

Araştırma Makalesi/Research Article

Tuzlama uygulamalarının donma-çözülme döngülerine maruz kalmış asfalt betonu üzerindeki korozif etkisi

Hande Varol Morova *1

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32200, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Buzlanmanın önlenmesi
Buzlanmanın giderilmesi
Sodyum klorür (NaCl)
Tuzlama uygulamaları
Üstyapı
Sıcak karışım asfalt

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 28.07.2022

Kabul Tarihi: 12.11.2022

Öz: Bu çalışmada kış iklim şartlarında kar ve buzla mücadelede aktif olarak kullanılan farklı tuz içeriklerindeki solüsyonların farklı periyotlarda asfalt beton yollarda meydana getirmiş olduğu tahribat deneysel olarak araştırılmıştır. Kar ve buzun direkt olarak etkideği aşınma tabakası için standartlar çerçevesinde hazırlanan sıcak karışım asfalt betonlar (BSK) farklı periyotlarda (7, 14, 21, 28 döngü) donma çözölmeye tabi tutulmuş ve her çözölmeye için iki farklı çözölmeye ortamı hazırlanmıştır. Bu nedenle 1 mol (M) ve 4 mol (M) olmak üzere iki farklı sodyum klorür (NaCl) çözeltisi hazırlanmış ve dondurulan BSK numuneler her döngü sonunda 1M ya da 4M'lık çözelti ortamlarında çözdürölmüştür. Böylece tuzun BSK yüzeyine olan zararına etkileri araştırılmıştır. Donma ve çözölmeye maruz kalmayan referans numunenin Marshall Stabilite (MS) değeri 985 kg iken 1M solüsyonda 7, 14, 21 ve 28 gün süreyle donma ve çözölmeye döngülerine maruz kalan numunelerin MS değeri sırasıyla 971 kg, 938.5 kg, 889.5 kg ve 910 kg olarak bulunmuştur. Diğer yandan 4M solüsyonda 7, 14, 21 ve 28 gün süreyle donma ve çözölmeye döngüsüne maruz kalan numunelerin MS değeri ise sırasıyla 914 kg, 814 kg, 790 kg ve 765 kg olarak elde edilmiştir. Bu çalışmayla donma-çözölmeye döngüsünün asfalt betonun stabilitesinde azalmaya neden olduğu görölmüştür.

Atıf için/To Cite:

Morova H. V. Tuzlama uygulamalarının donma-çözölmeye döngülerine maruz kalmış asfalt betonu üzerindeki korozif etkisi. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 14(2), 87-93, 2022.

The corrosive effect of brine applications on the asphalt concrete exposed to the freeze-thaw cycles

Keywords

Anti-icing
Deicing
Sodium chloride (NaCl)
Salting applications
Pavement
Hot mix asphalt

Article history:

Received: 28.07.2022

Accepted: 12.11.2022

Abstract: In this study, the damage caused by solutions with different salt contents, which are actively used in combating snow and ice in winter climate conditions, on asphalt concrete roads in different periods was investigated experimentally. Hot mix asphalt concrete (HMA) prepared within the framework of the standards for the wear layer directly affected by snow and ice were subjected to freeze-thaw at different periods (7, 14, 21, 28 cycles) and two different thawing environments were prepared for each thaw. For this reason, two different sodium chloride (NaCl) solutions, 1 mol (M) and 4 mol (M), were prepared and the frozen HMA samples were thawed in 1M or 4M solution environments at the end of each cycle. Thus, the effects of salt on the damage to the HMA surface were investigated. While the Marshall Stability (MS) value of the reference sample that was not exposed to freezing and thawing was 985 kg, the MS values of the samples exposed to freezing and thawing cycles for 7, 14, 21 and 28 days in 1M solutions were found to be 971 kg, 938.5 kg, 889.5 kg and 910 kg, respectively. On the other hand, the MS values of the samples exposed to freezing and thawing cycles for 7, 14, 21 and 28 days in 4M solution were obtained as 914 kg, 814 kg, 790 kg and 765 kg, respectively. In this study, it was observed that the freeze-thaw cycle caused a decrease in the stability of asphalt concrete.

1. Giriş

Karayolu ulaşımı eşya ve insan taşımacılığı için son derece önemlidir. Üstyapının hizmet ömrünü artırmak için soğuk havalarda gerekli bakımların yapılması, buz ve kardan korunması gerekir. Aynı zamanda yayalar ve sürücüler için kar ve buz koşullarının oluşturabileceği tehlikeleri önlemek için de yürüyüş yolları, merdivenler, asfalt yüzeyler vb. tüm yollar kar ve buzdan temizlenmelidir.

Kış mevsiminde üstyapıda oluşacak buzlanma sorununa karşı buzlanma önleyici, aşındırıcı gibi çeşitli yöntemler mevcuttur. Buz çözme uygulamalarının amacı, buz ve kaplama arasındaki bağı koparmak ve böylece buzun kazınmasını kolaylaştırmaktır [1]. Buzlanmanın önlemesi, üstyapıya kimyasal donma noktası düşürücünün zamanında uygulanmasıyla kar ve buz oluşumunu veya gelişimini önlemeye yönelik geliştirilmiş bir yöntemdir [2]. Aşındırıcılar, yol kaplama yüzeylerinde sürtünmeyi iyileştirmek için kullanılmakta olup sürtünme katsayısını artırarak araçlar için daha iyi çekiş ve kontrol sağlar [3].

Alternatif buzlanma önleyici ve buz çözücü kimyasallarının geliştirilmesi ve test edilmesine yönelik birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Kar yağışı sırasında veya sonrasında karayolundaki kar ve buz kontrol etmek için buz çözme teknikleri kullanılırken, kar yağışından önce buzlanma önleyici kimyasalların uygulanması dünya çapında daha çok rağbet görmektedir.

Olumsuz hava koşullarına karşı üç ana strateji geliştirilmiştir. Bunlardan ilki, mekanik temizleme, ikincisi buz çözme ve diğeri de buzlanmayı önlemedir. Bu stratejiler ayrı ayrı uygulanabilmekle birlikte, bir arada da kullanılmaktadır [2].

Son zamanlarda kar ve buz kontrolüne yönelik yaklaşımlar, reaktif yöntemlerden daha çok proaktif bir stratejiye kaymıştır. Kar yağışından önce kaplama ile kar arasındaki bağı önlemeye veya zayıflatmaya yönelik yöntemler sık tercih edilirken bir yandan da kimyasal aşındırıcılar kullanılarak yapılan klasik yöntem temel dayanak noktası olmaya devam etmektedir. Kimyasal uygulamalar genellikle klorürleri içermektedir. Ancak çevresel etkiler, araçlarda ve altyapıda oluşabilecek korozyon gibi çeşitli sebeplerden araştırmacılar asetatlar gibi alternatiflere yönelmişlerdir [4].

Kış bakım faaliyetleri için kullanılan en yaygın kimyasal ürünler sodyum klorür (NaCl), magnezyum klorür, kalsiyum klorür, kalsiyum magnezyum asetat ve potasyum asetattır [5]. Magnezyum klorürün yüksek maliyetinden dolayı sodyum klorür daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Çevreye zararlı etkileri ve sebep

olduğu korozyon kabul edilmiştir, ancak yolcu güvenliğinin faydaları klorürleri kullanımda tutmuştur. Yapılan çalışmalarda daha etkili, çevre dostu ve daha ekonomik kimyasallar araştırılmaktadır.

Sodyum klorürü satın almak ucuz olsa da korozyon ve çevresel etkiler gerçek maliyetini çok daha yüksek hale getirmektedir. Bir çalışmada, sodyum klorürün sebep olduğu zararlı etkilerin maliyetinin yaklaşık yılda 5 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir [2]. Bir başka çalışmada, klorür kullanımı nedeniyle köprü döşemelerinin zamanından önce bozulduğu, klorürlerden zarar gören beton köprülerin iyileştirilmesinin yılda 5 milyar dolara mal olabileceği ortaya çıkmıştır [6]. NaCl'nin korozyon ve çevresel etkilerinin, başlangıçtaki malzeme maliyetinden on kat daha pahalıya mal olabileceği bulunmuştur [7]. Tuzlamanın sosyal maliyetlerinin ekonomik bir değerlendirilmesi yapıldığında, NaCl'nin maliyetinin yolların ve köprülerin onarım ve bakım maliyetleri, araç korozyon maliyetleri ve yol kenarındaki ağaçların zarar görmesi yoluyla estetik değerlerin kaybı dahil ton başına 800 dolar olduğu tahmin edilmektedir [8].

Fischel (2001) tarafından yapılan bir analize göre, alternatif kimyasalların kullanımı arttıkça NaCl kullanımı her yıl azalmaktadır. Çalışmalarda asetatlar gibi daha az zararlı kimyasal alternatifleri denenmekte olup kalsiyum magnezyum asetat ve potasyum asetat en sık kullanılan türlerdir. Asetatlar üstyapıda minimum düzeyde aşındırıcı olmalarına, nispeten çevresel açıdan zararsız olmalarına ve iyi performans göstermelerine rağmen, yüksek maliyetleri daha yaygın kullanımı yavaşlatmıştır [6], [9], [10].

Tarım endüstrisindeki yan ürünler de (örneğin klorür bazlı) kış bakım kimyasallarına katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Bilinen bazı yan ürünler, kamış veya pancar şekeri şurubu, mısır arpası veya diğer karbonhidratlar ve sütün fermantasyonu ile işlenmesi sonucu üretilir [5], [6], [11]. Son yıllarda yapılan araştırmalar, buz çözümünde kullanılan kimyasallara çeşitli organik bileşiklerin eklenmesinin donma noktasını önemli ölçüde azaltabileceğini göstermiştir [12]. Nixon, tarımsal bazlı katkı maddelerinin kış bakım malzemeleriyle birleştirilerek korozyon önleyici olarak işlev görebileceğini ve erime kapasitesini artırabileceğini belirtmiştir [13]. Ayrıca tarımsal bazlı katkı maddeleri yenilenebilir kaynakları kullandıklarından dolayı atık oluşumu daha azdır.

Çalışmada, tuz çözeltilerinin farklı süreler için BSK numunelerine verdiği zararlar deneysel olarak incelenmiştir. Hazırlanan BSK numuneleri farklı döngülerde (7, 14, 21 ve 28) dondurma ve çözme işlemine tabi tutulmuş ve her çözülme koşulu için iki farklı çözülme özelliği hazırlanmıştır. Bu nedenle 1 mol

(M) ve 4 Mol (M) olarak adlandırılan iki farklı NaCl solüsyonu hazırlanmış ve her döngü sonunda BSK numuneleri 1M ve 4M'de bekletilmiştir. Bu şekilde tuzun BSK'ya verdiği zarar deneysel olarak araştırılmıştır.

2. Materyal

Asfalt betonunda kullanılan agregaların en önemli özelliklerinden biri aşınmaya karşı olan direncidir. Üstyapıların farklı katmanlarında donma ve çözülme döngülerinin etkileri farklı seviyelerde görülmektedir. Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri donma ve çözülme döngülerinden olumsuz etkilenebilir. Üstyapılarda kullanılan agregalar için oluşabilecek bu olumsuz etkiler en aza indirilmelidir. Bu çalışmada belirli bir gradasyona sahip kırmataş agrega, filler ile asfalt çimentosu karıştırılarak BSK numuneleri laboratuvar ortamında hazırlanmıştır.

Asfalt betonu üretilmeden önce, karışımda kullanılacak agrega ve bitüm üzerinde, fiziksel ve mekanik karakterizasyonlarını belirlemek için bir dizi laboratuvar testi yapılmıştır. Bu testler sonucunda bitüm ve agreganın fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterildiği gibi belirlenmiştir.

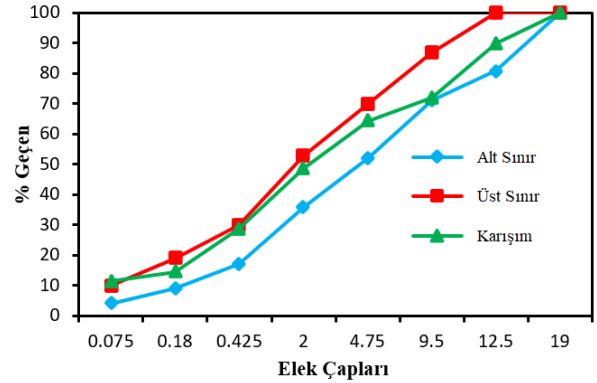
Çalışmada, elek analizi deneyi yapılarak agrega malzemesinin granülometre eğrisi belirlenmiştir (Şekil 1). Çalışmada kullanılan gradasyona Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ) limitleri içerisinde kalmıştır [14].

Tablo 1. Sıcak karışım asfaltta kullanılan agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri

Deney	Elek Çapları			Standart
	0.075-4.75 mm	4.75-9.5 mm	9.5-25 mm	
Su	* (3.54)	1.63	0.81	[15]
Absorpsiyonu %	*	*	23.80	[16]
Los Angeles %	*	*	23.80	[16]
İnce Malzeme %	* 14.51	1.27	0.45	[17]
Organik Malzeme	Temiz	Temiz	Temiz	[18]
Donma-Çözülme%	*	*	6.69	[19]
Ortalama Yoğunluk (g/cm ³)	2.576	2.642	2.677	[15]
Gevşek Özgül Ağırlık (g/cm ³)	1.61	1.40	1.41	[20]
Sıkı Özgül Ağırlık (g/cm ³)	1.91	1.62	1.64	[20]
Mineral Fillerin Özgül Ağırlığı	<No 200 (0.075 mm)	2.65		[21]

Tablo 2. 50/70 Penetrasyon sınıfındaki bitümün fiziksel özellikleri

Bitüm Özellikleri		
Deney	Ortalama Değerler	Standart
Penetrasyon (25 °C)	AC 70	[22]
Parlama Noktası	180°C	[23]
Yanma Noktası	230 °C	[23]
Yumuşama Noktası	45.5°C	[24]
Düktilite (5 cm/dk)	>100 cm	[25]
Özgül Ağırlık	1.034	[26]



Şekil 1. Agregaların gradasyon eğrisi

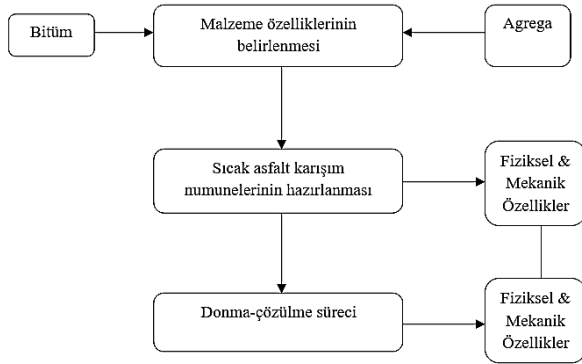
3. Metot

Çalışmada önce Asfalt Enstitüsü tarafından geliştirilen yöntem ile ön optimum bitüm miktarı belirlenmiştir. Ön optimum bitüm miktarı olarak belirlenen %5.5 optimum bitüm içeriği \pm %0,5 oranlarında azaltılıp çoğaltılarak %5.5 \pm %0,5 her bitüm oranı için %4.5, %5, %5.5, %6 ve %6.5 bitüm içeriklerinde 3'er adet numune üretilmiş ve toplam 15 adet numune hazırlanmıştır.

Laboratuvar koşullarında üretilen asfalt betonu numuneleri için belirli miktarlarda (%4.5, %5, %5.5, %6 ve %6.5) bitüm kullanılarak yaklaşık 1250 gr ağırlığında agrega-bitüm karışımları hazırlanmıştır. Karışımların hazırlanması sırasında normal bir trafik akışı olduğu varsayılmış ve numuneler Marshall kompaktörde her iki tarafta 50 vuruş olacak şekilde sıkıştırılmıştır.

Laboratuvar ortamında hazırlanan asfalt beton numunelerine ASTM D-1559 standardına göre Marshall Stabilitesi (MS) testi yapılmıştır [27]. Testin sonucunda, asfalt betonu numuneleri için maksimum birim ağırlık değerini sağlayan bitüm oranı, maksimum MS değeri ile sonuçlanan bitüm oranı, %4 boşluk oranında elde edilen bitüm oranı (Vh) ve sıkıştırılmış asfalt betonu numunelerinde agrega içindeki boşlukların bağlayıcı ile doldurulma oranını (Vf) gösteren grafiğe göre %70'e karşılık gelen bitüm oranı alınmıştır.

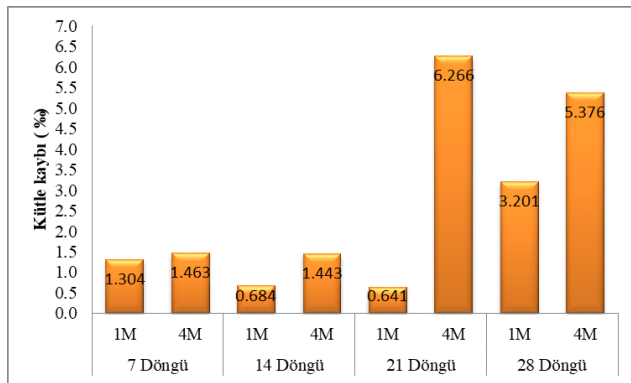
Laboratuvarda üretilecek asfalt betonu numunelerinde optimum bitüm oranı %5.75 olarak bulunmuştur. Optimum bitüm oranı (%5.75) kullanılarak şahit numune ile 7, 14, 21 ve 28 günlük döngüler için 1M ve 4M çözelti içeriğinde 3'er numune olacak şekilde toplamda 30 yeni Marshall numunesi hazırlanmıştır. Bu numuneler, donma ve çözülme etkisi altındaki performanslarını belirlemek için farklı periyotlarda ve farklı korozif ortamlarda donma ve çözülme döngülerine tabi tutulmuştur. Numunelerin donma ve çözülme döngüleri öncesi ve sonrası performanslarını belirlemek için bazı fiziksel ve mekanik testler yapılmıştır. Bu testler sonunda elde edilen değerler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmayı özetleyen akış şeması Şekil 2'de verilmiştir.



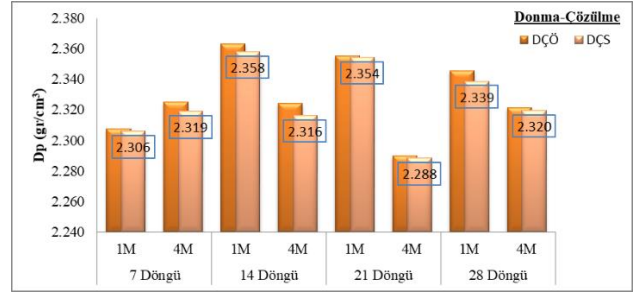
Şekil 2. Laboratuvar çalışmalarına ait akış şeması

4. Bulgular ve Tartışma

Aşınma tabakası için uygulanan, donma-çözülmeden önce ve sonraki kütle kaybı Şekil 3'te gösterilmektedir. Donma-çözülme öncesi ve sonrası farklı aşındırıcı ortam için Dp değerlerini gösteren değerler ise Şekil 4'te gösterilmektedir. 4M tuz konsantrasyonu için bakıldığında 21 günlük döngünün kütle kaybının 28 günlük döngüden daha fazla olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 3). Ayrıca daha yüksek hasarlı numunelerin daha düşük yoğunluğa sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4).

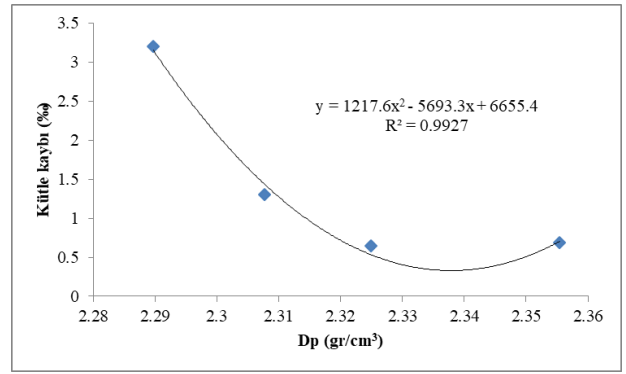


Şekil 3. Farklı aşındırıcı ortamlardan kaynaklanan asfalt betonunun kütle kaybı

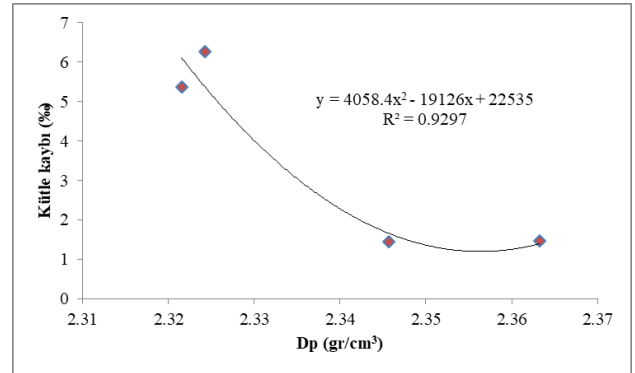


Şekil 4. Farklı aşındırıcı ortamlarda donma-çözülme sonrası asfalt betonun yoğunluk değişimi

Şekil 5'te 1M, Şekil 6'da 4M korozif koşullar için kütle kaybı ve yoğunluk arasındaki ilişki görülmektedir. R² değerleri 1M ve 4M için sırasıyla %99.27 ve %92.97'dir.

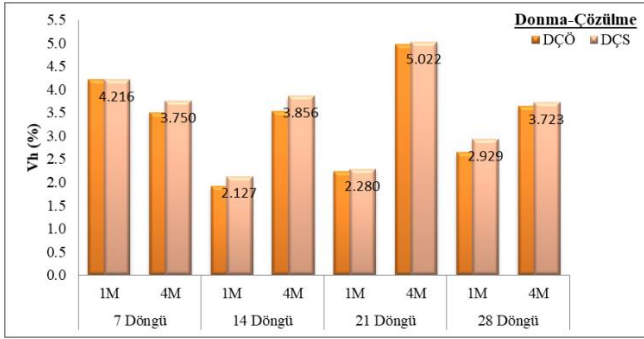


Şekil 5. 1M NaCl'de donma-çözülmeden sonra yoğunluk ve kütle kaybı arasındaki ilişki



Şekil 6. 4M NaCl'de donma-çözülme sonrası yoğunluk ve kütle kaybı arasındaki ilişki

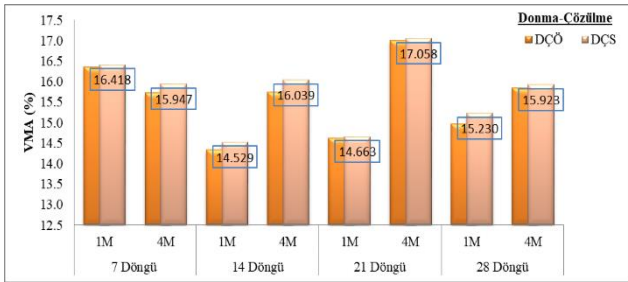
Donma ve çözülme döngülerinden önceki boşluk hacimlerinde ile donma ve çözülme döngülerinden sonraki boşluk hacimlerindeki değişiklikler belirlenmiş ve Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Asfalt betonu için donma-çözülmeden önce ve sonra Vh'deki değişim

1M solüsyondaki numuneler için 7, 14, 21 ve 28 gün süreyle donma ve çözülme etkisine maruz bırakıldıktan sonra Vh değerleri sırasıyla %0.00, %11.33, %2.01 ve %10.96 oranında artmıştır. 4M solüsyondaki numunelerde ise 7, 14, 21 ve 28 gün süreyle donma ve çözülme etkisine maruz bırakıldıktan sonra Vh değerleri sırasıyla %7.03, %9.21, %1.19 ve %2.25 oranında artış göstermiştir.

Sıkıştırılmış asfalt betonu numunelerinin agrega içindeki boşluk oranlarının (VMA) donma ve çözülme döngüleri öncesi ve sonrası değişimleri belirlenmiş ve Şekil 8'de gösterilmiştir.



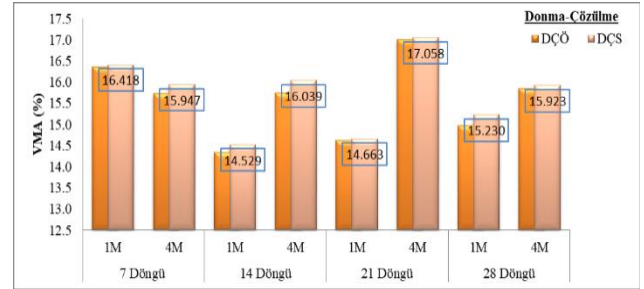
Şekil 8. Asfalt betonu için donma-çözülmeden önce ve sonra VMA'daki değişim

1M solüsyondaki numuneler için 7, 14, 21 ve 28. günlerde donma ve çözülme etkisine maruz kalmayan numunelerden elde edilen VMA değerleri sırasıyla %16.35, %14.34, %14.62 ve %14.98'dir. 7, 14, 21 ve 28 günlük donma ve çözülme döngülerine maruz kalan numunelerden elde edilen VMA değerleri ise sırasıyla %16.42, %14.53, %14.66 ve %15.23'tür. Dolayısıyla VMA değerleri 7, 14, 21 ve 28 gün süreyle donma ve çözülme etkisine maruz kaldıktan sonra sırasıyla %0.4, %1.32, %0.27 ve %1.69 artmıştır.

Diğer yandan 4M solüsyondaki numuneler için, 7, 14, 21 ve 28. günlerde donma ve çözülme etkisine maruz kalmayan numunelerden elde edilen VMA değerleri sırasıyla %15.73, %15.75, %17.01 ve %15.85'dir. 7, 14, 21 ve 28 günlük donma ve çözülme döngülerine maruz kalan numunelerden elde edilen VMA değerleri ise

sırasıyla %16.95, %16.04, %17.06 ve %15.92'dir. Dolayısıyla VMA değerleri 7, 14, 21 ve 28 gün süreyle donma ve çözülme etkisine maruz kaldıktan sonra sırasıyla %1.36, %1.80, %0.30 ve %0.45 artmıştır.

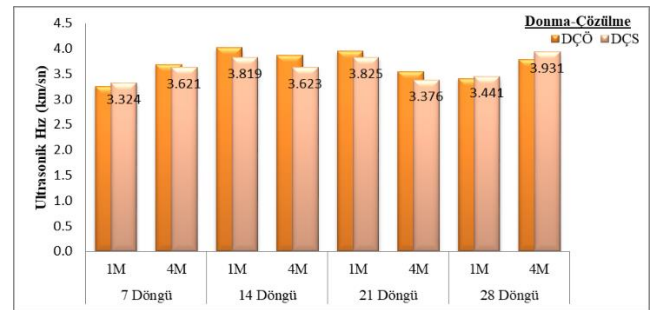
Şekil 9'da 1M ve 4M çözelti için donma ve çözülme döngülerinden önce ve sonra aşınma tabakası için belirlenen asfaltla dolu boşluk oranları (Vf) gösterilmektedir.



Şekil 9. Asfalt betonu için donma-çözülmeden önce ve sonra Vf'deki değişim

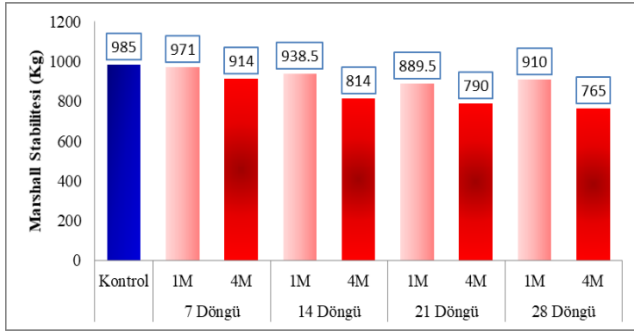
1M solüsyondaki numuneler için 7, 14, 21 ve 28 gün süreyle donma ve çözülme etkisine maruz bırakıldıktan sonra Vf değerleri sırasıyla %0.43, %1.51, %0.31 ve %1.80 azalmıştır. 4M solüsyondaki numunelerde ise 7, 14, 21 ve 28 gün süreyle donma ve çözülme etkisine maruz bırakıldıktan sonra Vf değerleri ise sırasıyla %1.59, %2.11, %0.31 ve %0.55 azaldığı görülmüştür.

Donma ve çözülme döngülerinden önce ve sonra aşınma tabakası için gerçekleştirilen ultrasonik hız testlerinden elde edilen sonuçlar Şekil 10'da grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 10. Asfalt betonu için donma-çözülmeden önce ve sonra ultrasonik hızdaki değişim

Donma-çözülmeden önce ve sonra aşınma tabakası için belirlenen MS değerleri Şekil 11'de gösterilmektedir.



Şekil 11. Asfalt betonu için donma-çözülme sonrası MS'deki değişim

Donma ve çözülmeye maruz kalmayan şahit numunenin MS değeri 985 kg iken, 1M solüsyonda 7, 14, 21 ve 28 gün süreyle donma ve çözülme döngülerine maruz kalan numunelerin MS değerleri sırasıyla 971 kg, 938.5 kg, 889.5 kg ve 910 kg'dır. Bu nedenle MS değerlerinin şahit numuneye göre 7, 14, 21 ve 28 gün boyunca sırasıyla %1.42, %4.72, %9.70 ve %7.61 azaldığı görülmektedir.

Donma ve çözülmeye maruz kalmayan şahit numune için MS değeri 985 kg iken, 4 M solüsyonda 7, 14, 21 ve 28 gün süreyle donma ve çözülme döngülerine maruz kalan numunelerin MS değerleri sırasıyla 914 kg, 814 kg, 790 kg ve 765 kg'dır. MS değerlerinin şahit numuneye göre 7, 14, 21 ve 28 gün boyunca sırasıyla %7.21, %17.36, %19.79 ve %22.34 oranında azaldığı anlaşılmaktadır.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, 1M ve 4M'lük NaCl çözeltisinde 7, 14, 21, 28 günlük donma ve çözülme döngülerine maruz kalan asfalt beton numunelerinin mühendislik özellikleri incelenmiştir. Bu çerçevede elde edilen sonuçlar mekanik ve fiziksel özellikler açısından değerlendirilmiştir. Deneysel çalışma ve hesaplamalar yoluyla elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

1. 4M tuz konsantrasyonu için 21 günlük döngünün kütle kaybı, 28 günlük döngüden fazladır. Ayrıca daha yüksek hasarlı numunelerin daha düşük yoğunluğa sahip olduğu görülmektedir.
2. Kütle kaybı ve yoğunluk arasındaki ilişkiler korozif koşullar için 1M ve 4M için sırasıyla %99.27 ve %92.97 korelasyon değerleri olarak elde edilmiştir.
3. 1M solüsyondaki numunelerin 7, 14, 21 ve 28. günlerde donma ve çözülme etkisine maruz kalmayan numuneler için elde edilen VMA değerleri sırasıyla %16.35, %14.34, %14.62 ve %14.98'dir. 7, 14, 21 ve 28 günlük donma ve çözülme döngülerine maruz kalan numuneler için elde edilen VMA değerleri ise

sırasıyla %16.42, %14.53, %14.66 ve %15.23'tür. Bu nedenle VMA değerleri 7, 14, 21 ve 28 gün süreyle donma ve çözülme etkisine maruz kaldıktan sonra sırasıyla %0.4, %1.32, %0.27 ve %1.69 artmıştır.

4. 7, 14, 21 ve 28. günlerde donma ve çözülme etkisine maruz kalmayan numuneler için elde edilen VMA değerleri 4M solüsyonda sırasıyla %15.73, %15.75, %17.01 ve %15.85'dir. 7, 14, 21 ve 28 günlük donma ve çözülme döngülerine maruz kalan numuneler için elde edilen VMA değerleri ise sırasıyla %16.95, %16.04, %17.06 ve %15.92'dir. Dolayısıyla 7, 14, 21 ve 28 gün süreyle donma ve çözülme etkisine maruz bırakılan VMA değerleri sırasıyla %1.36, %1.80, %0.30 ve %0.45 artmıştır.
5. Donma ve çözülmeye maruz kalmayan referans numunenin MS değeri 985 kg iken 4M solüsyonda 7, 14, 21 ve 28 gün süreyle donma ve çözülme döngüsüne maruz kalan numunelerin MS değerleri sırasıyla 914 kg, 814 kg, 790 kg ve 765 kg'dır. MS değerlerinin, referans numuneye göre 7, 14, 21 ve 28 gün için sırasıyla %7.21, %17.36, %19.79 ve %22.34 oranında düştüğü görülmüştür.

Yapılan çalışmada soğuk iklimli bölgelerde donma-çözülme etkisinin asfalt beton üzerindeki olumsuz etkileri araştırılmıştır. Sıcak karışım asfalt dizaynının amacı optimum bitüm miktarını bulmaktır. Optimum bitüm miktarı bulunurken %3.5-4.0-4.5-5.0-5.5-6.0-6.5 bitüm oranlarında Marshall briketleri hazırlanmaktadır. Hazırlanan numunelere Marshall sıcak karışım tasarım yöntemi prosedürü uygulanarak bitüm oranı-stabilite, bitüm oranı-akma, bitüm oranı-Dp, bitüm oranı-Vfa yüzdesi, bitüm oranı-boşluk yüzdesi, bitüm oranı-VMA yüzdesi grafikleri hazırlanıp pratik özgül ağırlığı maksimum yapan bitüm oranı, stabiliteyi maksimum yapan bitüm oranı, Vh değerinin %4 olduğu bitüm içeriği ve son olarak Vfa'nın %70 olduğu bitüm içeriği değerlerinin ortalaması alınarak belirlenmektedir. Bu çalışmada donma-çözülme döngüsünün asfalt betonun stabilitesinde azalmaya neden olduğu görülmüştür. Bu nedenlerle sıcak karışım dizaynı yapılırken dikkate alınan değerler soğuk bölgelerde yol inşaatı yapılırken farklı seçenekler göz önüne alınmalıdır.

Kaynaklar

- [1] Nixon WA, Wei Y. *Optimal Usage of De-icing Chemicals When Scraping Ice*. Final Report for TR-459. TA1/IIHR/434. 1, University of Iowa, 128p, 2003.

- [2] Blackburn RR, Bauer KM, Amsler DE, Boselly SE and McElroy AD. *Snow and Ice Control: Guidelines for Materials and Methods*. NCHRP Report 526. Midwest Research Institute, 2004.
- [3] Walker D. The Truth about Sand and Salt for Winter Maintenance, *Salt and Highway Deicing Newsletter*, Vol. 42 No. 2, 2005.
- [4] Boselly SE. Benefit/cost study of RWIS and anti-icing technologies. *National Cooperative Highway Research Program Report No. 20-7(117)*, 2001.
- [5] Fischel M. Evaluation of Selected Deicers Based on a Review of the Literature, 2001.
- [6] Shi X, & O'Keefe K. Synthesis of Information on Anti-Icing and Pre-Wetting for Winter Highway Maintenance Practices in North America. *Pacific Northwest Snowfighters in collaboration with the Washington State Department of Transportation*, 2005.
- [7] Blackburn RR, McGrane EJ, Chappelow CC, Harwood DW, & Fleege EJ. *Development of anti-icing technology* (No. SHRP-H-385). Washington, DC: Strategic Highway Research Program, National Research Council, 1994.
- [8] Vitaliano DF. An economic assessment of the social costs of highway salting and the efficiency of substituting a new deicing material, *Journal of Policy Analysis and Management*, vol. 11, issue 3, pages 397-418, 1992.
- [9] Perchanok MS. An Approach to Terrain Classification to Improve Road Condition Forecasts of Maintenance Decision Support Systems. *Surface Transportation Weather and Snow Removal and Ice Control Technology*, 337, 2008.
- [10] Warrington PD. *Roadsalt and Winter Maintenance for British Columbia Municipalities. Best Management Practices to Protect Water Quality*. Environmental Protection Agency, December 1998.
- [11] Fay L, Volkening K, Gallaway C, & Shi X. Performance and impacts of current deicing and anti-icing products: User perspective versus experimental data. In *87th annual meeting of the transportation research board, Washington, DC* (pp. 1-22), 2008.
- [12] Koefod, S. Eutectic depressants. *Surface Transportation Weather and Snow Removal and Ice Control Technology*, 73, 2008.
- [13] Nixon WA, Williams AD. A Guide for Selecting Anti-icing Chemicals. Ver. 1.0. *IIHR Technical Report No. 420*, 2001.
- [14] Müdürlüğü KG. Karayolu Teknik Şartnamesi. *Ankara, Türkiye, KTŞ*. 2013.
- [15] ASTM C127-12. Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.
- [16] ASTM C131-06. Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2006.
- [17] ASTM C117-04. Standard Test Method for Materials Finer than 75- μm (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2004.
- [18] ASTM C40/C40M-11. Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011.
- [19] ASTM C88-05. Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005.
- [20] ASTM C29/C29M-09. Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009.
- [21] ASTM C854. Standard Test Method for Resistance to External Loads on Metal Reflective Pipe Insulation, 1990.
- [22] ASTM D5-06e1. Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2006.
- [23] ASTM D92-12. Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.
- [24] ASTM D36/D36M-12. Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.
- [25] ASTM D113-07. Standard Test Method for Ductility of Bituminous Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007.
- [26] ASTM D70-09e1. Standard Test Method for Density of Semi-Solid Bituminous Materials (Pycnometer Method), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009.
- [27] ASTM D1559-89. Standard test method for resistance to plastic flow of bituminous mixtures using Marshall apparatus, Annual Book of ASTM Standards, USA, 1992.