

Karayolu ve Havayolu Kaplamalarında Kullanılan Kar ve Buzla Mücadele Yöntemlerinin Mali Analizi

Ayşegül G. SEFEROĞLU^{1,*}, Mehmet T. SEFEROĞLU², M. Vefa AKPINAR²

¹*Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, 29100, Gümüşhane*
²*Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, 61080, Trabzon*

Başvuru: 04/12/2014 Kabul:04/02/2015

ÖZET

İnsanların ve eşyaların ulaşımını gerçekleştirdiği karayolu ve havaalanı kaplamalarında oluşan buzlanma, araç tekerlekleri ile kaplama arasındaki sürtünme direncini düşürüp, kaplamayı kayganlaştırarak ciddi sorunlara sebep olabilmektedir. Hava sıcaklıklarının 0 °C'nin altında seyrettiği bölgelerimizde kar ve buzla mücadele için her yıl milyonlarca lira harcanmakta, buna rağmen mevcut yöntemler yetersiz kalmaktadır. Kar ve buzla mücadelede kullanılan yöntemlerin kaplama tabakasına, metal aksamalara, çevreye, insan sağlığına ve ekonomiye zarar vermemesi gerekmektedir. Fakat günümüzde kullanılan mevcut yöntemler bu beklentileri karşılar nitelikte değildir. Yeni yeni kullanılmaya başlanan özel firmalar tarafından üretilen bazı kimyasal solüsyonların da maliyetleri çok yüksektir. Bu sebeple yalnızca uçak pistlerinde ve buzlanmaya en çok maruz kalan köprü ve viyadüklerde kullanılmaktadır. Kaplama ısıtma sistemleri ise uygulama kolaylığı ve etkili bir yöntem olmasına karşın yüksek ilk kurulum maliyeti sebebiyle kaçınılan bir mücadele yöntemidir. Bu çalışmada, kar ve buzla mücadelede kullanılan kimyasal yöntemlerin ve bu yöntemlere alternatif olabilecek kaplama ısıtma sistemlerinin maliyet analizi yapılmıştır. Etkili olmasının yanısıra ekonomik de olan mücadele yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır.

Anahtar sözcükler: Havaalanı, karayolu, buzlanma, ısıtma sistemleri, maliyet

ABSTRACT

The icing occurred on the highway and runway which people and goods are transported, reduces the resistance of friction between the vehicle tires and pavement coating, so the slippery coating causes serious accidents. In our regions that air temperature is usually under 0 °C, causes the government to spend millions of liras every year for snow and ice control methods, however this methods are inadequate. The methods used for snow and ice control should not inflict damage on the pavements, metal components, environment, human health and economy. However, the existing methods currently used are not qualified to meet these expectations. Some certain chemical solutions have been produced by private companies are being used recently, but the cost of these are expensive. Therefore these chemicals are used only in runways, bridges and viaducts which are most exposed to icing. Although pavement heating systems offered ease of application and are efficient methods, these processes are being avoided due to high initial installation cost. In this study, financial analysis is performed for methods used against ice and snow struggle and pavement heating systems which are the alternative to these chemicals. The most economic as well as effective struggle method is attempted to determine.

Keywords: Airport, highway, icing, heating systems, cost

1. GİRİŞ

Ülkemiz havayollarında kar ve buzla mücadele amacıyla ciddi harcamalar yapılmasına rağmen, her yıl pistlerin buzlanmasından ve kar birikimlerinden ötürü uçak seferlerinde ertelemeler, iniş kalkışta tehlikeler meydana gelmektedir. Bu durum hem ülke ekonomisine, hem de havayolu şirketlerine ekonomik yönden zarar vermekle birlikte havayolu tercih eden yolcuların da mağduriyetine sebep olmaktadır. Karayollarında ise can ve mal kaybının yaşandığı trafik kazaları meydana gelmektedir. Kar ve buzla mücadele yöntemi olarak yıllardır kullanılan kimyasal buz çözücüler, havaalanı ve karayolunu kullanan araçların metal aksamlarının, pist ve yol kenarı işaret levhalarının ve beton kaplama içindeki donatıların korozyonuna yol açılmakta, beton ve asfalt kaplama yüzeyine ciddi zararlar vermektedir. Ülkemizde hala bu yöntemlerin kullanılmasına karşın gelişmiş ülkelerde daha az maliyetli, buz çözme performansı daha fazla, kaplamaya zarar vermeyen, çevreye ve insan sağlığına duyarlı sistemler kullanılmaya başlanmıştır.

2. HAVAALANI KAPLAMA YÜZEYLERİNDE BUZLANMANIN TESPİTİ

Kaplamanın yüzey yapısı (pürüzlülüğü, ...) sürüş konforunu ve emniyetini etkileyen en önemli unsurdur. Havaalanı kaplamasını kullanan araçlar için kaplama yeterince düzgün, ama gerekli sürtünme direncini sağlayacak kadar da pürüzlü olmalıdır.

2.1. Sürtünme Seviyesinin Ölçülmesi

2.1.1. Ölçüm Araçları ve Özellikleri

Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI) tarafından yayınlanan Havaalanları Pist Yüzey Şartları Yönergesi'nde belirtildiği üzere, pistlerin yüzey sürtünme seviyesinin belirlenmesinde Mu-Meter, Skiddometer, Grip Tester, Runway Friction Tester (pist sürtünme test cihazı) veya Surface Friction Tester (yüzey sürtünme test cihazı) gibi mekanik-elektronik araç/cihazlar kullanılmaktadır. Bu cihazlar, farklılık göstermekle birlikte, genel olarak sürtünme ölçüm tekerlekleri olan ve bir çekici ile pist üzerinde çekilirken pistin her 1/3'lik bölümü için frenleme değerlerini, çekici içine konan elektronik aygıt yazılı olarak veren yapıdadırlar [1].

2.1.2. Pist Yüzey Sürtünme Seviyesinin Ölçümü

Pist yüzeyinde frenleme ölçümü, özellikle pist ıslak veya su birikintili olduğunda ve pist yüzeyi kar veya

buzla kaplı olduğunda yapılır. Ölçüm; frenleme ölçüm aracı ile pist eşiğinden ve merkez hattının sağından başlanarak gidiş-dönüş yapılarak tamamlanır [1].

3. KAR VE BUZLANMA İLE MÜCADELEDE KULLANILAN YÖNTEMLER

3.1. Mekanik Yöntemler

Mekanik yöntemlerle mücadelede, kaplamadan kar ve buzun kürenerek veya süpürülerek uzaklaştırılması için büyük ekipmanlar ve araçlar kullanılmaktadır. Fakat bu yöntemde ekipman operatörlerinin istihdam maliyeti önemli ölçüde yüksektir. Havaalanı pistlerinde sulu karın 1,5 cm, kuru karın 5 cm'yi geçmesi kesinlikle önlenmelidir. Pistte kar kalınlığı 12 mm'ye ulaştığında süpürme işlemi yapılmalı; 12 mm'den fazla olması durumunda kombine araçlarla, küreme, süpürme ve üfleme işlemi aynı anda uygulanarak temizlenmesi gerekir [1]. Mekanik yöntemler, kaplamaya ve üzerindeki şerit çizgileri ile ışıklandırma ekipmanlarına zarar verebilmektedir.

3.2. Kimyasal Yöntemler

Bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de karayolu veya havaalanı kaplamalarında buzlanma oluşumunu engellemek veya varolan buz kaldırmak için en çok kullanılan yöntem kaplama üzerine kimyasal madde uygulanmasıdır [2]. Ucuz ve etkin olmaları sebebiyle en yaygın kullanılan kimyasal solüsyonların başında; sodyum klorür (NaCl, tuz), magnezyum klorür (MgCl₂), kalsiyum klorür (CaCl₂), kalsiyum magnezyum asetat (CMA) ve potasyum asetat (KAc) gelmektedir [3]. Bunun yanısıra üre, formatlar, glükoller ve kimyasallarla karıştırılarak uygulanan aşındırıcı maddelerde kullanılmaktadır. Kimyasal maddeler katı veya sıvı halde uygulanabilmektedir. Uygulanacak kimyasalın çeşidi ve miktarı; kar veya buz miktarına, ortam sıcaklığına ve uygulama bölgesine göre değişmektedir. Fakat bu maddeler asfalt ve beton kaplama yüzeyine, beton donatılarına, ekolojik sisteme ve metal aksamalara zarar verebilmektedir.

Son yıllarda potasyum asetat (KAc), kalsiyum magnezyum asetat (CMA) veya kalsiyum magnezyum potasyum asetat gibi asetat bazlı buz çözücüler hızlı çözümleri ve klorür içermemeleri sebebiyle kar ve buz çözme işleminde öncelikli olarak kullanılmaktadır. Beton ve asfalt kaplamaların dayanımı için bir risk olarak görülen asetatlar aynı zamanda pahalıdırlar [4]. CMA, beton kaplama donatıları için korozyon riski taşımaz, fakat performansı tuzdan düşüktür ve çalışma sıcaklık aralığı daha dardır (Tablo 1).

Tablo 1. Kar ve Buz Kontrol Kimyasalların Özellikleri [5]

Kimyasal		Sıcaklık, °F		Korozyon Potansiyeli		Betona Zarar Potansiyeli	Taşınan Endişeler	Çevresel Endişeler
Formül	Form	Etkili	Optimum	Araçlar	Yapılar	-	-	-
NaCl	Katı	15	-6	Evet	Evet	Biraz	Toz	Su, bitki
NaCl	Sıvı	23	-6	Evet	Evet	Biraz	Toz	Su, bitki
CaCl ₂	Katı	-20	-60	Evet	Evet	Evet	Isı üretir cilt ve deri kurur	Su
CaCl ₂	Sıvı	0	-60	Evet	Evet	Evet	Isı üretir cilt ve deri kurur	Su
MgCl ₂	Katı	0	-28	Düşük	Olası	Çok az	Toz	Su
MgCl ₂	Sıvı	10	-28	Düşük	Olası	Çok az	Toz	Su

Aşındırıcılar kar ve buz kontrolünde her zaman önemli bir rol oynamışlardır. Aşındırıcı kullanımının temel amacı; sürtünme katsayısını arttırmaktır. Ancak trafiğin dağıtıcı etkisinden dolayı bu artış kısa sürmektedir. En uygun aşındırıcı malzemeler; doğal kum, kömür tozu, taş ve cüruf kırıntıları, maden atıkları ve kok fırını atıklarıdır [6]. Kullanılan aşındırıcıların sertliği, dane şekli, dane boyutu ve içerisinde bulunan zararlı maddelerin miktarı önemlidir. Karayollarında genellikle şerit başına 340 kg/km kum uygulanır [7]. Aşındırıcıların bir dezavantajı, drenaj kanallarını kapatması ve temizlenmesinde maliyetin artmasıdır.

Günümüzde kimyasal maddelerin yerini, özel firmalar tarafından üretilen özel kimyasal karışım solüsyonları (de-icing) almıştır. Bu yeni kimyasal solüsyonlar çok düşük sıcaklıklarda bile etki gösterebilen, çevreye ve kaplamaya zarar vermeyen, korozif olmayan niteliktedir. Az miktarda kullanılması bile buz oluşumunu önleme/çözme oldukça başarılı olmaktadır. Ayrıca yalnızca havaalanı kaplamaları ve işaret levhaları değil, uçakların dış yüzeylerinin de buzlanmadan korunması için de-icing uygulaması yapılmaktadır. Uçak yüzeyi gibi metal olan malzemeye korozif etkisi olmayan kimyasal uygulanması gerekmektedir. Bu nedenle tuz ve klorür bazlı kimyasal buz çözücü maddelerin kullanımından kaçınılmaktadır. Buz ve kar ile mücadelede kullanılan de-icing solüsyonlarını daha ekonomik ve etkili bir şekilde kullanmak, buzlanmaya anında müdahale edebilmek amacıyla Otomatik Buzlanma Önleyici Sprey Yöntemi (RWIS) geliştirilmiştir. Kaplamaya de-icing kimyasalların püskürtülerek buzla kaplama yüzeyi arasında oluşturulan tabakanın buzun kaplamaya yapışmasını engellemesi prensibine göre olarak çalışan bu yöntemde RWIS sisteminden faydalanılmaktadır. Sistem otomatik olduğundan buzlanma veya kar yağışı başladığı anda kaplamadaki sistem hızlı bir şekilde devreye girmektedir [8]. Otomatik Buzlanma Önleyici Sprey Yöntemi'nin uygulanmasından bir yıl sonra kış mevsiminde meydana gelen kazalar % 68 oranında azalmıştır. Fayda/maliyet oranı 3,40 olarak belirlenmiştir. Utah'da uygulanan benzer bir çalışma ve sistem sonucunda kaza oranında % 64'lük bir azalma meydana geldiği tespit edilmiştir [9].

3.3. Termal Metotlar

Kış koşullarının zararlı etkilerinin etkin bir biçimde azaltılması adına havaalanlarında ve karayollarının

rampa, köprü, viyadük, tünel giriş ve çıkışlarında ve kavşaklarda kaplama ısıtma sistemleri alternatif bir yöntemdir. Ayrıca bu yöntemin; pist ve yol güvenliğini arttırması, kimyasal buz çözücü/önleyicilerin çevresel etkilerini azaltması ve kar ve buzun yerden kalkma süresini belirgin biçimde azaltması gibi avantajları vardır. Yöntemin, yüksek başlangıç maliyeti ve karmaşık kurulum prosedürü gibi sakıncaları da vardır. Fakat kimyasal yöntemlerdeki fazla ekipman ve personel masrafları dikkate alındığında bu iki yöntem arasında uzun vadede mali bir denge söz konusudur [10].

3.3.1. Kaplama İçine Kurulan Isıtma Sistemleri

3.3.1.1. Toprak Kaynaklı Isı Boruları

Toprak kaynaklı ısı boruları ile ilgili ilk deneysel araştırmalar 1970 yılında FHWA (Federal Highway Administration) Karayolları Araştırma Merkezi'nde Dynatherm şirketi tarafından yapılmıştır [11]. 1975 yılında Batı Virginia Oak Hill'deki bir karayolu rampasına zeminin 18 m derinliğine uzanan 1,213 adet ısı borusu döşenerek toprak kaynaklı bir ısıtma sistemi kurulmuştur. Bu sistem kaplama yüzeyinde, rüzgârla oluşan kar yığınları hariç diğer tüm kar ve buz birikimlerini önlenmede başarılı olmuştur [12].

3.3.1.2. Sıcak Akışkanlı Isı Boruları

Isı borulu sistem, literatürde sulu sistemler içinde yer almaktadır. Bu sistemler; pompalara, kontrol sistemlerine, hariçten bir güç veya insan etkisine gerek duymaksızın çalışmaktadırlar. Isı borusu kurulum aşamasında, amonyak sıvısı ya da freon gazlarıyla doldurulur. Toprağın içine yerleştirilir. Akışkan, toprağın ısısıyla ısı borusunun dibinde ısınır. Isınan akışkan, ısıtılacak alana serili olan boruların olduğu kondenser bölümüne hareket eder ve yoğunlaşarak ısıyı bırakır. Bu sayede kaplama yüzeyinde kar ve buz oluşumunu önlemiş olur. Yoğuşmuş akışkan, yerçekiminin etkisiyle çevrimini tamamlayarak evaporatöre geri döner ve işlem sonlanır [13]. Buharlaştırma-yoğuşma dönüşümü, kaplamanın topraktan daha soğuk olduğu zamanlarda kendiliğinden gerçekleşir. Sistem, buzlu tam çözemesi bile topraktan sürekli ısı alır. Sistemin topraktan sürekli ısı çekmesi işletim bakımından herhangi bir problem oluşturmaz. Çünkü maliyet sorunu yoktur. Ancak ısı borusunun

dikkatlice temizlenmesi ve döşemeye dizilen borulara buharın akması için eğim verilmesi gerekir [14].

Jeotermal su ve buhar ile kaplamada kar ve buz eritme sistemleri İzlanda, Japonya ve Amerika gibi jeotermal kaynakların bulunduğu ülkelerde karayollarında ve havaalanlarında kullanılmaktadır. Bu sistemde kaplamanın içindeki veya altındaki boruların içinden genellikle sıcak su veya su buharı dolaştırılmaktadır [15]. Yeraltına yerleştirilmiş jeotermal sistemlerin kurulum maliyetinin, pompalama sistemleri ve kuyu masraflarına ek olarak yaklaşık 200 \$/m² olduğu belirtilmektedir. Karayollarında ısı borulu ve ısıtma sistemli köprü üstlerinin tasarım maliyeti yaklaşık 1,000-1,500 \$/m²'dir. Bu tahminler, jeotermal kar eritme sistemlerinin kurulum ve işletim maliyetlerinin çok yüksek olduğunu göstermektedir [13].

Ichiyama ve Magome (2007), kaplama boyunca yeraltından galvanizli çelik borulardan su veya antifriz solüsyonlar gibi jeotermal ısınmış akışkanlar geçirerek yüzey sıcaklığının artarak karı eritmesini amaçlamıştır. Jeotermal bir tasarımın, çevreye ve insan sağlığına zararlı bir etkisi olmadan karı eritebildiği gösterilmiştir. Bu ısıtma sistemi jeotermal kuyuları kazılmasının yanısıra, mevcut kaplamanın kaldırılmasını ve yeniden yapılmasını gerektirmektedir. Bu kurulum işlemi oldukça maliyetli olup özellikle kaplamanın var olduğu durumlarda elverişsizdir [16].

Sulu sistemlerde, akışkan farklı metotlarla ısıtılarak bir sirkülasyon pompası yardımıyla asfaltın altına döşenmiş borulardan dolaştırılır. Isı, akışkandan yüzeye transfer edilerek yüzey iletimsel olarak ısıtılır. Akışkan olarak su+antifriz (etilen veya propilen glikol) karışımı kullanılır [13]. Sulu ısıtma sistemi, mevcut ısıtma sistemleri arasında işletme maliyeti olarak en uygun olanıdır [17].

Sulu sistemler ile pasif ısı borulu sistem karşılaştırıldığında; sulu sistemlerde ısıtılan akışkan, ısıtılması düşünülen alana bir sirkülasyon pompası ile taşındığından ısı borularında olduğu gibi borulara eğim verilmesine ve temizlenmesine gerek yoktur. Bu sistemler diğer sistemlere göre daha yüksek enerji verimine sahiptirler.

3.3.1.3. Güneş Kaynaklı Isı Boruları

Japonya'da Güneş enerjisi kullanılarak kaplama yüzeyindeki kar ve buz eritmek için bir sistem geliştirilmiştir. Yaz mevsiminde sıcaklıkların yükselmesiyle kaplama yüzeyinden alınan ısı yine aynı kaplama içerisine yerleştirilen yatay ve dikey borularda depolanmıştır. Kış mevsiminde bu depolanan sıcak sular kaplama içindeki borulara aktararak kar ve buz eritme işleminde kullanılmıştır. Bu sistemde sadece depolanan suyun pompalanması için elektrik enerjisine gereksinim duyulmuştur [18].

3.3.1.4. Elektrikli Isıtma Kabloları

Elektrikli ısıtma kabloları 1961 yılında New Jersey-Newark'da kar ve buz uzaklaştırmak için bir köprüde kullanılmıştır [2]. Güç yoğunluğu köprüler için 378

W/m², yol kaplamaları için ise 430 W/m² olarak tespit edilmiştir. Verilen elektrik akımı kaplama yüzeyinde saatte 25 mm kar kalınlığını eritebilecek şekilde ayarlanmıştır. Fakat zamanla asfalt ve beton kaplamanın trafik yükü nedeniyle aşınmasıyla, elektrik kablolarının yüzeyde görünmeye başlamasından dolayı bu sistem iptal edilmiştir. Aynı sistem 1964 yılında New Jersey-Teterboro'da iki rampa ve bir köprü için uygulanmıştır. Bu sistem kar ve buz eritmeye başarılı olmuş, 375 W/m² bir güç yoğunluğu ile çalışmış ve yıllık işletme maliyeti 5 \$/m² olarak belirlenmiştir [19].

Seferoğlu (2014), havaalanlarında kar ve buzla mücadelede rijit kaplamaların ısıtılması için elektrikli kablo ile ısıtma yönteminin kullanılabilirliğini araştırmıştır. Üç farklı beton sınıfından numuneler hazırlanmış ve numune yüzeyinin 7 cm altına elektrikli ısıtma kabloları döşemiştir. Numuneler farklı sıcaklıklara tabi tutulup, ısıtıcı kabloya elektrik verilerek numune yüzeyindeki sıcaklıklar ölçülmüştür. Yüzeydeki sıcaklığın, kar ve buz oluşumunun engellenmesi için gerekli olan minimum sıcaklık aralığına (0 ile 4 °C) erişim süreleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Beton kaplamaları ısıtmanın, kar ve buzla mücadelede kullanılabilir bir yöntem olduğu kanaatine varılmıştır [20].

Sugarawa ve diğ. (1998) çalışmasında, Japon Meteoroloji İstasyonu tarafından toplanan hava durumu olasılık verilerini gösteren bir monitör sistemle donatılmış elektrikli bir kar eritme sistemi tasarlanmıştır. Bu monitör sistem, kar yağışı olasılığını, yol yüzeyi sıcaklığını, atmosfer sıcaklığını ve kontrol sıcaklığını analiz edip, yüzeyin ön ısıtma sıcaklığını ve enerji çıktılarını ayarlayarak, ısıtma kablolarına göndermektedir [21].

Petrenko ve Sullavan (2003) çalışmalarında, elektrikli bir kondüktör boyunca geçen dalgalı bir akımın doğurduğu elektromanyetik alan ile elektromanyetik bir buz çözme sistemi tanımlamıştır. Elektromanyetik alandan açığa çıkan bu enerji, ferroelektrik, yarı iletken veya ferromanyetik tabaka tarafından emilerek ısı yüzeye aktarılmaktadır [22].

Walker (2000), düşen kar ağırlığını ve sıcaklığı ölçen üç katmanlı bir kar ve buz eritme örtüsü geliştirmiştir. Örtünün alt ve üst tabakasında esnek ve su geçirmez bir muşamba malzeme bulunmaktadır. Bu iki muşamba malzemesinin arasında iletken metal bir tabaka ile sıcaklık ve ağırlık sensörleri yerleştirilmiştir. Sensörler, sıcaklığın donma noktasının altına düştüğünü veya yeterli miktarda karın biriktiğini algıladığında akım iletken tabakaya gönderilir. Bu sisteminin sakıncası kalıcı olmamasıdır [23].

3.3.1.5. Karbon Fiber Isıtma Kabloları

Kaplama yüzeyinden kar ve buz eritmek için ısıtma elemanı olarak karbon fiber kablolar ilk kez Zhao (2010) tarafından kullanılmıştır. Öncelikle ANSYS sonlu elemanlar programıyla kaplama içine yerleştirilen karbon fiber kablolar arası en uygun mesafenin, kaplama yüzeyinde ısı dağılımının üniform olabilmesi için 100 mm olduğunu belirlemiştir [18]

3.3.1.6. Elektrik İletkenli Beton ve Asfalt

Geleneksel beton ve asfaltın elektrik iletkenliği kar ve buzu kendiliğinden eritebilecek kadar iyi değildir. Elektrik iletkenlik katsayısı yüksek karışımların beton ve asfalta eklenecek kaplamaların elektrik iletkenliği yükseltilebilir hale getirilebilmektedir. İletken betonun çimento bazlı kompozitleri laboratuvar ve araziye kar ve buz eritme için yüksek iletkenlik ve dayanım özelliklerini kaybetmeden uygulanabilmektedir [24].

Yehia ve Tuan (1998), fiber çelik ve traşlanmış çelik parçacıkları kullanılarak köprüler için özel bir iletken beton geliştirmiştir. Fiber çelik ve traşlanmış çelik katkıları elliden fazla karışım hazırlanmıştır. Toplam hacmin %15-20'sini ihtiva edecek şekilde iletken malzeme (çelik fiber ve traşlanmış çelik) kullanılarak hazırlanan iletken beton tarafından sabit ve üniform bir ısı üretimi yapılmıştır [25]. Her bir kar eritme işlemi için ortalama birim enerji maliyeti, elektrik tüketim maliyetinin 0,08 \$/kWh olduğu varsayılarak 0,8 \$/m² olarak bulunmuştur [26].

Minsk (1971), elektrikli iletken asfalt betonunu yapmak için grafit parçalarını da işin içine katmıştır. Bu sistemin bir avantajı, iletken kaplama malzemesinin, yeniden kaplama inşasına gereksinim duymadan mevcut kaplama üzerine ince bir tabaka halinde kolaylıkla uygulanabilmesidir [27].

Abuksam (2001), iletken ağ ve ısıtma elemanlarını içeren bir kar eritme örtüsü tasarlamıştır. Bu örtü, taşıt ağırlıklarıyla desteklenen, nem, yağmur, kar, tuz ve ultraviyole ışınları gibi çevresel etkilere karşı dirençli, sağlam, esnek ve yalıtkan termoplastik ve sert lastikten oluşmaktadır. Sistem, örtünün içine gömülmüş haldeki sıcaklık sensörleri ile kontrol edilir. Yüzeyde yeterli miktarda erimiş su algılandığında bir detektör, sistemi kapatır. Bu ürün, iletken metal kabloların ağ sisteminin ısı ürettiğini ve elektrik akımının düzgün bir şekilde dağıtıldığını göstermiştir [28].

2001 yılında iletken betonlarda karbon ürünleri, traşlanmış çeliklerin yerini almaya başlamıştır. Laboratuvar verilerine dayanılarak karbon katkılı iletken betonlar ilk defa buz çözme amacıyla Roca Spur Köprüsü'nde kullanılmıştır. Köprüye, kış boyunca yaşanan kar ve buz oluşumlarını izleyebilecek ve kontrol edebilecek şekilde sıcaklık ve akım ölçerlerin de yerleştirildiği bir iletken kaplama döşenmiştir. 203~431 W/m² arasında değişen bir güç yoğunluğu ile her kar yağışında bu sistem kullanılmıştır [29].

3.3.2. Kaplama Dışına Kurulan Isıtma Sistemleri

3.3.2.1. Mikrodalga ile Isıtma Sistemleri

Hopstock (2003), yolda uygulanma potansiyeli olan iki konu için, mikrodalga ve manyetik yük taşıma kapasitesi olan agregaların kullanım fikrini ortaya koymuştur. (1) Bütün mevsimlerde sıcak karışımli yol çukuru yama malzemesi olarak ve (2) havaalanı pistleri, yaya kaldırımları, köprüler ve karayolları gibi asfalt betonu ile kaplanmış yüzeylerin, kimyasal kullanmadan kar ve buzdan arındırabilecek bir malzeme olarak kullanılması öngörmüştür. Bu agregalar kullanılarak yapılmış bir yol üzerinden mikrodalga jeneratör yüklü bir kamyon geçirilmesiyle, mikrodalgalar buz içerisinde geçer yol ile buz arayüzünde ısı olarak tutulur. Böylece buz kolaylıkla çözülebilir ve erir [30]. Fakat bu bilgiler geniş çaplı bir araştırmayla doğrulanmamıştır.

3.3.2.2. Kızılötesi Isı Lambaları

Zenewitz (1977), kızılötesi ısı lambalarını Colorado'nun Denver Bölgesi'ndeki Mississippi Köprüsü'nde buzlanmayı önleme amacıyla, dışarıdan ısıtma elemanı olarak kullanmıştır. Kızılötesi lambalar 75 W/m²'lik bir güç ile köprünün altını ısıtmaya çalışmıştır. Bu ısı lambalarının, yetersiz güç ve geç ısınmaya bağlı olarak yol yüzeyindeki buz oluşumunu önlemekte yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır [19].

4. MALİYET ANALİZİ

4.1. Kimyasal Yöntemlerin Maliyet Analizi

Ülkemizde kar ve buzla mücadelede en çok kullanılan tuz, rezervinin çok olması ve kolay imal edilmesinden dolayı diğer buz çözücülere göre daha ucuzdur. Ancak, çevreye, asfalta, betona ve metallere daha fazla zarar verdiği de bilinen bir gerçektir. ABD'de yapılan bir araştırmaya göre, bir ton tuzun çevreye verdiği maddi zarar 800 \$'dır. Tuz yerine çevreye zarar vermeyen bir malzeme kullanılmasının, ABD ekonomisine katkısının yılda yaklaşık 100 milyon dolar olacağı hesaplanmaktadır [31].

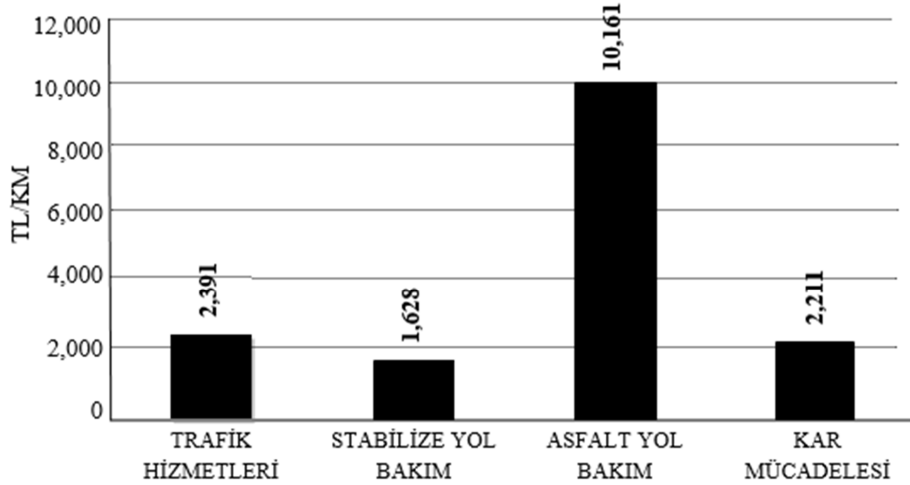
Ülkemizde Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) verilerine göre 2006 yılında kar ve buzla mücadelede toplam 50,422 ton tuz kullanılmıştır (Tablo 2) [5]. 2007 yılında kar ve buz mücadelesinde KGM tarafından yapılan personel harcamaları 21,080,295 TL ve tuz harcamaları 1,939,793 TL'dir. Kar ve buz mücadelesinde kullanılan araçların bakım ve onarım maliyetleri, akaryakıt giderleri ve fazla mesai gibi giderlerle beraber toplam kar ve buz mücadelesi bakım maliyeti 86,411,236 TL'dir [32].

Tablo 2. Türkiye’de 2000-2007 Yılları Arasındaki Tuz Harcamaları [32]

KGM Bölge No	Yıllara Göre Tuz Harcamaları (Ton)						
	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007
1.İstanbul	4339	3060	1626	3933	3517	2712	5490
2.İzmir	448	367	1055	888	1199	374	929
3.Konya	6234	2243	4649	585	5175	3805	4986
4.Ankara	15143	10322	9403	11066	12645	11503	16076
5.Mersin	634	1450	1493	1041	1021	679	871
6.Kayseri	4935	2139	4750	4576	6897	4870	6456
7.Samsun	730	710	929	631	899	655	1455
8.Elazığ	311	298	218	460	319	395	694
9.Diyarbakır	365	225	514	220	407	223	504
10.Trabzon	200	166	155	160	554	300	344
11.Van	1857	2054	1879	2205	2232	2414	2150
12.Erzurum	880	720	740	1400	2345	2190	1630
13.Antalya	544	480	1204	1036	1162	861	625
14.Bursa	2111	2067	2363	2695	5006	3757	5255
15.Kastamonu	884	936	1056	1372	1079	1436	1331
16.Sivas	710	680	460	993	825	1076	1627
TOPLAM	40325	27917	32494	33261	45911	37250	50422

KGM'nin tüm bölge şubelerindeki 2013 yılı toplam emanet yol bakım ve işletme maliyetleri incelendiğinde en fazla harcamanın asfalt yol bakımına harcandığı (10,161 TL/km), kar mücadelesine ise kilometre başına 2,211 TL harcandığı görülmektedir (Şekil 1). Verilerden anlaşılacağı gibi asfalt kaplamaların hasar görmesi durumunda bakım onarım maliyetleri oldukça

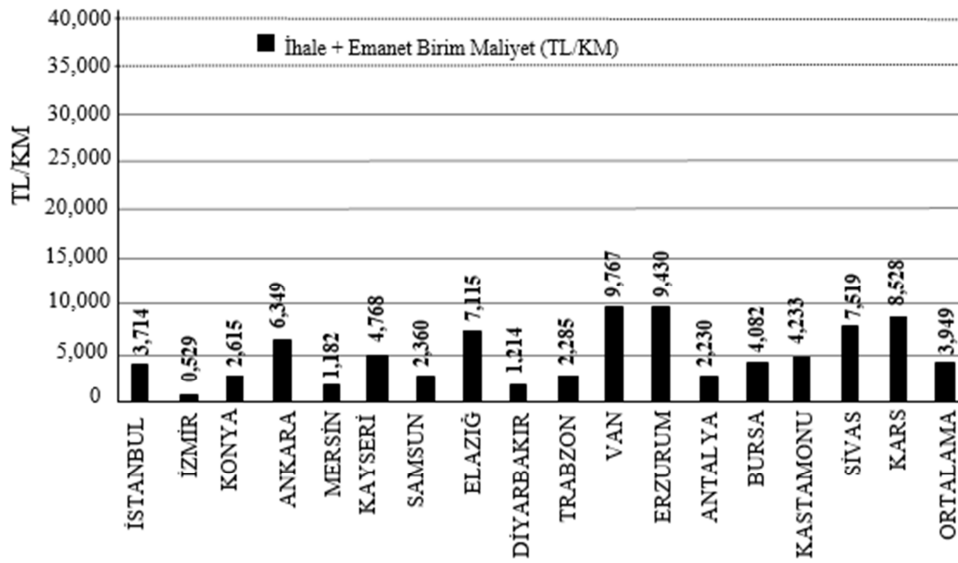
yüksek olmaktadır. Bu sebeple kar ve buzla mücadelede kullanılacak buz çözücü/önleyici malzemesin de asfalt veya kaplamaya zarar vererek deformasyona sebep olmayacak bir seçim yapılması asfalt bakım onarım maliyetlerini düşürerek ülkemiz ekonomisine katkı sağlayacaktır.



Şekil 1. 2013 Yılı KGM Emanet Yol Bakım ve İşletme Maliyetleri [33]

2013 yılı kar ve buzla mücadele için KGM'nin bölge şubelerindeki toplam birim maliyetler Şekil 2'de verilmektedir. Bu verilere göre ülkemizde kar ve buz mücadelesi için en fazla harcama yapan iller, kışları en

ağır geçen Van ve Erzurum'dur. Bu iki ilde de kilometre başına yaklaşık 10 TL harcama yapılmaktadır. Türkiye ortalamasına bakılırsa kar mücadelesinde kilometre başına 4 TL harcanmıştır.



Şekil 2. 2013 Yılı KGM Bölge Şubeleri Kar Mücadelesi Birim Maliyetleri [33]

Ülkemizde en yoğun kar yağışının yaşandığı ve en soğuk illerimizden biri olan Erzurum'da kar ve buzla mücadelede 2013 yılında 1,350 ton tuz kullanılmıştır [34].

Sıklıkla kullanılan NaCl'nin maliyeti ortalama 30 \$/ton, tuza alternatif kimyasal buz çözücülerin maliyetleri yaklaşık 200 ile 2000 \$/ton civarındadır [35]. Bununla beraber kullanılması gereken çözücünün miktarı da hava sıcaklığına bağlı olarak değişmekte, sıcaklık düştükçe kullanılması gereken çözücü miktarı artmaktadır. NaCl çözücü için bu sıcaklık -21 °C olup, kullanılması gereken çözücü miktarının 5-15 g/m², -55 °C'ye kadar etkili olabilen CaCl₂ çözücüsü kullanıldığında ise belli bir sıcaklıkta kullanılacak

çözücü miktarının azaldığı ifade edilmektedir [36]. Diğer taraftan MgCl₂ çözücüsü CaCl₂ çözücüsünden %40 daha etkili olmaktadır [37]. Aynı miktarda buzun eritilebilmesi için NaCl'ye göre %50 daha fazla CMA kullanılması gerekmektedir. Buna göre yaklaşık bir maliyet hesabı için NaCl çözücüsünün 15g/m², CaCl₂ çözücüsünün 10 g/m², MgCl₂ çözücüsünün 6 g/m², CMA'nın ise 22,5 g/m² kullanılması gerektiği kabul edilir [36]. Aynı zamanda ürenin yaklaşık miktarı 71 g/m², kumun ise 36 g/m²'dir [38]. Buna göre karayollarında kar ve buzla mücadele için sıklıkla kullanılan çözücülerin birim maliyetleri ile 10 m platform genişliği için km başına yaklaşık maliyeti dolar kuru 1,2 TL (Ocak 2008) alınarak Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Buz Çözücülerin Ton Başına Maliyetleri [38]

Kimyasal Türü	Maliyet (\$/ton)	Kullanılan Miktar (kg/km)	Maliyet (\$/km)	Maliyet (TL/km)
NaCl	36	150	5,4	6,48
CaCl ₂	120	100	12,0	14,40
MgCl ₂	95	60	5,7	6,84
CMA	1280	225	288,0	354,6
KAc	800	-	-	-
Üre	108	710	76,7	92,02
Kum	120	360	43,2	51,84

Tablo 3'teki maliyetlere göre kimyasal çözücü seçilmesi doğru değildir. Bu kimyasal maddelerin yol kaplamasına, araçlara, köprülerin metal aksamlarına ve çevreye verdiği zararlar ve ayrıca etkin kullanım süreleri değerlendirilerek seçim yapılmalıdır. NaCl çözücüsünün esnek kaplamalarda agrega ile asfalt arasındaki adezyonu azaltarak, beton kaplamalarda ise donatılara zarar vererek üst yapının su etkilerine karşı daha hassas olmasına neden olmaktadır. Bu durum ise yolun bozulmasına etki eden temel faktörlerden biri olup, özellikle karla mücadelenin yoğun olduğu soğuk bölgelerde her kış sezonu sonunda yol yüzey tabakasının yenilenmek zorunda kaldığı bilinmektedir.

Bu nedenle yolların uzun dönemli maliyetleri göz önünde bulundurulunca, esas maliyet faktörünü yol bakım çalışmaları oluşturmaktadır. Diğer bir ifadeyle, birim maliyet bakımından en ucuz NaCl olmasına karşın, kaplama deformasyon değerleri dikkate alındığında MgCl₂ çözücüsünün yola daha az zarar vereceği ve dolayısıyla yol bakım maliyetlerini azaltacağı düşünülmektedir. MgCl₂ çözücüsünün maliyetinin NaCl'ye çok yakın olduğu, dolayısıyla daha ekonomik olduğu görülmektedir.

4.2. Isıtma Sistemlerinin Maliyet Analizi

Kar ve buzla mücadelede kullanılan gelişmiş ısıtma sistemlerinin, kurulum ve işletme maliyetleri ve güç

tüketimleri günümüze kadar çeşitli çalışmacılar tarafından araştırılmıştır. Bu araştırmalar sonunda elde edilen veriler Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4. Isıtma Sistemlerinin Maliyetleri (Costs of Heating Systems)

Isıtma Türü	Yaklaşık İlk Kurulum Maliyeti	Yıllık İşletme Maliyeti	Güç Tüketimi
Kızılötesi Isı Lambasıyla Isıtma <i>Zenewitz, J. A. (1977)</i>	96 \$/m ²	Mevcut değil	75 W/m ²
Elektrikli Isıtma <i>Zenewitz, J. A. (1977)</i> <i>Henderson, D. J. (1963)</i>	54 \$/m ²	4,8 \$/m ²	325-430 W/m ²
Sıcak Sulu Isıtma <i>Cress M. D. (1995)</i> <i>Ficenec, J. A. ve diğ. (1993)</i>	161 \$/m ²	2,5 \$/m ²	473 W/m ²
Gazlı Isıtma Borularıyla Isıtma <i>(1998)</i>	378 \$/m ²	2,1 \$/m ²	Mevcut değil
İletken Betonla Isıtma <i>Yehia, S. ve Tuan, C. Y. (1998)</i>	48 \$/m ²	5,4 \$/m ²	516 W/m ²
Karbon Fiber Kablolarla Isıtma <i>Zhao, H. ve diğ. (2010)</i>	Mevcut değil	0,38-2,8 \$/m ²	500-800 W/m ²
Karbon Fiber Bantlarla Isıtma <i>Yang, Z. ve diğ. (2012)</i>	145 \$/m ²	0,09 \$/m ²	127 W/m ²

Not:

a. Veriler literatürden alınmıştır.

b. Elektrik maliyetinin 0,08 \$/kWh olduğu kabul edilmiştir

Bu tablodaki mevcut veriler ışığında; ilk kurulum maliyeti bakımından iletken betonla ısıtma sistemi en düşük maliyette olmasına rağmen, yıllık işletme maliyetinin en yüksek olduğu görülmektedir. İlk kurulum maliyeti en fazla olan sistem gazlı ısıtma sistemi, yıllık işletme maliyeti en az olan sistem ise karbon fiber bantlarla ısıtma sistemidir.

5. SONUÇLAR

Ülkemizde kar ve buzla mücadelede yıllardır kullanılmakta olan tuz ve benzeri kimyasal maddelerin artık bir kenara bırakılıp, yeni yöntemlerin kullanılması zorunluluk arz etmektedir. Ucuz olmasının bir avantaj olarak görülmesine karşın uzun vadede oldukça maliyetli olan ve maliyetine rağmen etkin bir mücadele aracı olmayan bu kimyasalların ülke ekonomisine, çevreye ve hizmet kalitesine vermiş oldukları zararlar ortadadır. Yeni yeni kullanılmaya başlanan özel kimyasal solüsyonlar da çok pahalı olmasından dolayı yalnızca havaalanı pistleri gibi önem arz eden yerler ve köprü ve viyadükler gibi buzlanmaya en müsait yerlerde uygulanabilmektedir.

Dünya'da yıllardır kullanılan ısıtma sistemleri bizim için maalesef henüz çok yeni bir tabirdir. Oysa ki her yıl, tuz veya kimyasal solüsyon maliyeti, nakliyesi, personel ücreti, araç yakıt maliyeti, ek mesai, çevresel kirlilik, kaplama deformasyonu ve korozyon nedeniyle bakım onarım maliyetleri düşünüldüğünde bu demode yöntemlerin ne kadar pahalıya mal oldukları anlaşılmaktadır. Isıtma sistemlerinin ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olmasına karşın, uzun vadede kendini amorti etmektedir. Ayrıca bu sistemler sayesinde, buzlanmanın oluşabileceği sıcaklık

algılandığında sistem otomatik olarak çalışmaya başlayarak zaman kaybı önlenecek ve yerinde müdahale yapılabilecektir.

Sonuç olarak, ülkemizde yeni olan bu ısıtma sistemlerinin kullanılması durumunda havaalanı, köprü, tünel, köprülü kavşak ve viyadük gibi kritik noktalara anında müdahale edilerek buzlanmanın önlenmesi, hizmet seviyesinin korunması, seyir güvenliğinin sağlanması ve yatırım maliyetlerinin azaltılması bakımından klasik yöntemlere göre avantaj sağlanacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü, **Havaalanları Pist Yüzey Şartları Yönergesi**, Yönerge No 15, 2006.
- [2] Henderson, D. J., "Experimental Roadway Heating Project on a Bridge Approach", **Highway Research Records**, 14-23, 1963.
- [3] Menzies, T. R., "National Cost of Damage to Infrastructure From Highway Deicing", Corrosion Forms and Control For Infrastructure, ASTM STP 1137, **American Society for Testing and Materials**, Philadelphia, 30-46, 1991.
- [4] Hassan, Y., Abd El Halim, A. O., Razaqpur, A. G., Bekheet, W. ve Farha, M. H., "Effects of Runway Deicers on Pavement Materials and Mixes: Comparison with Road Salt",

- Journal of Transportation Engineering**, 385–391, 2002.
- [5] Amsler, D. E., "Snow and Ice Control", **Cornell Local Roads Program Publication**, No 06-7, 2006.
- [6] Anonymous, "Pre-Wetting and Anti-Icing Techniques for Winter Road Maintenance", **Wisconsin Transportation Bulletin**, No 22, 8, Wisconsin, 2005.
- [7] Nixon, W. A., "The Use of Abrasives in Winter Maintenance", **Iowa Department of Transportation and The Iowa Highway Research Board**, Final Report of Project TR 434, No 416, 23, Iowa, 2001.
- [8] Ahmedzade P., Yılmaz, M. ve Yılmaz, M., "Kar ve Buz ile Mücadele Etmek Amacıyla Geliştirilen Daha Etkili ve Ekonomik Yeni Yöntemler", **7. Ulaştırma Kongresi**, 186-195, İstanbul, 2007.
- [9] Monsere, C. M. ve diğ., "Determining optimum safety countermeasures for speed related crashes Volume 2: Comparison of identification and ranking methodologies for speed-related crash locations", **Oregon Department of Transportation Research Unit**, 99, 2006.
- [10] U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration (FAA), **Airside Use of Heated Pavement Systems**, Advisory Circular No 150/5370-17, 2011.
- [11] Bienert, W. B., Pravda, M. F., Suelau, H. H. ve Wolf, D. A., "Snow and Ice Removal from Pavements Using Stored Earth Energy", **Report FHWA-RD-75-6**, U.S. Department of Transportation, 1974.
- [12] Long, D. C. and Baldwin, J. S., "Snow and Ice Removal from Pavement Using Stored Earth Energy", **Report: FHWA-TS-80-227**, U.S. Department of Transportation, 1980.
- [13] Lund, J. W., "Pavement Snow Melting", **Geo-Heat Center Quarterly Bulletin**, Cilt 21, No 2, 2000.
- [14] Nydahl, J., Pell, K., Lee, R. ve Sackos, J., "Evaluation of An Earth Heated Bridge Deck", **University of Wyoming**, Larime, DTFH61-80-C-00053, 1984.
- [15] Aoki K., Hattori, M. ve Ujii, T., "Snow Melting by Heating from the Bottom Surface", **The Japan Society of Mechanical Engineer International Journal**, Cilt 31, No 2, 269, 1998.
- [16] Ichiyama, T. ve Magome, T., "Snow Melting Panel", **Washington D.C.: U.S. Patent and Trademark Office**, U.S. Patent No. 7, 261, 145, B2, 2007.
- [17] Boyd, T., "New Snow Melt Projects in Klamath Falls", **Geo-Heat Center Quarterly Bulletin**, 2003.
- [18] Zhao, H., Wang, S., Wu, Z. ve Che, G., "Concrete Slab Installed With Carbon Fiber Heating Wire for Bridge Deck Deicing", **Journal of Transportation Engineering**, 500–509, 2010.
- [19] Zenewitz, J. A., "Survey of Alternatives to The Use of Chlorides for Highway Deicing", **Federal Highway Administration Offices of Research and Development**, Report No. FHWA-RD-77-52, Washington, 1977.
- [20] Seferoğlu, M. T., "Havaalanı Rijit Kaplamalarında Farklı Beton Sınıfları İçin Sıcaklık Değişiminin Sonlu Elemanlar ve Deneysel Çalışmalarla Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2014.
- [21] Sugarawa, N. ve diğ., "Energy Saving Characteristics of a New Type of Road-Heating System", **Atmospheric Research**, 113-122, 1998.
- [22] Petrenko V. ve Sullavan C., "Methods and Systems for Removing Ice from Surfaces", **Washington D.C.: U.S. Patent and Trademark Office**, Patent No. 6, 653, 598, B2, 2003.
- [23] Walker, L., "Snow and Ice Melting Blanket Device", **Washington D.C.: U.S. Patent and Trademark Office**, Patent No. 6, 051, 812, 2000.
- [24] Xie, P. ve Beaudion, J. J., "Electrically Conductive Concrete and Its Application in Deicing", **Advances in Concrete Technology Proceedings Second CANMET/ACI International Symposium**, LasVegas, Nevada, 399-417, 1995.
- [25] Yehia, S. ve Tuan, C. Y., "Bridge Deck Deicing", **Transportation Conference Proceedings**, Iowa, USA, 51–57, 1998.
- [26] Yehia, S., Tuan, C. Y., Ferdon, D. ve Chen, B., "Conductive Concrete Overlay for Bridge Deck Deicing: Mixture Proportioning, Optimization and Properties", **ACI Materials Journal 97 (2)**, 172–181, 2000.
- [27] Minsk, L. D., "Electrically Conductive Asphaltic Concrete", **Washington D.C.: U.S. Patent and Trademark Office**, U.S. Patent No. 3, 573, 427, 1971.

- [28] Abukasm, Z. G., "Modular Snow Melting Carpet Device", **Washington D.C.: U.S. Patent and Trademark Office**, U.S. Patent No. 6, 278, 085 B1, 2001.
- [29] Tuan, C. Y., "Roca Spur Bridge: The Implementation of An Innovative Deicing Technology", **Journal of Cold Regions Engineering 22 (1)**, 1-15, 2008.
- [30] Hopstock, D. M., "Microwave-Absorbing Road Construction and Repair Material", **Final Report to NRRI on Idea Evaluation Subcontract**, 2003.
- [31] Yörükoğulları, E., "Doğal Zeolitlerin Karayollarında Buz/Kar Çözücü Olarak Kullanımı", **Madencilik Bülteni**, 75, 40-42, 2005.
- [32] Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), **2007 Yılı Devlet ve İl Yolları Bakım-İşletme Maliyetleri**, Ulaşım ve Maliyet Etütleri Şube Müdürlüğü, 2007.
- [33] Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), **2013 Yılı Devlet ve İl Yolları Bakım-İşletme Maliyet Bilgileri**, Ulaşım ve Maliyet Etütleri Şubesi Müdürlüğü, 2013.
- [34] Erzurum Büyükşehir Belediyesi, 2013 Yılı Faaliyet Raporu, Bölüm3, 135, 2013.
- [35] U.S. Environmental Protection Agency, **"Storm Water Management Fact Sheet Minimizing Effects From Highway Deicing"**, EPA 832-F-99-016, 1999.
- [36] Kuloğlu, N. ve Kök, B. V., "Karayollarında Kar ve Buz Mücadelesinde Kullanılan Tuzun Beton Asfalt Kaplamaya Etkisi", **Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 17, 87-96, 2005.
- [37] Federal Highway Administration (FHWA) Report, **"Manual of Practice for An Effective Anti-icing Program: A Guide For Highway Winter Maintenance Personnel"**, RD-95-202 69, 1996.
- [38] Park Teknoloji Yayla Grup, **"Karla Mücadele; Yeni Çözüm Kar ve Buz Çözücü Snow Fighter De-ice"**, 14, 2005.