

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARAYOLU ÜSTYAPILARINDA BUZLANMAYLA
MÜCADELEDE ISITILMIŞ AGREGA KULLANIMI**

Ebru ÖZDEMİR

Danışman: Prof. Dr. Mehmet SALTAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA 2011**

TEZ ONAYI

Ebru ÖZDEMİR tarafından hazırlanan “**Karayolu Üstyapılarında Buzlanmayla Mücadelede Isıtılmış Agreganın Kullanımı**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Mehmet SALTAN
(SDÜ, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı)

(İmza)

Jüri Üyeleri :

Doç. Dr. Serdal TERZİ

Süleyman Demirel Üniversitesi Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

(İmza)

Yrd. Doç. Dr. Meltem SAPLIOĞLU

Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

(İmza)

Doç. Dr. Mehmet Cengiz KAYACAN
Enstitü Müdür Vekili

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET..	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Karayolu Üstyapıları	3
2.2. Yolların Yüzey Özellikleri.....	5
2.3. Kar ve Buzlanma İle Mücadele.....	7
2.3.1. Kar kontrolü	8
2.3.1.1. Kar siperleri ile kar kontrolü	8
2.3.1.2. Kar makinaları ve ekipmanları ile kar kontrolü	9
2.3.2. Buzlanma ile mücadele	10
2.3.2.1. Buzlanmanın önlenmesi (Anti-İcing).....	12
2.3.2.2. Buzlanmanın giderilmesi (De-İcing).....	13
2.3.2.3. Aşındırıcı kullanımı	15
2.3.3. Buzlanma ile mücadelede kullanılan kimyasallar.....	18
2.3.3.1. Katı kimyasal maddeler ve uygulanması	22
2.3.3.2. Sıvı kimyasallar ve uygulanmaları.....	24
2.3.3.3. Önceden ısıtılmış katı kimyasal malzemeler ve uygulanması.....	25
2.3.4. Kar ve buzlanma ile mücadelede kullanılan malzemelerin depolanması	27
2.3.5. Buzlanma ile mücadelede kullanılan kimyasalların ve aşındırıcıların çevre etkileri	28
2.3.6. Kar ve buzlanma ile mücadelede geliştirilen yeni yöntemler	32
2.4. Konu Hakkında Yapılmış Önceki Çalışmalar	37
3. MATERYAL VE YÖNTEM	44
3.1. Materyal	44
3.1.1. Pomza.....	44

3.1.2. Kum.....	49
3.1.3. Sodyum Klorür.....	50
3.2. Yöntem.....	55
3.2.1. Deneylerin yapılışı	57
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	63
4.1. Kum Kullanılarak Yapılan Deney Sonuçları	64
4.2. Isıtılmış Pomza Kullanılarak Yapılan Deney Sonuçları	67
4.3. Sodyum Klorür (NaCl) Kullanılarak Yapılan Deney Sonuçları	70
4.4. Sodyum Klorür Kalsiyum Klorür Karışımı Kullanılarak Yapılan Deney Sonuçları	72
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	75
6. KAYNAKLAR	78
EKLER.....	82
ÖZGEÇMİŞ	97

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KARAYOLU ÜSTYAPILARINDA BUZLANMAYLA MÜCADELEDE ISITILMIŞ AGREGE KULLANIMI

Ebru ÖZDEMİR

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet SALTAN

Bu çalışmada, karayollarında, kış mevsiminde kar yağışından dolayı oluşan kar ve buzlanma ile mücadele yöntemleri incelenmiştir. Bu yöntemler, buz çözücüler, buzlanmayı önleyiciler ve aşındırıcılar olarak üç başlık altında incelenmiştir. Bu yöntemlerde kullanılan kimyasalların ve aşındırıcıların kullanım yöntemleri, depolama ihtiyaçları ve çevre etkilerinden bahsedilmiştir. Ayrıca kar ve buzlanma ile mücadele ile ilgili geliştirilen yeni teknolojilerden de bahsedilmiştir.

Buzlanma ile mücadelede kullanılan kimyasal ve aşındırıcıların pek çok olumsuz etkileri vardır. Bu nedenle buzlanma ile mücadele yapılabilen, ancak sonrasında pek çok olumsuzluk ve yüksek bakım onarım maliyetleri oluşmaktadır. Ayrıca bu malzemelerin çevreye zararları da göz ardı edilemeyecek boyutlardadır. Bu nedenle, buzlanma ile mücadelede kullanılan malzemeler kadar etkili, ucuz, yola ve çevreye zararı olmayan bir malzemenin bulunması ekonomi ve doğal çevre açısından çok yararlı olacaktır. Yapılan çalışmada, ülkemizde oldukça bol bulunan pomzanın ısıtılarak buzlanma ile mücadelede kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla Isparta-Karakaya pomzası ve karayollarında aşındırıcı malzeme olarak kullanılan kum üzerinde ısıtılarak aşındırma ile buz eritme deneyleri yapılmıştır. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla sodyum klorür ve kalsiyum klorürün de buz eritme deneyleri yapılmıştır.

Sonuç olarak, ısıtılmış pomzanın kimyasallardan da, kumdan da daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Karayolu, buzlanma, kar, pomza, kimyasal, aşındırıcı

2011, 97 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

USE OF HEATED AGGREGATE IN CONTESTATION ICING OF HIGHWAY PAVEMENT

Ebru ÖZDEMİR

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Civil Engineering Department**

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet SALTAN

In this study, the roads were examined for snow and ice control methods due to snow in the winter. These methods were examined under three headings as anti-icing, de-icing and abrasives. Methods of use, storage requirements and environmental impacts were discussed of chemicals and abrasives used in these methods. In addition, also new technologies about contestation icing were mentioned.

There are many negative effects of chemicals and abrasives used for combating icing. Therefore, contestation can be made with icing, however after this process a lot of negativeness, high maintenance and repair costs occur. In addition, these materials' damages to environment cannot be ignored. Therefore, by discovering a material that is as effective, inexpensive, and not harmful to road and natural environment as any other material used in this process, will be very beneficial for economy and natural environment. In this study, it was investigated using of heated pumice commonly found in Turkey, for contestation with icing. For this purpose, pumice from Isparta Karakaya heated over the sand that is used as abrasive on highways used for contestation with icing experiment. In order to compare, over the sodium chloride and calcium chloride tests were carried out on the ice melting.

As a results, heated pumice gave better results than, in both the chemicals and heated sand.

Key Words: Highway, icing, snow, pumice, chemicals, abrasive

2011, 97 pages

TEŞEKKÜR

Bulunduğu coğrafi konum nedeniyle çok büyük bir kısmında karasal iklim görülen ülkemizde, kış aylarında kar ve buzlanma ile mücadele çalışmaları yapmak kaçınılmaz bir gerçektir ve bu çalışmaların amatörce devam ettiği söylenebilir. Buzlanma ile mücadele etmek amacıyla genellikle pahalı, karayollarına ve çevreye zararlı malzemeler kullanılmaktadır. Bu nedenle ucuz, kolay bulunabilen, çevreye ve karayollarına zarar vermeyen bir malzemenin bulunması ve kullanılması ülkemiz için oldukça önemlidir. Bu tez çalışmasında, ülkemizde bol miktarda bulunan, kullanımından sonra yola ve çevreye hiçbir zarar vermeyen pomzanın ısıtılarak kullanılabilirliği incelenmiştir ve oldukça olumlu sonuçlar alınmıştır.

Çalışma konumun belirlenmesinde ve tezimin her aşamasında bilgi, görüş ve desteğini benden esirgemeyen, her türlü zorlukta yanımda olan değerli Danışman Hocam, Prof. Dr. Mehmet SALTAN'a (S.D.Ü. Müh-Mim Fak. İnşaat Müh. Böl.), deneysel çalışmalarımın her aşamasında bilgi, görüş ve yardımlarını benden esirgemeyen değerli Hocam, Yrd. Doç. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL'e (S.D.Ü. Müh-Mim Fak. İnşaat Müh. Böl.), çalışmalarımın her aşamasında, ihtiyaç duyduğum her zaman yardımlarını benden esirgemeyen arkadaşım İnş. Müh. Betül ÖKSÜZ'e ve tüm ulaştırma anabilim dalı hocalarına çok teşekkür ederim.

1981-YL-09 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı' na teşekkür ederim.

Sonsuz sevgisi ve bağlılığıyla, bana doğru kişi olduğunu her zaman kanıtlayan, çalışmamın her aşamasında görüşlerini benimle paylaşan eşim İnş. Müh. Melikşah ÖZDEMİR'e, çalışmamın her aşamasında büyük bir sabır ve olgunluk gösteren canım kızım Ayşe Melis ÖZDEMİR'e ve aileme sonsuz teşekkür ederim.

Ebru ÖZDEMİR

ISPARTA, 2011

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Tipik bir esnek üstyapı enkesiti	4
Şekil 2.2. Kaplama pürüzlülüğü.....	6
Şekil.2.3. Cansız kar siperleri	9
Şekil.2.4. (a) Düz kar bıçağı (b) V kar bıçağı (c) Rölatif.....	10
Şekil 2.5. Buzlanmayı Önlemenin Şematik Gösterimi (Amsler, 2006).....	12
Şekil 2.7. Buz çözme çalışmalarının şematik gösterimi (Amsler, 2006).	14
Şekil 2.8. Karayollarında aşındırıcı olarak kullanılan kum.....	16
Şekil 2.9. Kum serme araçları (Nixon, 2009)	16
Şekil 2.10. Farklı tip katı kimyasal uygulama araçları.....	23
Şekil 2.11. Faz diyagramları (Ağar ve Kutluhan, 2005)	24
Şekil 2.12. Sıvı kimyasal uygulama araçları	25
Şekil 2.13. Ön ısılatmalı malzeme serme araçları (www.monroetruck.com)	27
Şekil 2.14. Kapalı tuz depolama alanı.....	27
Şekil 2.15. Sıvı kimyasal depoları	28
Şekil 2.16. Buzlanma ile mücadele kimyasallarının çevre ile etkileşim yolları	29
Şekil 2.17. Tuzun neden olduğu bazı malzemelere ait korozyon örnekleri	29
Şekil 2.18. Buzlanma mücadelesi sonucu bozulmuş beton yol (Bolat vd., 2010)	31
Şekil 2.19. RWIS kulesi ve sensörlerine ait örnekler.....	33
Şekil 2.20. RWIS sistemi işleyiş şeması	34
Şekil 2.21. Yola ve yol kenarına yerleştirilmiş püskürtme sistemleri.....	36
Şekil 2.22. Köprüde buzlanma önleyici sistem bileşenleri (Goodwin, 2003).....	36
Şekil 3.1. Pomza.....	45
Şekil 3.2. Boyutlarına ayrılmış pomza agregaları	45
Şekil 3.3. (a) Bazik pomza (b) Asidik pomza	46
Şekil 3.4. Pomzanın kullanım alanları	47
Şekil 3.5. Türkiye pomza rezerv dağılımı (Şapıcı ve Gündüz, 2004).....	48
Şekil 3.6. Kum	49
Şekil 3.7. Sofra Tuzu.....	51
Şekil 3.8. Karayollarında buzlanma ile mücadelede tuz kullanımı.....	51
Şekil 3.9. Tuz Gölü	53
Şekil 3.10. Kalsiyum klorür	53

Şekil 3. 11. Buz eritme deney aleti (Varış, 2007)	55
Şekil 3.12. Derin dondurucu ve dondurucuya yerleştirilmiş deney tepsileri	57
Şekil 3.13. Kum ve pomza numuneleri	58
Şekil 3.14. Sodyum klorür ve kalsiyum klorür sodyum klorür karışımı numuneleri	59
Şekil 3.15. Kefelere yerleştirilen ağırlıklar	59
Şekil 3.16. Beklemeye alınan numune	59
Şekil 3.17. Isıtılmış pomza	60
Şekil 3.18. Buzun üzerine malzemenin serilmesi	60
Şekil 3.19. Deney aletinin çalışması	61
Şekil 4.1. Kum buz eritme deney sonuçları grafiği	65
Şekil 4.2. Kum ve ısıtılmış kum deney sonuçları grafiği	66
Şekil 4.3. Kum buz eritme testi sonuçları grafiğine eğilim çizgisi eklenmesi	67
Şekil 4.4. Isıtılmış pomza deney sonuçlarının grafiksel gösterimi	68
Şekil 4.5. Pomza ve ısıtılmış pomza deney sonuçları grafiği	69
Şekil 4.6. Isıtılmış pomza deney sonuçları grafiğine eğilim çizgisi eklenmesi	69
Şekil 4.7. Sodyum klorür deney sonuçları grafiği	71
Şekil 4.8. Sodyum klorür deney sonuçları grafiğine eğilim çizgisi eklenmesi	71
Şekil 4.9. Sodyum klorür-kalsiyum klorür karışımı deney sonuçları grafiği	73
Şekil 4.10. Sodyum klorür kalsiyum klorür deney sonuçları grafiğine eğilim çizgisi eklenmesi	73
Şekil 4.11. Isıtılmış kum, ısıtılmış pomza, sodyum klorür ve sodyum klorür-kalsiyum klorür deney sonuçları grafikleri	74

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Sürtünme katsayısı değerlerine göre frenleme kabiliyeti.....	17
Çizelge 2.2. Aşındırıcı kullanımı önerileri.....	18
Çizelge 2.3. Kimyasalların bazı özellikleri.....	20
Çizelge 2.4. Buz kontrol kimyasalları karşılaştırılması (Amsler, 2006).....	21
Çizelge 2.5. Kimyasalların ve aşındırıcıların çevre etkileri (Zhang et al, 2009)	30
Çizelge 3.1. Pomzanın genel kimyasal bileşimleri	46
Çizelge 3.2. Pomzanın genel fiziksel özellikleri (Sezgin vd., 2005)	47
Çizelge 3.3. Kalsiyum klorürün fiziksel özellikleri	54
Çizelge 3.4. Kum ve pomzanın ağırlıkça yüzdeleri	58
Çizelge 4.1. Deney düzeneğine malzeme konulmadan yapılan deneylerle alınan sonuçlar	64
Çizelge 4.2. Isıtılmış kumun buz eritme deney sonuçları	64
Çizelge 4.3. Kum buz eritme deney sonuçları (Varış, 2007)	65
Çizelge 4.4. Isıtılmış pomzanın buz eritme deney sonuçları	68
Çizelge 4.5. Pomza buz eritme deney sonuçları (Varış, 2007)	68
Çizelge 4.6. Sodyum klorürün buz eritme deney sonuçları	70
Çizelge 4.7. Sodyum klorür-kalsiyum klorür karışımı deney sonuçları	72

1. GİRİŞ

Küresel anlamda pek çok gelişmenin yaşandığı günümüzde, küreselleşmeyle birlikte ulaştırma sektörünün önemi de giderek artmaktadır. Günümüz koşullarında havayolu, denizyolu, karayolu ve demiryolu türleri kullanılmaktadır. Bu ulaşım türlerinden karayolu ile ulaşım tarih boyunca güncelliğini korumaktadır ve özellikle kısa mesafelerde ekonomik olması dolayısıyla daha sıklıkla tercih edilmektedir. Ülkemizde de yük ve yolcu taşımacılığının çok büyük bir kısmı karayollarından yapılmaktadır.

Ülkemiz bulunduğu coğrafi konum nedeniyle farklı iklim tiplerinin görüldüğü bir ülkedir. Ancak yüzölçümlerine göre kıyaslama yapıldığında karasal iklimin daha fazla görüldüğü söylenebilir. Bu nedenle ülkemizde karayolları ile ilgili yaşanan en büyük sıkıntı kar ve buzlanmadır. Karayollarında görülen kar ve buzlanma yolu kullanan trafiği seyir güvenliği bakımından olumsuz yönde etkileyen, trafiğin normal seyrini zorlaştıran ve can ve mal kayıplarının görüldüğü trafik kazalarına neden olan en önemli etkenlerden biridir. Karayollarında beklenen hizmet düzeyinin sağlanması için, kar yağışı ve buzlanmanın görüldüğü kesimlerde kar ve buz kontrol çalışmaları yapılmalıdır.

Kar kontrolü, gerekli yerlere kar siperlerinin yapılmasıyla karın yol platformunda birikmesinin engellenmesi ve biriken karın kar makinalarıyla yol yüzeyinden uzaklaştırılmasından oluşur. Buzlanmanın kontrolü için ise alınan önlemler, buzlanmayı önleyiciler, buz çözücüler ve aşındırıcı kullanımı olarak üç grupta toplanabilir. Buzlanmayı önleyiciler kar yağışı başlamadan önce, katı, sıvı veya ön ıslatılmış kimyasal maddelerin yola uygulanmasından oluşur. Buz çözücüler de kar yağışının ardından, yolda buzlanma görüldükten sonra aynı kimyasal maddelerin üstyapıya uygulanmasından oluşur. Sürtünmenin hızla azaldığı, kimyasalların etkisinin yavaş olduğu çok soğuk havalarda ise aşındırıcılar kullanılmaktadır. Ancak bu üç yöntemde de kullanılan malzemeler yola ve çevreye çok ciddi zararlar vermektedir.

Ülkemizde kar ve buzlanma ile mücadele çalışmaları amatörce devam etmekte ve her yıl ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Buzlanma için alınan önlem genellikle tuzla işlem görmüş kum uygulamasıdır. Araçları, köprüleri, beton yol içindeki donatıları, yol kenarındaki metal aksamaları paslandırması, üstyapıyı bozması ve bitkilere zarar vermesi gibi nedenlerden dolayı tuz kullanımı oldukça sorunludur. Bunun yanında akış delikleri ve kanalizasyonları tıkaması ve çevreyi kirletmesi nedeniyle kum kullanımı da ayrıca sorun oluşturmaktadır. Kar ve buzlanmanın neden olduğu trafik kazalarını, can ve mal kayıplarını önlemek için önlemler alınmalı, kar ve buz kontrol çalışmaları yapılmalıdır. Ancak burada önemli olan nokta, kar ve buzlanmanın oluşturduğu tehlikeli durumları önlerken, başka tehlikeler oluşturmamaktır.

Ülkeler arası ticarete ve ülkelerin ekonomisinde çok önemli bir yere sahip olan ulaştırma sektörüyle ilgili farklı çalışmalar yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında da, önemi son yıllarda anlaşılmaya başlanan, volkanik kökenli bir kayaç türü olan ve oldukça boşluklu bir yapıya sahip olan pomzanın buzlanma ile mücadelede, etkinliğini arttırmak amacıyla ısıtılarak kullanımının araştırılması yapılmıştır. Ülkemiz oldukça zengin pomza yataklarına sahiptir ve deneylerde pomzanın atık kısmı kullanılmıştır. Pomza inşaat, tekstil, kimya ve tarım sektörü gibi çeşitli sanayi sektörlerinde kullanılan, çevreye hiçbir zarar vermeyen tamamen doğal bir malzemedir. Elde edilen sonuçlarda, pomzayı ısıtmanın performansını çok büyük ölçüde artırdığı görülmüştür. Pomzanın atık kısmının değer kazanması, buzlanma ile mücadelede doğal bir malzemenin kullanılması, yola hiçbir zarar vermemesi ve son yıllarda daha da önemsenmeye başlanan, çevreyle dost bir işlem yürütülmesi açısından oldukça önemlidir. Sonuç olarak pomzayı ısıtmak ek bir maliyet oluşturacaktır, ancak pomzanın atık kısmının kullanılması ve pomzanın kullanımından sonra yola ve çevreye herhangi bir zarar vermemesi nedeniyle buzlanma ile mücadelede oluşan toplam maliyet azalacaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Karayolu Üstyapıları

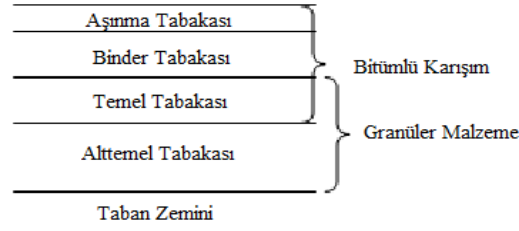
Dünya nüfusunun artması ve teknolojik gelişmeler, toplum yapısında ekonomik, sosyal değişmelere neden olarak büyük kentleri ve metropollerini birbirine bağlayan karayollarının önemini artırmıştır. Ülkemiz koşullarında yük ve yolcu taşımacılığının yaklaşık %95'lik bir kısmı karayolu ile sağlanmaktadır. 2007 verilerine göre Türkiye toplam bütçesinin yaklaşık %2'si karayollarına ayrılmıştır. Bu nedenle ulaşımda yoğun şekilde kullandığımız karayollarına hem ekonomik açıdan hem de kullanıcı güvenliği açısından titizlik göstermek gerekmektedir.

Yapılan çalışmalarla saptanan güzergah boyunca, doğal zeminin arzu edilen kotlara getirilerek, üzerinde taşıtların istenilen hız, güvenlik ve konfor koşullarında hareketlerinin sağlanabilmesi amacıyla inşa edilen yapıların tümü karayolu yapısını oluşturur. Karayolu yapısı görevi, yapım sırası ve özellikleri açısından alt ve üst yapı olarak iki ayrı bölümde incelenebilir (İlıcılı, 2001).

Karayolu üstyapıları, kaplama tabakasında kullanılan malzemelerin türlerine, özelliklerine ve yapım yöntemlerine göre rijit ve esnek olmak üzere iki şekilde inşa edilirler. Rijit üstyapının kaplama tabakası çimento betonundan oluşur. Bitümlü kaplama tabakalarıyla oluşturulan üstyapılar ise esnek üstyapılar olup kazanılan bilgi ve tecrübe nedeniyle ülkemizde daha çok tercih edilmektedir.

Esnek üstyapılar, üzerine gelen hareketli ve sabit yükleri, bünyesindeki çeşitli tabakalardan geçirerek, çok iyi yüzeysel temas halinde olduğu taban zeminine ileten, alttan üste doğru nitelik ve taşıyıcılık bakımından daha iyi malzemelerden inşa edilen, stabilitesi esas olarak agrega kilitlenmesi, partikül sürtünmesi ve kohezyona dayanan bir üstyapı tipidir. Aynı zamanda bir esnek üstyapı, trafiği güvenli olarak ve ekonomik bir şekilde taşımak zorundadır (Fındık ve Saltan, 2005).

Bir esnek üstyapı, proje ömrü, trafik hacmi, mevcut malzeme durumu ve taban zemini dayanımı gibi kriterler göz önünde bulundurularak tabakalı olarak projelendirilir. Bu tabakalar; üstyapının üst kısmından taban zeminine inildikçe, tabakalarda kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri düşecek şekilde kaplama tabakası, temel tabakası, alttemel tabakası ve taban zemini olarak adlandırılır (Türel, 2002) (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Tipik bir esnek üstyapı enkesiti

Üstyapının trafik yüklerine doğrudan maruz kalan en üst tabakası kaplama tabakasıdır. Trafik yükleri nedeniyle oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin en yüksek seviyede olması ve iklimin bozucu etkilerine doğrudan doğruya maruz kalması nedeniyle kaplama tabakası, üstyapının diğer tabakalarına göre daha yüksek bir elastisite modülü ve kaymaya direnç yanında geçirimsizlik özelliğine de sahip olmalıdır. Kaplama tabakasının kalınlığı arttıkça yolun direnci artar. Yollarda temel tabakası üzerine konan bitümlü kaplama tabakaları, genellikle yapım ve çalışma ilkeleri oldukça farklı olan sathi kaplama ve asfalt betonu kaplamalar olarak iki tipe ayrılırlar. Sathi kaplama, hazırlanmış bir temel üzerine önce bitümlü bağlayıcı arkasından agrega tatbiki şeklinde inşa edilir. Asfalt betonu kaplama, kırılmış ve elenmiş kaba agrega, ince agrega ve mineral fillerin belirli dane dağılımı içerisinde karışım formülü esaslarına uygun olarak bitümlü bağlayıcı ile bir plentte karıştırılarak bir veya birden fazla tabakalar halinde sıcak olarak serilip sıkıştırılarak elde edilen bir kaplamadır. Asfalt betonu kaplama genel olarak aşınma tabakası ve binder tabakası olarak iki tabaka halinde yapılır. Binder tabakası iki durumda yapılır. Birincisi, kaplama tabakası çok kalın olduğunda sıkıştırma zorluklarını önlemek için yapılır. İkincisi binder tabakası daha büyük boyutlu agregalardan oluştuğu için daha az asfalt harcanır ve böylece ekonomi sağlanmış olur.

Esnek üstyapının temel tabakası, kaplama tabakasının hemen altına yerleştirilen, daneli veya uygun bir bağlayıcı ile işlem görmüş malzeme tabakasıdır. Temel tabakasının asıl görevi taşıtların geçişlerinden dolayı oluşan gerilmeleri taban zemininin taşıma gücü sınırları içinde yaymaktır. Temel tabakası trafik yüklerinden doğan yüksek kayma gerilmelerine karşı koyabilmeli ve yüksek nem oranında dengede kalabilmelidir. Temel tabakası ayrıca, drenaja yardımcı olabildiği gibi, don etkisine karşı da ek bir koruma sağlayabilir. (Umar ve Ağar, 1991). Trafik yüklerinin taban zemini üzerine yayılmasını sağlamak, taban zemininin bünyesinde bulunan ince danelerin temel tabakasına nüfuz etmelerini önlemek ve ayrıca su ve don tesirlerine karşı tampon görevi yapmak üzere; belirli bir granülometride hazırlanan agreganın taban zemini üzerine bir veya birden fazla tabakalar halinde, serilip sıkıştırılması ile oluşturulan tabaka alttemel tabakasıdır (İlcalı, 1988). Taban zemini üst kısmında en az 15 cm kalınlığında iyi sıkıştırılmış olan doğal zeminden oluşur. Üstyapı yükü son olarak bu tabakaya iletilir (Karaşahin, 1993).

Toplumsal refah ve gelişimde önemli bir faktör ve gösterge olarak kabul edilen ulaşım faaliyetleri, çevre problemi yaratmadan, maliyeti en aza indirilerek ve en önemlisi de güvenli olarak gerçekleştirilmelidir. Ülkemizde karayolu trafiğinin yük ve yolcu taşıma payının çok büyük olması dikkat çekicidir. Gelişmiş olan pek çok ülke, ulaşım sistemlerini hızlı, ucuz, konforlu ve güvenli kılabilmek için; ulaşım politikalarının oluşturulması ve politikaların sürdürülebilirliğinin sağlanmasına yönelik çalışmalara önem ve öncelik vermektedirler. Ulaşım sistemlerini, sosyal, ekonomik, çevresel, politik ve güvenlik sorunlarının önemli bir parçası olarak değerlendirmekte, bu alanda kısa, orta ve uzun vadede yapılan yatırımların sağlayacağı toplumsal faydayı göz önünde bulundurmaktadırlar.

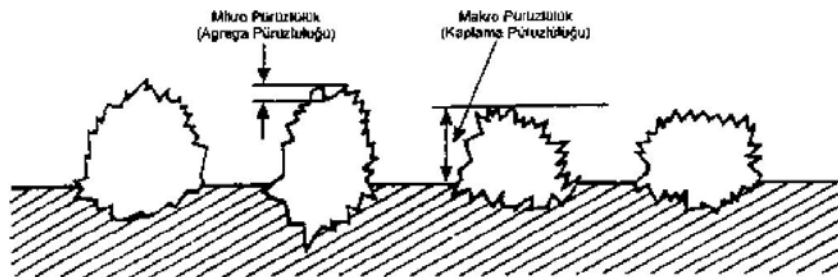
2.2. Yolların Yüzey Özellikleri

Modern bir yoldan beklenen özellikler çok sayıdadır. Yolu yapan ve işletenlerin aşağıdaki özellikleri yolda gerçekleştirmeleri ve uzun süre korumaları gerekir.

- Taşıt sürücüsü fren tedbirine başvurduğu zaman, yol yüzeyi ile tekerlek bandajları arasında, yağışlı havalarda bile büyük bir aderans sağlanmalıdır.
- Taşıt sürücüsü bir virajı dönerken, yolun enine reaksiyonları, taşıtı belirli bir yörüngede tutabilmelidir.
- Yol yüzeyinde girinti çıkıntı olmamalıdır.
- Yol sağlam olmalıdır. Trafik etkisi, frenleme, dönüş etkisi ve tekrarlanan yükler altında, uzun yıllar aynı kalitede kalabilmelidir.
- Yol üstyapısı ekonomik olmalıdır. Büyük bakım ve yenileme masrafları gerektirmemelidir.

Yolda taşıtların güvenli ve konforlu bir şekilde seyredebilmeleri için yol yüzeyinin geçirimsiz olması, belirli bir pürüzlülüğe sahip olması, enine ve boyuna profilinin sürekli düzgün olması gerekir. Ayrıca güvenlik ve konfor açısından yola gelen yağış sularının da uzaklaştırılması gerekir (Umar ve Ağar, 1991).

Kaplamanın yüzey yapısı (yüzeysel dokusu, pürüzlülüğü, v.b.) hem sürüş konforunu hem de sürüş emniyetini belirleyen en önemli husustur. Yani kaplamayı kullanan taşıtlar için kaplama yeterince düzgün ama gerekli sürtünme direncini sağlayacak kadar pürüzlü olmalıdır. Yüzey düzgünlüğü hızlı hareket eden taşıtların kayma direncinden, yani teker ile kaplama arasındaki sürtünme kuvvetinden sorumludur. Kaplamanın toplam kayma direnci yüzeyinin sahip olduğu makro ve mikro pürüzlülüğüne bağlıdır (Şekil 2.2.). Yol yüzeyinin pürüzlülüğü, taşıtlara uygun bir frenlenme ve iyi bir enine denge imkanı sağlamak için gereklidir.



Şekil 2.2. Kaplama pürüzlülüğü

Yol kuru ve temiz ise taşıt tekerlek lastiği ile yol yüzeyi arasında yüksek bir sürtünme sağlanması mümkündür. Buna karşılık kirli ve ıslak yüzeyli yolda güçlükler ortaya çıkar. Tekerlek lastiği ile yol yüzeyi arasında iyi bir aderans olabilmesi için kaplamanın aşağıdaki özellikleri sağlaması gerekir.

- Yol üzerinde su birikiminden kaçınılmalıdır. Düşük enine eğimler, yüzey deformasyonları, yüzeysel suların yanal akıtılmasının kötü oluşu, hatalı dever uygulamaları su birikimine sebep olabilir.
- Kaplama tabakasının agregası keskin kenarlı, kolay cilalanmayan, kırılmayan sert agregadan oluşması gerekir.
- Kaplama tabakası pürüzlülük sağlayacak dişli bir yapıya sahip olmalıdır.
- Yol yüzeyinin pürüzlülüğü yer yer değişmemelidir. Farklı malzeme ile onarım yapmak bu duruma sebep olur.

2.3. Kar ve Buzlanma İle Mücadele

Trafik için kamunun yararlanmasına açık olan karayolları tüm ekonominin üretkenliğinde hayati rol oynar. Ülkemizde 1950’li yıllardan sonra ulaştırma politikalarında karayolu ağırlık kazanmıştır. Bugün ülkemizde yük ve yolcu taşımacılığının çok büyük bir kısmı karayolundan yapılmaktadır. Ağır geçen kış aylarındaki sıvı ya da kar şeklindeki yağışın trafiği olumsuz yönde etkilediği bir gerçektir. Yapılan araştırmalarla birlikte trafik sıkışıklığı ve kazaların çoğunun yağışlı havalarda meydana geldiği görülmektedir.

Kar yağışı ve buzlanma, yolu kullanan trafiği, seyir güvenliği bakımından olumsuz yönde etkileyen ve dolayısıyla yoldan beklenen hizmet düzeyini büyük ölçüde düşüren en önemli etkenlerden biridir. Günümüzün çok hareketli toplumunda, kar ve buz nedeniyle oluşan tehlikeli durumları en kısa zamanda ortadan kaldırmak ve kış mevsimlerinde gerekli olan hareketliliği garanti altına almak için yolları açık tutmak zorunludur. Kar yağışı ve buzlanmanın etkili olduğu kesimlerde, yol ile taşıt tekerlekleri arasındaki sürtünmenin azalması, trafiğin normal seyrini zorlaştırmakta, can ve mal kayıplarının görüldüğü trafik kazalarına neden olmaktadır. Karayolunda

seyir güvenliğinin sürekliliği ve beklenen hizmet düzeyinin sağlanması için, kar yağışı ve buzlanmanın etkili olduğu kesimlerde, kar ve buz kontrolü çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Kar yağışı ve buzlanmanın görüldüğü iklim koşullarına sahip birçok ülkede, karayollarından sorumlu kurumlar, kış bakımı çerçevesi içerisinde kar ve buz kontrolü programları geliştirmişlerdir (Ağar ve Kutluhan, 2005).

2.3.1. Kar kontrolü

Yola yağış ve sürüntü ile gelen karın kalınlığı 5 cm' yi aştığında, yoldaki trafik akışı bu durumdan etkilenir ve seyir zorlaşır. Kalınlık 10 cm'ye ulaştığında ise, otomobil ve benzeri küçük araçların yolda kalması ve yolu kapatması olasıdır. Yolu kapanma durumuna getiren kar, yola yağış ve sürüntü ile gelmektedir. Bu nedenle iki şekilde kontrol çalışması yapılmalıdır. Öncelikle sürüklenme ile yola gelen karları engellemek için gerekli yerlere kar siperleri yapılmalıdır. İkinci olarak da kar kalınlığı 5 cm'yi aştığında, kar kalınlığına göre seçilecek makine ve ekipmanlarla yoldaki karı, yol platformundan dışarıya atmaktır (Anonim, 1998).

Kar temizleme çalışması; kaplama sathında, banketlerde, şehir geçişlerinde, köprülerde, küçük drenaj yapılarında, demiryolu geçitlerinde ve yokuşlarda yapılır.

2.3.1.1. Kar siperleri ile kar kontrolü

Kar birikmesini kontrol etmek için müracaat edilen başlıca usul, kar siperlerinin tesisidir. Genellikle yolların kapanmasına neden olan kar, yolun bitişiğinde bulunan arazideki karın, hakim rüzgarların etkisi ile sürüntü halinde yola gelerek birikmesinden oluşmaktadır (Şekil 2.3.).

Yol üzerindeki karın temizlenmesi külfetli ve pahalı bir çözümdür ve temizleme esnasında yol ve tesisleri zarar görmektedir. Ayrıca karın yol kenarında biriktirilmesi yola zarar verdiği gibi mücadeleden sonra karın yağması halinde yolda biriken karın tekrar temizlenmesini zorlaştırmaktadır. Bu mücadele yol dışında olursa hem ekonomik olmakta hem de yolda bozulmalar azalmaktadır. Bu nedenle kar kontrol

alışmalarında kar siperlerine ağırlık vermek her yönüyle uygun ve ekonomik bir çözümdür (Anonim, 1998).

Kar siperlerinin çalışma esası, kar taşıyan rüzgarların hızını düşürerek hareketli olan karı, kar siperlerinin önünde ve arkasında biriktirmektir. Kar siperleri yolun en fazla kar birikeceğı düşünölen yerlerine yapılmalıdır. Yerleri belirlenirken arazinin özellikleri ve hakim rüzgar yönü de dikkate alınmalıdır (Anonim, 1998).



Şekil.2.3. Cansız kar siperleri

2.3.1.2. Kar makinaları ve ekipmanları ile kar kontrolü

Yağış yoluyla veya kar siperlerini aşarak gelmiş olan karın yoldan kaldırılmasında çeşitli makina ve ekipmanlar kullanılır. Bu makine ve ekipmanların hangilerinin kullanılacağına kar kalınlığı ve biriktirme yapılacak veya atılacak yere göre karar verilir. Kar kalınlığı 5 cm' yi aştığında düz kar bıçağı takılmış kamyonlarla, saatte yaklaşık 50 km hız yapılarak, kar, yoldan uzaklaştırılır. Bu makinalar 20 cm kar kalınlığına kadar etkilidir. Kar kalınlığı 20 cm ile 50 cm arasında olan yerlerde önce V bıçaklar ile kapalı yerler açılır ve düz bıçaklar ile son temizlik yapılır. Kar kalınlığı 1 m.'ye ulaşan yerlerde, daha güçlü kamyonlara takılan V bıçakları ile kar yarılır. Aynı kamyonda bulunan yan bıçaklar yarılan yerleri genişletir ve ince kar temizliğı düz bıçaklarla yapılır. Kar kalınlığı 50 cm'yi aştığında, acil haller dışında, yolun rotatifler ile açılmasında yarar vardır (Şekil. 2.4. a, b, c). Bunun nedeni, rotatiflerin karı uzak mesafelere atabilmesi ve yol için zararlı olmasını engellemesidir (Ağar ve Kutluhan, 2005).



(a) (b) (c)

Şekil.2.4. (a) Düz kar bıçağı (b) V kar bıçağı (c) Rölatif

Kaplama sathının mümkün olduğu kadar hızlı bir şekilde kardan temizlemesi gereklidir. Zamanında ve hızlı hareket edilmesiyle, karın sıkışması ve sonrasında temizleme çalışmalarının yaratacağı zorluk önlenmiş olur. Dolayısıyla buzlanma azaltılmış olur. Kar suyu kaplama üzerinde bozucu etki meydana getirir. Zamanında müdahale ile kar suyunun kaplamadan alt tabakalara da sızması önlenmiş olur. Bahar mevsiminde, özellikle bitümlü kaplamalarda karşılaşılan birçok temel ve kaplama bozuklukları karın kaplama sathından zamanında ve hızlı bir şekilde temizlenememesinden kaynaklanmaktadır.

2.3.2. Buzlanma ile mücadele

Kar yüksekliği 5 cm' ye ulaştığında, kar kontrol çalışmasıyla karın platformdan uzaklaştırılması gerekmektedir. Aksi takdirde kar trafik altında sıkışarak buzlaşır. Ayrıca yol yüzeyindeki nemin ve suyun donmasıyla da buzlanma görülmektedir. Buzlanma, karayollarında, köprülerde, viyadüklerde, caddelerde ve yaya kaldırımlarında çeşitli kazalara ve günlük aktivitelerin kısıtlanmasına sebep olmaktadır. Yapılan araştırmalarla birlikte, trafik sıkışıklığı ve kazaların çoğunun kış aylarında, yağışlı havalarda meydana geldiği görülmektedir. Bu nedenle daha güvenli trafik koşullarının sağlanması, gecikmelerin ve kazaların azaltılması ve yaya güvenliğinin artırılması amacıyla karayollarından sorumlu kurumlar çeşitli buz kontrol çalışmaları uygulamaktadır.

Buz mücadelesi otoyol, devlet yolları ve il yollarında tatbik edilir. Buz mücadelesi çalışması öncelikle, dik meyillere, keskin kurlara, kavşaklara, köprülere, köprü yaklaşım dolgularına, demiryolu geçidi yaklaşımlarına, emniyete alınmamış yüksek dolgular gibi tehlike arz eden yerlere yöneltilmelidir. Sonradan trafiği en fazla olan yollar ele alınmalı ve bu hizmet diğer yollara da götürülmelidir. Buzla mücadele çalışmalarına trafik emniyeti sağlanıncaya kadar aralıksız devam edilmelidir. (Anonim, 1998).

Buz kontrolü programı, son yıllarda buzlanma önleyici (anti-icing) ve buzlanma giderici (de-icing) olmak üzere iki ayrı yaklaşım olarak ele alınmaktadır. Bu yaklaşımların temel amacı birbirinden farklıdır. Koruyucu bakım olarak da ifade edebileceğimiz buzlanma önleyici kontrol, sıvı, katı veya ıslatılmış katı kimyasal maddelerin, buzlanmadan önce uygun zaman ve gerekli koşullarda başlanarak, yol yüzeyine periyodik olarak uygulanmasından ibarettir. Geleneksel buzlanma giderici kontrolde ise, buzlanma görüldükten sonra aynı kimyasal maddelerin aşındırıcılarla birlikte uygulanması işlemleri bulunmaktadır (Ağar ve Kutluhan, 2005).

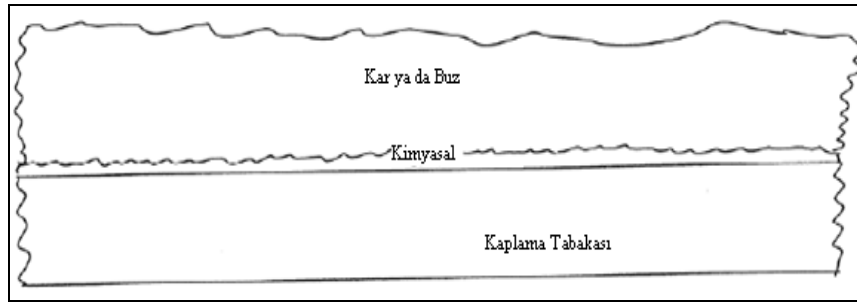
Aşındırıcılar birçok buz kontrol çalışmasında yol ile taşıt tekerlekleri arasında sürtünme sağlamada kullanılmaktadır. Aşındırıcıların pürüzlülüğün hızla azaldığı durumlarda, özellikle kimyasalların etkisinin yavaş olduğu çok düşük sıcaklıklarda ve buzun kolay erimeyeceği, üstyapıya çok sıkı yapıştığı durumlarda kullanılması zorunludur.

Üç farklı buz kontrol stratejisi uygulanmaktadır.

- Buzlanmayı önleyiciler (anti- icing)
- Buz çözücüler (de-icing)
- Aşındırıcılar (sürtünme sağlayıcılar)

2.3.2.1. Buzlanmanın önlenmesi (Anti-Icing)

Buzlanmayı önleme kar ve buz kontrol çalışmalarında önleyici tedbir alan bir yaklaşımdır. Şiddetli bir yağıştan önce ya da başladıktan az sonra kaplamaya kimyasal uygulanmasından oluşur. Bu kimyasallar suyun donma derecesini -60°C 'ye kadar düşürebilirler. Kimyasallar kar ve buz ile kaplama yüzeyi arasında bir engel tabakası oluşturur ve bir bağ kurulmasını engeller (Şekil 2.5.). Biriken kar, kar kürüyücüleri ile kolaylıkla kaldırılabilir ve oldukça kuru bir kaplama tabakası kalır. Biriken kar suya dönüştüğü ve kar kürüyücüleri ile kaldırıldığı için, buzlanmayı önleme kimyasalları seyrelmiş olacaktır. Temel koruma ve seyrelmeyi karşılamak için fırtına boyunca periyodik ve kısmi tekrarlar ile kimyasal maddenin uygulanması gereklidir. Bu koruyucu işlemler buzlanmayı önlemenin en önemli noktalarıdır (Smith, 2006).



Şekil 2.5. Buzlanmayı önlemenin şematik gösterimi (Amsler, 2006)

Buzlanmayı önleme malzeme ekipman ve zaman ile ilgili maliyetleri azaltabilir. Buz oluşumu engellendiği için daha iyi hareketlilik ve servis güvenliği sağlayabilir ve engellendiği için fırtına sonrasında temizleme daha kolay ve hızlı olur (Smith, 2006).

Buzlanmayı önleme kimyasalları, bir fırtınanın başladığı anda ya da öncesinde acil olarak uygulanmalıdır. Buzlanmayı önlemede kimyasalların uygulanacağı zamanı doğru kararlaştırmak için, doğru kaplama sıcaklığı ve diğer yol, hava durumu bilgilerine ihtiyaç duyulur. Eğer sıcaklık ve koşullar buzlanmaya neden olacaksa, yolda ve yolun köprüler gibi seçilen kısımlarında uygulamalar iyi programlanmalı ve rampa, kurb ve kavşaklarda noktasal uygulamalar değerlendirilmelidir (Smith, 2006)

Buzlanmayı önlemek için çeşitli buz kontrol kimyasalları değerlendirilmiştir. Likit tuz, magnezyum klorit, kalsiyum klorit, kalsiyum magnezyum asetat ve potasyum asetat değerlendirilmiştir. Tecrübeler sıvı kimyasal uygulamalarının buzlanmayı önlemede daha başarılı olduğunu göstermiştir (Şekil 2.6.). Ön ıslatmalı kuru kimyasallarda etkilerini kanıtlamışlardır. Likit kimyasallar oldukça düşük oranlarda uygulanabilirler ve kaplama üzerinde oldukça uzun zaman kalabilirler. Bazı raporlar birkaç gün artık etkileri kaydetmiştir (Anonymous, 1996a).



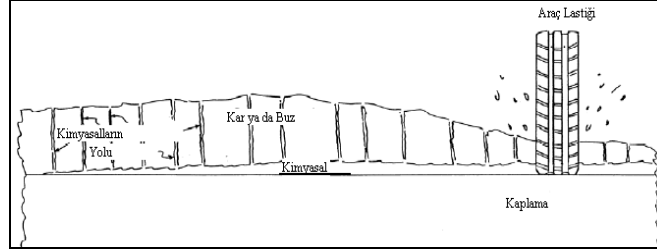
Şekil 2.6. Buzlanmayı önleme kimyasalı uygulanması

2.3.2.2. Buzlanmanın giderilmesi (De-Icing)

Geleneksel kar ve buz kontrol yöntemi, yüzey üzerine 2,5 cm veya daha fazla kar kalınlığı oluncaya kadar beklenmesi, sonra karın uzaklaştırılması ve yüzeyin kimyasal maddelerle ve patinaj önleyici malzemelerle işleme tabi tutulmasıdır. Bu yöntem, genelde yüzey üzerine sağlamca yapışmış kar tabakası oluşmasına neden olur. Oluşan bu tabakanın kaldırılması çok miktarda kimyasal işlem yapılmasını gerektirir. Çünkü bu kimyasal maddelerin kar ile yol arasındaki yüzeye ulaşabilmesi ve aradaki bağı yok etmesi veya zayıflatması gerekmektedir (Ağar ve Kutluhan, 2005).

Buz çözme önceden kaplama yüzeyine bağlı olan, biriken kar ve buzun üstüne buz çözücü uygulanan tepkisel bir operasyon ve kar veya buz ile kaplanmış olan kaplama tabakasını tedavi etme stratejisidir. En etkili buzlanmayı giderme stratejisi, bağlı olan kar veya buzun üzerinde kaba dereceli katı veya ön ıslatılmış katı buz kontrol kimyasalı uygulamaktır. Buzlanmayı giderme kimyasalları suyun donma noktasını düşürerek çalışır. Asfalt yüzeyi boyunca oluşturulan kimyasal solüsyonu bağı kırmak

için akacak ve buz parçacıkları eriyecektir. Kar ve buz suya dönüşeceği için buzlanmayı giderme kimyasalları sulandırılmış olacaktır ve yeniden uygulamak gerekebilir (Şekil 2.7.) (Amsler, 2006).



Şekil 2.7. Buz çözme çalışmalarının şematik gösterimi (Amsler, 2006).

Buz çözme çalışmalarını kimyasal konsantrasyonu, uygulama zamanı, hava durumu, yol yüzeyi tipi, topoğrafya ve uygulama genişliği gibi faktörler etkiler.

Buz çözme çalışmalarında, çok fazla kimyasal kullanılırsa, hepsi solüsyon halinde çözölemeyecek ve bir kısmı işe yaramaz olacaktır. Çok az kimyasal kullanılırsa donma noktası yeterli derecede düşmeyecektir. Bu nedenle buz erimeyebilir veya erimiş kar yeniden donabilir ve kimyasal işe yaramaz hale gelebilir. Buz çözücü kimyasalın reaksiyona girme süreci arttıkça, erime miktarı artar. Aynı zamanda uygulama yapılan kaplamanın tipi de alınacak sonuç açısından önemlidir. Uygulama genişliği ve uygulama zamanı da dikkat edilmesi gereken noktalardandır. Araştırmalar kimyasalın dar şeritler halinde uygulandığında, karın daha hızlı eridiğini göstermiştir. Kimyasal uygulanmasında zamanlama en önemli faktördür. Kar seyrek ve sıkışmamışken az miktarda uygulama karı eritmeye yetebilir (Anonymous, 1996a).

Buz çözme uygulamalarında sıcaklıklar da önemlidir. Kar veya buzla kaplanmış olan yolun sıcaklığı düştükçe, belli miktarda buz eritmek için gerekli olan kimyasal miktarı önemli şekilde artar. Güneşin sıcaklığı kaplamayı ısıtır ve erimeyi hızlandırır. Bu nedenle hava sıcaklığı yükseldikçe daha az, düşerken daha fazla kimyasala ihtiyaç duyulur. Buz, yüksek yığınlar ve bitki örtüsü gibi yol yüzeyini güneşten koruyan topoğrafik şartlar oluştuğunda meydana gelmeye eğilimlidir. Daha fazla

alan gölgelendiğinde buzun oluşması daha olası olacaktır. Gölgelemiş alanlarda kaplama sıcaklığı daha düşük olacağından, buralarda daha fazla kimyasala ihtiyaç duyulabilir (Anonymous, 1996a).

Buzlanmanın giderilmesi işlemlerinde kullanılan kimyasal maddeler buzlanmanın önlenmesi yaklaşımında kullanılan kimyasalların aynısıdır. Bununla birlikte en genel kimyasal tuzdur (NaCl) ve genellikle işlenmiş madeni kaya tuzundan elde edilir. Sıkça kullanılan bir başka kimyasal ise kalsiyum klorürdür (CaCl₂) (Anonymous, 1996a).

2.3.2.3. Aşındırıcı kullanımı

Aşındırıcılar kar ve buz kontrolünde her zaman önemli bir rol oynamışlardır. Yeni teknolojiler, stratejiler ve anlayışlarda bile, etkili kar ve buz kontrol programlarında aşındırıcılar önemli bir yere sahip olmaya devam edeceklerdir. Aşındırıcılar bir çok kar ve buz kontrol çalışmasında sürtünme sağlamada ve patinajı önlemede kullanılmaktadır. Kimyasal etkisinin çok yavaş olduğu düşük sıcaklıklarda ve karla buzun üst yapıya çok sıkı yapıştığı durumlarda aşındırıcı kullanımı hayati önem taşır. Bu gibi durumlarda aşındırıcı kullanılarak sürtünme katsayısı hızlı bir şekilde artırılabilir. Genelde pürüzlülüğün hızla azaldığı durumlarda, kimyasalların çalışması için düşük olan sıcaklıklarda, sürekli trafik akışının gerekli olduğu yerlerde, yatay ve düşey kurbalar, kavşaklar, tren yolu kavşakları gibi tehlikeli yerlerde kullanılması hayati önem taşır. Aşındırıcılar ayrıca düşük hacimli ve servis seviyesi düşük olan kaplamasız yollarda da kullanılabilirler. (Anonymous, 2005a; İyınam ve İyınam, 2006).

Aşındırıcı kullanımının temel amacı sürtünme katsayısını artırmaktır. Ancak trafiğin dağıtıcı etkisinden dolayı bu artış kısa ömürlü olabilmektedir. Aşındırıcı olarak kullanmak için en uygun malzemeler, doğal kum, kömür tozu, taş ve cüruf kırıntıları, maden atıkları ve kok fırınları atıklarıdır (Şekil 2.8.). Aşındırıcılar hiçbir zaman araçlar için tehlike oluşturacak büyüklükte daneler içermemelidir. Oto ön camı hasarını azaltmak için karışımdaki danelerin 3/8 inçten küçük olması gerekmektedir.

Buz mücadelesinde kullanılacak olan aşındırıcıların sertliği, dane şekli, dane boyutu ve içerisinde bulunan zararlı maddelerin miktarı önemlidir.



Şekil 2.8. Karayollarında aşındırıcı olarak kullanılan kum

Karayolu kış bakım çalışmaları için aşındırıcı kullanımı yıllardır alışılmış bir yaklaşımdır. Genellikle kilometre şerit başına 340 kg kum uygulanır. Araçlarla kar veya buzla kaplı kaplama arasındaki sürtünmeyi artırmak bu aşındırıcıların temel görevidir. Olduğu gibi kullanmak, dağıtıcıda ya da yükleme esnasında tuzlu suyla önceden ıslatmak veya tuzla karıştırmak çeşitli kum uygulama seçenekleri arasındadır (Nixon, 2001). Şekil 2.9.' da kum uygulama araçları gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Kum serme araçları (Nixon, 2009)

Kum ve diğer aşındırıcıları ön ıslatma, onları kaplama yüzeyinde sabit tutmak için yapılır. Aşındırıcıların her bir tonunu 38-114 litre sıvı kimyasal ile önceden ıslatmanın etkinliği kanıtlanmıştır. Kurumlar yüksek kamyon hızlarında sermenin, kumu önceden ıslatma ile mümkün olduğunu rapor etmişlerdir. Ön ıslatma için sıcak su kullanımı üzerine araştırmalar oldukça umut vericidir (Anonymous, 2005b). Tuzla

karıştırıldığı durumlarda karışım miktarı 1:1 kum:tuz dan 4:1 kum:tuz karışımına kadar değişik oranlarda olabilir.

Ontorio' da Nixon (2001), tarafından yapılan çalışma sürtünmede önemli artışlar elde etmek için önemli uygulama oranlarının gerekli olduğunu göstermiştir.

Yapılacak çalışmaların amacı yolların trafiğe açık tutulması ve buzlanma nedeniyle oluşacak trafik kazalarını önleyerek maddi ve manevi kayıpların minimum seviyelere indirilmesidir. Çizelge 2.1, sürtünme katsayısı değerlerine göre frenleme kabiliyetinin durumunu vermektedir.

Çizelge 2.1. Sürtünme katsayısı değerlerine göre frenleme kabiliyeti

Sürtünme katsayısı	Frenleme
0.40 ve üzeri	İyi
0.39-0.36	İyiye yakın
0.35-0.30	Orta
0.29-0.26	Kötü
0.25 ve altı	Çok kötü

Bugüne kadar yapılan çalışmalar, araçların yüksek hızlarla gittiği yollarda gerçekleştirilen aşındırıcı uygulamalarının sürtünme üzerinde az da olsa bir artış sağladığını göstermektedir. Ancak bu artış yalnızca aşındırıcıların yol üzerinde kalmasını sağlayacak önlemler alınırsa görülebilecektir. Kuru aşındırıcı kullanımıyla ilgili tavsiyelerde bulunurken çevre yolları, kırsal yollar, kırsal kavşaklar, yüksek hızlı şehir yolları, düşük hızlı şehir yolları ve şehir kavşakları olmak üzere altı farklı yol tipi dikkate alınmıştır. Çizelge 2.2'de kuru aşındırıcı kullanımıyla ilgili yol tipine göre önerilen uygulamalar gösterilmiştir (Nixon, 2001).

Çizelge 2.2. Aşındırıcı kullanımı önerileri

Yol Tipi	Hız Limiti (km/saat)	Kuru aşındırıcı kullanımı
Çevre yolları	85-105	Uygun değil
Kırsal yollar, asfaltlı	88	Uygun değil
Kırsal yollar, çakıllı	-	Sadece düşük hızlı kısımlarda (tepe ve kavislerde)
Kırsal kavşaklar	<48	Sadece düşük hızlı kısımlarda
Yüksek hızlı şehir yolları	48	Uygun değil
Düşük hızlı şehir yollar	-	Sadece belirli yerlerde ve sert karla kaplı kısımlarda

2.3.3. Buzlanma ile mücadelede kullanılan kimyasallar

Kar ve buz kontrolünde kimyasallar, önce buzlanmayı önleme çalışmalarında ve buzlanma görüldükten sonra buzlanmayı giderme çalışmalarında kullanılmaktadır. Kar ve buz kontrolünde etkili olan pek çok değişken vardır. Farklı hava durumları, üstyapı sıcaklığı, üstyapı tipi, ortam sıcaklığı, trafik hacmi, taşıt hızları, rüzgar yönü ve hızı, yağış tipi, topografya, göl veya okyanus etkisi, güneş görmeyen bölgeler ve kimyasalların fiyatı, ulaşılabilirliği ve çevre etkileri gibi faktörler sayılabilir. Bu etkenlerin çeşitliliğinden dolayı kar ve buz mücadelesinde farklı kimyasallar değişik yöntemler ile kullanılmaktadır. En çok kullanılan kimyasallar NaCl, CaCl₂, MgCl₂ ve CMA (Kalsiyum Mağnezyum Asetat)'dır. Kimyasal maddeler -50 °C'ye kadar etkili olabilmelerine rağmen bazıları korozif etki gösterebilmenin yanı sıra çevreye de zarar verebilmektedir.

Dünyadaki rezervlerinin fazla olması, depolama ve uygulama kolaylığı nedeniyle kar ve buz mücadelesinde en çok kullanılan kimyasal sodyum klorürdür. Kullanılan en birincil tipi, madenlerden çıkarılan kaya tuzudur. Deniz suyundan güneş ışınlarıyla buharlaşan solar tuz da kullanılmaktadır. NaCl -10 °C sıcaklığa kadar

pratik bir şekilde kullanılabilir. Eritme özelliği bakımından uzun sürede en fazla etkiye sahiptir (Kuloğlu ve Kök, 2005).

Kuru CaCl_2 özel işlem gerektirir ve tuzdan daha pahalıdır. Bununla beraber düşük sıcaklıklarda etkilidir ve hızlı işler. CaCl_2 çok faydalı bir özellik olarak, tuzlu su halinde eridiğinde ısı yayar. Ayrıca havadan nemi çeker ve tuzlu su çözeltisi için su sağlar. Bu özellikler kalsiyum kloridi sert durumlar için değerli kılar (Anonymous, 1996b).

1/3 CaCl_2 ve 2/3 NaCl karışımı hemen hemen saf CaCl_2 kullanımının etkisine yakın bir eritme etkisi yapabilen en uygun karışım olarak bulunmuştur. Bu şekilde CaCl_2 'ün çok düşük sıcaklıklarda etkili olmasından, NaCl 'ün ise ucuz olması özelliğinden faydalanılmaktadır (Anonim, 1998).

CaCl_2 ve MgCl_2 su içinde hızlı ve kolay bir şekilde erirler. CaCl_2 derin kuyulardaki tuzlu sudan veya sodyum klorür ile kalsiyum karbonatın tepkimeye girip sodyum karbonat ve kalsiyum klorür açığa çıkarmasıyla elde edilir. MgCl_2 'ün kaynağı tuzlu su gölleridir. -29°C 'ye kadar düşük sıcaklıkta uygulanabilirler. Bütün buz eritici tuzlar iyonlarına ayrılarak kar ve buz eritirler. Cl iyonunun genel olarak çevreye ve betona zarar verdiği bilinmektedir. CaCl_2 ve MgCl_2 bir Ca ve Mg iyonuna karşılık iki Cl iyonu serbest bırakır. Bu sayede kar ve buz eritmekte daha hızlı ve etkili fakat çevreye daha zararlı olmaktadır. Ayrıca CaCl_2 ve MgCl_2 uygulandıktan sonra yol yüzeyinde temizlenmesi zor ve kaygan bir kalıntı bırakırlar (Kuloğlu ve Kök, 2005; Anonymous, 1996b).

CMA içme suyu, beton ve bitkiler açısından en güvenli buz eritici kimyasaldır. Asetik asit ile dolamatik kireç taşının tepkimesi sonucu oluşmaktadır. Asetik asit, doğal gaz ve petrolden üretilmektedir. CMA klorlü tuzlar gibi suda çözünmektedir. Bu bileşiğin katı hali ufak topar şeklinde bulunur, ancak CMA genellikle sıvı halde uygulanır (Anonymous, 1996b). Korozyon değildir. Yağıştan önce uygulanması buzun yüzeye yapışmasını etkili bir biçimde önlemektedir. CMA'ın yol yüzeyini kaplaması nem riskini ve yüzey hasarlarını azaltmaktadır. Çok düşük sıcaklıklarda etkili

değildir. Kaya tuzuna göre 30 kat daha pahalıdır (Kuloğlu ve Kök, 2005). CMA tuzdan çok daha pahalı olduğu için bazı ülkelerde yalnız köprü ve hassas bölgelerde kullanılmaktadır. Çizelge 2.3. buz kontrol kimyasallarının bazı özelliklerini göstermektedir.

Çizelge 2.3. Kimyasalların bazı özellikleri

Kimyasal	Ötektik Sıcaklık		Konsantrasyon (Ağırlıkça %)	Etkili Sıcaklık	
	⁰ C	⁰ F		⁰ C	⁰ F
NaCl	-21	-6	23	-9	+15
CaCl ₂	-51	-60	30	-32	-25
MgCl ₂	-33	-28	22	-15	+5
CMA	-27	-17	32	-6	+21

Genel olarak tüm buzlanma çözücüler benzer şekilde çalışır. Suyun donma noktasını düşürürler ve kar ya da buzu bir sıvı ya da yarı sıvı sulu kara dönüştürürler. Tuzlu suyun %23,3' lük bir konsantrasyonu -6 ⁰F'de ve kalsiyum kloridin %29,8'lik bir konsantrasyonu -67 ⁰F'de donar. Katı kimyasal tuzlar kar ve buzu baştan başa delerler, buz ya da sıkışmış kar altında yayılan güçlü bir tuzlu su çözeltisi şeklinde eritirler ve yol yüzeyi ile bağı kırarlar. Bağ bir kez kırıldıktan sonra kar ve buz kaldırılabilir.

Buzu veya karı eritme havadan, güneşten, kaplamadan veya trafik sürtünmesinden ısıya ihtiyaç duyar. Hatta kaplama donma noktasının altındayken biraz ısı tutar ve karla buzun erimesine yardım edebilir.

Kimyasallar arasında çalışma sıcaklıkları, buz eritme oranı, korozyon potansiyeli, beton zarar potansiyeli ve çevresel zarar açısından bazı farklılıklar vardır. Çizelge 2.4. buz kontrol kimyasalları için bu özellikleri göstermektedir.

Çizelge 2.4. Buz kontrol kimyasalları karşılaştırılması (Amsler, 2006)

Kimyasal		Sıcaklık °F		Korozyon Potansiyeli		Beton zarar potansiyeli	Taşınan endişeler	Çevresel endişeler
Formül	Form	Etkili	Optimum	Araçlar	Yapılar			
NaCl	Katı	15	-6	Evet	Evet	Biraz	Toz	Sular, bitkiler
NaCl	Sıvı	23	-6	Evet	Evet	Biraz	Toz	Sular, bitkiler
CaCl ₂	Katı	-20	-60	Evet	Evet	Evet	Isı üretir cilt ve deri kurur	Sular
CaCl ₂	Sıvı	0	-60	Evet	Evet	Evet	Isı üretir cilt ve deri kurur	Sular
MgCl ₂	Katı	0	-28	Düşük	Olası	Çok az	Toz	Sular
MgCl ₂	Sıvı	10	-28	Düşük	Olası	Çok az	Toz	Sular

Buzlanmayı önleme çalışmalarında kullanılacak olan kimyasal maddelerin seçimi önemli bir konudur. Çünkü seçilen kimyasalların öncelikle çevreye etkisi, uygulanan zemine etkisi (korozyon etkisi), maliyet ve kolay uygulanabilirlik ve araçların zarar görmemesi gibi faktörler dikkate alınmalıdır. Uygulanacak kimyasalın çeşidi ve miktarı, kar veya buz miktarına, ortam sıcaklığına ve uygulama bölgesine göre değişmektedir. Örneğin havaalanlarında ve köprülerde sodyum klorür ve kalsiyum klorür içerikli kimyasallar çevreye, alt yapıya ve metal parçalara verdiği zararlardan dolayı kullanılmamaktadır.

Buzlanma ile mücadele kimyasalları, genel olarak uygulanacağı pistin veya yolun nem oranına ve kullanım amacına göre kuru, sıvı (çözelti) veya ön ıslatılmış olarak uygulanabilmektedir.

2.3.3.1. Katı kimyasal maddeler ve uygulanması

Buzlanmanın önlenmesi işleminde, kuru katı kimyasal maddelerin kullanılması bir çok durumda çok etkilidir. Yalnız yüzey üzerinde yeterli nem veya birikme olmalıdır. Nem iki nedenden dolayı gereklidir: malzeme kaybına engel olmak ve tuzun çözülmesini başlatmak. Buzlanmanın giderilmesi işlemlerinde, katı kimyasal maddelerin etkili olabilmesi için, ilk müdahale, yeteri miktarda birikim olduktan sonra, sert kar veya buz tabakası oluşmadan önce uygulanmalıdır. Bakım ekibi, bunu gerçekleştirebilecek malzeme ve ekipmana sahip olmalıdır. Daha sonraki müdahalelerde katı kimyasal maddelerin etkili olabilmesi, yine yağışın devamında oluşan neme ve birikmeye bağlıdır. Yeterli nem veya birikme olmaması malzeme kaybına yol açar. Buzlanmanın önlenmesi işlemlerinde en çok kullanılan kuru katı kimyasal madde, sodyum klorür (kaya tuzu) dür. Buzlanmanın giderilmesi işlemlerinde kullanılan bütün katı kimyasallar buzlanmanın önlenmesi işlemlerinde de kullanılmaktadır (Ağar ve Kutluhan, 2005).

Malzeme gradasyonları kaba daneli dağılımdan ince daneli dağılıma kadar sıralanmaktadır. Kaba daneli malzemeler buz çözücü işlemler için uygun olurken, ince daneler daha çok buzlanmayı önleyici çalışmalarda kullanılırlar (İyınam ve İyınam, 2006).

Katı kimyasalların avantajları;

- Çoğunlukla kimyasal olarak daha az maliyetlidir.
- Genellikle kullanmak ve saklamak daha kolaydır. Ancak kalsiyum klorür ve magnezyum klorür gibi higroskopik kimyasalların su ve hava geçirmez torbalarda satın alınması ve depolama boyunca kapalı olması gereklidir.
- Çoğunlukla kimyasal olarak katı kimyasallar sıvı kimyasallardan daha yavaş sulanır.
- Kaya tuzunun büyük partikülleri ile ilgili olarak bazı aşındırıcı yada sürtünme sağlayıcı özellikleri vardır (Amsler, 2006).

Katı kimyasalların dezavantajları;

- Çözelti haline gelebilmek için neme ihtiyaç duyarlar ve ön işlem için genellikle uygun değildir.
- Çözelti süreci zaman alır. Özellikle soğuk havalarda yavaş erime işlemi genel bir sonuçtur (Amsler, 2006).

Başlangıçta, kar ve buz kontrolünde kullanılan katı kimyasallar, yola kamyon arkasından kürekle serilmekteydi. Bunun sonucunda serme işlemi yavaş olduğu için zaman kayıpları, üniform yapılamadığı için malzeme kayıpları ve işgücü kayıpları oluşmaktadır.

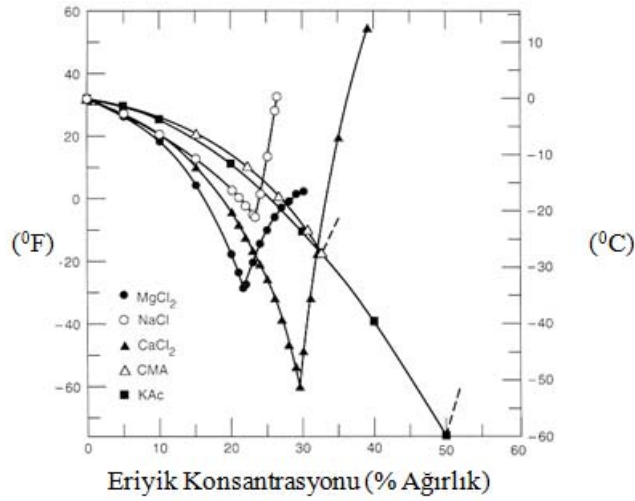
Sonra tarımda gübre dağıtım araçlarının geliştirilmesiyle birlikte, bir kamyonu monte edilebilen tuz sericiler geliştirildi. Ancak bu modellerde malzeme oranı kontrolü yeterli değildi, çünkü kamyon hızıyla serme hızı uyumlu değildi. Kamyon hızlandığında yetersiz serme ve kamyon yavaşladığında aşırı serme oluşmaktaydı. Bununla beraber ekipman üreticileri bu araçları geliştirerek araç hızıyla serme miktarı arasında uyum sağlamışlardır. Günümüzde katı kimyasallar yola, kamyonlara monte edilebilen dağıtıcılarla uygulanmaktadır (Şekil 2.10.) (Anonymous, 1996b).



Şekil 2.10. Farklı tip katı kimyasal uygulama araçları

2.3.3.2. Sıvı kimyasallar ve uygulanmaları

Buz kontrol stratejilerinde sıvı kimyasallar giderek artan bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Sıvı kimyasallar, genel olarak katı kimyasallar ile suyun çözelti konsantrasyonu değerine göre karıştırılmasıyla elde edilirler. Kimyasal çözelti özellikleri, faz diyagramı adlı grafikten kolayca belirlenebilir. Bütün kimyasal çözeltilerde optimum konsantrasyona kadar kimyasalın etkili oldukları sıcaklıklar azalmaktadır, optimum konsantrasyondan sonra bu sıcaklıklar artmaktadır. Bunların donma noktaları ve çözelti konsantrasyonu arasındaki ilişki Şekil 2.11.' de verilmiştir.



Şekil 2.11. Faz diyagramları (Ağar ve Kutluhan, 2005)

Dikey eksen kaplama sıcaklığını gösterir, yatay eksen ağırlıkça çözelti konsantrasyonunu gösterir. Eğriler üzerinde herhangi bir noktada, çözelti konsantrasyonu ya da ilgili sıcaklıkta donma ya da katılaşma başlar. Her eğri üzerindeki alçak noktaya ötektik sıcaklık denir.

Sıvı kimyasalların avantajları;

- Çözelti şeklinde oldukları için, daha hızlı etki ederler.

- sıvı kimyasallar kaplama yüzeylerinde direk olarak kullanılabilirler gibi, katı kimyasalların ön ıslatma işleminde de kullanılabilirler (Amsler, 2006).

Sıvı kimyasalların dezavantajları;

- Sıvı kimyasalların çoğunluğu su olduğu için, kimyasalın birim taşıma maliyetleri yükselebilir.
- Sıvı kimyasallar kalın buz ya da kar tabakaları için pek de uygun değildir. Çünkü kimyasallar kar ya da buz tabakasını eritemeden oldukça kaygan ve eğimli olan buz yüzeyinden akabilirler (Amsler, 2006).

Sıvı kimyasalların serilmesi için kullanılan iki temel araç tipi vardır. Birincisi, bir veya birden fazla dönen diskten oluşan dönel tip; ikincisi ise, bir dağıtım borusu üzerindeki memelerden oluşan püskürtmeli tiptir (Şekil 2.12.). Sıvı kimyasal maddelerin başarıyla uygulanması, dönel sericiler için 40-55 km/saat, püskürtmeli sericiler için ise 65-80 km/saat arasındaki hızlara kadar mümkün olmaktadır (Ağar ve Kutluhan, 2005).



Şekil 2.12. Sıvı kimyasal uygulama araçları

2.3.3.3. Önceden ıslatılmış katı kimyasal malzemeler ve uygulanması

Ön ıslatma, kuru, karlı ya da buzlu kaplamalara buzlanmanın önlenmesi ya da giderilmesi amacıyla, katı kimyasal malzemelere ya da aşındırıcılara karayoluna uygulanmadan önce bir sıvı eklenmesidir.

Birçok durumda, katı kimyasal maddelerin serilmeden önce ıslatılması, bu maddelerin etkisini artırır. Islatmanın diğer avantajları ise; yüzeyden sıçrama sonucu ve trafik akışı nedeniyle oluşan kayıpların azalması, taneciklerin yüzeye daha iyi yapışması, daha hızlı ve uzun süre dayanan bir etki elde edilmesi, serme hızının artırılabilmesi ve yolun daha çabuk kurumasıdır (Ağar ve Kutluhan, 2005). Herhangi bir buz eritici kimyasal ön ıslatma işleminde kullanılabilir. Ön ıslatma işleminde tuz çözeltisi, kalsiyum klorür, magnezyum klorür ve klorürlü karışımlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Ön ıslatmada su da kullanılabilir ancak, düşük sıcaklıklarda kullanılmamalıdır. Tuzun ön ıslatmasında genellikle ton başına 30-45 litre arası ön ıslatma sıvısı kullanılmaktadır (Anonymous, 2005b).

Kaplama üzerinde daha kalıcı olmaları için kum ve diğer aşındırıcılara da ön ıslatma uygulanabilmektedir. Aşındırıcıların ön ıslatılmasında her bir ton aşındırıcı başına 38-114 litre arasında sıvı kimyasal kullanılmaktadır. Ön ıslatma uygulanan kum, kamyonlardan daha hızlı yayılabilmektedir.

Önceden ıslatma işlemi üç şekilde yapılabilir: Birincisi, eriyiğin katı madde yığınınna enjekte edilmesi, ikincisi, sericiye yüklendikten sonra püskürtme yoluyla ıslatılması, üçüncüsü de yola serilirken püskürtmeyle ıslatılmasıdır (Ağar ve Kutluhan, 2005).

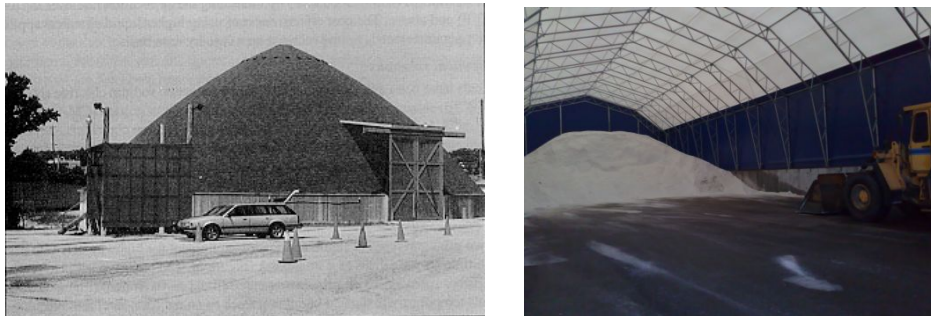
En yaygın ön ıslatma, dağıtıcılar üzerine monte edilmiş püskürtme sistemleri ile yapılmaktadır. Dağıtıcı tek bütün bir parçadan oluşabileceği gibi, dağıtıcıya eklenen parçalar şeklinde de olabilir. Bu parçalar mevcut bir dağıtıcıya basit ve maliyetsiz bir şekilde eklenebilir (Anonymous, 2005b). Şekil 2.13.' de malzeme yola serilirken ön ıslatma yapabilen araçlar gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Ön ıslatmalı malzeme serme araçları (www.monroetruck.com)

2.3.4. Kar ve buzlanma ile mücadelede kullanılan malzemelerin depolanması

Yağmur, rüzgâr nedeni ile tuz kayıplarının olmaması ve çevre sağlığı için tuzların üzerleri örtülü bir şekilde ambar silo vb. kapalı alanlarda saklanması gerekmektedir. Silolarda depolanan tuzun içindeki nem oranı max %0,6 hangarlarda depolanan tuzun içindeki nem oranı max %2 olmalıdır. Ayrıca tuzun rutubet alarak taşlaşmaması için bazı kimyasallar da ilave edilebilir. Açıkta saklanan kimyasallar, nem çekerler ve topaklanırlar ve bu şekilde dağıtıcıya yüklendikleri zaman, serme makinalarının tıkanmasına ya da zarar görmesine sebep olabilirler (Anonymous, 1996b). Ayrıca, tuzdan meydana gelen çevresel hasar, büyük oranda stok edilmiş malzemelerden oluşur. Bu nedenle tuzu sararak ya da asfalt bir taban üzerinde saklayarak yüzey ya da zemin suyuna geçmesi önlenmelidir. Kimyasal depolama için kapalı yapı örneği Şekil 2.14.' de gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Kapalı tuz depolama alanı

Sıvı kimyasal buz çözücüler çeşitli tip depolarda muhafaza edilir ve gerektiğinde, ikinci bir (çift duvarlı tank veya setle muhafaza edilmiş) depoda kullanılabilir. İkinci tank sızıntıya ve böylece çevreye karşı koruma sağlar. Eğer muhafaza edilen sıvı kimyasal korozifse ya da muhafaza edildiği tankı korozyona uğratacak bir çözeltiyse tank mutlaka paslanmaz çelik, polietilen gibi korozyona uğramayan malzemeden yapılmalıdır (Şekil 2.15.) (Okur, 2008; Boselly, 2001; Anonymous, 1996b).



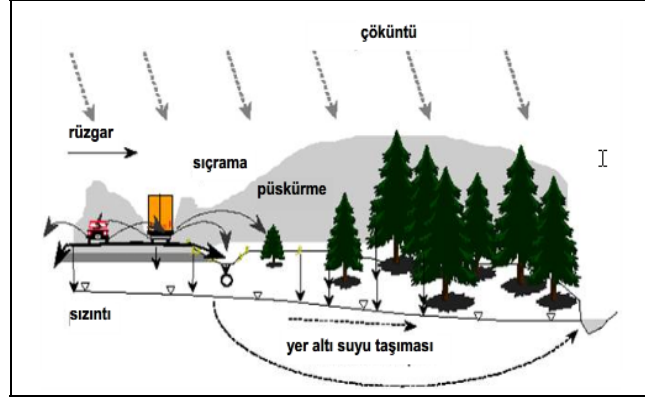
Şekil 2.15. Sıvı kimyasal depoları

Tuzla işlem görmüş sürtünme sağlayıcılarında belirli depolama ihtiyaçları olduğundan durum düzenlemeleri gerekmektedir. Tüm tuzla işlem görmüş sürtünme sağlayıcılar, her yıl 1 Nisan'dan 1 Ekim'e kadar kapalı kalmalıdır. Eğer sürtünme sağlayıcı ağırlık olarak %5'ten daha fazla tuz içeriyorsa, tuzla aynı şekilde göz önünde tutulur ve tüm yıl boyunca kapalı olarak geçirimsiz bir taban üzerinde saklanmalıdır (Anonymous, 1996b).

2.3.5. Buzlanma ile mücadelede kullanılan kimyasalların ve aşındırıcıların çevre etkileri

Kış aylarında özellikle karayollarında görülen buzlanma, karayolunda aksamlar yanında ölümlü kazaların da nedeni olabilmektedir. Kışın yolları geçilebilir yapmak için, karayolu personeli, ya buz çözücü kimyasal kullanmalı, ya da çekiş gücünü sağlamak için aşındırıcı serpmelidir. Ancak bu kimyasallar ve aşındırıcıları kış yol bakımında kullanmaktaki asıl endişe çevresel etkidir. Çalışmalar göstermiştir ki toprak, bitki örtüsü, su, karayolu tesisleri ve araçların hepsi üzerinde olumsuz etkiler görülmektedir. Toprak ve bitki örtüsü hasarının çoğu yoldan 18 m uzaklık içinde

oluşmakta ve en büyüğü üstyapıya yakın yerde oluşmaktadır (Anonymous, 1996b). Şekil 2.16'da kimyasalların çevre ile etkileşim yolları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Buzlanma ile mücadele kimyasallarının çevre ile etkileşim yolları

Buz çözücü kimyasallar beton ve çelik yapılarda bozulmayı hızlandırabilir (Şekil 2.17.). Bazı metodlar bu etkiyi azaltmaktadır, fakat karayolları ve köprüler kimyasal maddelerin zararlı etkisine maruz kalmaktadır. Araç korozyonu da ayrıca hızlanmaktadır. Araçlar ve yapılardaki korozyonun klorid tabanlı kimyasalların en büyük zararlı etkisi olduğu tahmin edilmektedir. Nispeten küçük miktarlardaki klorid bile mevcut korozyonu önemli bir oranda hızlandıracaktır.



Şekil 2.17. Tuzun neden olduğu bazı malzemelere ait korozyon örnekleri

Buzlanmayı önleme ve giderme işlemlerinden arta kalanlar toprak ve suyun kalitesini bozucu etkiye sahiptir. Bu etkinin derecesi yerel veya yaygın olabilir. Etki çeşitli iklimsel faktörlere bağlıdır ve kullanılan kimyasalın türü ve depolama koşullarına

dayandırılabilir. Kimyasalların ve aşındırıcıların çevresel etkilerinin kısa bir özeti Çizelge 2.5' de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Kimyasalların ve aşındırıcıların çevre etkileri (Zhang et al, 2009)

Alan	Çevresel etkiler		
	Kloritler	Organik kimyasallar	Aşındırıcılar
Hava	Hemen hemen etkisi yok	Açığa çıkan karbondioksit spesifik bir koku yayar.	Tozun kaynağı ile ilgili
Toprak	Biriktirme eğilimindedir ve doğal kimyasal dengesini değiştirir.	Ayrışma nedeniyle etkisi kısa sürelidir.	Birikintiden
Su	İlgili iyonların konsantrasyonu artar	Oksijen emilimi suyun içindeki ötofikasyonu bozabilir	Hemen hemen etkisiz
Yol kenarı bitkileri	Yüksek oranda büyümeyi bastırır.	Hemen hemen etkisiz	Hemen hemen etkisiz
Genel izlenim	Yol kenarı bitkileri üzerinde etkili	Suyun içindeki problemlere katkıda bulunabilir, büyük miktarlarda kullanıldığında hava kalitesi bozulabilir.	Hava kalitesi bozulabilir

Kış aylarında donan ve karla kaplanan yolları açmak için kullanılan tuzlar, sonuçta suların tuz konsantrasyonunu artırır. Sulardaki tuz konsantrasyonunun artması içme suları yanında, sulama sularını ve sudaki yaşamı büyük oranda etkilemektedir (Yörükoğulları, 2005).

Beton kaplamalı yollara zarar veren tuzlar, 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 neden olmaktadır. Kullanılan tuzun miktarı ve uygulanma sıklığı beton yüzeyinin bozulmasını artırır. %2' lik NaCl çözeltisi bile betona büyük zarar verebilir. Hava katkılı betonlar normal betonlara göre daha

duyarlıdır. ABD'de üretilen tuzun %40'ı buzlanmayı önleme amaçlı kullanılmaktadır. Ülkemizde buzlanma mücadelesinde kullanılan tuz miktarının 100 bin ton civarında olduğu tahmin edilmektedir. ABD' de yapılan bir araştırmaya göre bir ton tuzun çevreye verdiği zararı gidermenin bedeli 800\$' dır. Bu maliyete tuzun yeraltı sularına verdiği zarar ve dolaylı olarak sağlık giderleri dahil değildir. (Yörükoğulları, 2005).

Tuz, kaplama yapısına çeşitli şekillerde olumsuz etkiler yapabilir. Tuzlu su kaplama kenarlarında veya oluşan çatlaklarda farklı donma kabarmalarına neden olarak asfalt kaplamayı hasara uğratabilir. Beton yollarda, klor iyonları çatlaklardan donatıya ulaşabilirlerse donatıyı paslandırabilir ve yüzeyde ufalanmalara neden olabilir (Şekil 2.18.) Ayrıca magnezyum klorürdeki magnezyum çimentoyla reaksiyona girebilir ve kaplamayı zayıflatabilir (Ağar ve Kutluhan, 2005).



Şekil 2.18. Buzlanma mücadelesi sonucu bozulmuş beton yol (Bolat vd., 2010)

Karayolu altyapısının bileşenleri arasında yol tuzu en çok köprülere zarar verir. Tuzun klorit iyonları betonun içine nüfuz eder ve donatıların paslanmasına neden olur, sonuçta çatlaklar ve betonda parçalanmalar oluşur. Bu zararlar sonucunda köprünün yapısal bütünlüğü ve sürüş kalitesi ciddi oranlarda düşebilir ve köprü yüzeyinde çukurlaşmalar oluşabilir.

Yol tuzu ile etkilenen diğer altyapı bileşenleri, betonarme kaplamalar ve yol kenarındaki donanımlar (Örn. Levhalar ve ışık ayakları) gibi köprü dışındaki karayolu elemanlarını ve kamu hatları, boru hatları ve çelik depolama tankları gibi karayolunun altında ya da yanında gömülü nesneleri içerir. Bu öğelerin birçoğu

korozyon nedeniyle bakım ve onarım gerektirir ve zararın diğer kaynakları büyük yıllık maliyetler ile ciddi problemlerdir. Bununla birlikte mevcut veriler, çok geniş bir set üzerinde altyapı maliyetlerinde tuzun artırıcı etkisini ayırmak için yeterli değildir (Anonymous, 1991a).

Son yıllarda pek çok ülkede tuz yerine kalsiyum magnezyum asetat ve üre kullanılmaya başlanmıştır. Tuzdan çok daha pahalı olduğu için CMA bazı ülkelerde yalnızca köprü ve hassas bölgelerde kullanılmaktadır. Yollarda buzlanmanın önlenmesi için üre kullanımı sonucunda yol kenarındaki bitkiler aşırı büyümekte, ayrıca canlılar için zararlı olan NH_4^+ iyonu oluşmaktadır (Yörükoğulları, 2005).

Kış yol bakımı için kullanılan aşındırıcılar bazı çevresel etkilere sahiptir. Yağış suyu akış deliklerini ve kanalizasyonları tıkayabilirler. Kullanımından sonra kentsel alanlarda, köprü döşemelerinde ve hendek içlerinde temizlik gerekebilir. Materyaller akıntı yönünde yıkanabilir ve akarsuyla göllerde sonlanabilir. Tuzla işlem görmüş aşındırıcılar ayrıca kimyasalların olumsuz etkilerine de sahiptir. Yakın zamanlarda hava kirliliği olan alanlarda endişeler artmıştır. 10 mikrondan daha az (PM 10) taneciklerden oluşan hava kirliliğinin kış aşındırıcılarından kaynaklandığı kanıtlanmıştır. Bunun sonucu olarak şiddetli hava kirliliği olan alanlarda fırtınadan sonra aşındırıcıları hemen temizlemek gerekir (Anonymous, 1996a). Temizleme yapılmazsa kaplamada malzeme birikmesinden dolayı drenaj, erozyon, yol bozulmaları ve güvenlik tehlikeleri oluşabilir.

2.3.6. Kar ve buzlanma ile mücadelede geliştirilen yeni yöntemler

Kar ve buz ile daha hızlı, daha etkili ve daha ekonomik mücadele etmek amacıyla teknolojik gelişmelerden faydalanılarak otomatik buzlanma önleyici spre y yöntemi geliştirilmiştir. Bu sistemlerin tam olarak uygulanabilmesi için hava ve kaplama durumu ile ilgili verilerin doğru ve hızlı bir şekilde uygulama merkezlerine iletilmesi gerekmektedir. (Ahmetzade vd., 2007).

Yağış, sis, buzlanma ve aşırı rüzgar gibi kritik durumlarda araç kullanıcılarını uyarmak ve gerekli tedbirleri almak amacıyla Yol Meteoroloji Bilgi Sistemleri (Road Weather Information System-RWIS) geliştirilmiştir. Yol Meteorolojisi Bilgi Sistemleri'nin amacı yolların durumu hakkında doğru, güvenilir ve güncel bilgiler toplamak ve bunları yorumlamaktır.

Yol yüzeyinin herhangi bir andaki durumu hakkında bilgi sahibi olmak, ne tür bir uygulama yapılması gerektiğine karar vermek açısından çok önemlidir. Yüzey sıcaklığı, nem durumu ve daha önce uygulanmış kimyasal maddelerin yoğunluk durumu algılayıcılarla tespit edilebilmektedir. Anında bilgi almak için kullanılmasının yanında, bu algılayıcılarla sıcaklık değişimi izlenerek, yüzey sıcaklığı tahmini yapılabilir ve sıcaklık donma noktasının altına düşmeden uyarı yapılır. Bu sayede, don olayından önce plan yapmak için zaman kazanılmış olur. Bazı algılayıcılar iletkenlik ölçümleri yaparak, yüzey üzerindeki kimyasal madde konsantrasyonu hakkında bilgi verir. Bu bilgi sayesinde yeniden bir uygulama yapıp yapılmamasına karar verilir. Yeni bazı algılayıcılar, üzerinde bulunan eriyiğin donma noktasını ölçebilirler (Ağar ve Kutluhan, 2005; Anonymous, 1996b).

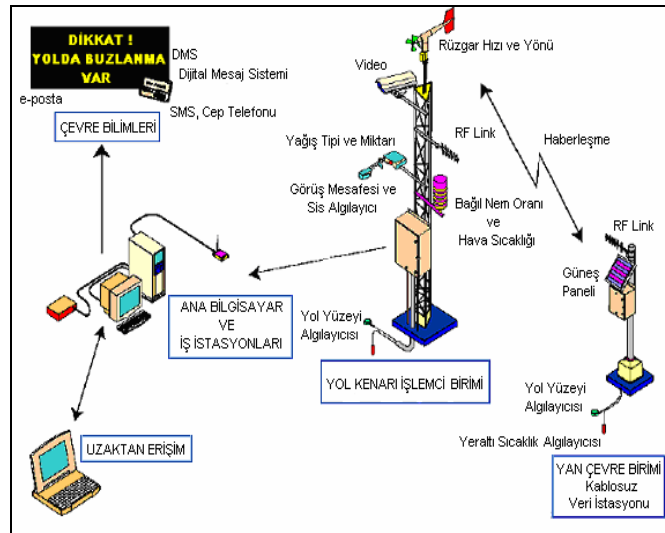
RWIS izleme cihazları (atmosferik ve karayolu sensörleri) ve yazılımları ile gözleme ve izleme ile karayolunda veya karayolu sistemlerinin tamamındaki bir değişme hakkında sürekli, hızlı ve kesin bir bilgi akışı sunar (Şekil 2.19.).



Şekil 2.19. RWIS kulesi ve sensörlerine ait örnekler

ABD, Kanada, Japonya ve Avrupa’da (İsviçre, İsveç, Norveç, Almanya, Fransa, İngiltere) oldukça yaygınlaşan, yollardaki hava durumu bilgi sistemleri (RWIS), hava durumu ile ilgili veri toplayan, yol durumunu gözlemleyen sistemlerle, bunlara eşlik eden, haberleşme, analiz ve görüntüleme sağlayan birimleri içerir. . Sistem içerisinde, birçok algılayıcının bulunduğu istasyonlar mevcuttur (RPU-Remote Processing Unit). RPU’lar genel olarak atmosferik algılayıcılar, yol yüzeyine ve yüzey altına yerleştirilen algılayıcılar ile veri işlemcisi ve iletişim aygıtından oluşmaktadır. Algılayıcılardan gelen veriler RPU’da işlenir ve buradan merkezi işlemci birimi (CPU-Central Processing Unit) ’ne aktarılır. Bu bilgiler saklanabilir, diğer bölgelere gönderilebilir veya doğrudan kullanılabilir. Bu şekilde, kar ve buz kontrolü ile ilgili karar vericiler en güncel hava ve yol durumu bilgilerine ulaşabilmektedir (Ağar ve Kutluhan, 2005; Anonymous, 1996b).

Bu sistem dahilindeki sensörler ve kameralar sayesinde bilgiler toplanarak merkeze iletilmekte ve merkezde bu bilgiler yorumlanarak araç kullanıcılarını uyarım sistemleri (parlak yol gösterici, dijital mesaj sistemi (DMS)) devreye sokulmakta, müdahale ekipleri yönlendirilmekte veya gerekli olan sistemler aktif hale getirilmektedir. Otomatik uyarı sistemlerinin işleyişine örnek Şekil 2.20.' de gösterilmiştir.



Şekil 2.20. RWIS sistemi işleyiş şeması

Özellikle ağır hava şartlarında ulaşımın sorun olduğu metropollerde ya da şehirlerarası bağlantı yollarında hızla değişen hava şartlarının neden olacağı olumsuzlukları en aza indirmek için zamanında ve doğru bilgi sahibi olmak ve gerekli müdahaleleri yapabilmek ancak RWIS kullanımı ile mümkün olabilmektedir (Ahmetzade vd., 2007).

Buzlanma kontrolüyle ilgili geliştirilen sistemlerden birisi de sabit otomatik püskürtme sistemleridir (Fixed Anti-Icing Spray Technology-FAST). Bu sistemlerin, acil durumda ulaşılması zor olan kesimlerde ve çokça buzlanma görülen belirli yerlerde yapılması çok uygundur (Goodwin, 2003).

Otomatik Buzlanma Önleyici Sprey Yöntemi'nin temel prensibi, uygulama bölgesine yerleştirilen sistemle kaplamaya buzlanmayı önleyici kimyasalların püskürtülmesi ve bu sayede buzla kaplama yüzeyi arasında kimyasal bir tabaka oluşturularak buzun kaplamaya yapışmasını engellemektir (Goodwin, 2003).

Buz mücadelesinde geçmişten günümüze kadar kullanılan buzlanmayı önleyici kimyasalların yola uygulanma yöntemlerinden farklı olarak Otomatik Buzlanma Önleyici Sprey Yöntemi'nde RWIS' den faydalanılmaktadır. Bu sayede kar yağışı ve kaplamada buz oluşumu ile ilgili veriler toplanmakta ve sistem devreye sokularak uygulama bölgesine yerleştirilen sprej ağızlıklarıyla kaplamaya kimyasalların püskürtülmesi sağlanmakta ve anında müdahale ile buz oluşumu veya buzun kaplamaya yapışması önlenmektedir (Goodwin, 2003).

Yollara uygulanan otomatik püskürtme sistemleri iki türlü olabilmektedir. Bunlardan ilkinde püskürtme sistemi yol veya köprü gövdesine yerleştirilir, ikincisinde ise püskürtme sistemi yol kenarına yerleştirilmiştir (Şekil 2.21.) (Boselly, 2001).



Şekil 2.21. Yola ve yol kenarına yerleştirilmiş püskürtme sistemleri

Otomatik buz önleme sistemi bütün yol tiplerine uygulanabilmesine rağmen özellikle köprülerde kullanılmaktadır. Bu sistemde kullanılan sıvı kimyasal potasyum asetatdır. Köprü üzerine kaplama ve bariyerlere monteli olmak üzere toplam 76 adet kimyasal madde püskürtme ağızlığı yerleştirilmiştir. Kaplamaya, gidiş ve dönüş yönünün merkezine uygulanmak üzere 16,8 metre aralıklarla toplam 68 adet püskürtme ağızlığı yerleştirilmiş, 8 adet püskürtme ağızlığı ise köprü'nün giriş bölgelerinde bariyerlere monte edilmiştir. Sistem dahilindeki ağızlıklarla kaplamaya potasyum asetat püskürtülerek buzlanma veya buzun kaplamaya yapışması engellenmektedir (Şekil 2.22.).



Şekil 2.22. Köprüde buzlanma önleyici sistem bileşenleri (Goodwin, 2003).

Buz önleme sistemi kış bakım işlemlerine karşı avantajları bakımından incelendiğinde kullanılan kimyasalların optimum miktarda olduğu, çevre bakımından genellikle daha az zehirli olduğu ve araçlar ile yola zarar vermeleri bakımından olumsuz bir etkilerinin bulunmadığı belirlenmiştir. Aynı zamanda bu sistem otomatik olduğundan buzlanma veya kar yağışı başladığı anda kaplamadaki sistem hızlı bir şekilde devreye girmektedir (Ahmetzade vd., 2007).

Viyadüklerin ve köprülerin kaplamaları, alttan ve üstten soğuk havaya maruz kaldığından, buzlanma olayları daha sık görülmektedir. Karayolu ağı içerisindeki böyle yapılarda, kar ve buz mücadelesi yapmak zordur. Böyle yerlere yol meteoroloji bilgi sistemleri (RWIS) kurularak, buz mücadelesi yapılmaya çalışılmaktadır (Okur, 2008).

Ülkemizde de İstanbul - Ankara güzergahında bolu dağı tünelinin 2. 3. ve 4. Viyadükleriyle tünelin giriş ve çıkışına buz çözücü sistem kurulmuştur (www.haberler.com).

2.4. Konu Hakkında Yapılmış Önceki Çalışmalar

Gray ve Male (1981), yaptıkları çalışmada, Almanya' da 1950' li yıllardaki araştırmalarda bile kumun yol üzerinden kolaylıkla dışarı atıldığıнын altının çizildiğini belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmaya göre, otoyol hızlarında on ila on iki aracın geçişi kumun karayolu yüzeyinden savrulması için yeterli olmaktadır. Ontario Ulaştırma Teşkilatı tarafından yapılan (Comfort ve Dinovitzer, 1997) bir araştırmada ise -15 °C'nin altındaki sıcaklıklarda sürtünmenin yükselmesinin uygulanan aşındırıcı miktarına bağlı olduğu bildirilmektedir. Aşındırıcı miktarı ise çok hafif trafikte bile (5-10 araç veya 3-5 yüklü kamyon) büyük ölçüde azalmaktadır. Ontario' daki bu çalışmada yapılan bir seri testte sıkışmış sert karla kaplı, herhangi bir işleminden geçmemiş yolda sürtünme faktörü 0,18, her şerit başına 300 kg aşındırıcı uyguladıktan sonra sürtünme faktörü 0.40 ve hafif trafikten sonra bu değer 0,23 olarak ölçülmüştür.

Kinsey et al. (1990), kış bakımında kullanılacak olan kumun koyu renk olması gerektiğini savunmuşlardır. Bunun nedeni koyu renk kumun sürücüler tarafından daha iyi görülebilmesi ve güneş ışığını daha iyi çekebilmesidir. Kanada ulaştırma şartnamesinde kumun rengiyle ilgili temel sorun "kabul edilebilir koyu" yu belirtecek nicel bir ölçümün olmamasıdır. Kumun kayalar ve geo-malzemeler için geliştirilen Munsell renk ölçeği (Munsell, 1929) gibi bir renk ölçeğiyle tanımlanması

gerekmektedir. Bu çalışmada kış bakımında kullanılacak olan kumların, bu ölçeğe göre orta ile koyu gri arasında olması önerilir.

Karayollarında kış bakım çalışmalarında ısıtılmış kum kullanımı 1990-91 kış sezonu boyunca Finlandiya Yol Yönetimi tarafından test edilmiştir (Anonymous, 1991b). İlk kısmı Lappi yol bölgesinde yürütülen çalışmada, kum yaklaşık 80 °C'ye kadar ısıtıldıktan sonra bakım kamyonuna yüklenerek, yola dağıtılmıştır. Normal kumun ve ısıtılmış kumun kullanıldığı alanlardan sürtünme değerleri ölçülmüş ve sürtünme değerleri arasında istatistiksel olarak belirli fark gözlenmemiştir.

Baum et al. (1992), kış koşulları boyunca, yol ve köprülerde oluşan kar ve buz en aza indirebilmek, köprü, üstyapı ve araçların bozulmasını engellemek ve buz kontrol kimyasallarının çevresel etkilerini hafifletme için çalışmalar yürütmüşlerdir. Yapılan çalışmalarla, üstyapılarda ya da kullanılan kimyasallarda kimyasal veya fiziksel değişiklikler yaparak, kar ve buzun kaplamayla bir bağ kurulması engellenmeye çalışılmıştır. Çalışmalarda ekonomi, yapısal bütünlüğün bozulmaması, uzun servis ömrü, toksik ve korozyon olmamak, birçok iklim ve trafik durumuna uygunluk, araç lastiğiyle üstyapı arasındaki sürtünmeyi etkilememe gibi faktörler göz önünde bulundurulmuştur. Tüm çalışmaların sonunda asfalt betonu kaplama tabakasında lastik parçalarının kullanımı farklı bir teknik olarak ortaya çıkmıştır. Lastik yüzeyin rijitliğini düşürmekte ve trafiğin etkisiyle buzun çatlamasını, dolayısıyla erimesini kolaylaştırmaktadır.

Sürtünme artırıcı olarak kum kullanımı üzerine başka çalışmalarda yapılmıştır. Borland ve Blaisdell (1993), beş değişik buz türü incelemiştir. Yaptıkları çalışmada kaba daneli kumun düşük sıcaklıklarda daha fazla sürtünme artışı sağladığını belirlemişlerdir. Bunun yanında, sürtünme artışının büyük ölçüde uygulama oranlarına bağlı olduğu bulunmuştur. Çalışmalarında 580 kg/km uygulama oranında malzeme uygulamışlardır. Sonuç olarak aşındırıcıların 0.10 dan 0.31' e kadar sürtünme artışı sağlayabildikleri belirlenmiştir.

Blackburn et al. (1994), buzlanmanın önlenmesindeki teknolojik gelişmeler üzerine bir çalışma yapmışlardır. Kar yağışı başlamadan önce üstyapıya buzlanma önleyici bir malzemenin uygulanmasıyla, kaplama ile kar ve buz arasındaki bağın kırılabileceğini savunmuşlardır. Ön ıslatılmış ve sıvı kimyasallar kullanarak, 1991-92 ve 1992-93 kış aylarında buzlanmayı önleyiciler üzerine testler yapmışlardır. Çalışmada katı, sıvı ve ön ıslatılmış malzemeleri istenilen miktarlarda uygulamak için dizayn edilen teçhizatlardan bahsedilmiştir. Buz çözücüler ve buzlanmayı önleyici işlemler arasında fayda/maliyet analizleri yapılmıştır.

Kuemmel and Bari (1996), tarafından yapılan bir çalışmada kış bakımı için tuz-aşındırıcı karışımı ya da aşındırıcı kullanımının etkili maliyeti incelendi. Bu çalışmada, kış bakımı amacıyla tuz kullanımının fiyat avantajlarını inceleyen daha önceki bir çalışmadan (Kuemmel ve Hanbali, 1992) yararlanılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar açıktır. Düz tuz kullanımının fayda/maliyet oranı iki şeritli yollar için 12/1 ve bölünmüş yollar için 3/1 oldu. Buna karşılık iki şeritli karayolları üzerinde aşındırıcı ve tuz-aşındırıcı karışımı için fayda/maliyet oranı 0.8/1 idi. Başka bir deyişle iki şeritli karayolları için aşındırıcı ve tuz aşındırıcı karışımı kullanımı ekonomik değildir. Otoyollarda 2.8/1 fayda/maliyet oranı ile biraz daha iyi sonuçlar oluşmuştur. Otoyollarda tuz kullanımı kadar olmasa da, aşındırıcı kullanımı ekonomik olarak açıklanabilir. Ayrıca otoyollarda tuz kullanımı, aşındırıcı kullanımı ya da aşındırıcı/tuz karışımı kullanımından daha güvenli yol yüzeyi sağlar.

Karla mücadele çalışmalarıyla ilgili ayrıntılı bir çalışma Nixon ve Foster (1996), tarafından yürütülmüştür. Çalışmada günümüzde kullanılan kimyasallar, kum ve kar sürme makinelerinden bahsedilmiş ve bunların avantaj ve dezavantajları tartışılmıştır. Tuzun üstyapıya ve çevreye verdiği zararlardan bahsedilmiş ve tuz yerine geçebilecek tamamen zararsız, ucuz bir yöntemin bulunamadığının altı çizilmiştir. Iowa' daki şehir ve ilçelerde aşındırıcı kullanımından önemli derecede faydalanılmaktadır. Nixon ve Foster detaylı bir araştırma yapmak amacıyla hazırladıkları anketleri Iowa' daki tüm il ve ilçelere göndermişler ve böylece tüm eyaletin kışla mücadele çalışmaları hakkında ayrıntılı bilgilere ulaşmışlardır. Ayrıca buz çözücü ve buzlanmayı önleyicilerle ilgili en son gelişmelerden ve hava bilgi sistemlerinden bahsedilmiştir.

Hossain et al. (1997), New York Ulaştırma Departmanı için üç farklı kum tipini değişik uygulama oranları ve sıcaklıklarda test ettikleri bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada, kumun tuz ve tuzlu su ile karıştırıldığı deneyler de yapmışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda, yüksek ısılarda en iyi sonucu, 2:1 kum - tuzlu su (% 25'lik tuzlu su) karışımından alırken, kumun tek başına çok küçük bir sürtünme artışı sağladığını belirlemişlerdir.

Kış bakımında kullanılan aşındırıcıların çevresel etkileri ile ilgili kaygılar artmaktadır. Amerika birleşik devletlerinde bu endişeler öncelikli olarak partikül sorunu (Particulate Matter-PM) ve hava kalitesi endişeleridir. Bununla birlikte Almanya' da yapılan bir çalışmada (Hanke, 1998), tuz kullanımına bir alternatif olarak aşındırıcı kullanımının incelenmesi ilginçtir. Çalışma tuz kullanımından kaynaklanan çevresel kaygılar üzerine başlatılmıştır. Ancak Hanke' nin çalışmasında aşındırıcı kullanımıyla ilgili ek bir dizi kaygılar ortaya çıkmıştır. Aşındırıcı kullanımının tuzdan daha pahalı olduğu belirtilmiştir. Çünkü daha fazla uygulama yapılmalıdır ve serildikten sonra dağılan aşındırıcılar trafik güvenliği için tehlikeli olmaktadır. Başka bir deyişle aşındırıcılar fazla maliyetlidir ve yol güvenliğini arttırmaz. Buna ek olarak bir fırtınadan sonra aşındırıcıları temizlemek ve onları tekrar kullanmak ya da atmanın her ikisi içinde aşındırıcıları toplama sürecinin henüz tam olarak gelişmediğine dikkat çekmektedir. Sonuç olarak çalışmanın sonucunda "kış bakımı için aşındırıcı kullanımı en aza indirilmelidir" denilmiştir. Çalışmanın diğer bir sonucu da aşındırıcıların sadece ağır kar ve düşük sıcaklık durumlarında kullanılması gerektiğidir.

Minks (1998), kum ve diğer aşındırıcıların 1970 yılına gelinceye kadar Amerika Birleşik Devletlerinde kış bakım çalışmalarının önemli bir parçası olduğunu belirtmiştir. O dönemde tuz ve diğer kimyasalların kullanımı daha yaygın hale gelmiştir. Ancak aşındırıcı kullanımına da devam edilmiştir.

Hallberg ve Henrysson (1999), İsveç'te aşındırıcı kullanımı için termal yöntemler ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada dört farklı malzeme ile uygulamalar

yapılmıştır. Bu malzemelerden en geleneksel olanı 0-8 mm çapında kum ve 25 kg/m³ tuzdan (sodyum klorür) oluşan kum/tuz karışımıdır. İkinci geleneksel malzeme 2-5 mm çapında agrega parçalarından oluşmaktadır. Bunlara ek olarak iki yeni uygulama hazırlanmıştır. Birincisi yola serilmeden hemen önce dizel yakıtlar kullanılarak 180 °C'den yüksek sıcaklıklarda ısıtılmış 2-5 mm çapında agregre parçalarının uygulanmasından oluşur ve Hottstone® olarak adlandırılır. İkinci yeni metot ise 0-8 mm çapında kumun 90 °C su ile karıştırılarak uygulanır ve sürtünme sağlayıcı olarak isimlendirilmektedir. Her iki yeni yönteminde amacı, kumu kar ya da buzla kaplı üstyapıya sabitleyebilmektir. Tüm karışımlar 350 kg/km oranında yola uygulanmışlardır. Her iki yeni yöntemde sağladıkları sürtünme artışını birkaç gün boyunca sürdürebilmişlerdir. Hallberg ve Henrysson' un (1999), çalışmasında da değindikleri gibi, geleneksel metotlar uygulandıktan sonra birkaç saat içinde herhangi bir sürtünme etkisi kalmamaktadır. Bu testler yıllık ortalama günlük trafik (YOGT) değeri 500 olan bir yolda yürütülmüştür.

Lund (2000), üstyapı kar eritme sistemlerini araştıran bir çalışma yapmıştır. Geotermal sıcak su ya da buhar kullanarak üstyapıdaki karı eritme çalışmaları Arjantin, Japonya ve Amerika gibi birkaç ülkede uygulanmaktadır. Bu metodun en genel uygulaması, glikol solüsyon, sıcak su veya buharın üstyapının içinde ya da altındaki borularda dolaşmasından oluşur. Boru tesisatı malzemeleri olarak genellikle polietilen olanlar tercih edilmektedir. Çalışmada kar eritici sistemin tasarım ihtiyaçlarından bahsedilmiş ve geotermal kullanan sistemlere örnekler verilmiştir. Bu yöntemi kullanmanın en belirgin avantajları, kar süpürme çalışmalarını ortadan kaldırması, araçlar ve yayalar için daha güvenli şartlar sağlamasıdır.

Stowe (2001), Washington' da trafik kazalarının çok olduğu ve bu kazalara çoğunlukla kar ve buzun sebep olduğu bir kısımda, akıllı ulaştırma sistemleri kurmak amacıyla çalışmalar yapmıştır. Çalışmada kar ve buzun sebep olduğu kazaları önlemek için bunların yol üzerinde oluşumunu engellemek düşünülmüştür. Yapılan araştırmada buzlanmayı önleyici kimyasalın yol üzerine otomatik buz önleyici sistemle uygulanmasından bahsedilmiştir. Böyle bir sistemin maliyetini, kazaları önleyerek elde edilecek karı ve kar/zarar durumunu hesaplayan tanımlamalar verilmiştir.

Gertler et al. (2006), yaptıkları çalışmada yoldaki tozları durdurmanın çevresel partikül sorununu (PM) durdurmada önemli bir katkı sağlayacağını araştırmışlardır. fazla miktarda kar yağışı olan yerlerde aşındırıcı kullanımının partikül sorunu meydana getirmede önemli bir farklılık yarattığı görülmüştür. Sıvı buz çözücülerin yoldaki tozları oluşturmadaki payı oldukça azdır. Karayollarında kışla mücadele çalışmalarında, aşındırıcı kullanımından sonra yolları süpürmenin, partikül sorununa nasıl bir etki yapacağı yapılan ölçümlerle tartışılmıştır. Süpürmenin ardından toz miktarında artışlar ölçülmüştür.

Kuloğlu ve Kök (2005), tuzun beton asfalt kaplamaya olan etkisini deneysel olarak inceleyen bir araştırma yapmışlardır. Deniz kıyısındaki yollar ve kış mevsiminde don etkisini azaltmak ve önlemek amacıyla tuzlanan yollar, kaplamanın içine nüfuz eden su ve tuza maruzdurlar. Yollarda kar ve buz mücadelesinde kullanılan kimyasallar, kar ve buz eriterek yol yüzeyinde bir çözelti oluştururlar. Çözeltilerin, kaplamanın geçirgenlik özelliğinden dolayı esnek kaplamalar üzerinde çeşitli etkileri olabilmektedir. Yapılan çalışmada tuzun beton asfalt kaplamaya olan etkisini araştırmak amacıyla, farklı tuz çözeltilerinde farklı zaman aralıklarında bekletilen Marshall numuneleri, elastisite modülü, tek eksenli rijitlik modülü ve yorulma deneyine tabi tutulmuşlardır. Çalışmanın sonunda, %2,5 tuzlu çözeltiye maruz beton asfalt kaplamaların rijitlik modülünün %35, yorulma dayanımlarının %41 düştüğü tespit edilmiştir. Numunelerin %1-1,5 tuzlu çözelti içerisinde rijitlikleri, temiz suda bekleyen numunelere göre artmıştır ve bitümlü sıcak karışımlarda, yüksek rijitlik de istenmeyen bir durumdur.

Varış (2007), yaptığı çalışmada, karayollarında kış bakım çalışmalarında kullanılan kar ve buz kontrol yöntemlerini incelemiş ve kış mücadelesinde yeni yöntemler bulmuştur. Çalışmada, buz çözücüler, buzlanmayı önleyiciler ve aşındırıcıların özelliklerinden, uygulama şekillerinden, çevre etkilerinden ve depolama ihtiyaçlarından bahsedilmiştir. Ayrıca kum ve pomzanın buz eritme performansını karşılaştırmak amacıyla yeni bir deney aleti olan buz eritme deney aletini tasarlamış ve kum ve pomzanın buz eritme deneylerini yapmıştır. Sonuç olarak pomzanın kum

ile yaklaşık bir performans sergilediğini ve hatta etkiyen ağırlıkların artmasıyla pomzanın performansının daha iyi olacağını belirtmiştir.

Okur (2008), karayollarında kar ve buz mücadelesinde kullanılan yöntemleri ve ülkemizde kullanılabilirliğini araştıran ve ayrıca çok kullanılan bazı kimyasal maddelerin yola ve metallere verdikleri zararları değerlendirmek için korozyon ve soyulma deneyleri yapan bir çalışma yapmıştır. Yaptığı korozyon deneylerini, CaCl_2 , NaCl , MgCl_2 , inhibitörlü MgCl_2 ve organik içerikli buz çözücü kullanarak DKP saç panelleri ile yapmıştır. Soyulma deneylerini ise, saf su, CaCl_2 , NaCl , ve MgCl_2 kullanarak, agrega ve bitüm ile yapmıştır. Yaptığı çalışmalar sonucunda, klorür esaslı tuzların yola ve metallere verdiği zararların, organik içerikli kimyasallara oranla daha fazla olduğunu belirlemiştir. Ayrıca klorürlü tuzlara katkı maddeleri katılarak, metallerdeki korozyon zararlarının azaltılabildiğini belirtmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Pomza

Pomza, ülkemiz endüstrisine son yıllarda girmeye başlamış ve önemi yeni anlaşılan volkanik kökenli bir madendir. Pomza (ponza) terimi İtalyanca bir sözcüktür. Değişik dillerde farklı sözcüklerle adlandırılmaktadır. Örneğin; Fransızca da ponce, İngilizcede iri taneli olanına pumice, ince tanelisine pumicite, Almancada iri tanelisine bims, ince tanelisine bimstein adı verilmektedir. Türkçede ise süngertaşı, köpüktaşı, hışırtaşı, nasırtaşı, küvek, kisir gibi adlarla anılmaktadır. Diğer dillerin ve teknoloji ithalinin etkisiyle Türkçeye pomza, ponza, bims, pümis ve pümisit terimleri olarak yerleşmiştir (Gündüz vd., 1998).

Eski Romalılar zamanında pomza taşı çoğunlukla termal banyoların ve tapınakların yapımında kullanılmıştır. Bu eserlerin bazıları halen görülebilir. Bu dönemlere ait en belirgin örnekler Roma Pantheonu ve İstanbul'daki Ayasofya Kilisesi'dir. Almanya' da ise 1800' lü yıllarda Rhinenland şehrinde kullanılmaya başlanmıştır. Avrupa genelinde yakın döneme dek ponza taşına ilgi gösterilmemiştir. ABD de ise pomza taşının yapı malzemesi olarak kullanılması 18. yüzyılın ortalarında California'da başlamıştır. Son 30 yıl içerisinde ise teknolojinin gelişmesi ve çevre bilincinin artması ponza taşının kullanımını yaygınlaştırmıştır.

Pomzanın gözenekleri birbirleriyle bağlantısız olup, bu özelliğinden dolayı ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir. İçerdiği gözenekler gözle görülebilecek boyutlardan, mikroskobik boyutlara kadar sayısız olup, her biri diğerinden camsı bir zarla yalıtılmıştır. Bu yüzden hafif, suda uzun süre yüzebilen bir kayadır (Şekil 3.1.) (Gündüz vd., 1998).



Şekil 3.1. Pomza

TS 3234' de pomza, birbirine bağlantısız boşluklu, sünger görünümlü silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genellikle 1 gr/cm^3 'den küçük, sertliği mohs sertlik skalasına göre yaklaşık 6 olan ve camsı doku gösteren volkanik bir madde olarak tanımlanmıştır. Ayrı, pomzanın kırma ve eleme suretiyle beton yapımına elverişli hale getirilmiş şekline de, "pomza agregası" adı verilmektedir (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Boyutlarına ayrılmış pomza agregaları

%50'e yakın nem suyu bulunduran ve dolayısıyla nemi alındığında özgül ağırlığı $0,5 \text{ gr/cm}^3$ 'e kadar düşebilen, toz haline getirildiğinde oldukça sert malzeme özelliği kazanan, ısı ve ses yalıtkanlığına, uygun basınç dayanımı ve elastisite modülüne sahip ve özel kimyasal bileşimi olan doğal bir malzemedir. Asit veya bazik bileşimli olabilir (Şekil 3.3. a, b). Asidik pomza yeryüzünde en yaygın bulunan ve kullanılan türüdür (Erkoyun, 2005). Bazik pomzaya bazaltik pomza veya Scoria da denilmektedir. Bazaltik pomza, koyu renkli, kahverengimsi, siyahımsı olabilmektedir. Özgül ağırlığı 1-2 civarındadır. Asidik pomza, beyaz, kirli görünümde ve grimsi beyaz renkte olup özgül ağırlığı bazaltik pomzadan hafif ve 0,5-1 civarındadır. Kimyasal bileşiminde; silisyum, alüminyum, potasyum ve

sodyum ihtiva eder ve bu bileşimler nedeniyle açık renkli görünüm sergilemektedirler (Gündüz vd., 1998).



Şekil 3.3. (a) Bazik pomza (b) Asidik pomza

Hem asidik pomza hem de bazik pomza oluşum esnasında ani soğuma ve gazların bünyeyi ani olarak terk etmesi sonucu oldukça gözenekli bir yapı kazanmıştır. Ancak, asidik magmanın yoğunluğu bazik magmaya göre daha düşüktür. Asidik karakterli pomzalarda silis oranı daha yüksek olup, inşaat sektöründe yaygın kullanım alanı bulabilmektedir. Diğer taraftan, bazik karakterli pomzalarda da alüminyum, demir, kalsiyum ve magnezyum bileşenleri daha yüksek oranlarda bulunması nedeniyle, diğer endüstri alanlarında kullanım alanı bulabilmektedir (Şengün, 2004). Asidik ve bazik özellikler taşıyan farklı endüstriyel alanlarda kullanılan ülkemizdeki pomza kayaçlarının genel kimyasal özellikleri özetle Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Pomzanın genel kimyasal bileşimleri

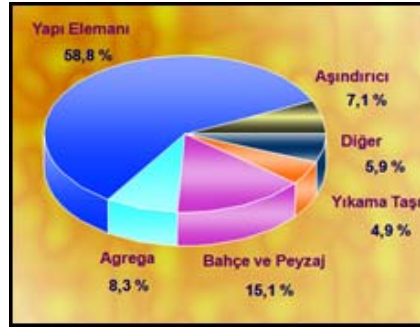
Bileşim	Asidik Pomza	Bazik Pomza
SiO ₂	70	45
Al ₂ O ₃	14	21
Fe ₂ O ₃	2,5	7
CaO	0,9	11
MgO	0,6	7
Na ₂ +K ₂ O	9	8
A.K.	3	1

Ülkemizdeki pomza kayaçlarının genel fiziksel özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Pomzanın genel fiziksel özellikleri (Sezgin vd., 2005)

Fiziksel Özellikler	
Renk	Açık griden kirli beyaza
Sertlik	5,5 - 6,0
K.Birim Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	0,32 - 0,97
Gerçek özgül ağırlığı (g/cm ³)	1,9 - 2,65
Porozite (%)	45 - 70
Rötre (mm/m)	<2
Isı İletkenlik Katsayısı (kcal/mh °C)	0,12 - 0,20
Isınma Isısı (cal/gr. °C)	0,24 - 0,28
Ses Yalıtımı (dB)	40 - 55
Su Emme (Ağırlıkça %)	30 - 70

Pomza başlıca inşaat, tekstil, tarım, kimya ve diğer endüstriyel ve teknoloji alanlarında kullanılmaktadır. Türkiye'de pomzanın kullanım alanları dağılımı grafiği Şekil 3.4' te görülmektedir.

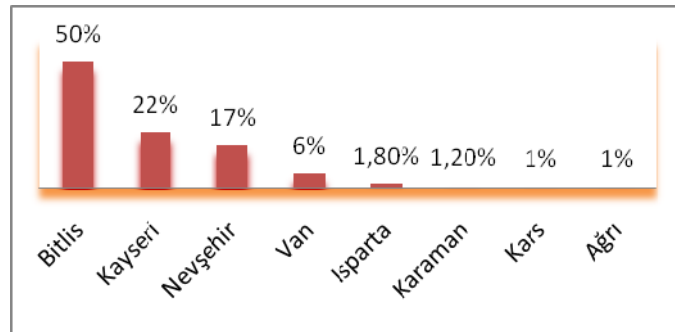


Şekil 3.4. Pomzanın kullanım alanları

Dünyada ve ülkemizde pomzanın en çok kullanıldığı alan inşaat sektörüdür. Düşük birim hacim ağırlığı, yüksek ısı ve ses izolasyonu, iklimlendirme özelliği, deprem yük ve davranışları karşısındaki elastikiyeti ve alternatiflerine göre daha ucuz oluşu gibi üstün özelliklerinden dolayı inşaat ve yapı endüstrisinde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır (Gündüz, 1998). Tekstil sektörünün bazı dallarında pomza, aranan ve azımsanmayacak miktarlarda tüketilen önemli girdi hammaddelerinden biri olmuştur.

Yaygın olarak kot taşlama olarak bilinen bu işleminde ve kot kumaşların renklerinin açılması, ağartılması ve kumaşın yumuşatılması işlemlerinde kullanılmaktadır. Tarım sektöründe pomza, toprağın suyunu tutan, muhafaza eden özelliği sayesinde sulu tarım bitkilerinin susuz yada çok az sulanarak yetiştirilmesini sağlayan doğal bir malzemedir. Kimya endüstrisinde pomza tarım ilaçları ve kibritle sanayinde taşıyıcı olarak, suni gübrelerin topaklaşmasının önlenmesinde anti kek maddesi olarak, diş macunlarında ve dişçilikte parlatma keki ve tozu olarak, birçok alanda absorban malzeme olarak, temizlik ve deterjan sanayinde katkı malzemesi olarak kullanılır. Ayrıca özel tip boyalarda, akustik ve yalıtımlı boyalarda, pürüzlü duvar kaplamalarında, trafik boyalarında, kaymaz tip boyalarda katkı malzemesi olarak kullanılır (Güngör ve Tombul, 1997).

Ülkemiz pomza rezervi açısından oldukça zengindir. Araştırmalara göre Türkiye 3 milyar metre küp pomza rezervi ile oldukça önemli bir potansiyele sahiptir. Bu da dünya pomza rezervlerinin 1/7'sine karşılık gelmektedir. Tablo 1'de görüleceği üzere pomza rezervleri Dolgu Anadolu Bölgesinde oldukça yoğunlaşmıştır. İç Anadolu ve Akdeniz Bölgesinde de rastlanmaktadır. İşletme sayısı bakımından ise İç Anadolu Bölgesi önde gelmektedir (Anonim, 2001a). Şekil 3.5'te ülkemizdeki pomza rezervlerinin bulunduğu iller ve rezerv dağılımları gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Türkiye pomza rezerv dağılımı (Şapcı ve Gündüz, 2004)

3.1.2. Kum

Kar yağışı ve buzlanmanın etkili olduğu kesimlerde, yol ile taşıt tekerlekleri arasındaki sürtünmenin azalması, can ve mal kayıplarının görüldüğü trafik kazalarına neden olmaktadır. Kış bakım çalışmaları için aşındırıcı kullanımı yıllardır alışılmış bir yaklaşımdır. Araçlarla buzla kaplı üstyapı arasındaki sürtünmeyi artırmak bu aşındırıcıların temel görevidir. Karayollarımızda aşındırıcı malzeme olarak genellikle kum kullanılmaktadır.

Mıcır, çakıl ve kum, inşaat sektöründe agrega olarak da adlandırılan belirli tane sınıflarına ayrılmış, kırma ve doğal olmak üzere ikiye ayrılan, organik olmayan malzemelerdir. Yapı malzemesi olarak kum 0.063-2 mm tane boyutunda gevşek dokulu klastik bir sedimandır (Şekil 3.6). Tane boyutu 0.063-0.25 mm arasında ince kum, 0.25-1 mm arasında orta dereceli kum 1-2 mm arasında ise kum deyimi kullanılmaktadır. Kum kuvars, feldspat taneleri, kayaç artıkları, mika ve glokon gibi minerallerin bir karışımıdır.



Şekil 3.6. Kum

Kimyasal bileşiminde en az %90 CaCO_3 (kalsiyum karbonat) içeren kayalara kalker ya da kireçtaşı adı verilmektedir. Ayrıca mineralojik bileşiminde en az % 90 kalsit minerali bulunan kayalara da kalker adı verilmektedir. Kalker saf halde kalsit ve çok az miktarda aragonit kristallerinden oluşur. Ancak doğada hiçbir zaman saf olarak bulunmaz. İkincil derecede değişik madde ve bileşiklerin içinde yer alması nedeniyle orjinal halde sarı, kahverengi ve siyah renklerde de görülebilmektedir. Kalkerin sertlik derecesi 3, özgül ağırlığı $2.5-2.7 \text{ gr/cm}^3$ arasındadır. Yeraltı sularında travertenler şeklinde, deniz yada tatlı sularda ise kimyasal organik veya

mekanik çökelme sonucu kalker yatakları oluşur. Oluşum süreçlerinden de anlaşılacağı üzere kalker organik, kimyasal ve klastik kireçtaşları olarak üç grup altında toplama mümkündür (Anonim, 1996).

Agrega beton malzemesi dışında, dolgu ve ıslah malzemesi, yol inşaatlarında asfalt ve temel malzemesi olarak önemli miktarlarda kullanılmaktadır. T.C. Karayolları, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Belediye Asfalt Tesisleri gibi kamu kurumları yanında özel sektörün de tükettiği agregaları dikkate aldığımızda karşımıza 30.000.000 ton civarında bir tüketim miktarı ortaya çıkmaktadır.

Kum, çakıl, kırmataş rezervleri için kullanılabilecek geniş jeolojik yapıların varlığından dolayı uzun yıllar ihtiyaca cevap verebilecek rezervler mevcuttur. Ülke genelinde oldukça bol ve geniş bir alanda sağlanabildiğinden rezerv konusunda bir sıkıntı söz konusu değildir. Ancak, kullanım alanı nedeni ile birim maliyetlerinin düşük tutulması gerekliliği faydalanabilir rezervi kısıtlamaktadır. Tüketim alanlarından uzakta olan agrega için nakliye maliyetleri birim maliyetler içerisinde önemli yer tutmaktadır. Tüketim alanlarına uzak olmalarının yanında, arazi kullanımındaki sınırlamalar, çevre koruma sorunları mevcut rezervlerin kullanımını sınırlamaktadır. Kentleşmenin hızlandığı günümüzde büyük şehirlerin yakın çevrelerinde üretim kısıtlamaları dolayısı ile zaman zaman kum, çakıl ve mıcır arzında darboğazlar ortaya çıkmaktadır (Anonim, 2001b).

3.1.3. Sodyum klorür

Kış mevsimlerinde karayolu bakımı tuz için büyük bir piyasa oluşturur. Güvenli ve geçilebilir yollar yapabilmek için kar ve buz kontrolünde tuz, ilk defa 1930'larda kullanılmıştır. Kar bakım personeli tuzun etkisini öğrendikten sonra tuz kullanımı 1960' lardan itibaren yaygın hale gelmiştir. Bugün tuz, kış şartlarının gerekli bir parçası olarak kabul edilmiştir ve yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.

Eski çağlardan beri besin maddesi olarak kullanılan tuz, çağımız kimya sanayisinin en önemli girdilerinden biridir (Şekil 3.7). Bir klor bileşiği olarak, kimya dilinde çok

geniş anlamda kullanılan tuz “NaCl” sembolü ile ifade edilmektedir. Kübik sistemde kristalleşen tuz, “Na” ve “Cl” iyonlarından oluşur ve saf halde iken yaklaşık %40 sodyum, % 60 klor'dan meydana gelir.



Şekil 3.7. Sofra tuzu

Yüksek basınç altında plastik özellik gösteren tuzun sertliği 2-2,5 olup, özgül ağırlığı $2,1-2,55 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişir. Erime noktası 800°C , kaynama noktası ise 1412°C 'dir. Genellikle renksiz, üretildiği şekliyle rengi gri, sarı, kırmızı hatta mavi ve yeşil olabilir.

Gelişmişliğe paralel olarak tuz, başta kimya ve diğer sanayi sektörlerinde ayrıca; gıda sektörlerinde, karayolu kar ve buz mücadelesinde yıkanmış veya rafine tuz olarak kullanım alanı bulmakta ve bazı alanlarda ham tuz olarak kullanılmaktadır. Türkiye'de buzlanma için kullanılan tuz miktarı 50-70 bin ton civarındadır (Şekil 3.8.).



Şekil 3.8. Karayollarında buzlanma ile mücadelede tuz kullanımı

Uzun vadeli trendleri inceleyen bazı yabancı uzmanlara göre, yollarda korozyona sebep olduğu için kum ile mücadelede kullanılan tuz miktarı zamanla azalacaktır.

Ekonomik bir değer taşıyan tuz kaynakları katı ve sıvı olarak ikiye ayrılmaktadır. Tuz sıvı halde denizlerde, göllerde, tuzlu su kaynaklarında ve tuzlu su kuyularında bulunmakta olup katı halde kaya tuzu şeklindedir.

Bitmez ve tükenmez tuz kaynağı olan denizler dünyamızın en büyük tuz rezervlerini oluşturmaktadır. Denizlerdeki tuzluluk derecesi, tatlı su alıp almadıklarına, coğrafik durumlarına ve iklim koşullarına göre değişiklik gösterir. Yeraltında az veya çok derinlerden katı halde elde edilen tuz kaya tuzu olarak tanımlanır.

Kaya tuzu yatakları, jeolojik devirlerde buharlaşma sonucu denizlerin ya da kapalı iç havzaların kuruması ile oluşmuştur. Değişik devirlerde ülkemizin birçok yöresinde bu şekilde oluşan kaya tuzu yatakları mevcuttur. Kaya tuzları, deniz tuzlarının aksine bileşimlerine giren yabancı maddelerin oranları bakımından büyük değişiklikler gösterirler. Özellikle saflık oranları her maden için ayrı olabileceğı gibi aynı madenden alınan çeşitli numuneler de çok büyük farklılıklar gösterebilir. Kaya tuzlarındaki yabancı maddeler ve kil, tuzla değişik renkler verir. Genellikle gri, siyaha yakın kil renginde olan kaya tuzu, nadiren beyaz, şeffaf beyaz olarak bulunur. Karalarda kaya tuzları dışında suyu az veya çok tuz içeren akarsular, kuyular, kaynaklar ve göller de vardır. Genel olarak bunların kaynağı kaya tuzlarıdır.

Tuz göllerinin bir kısmı eski iç deniz kalıntıları olabileceğı gibi bazıları da geniş yer çöküntülerinde, civar bölgelerdeki kaya tuzlarından geçerek, bu çukurlarda toplanan tuzlu sulardan meydana gelmiş olabilir. Tuzlu su gölleri ile tuzlu su kaynakları ve kuyularına hemen her ülkede rastlanmaktadır. Dünyadaki en büyük alana sahip Tuz Gölü A.B.D.'de bulunan Great Salt Lake'dir. Yurdumuzda bulunan Koçhisar Tuz Gölü de en önemli tuz göllerinden biridir (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9. Tuz gölü

Türkiye, tuz potansiyeli açısından oldukça zengin ülkeler arasındadır. Bu potansiyeli, deniz tuzlaları, göl tuzlaları, kaya tuzlaları ve kaynak tuzları oluşturmaktadır. Ticari meta olarak tuz ucuz bir malzeme olmasına rağmen nakliyesinin gerektirdiği masraf bazen satış fiyatının 3-5 misline ulaşmaktadır (Anonim, 2001c).

3.1.4. Kalsiyum klorür

Kalsiyum klorür, oda sıcaklığında katı halde bulunan iyonik yapıdaki tuzlardan biridir. Direkt olarak kireç taşından üretilmediği gibi, sodyum klorür ile kalsiyum karbonatın tepkimeye girip sodyum karbonat (soda) ve yan ürün olarak da kalsiyum klorürün açığa çıkmasıyla üretilmektedir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Kalsiyum klorür

Kalsiyum klorür, çözelti içerisinde kalsiyum iyonu kaynağı olarak görev yapar ve kalsiyum bileşiklerinin çözünmemesinden dolayı, çökelmeye sebep olur. Kalsiyum klorür, asitliği düzenlemek, meyve ve sebzelerde dayanıklılığı artırmak, metalleri bağlamak gibi özelliklere sahiptir. Avrupa Birliği'nde, kalsiyum klorürün, ayırıcı, sabitleyici ve koyulaştırıcı özelliklerinden dolayı, gıda katkı maddesi olarak kullanımına izin verilmiştir. E509 adıyla da bilinen kalsiyum klorür, Amerikan Gıda

ve İlaç Kurumunca (FDA) kullanımı güvenli görülmektedir. Çizelge 3.3 kalsiyum klorürün fiziksel özelliklerini göstermektedir.

Çizelge 3.3. Kalsiyum klorürün fiziksel özellikleri

Fiziksel Görünüş	Kristaller
Renk	Beyaz
Koku	Kokusuz
Yoğunluk	$\sim 1.85 \text{ g/cm}^3$ (20 $^{\circ}\text{C}$ ' de)
Çözünürlük	$\sim 1000 \text{ g/lt}$ (20 $^{\circ}\text{C}$ ' de)
Parlama Noktası	Yanıcı değil
Erime Noktası	176 $^{\circ}\text{C}$
pH	$\sim 4,5-8.5$ (50 g/lt H ₂ O) (20 $^{\circ}\text{C}$ de)

Kalsiyum klorür ziraatte, gıda sanayisinde, kimya endüstrisinde, inşaat, tarım, madencilik sektörlerinde ve buzlu yolların açılmasında kullanılmaktadır.

Kalsiyum klorürün % 30 konsantrasyonda yaklaşık -50 $^{\circ}\text{C}$ düşük donma noktası birçok uygulama için cezbedici olmaktadır. Kalsiyum klorür gıda sektöründe sporcu içeceklerinde, konserve ürünlerde, turşu ve peynir üretiminde, bira endüstrisinde mineral eksikliğini gidermek için ve yaygın olarak yağ çıkarmada kullanılmaktadır. Ayrıca kalsiyum klorür betonda priz hızlandırıcı katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.

Nem tutma özelliğinden dolayı katılaşmayı önlemek için, kalsiyum klorürün, kapalı ambalajlarda muhafaza edilmesi gereklidir.

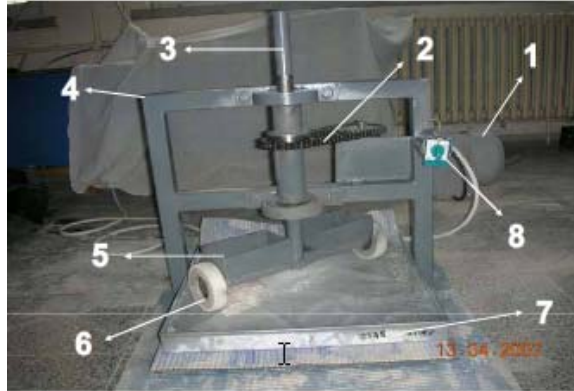
Kalsiyum klorür karayollarında buzlanma ile mücadele buzlanmayı önleme ve buzlanmayı giderme çalışmalarında da kullanılmaktadır. Pahalı olduğu için genellikle sodyum klorür ile karışım şeklinde kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar

sonunda 1/3 kalsiyum klorür - 2/3 sodyum klorür karışımının saf kalsiyum klorürün etkisine en yakın etki yapan karışım olarak bulunduğu için uygulamalarda bu karışım oranında kullanılmaktadır.

3.2. Yöntem

Kış mevsimlerinde karayollarında oluşan kar ve buzlanma için alınan önlemler buz çözücüler, buzlanmayı önleyiciler ve aşındırıcılar olarak üç ana grupta toplanabilir. Ülkemizde buzlanmayı önleme çalışmaları pek kullanılmamakla beraber, daha çok kullanılan aşındırıcılar ve buz çözücülerdir. Kullanılan buz çözücü malzemenin özelliğine göre eriyen buz miktarı ve kullanılan aşındırıcı malzemenin özelliklerine göre de alınan sürtünme değeri ve eriyen buz miktarı da farklılık göstermektedir.

Karayollarında kışla mücadele çalışmalarında kullanılan kum ve Isparta pomzasının ısıtılarak kullanımı ve yoğun bir kullanım alanı bulmuş kimyasallardan olan sodyum klorür ve kalsiyum klorürün karşılaştırılması için daha önce 1427-YL-06 No'lu Projede tasarlanmış olan IMEM buz eritme deney düzeneğinden yararlanılmıştır. Kullanılan deney düzeneği başlıca 8 parçadan oluşmaktadır ve Şekil 3.11.' de açıkça gösterilmiştir.



Şekil 3. 11. Buz eritme deney aleti (Varış, 2007)

Şekilde gösterilenler;

1. Motor ve redüktör

2. Zincir dişliler
3. Tekerleğin bağlı bulunduğu ve ağırlık konulan kısmın yukarı aşağı hareket etmesini sağlayan kol
4. Ana gövde
5. Ağırlıkların konulduğu kefeler
6. 10 cm çapında, 2.5 cm genişliğinde tekerlekler
7. Suyun dondurulduğu 48x48 cm ebadında, 4 cm derinliğinde tepsi
8. Açma-kapama düğmesi

Deney aleti tasarlanırken yoldan geçen standart bir arabanın ağırlığı olarak 1 ton kabul edilmiştir. Bu kabulle tekerlek başına düşen ağırlık 250 kg olmuştur. Araba lastiğinin çapı ise 60 cm olarak alınmıştır. Deney düzeneğinde küçültülmüş değerler kullanılacağından bütün değerlerin 6' da birinin kullanılmasına karar verilmiştir. Dolayısıyla;

$$\text{Lastik Çapı} = 60/6 = 10 \text{ cm} \quad (3.1)$$

$$1 \text{ lastiğin taşıdığı yük} = 250/6 = 41,67 \approx 42 \text{ kg olarak kullanılmalıdır.} \quad (3.2)$$

Ancak 42 kg'lık bir yük deney düzeneğindeki buzun taşıyamayacağı kadar büyük bir sayıdır. Bu nedenle buzun taşıyabileceği ağırlıklarda deneyler yapılmış ve elde edilen sonuçlardan 42 kg'daki değerler bulunmaya çalışılmıştır. Deney düzeneğindeki devir sayısı dakikada 65 olarak sabittir (Varış, 2007).

Deneyler, kum ve pomza üzerinde ısıtmanın etkisini görebilmek amacıyla daha önce yapılmış olan bir yüksek lisans tezinde, kum ve pomza kullanılarak yapılan deneylerdeki deney şartlarında yapılmıştır ve karşılaştırmalarını yapabilmek amacıyla kimyasallarla yapılan deneyler de aynı deney şartlarında yapılmıştır. Deneyler yapılırken, devir sayısı, kullanılan su miktarı, suyun derin dondurucuda bekleme süresi, deney aletinin çalışma süresi değişmeyen parametreler olarak sabit tutulmuştur. Deneyler ulaştırma laboratuvarında bulunan ortamın sıcaklığı ayarlanabilen sathi kaplama deney aletinin içinde gerçekleştirilmiş ve deneylerin tüm

aşamalarında sıcaklık 20 °C’de sabit tutulmuştur. Değişken parametre olarak ağırlık kullanılmıştır. Kullanılan malzeme miktarları ise aşındırıcılar ve kimyasalların kendi aralarında sabit tutulmuştur.

3.2.1. Deneylerin yapılışı

Deneylerin yapılışına başlamadan önce, ön hazırlık olarak, laboratuvar ortamı çalışmaya uygun hale getirilmiş, kullanılacak olan deney aletinin kontrolleri yapılmış, gerekli olan ekipman ve kullanılacak olan malzemeler temin edilmiştir.

Deney yapımına başlamak için, öncelikle 48x48 cm ebadındaki üç adet tepsi daraları alınmak için tartılmış ve bulunan değer deney föyüne kaydedilmiştir. Hazırlanan üç adet tepsi derin dondurucuya yerleştirilmiş ve homojen bir buz oluşumu sağlamak amacıyla tepsilerin altlarına aynı yükseklikte ahşap destekler yerleştirilmiştir (şekil 3.12.). Derin dondurucuya yerleştirilen tepsilere aynı seviyeye kadar, yaklaşık 5 lt su konulmuştur. Derin dondurucu -17 °C’de sabit tutulmuş ve tepsilerin derin dondurucuda bekleme süreleri hepsinde sabit 21 saat olarak alınmıştır.



şekil 3.12. Derin dondurucu ve dondurucuya yerleştirilmiş deney tepsileri

Kullanılacak olan kum ve pomza numuneleri elenerek eşit gradasyonlu numuneler hazırlanmıştır. Kullanılan gradasyon izelge 3.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Kum ve pomzanın ağırlıkça yüzdeleri

Elek No	Ağırlıkça Geçen Malzeme Yüzdesi
No:4	%100
No:8	%55
No:10	%44
No:40	%7
No:200	%3

Deneylere başlamadan önce o gün kullanılması düşünülen malzeme numuneleri hazırlanmıştır. Karayollarında genellikle kilometre başına 360 kg kum kullanılmaktadır. Bu değer deneylerde 60 gr olarak küçültülmüş ve pomza için de aynı değer kullanılmıştır (Şekil 3.13.).



Şekil 3.13. Kum ve pomza numuneleri

Ülkemizde kalsiyum klorürün temini zor ve pahalı olduğu için ve literatürde 1/3 kalsiyum klorür (CaCl_2) ve 2/3 sodyum klorür (NaCl) karışımı kalsiyum klorürün performansına yakın eritme etkisi yapan en uygun karışım olarak belirlendiği için yapılan deneylerde de karışım şeklinde kullanılmıştır. Kimyasalların deneyleri yapılırken malzeme miktarı $5\text{-}15 \text{ gr/m}^2$ olarak alınmış, deney düzeneğinin ölçülerine göre hesaplanmış ve 2,31 gr olarak kullanılmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Sodyum klorür ve kalsiyum klorür sodyum klorür karışımı numuneleri

Ertesi gün bekleme süresi dolan içinde buz olan tepsiler sırasıyla derin dondurucudan çıkarılmış, vakit kaybetmeden tartılarak tepsi+buz ağırlığı, tepsi numarası, deneyde kullanılacak malzeme cinsi ve ağırlığı ve deney sırasında uygulanan ağırlık deney föyüne kaydedilmiştir. Deneylerin yapılmasında dört farklı ağırlık esas alınmıştır. Ağırlık konulan kefler boşken 3' er kg'lık yük aktarımı olmuştur. Kefelere sırasıyla 1, 2, 3 kilogramlık ağırlıklar konularak, 4, 5, 6 kilogramlık yük aktarımları oluşturulmuştur (Şekil 3.15.).



Şekil 3.15. Kefelere yerleştirilen ağırlıklar

Derin dondurucudan çıkarılan numuneler deney yapılmadan önce 10 dk süreyle düz ve uygun bir zemin üzerinde bekletilmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Beklemeye alınan numune

Bu arada önceden hazırlanmış olan kum ve pomza numuneleri etüvde 80 ' de ısıtılmıştır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Isıtılmış pomza

10 dakikanın sonunda bekleme süresi dolan numune altına hareketi sönümleyen malzeme serilerek deney aletine yerleştirilmiştir. Deney aletine yerleştirilen buzun üzerine önceden hazırlanmış kum ve pomza için 60 'ar gramlık ısıtılmış malzeme, kimyasallar için 2,31 gramlık numuneler homojen bir şekilde tekerlek izine serilmiştir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Buzun üzerine malzemenin serilmesi

Malzeme serildikten sonra deney aleti 10 dk süreyle çalıştırılmıştır ve bu değer tüm deneylerde sabit alınmıştır (Şekil 3.19). Sürenin bitiminde numune tepsisi deney aletinden çıkarılmış kimyasallarla yapılan deneylerde, eriyen su alınıp, üzerinde kalan malzeme ve suyu almak amacıyla üzeri bir bezle silindikten sonra tekrar tartılarak deney föyüne kaydedilmiştir. Kum ve pomza ile yapılan deneylerde, tepsinin içindeki su ve üzerindeki ıslak malzeme metal bir kaba alınarak içindeki su ayrıştırılmak üzere etüve konulmuştur. Suyu ve ıslak malzemesi alınan tepsi

tartılarak deney föyüne kaydedilmiştir. Etüve konulan malzeme $110 \pm 5 ^0\text{C}$ 'de 24 saat kurutulduktan sonra tartılarak deney föyüne kaydedilmiştir.



Şekil 3.19. Deney aletinin çalışması

Kullanılan tüm malzemeler ve ağırlıklar için deneyler 3 set olarak gerçekleştirilmiş ve ortalamaları alınmıştır. Yalnızca malzemenin erittiği miktarı bulabilmek için tüm ağırlıklar için malzeme konulmadan da deneyler yapılmış ve deney aletinin erittiği buz miktarı bulunmuştur. Ayrıca 3 numune de toplam deney süresi olan 20 dk ortam sıcaklığında bekletilerek koşullandırılmış ve bu durumda eriyen malzeme miktarı bulunmuştur. Tüm deneyler tamamlandıktan sonra, araştırılan malzeme tarafından eritilen buz miktarı aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmıştır.

$$A: \text{Tepsi} + \text{buz ağırlığı} \quad (3.3)$$

$$B: \text{Tepsi} + \text{suyu alınmış buz} \quad (3.4)$$

$$C: A+60 \quad (3.5)$$

$$D: B+ \text{Etüvden çıkan kuru malzeme} \quad (3.6)$$

Kimyasal kullanılarak yapılan deneylerde;

$$E = A-B \quad (3.7)$$

Kum ve pomza kullanılarak yapılan deneylerde;

$$K = C-D \quad (3.8)$$

Numunenin 20 dakika beklemesi ile;

$$F= A-B \quad (3.9)$$

Malzemesiz yapılan deneyler ile;

$$G= A-B \quad (3.10)$$

Yalnızca malzemenin erittiği buz miktarı;

Kimyasallar için;

$$M= E-F-G \quad (3.11)$$

Kum ve pomza için;

$$M= K-F-G \quad (3.12)$$

olur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Karayollarında kış bakım çalışmalarında etkinliğini artırmak amacıyla pomzanın ısıtılarak kullanılabilirliğinin araştırılmasına ilişkin çalışmalarda ısıtılmış kum, ısıtılmış pomza, en fazla kullanılan kimyasallardan olan sodyum klorür ve sodyum klorür-kalsiyum klorür karışımı üzerinde buz eritme deneyleri yapılmıştır.

Öncelikle kum ve pomza malzemeleri elenerek tane boyutlarına göre ayrılmış ve her iki malzeme için de aynı tane boyutu dağılımı kullanılmıştır. Etkinliğini artırmak amacıyla pomza etüvde 80 °C'de ısıtılarak kullanılmıştır. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla kum da aynı derecede ısıtılarak kullanılmıştır.

Karayolu kış bakım çalışmalarında ısıtılmış pomzanın buz çözmede performansını kimyasallarla karşılaştırmak amacıyla sodyum klorür ve kalsiyum klorür kullanılmıştır. Kalsiyum klorür pahalı olduğu için ve literatürde 1/3 kalsiyum klorür, 2/3 sodyum klorür karışımının kalsiyum klorürün performansına yakın bir etki gösterdiği ve daha ekonomik olduğu için genellikle karışım şeklinde kullanılmaktadır. Bu nedenle yapılan deneylerde de karışım şeklinde kullanılmıştır.

Tüm malzemeler için deneyler 3, 4, 5 ve 6 kg'lık ağırlıklarda ve her numune için her bir ağırlıkta 3 set olarak yapılmış, ortalamaları alınmıştır. Yalnızca deney aletinin erittiği miktarı belirlemek amacıyla, kullanılan her ağırlık için malzeme konulmadan da deneyler yine 3 set olarak yapılmış ve ortalamaları alınmıştır (Çizelge 4.1.). Ayrıca numunenin hiçbir işlem yapmadan toplam deney süresi olan 20 dk deney ortamında bekletilmesiyle ne kadar buz eridiğini belirlemek amacıyla 3 numune deney ortamında bekletilmiş ve eriyen buz miktarı ortalama 2 gr olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Deney düzeneğine malzeme konulmadan yapılan deneylerle alınan sonuçlar

Uygulanan Ağırlık (kg)	Eriyen Buz Miktarı (gr)
3	30
4	41.2
5	47.8
6	56.2

Denenen malzeme için yalnızca malzemenin erittiği buz miktarı, denenen ağırlık için elde edilen değerden, malzeme konulmadan elde edilen değer ve numunenin deney yapılmadan bekletilmesiyle elde edilen değerin çıkarılmasıyla hesaplanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen değerler aşağıda verilmiştir.

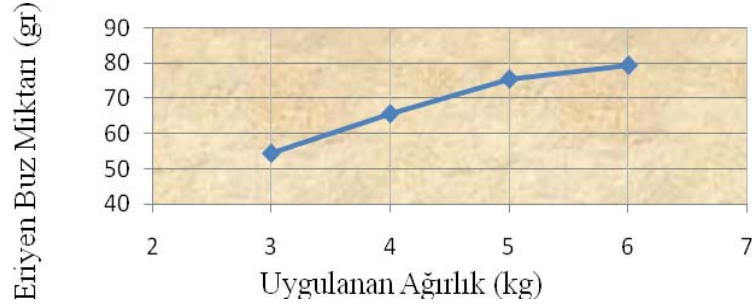
4.1. Kum Kullanılarak Yapılan Deney Sonuçları

Kış bakım çalışmalarında kullanılan kumun kullanılan deney düzeneğinde erittiği buz miktarını belirlemek amacıyla kullanılacak olan kum, Isparta Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü' ne bağlı olarak çalışan Fen İşleri Şantiyesi' nden temin edilmiştir. Kum elenerek tane boyutlarına göre ayrılmış ve kullanılacak olan gradasyon oranlarına göre hazırlanan 60' ar gramlık kum numuneleri kullanılarak buz eritme deneyleri yapılmıştır. Isıtılmış pomza ile karşılaştırma yapabilmek amacıyla kum numuneleri etüvde 80 °C'de ısıtılarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar çizelge 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Isıtılmış kumun buz eritme deney sonuçları

UYGULANAN AĞIRLIK (kg)	ERİYEN BUZ MİKTARI (gr)
3	54,5
4	65,7
5	75,5
6	79,4

Çizelge 4.2'de verilen ısıtılmış kum kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen sonuçların grafik olarak gösterimi Şekil 4.1' de verilmiştir.



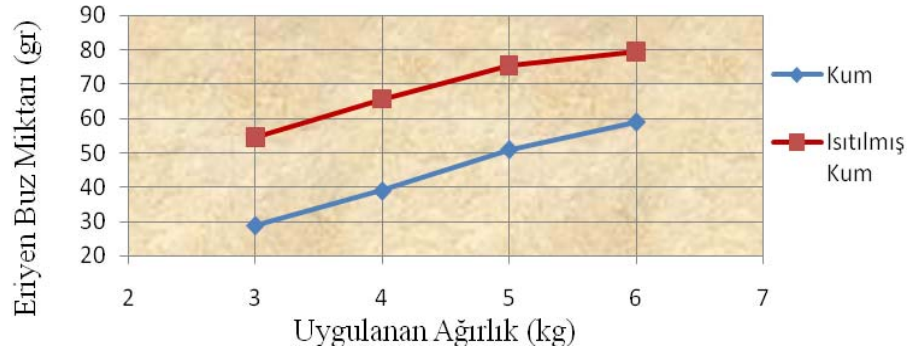
Şekil 4.1. Kum buz eritme deney sonuçları grafiği

Daha önce yine Isparta Belediyesinden temin edilmiş karayolları kumu kullanılarak aynı deney şartlarında yapılmış olan bir tez çalışmasında elde edilen sonuçlar da Çizelge 4.3' te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kum buz eritme deney sonuçları (Varış, 2007)

UYGULANAN AĞIRLIK (kg)	ERİYEN BUZ MİKTARI (gr)
3	29
4	39
5	51
6	59

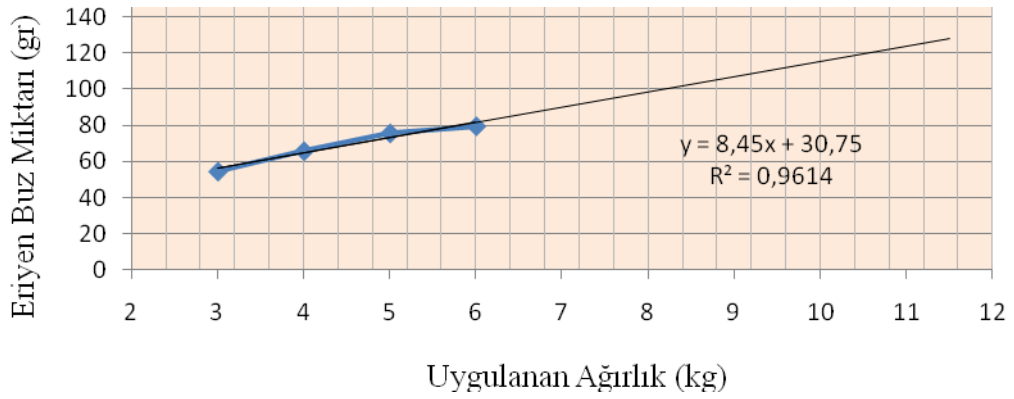
Isıtmanın kum üzerindeki etkisini görebilmek amacıyla da kum kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen sonuçlarla, ısıtılmış kum kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen sonuçların birlikte grafiksel gösterimi Şekil 4.2' de verilmiştir.



Şekil 4.2. Kum ve ısıtılmış kum deney sonuçları grafiği

Şekil 4.2'den de görüldüğü gibi ısıtılmış kum kullanılarak yapılan deneylerde tüm ağırlıklarda eriyen buz miktarı, kum kullanımına göre daha fazladır. Deneyler sırasında yapılan gözlemlerde de ısıtılmış kumun buz yapısında daha uzun kalabildiği, ancak yine de bir süre sonra serilen malzemenin önemli bir kısmının etrafa sıçradığı ve kumun ilk anlarda gösterdiği performansı devam ettiremediği görülmüştür.

Kullanılan deney aletinde kullanılan tüm gerçek değerlerin 1/6 'sı kullanılmıştır. Bu kabule göre standart bir aracın ağırlığı ortalama 1 ton olarak kabul edilmiş, 1 lastiğe düşen ağırlık ise 250 kg olmuştur. Tüm değerlerin 6' da biri kullanıldığından bir lastiğe düşen ağırlık yaklaşık 42 kg olarak hesaplanmıştır. Ancak bu değer deney aleti için çok büyük olduğundan daha düşük ağırlıklar kullanılmış ve sonuçlardan 42 kg' da ne kadar buz kaybının olacağı hesaplanmıştır. Eldeki sonuçlarla 42 kg' da ne kadar buz kaybının olacağını hesaplamak amacıyla çizilen grafiğe eğilim çizgisi eklenmiştir (Şekil 4.3). Denklemden istenilen değer hesaplanmıştır.



Şekil 4.3. Kum buz eritme testi sonuçları grafiğine eğilim çizgisi eklenmesi

Eğriden elde edilen denklem;

$$y = 8,45x + 30,75 \quad (4.1)$$

elde edilen denklemde x yerine 42 kg yazılırsa;

$$y = 8,45 \times 42 + 30,75 \quad (4.2)$$

$$y = 385,6 \text{ gr} \quad (4.3)$$

Buna göre 42 kg da tek lastiğin eriteceği buz miktarı yaklaşık 385,6 gramdır.

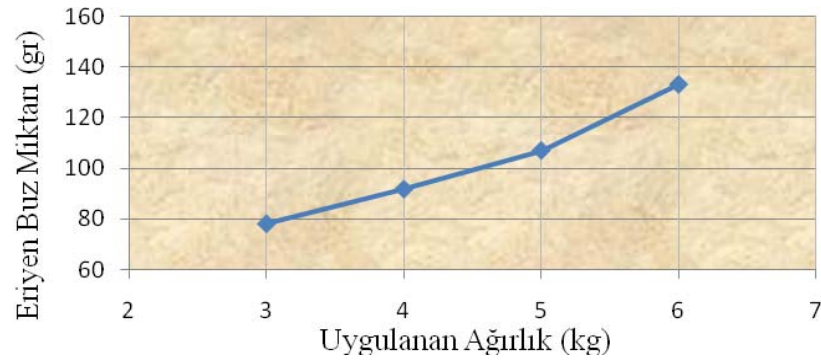
4.2. Isıtılmış Pomza Kullanılarak Yapılan Deney Sonuçları

Isparta Bölgesi Türkiye pomza rezervi açısından çok önemli bir potansiyele sahiptir. Isparta bölgesi pomza oluşumları, Batı Anadolu'daki, bilinen tek rezerv kaynağıdır. Bölgede Karakaya ve Gelincik Formasyonu olmak üzere başlıca 2 ayrı formasyon bulunmaktadır. Bu oluşumlar, ham madde yapısal özellikleri bakımından geniş bir yelpazede kullanım ve uygulama alanına hükmedebilecek konumdadır. Buz eritme deneylerinde Isparta Karakaya Formasyonu'ndan alınan numuneler kullanılmıştır. Pomzanın performansı üzerinde ısıtmanın etkisini görebilmek amacıyla pomza etüvde 80 °C'de ısıtılarak kullanılmıştır. Isıtılmış pomza kullanılarak yapılan buz eritme deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Isıtılmış pomzanın buz eritme deney sonuçları

UYGULANAN AĞIRLIK (kg)	ERİYEN BUZ MİKTARI (gr)
3	78
4	91,7
5	107
6	133,1

Alınan sonuçlar grafiksel olarak Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



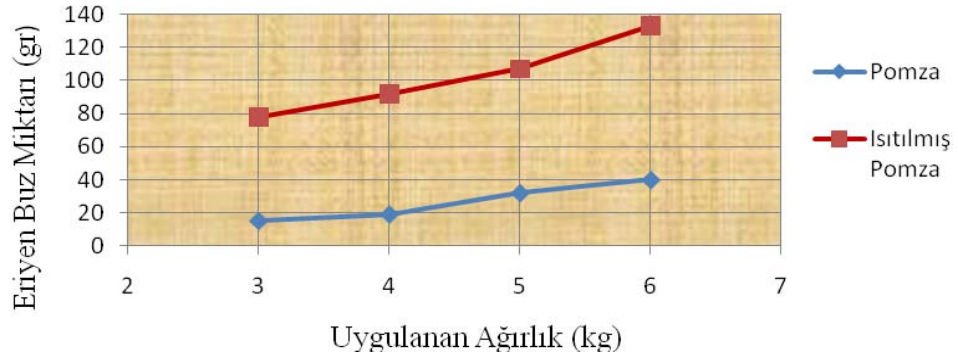
Şekil 4.4. Isıtılmış pomza deney sonuçlarının grafiksel gösterimi

Daha önce yine Isparta Karakaya pomzası kullanılarak, aynı deney şartlarında, ancak pomzanın ısıtılmadan kullanımıyla deneylerinin yapılmasından elde edilen sonuçlar da Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Pomza buz eritme deney sonuçları (Varış, 2007)

Uygulanan Ağırlık (kg)	Eriyen Buz Miktarı (gr)
3	15
4	19
5	32
6	40

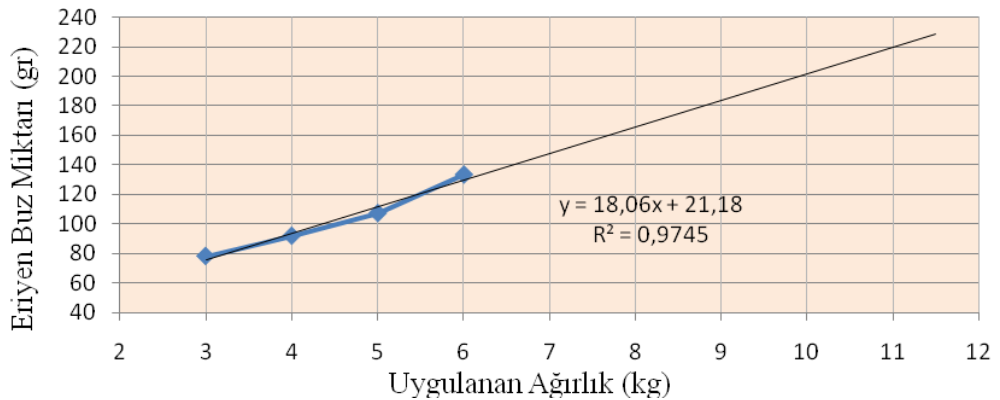
Isıtmanın pomza üzerindeki etkisini görebilmek amacıyla da pomza kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen sonuçlarla, ısıtılmış pomza kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen sonuçların birlikte grafiksel gösterimi Şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Pomza ve ısıtılmış pomza deney sonuçları grafiği

Şekilden de görüleceği gibi ısıtmak pomzanın etkisini önemli ölçüde artırmıştır. Isıtmanın kumun da performansı üzerinde artırıcı etkisi olmuştur. Ancak pomzanın üzerindeki etkisinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Pomza gözenekli bir yapı içeren ve gözenekleri birbirleriyle bağlantısız olan volkanik kökenli bir kayadır. Gözenekli olması ve gözeneklerin birbirleriyle bağlantısız olması özelliğinden dolayı ısı tutma kabiliyeti oldukça yüksektir. Deneylerde ısıtılmış pomza bünyesindeki ısıyı korumuş, buza serildikten sonra tekerleğin geçişiyle birlikte bu ısıyı buz tabakasına vermiştir. Bu nedenle ısıtma pomzanın performansında daha fazla artış olmasını sağlamıştır.

Elde edilen değerleri kullanarak 42 kg'da eriteceği buz miktarını belirlemek için çizilen grafiğe eğilim çizgisi eklenmiş ve denklemi elde edilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Isıtılmış pomza deney sonuçları grafiğine eğilim çizgisi eklenmesi

Eğilim çizgisinden elde edilen denklem;

$$y = 18,06x + 21,18 \quad (4.4)$$

Denklemde x yerine 42 yazılırsa;

$$y = 18,06 \times 42 + 21,18 \quad (4.5)$$

$$y = 779,7 \text{ gr} \quad (4.6)$$

olur.

Bu durumda ısıtılmış pomza kullanılarak bir tekerleğin eriteceği buz miktarı kullanılan deney aletinde ve deney şartlarında 779,7 gr olacaktır.

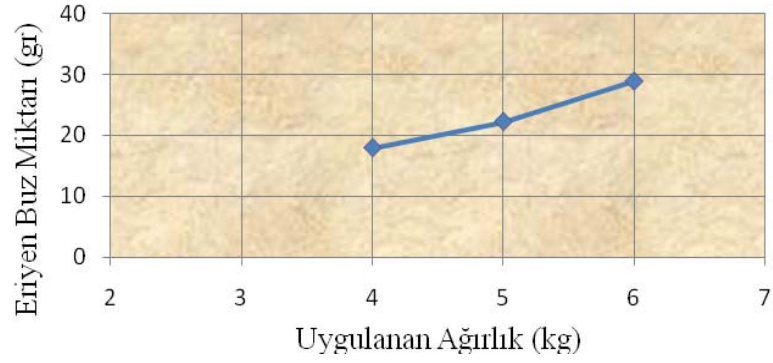
4.3. Sodyum Klorür (NaCl) Kullanılarak Yapılan Deney Sonuçları

Sodyum klorür dünyadaki rezervlerinin fazla olması, depolama ve uygulama kolaylığı nedeniyle kar ve buz mücadelesinde buzlanmayı önleme ve buzlanmayı giderme çalışmalarında en çok kullanılan kimyasaldır. Tek başına kullanılabildiği gibi aşındırıcılarla karıştırılarak da kullanılmaktadır. Sodyum klorür yolda buzlanmayı önleyici olarak 5-15 gr/m², kaygan buzda 10-15 gr/m² olarak kullanılmaktadır. Bu değer deney tepsisinin ölçülerine göre küçültülmüş ve 2,31 gr olarak kullanılmıştır. Sodyum klorür kullanılarak yapılan buz eritme testlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6' da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Sodyum klorürün buz eritme deney sonuçları

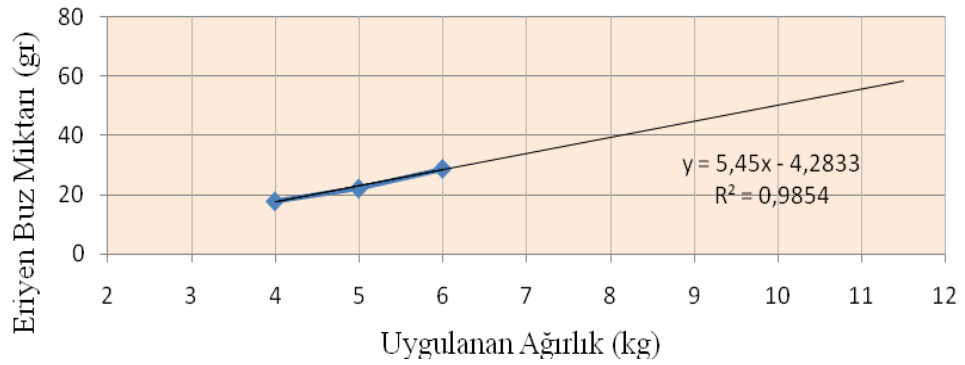
UYGULANAN AĞIRLIK (kg)	ERİYEN BUZ MİKTARI (gr)
4	17,9
5	22,2
6	28,8

Alınan sonuçların grafiksel olarak gösterilmesi ise Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Sodyum klorür deney sonuçları grafiği

42 kg' da ne kadar buz kaybının oluşacağını belirlemek için grafiğe eğilim çizgisi eklenmiş ve Şekil 4.8' de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Sodyum klorür deney sonuçları grafiğine eğilim çizgisi eklenmesi

Eğilim çizgisinden elde edilen denklem;

$$y = 5,45x - 4,2833 \quad (4.7)$$

Denklemde x yerine 42 yazılırsa;

$$y = 5,45 \times 42 - 4,2833 \quad (4.8)$$

$$y = 224,6 \text{ gr} \quad (4.9)$$

olur.

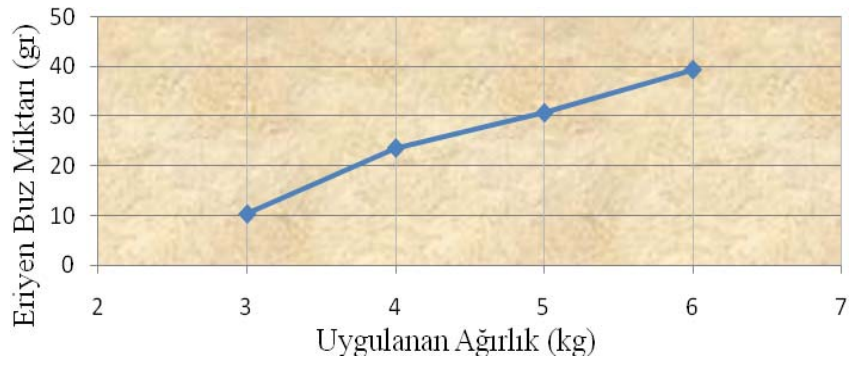
Sodyum klorür kullanıldığında tek tekerleğin eriteceği buz miktarı kullanılan deney koşullarında 224,6 gr olacaktır.

4.4. Sodyum Klorür Kalsiyum Klorür Karışımı Kullanılarak Yapılan Deney Sonuçları

Sodyum klorür -12 °C'nin altındaki sıcaklıklarda kar ve buz mücadelesi çalışmalarında fayda sağlamamaktadır. Bu durumlarda kalsiyum klorür kullanılması gerekmektedir. Ancak ülkemizde kalsiyum klorürün temini zor ve pahalıdır. Yapılan uygulamalarda 1/3 kalsiyum klorür ve 2/3 sodyum klorür karışımı hemen hemen saf kalsiyum klorürün etkisine yakın bir eritme etkisi gösteren karışım olarak bulunmuştur. Böylece karışımın maliyetini azaltmak mümkün olmaktadır. Bu nedenle uygulamalarda genellikle karışım şeklinde kullanılmaktadır ve yapılan deneylerde de karışım şeklinde kullanılmıştır. Sodyum klorürde olduğu gibi malzeme miktarı 2.31 gr olarak kullanılmıştır. Sodyum klorür kalsiyum klorür karışımı deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7'de verilmiştir ve bu değerlerin grafiksel olarak gösterimi Şekil 4.9' da gösterilmiştir.

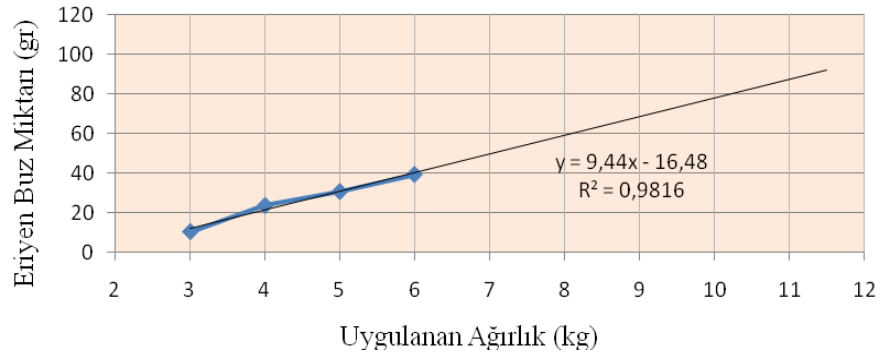
Çizelge 4.7. Sodyum klorür-kalsiyum klorür karışımı deney sonuçları

UYGULANAN AĞIRLIK (kg)	ERİYEN BUZ MİKTARI (gr)
3	10,3
4	23,6
5	30,7
6	39,4



Şekil 4.9. Sodyum klorür-kalsiyum klorür karışımı deney sonuçları grafiği

Sodyum klorür kalsiyum klorür deney sonuçları grafiğine eğilim çizgisi eklenmesiyle denkleminin elde edilmesi Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Sodyum klorür kalsiyum klorür deney sonuçları grafiğine eğilim çizgisi eklenmesi

Eğriden elde edilen denklemde x yerine 42 yazılırsa;

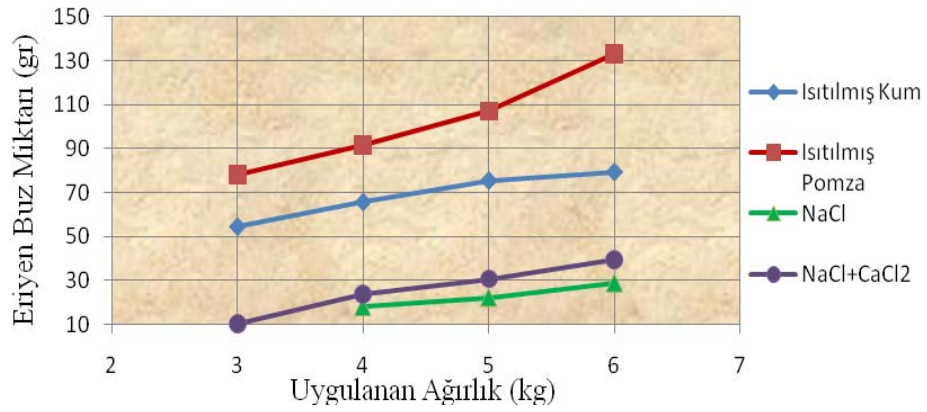
$$y = 9,44x - 16,48 \quad (4.10)$$

$$y = 9,44 \times 42 - 16,48 \quad (4.11)$$

$$y = 380 \text{ gr} \quad (4.12)$$

olarak hesaplanır. bu hesaplama göre tek tekerleğin eriteceği buz miktarı 380 gr olur.

Deneyler kullanılan malzemelerin buz üzerinde giden taşıtların ağırlıklarıyla erittikleri buz miktarını belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bunun için daha önce tasarlanan, yol koşullarını modelleyen deney düzeneği kullanılmıştır. Deneylerde değişken parametre olarak ağırlık kullanılmıştır. Tasarlanan deney düzeneği normal araç koşullarının 1/6 oranında küçültülmüş halidir. Ancak ağırlık için 1/6'lık değer çok büyük olduğundan, deneyler daha düşük ağırlıklarda yapılmış ve sonuçlardan bu ağırlıkta oluşacak buz kaybı hesaplanmıştır. Deneylerde ısıtılmış kum, ısıtılmış pomza, sodyum klorür ve sodyum klorür-kalsiyum klorür karışımı kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda en iyi performansı ısıtılmış pomzanın sağladığı görülmüştür. Tüm malzemelerin deneylerinden elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi Şekil 4.11'de birlikte gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Isıtılmış kum, ısıtılmış pomza, sodyum klorür ve sodyum klorür-kalsiyum klorür deney sonuçları grafikleri

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Karayollarında kış bakım çalışmalarının asıl amacı, karayolundan beklenen hizmet düzeyinin ve seyir güvenliğinin sağlanmasıdır. Karayollarında kışın yeterli ve etkili kış bakımı uygulanmadığı zaman, hizmet düzeyinde aksamalar ve en önemlisi can ve mal kayıplarının görüldüğü trafik kazaları oluşmaktadır. Bu nedenle karayolundan sorumlu kurumların yeterli ve etkili bir kış bakım programı geliştirmeleri gerekmektedir. Bu programın uygulanmasında ise katı kurallar yerine, karar vericinin bölgenin şartlarına göre acil müdahalesine imkan verecek kurallar kullanılmalıdır.

Günümüzde kış bakımında karayollarında, buzlanmayı önleme, buzlanmayı giderme ve aşındırıcılar kullanılmaktadır. Ülkemizde ise bugüne kadar klasik yöntemler kullanılmış olup, buz çözme adına, buzlanma görüldükten sonra, yoldaki buzu kaldırmak ve sürtünmeyi sağlamak için yola aşındırıcı malzeme serilmektir. Günümüz koşullarında, ülkemizde aşındırıcı olarak en çok kullanılan malzeme kumdur.

Kum tek başına kullanılabilmesine rağmen, en genel kullanımı tuzla karışım halinde uygulanmasıdır. Ancak yapılan araştırmalardan anlaşıldığı gibi, kullanılan aşındırıcı ve kimyasal malzemeler araçlara, alt yapıya ve çevreye çok ciddi zararlar vermektedir. Kullanılan kumun, yola ve araçlara zarar verme, trafiğin etkisiyle dağılarak, akış deliklerini tıkama ve çevreyi kirletme gibi olumsuz etkileri vardır. Ayrıca etkinliğini sürdürebilmesi için sürekli tekrarlar gerektirmekte ve olumsuz etkilerini artırmaktadır. Bunlara ek olarak bir fırtınadan sonra aşındırıcıları temizlemek ve onları tekrar kullanmak ve atmanın her ikisi de artı sorunlar oluşturmaktadır. Kullanılan tuzlar da, yol kaplamasını bozması, araçlar ve yoldaki metalleri paslandırması, bitkileri yok etmesi ve suların tuz konsantrasyonunu artırması gibi olumsuz etkilere sahiptir. Bu nedenlerle, buzlanma ile mücadelede milyonlarca lira harcanmakta ve sonunda da bozulmuş yollar, paslanmış araçlar, yok olmuş yol kenarı bitkileri olarak sonuçlanmaktadır.

Pomza ülkemizde bol miktarda bulunan ve inşaat, tekstil, tarım ve kimya gibi bir çok sanayi alanında kullanılan volkanik kökenli bir kayadır. Yüksek oranda boşluk içerdiği ve boşlukları birbiriyle bağlantısız olduğu için yüksek oranda ısı tutma yeteneğine sahiptir. Yapılan çalışmada, pomzanın ısıtılarak, karayollarında kış bakımında aşındırma ile buz eritici malzeme olarak kullanılabileceği ve ısıtmanın performansı üzerinde artırıcı etki yapacağı düşünülmüştür. Yapılan çalışmalarda pomzanın atıl denilebilecek boyutu olan 0-5 mm arası boyutları kullanılmıştır.

Yapılan çalışmalarda daha önce tasarlanmış olan bir deney düzeneğinden yararlanılmıştır. Isıtılmış pomzanın performansını belirleyebilmek ve karşılaştırma yapmak için, aynı deney düzeneğinde ve deney şartlarında, aynı dane boyutunda ısıtılmış kum, sodyum klorür, ve kalsiyum klorür kullanılmıştır. Yapılan deneylerde ısıtılmış pomzanın erittiği buz miktarının denenen her ağırlıkta, ısıtılmış kumdan ve kullanılan kimyasallardan daha iyi olduğu ve ağırlıklar arttıkça performansının daha da yükseleceği gözlemlenmiştir.

Deneylerde, 3,4,5 ve 6 kg'lık ağırlıklar kullanılmış ve bu değerlerden, deney aleti tasarlanırken hesaplanmış olan 42 kg'lık bir ağırlıkta ne kadar buz eriyeceği hesaplanmaya çalışılmıştır. Kimyasallar kullanılan deney şartlarında ısıtılmış pomza ve kuma göre daha düşük performans göstermişlerdir. Sodyum klorürün 42 kg'da eriteceği buz miktarı 224,6 gr olarak, sodyum klorür kalsiyum klorür karışımının eriteceği buz miktarı ise 380 gr olarak hesaplanmıştır. Isıtılmış kum da, normal kuma oranla performans artışı sergilemiş ve eriteceği buz miktarı 385,6 gr olarak hesaplanmıştır. Ancak ısıtmak pomza üzerinde çok daha fazla bir performans artışı sağlamıştır ve eriteceği buz miktarı 779,7 gr olarak hesaplanmıştır.

Kum, tekrarlı uygulamalar gerektirmesi, çevreyi kirletmesi, kullanımından sonra temizleme gerektirmesi sebebiyle büyük maliyetler oluşturmaktadır. Bunun yanında, kullanılan kimyasallar da pahalı malzemeler olup, benzer şekilde kaplama yapısına, çevreye olumsuz zararlar vermektedir. Bu nedenle kış bakımında bu malzemelerin kullanılması yüksek maliyetler oluşturmaktadır. Pomza ise tamamen doğal bir malzemedir ve kaplama yapısına zararlı etkide bulunmaz, araçları ve yoldaki metal

aksamları paslandırmaz, akış deliklerini tıkamaz, çevreye hiçbir zarar vermediği gibi yol kenarındaki bitkiler için faydalı olur.

Ülkemiz pomza açısından çok zengindir ve dünya pomza rezervinin %45 gibi önemli bir kısmını elinde bulundurmaktadır. Tüm bunlar pomzayı tercih sebebi yapan nedenlerdir. Isıtılmış pomza kullanımındaki tek sorun pomzayı ısıtmaktır. Ancak gelişen teknolojiyle birlikte, kış bakım araçlarına yeni aksamlar ve tertibatlar eklenebilmektedir. Bu ilk etapta bir maliyet oluşturacaktır, fakat kullanılan kısım pomzanın atıl kısmı olduğu ve kullanımından sonra hiç bir maliyet oluşturmadığı için pomza kullanımı diğer malzemelerden çok daha ekonomik olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Ağar, E., Kutluhan, S., 2005. Karayollarında kış bakımı - kar ve buz kontrolü. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul Bülten. 76. Sayısı, 10-16.
- Ahmedzade, P., Yılmaz, M., Yılmaz, M., 2007. Kar ve buz ile mücadele etmek amacıyla geliştirilen daha etkili ve ekonomik yeni yöntemler. 7. Ulaştırma Kongresi-İstanbul, 186-195.
- Amsler, D.E., 2006. Snow and Ice Control. Cornell Local Roads Program-416 Riley-Robb Hall, Ithaka, New York.
- Anonim, 1996. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri Çalışma Grubu Raporu Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri Cilt 1. T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, DPT : 2434 – ÖİK: 491, Ankara.
- Anonim, 1998. Karayolları Bakım El Kitabı. KGM Bakım Dairesi Başkanlığı yayınları, 478 s. Ankara.
- Anonim, 2001a. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri III. T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, DPT: 2617 – ÖİK: 628, Ankara.
- Anonim, 2001b. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri I. T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, DPT : 2615 – ÖİK: 626, Ankara.
- Anonim, 2001c. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Kimya Sanayii Hammaddeleri Cilt II. T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, DPT : 2608 – ÖİK: 619, Ankara.
- Anonymous, 1991a. Highway Deicing-Comparing Salt and Calcium Magnesium Acetate. Transportation Research Board National Research Council, Transportation Research Board Special Report, No: 235, 20 p. Washington.
- Anonymous, 1991b. Anti-Skid Activities-Heated Sand Field tests. Finnish Road Administration, FinnRA Internal Report, Tampere, Finland.
- Anonymous, 1996a. Using Salt and Sand For Winter Road Maintenance. Wisconsin Transportation Center, Wisconsin Transportation Bulletin, No. 6, Wisconsin.
- Anonymous, 1996b. Manual of Practice for an Effective Anti-İcing Program. Federal Highway Administration (FHWA) Report, A Guide For Highway Winter Maintenance Personnel, RD-95 202, 69 s.
- Anonymous, 2005a. Minnesota Snow and Ice Control. Minnesota Local Road Research Board, Minnesota Department of Transportation, No. 2005-01, 49 p. Minnesota.

- Anonymous, 2005b. Pre-Wetting and Anti- Icing- Techniques for Winter Road Maintenance. Wisconsin Transportation Bulletin, No: 22, 8 s. Wisconsin.
- Baum, B., White, R., Thoma, L., 1992. Ice-Pavement Bond Prevention: Surface Modification. Strategic Highway Research Program National Research Council, SHRP-W/UIR-92-603, 115 p. Washington.
- Blackburn, R.R., McGrane, E.J., Harwood, D.W., 1994. Development of Anti-Icing Technology. Strategic Highway Research Program National Research Council, SHRP-H-385, 479 p. Washington.
- Bolat, H., Subaşı, S., Çullu, M., Akkaya, U., 2010. Beton yolları bekleyen tehlikeler. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 6, No: 1, 30-37.
- Borland, S.L., Blaisdell, G.L., 1993. Braking friction on sanded ice. Transportation Research Record, No: 1387, 79 - 88.
- Boselly, S.E., 2001. Benefit/Cost Study of RWIS and Anti-Icing Technologies. Final Report. National Cooperative Highway Research Program Transportation Research Board National Research Council, Report No. 20-7 (117), 31 p. USA.
- Comfort, G., Dinovitzer, A., 1997. Traction Enhancement Provided by Sand Application on Packed Snow and Bare Ice. Summary Report. Ontario Ministry of Transportation Report No. MAT-97-02.
- Erkoyun, H., 2005. Pomzanın Türkiye' deki yeri ve önemi. Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, Isparta, 1-7.
- Fındık, F.S., Saltan, M., 2005. Hafif agregaların esnek üstyapı alttemelinde kullanılabilirliğinin araştırılması. Antalya yöresinin inşaat mühendisliği sorunları kongresi, 22-23-24 Eylül 2005, Antalya.
- Gertler, A., Kuhns, H., Abu-Allaban, M., Damm, C., Gillies, J., Etyemezian, V., Clayton, R., Proffitt, D., 2006. A case study of the impact of winter road sand/salt and street sweeping on road dust re-entrainment. ScienceDirect, Atmospheric Environment 40, 5976-5985.
- Goodwin, L.C., 2003. Best Practices for Road Weather Management. Road Weather Management Program Office of Transportation Operations Federal Highway Administration, FHWA-OP-03-081, 130 p. Washington.
- Gray, D.M., Male, D.H., 1981. Handbook of Snow. Principles, Processes, Management & Use, Pergamon Pres, 776 p. Almanya.
- Gündüz, L., 1998. Pomza Teknolojisi. Cilt 1, 285 s. Isparta.
- Gündüz, L., Sarışık, A., Davraz, M., Uğur, İ., Çankıran, O., 1998. Pomza Teknolojisi. SDÜ Yayını, Cilt-1., 285 s. Isparta.
- Güngör, N., Tombul, M., 1997. Pomzanın kullanım alanı ile ilgili özellikleri ve mevzuatın pomza madenciliğine etkisi. I. Isparta Pomza Sempozyumu, 19-24.
- Haberler com, 2008. <http://www.haberler.com/bolu-tunelinde-buz-onleyici-sistem-hizmete-girdi-haberi/>. Erişim Tarihi: 13.01.2011.

- Hallberg, S.E., Henrysson, G., 1999. Sanding Tests 1998 Comparison between Conventional Sanding Methods Using Cold Materials and the Friction Maker™ and Hottstone® Hot Material Methods. Technical Report No 2105 of the Swedish National Road Administration (SNRA).
- Hanke, H., 1998. New experiences with the use of abrasives in Germany. Proceedings of the Xth PIARC International Winter Road Congress, Volume 2, 469-475.
- Hossain, M.M., Bajorski, P., Yang, W.S., 1997. Frictional characteristics of sand and sand-deicer mixtures on bare ice. Transportation Research Record, 1585, 30 - 38.
- Ilıcalı, M., 1988. Karayolu Üstyapısında Erdemir Cürufunun Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 152 s, İstanbul.
- Ilıcalı, M., 2001. Asfalt ve Uygulamaları. İsfalt yayınları, No:1, 280 s. İstanbul.
- İyınam, Ş., İyınam, A.F., 2006. Snow and ice control in highways. Seventh International Congress on Advances in Civil Engineering, Yıldız Technical University, 411-420.
- Karaşahin, M., 1993. Resilient Behaviour of Granular Materials for Analysis of Highway Pavements. Nottingham Üniversitesi, Doktora Tezi, Nottingham.
- Kinsey, J.S., Cowherd, C., Connery, K., 1990. Guideline Document for Selecting Anti-Skid Materials Applied to Ice and Snow Covered Roadways. Contractor Report by the Midwest Research Institute to the U.S. Environmental Protection Agency, EPA Contract No. 68-02-4395.
- Kuettel, D., and Hanbali, R., 1992. Accident Analysis of Ice Control Operations, Presented at the 3rd International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology, Minneapolis, Minnesota.
- Kuettel, D., ve Bari, Q., 1996. Benefit/Cost Comparisons of Salt Only Vs-Salt/Abrasive Mixtures Used in Winter Highway Maintenance in the USA, presented at the 4th International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology, Reno, Nevada.
- Kuloğlu, N., ve Kök, B.V., 2005. Karayollarında kar ve buz mücadelesinde kullanılan tuzun beton asfalt kaplamaya etkisi. F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17 (1), 87-96.
- Lund, J.W., 2000. Pavement snow melting. Geo-Heat Center Quarterly Bulletin, Vol. 21, No. 2, 12-19.
- Minsk, L.D., 1998. Snow and Ice Control Manual for Transportation Facilities. McGraw Hill, No: 0070428093, 289 p. New York.
- Monroe Truck Equipment, 2010. [www.monroetruck.com. http://www. Mon roetruck.com/snowice_prewet_pumpstorage.asp](http://www.monroetruck.com/roetruck.com/snowice_prewet_pumpstorage.asp). Erişim Tarihi: 14.12.2010.
- Munsell, A.H., 1929. The Munsell Book of Color. Published by the Munsell Color Company Inc., Library Edition Volume 1, Baltimore, Maryland.

- Nixon, W.A., 2001. The Use of Abrasives in Winter Maintenance Final Report Of Project Tr 434. Iowa Department of Transportation and The Iowa Highway Research Board, No:416, 23 s. Iowa.
- Nixon, W.A., 2009. Field Testing Of Abrasive Delivery Systems In Winter Maintenance. Funded by the Iowa Highway Research Board Project TR-458. Iowa Highway Research Board, No: 471, 63 s. Iowa.
- Nixon, W.A., Foster, N.S.J., 1996. Strategies for Winter Highway Maintenance. University of Iowa Public Policy Center, 68 p. Iowa.
- Okur, A., 2008. Karayollarında Kar ve Buz Mücadelesinde Kullanılan Modern Yöntemlerin Ülkemizde kullanılabilirliğinin Araştırılması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 137s, Eskişehir.
- Sezgin, M., Davraz, M., Gündüz, L., 2005. Pomza endüstrisine sektörel bir bakış. Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, Isparta, 9-22.
- Smith, D.E., 2006. Local Roads Maintenance Workers' Manual. Iowa State University, Center for Transportation Research and Education, Iowa Highway Research Board Project TR-514, 139 s. Iowa.
- Stowe, R., 2001. A Benefit/Cost Analysis of Intelligent Transportation System Applications for Winter Maintenance. Transportation Research Board, Paper No: 01-0158, 13 p. Washington.
- Şapçı, N., Gündüz, L., 2004. Karaman ve civarı pomza oluşumlarının hafif beton sektöründe agrega olarak yeri ve önemi. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 138-148.
- Şengün, N., 2004. Pomzanın Hafif Harç Yapımında Endüstriyel Hammadde Olarak Kullanımı. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 70s. Isparta.
- Türel, Ö., 2002. Antalya ve Çevre İllerdeki Bölgesel Devlet Yollarının Mevcut Üstyapı Uygulamalarının İncelenmesi, Rijit Üstyapı Formunda Yeniden Çözülmesi, Maliyet Karşılaştırmalarının Yapılabilirliğinin Araştırılması. A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 236 s, Antalya.
- Umar, F., Açar, E., 1991. Yol Üstyapısı. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, 339 s. İstanbul.
- Varış, M., 2007. Karayolları Esnek Üstyapılarında Buzlanma İle Mücadele Yöntemleri. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 83s, Isparta.
- Yörükoğulları, E., 2005. Doğal zeolitlerin karayollarında buz/kar çözücü olarak kullanımı. Madencilik Bülteni, (75), 40-42.
- Zhang, J., Das, K.D., Peterson, R., 2009. Selection of Effective and Efficient Snow Removal and Ice Control Technologies for Cold-Region Bridges, Department of Mechanical Engineering, University of Alaska Fairbanks, Volume 3, Issue 1, AK 99775, USA.

EKLER

EK 1. Sodyum klorür (NaCl) ile yapılan buz eritme testi sonuçları

Çizelge EK 1-1. Deney düzeneğine 1 kg yük ilave edilerek alınan sonuçlar

ORTAM SICAKLIĞI:	20±1 ⁰ C
MALZEME CİNSİ:	NaCl
MALZEME AĞIRLIĞI:	2,31 GR.
UYGULANAN AĞIRLIK:	1 KG.
MAKİNA ÇALIŞMA SÜRESİ:	10 DAKİKA
NUMUNE BEKLEME SÜRESİ:	10 DAKİKA
DENEY NO:1	
TEPSİ NO:	2
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2366,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	7218,0 gr.
DENEY SONRASI TEPİ+BUZ AĞIRLIĞI:	7153,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	65,0 gr.
DENEY NO:2	
TEPSİ NO:	3
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2081,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6900,5 gr.
DENEY SONRASI TEPİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6839,5 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	61,0 gr.
DENEY NO:3	
TEPSİ NO:	6
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2055,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6904,5 gr.
DENEY SONRASI TEPİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6846,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	58,5 gr.
ORTALAMA:	61,5 gr.
MALZEMENİN ERİTTİĞİ BUZ MİKTARI:	61,5-41,6-2=17,9 gr.

Çizelge EK 1-2. Deney düzeneğine 2 kg yük ilave edilerek alınan sonuçlar

ORTAM SICAKLIĞI:	20±1 °C
MALZEME CİNSİ:	NaCl
MALZEME AĞIRLIĞI:	2,31 GR
UYGULANAN AĞIRLIK:	2 KG
MAKİNA ÇALIŞMA SÜRESİ:	10 DAKİKA
NUMUNE BEKLEME SÜRESİ:	10 DAKİKA
DENEY NO:1	
TEPSİ NO:	6
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2045,0 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6898,0 gr.
DENEY SONRASI TEPİSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6831,5 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	66,5 gr.
DENEY NO:2	
TEPSİ NO:	3
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2078,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6878,5 gr.
DENEY SONRASI TEPİSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6800,5 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	78,5 gr.
DENEY NO:3	
TEPSİ NO:	6
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2063,0 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6907,5 gr.
DENEY SONRASI TEPİSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6836,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	71,5 gr.
ORTALAMA:	72,0 gr
MALZEMENİN ERİTTİĞİ BUZ MİKTARI:	72-47,8-2=22,2 gr.

Çizelge EK 1-3. Deney düzeneğine 3 kg yük ilave edilerek alınan sonuçlar

ORTAM SICAKLIĞI:	20±1 °C
MALZEME CİNSİ:	NaCl
MALZEME AĞIRLIĞI:	2,31 GR.
UYGULANAN AĞIRLIK:	3 KG
MAKİNA ÇALIŞMA SÜRESİ:	10 DAKİKA
NUMUNE BEKLEME SÜRESİ:	10 DAKİKA
DENEY NO:1	
TEPSİ NO:	3
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2078,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6927,0 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6840,5 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	86,5 gr.
DENEY NO:2	
TEPSİ NO:	6
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2047,0 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6853,0 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6776,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	87,0 gr.
DENEY NO:3	
TEPSİ NO:	2
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2365,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	7222,5 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	7145,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	87,5 gr.
ORTALAMA:	87,0 gr
MALZEMENİN ERİTTİĞİ BUZ MİKTARI:	87-56,2-2=28,8 gr.

EK 2. Kalsiyum klorür(CaCl₂) ve Sodyum klorür (NaCl) karışımı ile yapılan buz eritme testi sonuçları

Çizelge EK 2-1. Deney düzeneğine yük ilave edilmeden alınan sonuçlar

ORTAM SICAKLIĞI:	20±1 °C
MALZEME CİNSİ:	CaCl ₂ + NaCl
MALZEME AĞIRLIĞI:	2,31 gr.
UYGULANAN AĞIRLIK:	-
MAKİNA ÇALIŞMA SÜRESİ:	10 DAKİKA
NUMUNE BEKLEME SÜRESİ:	10 DAKİKA
DENEY NO:1	
TEPSİ NO:	2
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2360,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	7194,5 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	7152,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	42,5 gr.
DENEY NO:2	
TEPSİ NO:	3
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2072,0 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	69005,5 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6867,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	38,5 gr.
DENEY NO:3	
TEPSİ NO:	6
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2049,0 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6879,0 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6833,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	46,0 gr.
ORTALAMA:	42,3 gr.
MALZEMENİN ERİTTİĞİ BUZ MİKTARI:	42,3-30-2=10,3 gr.

Çizelge EK 2-2. Deney düzeneğine 1 kg yük ilave edilerek alınan sonuçlar

ORTAM SICAKLIĞI:	20±1 °C
MALZEME CİNSİ:	CaCl ₂ + NaCl
MALZEME AĞIRLIĞI:	2,31 GR.
UYGULANAN AĞIRLIK:	1 KG.
MAKİNA ÇALIŞMA SÜRESİ:	10 DAKİKA
NUMUNE BEKLEME SÜRESİ:	10 DAKİKA
DENEY NO:1	
TEPSİ NO:	3
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2086,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6873,5 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6804,5 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	69,0 gr.
DENEY NO:2	
TEPSİ NO:	2
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2370,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	7180,0 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	7113,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	67,0 gr.
DENEY NO:3	
TEPSİ NO:	2
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2378,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	7232,0 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	7166,5 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	65,5 gr.
ORTALAMA:	67,2 gr.
MALZEMENİN ERİTTİĞİ BUZ MİKTARI:	67,2-41,6-2=23,6 gr.

Çizelge EK 2-3. Deney düzeneğine 2 kg yük ilave edilerek alınan sonuçlar

ORTAM SICAKLIĞI:	20±1 °C
MALZEME CİNSİ:	CaCl ₂ + NaCl
MALZEME AĞIRLIĞI:	2,31 GR
UYGULANAN AĞIRLIK:	2 KG
MAKİNA ÇALIŞMA SÜRESİ:	10 DAKİKA
NUMUNE BEKLEME SÜRESİ:	10 DAKİKA
DENEY NO:1	
TEPSİ NO:	6
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2047,0 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6917,0 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6829,5 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	87,5 gr.
DENEY NO:2	
TEPSİ NO:	3
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2078,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6913,0 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6839,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	74,0 gr.
DENEY NO:3	
TEPSİ NO:	2
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2365,0 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	7174,0 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	7094,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	80,0 gr.
ORTALAMA:	80,5 gr
MALZEMENİN ERİTTİĞİ BUZ MİKTARI:	80,5-47,8-2=30,7 gr.

Çizelge EK 2-4. Deney düzeneğine 3 kg yük ilave edilerek alınan sonuçlar

ORTAM SICAKLIĞI:	20±1 °C
MALZEME CİNSİ:	CaCl ₂ + NaCl
MALZEME AĞIRLIĞI:	2,31 GR.
UYGULANAN AĞIRLIK:	3 KG
MAKİNA ÇALIŞMA SÜRESİ:	10 DAKİKA
NUMUNE BEKLEME SÜRESİ:	10 DAKİKA
DENEY NO:1	
TEPSİ NO:	6
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2055,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6865,5 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6766,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	99,5 gr.
DENEY NO:2	
TEPSİ NO:	2
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2370,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	7193,5 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	7096,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	97,5 gr.
DENEY NO:3	
TEPSİ NO:	3
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2092,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6927,0 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6831,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	96,0 gr.
ORTALAMA:	97,6 gr
MALZEMENİN ERİTTİĞİ BUZ MİKTARI:	97,6-56,2-2=39,4 gr.

EK 3. Isıtılmış karayolları kumu ile yapılan buz eritme testi sonuçları

Çizelge EK 3-1. Deney düzeneğine yük ilave edilmeden alınan sonuçlar

ORTAM SICAKLIĞI:	20±1 °C
MALZEME CİNSİ:	KARAYOLLARI KUMU
MALZEME AĞIRLIĞI:	2,31 gr.
UYGULANAN AĞIRLIK:	-
MAKİNA ÇALIŞMA SÜRESİ:	10 DAKİKA
NUMUNE BEKLEME SÜRESİ:	10 DAKİKA
DENEY NO:1	
TEPSİ NO:	3
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2086,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6884,5 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ+MALZEME AĞIRLIĞI:	6861 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	83,5 gr.
DENEY NO:2	
TEPSİ NO:	2
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2370,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	7154,0 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ + MALZEME AĞIRLIĞI:	7125,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	89,0 gr.
DENEY NO:3	
TEPSİ NO:	3
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2086,5 gr.
TEPSİ+BUZ + AĞIRLIĞI:	6939,5 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ + MALZEME AĞIRLIĞI:	6912,5 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	87,0 gr.
ORTALAMA:	86,5 gr.
MALZEMENİN ERİTTİĞİ BUZ MİKTARI:	86,5-30-2=54,5 gr.

Çizelge EK 3-2. Deney düzeneğine 1 kg yük ilave edilerek alınan sonuçlar

ORTAM SICAKLIĞI:	20±1 °C
MALZEME CİNSİ:	KARAYOLLARI KUMU
MALZEME AĞIRLIĞI:	2,31 GR.
UYGULANAN AĞIRLIK:	1 KG.
MAKİNA ÇALIŞMA SÜRESİ:	10 DAKİKA
NUMUNE BEKLEME SÜRESİ:	10 DAKİKA
DENEY NO:1	
TEPSİ NO:	6
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2055,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6897,0 gr.
DENEY SONRASI TEPİSİ+BUZ + MALZEME AĞIRLIĞI:	6843,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	114,0 gr.
DENEY NO:2	
TEPSİ NO:	2
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2370,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	7160,5 gr.
DENEY SONRASI TEPİSİ+BUZ + MALZEME AĞIRLIĞI:	7116,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	104,5 gr.
DENEY NO:3	
TEPSİ NO:	3
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2086,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6926,0 gr.
DENEY SONRASI TEPİSİ+BUZ + MALZEME AĞIRLIĞI:	6876,5 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	109,5 gr.
ORTALAMA:	109,3 gr.
MALZEMENİN ERİTTİĞİ BUZ MİKTARI:	109,3-41,6-2=65,7 gr.

Çizelge EK 3-3. Deney düzeneğine 2 kg yük ilave edilerek alınan sonuçlar

ORTAM SICAKLIĞI:	20±1 °C
MALZEME CİNSİ:	KARAYOLLARI KUMU
MALZEME AĞIRLIĞI:	2,31 GR
UYGULANAN AĞIRLIK:	2 KG
MAKİNA ÇALIŞMA SÜRESİ:	10 DAKİKA
NUMUNE BEKLEME SÜRESİ:	10 DAKİKA
DENEY NO:1	
TEPSİ NO:	2
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2370,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	7218,5 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ + MALZEME AĞIRLIĞI:	7152,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	126,5 gr.
DENEY NO:2	
TEPSİ NO:	2
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2370,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	7220,5 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ + MALZEME AĞIRLIĞI:	7155,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	125,5 gr.
DENEY NO:3	
TEPSİ NO:	6
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2055,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6876,0 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ + MALZEME AĞIRLIĞI:	6812,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	124,0 gr.
ORTALAMA:	125,3 gr
MALZEMENİN ERİTTİĞİ BUZ MİKTARI:	125,3-47,8-2=75,5 gr.

Çizelge EK 3-4. Deney düzeneğine 3 kg yük ilave edilerek alınan sonuçlar

ORTAM SICAKLIĞI:	20±1 °C
MALZEME CİNSİ:	KARAYOLLARI KUMU
MALZEME AĞIRLIĞI:	2,31 GR.
UYGULANAN AĞIRLIK:	3 KG
MAKİNA ÇALIŞMA SÜRESİ:	10 DAKİKA
NUMUNE BEKLEME SÜRESİ:	10 DAKİKA
DENEY NO:1	
TEPSİ NO:	3
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2086,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6896,0 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ + MALZEME AĞIRLIĞI:	6817,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	139,0 gr.
DENEY NO:2	
TEPSİ NO:	3
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2086,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6943,0 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ + MALZEME AĞIRLIĞI:	6859,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	144,0 gr.
DENEY NO:3	
TEPSİ NO:	6
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2055,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6903,5 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ + MALZEME AĞIRLIĞI:	6833,5 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	130,0 gr.
ORTALAMA:	137,6 gr
MALZEMENİN ERİTTİĞİ BUZ MİKTARI:	137,6-56,2-2=79,4 gr.

EK 4. Isıtılmış Isparta pomzası ile yapılan buz eritme testi sonuçları

Çizelge EK 4-1. Deney düzeneğine yük ilave edilmeden alınan sonuçlar

ORTAM SICAKLIĞI:	20±1 °C
MALZEME CİNSİ:	ISPARTA POMZASI
MALZEME AĞIRLIĞI:	2,31 gr.
UYGULANAN AĞIRLIK:	-
MAKİNA ÇALIŞMA SÜRESİ:	10 DAKİKA
NUMUNE BEKLEME SÜRESİ:	10 DAKİKA
DENEY NO:1	
TEPSİ NO:	4
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2100,0 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6920,0 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ+MALZEME AĞIRLIĞI:	6884,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	96,0 gr.
DENEY NO:2	
TEPSİ NO:	4
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2100,0 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6914,0 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ+MALZEME AĞIRLIĞI:	6858,5 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	115,5 gr.
DENEY NO:3	
TEPSİ NO:	4
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2100,0 gr.
TEPSİ+BUZ + AĞIRLIĞI:	6907,0 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ + MALZEME AĞIRLIĞI:	6848,5 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	118,5 gr.
ORTALAMA:	110,0 gr.
MALZEMENİN ERİTTİĞİ BUZ MİKTARI:	110-30-2=78 gr.

Çizelge EK 4-2. Deney düzeneğine 1 kg yük ilave edilerek alınan sonuçlar

ORTAM SICAKLIĞI:	20±1 °C
MALZEME CİNSİ:	ISPARTA POMZASI
MALZEME AĞIRLIĞI:	2,31 GR.
UYGULANAN AĞIRLIK:	1 KG.
MAKİNA ÇALIŞMA SÜRESİ:	10 DAKİKA
NUMUNE BEKLEME SÜRESİ:	10 DAKİKA
DENEY NO:1	
TEPSİ NO:	4
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2100,0 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6894,5 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ+MALZEME AĞIRLIĞI:	6815,5 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	139,0 gr.
DENEY NO:2	
TEPSİ NO:	6
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2063,0 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6878,0 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6807,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	131,0 gr.
DENEY NO:3	
TEPSİ NO:	4
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2100,0 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6908,0 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ+MALZEME AĞIRLIĞI:	6832,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	136,0 gr.
ORTALAMA:	135,3 gr.
MALZEMENİN ERİTTİĞİ BUZ MİKTARI:	135,3-41,6-2=91,7 gr.

Çizelge EK 4-3. Deney düzeneğine 2 kg yük ilave edilerek alınan sonuçlar

ORTAM SICAKLIĞI:	20±1 °C
MALZEME CİNSİ:	ISPARTA POMZASI
MALZEME AĞIRLIĞI:	2,31 GR
UYGULANAN AĞIRLIK:	2 KG
MAKİNA ÇALIŞMA SÜRESİ:	10 DAKİKA
NUMUNE BEKLEME SÜRESİ:	10 DAKİKA
DENEY NO:1	
TEPSİ NO:	2
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2378,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	7181,5 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ+MALZEME AĞIRLIĞI:	7093,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	148,5 gr.
DENEY NO:2	
TEPSİ NO:	2
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2378,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	7209,0 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	7112,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	157,0 gr.
DENEY NO:3	
TEPSİ NO:	6
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2063,0 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6898,0 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ+MALZEME AĞIRLIĞI:	6793,0 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	165,0 gr.
ORTALAMA:	156,8 gr
MALZEMENİN ERİTTİĞİ BUZ MİKTARI:	156,8-47,8-2=107 gr.

Çizelge EK 4-4. Deney düzeneğine 3 kg yük ilave edilerek alınan sonuçlar

ORTAM SICAKLIĞI:	20±1 °C
MALZEME CİNSİ:	ISPARTA POMZASI
MALZEME AĞIRLIĞI:	2,31 GR.
UYGULANAN AĞIRLIK:	3 KG
MAKİNA ÇALIŞMA SÜRESİ:	10 DAKİKA
NUMUNE BEKLEME SÜRESİ:	10 DAKİKA
DENEY NO:1	
TEPSİ NO:	4
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2100,0 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6929,5 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ+MALZEME AĞIRLIĞI:	6796,5 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	193,0 gr.
DENEY NO:2	
TEPSİ NO:	6
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2063,0 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	6900,0 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ+MALZEME AĞIRLIĞI:	6773,5 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	186,5 gr.
DENEY NO:3	
TEPSİ NO:	2
TEPSİ AĞIRLIĞI:	2378,5 gr.
TEPSİ+BUZ AĞIRLIĞI:	7198,0 gr.
DENEY SONRASI TEPSİ+BUZ+MALZEME AĞIRLIĞI:	7063,5 gr.
BUZDAKİ KAYIP:	194,5 gr.
ORTALAMA:	191,3 gr
MALZEMENİN ERİTTİĞİ BUZ MİKTARI:	191,3-56,2-2=133,1

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ebru ÖZDEMİR

Doğum Yeri ve Yılı : Polatlı - 1982

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce



Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Polatlı Sağlık Meslek Lisesi, 1996 - 2000

Önlisans : EÜ Kayseri Meslek Yüksekokulu İnşaat
Bölümü, 2001 - 2003

Lisans : SDÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat
Mühendisliği Bölümü, 2004 - 2008

Yayınları

1. Saltan, M., Özdemir, E., Öksüz, B., Estimation of Serviceability Loss with Fuzzy Logic and ANFIS, International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, June 29-July 1, 2009, Trabzon, 210-214.