava sürükleyici : Sika® Aer. ASTM C 260 standardına ve TS EN 934-2 uygundur. Kullanıma hazır, yüksek oranda konsantre hava sürükleyici beton katkısıdır. Etkinliği doğru boyutlarda ve düzgün dağılmış çok miktarda hava gözeneklerinden kaynaklanmaktadır.



- Akışkanlaştırıcı : Sikament® F-05, yüksek oranda su azaltıcı ve süper akışkanlaştırıcı özellik sağlayan beton katkıdır. TS EN 934-2 standardı özelliklerine uygundur.
- Kalıp : 7 katmanlı ara reçine ile yapıştırılmış plywood.
- Karıştırıcı mikser : Laboratuvar koşullarında taze beton numunesinin (ıslak ve kuru malzemelerin) sürekli ve etkin olarak karıştırılmasını sağlamak amaçlıdır.
- Hassas terazi : gr 10<sup>-1</sup> hassasitetinde terazi.
- Derin dondurucu : Vestel FC 200 sandık tipi derin dondurucu (200 lt.).
- Tuz : Salamura tuzu (NaCl, sodyumklorun)
- Basınç test makinası : Bilgisayar kontrollü tam otomatik 200 ton (2000kN) ve 300 ton (3000kN) kapasiteli beton test presinin çelik gövdesi minimum deformasyon sağlaması amacıyla yüksek mekanik dayanıklılığa sahiptir ve sürekli kullanıma uygundur.
- Etüv : EN 932-5, ASTM C127, BS 1377 standartlarına uygundur. Genel kullanım amaçlı laboratuvar fırınları zemin, agrega, beton ve asfalt testi uygulamaları amaçlı kullanılmaktadır. Numuneler genelde 60°C ile 200°C arasında kurtulmakta ve en sık kullanılan sıcaklık aralığı ise 100°C - 110°C, ±5°C 'dir.
- Ultrasonik Test Cihazı : Ultrasonic pulslar vasıtası ile malzeme karakteristiklerini ölçer (µs).
- Dijital sıcaklık ölçüm cihazı : -45°C, +45°C'dir

### 5.2.2. Beton karışımlarının hazırlanması

Beton yollarda W/C oranının önemi büyük olduğu anlaşılmış ve bu sebeple, örnek numunelerimiz için 0,30-0,40-0,50 W/C oranına sahip beton üreterek, bu numuneler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Hazırlanan numunelerin çeşit ve adetleri Tablo 5.1 de belirtilmiştir.

Tablo 5.1. Numune çeşit ve adetleri

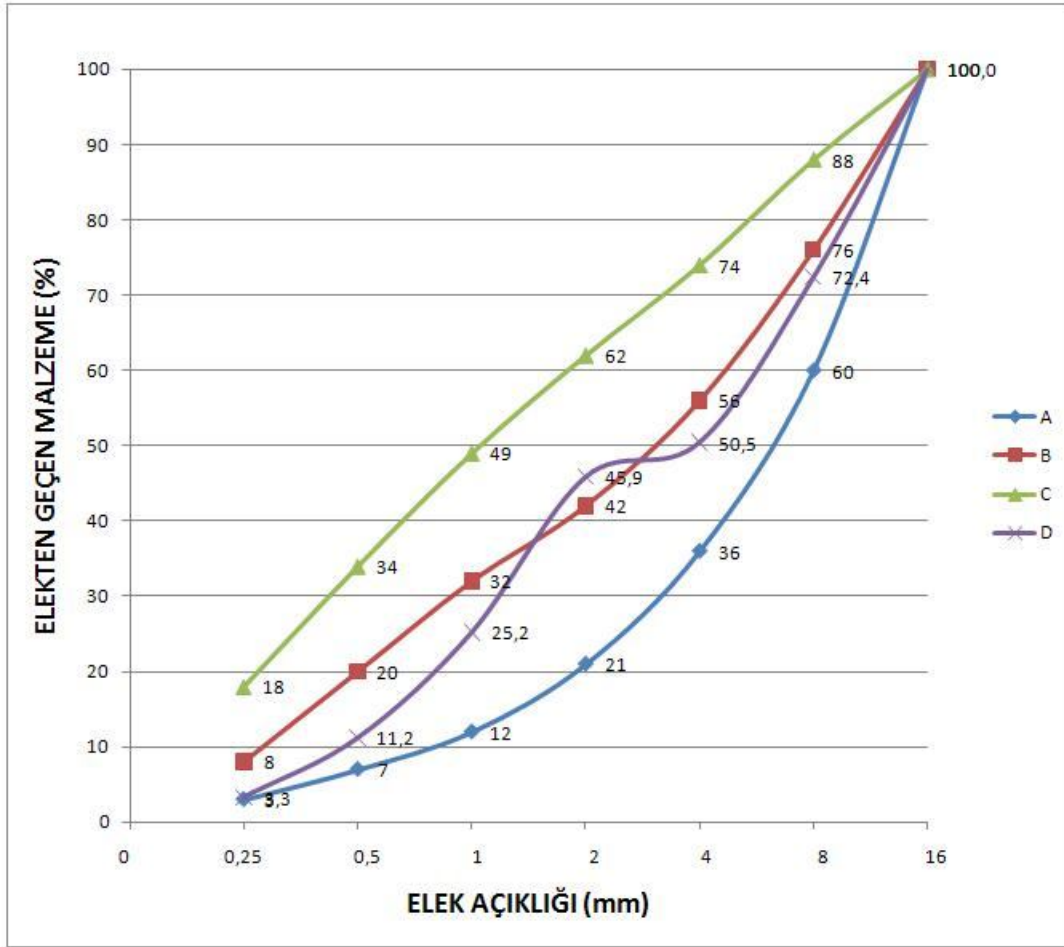
W/C katkı	0,30	0,40	0,50
<b>Katkısız</b>	6	6	6
<b>Akışkanlaştırıcı (%1)</b>	6	6	6
<b>Akış. + Hava sürükleyici (%0,1)</b>	6	6	6

Farklı karışım oranları ve katkılı olarak her birinden 6'şar adet olmak üzere toplamda 54 numune üretilmiştir.

Deney çalışmasında kullandığımız agregalara ait elek analizi Tablo 5.2'deki gibi bulunmuştur.

Tablo 5.2. Kullanılan malzeme elek analizi

MALZEME	KUM			1 NOLU		
KAYNAK				7-15 TAŞOCAĞI KIRMA		
AĞIRLIK(gr)	228			1776		
NUMUNE TANIMI						
ELEKLER	KÜM. KALAN(gr)	% KALAN	% GEÇEN	KÜM. KALAN(gr)	% KALAN	% GEÇEN
16		0,0	100,0		0,0	100,0
8		0,0	100,0	980,0	55,2	44,8
4		0,0	100,0	780,0	43,9	0,9
2	19,0	8,3	91,7	15,0	0,8	0,1
1	94,0	41,2	50,4	1,0	0,1	0,0
0,5	64,0	28,1	22,4		0,0	0,0
0,25	36,0	15,8	6,6		0,0	0,0
0,125	15,0	6,6	0,0		0,0	0,0
TOPLAM	228,0	100,0		1776,0	100,0	
İNCELİK MOD.			3,3	İNCELİK MOD.		6,5



Şekil 5.1. Elekten geçen malzeme grafiği

Grafikte mor çizgiden oluşan D eğrisi mevcut dağılım olup, A-B eğrileri arası ise, ulaşılmaması gereken ideal dağılımı gösterilmiştir (Bkz. Şekil 5.1.).

TS 802 Beton Teknik Şartnamesine göre üretilen 0,30-0,40-0,50 W/C oranına sahip  $1\text{m}^3$  ve kullanacağımız miktardaki  $18\text{dm}^3$  beton için, karışım miktarları Tablo 5.3, Tablo 5.4, Tablo 5.5' te verilmiştir.

Tablo 5.3. W/C 0,30 için karışım miktarları

Malzeme	1000 dm <sup>3</sup> için	18 dm <sup>3</sup> için
Çimento	500,00	9,00
Su	150,00	2,70
Kum	894,54	16,10
1 Nolu Agregası	894,54	16,10
Toplam	2439,09	43,90
Katkı (çimento ağırlığının)	1,00%	1,00%
Akışkanlaştırıcı katkı (gr)	5000	90
Katkı (çimento ağırlığının)	0,10%	0,10%
Hava sürükleyici katkı (gr)	500	9

Tablo 5.4. W/C 0,40 için karışım miktarları

Malzeme	1000 dm <sup>3</sup> için	18 dm <sup>3</sup> için
Çimento	375,00	6,75
Su	150,00	2,70
Kum	947,92	17,06
1 Nolu Agregası	947,92	17,06
Toplam	2420,84	43,58
Katkı (çimento ağırlığının)	1,00%	1,00%
Akışkanlaştırıcı katkı (gr)	3750	68
Katkı (çimento ağırlığının)	0,10%	0,10%
Hava sürükleyici katkı (gr)	375	7

Tablo 5.5. W/C 0,50 için karışım miktarları

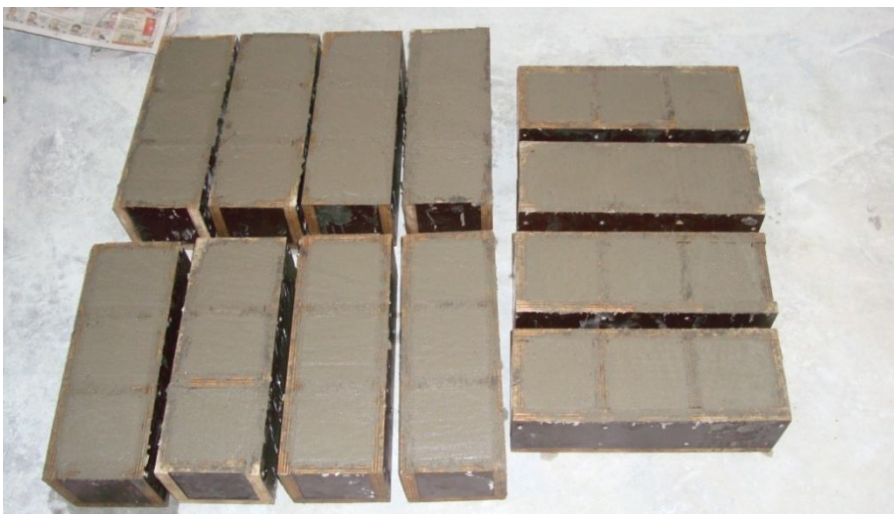
Malzeme	1000 dm <sup>3</sup> için	18 dm <sup>3</sup> için
Çimento	300,00	5,40
Su	150,00	2,70
Kum	979,95	17,64
1 Nolu Agregası	979,95	17,64
Toplam	2409,89	43,38
Katkı (çimento ağırlığının)	1,00%	1,00%
Akışkanlaştırıcı katkı (gr)	3000	54
Katkı (çimento ağırlığının)	0,10%	0,10%
Hava sürükleyici katkı (gr)	300	5

### 5.2.3. Deney numunelerinin elde edilmesi

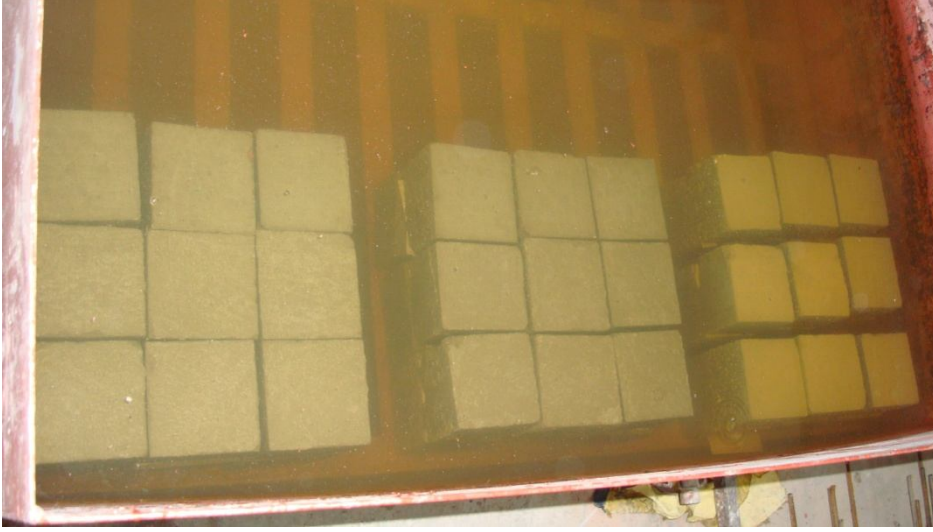
Beton karışımı için kullanacağımız agrega, kum, çimento, su ve katkı maddeleri hesaplandığı miktarlarda tartılarak beton mikseri ile karıştırılmıştır (Bkz. Şekil 5.2.). Beton karışımını, önceden hazırladığımız kalıplara Şekil 5.3'teki gibi boşluk kalmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Bir gün kalıpta bekletildikten sonra numuneler çıkartılıp Şekil 5.4'te görüldüğü gibi 28 gün beklemek üzere kür havuzuna bırakılmıştır.



Şekil 5.2. Karışım için malzemelerin tartılarak hazırlanması



Şekil 5.3. Karışımın kalıplara yerleştirilmesi



Şekil 5.4. Numunelerin kür havuzuna yerleştirilmesi

Havuzdan çıkartılan numuneler eş tipteki 3'lü gruplar halinde bitiştirilip yüzey havuzu elde etmek için çevrelerine Şekil 5.5'te ki gibi ahşaplar ile çerçevelenmiş ve su sızmaması için izolasyon malzemesi kullanıp kurulanmıştır. Su sızdırmazlığı kesinleşince donmaya direk tesir etmemesi için yüzey haricindeki kalan kısımları çuval kaplanmıştır (Bkz. Şekil 5.5.).



Şekil 5.5. Numunelerin gruplar halinde yüzey havuzu elde edilmesi ve çuval kaplanması

#### 5.2.4. Donma-çözülme deneyinin yapılışı

Bu deneyde amacımız tekrarlı donma çözülmede numunelerin nasıl tepki verdiği ve yüzey tahribatının ne oranda meydana geldiğini tespit etmektir.

Hazırlanan numuneler 200lt.'lik derin dondurucu içine yerleştirmek için ahşaptan 3 katlı bir raf sistemi yapılmıştır. Hazırladığımız 9 grup numuneyi her katta 3 grup olacak şekilde derin dondurucuya yerleştirilmiştir (Bkz. Şekil 5.6.). Sıcaklık 20°C'ye gelinceye kadar dolapta bekletilmiştir. Bu süre içerisinde dolapta su bırakarak donması sağlandı. Elde edilen buz parçalanarak kar haline getirilmiştir (Bkz. Şekil 5.8.). Numuneler istenilen sıcaklığa gelince dolaptan çıkarılarak oda sıcaklığında 1 cm kalınlığında kar tabakası oluşacak şekilde buz parçalarını numune yüzeylere serilmiştir. Numuneler tekrar dolaba yerleştirilerek istenilen sıcaklığa ulaşmaya kadar bekletilmiştir. İstenilen sıcaklıkta numuneler çıkartılmış ve her numune grubunun üzerine 50gr tuz serpik erimeye bırakılmıştır. Donma 2 saat, erime bir saat olmak üzere periyodik olarak 20 tekrar yapıldı. 4 tekrarda bir yüzey tahribatları oran olarak deney raporlarına not edilmiştir.



Şekil 5.6. Derin dondurucu ve numunelerin derin dondurucu içindeki görüntüsü



Şekil 5.7. Dijital derece ölçer



Şekil 5.8. Buzların parçalanarak kar haline getirilmesi

Her erime safhasında tuzun tamamının erimesine dikkat edilmiştir. Erime bittikten sonra yüzey iyice temizlenerek işlemi başa alıp numuneler dolaba soğumaya bırakılmıştır. Numunelerin donmaya ve çözünmeye bırakılmış halleri Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'de gösterilmektedir.



Şekil 5.9. Derin dondurucunun içindeki numunelerin görüntüsü (alt ve üst kak)





Şekil 5.10. Derin dondurucudan çıkartılan numuneler tuz serpilerek erimeye bırakılmış hali

Numuneler 20 tekrardan sonra temizlenmiş ve birleştirmelerden ayrılarak bağımsız numuneler haline getirilmiştir. Küp numunelerin kılcal boşluklarda kalan suların buharlaşmaya kadar etüvde bekletilmiştir. Şahit ve asıl numuneler tartıldı ve ağırlıkları not edilmiştir. Donma çözünme deneyi sonrasında yüzey tahribatları Şekil 5.11, Şekil 5.12’de detaylı olarak görülmektedir.



Şekil 5.11. Etüvün dış ve iç görüntüsü



Şekil 5.12. Etüv kurusu numuneler

### 5.2.5. Numunelere Ultrasonik Hız Deneyi uygulanması

Ultrasonik hız metodu, beton içerisinden geçen ultrasonik dalganın, geçme hızını ölçmekten ibarettir. Hızın hareket zamanı, elektronik olarak ölçülür. Algılayıcılar arasındaki uzaklık hareket zamanına bölündüğünde dalga ilerlemesinin ortalama hızı elde edilir. Ultrasonik ses cihazı Şekil 5.13’de gösterilmiştir.



Şekil 5.13. Ultrasonik Test Cihazı

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

Şahit ve asıl numuneler ultrasonik hız deneyine tabi tutularak, çıkan sonuçlar arasında karşılaştırma yapılmıştır. Bu sonuçlar bize beton içerisindeki boşluklar ve beton kalitesi hakkında önemli bilgiler vermektedir.

### 5.2.6. Numunelere Basınç Deneyi Uygulanması

Ultrasonik hız deneyinden sonra numuneler basınç deneyine tabi tutulmuştur. Alınan sonuçları değerlendirerek, karşılaştırma yapılmıştır. Buradaki amaç donma çözülme sonrasında betonda nasıl dayanım kayıpları meydana geldiğini ölçüt olarak değerlendirmektir. Kullanılan basınç makinesinin görüntüsü Şekil 5.14'de gösterilmektedir.



Şekil 5.14. Bilgisayar kontrollü basınç test makinesi

## BÖLÜM 6. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Giriş bölümünde açıklandığı gibi deneysel araştırmamız da betonlar da donma etkisinin çözdürücü tuz kullanılması halinde nasıl geliştiği, bu gelişme üzerinde betona ait özelliklerin nasıl rol oynadığı araştırılmıştır. Hasar kriteri olarak tahribatsız yolla ölçülen ultrasonik hız değerleri donma-çözünme tekrarına göre değişimi ve yirmi tekrardan sonra betonun yüzey tahribatı ve basınç mukavemetlerindeki azalma miktarları ölçüt olarak düşünülmüştür.

Deney sonuçlarına dayanarak ve beton karakteristikleri dikkate alınarak elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir.

### 6.1. Donma Çözülme Deneyinin Sonuç Değerlendirmesi

Tablo 6.1. Katkısız numunelerin deney öncesi, sonrası ağırlıkları ve malzeme kayıp oranları

W/C	Deney öncesi ağr. (kg)	Deney sonrası ağr. (kg)	Malzeme kaybı (kg)	Malzeme kaybı oranı (%)
0,30	2,27	2,03	0,24	10,44
0,40	2,28	2,09	0,19	8,20
0,50	2,23	1,99	0,24	10,76

Tablo 6.2. Akışkanlaştırıcı katkıli numunelerin deney öncesi, sonrası ağırlıkları ve malzeme kayıp oranları

W/C	Deney öncesi ağr. (kg)	Deney sonrası ağr. (kg)	Malzeme kaybı (kg)	Malzeme kayıp oranı (%)
0,30	2,21	2,04	0,17	7,69
0,40	2,22	2,08	0,14	6,31
0,50	2,21	2,04	0,17	7,55

Tablo 6.3. Hava sürükleyici ve akışkanlaştırıcı katkıli numunelerin deney öncesi, sonrası ağırlıkları ve malzeme kayıp oranları

W/C	Deney öncesi ağr. (kg)	Deney sonrası ağr. (kg)	Malzeme kaybı (kg)	Malzeme kayıp oranı (%)
0,30	2,29	2,23	0,06	2,48
0,40	2,21	2,14	0,07	3,17
0,50	2,16	2,05	0,11	5,09



Şekil 6.1. Katkısız numunelerin etüvden çıktıktan sonraki yüzey görüntüleri



Şekil 6.2. Akışkanlaştırıcı katkılı numunelerin etüvden çıktıktan sonraki yüzey görüntüleri

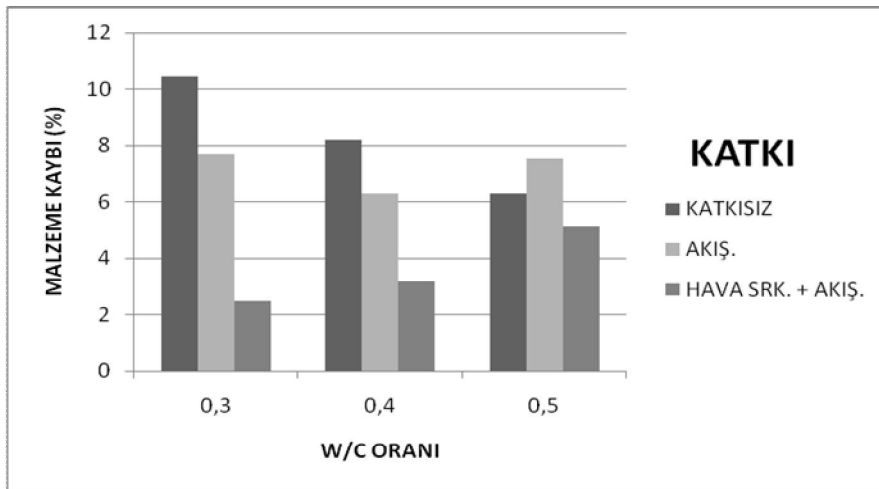


Şekil 6.3. Akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici katkılı numunelerin etüvden çıktıktan sonraki yüzey görüntüleri

Donma çözülme deneyi sonrası numunelerde meydana gelen tahribatlar Şekil 6.1., Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te görülmektedir. Kütleli kayıplar ise Tablo 6.1, Tablo 6.2 ve Tablo 6.3'te gösterilmiştir.

### 6.1.1. Katkısız numunelerin değerlendirilmesi

Yüzey tahribat olarak, katkısız numunelerden W/C oranı 0,30 ve 0,40 olanları tekrar sayısı ile orantılı olarak ve 20 tekrar sonunda %8-10 oranında tahrip olmuşlardır. W/C oranı 0,50 olan numunelerimiz ise ilk tekrarlar sonrasında az miktarda tahrip olmuşlar ve uzun süre bu oranı korumuşlardır. 20 tekrar sonrasında yüzey tahribat oranını %6 olarak tamamlayarak katkısız numuneler içinde en az tahrip oranına ulaşmıştır. Fakat numuneleri fiziki yapısı açısından incelediğimizde büyük çaplı parçalanmalar ve malzeme bütününde önemli kırılmalar meydana gelmiştir (Bkz. Şekil 6.4.).



Şekil 6.4. Numunelerin tekrarlı donma-çözülmeden sonra malzeme kayıp oranları

### 6.1.2. Akışkanlaştırıcı katkıli numunelerin değerlendirilmesi

Akışkanlaştırıcı katkıli numunelerde bu oranlar katkısız olan numunelere göre biraz daha azdır. W/C oranı 0,50 oran numuneler diğer orana sahip olan numunelere göre daha kötü sonuç vermiştir. Buradan da anlaşılacağı gibi akışkanlaştırıcı, numuneyi yüzey tahribat açısından olumsuz etkilemektedir. Ama büyük çaplı kırılmaları azda

olsa önlemektedir. Burada betonun iyi yerleştirilmesi büyük önem arz etmektedir (Bkz. Şekil 6.4.).

### **6.1.3. Hava sürükleyici ve akışkanlaştırıcı katkı numunelerin değerlendirilmesi**

Hava sürükleyici ile beraber akışkanlaştırıcı kullandığımız numunelerde diğer numunelere nazaran daha ilginç sonuçlar vermiştir. 4 ve 8 tekrar sonuçlarına baktığımızda yüzey tahribat oranları yüksek olmasına rağmen sonraki tekrarlar sonrasında bu oranın korunduğu ya da kısmi artışlar gözlenmiştir. Fakat 0,50 W/C oranına sahip numunelerimiz doğru orantılı olarak tahribata devam etmiştir. 20 tekrar sonucunda malzeme kaybı oran %5'e ulaşmasına rağmen yüzeydeki malzeme kaybı homojen olması ve büyük parçalanmalar olmaması yüzeyin işleyişini yitirmediğine kanaat getirilmiştir (Bkz. Şekil 6.4.).

### **6.1.4. Genel değerlendirme**

Bütün numuneler içerisinde en iyi sonucu hava sürükleyici ile beraber akışkanlaştırıcı kullandığımız, 0,30 ve 0,40 W/C oranına sahip numuneler vermiştir. Başlangıçta tahribat meydana geldiği fakat 20 tekrarın sonunda malzeme kaybı %3'e ulaşmıştır.

Bu deneyde anlaşılmıştır ki buz çözücü tuzun etkisinin aksine donma çözünmenin tekrarlı bir şekilde oluşması elde ettiğimiz yol betonlarına daha fazla zarar vermektedir.

## **6.2. Ultrasonik Hız Deneyinin Sonuç Değerlendirmesi**

Numunelerin donma çözünme deneyinin sonrasında tamamen kurduğuna emin olduktan sonra ultrasonik hız deneyine geçilmiştir. Numunenin 6 yüzeyinin tamamına yapılacak şekilde karşılıklı olarak 3 kısımda bu deney yapılmıştır. Deney sonrası tahribatlardan dolayı bu deney 2 kısımda yapılmıştır. Çıkan sonuçlar 10cm mesafedeki  $\mu$ s süresini vermektedir. Algılayıcılar arasındaki uzaklık hareket zamanına bölüldüğünde dalga ilerlemesinin ortalama hızı elde edilir.



Bulduğumuz değerler bize beton içersindeki boşluklar hakkında değerlendirmede bulunmamızı sağlayacak. (Bkz. Tablo 6.4., Tablo 6.5.)

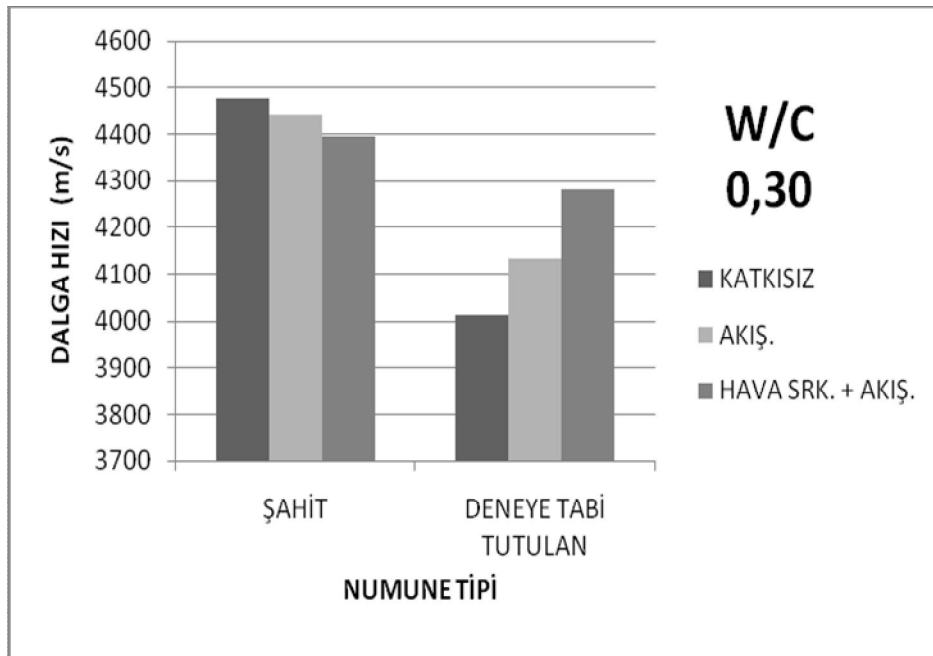
Tablo 6.4. Numunelerin deney öncesi ultrasonik hız sonuçları

W/C	KATKISIZ	AKIŞ.	HAVA + AKIŞ.
0,30	4476	4442	4394
0,40	4332	4439	4023
0,50	4302	4164	3593

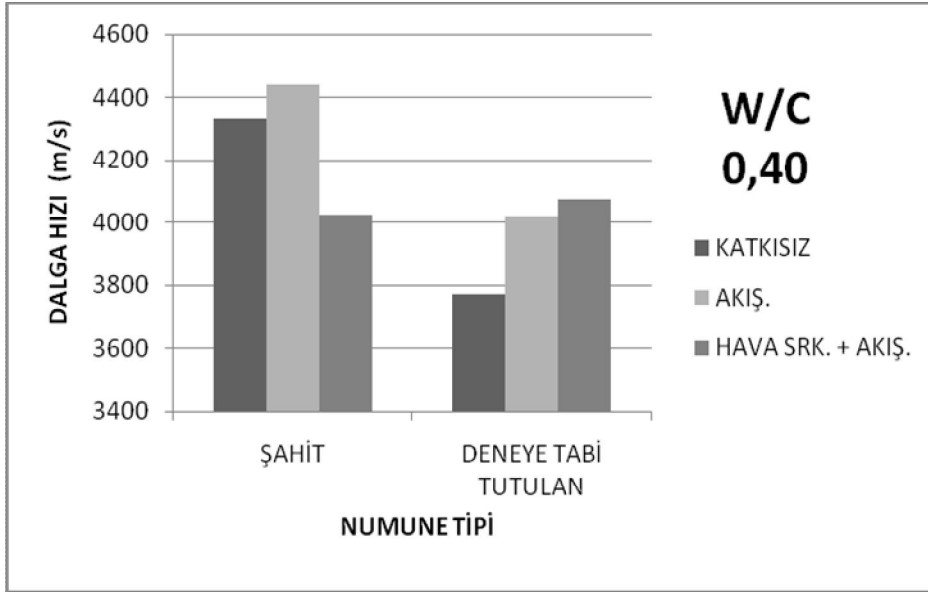
Tablo 6.5. Numunelerin deney sonrası ultrasonik hız sonuçları

W/C	KATKISIZ	AKIŞ.	HAVA + AKIŞ.
0,30	4014	4132	4280
0,40	3772	4020	4075
0,50	2976	2625	3387

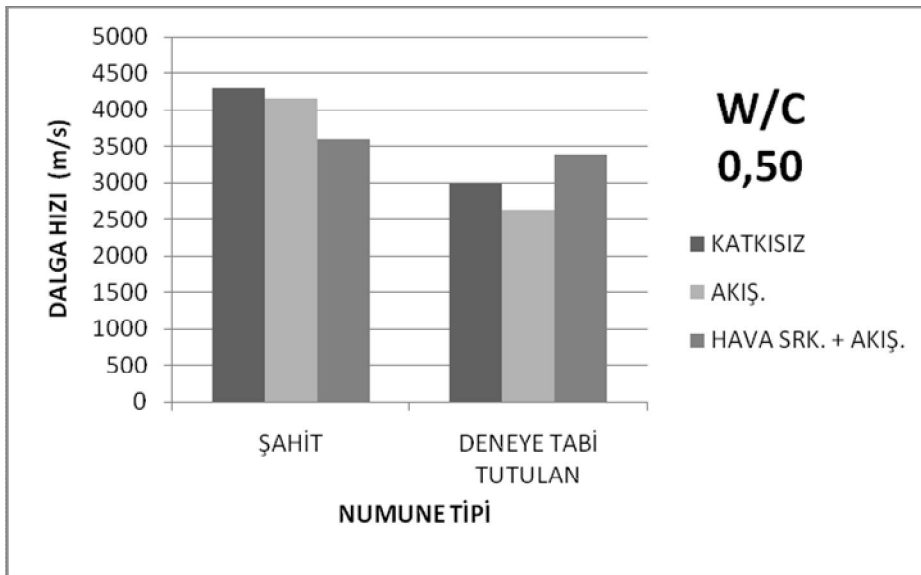
Alınan sonuçlar W/C oranlarına göre Şekil 6.5., Şekil 6.6. ve Şekil 6.7.'da grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Numunelerin deney öncesi ve sonrası dalga hız değerlerinin grafik gösterimi (W/C 0,30)



Şekil 6.6. Numunelerin deney öncesi ve sonrası dalga hız değerlerinin grafik gösterimi (W/C 0,40)



Şekil 6.7. Numunelerin deney öncesi ve sonrası dalga hız değerlerinin grafik gösterimi (W/C 0,50)

Sonuçlar incelendiğinde katkısız numunelerdeki dalga hız değerindeki azalma oranları %10-31 arasında, akışkanlaştırıcı katkıli numunelerdeki azalma oranları %7-37 arasında, akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici katkıli numunelerdeki azalma oranları ise %2-6 arasında değişmektedir.

Görüldüğü üzere akışkanlaştırıcı ve hava katkısı bulunan numunelerde başta boşluklu yapıya sahip olmalarına rağmen sürekli donma çözülme uygulandığında diğer numunelere göre daha az boşluk oranında artış olmuştur. Akışkanlaştırıcı ve hava katkısı bulunan numunelerde, W/C oranı 0,30 ve 0,50 olan numunelerde boşluk oranında artma görünürken 0,40 olan numunelerde boşluk oranında artma görülmemektedir.

### 6.3. Basınç Dayanım Deneyi Sonuçlarının Değerlendirmesi

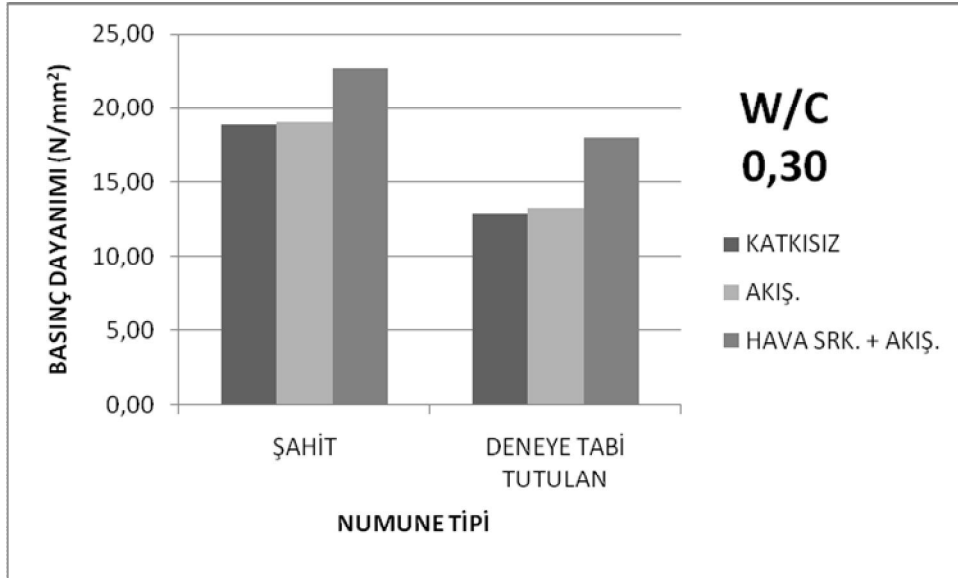
Basınç deneyi sonrasında elde ettiğimiz veriler Tablo 6.6 ve Tablo 6.7’de gösterilmiş, buna bağlı olarak oluşturulan grafikler ise Şekil 6.8, Şekil 6.9 ve Şekil 6.10’da gösterilmiştir.

Tablo 6.6. Numunelerin deney öncesi dayanım ve ağırlık sonuçları

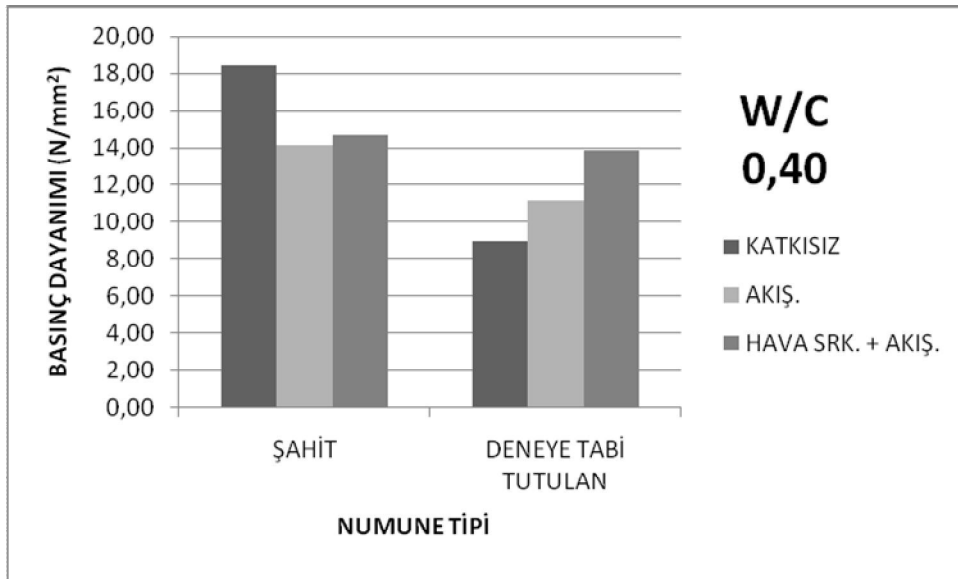
W/C		KATKISIZ	AKIŞ.	HAVA + AKIŞ.
0,30	Ağırlık (kg)	2,27	2,21	2,29
	Basınç (N/mm <sup>2</sup> )	18,86	19,08	22,64
0,40	Ağırlık (kg)	2,28	2,22	2,21
	Basınç (N/mm <sup>2</sup> )	18,40	14,11	14,67
0,50	Ağırlık (kg)	2,23	2,21	2,16
	Basınç (N/mm <sup>2</sup> )	14,66	10,38	7,25

Tablo 6.7. Numunelerin deney sonrası dayanım ve ağırlık sonuçları

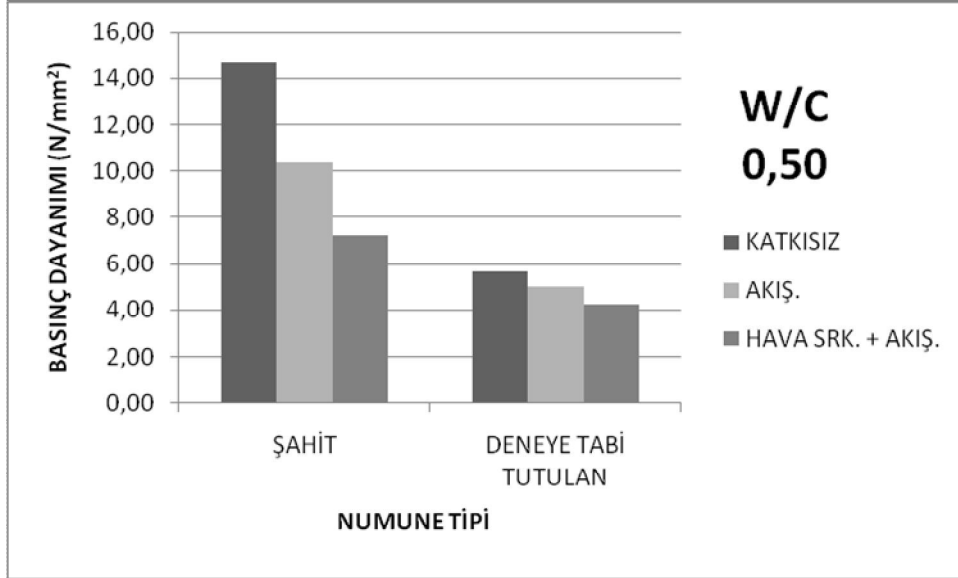
W/C		KATKISIZ	AKIŞ.	HAVA + AKIŞ.
0,30	Ağırlık (kg)	2,03	2,04	2,23
	Basınç (N/mm <sup>2</sup> )	12,80	13,31	17,98
0,40	Ağırlık (kg)	2,09	2,08	2,14
	Basınç (N/mm <sup>2</sup> )	8,98	11,17	13,84
0,50	Ağırlık (kg)	1,99	2,04	2,05
	Basınç (N/mm <sup>2</sup> )	5,66	4,99	4,25



Şekil 6.8. Numunelerin deney öncesi ve sonrası basınç dayanım değerlerinin grafik gösterimi (W/C 0,30)



Şekil 6.9. Numunelerin deney öncesi ve sonrası basınç dayanım değerlerinin grafik gösterimi (W/C 0,40)



Şekil 6.10. Numunelerin deney öncesi ve sonrası basınç dayanım değerlerinin grafik gösterimi (W/C 0,50)

Üretilen betonlarda hava sürükleyici katkı kullanılması ve betonun farklı porozetede olması, basınç mukavemetlerinin farklı değerler almasına etki eder.

W/C oranı düşük olan numunelerin mekanik dayanımlarının, W/C oranı yüksek olan numunelere oranla daha yüksek olduğu görülmüştür. W/C oranı yüksek olan numunelerin mekanik dayanımları, W/C oranı aynı ve hava sürüklenmiş betona göre daha fazladır. Fakat W/C oranı düşük olan numunelerin mekanik dayanımları, aynı W/C oranı ve hava sürüklenmiş betona göre daha azdır.

Genel olarak bakıldığında dayanım kaybı %10-65 arasında olmaktadır. W/C oranı 0,50 olan beton, donma çözülme şartlarına karşı direnci en kötü beton olarak görülmektedir. Donma çözülme şartlarına karşı en iyi direnci gösteren betonlar ise 0,40 W/C oranına sahip katkılı betonlar ve 0,30 W/C oranına sahip hava katkılı betonlardır.

## BÖLÜM 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Beton yollarda veya saha betonlarında buz çözmek için tuz kullanılmasının etkisini deneysel yolla saptamak amacı ile yapılan bu araştırmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Dona dayanıklılıkta en önemli faktör, su-çimento oranına önemli ölçüde bağlı olmaktadır. Su/çimento oranının 0,5 olması halinde tuz etkisinde donma-çözülme 20 tekrarda betonu büyük oranda tahrip etmektedir. Bundan dolayı optimum Su/Çimento oranı 0,40 mertebesinde bulunmuştur.

2. Betonun iyi yerleştirilmesi ve sıkıştırılmasının önemi bu çalışmada çok iyi anlaşılmıştır. Boşluklu hacimlerin min. düzeyde tutulabilmesi için betonun çok iyi sıkıştırılması gerekmektedir.

3. Hava sürükleyici katkı kullanılması tuzlu donma olayında da çok yararlı olmakta ve hasar %3-5 mertebesinde tutmaktadır. Hava sürükleyici katkılarda hasar ilk tekrarlarında meydana gelmekte, sonra devam etmemektedir. Donma çözünmenin sık yaşandığı bölgelerde hava sürükleyici katkılı beton kullanılması önerilmektedir.

4. Akışkanlaştırıcı katkı maddeli betona yüzey tahribatı açısından olumsuz etkilemektedir. Fakat malzeme kaybını %6-8 oranında tutarak büyük çaplı kırılmalar meydana gelmemekle birlikte dayanım olarak olumlu sonuç vermektedir.

5. Ultrasonik hız sonuçlarına baktığımızda betondaki boşluk oranı hava katkılı numunelerimizde fazla olduğu halde bu boşlukların suyun zor ulaşabileceği çok ufak

boşluklar olduğundan dolayı, mevcut suyun donma esnasında hareket edeceği hacimler bularak betonda yeni boşluklar oluşturmayarak tahribatı azaltmaktadır.

Varılan bu sonuçlar doğrultusunda donma çözülmenin sık yaşandığı bölgelerde beton yol yapımında hava sürükleyici katkı maddesinin kullanılması uygun görülmektedir. Donma çözülmenin sık olmayan bölgelerde ise düşük su/çimento oranı kullanarak betonun iyi bir şekilde yerleşmesi için silindirle sıkıştırma yöntemi ile hem dayanıklı hem de katkısız beton yol üretmek mümkündür.

Betonu oluşturan malzemeler olan kum, agrega ve çimento ülkemizde yerli kaynak olarak bulunmaktadır. Bu tür çalışmaların devam etmesiyle beton yollardaki ön yargıyı yok edip yüzde yüz yerli malzemeler ile beton yol üretmek mümkündür.

## KAYNAKLAR

- [1] ROWERS, T.C., The mechanism of frost action in concrete (Stanton Walker Lecture 1965, University of Maryland). Cement, Lime and Gravel : 5, pp. 143-148 and 6, pp. 181-185, 1966
- [2] VERBECK, G., Porc structure, ASTM Spec. Techn. Publication No 169-A, pp. 211-219, Washington, D.C., 1966
- [3] NEVILLE, A.M., Properties of concrete. Sir Isaac Pitman and Sons Ltd., pp. 352, London 1963
- [4] BERNATZIK, W., Baugrund und Physik, 1947
- [5] VUORINEN, J., On use of dilation factor and degree of saturation in testing concrete for frost resistance, nr1, p. 37-61, Nordisk Betong, 1970
- [6] TABER, S., Frost heaving J. Geol. 37, pp. 427-517 1929
- [7] TABER, S., Freezing and thawing of soils as factors in the destruction of road pavements, Public Roads 11, pp. 113 1930
- [8] NERENST, P., Frost action in Concrete. Fourth International Symposium on the Chemistry of Cement, Washington, 1960
- [9] KÖGLER, F., SCHNELDIG, A., Baugrund und Bauwerk Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1948
- [10] NERENST, P., RASTRUP, E., IDORN, D.M., Winter concreting. The Danish National Institute of Building Research Direction No 17, pp.108, Copenhagen, 1953
- [11] COLLINS, A.R., The destruction of concrete by frost. J. Inst. Civil Engrs. paper No 5412. pp 29-41, London, 1944
- [12] ROWERS, T.C., A working hypothesis for further studies of frost resistance of concrete, Proc. Am. Concrete Inst. 41, 245-272; Discussion, pp. 272, 1-20 Detroit, Feb. 1945



- [13] ROWERS, T.C., HELMUTH, R.A., Theory of Volume Changes in Hardened Portland-Cement Paste During Freezing. Proceedings, Highway Research Board, V. 32,. pp. 285-297, 1953
- [14] CORDON, W.A., Freezing and Thawing of Concrete Mechanisms and Control, ACI Monograph No 3. 1967
- [15] WOODS, H., Observations on the resistance of concrete to freezing and thawing, J. Am. Concrete Inst. 51, No: 4, p. 345-349 Research and Develop. Labs. Portland Cement-Ass. Research Dept. Bull 67, Dec. 1954
- [16] ROWERS, T.C., BROWNYARD, T.L., Studies of the physical properties of hardened portland cement paste. Part 8. The freezing of water in hardened portland cement paste. Part 9, General summary of findings on the properties of hardened portland cement paste. J. Am. Concrete Inst. 43, p. 933-969, Detroit, Apr. 1947
- [17] CHAPELLE, J., Study of the influence of the nature of cements on the resistance of concretes on cycles of frost and thaw, RILEM Bull. 40, p. 30-102 1958
- [18] WHITESIDE, T.M., SWEET, H.S., Effect of mortar saturation in concrete freezing and thawing tests, Highway Research Board, Proc. 30, p. 204-226, 1950
- [19] THOMAS, N.W., Experiments on the freezing of certain building materials, Bldg. Research Tech. Paper 17 England, 1938
- [20] KLIEGER, P., Studies of the effect of entrained air on the strength and durability of concretes made with various maximum sizes of aggregate, Highway Research Board, Proc. s. 31, 177, 1952
- [21] Ulusal Beton Yollar Kongresi Konuşma Metinleri, 2002. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, 18 Aralık 2002.
- [22] Uçar S., Concrete International, THBB Teknik Ofis, 2002
- [23] TUNÇ. A. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, 1. Baskı, Temmuz 2001
- [24] AĞAR E., SÜTAŞ I., ÖZTAŞ G., "Beton Yollar", İTÜ ,1998
- [25] Sağlık A., Güngör A.G., Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 2006
- [26] Karayolları Genel Müdürlüğü, Bakım El Kitabı, KGM Bakım Dairesi Başkanlığı Yayınları, s. 478, 1998

- [27] Wisconsin Transportation Bulletin, Pre-Wetting and Anti-icing Techniques For Winter Road Maintenance, No. 22, p. 8, 2005
- [28] Michigan Department of Transportation, Agricultural By-products for Anti-icing and Deicing Use in Michigan, Research Report R1418., 2002
- [29] Federal Highway Administration (FHWA) Report, Manual Of Practice For An Effective Anti-icing Program: A Guide For Highway Winter Maintenance Personnel, RD-95-202, p. 69, 1996
- [30] Transportation Research Board of the National Academies, Guidelines for the Selection of Snow and Ice Control Materials to Mitigate Environmental Impacts, p. 211, 2007
- [31] Environmentally Friendly Anti-icers/Deicers, 1991  
<http://www.chinamine.com/costs.html>
- [32] Yörükogulları, E., Doğal Zeolitlerin Karayollarında Buz/Kar Çözücü Olarak Kullanılması, Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi, Madencilik Bülteni, Sayı 75, s. 3, 2005
- [33] Kuloglu, N., Kök, B., V., Kara Yollarında Kar ve Buz Mücadelesinde Kullanılan Tuzun Beton Asfalt Kaplamaya Etkisi, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17 (1), s. 87-96, 2005
- [34] Karayolları Genel Müdürlüğü, 2007 a, Bakım Dairesi Çalışmaları, KGM Bakım Dairesi Başkanlığı Yayınları, s. 225, 2006-2007
- [35] Using Salt To Melt Ice, 1998  
[www.madsci.org/posts/archives/1998-11/910675052.Ch.r.html](http://www.madsci.org/posts/archives/1998-11/910675052.Ch.r.html)
- [36] Storm Water; Deicing and Winter Maintenance, 2003  
[www.oseh.umich.edu/stormwater](http://www.oseh.umich.edu/stormwater)
- [37] Dow Chemical, Company Manual of Good Practice for Snow and Ice Control with DOW Calcium Chloride Products, p. 28, 2001
- [38] United States Environmental Protection Agency, Storm Water Management Fact Sheet Minimizing Effects From Highway Deicing, EPA 832-F-99-016, p. 8, 1999

## ÖZGEÇMİŞ

Şenol BERBEROĞLU, 12.10.1984'te İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2001 yılında Maltepe Küçükyalı Endüstri Meslek lisesi, Elektrik Bölümünden mezun oldu. 2003 yılında Sakarya Üniversitesi, Yapı Eğitimi Bölümüne girdi ve 2007 yılında mezun oldu. 2008 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitim Anabilim Dalı'na yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Şu anda özel bir firmada Teknik Eleman olarak çalışmaktadır.