T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BUZ ÇÖZÜCÜLERİN İNCELENMESİ VE GELİŞTİRİLMESİ

Emre KARAKUZU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nano Teknoloji ve İleri Malzemeler

Mayıs-2017
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BUZ ÇÖZÜCÜLERİN İNCELENMESİ VE GELİŞTİRİLMESİ

Emre KARAKUZU

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Nano Teknoloji ve İleri Malzemeler

Danışman: Prof. Dr. Erol PEHLİVAN

2017, 74 Sayfa

Jüri

Buz çözücüler kış aylarında yolların buz tutması nedeni ile önemli hale gelmiştir. Buz çözücü kimyasalların düşük maliyetle üretilmesi, ekonomik açıdan fayda sağlayacak ve aynı zamanda otoyollarında kış şartlarında olabilecek trafik kazalarının önlenmesine katkısı olacaktır. Çeşitli tuzların (klorürlü, asetatlı, formatlı) tek tek ve karışımlar halinde -50 °C dereceye kadar soğutan donma noktası tayin cihazı ile donma noktasına olan etkisi ve çözeltilerin donma süresi gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda en etkili tuzlardan biri olduğu belirlenen $MgCl_2$ tuzu karışımlarda yüksek konsantrasyonlarda ilave edilmiştir. Belirlediğimiz organik katkı maddelerinin buz giderme özellikleri incelenmiştir. Melas ve sorbitolün etkili birer organik katkı maddesi olduğu tespit edilmiştir. Özellikle düşük maliyeti ve suyun donma noktasını düşürmesi nedeniyle melas önemli bir katkı maddesidir. Deneysel çalışmalar sonucunda buz giderme kabiliyeti oldukça yüksek olan tuz-organik karışım reçetelerinden belirlediğimiz üç tanesini buz üzerine tatbik ederek buz gidermeye olan etkileri incelenmiştir. Katkı maddesi ilave etmediğimiz $MgCl_2$ tuzunun yalnız başına buz gidermeye etkisini araştırılmıştır. Buz giderme için eklediğimiz tuz ve organik karışımlar, geleneksel kullanılan tuzlara göre maliyeti düşürmüş ve buz eritme etkisini artırmıştır.

Anahtar Kelimeler: : Buz giderici, buzlanma, donma noktası, donma süresi, karayolu, tuz

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION AND DEVELOPMENT OF DEICER

Emre KARAKUZU
THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
NANO TECHNOLOGY AND ADVANCED MATERIALS

Advisor: Prof. Dr. Erol PEHLİVAN

2017, 74 Pages

Jury

In this study, it was aimed to dissolve ice and snow formed in cold weather rapidly with prepared salt-organic mixtures. In winter, the production of de-icing chemicals became important due to the increase in the number of vehicles, the increase of road network and ice storage on roads The production of low-cost de-icing chemicals will benefit from the economic point of view and prevents traffic accidents on the roads in winter conditions. The effects of various salts (chlorinated, acetate, formulated) on the freezing point and the freezing point of the solutions were investigated individually up to -50 °C. As a result, one of the most effective salts ($MgCl_2$) salt was added to the mixtures at high concentrations. Deicing properties of the organic additives were analyzed. Syrup of sugar beet pulp (molasses) and sorbitol are found to be effective additives in organic matter. Especially molasses is an important additive because of its low cost and low water freezing point. The effect of salt-organic mixture prescriptions on deicing have examined in the experimental studies. The effect of the $MgCl_2$ salt alone on deicing without adding the additive were searched. The salts and organic mixtures we added for deicing, increase the effect of ice melting compared to traditional salts.

Keywords: Defrosting, icing, freezing point, freezing time, road, salt

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım boyunca desteklerini esirgemeyen aileme, değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşarak tezimin tamamlanmasında çok emeği olan danışman hocam Prof. Dr. Erol PEHLİVAN'a, teşekkürlerimi sunarım.

Emre KARAKUZU
KONYA-2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
ÖNSÖZ ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
1. Giriş **1**
1.1. Tuzlar ve Çeşitleri 2
1.1.1. Asidik tuzlar 2
1.1.2. Bazik tuzlar 2
1.1.3. Nötral tuzlar 3
1.1.4. Tuzlar buzu nasıl eritir? 3
1.2. Buzla Mücadele Yöntemleri 3
1.2.1. Fiziksel yöntemler 4
1.2.1.1. Kar siperleri 4
1.2.2. Kimyasal yöntemler 5
1.2.3. Buz Gidericiler (De-icing) 6
1.2.4. Buz Önleyiciler (Anti-icing) 7
1.2.5. Aşındırıcılar 8
1.2.6. Tuzların ön ıslatma ile kullanılması 8
1.3. Buzla Mücadelede Yaygın Olarak Kullanılan Tuz ve Organikler 8
1.3.1. Sodyum klorür (NaCl) 9
1.3.2. Magnezyum klorür tuzu ($MgCl_2$) 9
1.3.3. Kalsiyum klorür ($CaCl_2$) 10
1.3.4 Potasyum klorür (KCl) 10
1.3.5. Potasyum asetat (KAc) 10
1.3.6. Kalsiyum magnezyum asetat (CMA) 11
1.3.7. Üre 11
1.3.8. Mono etilen glikol 12
1.4. Buz Gidericinin Buza Etkisi 12
1.5. Tuzların Çevreye Olan Etkisi 13
1.6. Tuzlama Çalışmalarının Ülke Ekonomisine Maliyeti ve Teknolojik Yöntemler 14
1.6.1. Otomatik buzlanma önleyici sprey sistemi 14
1.6.2. Elektrik ile ısıtmalı asfalt sistemi 15

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 18
3. MATERYAL YÖNTEM 24
3.1. Kullanılan Kimyasal Maddelerin Fiziksel Özellikler 25
3.1.1. Polietilen glikol 26
3.2. Tekli Tuz Çözeltilerinin Donma Noktası ve Maliyeti 27
3.3. İkili Tuz Karışımları 36
3.4. Üçlü Karışımlar 50
3.5. Dörtlü Karışımlar 54
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 65
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 66
5.1. Sonuçlar 66
5.2. Öneriler 68
KAYNAKLAR 70
ÖZGEÇMİŞ 74

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler
°C: Santigrat derece
%: Yüzde

Kısaltmalar
BEUS: Buzlanma erken uyarı sistemi
CMA: Kalsiyum magnezyum asetat
Gr: Gram
KAc: Potasyum asetat
MgAc: Magnezyum asetat
Meg: Mono etilen glikol
NaF: Sodyum format
Peg: Polietilen glikol
TL: Türk lirası

1. Giriş

Hava sıcaklığının 0 °C altına düştüğü bölgelerde buzlanma ve don olayları meydana gelmektedir. Bu durum hem kara hem hava trafiğinin akışı açısından birçok olumsuzluğu da beraberinde getirmektedir. Tuzlama çalışmaları ile kar/buz etkisinin önüne geçilmeye çalışılsa da mevcut yöntemler ile kar/buz giderme, hava sıcaklığının -15 °C ila -20 °C ye kadar düştüğü bölgelerde yetersiz kalmaktadır. Yine mevcut yöntemler ile yapılan tuzlama çalışmalarının birçoğunda bitki örtüsü zarar görmekte, asfalt ve taşıtlar korozyona uğramakta olup bunun yanında ciddi trafik kazaları vuku bulmaktadır. Bu sebeplerden dolayı buz ve kar ile mücadeleye gelişmiş ülkelerin çoğunda önem verilmektedir.

Buz çözücü kimyasalların önemi artan taşıt sayısından dolayı gün geçtikçe artmaktadır. Oto yollarında, viyadüklerde, virajlarda kazalar meydana gelmekte, can ve mal kayıpları oluşmaktadır. Özellikle viyadüklerde buzlanma daha sık görülmektedir bu yüzden o bölgelerde buz kontrolüne çok dikkat etmek gerekmektedir. Bu durumun sebebi viyadükler, yollar gibi tek bir yüzeyden değil, iki yüzeyden (hem alt hem üst yüzeyler) birden soğumaktadır, böylece buzlanma bu bölgelerde daha sık görülmektedir. Bu durumda viyadük gibi alanlarda tuzlama çalışmaları daha fazla yapılmaktadır. Bu da köprülerin korozif etkiye daha fazla maruz kalmasına neden olmaktadır. Viyadük/köprü gibi özel bölgelerde üre, KAc gibi korozif etkisi olmayan tuzların kullanılması daha uygun olmaktadır. Köprülerde betona zarar veren başlıca iyon klor iyonu olmaktadır, bundan dolayı klor iyonu bulundurmayan üre ve KAc uygun buz gidericilerdir. KAc tuzunun etkili olması, ürenin de veriminin daha düşük fakat ucuz olmasına göre kullanım alanları değişebilmektedir. Sadece karayollarında değil, havaalanlarında da buzlanmayı önlemek çok önemlidir. Kara yolları ve havaalanlarında oluşan buzlanma sebebi ile yolcu ulaşımı, taşıma ve birçok alanda kısıtlamalar meydana gelmektedir. Kar/buz çözücü kimyasallar kazaları önlediği gibi, düşük maliyetle üretilerek ekonomi açıdan da fayda sağlayacaktır.

Son yıllarda oluşan iklimsel değişiklikler sebebi ile yollarda karlar birikmekte ve buzlanma sıkça meydana gelmektedir. Uygun bir tuz ve organik karışımı ile düşük sıcaklıklarda tuzların ve buzların erimesi sağlanarak yollardaki trafik akışı düzenli hale getirilmiş olacaktır.

Geleneksel kullanılan (tuz, glikol vb) yöntemler ile buz/kar giderme işlemlerinde, çevreye bazı zararlı etkiler oluşmaktadır ve ekonomik olarak da geleneksel metotlar pahalı metotlardır. Yeni geliştirilen metotlar ile kar/buz giderimi konusunda hem ekonomik yönden hem de çevreye olan etkisi yönünden avantaj sağlanması hedeflenmektedir. Kar/buzla mücadelede genel olarak iki tip kimyasal kullanılmaktadır. Bunlar; buz giderici (de-icing) ve buz önleyici (anti-icing) malzemelerdir. Buz giderici kimyasallar ile buzlanma olduktan sonra buz üzerine tatbik edilerek buzun giderilmesi sağlanırken, buz önleyici kimyasallar ise buzlanma olmadan kullanılarak buzun oluşması engellenmektedir. Bu çalışmada buz giderici türü kimyasalların özellikleri incelenerek; maliyete, donma noktasına ve süresine olan etkisi göz önünde bulundurularak uygun bir tuz-organik karışım reçetesi belirlenmeye çalışılmıştır. Donma noktasını aşağıya çekmek kadar donma süresini artırmak da önemlidir. Böylece ani hava düşüşlerinde buzlanma biraz daha geç olmaktadır. Kar/buz kontrolü sadece can ve mal güvenliğini sağlamak için değil, ülkemizin ekonomik açıdan fayda sağlaması da amaçlandığından maliyet etkisi göz önüne alınmaya çalışılmıştır.

1.1. Tuzlar ve Çeşitleri

Tuz; asit ile bazın reaksiyonu sonucu asitteki katyon ve bazdaki anyon iyonları ile bir araya gelerek oluşan kimyasal bir maddedir. Tuzlar; beslenme, sanayi, kar ve buzla mücadele gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğada çok çeşitli tuzlar vardır. Asidik tuzlar, bazik tuzlar, nötral tuzlar olmak üzere üç ayrı grup halinde incelenebilmektedir.

1.1.1. Asidik tuzlar

Asit - baz reaksiyonunda asit kuvvetli baz ise zayıf olduğunda meydana gelen tuz asidik tuz olmaktadır. Bu tuzlar çözündükleri zamanda kendisine bulunan protonları çözücüye vererek ortamın asidik olmasına neden olmaktadır. Örneğin $NaHCO_3$, NaH_2PO_4 tuzları birer asidik tuzdur. Aşağıdaki denklem (1.1) asidik tuzun oluşum reaksiyonudur.

$$HCl + AgOH \rightarrow AgCl + H_2O \quad (1.1)$$

1.1.2. Bazik tuzlar

Asit baz reaksiyonunda kuvvetli baz ile zayıf bir asidin tepkimeye girmesiyle meydana gelen tuz bazik tuzdur. OH^- iyonu bulunduran bu tuzlar, çözündükleri zaman OH^-

iyonunu çözücüye vererek ortamı bazik hale getirirler. Aşağıda bazik tuzun meydana geldiği reaksiyon verilmiştir (1.2).

$$HCN + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O \quad (1.2)$$

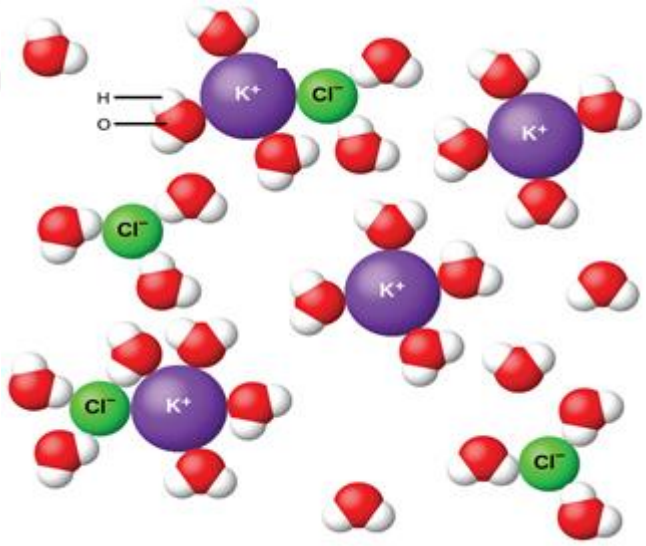
1.1.3. Nötral tuzlar

Kuvvetli bir asit ile kuvvetli bir bazın tepkimeye girmesiyle nötral bir tuz oluşur. NaCl, Na_2SO_4, NH_4Cl tuzları birer nötral tuzdur. NaCl nötral tuzunun oluşum reaksiyonu aşağıda verilmiştir (1.3).

$$NaOH + HCl \rightarrow NaCl + H_2O \quad (1.3)$$

1.1.4. Tuzlar buzu nasıl eritir?

Sıfırın altında su donmaktadır ve moleküller altıgen bir biçimde dizilirler. Tuz molekülleri ise buz ile temas ettiğinde, yapısındaki iyonları vererek buz moleküllerinin arasındaki bağı kırarak buzun katı halden sıvı hale geçmesini sağlamaktadır. Bir tuz ne kadar fazla iyon verirse buzun donma noktasını o kadar düşürmektedir.



Şekil 1.1. Tuz iyonlarının buzun bağ yapısını zayıflatması (Anonymous)

1.2. Buzla Mücadele Yöntemleri

Kış aylarında kar yağışı veya soğuk havanın etkisiyle zeminde buzlanma meydana gelmektedir. Gündelik yaşamın aksamaması ayrıca can ve mal güvenliği açısından buzlanma ile mücadele çok önemli bir hale gelmektedir. Milyonlarca liralık maliyet yükü ekonomiye darbe vurmaktadır. Buzlanma ile mücadele konusu farklı farklı

gruplandırmalar içerisinde incelenebilmektedir. İki ana grup altında toplamak istersek bu metotlar fiziksel metotlar ve kimyasal metotlardır. Günümüzde geliştirilen tüm yöntemler bu iki gruptan birine dahil olmaktadır.

1.2.1. Fiziksel yöntemler

Buzla/karla mücadele, personel veya araçlar vasıtası ile buzun/karın zemin üzerinden kürenerek giderilmesiyle sağlanır. Kar kalınlığı 5 cm'in üzerine çıktığında, önüne düz kar bıçağı takılı araçlar ile kar kalınlığı çok artarsa araca takılan V bıçaklarla kar/buz zeminden uzaklaştırılır (Gürer ve ark., 2015). Maliyeti yüksek bir metottur. Devlet hava meydanları işletmesi genel müdürlüğü havaalanları pist yüzey şartları yönergesine göre (Anonim, 2003) havaalanı pistlerinde sulu karın 1.5 cm, kuru karın 5 cm'yi geçmesinin önlenmesi gerektiğini belirtir. Pistte kar kalınlığı 12 mm'ye ulaştığında süpürme işlemi yapılmalı, 12 mm'den fazla olması durumunda araçlarla, küreme, süpürme ve üfleme işlemi uygulanarak temizlenmesi gerekir. Kar siperleri gibi önceden alınacak önlemlerde kar/buzla mücadele etmeye yardımcı olmaktadır.

1.2.1.1. Kar siperleri

Rüzgar etkisi ile sürüklenen karların yolları kapatıp, trafiği aksatmasına engel olan sistemlerdir. Bu sistemler çeşitli tesis ve alanlarda kullanılabilmektedir (Anonim, 2015).

Kar perdelerinin maliyeti yüksek değildir, yer ve yön değiştirme kolaylığına sahiptir. Uzun süre kullanılabilmektedir. Montajı kolay ve hızlıdır. (Köse, 2015)



Şekil 1.2. Yolların temizlenmesinde kullanılan kar küreme aracı

1.2.2. Kimyasal yöntemler

Buz/karla mücadelede kimyasal yöntemler, kimyasal maddeler vasıtasıyla buz veya karın zemin üzerinden uzaklaştırılması işlemleridir. Kimyasal yöntemler ile kar/buz uzaklaştırma metodu, gelişen teknolojinin yardımıyla doğru bir şekilde uygulandığında daha etkili ve daha düşük maliyetli bir uygulamadır. Fakat kimyasal yöntemlerde yeterince dikkat edilmezse çevreye verilecek zarar oldukça yüksek olabilmektedir Ülkemizde yapılan kar/buz üzerine tuzlama çalışmaları kimyasal yönteme bir örnektir. Yaygın olarak kullanılan sodyum klorür (NaCl) tuzu çevreye, araçlara, yola verdiği tahribattan dolayı bu tuzun kullanımı azaltılmakta ve yerine magnezyum klorür ($MgCl_2$), kalsiyum klorür ($CaCl_2$), potasyum asetat (KAc) ve kalsiyum-magnezyum asetat (CMA) gibi alternatif tuzların kullanılması daha doğru olacaktır. Köprü gibi bazı özel bölgelerde yapısında klorür iyonları bulunmadığından dolayı üre ve asetat tuzları da kullanılabilmektedir.

Çizelge 1.1. Yaygın olarak kullanılan buz giderici tuzların özellikleri (Seferoğlu ve ark., 2015)

Kimyasal		Sıcaklık, °F		Korozyon Potansiyeli		Betona zarar potansiyeli	Taşınan Endişeler	Çevresel Endişeler
Formül	Form	Etkili	Optimum	Araçlar	Yapılar	-	-	-
NaCl	Katı	15	-6	Evet	Evet	Biraz	Toz	Su, bitki
NaCl	Sıvı	23	-6	Evet	Evet	Biraz	Toz	Su, bitki
$CaCl_2$	Katı	-20	-60	Evet	Evet	Evet	Isı üretir cilt ve deri kurur	Su
$CaCl_2$	Sıvı	0	-60	Evet	Evet	Evet	Isı üretir cilt ve deri kurur	Su
$MgCl_2$	Katı	0	-28	Düşük	Olası	Çok az	Toz	Su
$MgCl_2$	Sıvı	10	-28	Düşük	Olası	Çok az	Toz	Su

Kimyasal yöntemlerde kullanılan maddelerin çoğaltılması son derece önemlidir. Bu sayede buz giderme verimliliği arttırılabilir, çevreye verilen tahribat ve maliyet azaltılabilir. Kimyasal maddelerin çeşitliliğinin arttırılması ayrıca bu maddelerin uygulanma metotlarının geliştirilmesinin buzla mücadeleyi daha kolay bir hale getireceği düşünülmektedir. Örneğin asfaltın yapısının içerisine dolgu maddesi olarak eklenen kar/buz önleyici kimyasallar asfalta buz önleme özelliği kazandırabilmektedir (Xu ve ark., 2015).

1.2.3. Buz Gidericiler (De-icing)

Buz giderici (de-icing) diye tabir edilen kimyasal malzemeler buzlanma olduktan sonra buz üzerine tatbik edilerek buzun giderilmesini sağlamaktadır. Kar/buz giderimi genelde kar/buzun donma noktasını aşağıya çekerek kar/buzun katı halden sıvı hale

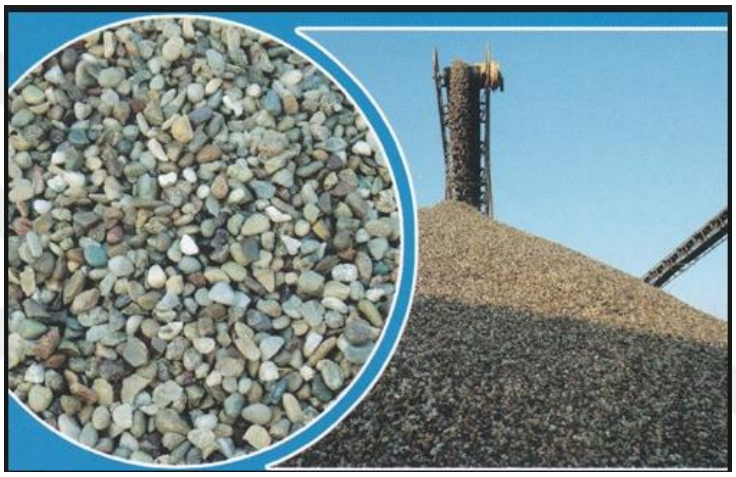
geçmesini sağlayarak olmaktadır. Örneğin tuzlama çalışmalarında kar/buza serpilen tuz, bu şekilde kar/buzun giderilmesini sağlamaktadır. Kullanılan tuz veya organik herhangi bir maddenin ekzotermik bir biçimde çözünmesi o bölgede erime başlatabileceğinden kar/buz giderimine katkı sağlamaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken her buz gideriminin bir eritme olmadığıdır. Buzun donma noktasını aşağıya çekmek onu eritmek demek değildir. Buz giderici (de-icing) türü malzemelerde; yüksek çözünürlük, ekzotermik çözünme, donma noktasını aşağıya çekme özelliklerinin her biri buz gidericinin verimliliğini etkilemektedir. Yaygın olarak kullanılan buz gidericiler $MgCl_2$, NaCl, $CaCl_2$ gibi tuzlardır. NaCl, korozyonu yüksek, asfalt ve bitki örtüsüne çok fazla zarar veren tuzdur. Genel olarak bakıldığında bu buz giderici tuzların, özellikle klorürlü olanların korozif etkisi vardır. Yapılan bir çalışmada betonu don olayından korumak için buz giderici tuz kullanıldığında, betonun dona karşı dayanımının daha da düştüğü belirtilmiştir. Ayrıca hava sürükleyici betonların kullanılması ile betonun dona karşı direncini artırdığı vurgulanmıştır (Berberoğlu, 2011; Liu ve Hansen, 2016). De-icing kimyasalı zemin üzerindeki buzun bağlarını kırarak zemin üzerindeki buzu gidermektedir. Buz giderici kimyasallar katı ve sıvı buz gidericiler (de-icingler) olarak ayrılmaktadır. Katı-buz gidericilerin (de-icinglerin) verimliliği sıvı haldekilerden daha yüksektir. Aynı miktarda buzu eritebilmek için sıvı-buz gidericiden, katı-buz gidericiye göre daha fazla ilave edilmelidir (Koefod, 2012).

1.2.4. Buz Önleyiciler (Anti-icing)

Buz önleyici kimyasallar; buz giderici kimyasalların aksine buzlanma olmadan ilgili bölgeye tatbik edilerek, kar/buz oluşumunun önüne geçmektedir. Buz önleyici (anti-icing) kimyasalların kar/buzlanmanın daha fazla görüldüğü müdahale önceliği bulunan yollara uygulanması daha uygundur (Gökdemir, 2013). Örneğin NaCl buz giderici olarak kullanıldığı gibi buz önleyici olarak da kullanılmaktadır. Katı bir buz önleyici olan NaCl, kaya tuzu formunda iri taneli olarak yollara serpildiğinde, sürtünmeyi artırıcı ve aynı zamanda kolay kolay seyrelmeyen (sıvı buz önleyicilere göre) yapısı sayesinde katı buz önleyiciler daha avantajlıdır. Kullanım miktarı/performans oranı göz önünde bulundurulduğunda sıvı buz önleyicilerin katı buz önleyicilerden daha avantajlı olduğu düşünülmektedir (Varış, 2007). Sıvı formunda olan buz önleyiciler bulundukları tankın içinde çökme meydana getirebilmektedir.

1.2.5. Aşındırıcılar

Buz giderme çalışmalarında amaç, buzu (düşük sürtünme katsayılı tabakayı) kaldırarak yol güvenliğini sağlamaktır. Fakat buz giderici kimyasalların kullanımı sonucu buz giderilse de yüzey kaygan kalabilmektedir. Bu nedenle aşındırıcılar kullanılarak sürtünme katsayısı artırılmaktadır. Aşındırıcı olarak kum, çakıl gibi malzemeler kullanılabilmektedir. Aşındırıcı malzemeler ayrıca buz giderici maddelerinin buza tesir etmesini buzda çözünmesini kolaylaştırmaktadır. Özellikle çok düşük sıcaklıklarda aşındırıcı kullanımı çok önemlidir. Varış (2007), Anonymous (1996) aşındırıcı olarak kullanılan kumun, buz giderici kimyasallar ile karıştırıldığında, buz gidericilerin kar/buz giderme veriminin düştüğünü belirtmiştir.



Şekil 1.3. Buz gidermede kullanılan aşındırıcılar

1.2.6. Tuzların ön ıslatma ile kullanılması

Ön ıslatma yöntemi tuzların kar/buz üzerine uygulanmadan önce su veya çözelti ile ıslatılması şeklinde olmaktadır. Ön ıslatma işlemi yapılan tuz asfalta saçılıp dağılmadığından, daha etkili olmaktadır. Bu metotta yaklaşık %30'a kadar tuz tasarruf edilmektedir ve kar/buz giderme daha hızlı olabilmektir. Ötektik noktası düşük kimyasallar da ön ıslatma malzemesi olarak kullanılabilir böylece düşük sıcaklıklarda bile kar/buz giderme performansı yüksek olabilmektedir (Anonymous, 2005).

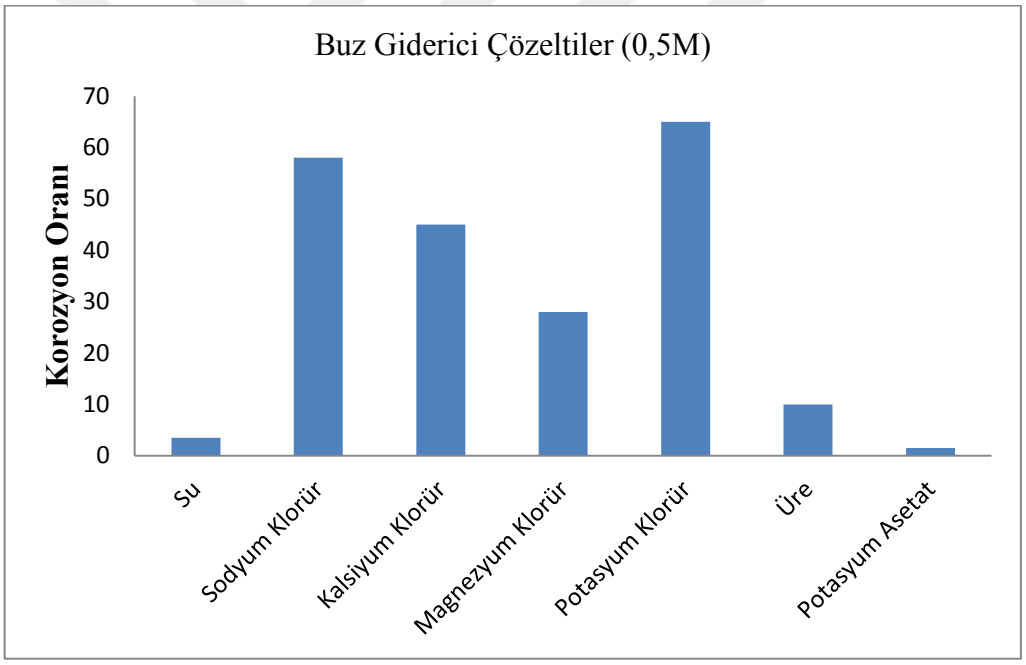
1.3. Buzla Mücadelede Yaygın Olarak Kullanılan Tuz ve Organikler

Kar/buzla mücadelede NaCl, KAc, CMA, MgAc, CaAc, $MgCl_2$, $CaCl_2$, gibi tuzlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların dışında üre, mono etilen glikol, polietilen glikol, gibi katkı maddeleri de kullanılabilir.

1.3.1. Sodyum klorür (NaCl)

Ucuz olması sebebiyle buzla mücadelede en yaygın kullanılan tuzlardan biridir fakat çok düşük sıcaklıklarda kullanılması uygun değildir. Hava sıcaklığının -20 °C'lere kadar indiği koşullarda NaCl tuzu kullanılamaz çünkü sulu çözeltisinde yapısı gereği Na^+ ve Cl^- iyonları olmak üzere 1:1 oranı iyonlaşır. Bu durum donma noktasını düşürmede Mg^{2+} ve Ca^{2+} gibi 2A grubu elementlerinden meydana gelen tuzlar kadar etkili olamamasına sebep olmaktadır. Ucuz olması diğer tuzların yanında maliyeti düşürmesi için katkı maddesi olarak kullanılmasını sağlayabilmektedir. NaCl bitki örtüsüne, asfalta, araçların tamponuna zarar veren bir tuzdur. Klorürlü tuzlar da korozif etki görülse de NaCl tuzunun korozif etkisi daha fazladır (Koefod, 2012).

Çizelge 1.2. Buz giderici tuzların korozif etkilerinin karşılaştırılması (Koefod, 2012)



Çizelge 1.2 de potasyum asetat tuzunun korozif etkisinin sudan bile daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum potasyum asetat tuzunun çevre dostu bir buz/kar giderici olduğunun bir göstergesi olmaktadır.

1.3.2. Magnezyum klorür tuzu ($MgCl_2$)

$MgCl_2$ tuzu kar/buz giderme çalışmalarında NaCl tuzuna oranla çevreye olan olumsuz etkinin daha az olması, donma noktasını çok daha aşağılara çekmesi ve çözünürken ekzotermik bir şekilde çözünmesi nedeniyle NaCl tuzunun alternatifi olarak

kullanılabilen bir buz gidericidir. Çizelge 1.2 de görülebileceği gibi $MgCl_2$ tuzu, klorürlü tuzların içerisinde en az korozif etkiye sebep olan tuz olmaktadır. Maliyet olarak değerlendirildiğinde NaCl tuzuna nazaran daha pahalı bir tuz olsa da, verimliliği ve kendisine ilave edilecek katkı maddeleri ile desteklenebileceği düşünüldüğünde buz giderme için en uygun tuzlardan birisi haline gelebilmektedir. Donma noktasını NaCl tuzuna göre daha aşağılara çekmesindeki önemli etken $MgCl_2$ suda iyonlaştığında (1.4) NaCl gibi bire bir değil bire iki oranında iyon vermesi.

$$MgCl_2 \rightarrow Mg^{2+} + 2Cl^- \quad (1.4)$$

1.3.3. Kalsiyum klorür ($CaCl_2$)

NaCl tuzunun alternatifi olarak kullanılan tuzlardan biridir. NaCl'ye göre çözünürlüğünün yüksek olması ve ekzotermik bir şekilde çözünmesi daha fazla kar/buz giderebilme kapasitesi demektir. Kar/buz gidermede donma noktasını düşürürken ekzotermik bir çözünme de aynı zamanda buzun erimesine yardımcı olmaktadır. Korozif etkisi de $MgCl_2$ kadar düşük olmasa da, NaCl tuzundan daha düşüktür (Çizelge 1.2). Denklem 1.5'te görüldüğü gibi suda iyonlaştığında $MgCl_2$ gibi $CaCl_2$ de bir Ca^{2+} iyonuna karşılık $2Cl^-$ iyonu verdiğinden donma noktasını NaCl gibi bire bir oranında iyonlaşan bir tuzdan daha fazla düşürebilmektedir. Donma noktasını düşürmede verilen iyon sayısı direkt etkilidir.

$$CaCl_2 \rightarrow Ca^{2+} + 2Cl^- \quad (1.5)$$

1.3.4 Potasyum klorür (KCl)

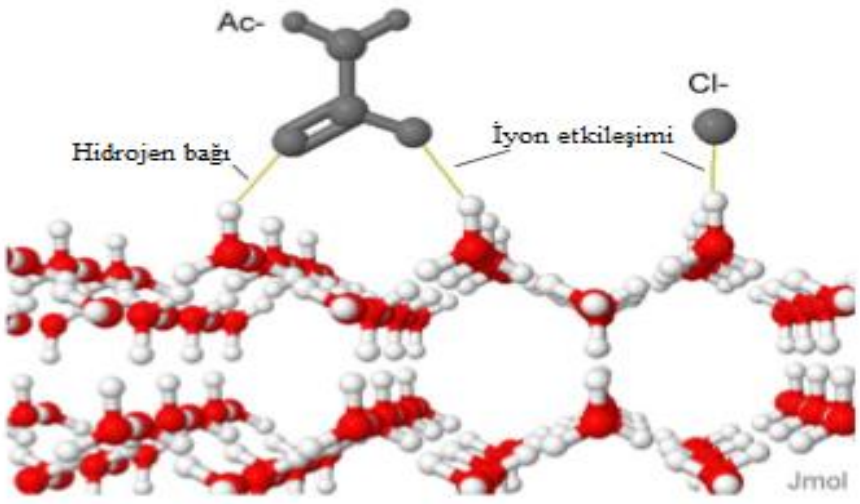
Potasyum ve klorürden oluşan bu kokusuz tuz suda yüksek çözünürlüğe sahip olan bir tuzdur. Potasyum klorür tuzu klorür içerdiğinden dolayı çevreye olumsuz etkisi olmaktadır. Kar/buz giderici olarak çok etkili olmamasından dolayı çok tercih edilen bir tuz değildir. Oluştuğu beyaz kristaller yüzey merkezli kübik olarak istiflenirler.

1.3.5. Potasyum asetat (KAc)

$MgCl_2$, $CaCl_2$, NaCl gibi klorür tabanlı tuzlar ile karşılaştırıldığında daha çevre dostu ve yüksek çözünürlüğe sahip tuzdur. Çizelge 1.2'ye göre bakıldığında korozif etkisinin ne kadar düşük olduğu görülebilmektedir. Donma noktasını düşürmede $MgCl_2$ tuzu kadar etkili değildir, fakat buz giderme kapasitesi de sadece donma noktasını aşağıya çekmeye

değil, yüksek çözünürlük, çözünürken ekzotermik bir biçimde çözünme gibi parametrelere de bağlıdır.

Asetat tuzları klorürlü tuzlara göre suda daha iyi çözünürler. Asetat yapıları klor iyonlarına göre suyla daha fazla etkileşime geçip bağ kurarlar (Wåhlin ve Klein-Paste, 2015).



Şekil 1.4. Asetat ve klor iyonlarının buz yüzeyine tutunma biçimleri(Wåhlin ve Klein-Paste, 2015)

1.3.6. Kalsiyum magnezyum asetat (CMA)

CMA asetatlı bir tuz olmasından dolayı klorürlü tuzlara göre korozif etkisi düşüktür, özellikle içme suyu, beton, bitkiler açısından en güvenli tuzlardan biridir (Ahmedzade ve ark.). Asfalt yüzeyini kaplaması nem riskini ve yüzey hasarlarını azaltmaktadır fakat maliyet olarak yüksek bir kar/buz gidericidir. Bundan dolayı köprü/viyadük gibi hassas bölgelerde kullanılmaktadır (Yörükoğulları, 2005). CMA dolamit taşı ile asetik asitik reaksiyonundan meydana gelmektedir.

1.3.7. Üre

Kar/buz giderici olarak kullanılsa da tek başına çok etkili olmayan bir organik maddedir. -12°C'den daha düşük sıcaklıklarda kullanılamamaktadır. Endotermik bir biçimde çözünmesi de kar/buz giderimi süresini artırmaktadır. Tuzların yanında katkı maddesi olarak ya da sadece belli bölgelerde kullanılabilmektedir. Klorürlü tuzlar kadar

metallere korozif etkisi olmadığından köprü ve viyadüklerde tercih edilmektedir. Fakat yol kenarındaki bitkilerin aşırı büyümesine neden olup onlara zarar vermektedir. Ayrıca canlılara zarar veren NH_4 iyonunun oluşmasına neden olmaktadır (Gürer ve ark., 2015).

1.3.8. Mono etilen glikol

Mono etilen glikol suyun donma noktasını düşürdüğü için genelde antifiriz olarak kullanılmaktadır. Su ile yüzde 60 oranında karışımı suyun donma noktasını -55°C kadar düşürür (Anonim, 2012).

1.4. Buz Gidericinin Buza Etkisi

Kar/buz giderici tuz-organik karışımların kar/buz üzerindekini tesirini sadece donma noktası düşüşüne bakarak anlayamayız**.** Tuz-organik karışımının çözünürlüğü, çözünme şekli, donma noktasını aşağıya çekmedeki etkisi, ötektik nokta gibi parametrelerin hepsi birlikte kar/buzun giderilmesinde etkili olmaktadır.

Tuz-organik karışımının çözünürlüğü: KAc çok hızlı çözünme özelliğine sahip bir tuzdur. Çözünürlük yüksek olduğunda kar/buz giderici maddenin kar/buza nüfuz etmesi daha hızlı olmaktadır. Bu sebepten dolayı çözünme hızı buz gidermede önemli bir faktördür

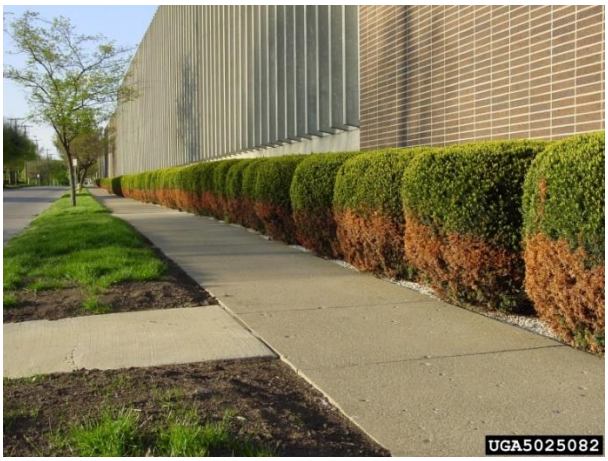
Çözünme şekli: $MgCl_2$, $CaCl_2$ gibi tuzlar çözündüklerinde ekzotermik bir biçimde çözünürler, bu durumda kar/buzun donma noktasını aşağıya çektikleri gibi ayrıca ısı da vererek kar/buzun erimesini sağlamaktadırlar. Ekzotermik çözünme de kar/buz giderimini hızlandıran bir faktördür.

Ötektik nokta: Tuz derişimi arttıkça kar/buz giderimi de artmaktadır fakat derişim sonsuza kadar artırılamaz, ötektik nokta aşıldığında tuzun donma noktasını düşürme etkisi kaybolur. Derişim en fazla ötektik noktaya kadar artırılabilir. Bu durumda ötektik noktası yüksek olan tuzların derişimini de ona göre artırabiliriz. Bir tuzun derişimi ne kadar çok artırılabilirse, kar/buz giderme potansiyeli de o kadar yüksektir. Suyun donma noktası aşağıya çekildikçe su sıvı halde kalmaya zorlanır, bu durum kar/buzun katı halden sıvı hale geçmesi dolayısıyla buzun giderilmiş olması demektir. Ayrıca suyun donma noktasının aşağıda olması gibi donma süresinin uzun olması da önemlidir. Bazı organikler suyun donma noktasını uzatabilirler (glikol, şeker). Örneğin şeker suyun donma noktasını düşürmede etkili olmamakla beraber donma süresini artırmaktadır,

bunun anlamı sıfırın altında donan su, şeker ilave edildiğinde yine sıfırın altında donmaktadır fakat buz haline geçme süresi daha fazladır. Kutup bölgelerinde yaşayan balıkların sırt kısmından çıkarılan, bazı bitkilerden de elde edilen madde de aynı şekilde buz kristallerinin oluşmasını yavaşlatmaktadır (Koefod, 2012).

1.5. Tuzların Çevreye Olan Etkisi

Özellikle yaygın olarak kullanılan NaCl tuzunun bitki örtüsüne, su kaynaklarına, araçlara, yollara zarar verdiği tespit edilmiştir. Çulha ve Çakırlar (2011), Hu ve Schmidhalter (2005) NaCl tuzundaki Na^+ ve Cl^- iyonlarının K^+, Ca^{2+} ve NO_3^- iyonlarının yerine geçmesiyle bitkilerde yetersiz beslenmeye neden olduğunu belirtmektedir. NaCl bitkiye zarar verdiği gibi bitki köklerini çevreleyen toprak ekosistemine de zarar vermektedir (Ke ve ark., 2013). Ayrıca yapılan bir çalışmada tuzlama çalışmalarından dolayı Na^+ iyonlarının trafiğin yoğun olduğu bölgelerde daha fazla biriktiği bunun da yapraklardaki klorofil konsantrasyonunu düşürebildiği tespit edilmiştir (Equiza ve ark., 2017). $MgCl_2$ tuzunun korozif etkisi düşük olsa da kullanırken dikkat edilmesi gerekmektedir. Betonla kimyasal reaksiyona girdiğinden dolayı betona zarar vermektedir (Farnam ve ark., 2015). Tuzlar yeraltı sularına ve su kuyularına klor iyonlarını vererek zarar vermektedir. Suda klor derişiminin artması insan ve çevre sağlığına zararlı trihalometan oluşumuna neden olmaktadır (Küçükçongar ve ark., 2009). Gerekirse kritik bölgelerde asetatlı tuzlar kullanılmalıdır.



Şekil 1.5. Tuzların bitkilere verdiği zarar

Şekil 1.5'te tuz birikiminden dolayı bitkide kuruma başladığı görülmektedir. Buz giderme çalışmalarında tuz kullanım miktarına çok dikkat edilmelidir, çünkü yer altı ve yer üstü sularında belli bir miktar tuz derişimi vardır ve toprakta tuz birikmesi ile hem

toprağın yapısı hem de bitki bundan olumsuz bir şekilde etkilenecektir (Ekmekçi ve ark., 2005).

1.6. Tuzlama Çalışmalarının Ülke Ekonomisine Maliyeti ve Teknolojik Yöntemler

Ülkemizde tuzlama çalışmaları maliyetine, sadece kullanılan tuz değil, personel giderleri, araç bakım onarımı, harcanan akaryakıt hatta tuzun asfaltta açtığı tahribattan dolayı yol bakım çalışmaları da dahildir. Karla/buzla mücadelede yolda biriken karın uzaklaştırılmasını amaçlanmaktadır. Karla/buzla mücadele ise iki kısımdan oluşmaktadır, birincisi kar/buz önleyici (anti-icing) kullanımı ile don oluşmadan önce koruma ikincisi de kar/buzlanma olduktan sonra kar/buz giderici (de-icing) ile müdahale etme şeklinde olmaktadır (Anonim, 2016a). Kar/buz mücadelesinde kullanılan kar/buz giderici kimyasalların maliyeti ve performansı, rüzgârla savrulan karın yolları kapatmasını önlemek için yapılacak kar perdelerinin ekonomiye katkısı olacaktır. Ayrıca gelişmiş teknolojik sistemler ile (otomatik buzlanma önleyici sprey, elektrik iletkenli asfalt kaplama sistemi vb.) de kar/buz mücadelesinin milyonlarca liralık maliyeti biraz daha düşürülebilir.

1.6.1. Otomatik buzlanma önleyici sprey sistemi

Hava sıcaklığı belli bir derecenin altına düştüğünde veya kar yağışı olduğunda verileri toplamakta olan sistem, otomatik olarak buz önleyici kimyasalları belirlenen kritik bölgelere püskürterek asfalt üzerinde bir tabaka oluşturarak buzun asfalta tutunmasına engel olmaktadır. Örnek bir uygulama olarak İstanbul'da Beylikdüzü - Haramidere rampasına otomatik meteoroloji gözlem analiz ve buz önleme sistemi kurulmuştur (Anonim).



Şekil 1.6. Otomatik buz önleyici sistemler (Goodwin, 2003)

Şekil 1.6'da sensörler köprü üzerine konularak resmedilmiştir. Sensörler özelilkle köprü/viyadük gibi bölgelere konulmalıdır, çünkü köprüler tabandan da ısı kaybettiği için yer yüzeyinden daha erken buzlanmaktadır. Bu da bu bölgelerdeki kaza riskini artırmaktadır. Ayrıca ülkemizde kullanılan buzlanma erken uyarı sistemleri (BEUS) ile buzlanma olmadan saatler öncesinde haber alınabilmektedir. Asfaltın iletkenliğini ölçen bu sistem nem yağış buzlanma ve hatta yola dökülen herhangi bir kimyasalın oranlarını tümüyle merkez bilgisayarlara iletip ayrıca bir sonraki buzlanmanın zamanını hesaplayıp yetkililere bildirmektedir (Anonim, 2016b).

1.6.2. Elektrik ile ısıtmalı asfalt sistemi

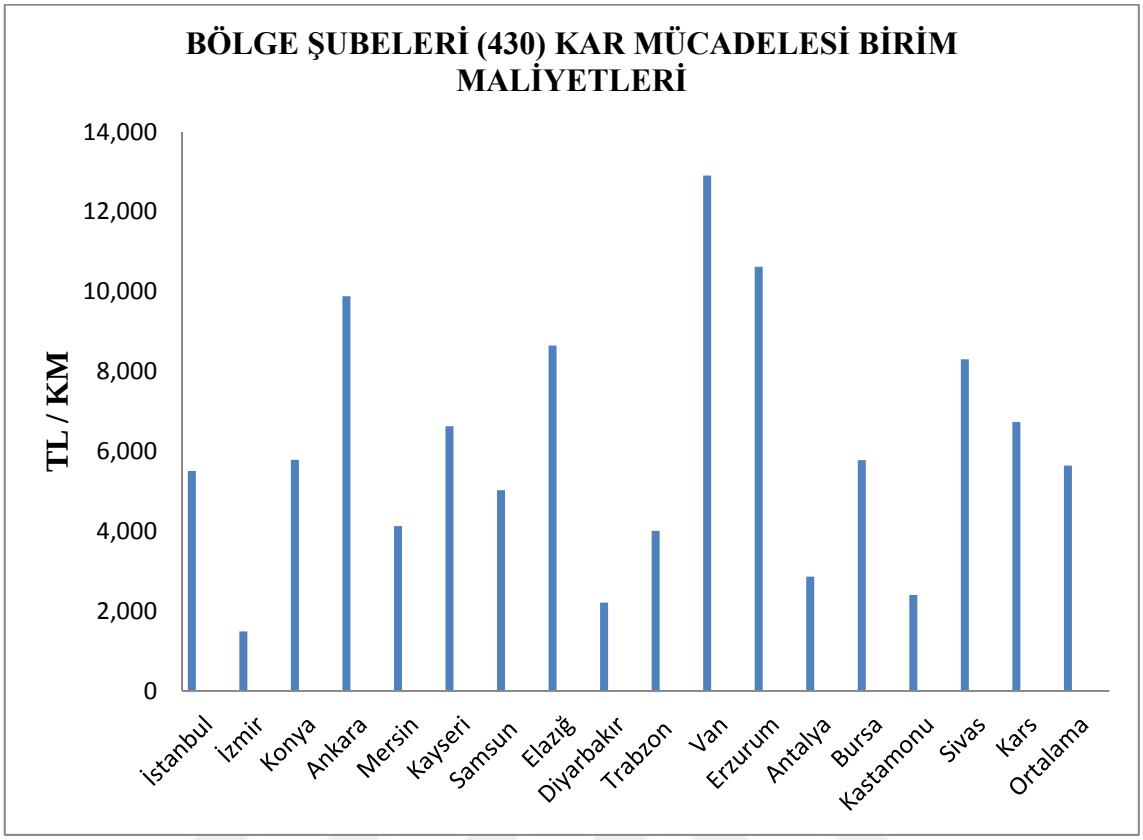
Kış aylarında kötü hava koşullarında karın yollarda ve havayolu pistlerinde birikmesi trafiğe engel olmaktadır. Özellikle havayollarında biriken kar uçuşların iptal olmasına neden olmaktadır ve bu durum da işletim ve çalışma saatleri açısından ekstra maliyet demektir. Elektrik iletkenliğinin artması için grafitlerle desteklenen asfalt elektrik enerjisini ısı enerjisine çevirerek yüzeydeki kar/buzun uzaklaşmasını sağlamaktadır (Derwin ve ark., 2003).



Şekil 1.7. Asfalt kaplamanın elektrikle ısıtılması (Anonymous)

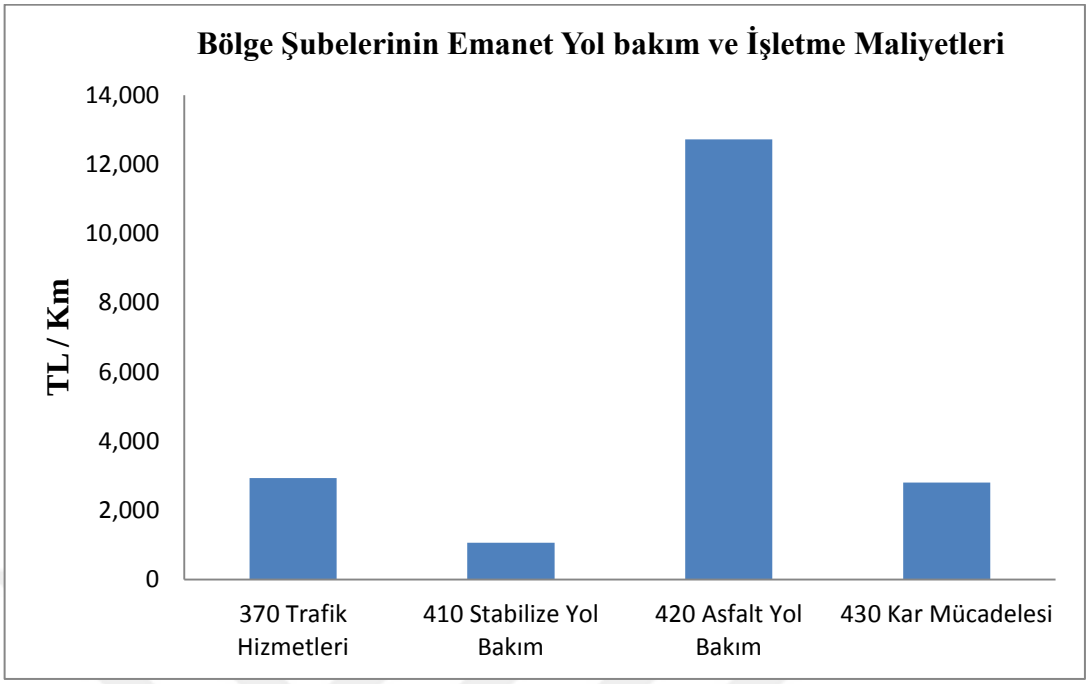
Şekil 1.7'de görüldüğü gibi rezistanslar vasıtası ile asfaltın alt katmanı elektrik ile ısıtılmaktadır. Asfalt üzerindeki canlılara zarar gelmemesi için üst katmanda elektrik iletkenliği yoktur. Alt katmanın elektrikle ısıtılması sonucu yüzeye sadece ısı enerjisi transfer edilmektedir. Li ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada karbon nano-fiber polimerin ısı kaynağı olarak kullanıldığı karbon nano tüpler ile iletkenliğin sağlandığı kendi kendine kar/buz giderebilen bir yol sistemi önermektedirler.

Çizelge 1.3. Bölge şubelerine göre km başına birim maliyeti (Anonim, 2016a)



Çizelge 1.3'de her şehir için yapılan toplam maliyet verilseydi İstanbul, Konya gibi illerin maliyetinin daha yüksek olduğunu görebilirdik. Km başına harcanan maliyetlere göre değerlendirme yapılan çizelgede, Van, Ankara, Erzurum illerinde km başına maliyetin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Ortalama olarak bölgeler bazında km başına 5000 TL den fazla harcama yapılmaktadır. Buz gidericilerin performansında yapılacak her bir iyileştirme ülke ekonomisine olumlu bir geri dönüş sağlayacaktır. Sadece kullanılacak kimyasalın maliyetini düşürmeye yönelik çalışma yapmak tek başına yeterli değildir. Kullanılacak kar/buz gidericinin miktarı ve yeri ne kadar hassas tespit edilirse uygulama verimi o kadar artacaktır. Bunun için termal haritalandırma yönteminden etkin bir biçimde faydalanmak gerekmektedir. Zira tuz kullanımının gereğinden fazla yapılması da fazladan maliyet demektir. Kar/buz mücadelesinde maliyetin düşürülmesi için kar/buz giderici maddenin türü, onun uygulanma biçimi ve teknolojik yöntemler dahil birçok alanda çalışma ve araştırma yapılması gerekmektedir. Ayrıca tuzların depolanması da önemli bir konu olmaktadır. Tuzların topluca stoklandığı yerlerde çevreye zarar verme riski fazladır. Tuzlar kapalı ve su geçirmez bir yapı içinde depolanmalıdır (Varış, 2007). Aksi takdirde yağmur suyu ile karışıp yer altı su kaynaklarına, bitki örtüsüne zarar verebilmektedir.

Çizelge 1.4. Bölge şubelerinin yol bakım ve işletme giderlerinin karşılaştırılması (Anonim, 2016a)



Çizelge 1.4'te görüldüğü üzere km başına emanet yol bakım ve işletme maliyetleri adı altında kar mücadelesi için 2.797 TL harcanmaktadır. Asfalt yol bakım maliyeti en yüksek kısım olsa da, tuzlama çalışmalarında zarar gören asfalt, yol bakım maliyetine dahil olduğu düşünüldüğünde kar mücadelesinin maliyeti çizelgede görülenden (2.797 TL) daha fazla olmaktadır. ABD'de yapılan bir araştırmaya göre, bir ton tuzun çevreye verdiği zarar 800 dolardır. Ali Okur'un (2008) hazırladığı tezde tuz yerine çevreye zarar vermeyen bir malzemenin kullanılmasının ABD ekonomisine katkısının yaklaşık yılda 100 milyon dolar olacağı tahmin edilmektedir (Okur, 2008). Buz giderici tuz olarak potasyum formatın kullanıldığı bir çalışmada buz giderici tuzun asfaltta soyulmalara neden olduğu belirlenmiştir (Santagata ve ark., 2013). Karayolları Genel Müdürlüğü verilerine göre 2015 yılında bölge şubeleri toplam tuz gideri 11.817.957 TL olmuştur. Kar/buz mücadelesindeki toplam gider 25.114.119 TL olmuştur (bölge şubelerine göre) (Anonim, 2016a). Bu maliyetin içerisine tuzun çevreye verdiği zarar dahil edilmemiştir, verilen zararında maliyeti düşünüldüğünde toplam giderin daha fazla artacağı düşünülmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Wahlin ve arkadaşlarının (2014) yaptığı bir çalışmada trafiğin etkisi ile sıkışan kar sertleşerek yolda kayganlığa sebep olmaktadır. Sodyum klorür çözeltisinin eklenmesinin kar sıkıştırmadan sonra kar sertliğini nasıl etkilediğini araştırmak için bir deney tasarlamışlardır. 500 kg/m^3 yoğunluğa kadar sıkıştırılan kar penatrasyon testi ile ölçüldü. Az miktarda eklenen sodyum klorür çözeltisi ile karın sertliği kuru karın %60'na düşmüştür. Eklenen çözelti miktarı arttıkça karın sertliği kademeli olarak azalmıştır. Son aşamada kar sertliği kuru karın 5'te birine düşmüştür. Tuzun çözelti olarak kullanılması tuz kayıplarını azaltacağı bu sayede tuz kullanımının da azalmasıyla çevrenin korunmasına katkıda bulunulacağı belirtilmiştir.

Barış Erdoğan (2008) çalışmasındaki temel amaç buzlanmayı engelleyici çözeltilerdeki temel bileşenlerin arasındaki etkileşimin viskozite, yüzey gerilimi, donma noktası gibi özelliklere etkisinin araştırılmasıdır. Viskozitenin; polimer, glikol konsantrasyonu, yüzey aktif madde, pH ile değişimleri detaylı olarak incelenmiştir. Buzlanmayı engelleyici maddenin, sıvının yüzey gerilimini düşürmesi, viskoziteyi artırması özellikle uçaklarda uçuş esnasında daha uzun süreli bir koruma sağlayacaktır. Poliakrilik asit koyulaştırıcı polimer olarak, Tribütilamin ile sodyum oleat ise yüzey aktif madde olarak istenilen fiziksel özelliklere yakın sonuç vermiştir.

Ali Okur (2008) yapmış olduğu çalışmada NaCl, $MgCl_2$, $CaCl_2$ tuz çözeltilerinin korozyona ve soyulmaya neden oldukları etki gözlemlenmiştir. NaCl tuzunun korozif etkisinin diğer tuzlara göre daha fazla olduğu tespit edilirken. $MgCl_2$ tuzunun içlerinde en az korozif etkiye sahip tuz olduğu belirlenmiştir. İnhibitör katkılı $MgCl_2$ de ise korozif etki daha da azalmıştır. Soyulma testinde de yine $MgCl_2$ asfalta en az zarar veren tuz olmuştur. Bunun yanında klorürlü tuzlara organik katkı maddeleri katarak tuzları daha çevre dostu tuzlar haline getirilebileceği belirtilirken deneylerin sonucuna göre bu tuzlar arasında en uygun tuzun $MgCl_2$ tuzu olduğu belirtilmiştir.

Wahlin ve arkadaşlarının (2015) yaptığı bir başka çalışmada ise kar birikintilerinin trafik araçları ile sıkışarak trafiği olumsuz etkilemektedir. Çalışmalarında kar kristalleri arasındaki bağı zayıflatmayı hedeflemektedirler. Çalışmalarının sonucunda Potasyum formatın etkili bir şekilde kar kristalleri arasındaki bağı zayıflattığını tespit etmişlerdir. Sodyum klorür ile de karşılaştırdıklarında potasyum formatın yaptığı etkiyi yapması için üç kat daha fazla sodyum klorür eklenmesi gerektiği belirtilmiştir.

Acheeva ve arkadaşları (2015) Sodyum, kalsiyum, magnezyum klorür tuzlarına %33-66 oranında potasyum klorür tuzu eklenmesiyle buz giderme özellikleri incelenmiştir. İlave edilen potasyum klorür tuzu ile buz giderme kabiliyeti daha azalmıştır. Daha sonra daha küçük miktarlarda ilave yapılmıştır. Sodyum format %3-7 oranında ayrıca sodyum format %3-7 ve potasyum klorür %10 oranında birlikte ilave edildiğinde ise önceki büyük miktarlarda ilave edildiğindeki gibi buz giderme özelliklerinde düşüş de gelişme de gözlenmemiştir fakat maliyet artmıştır. Deneysel çalışmada bu buz gidericilerin kullanılmasının çok da makul olmadığı belirtilmiştir.

Acheeva ve arkadaşlarının (2014) yaptıkları çalışmada $MgCH_3COO$ NaCl gibi tuzların belirli konsantrasyonlarda 0°C ile -30°C arasındaki sıcaklıklarda buz giderme kabiliyetleri ölçülmüş ve ötektik noktaları ayrı ayrı belirlenmiştir. Sıvı buz gidericiler; korozif etkilerinin daha düşük olması nedeniyle tavsiye edilmiştir. Ayrıca korozyon inhibitörü eklendiğinde korozifite oranının azaldığı belirlenmiştir.

Danilov ve arkadaşları (2016) tarafından $Mg(NO_3)_2$ ve $Ca(NO_3)_2$ bileşiklerinin belirli konsantrasyonlarda buz giderme kabiliyeti gözlemlenmiştir (Ötektik nokta, buz eritme miktarının ölçülmesi vb.) $Mg(NO_3)_2$ ve $Ca(NO_3)_2$ bileşiklerinin önce 150 °C derecede kurutularak bileşiklere bağlı olan suyun büyük miktarı kurutulmuştur. Daha sonra bu bileşiklerin 1:1 oranda (%20 - %20 oranlarında) karıştırılması halinde ötektik nokta -41 °C'ye kadar düşmüştür. Böylece etkili bir buz giderme bu şartlarda sağlanmıştır. Korozif etkinin de yine korozyon inhibitörleri ile azaltılabileceği de belirtilmiştir.

Hui ve Wei(2011) de yapmış oldukları çalışmada tuzlu toprağın donma noktası üzerinde deneysel bir laboratuvar incelemesinin sonuçlarını sunmaktadır. Deneyin amacı sadece su ve tuz içerikleri değil, aynı zamanda toprak ve iyon türlerinin de donma noktasını nasıl etkilediğidir. Sonuçlar toprak türünden bağımsız olarak donma noktasının tuz oranı arttıkça düştüğünü su oranı arttıkça yükseldiğini göstermektedir. İçerdiği tuz oranı ve su oranı sabit olduğunda toprak parçasının tane boyutunun incelmesi donma noktasını azaltmaktadır fakat donma noktasını asıl etkileyen etken içerdiği tuz ve su miktarlarıdır. Tuz oranı arttıkça donma noktasi toprak tipinden bağımsız olarak düşmektedir. Su oranı arttıkça da aynı şekilde (toprak tipinden bağımsız olarak) donma noktası yükselmektedir.

Meriç Varış (2007) yapmış olduğu çalışmasında buz kontrol çalışmalarında kullanılan aşındırıcı malzemeler ile ilgili araştırma yapmıştır. Buz giderme çalışmalarında

aşındırıcı olarak yaygın bir şekilde kullanılan kum ile Isparta Karakaya pomzasının aşındırıcı olarak karşılaştırması yapılmıştır. Kum ile pomza aşındırıcı olarak kullanıldığında buz giderme üzerinde oluşturacağı etki incelenmiştir. Kum ve pomzanın sonuçları birbirine yakın çıkmıştır. Hatta kullanılan pomzanın ağırlığı arttıkça özelliklerinin kuma yaklaştığı hatta geçebileceği belirtilmiştir. Pomzanın aşındırıcı olarak kullanılması ile trafikte araçların kum kullanıldığındaki savrulması engellenecektir. Ayrıca pomzanın kenar bitkilerine hiçbir zararı olmadığı hatta faydası olduğu da belirtilmiştir.

Laura Fay ve Shi Xianming (2011) yaptıkları çalışmada çeşitli buz gidercilerin buz giderebilme kapasitesi ve korozif etkisi gibi etkilerini incelemişlerdir. 0°C, -5°C, -18 °C'de yapmış oldukları testler sonucunda katı buz giderciler (NaCl, NaFormat, NaAc) sıvı buz gidericilerden ($MgCl_2$) daha etkili olmuştur. Fakat – 18°C derecede NaAc ve NaFormat buz gidermeye hiç etki edememişken NaCl'nin de çok az bir etkisi olmuştur. Buna karşılık $MgCl_2$ tuzu bu tuzlarla karşılaştırıldığında oldukça etkili olmuştur.

Shi Xianming ve arkadaşlarının (2014) yapmış oldukları çalışmada çeşitli buz giderici tuzların özelliklerini karşılaştırmışlardır. Buz gidericilerin buz eritme kabiliyetlerini karşılaştırdıkları bir tabloda %30'luk sıvı $MgCl_2$(boise) tuzunun düşük sıcaklıklarda (ötektik noktasının düşük olmasından dolayı) diğer katı formdaki sodyum klorür gibi tuzlardan daha etkili olduğu belirlenmiştir. Fakat sıvı $MgCl_2$ tuzunun buz giderme etkisinin çok yüksek olmadığı bundan dolayı sıfıra yakın eksi derecelerde $MgCl_2$ tuzunun kullanımının çok uygun olmadığı çalışmadaki veriler üzerinden açıkça tespit edilebilir.

Jing Zihang (2009) yaptığı çalışmada kar/buzla mücadelede uygun bir metot belirlemek için yaptığı araştırmada; $CaCl_2$, NaCl, KAc, $CaCl_2$, CMA tuzlarının özellikleri ve maliyetleri karşılaştırılmıştır daha sonra termal metotların maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Kar/buz mücadelesinde termal metotların maliyetinin yatırım maliyetinden dolayı daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Fakat termal metotların daha çevre dostu olduğuda çalışmada verilen tabloda ortaya konmuştur. Çalışmada $CaCl_2$ ve NaCl karışımı bir buz giderici önerilmektedir fakat çevreye olan minimal etki de göz önüne alındığında bazı özel bölgelerde termal metot kullanılabilir.

Binglei Xie ve ark.(2013) karla mücadele etmede kar giderici (deicer) aracına rota belirleyerek, aracın daha verimli çalışmasını amaçlamışlardır. Mekanik, manuel, fiziksel ve buz gidericilerin uygulandığı dört farklı kar giderme metotlarından kar/buz gidericilerin kullanılması en etkili metot olarak belirtildi. Kar giderme aracına yönlendirme rotası belirlerken karşılaşılabilecek problemler sınıflandırıldı. Kar/buz gidericiyi serpme aracının optimum en etkili rotasını belirlenmiştir böylece kar giderme verimini artarken, yol bakım maliyetini ve çevre kirliliğini azaltılacağı belirtilmiştir.

Zhenjum Wang ve ark. (2017) Buz giderici klorürlü tuzlarının yaygın olarak kullanılmasının çevresel problemlere neden olduğunu belirtmişler ve hacimce %0, %5, %10, %15 ve %20 tuz içeren asfalt karışımları hazırlamışlardır. Tuz içeren asfalt karışımı ile içermeyen asfaltın kar giderme performansı 4, 7, 10 saatlik gözlemler sonucu belirlenmiştir. Tuz içerikli asfalt 10 saatte üstündeki karların tamamına yakınını gidermişken, tuz içermeyen asfaltın üstü 10 saat sonra da aynı şekilde karla kaplı olduğu gösterilmiştir.

Frolava ve ark (2013) Kar/buz gidermek için çeşitli tuz ve karışımlarını denemişlerdir. NH_4NO_3, $NaNO_3$, $MgNO_3$, NH_4HCOO, NH_4CH_3COO, KCH_3COO, NaHCOO tuzları arasında en düşük ötektik noktaya sahip tuz-su ikili bileşimleri amonyum asetat-su ve potasyum asetat-su ikili bileşimlerdir. En fazla buz eritebilen ise amonyum format – su ikili bileşimidir (-10°C 5,45 g). Tuzlar karışım halinde kullanıldığında ötektik noktası daha da fazla düşebiliyor. $NaNO_3$-H_2O ve $NaCH_3COO$ – H_2O ikili sistemlerinin ötektik noktaları sırasıyla -18 °C, -17°C iken $NaNO_3$ – $NaCH_3COO$ – H_2O sisteminde ötektik nokta -24.5 °C'dir. Tuzlar karışım halinde daha etkili olabileceği çalışmadaki tablo verilerinden tespit edilebilmektedir. Dörtlü sistemlerde ör:$NaNO_3$-$NaCH_3COO$-H_2O (dört farklı iyon) maliyeti düşük, buz eritme verimi yüksek bir bileşiktir ayrıca düşük sıcaklıklarda jelleşme görülmez. Dörtlü karışımlarda en etkili bileşikler NH_3CH_3COO – $NaNO_3$, $NaNO_3$ – NH_3HCOO, $MgNO_3$ – $NaCH_3COO$ olarak belirlenmiştir.

Shi Xianming ve ark.(2013b) klorür bazlı buz giderici materyallerin avantaj ve dezavantajlarını incelemişlerdir. Klorür bazlı ürünlerin buz giderme, buz önleme, ön ıslatma gibi geniş bir uygulama alanı vardır ayrıca yol kullanıcılarına güvenli sürüş sağlar. Klorürlü bazlı ürünlerde ürünün etkinliği ve maliyeti göz önüne alındığı belirtilmiştir ancak motorlu taşıtlar, altyapı ve çevreye verdiği zarar klorür bazlı ürünlerin bir dezavantajıdır. Klorür esaslı buz kontrol ürünlerinin korozyon ve çevre

maliyetlerinin ton başına en az 469 dolara vardığı fakat bu gibi durumların buz kontrol çalışmalarında çok dikkate alınmadığı belirtilmiştir. Bu gibi gizli maliyetlerin önemi klor esaslı ürünlerin nominal maliyetleri ile karşılaştırıldığında çok daha önemlidir. Çalışmada püf nokta, kış bakım çalışmalarında yol güvenliği, çevre ve alt yapısı koruması, ekonomi gibi faktörler arasındaki dengeyi sağlamaya çalışmaktır.

Özgan ve ark.(2013), asfalt betonun bazı mühendislik özellikleri saf su ve farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılarak istatistiksel ve deneysel olarak incelenmiştir. Saf su ve 1M, 3M, 4M sodyum klorür 1 M kalsiyum klorür çözeltileri ile korozif ortam oluşturulmuştur. 7 tane referans asfalt beton numunesi ile her bir korozif ortam için de 7 tane asfalf beton numunesi hazırlandı. Böylece toplamda 42 adet numune hazırlandı. Referans numuneleri dahil olmak üzere tüm asfalt beton örneklerinin belli fiziksel özellikleri korozif işleminden önce incelenmiştir. Referans numunelerinin fiziksel özellikleri belirlendikten sonra Marshall testi uygulanmış ve aynı zamanda numunelerin akış değeri ölçülmüştür. Referans numuneler dışındaki numuneler korozif ortama maruz bırakılmıştır. Deneysel test tamamladıktan sonra, elde edilen veriler, korozif ortama maruz bırakılan asfalt beton örneklerinin referanslarının verileri ile karşılaştırılmıştır. Tüm asfalt beton örneklerin fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki ilişkiler araştırılmış ve her buz çözücü madde malzeme için istatistiksel yöntemler kullanılmıştır.

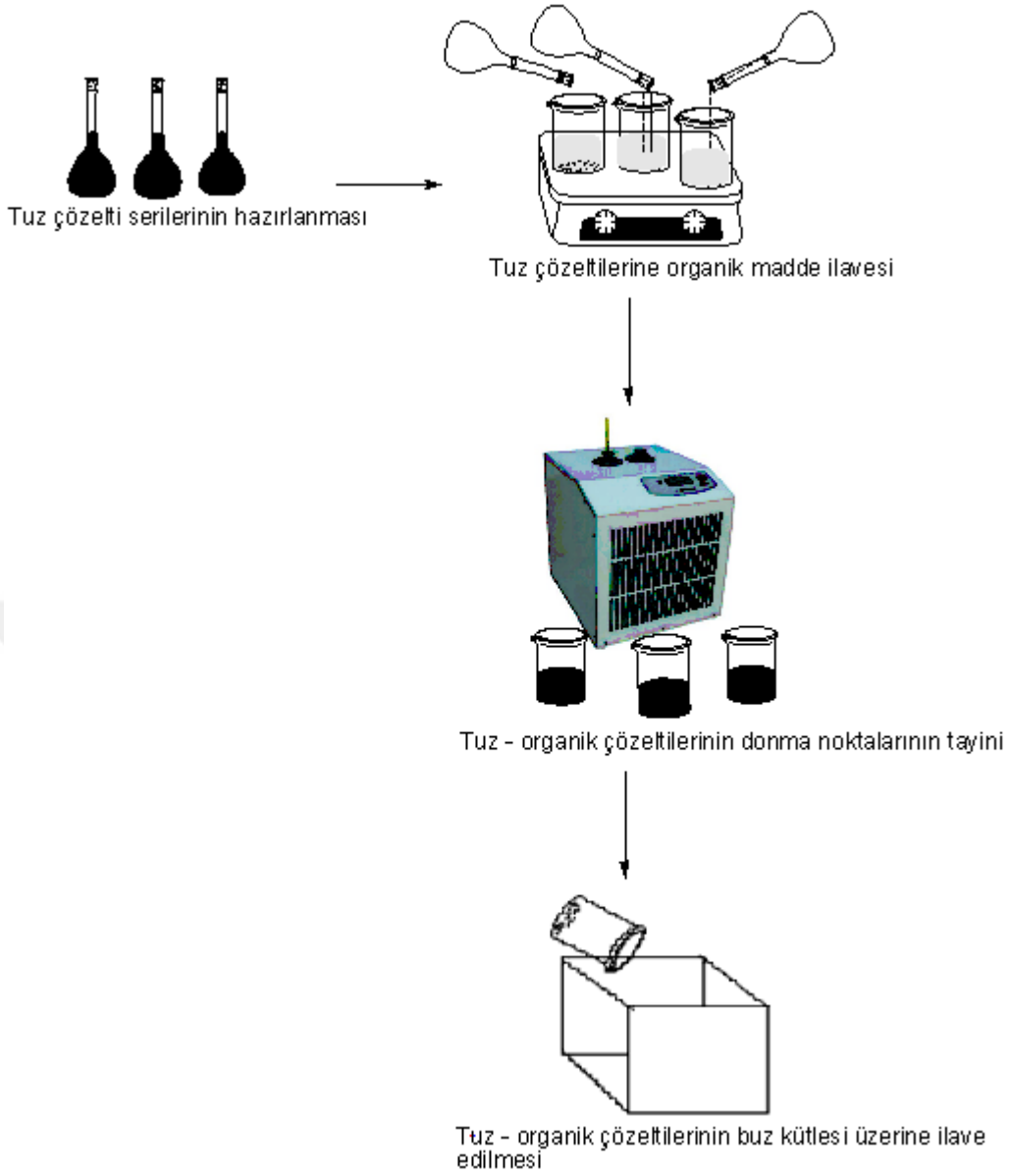
Shi Xianming ve ark (2013a) katı (NaCl, $CaCl_2.2H_2O$, $MgCl_2.6H_2O$) ve sıvı (%23NaCl, %32$CaCl_2$, %30$MgCl_2$) buz gidericilere -1°C, -9°C, -18°C'de 60dk süre içerisinde kar eritme testleri yapılmıştır. -1°C'de NaCl ilk 30 dk'da performansı düşük görülürken 40dk'dan sonra performansı hızla yükselmiş ve 60dk'nın sonunda $CaCl_2.2H_2O$ ile birlikte en iyi performansı gösteren tuz olmuştur. -9°C derecede tuzların genel olarak başlangıç performansları düşerken, $CaCl_2.2H_2O$ ve NaCl'nin performansları biraz daha artmıştır. 60 dk sonunda NaCl en fazla buz eriten tuz olmuştur. -18°C de ise NaCl performansı iyice düşerken en yüksek performansı gösteren $CaCl_2.2H_2O$ onun ardından gelen $MgCl_2.6H_2O$ tuzlarının kar eritme açısından en etkili tuzlar olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak düşük sıcaklıklarda $MgCl_2$ tuzu etkiliyken yüksek sıcaklıklarda NaCl etkili bir tuzdur. $CaCl_2$ ise hem yüksek hem düşük sıcaklıklarda etkili bir tuzdur. Katı buz gidercilerin de sıvı buz gidericilerden genel anlamda daha verimli olduğu çalışma verilerinde ortaya konmuştur.

Giuliani ve ark. (2012) Çalışmada, buz giderici dolgulu (sodyum klorür) asfalt malzemelerin buz giderme performansları incelenmiş. Kalkerli dolgu maddesi içeren numuneler ile buz önleyici dolgulu numuneler karşılaştırıldığında buz önleyici (NaCl) dolgulu numunelerin yüzeyde buz oluşumunu geciktirdiği ve oluşan buzunda asfalt ile arasındaki adezyon kuvvetini zayıflatarak asfaltın buzdan giderilmesini kolaylaştırdığı belirtilmiştir.

Scott Koefod (2012) Çalışmasında $MgCl_2$ ve K_2CO_3 gibi sıvı buz gidericilerin ötektik noktaları ve buz eritme kapasitelerinin organik katkı madde ilavesi ile nasıl değiştiğini incelemiştir. $MgCl_2$ tuzuna ksilitol eklediğinde donma noktasının gitgide düştüğü, fakat buz eritme kapasitesinin de düştüğü tespit edilmiştir. K_2CO_3'e tarımsal bir yan ürün katkı maddesi olarak eklendiğinde benzer bir şekilde donma noktasının düştüğünün fakat buz eritme kapasitesinin düştüğü görülmüştür. Bunun nedeni organik katkı maddesi ilave edildiğinde tuz miktarı da düşürülmekte bu durumun buz eritme kapasitesinin düşmesini açıkladığı belirtilmiştir.

3. MATERYAL YÖNTEM

Yapmış olduğumuz deneysel çalışmalarda, farklı tuzların suyun donma noktasını ne kadar düşürdüğü gözlemlenmiştir. Kütlece tuz miktarları değiştirilerek donma noktasının dip noktaları tespit edilmiştir (ötektik nokta). Hazırlayacağımız karışım halindeki tuzlar için ötektik nokta dikkate alınarak yeni tuz çözeltileri serileri hazırlanmış ve karışımların donma noktasını daha fazla düşürmek için organik maddeler ilave edilmiştir. Hazırlanan tuz çözeltileri için donma noktası testleri yapılmıştır. Bu tuz çözeltilerine donma noktası düşürücü organik maddeler ekleyerek daha düşük sıcaklıklarda donan ve donma süreci uzun olan tuz-organik karışımları belirlenmiştir. Tuz çözeltilerine belli oranlarda ilave edilen organik maddeler (melas, üre, sorbitol vs) ile hazırlanan tuz-organik karışımların donma noktalarındaki değişim araştırılmıştır. Belirlediğimiz bazı tuz-organik karışımlarının donma süreleri hesaplanarak organik maddelerden sorbitol ve melasın çözeltinin donma süresine etkisi incelendi. Daha sonra çözelti içerisinde donma noktası çok düşük, donma süresi de çok uzun olan üç tuz-organik karışımı belirlenmiştir. Hazırlanan tuz-organik karışımları 2 gr. buz içeren kalıplara ilave edilmiştir. Buz numunelerindeki ağırlık miktarı değişimi 30 dk'lık aralıklarla incelenerek tuz-organik karışımlarının buz eritme verimi hesaplanmıştır.



Şekil 3.1. Deneysel süreç şeması

3.1. Kullanılan Kimyasal Maddelerin Fiziksel Özellikler

Deneyler esnasında kullanılan kimyasal maddelerin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.1.1. Sırasıyla sodyum klorür ve magnezyum klorür tuzlarının fiziksel özellikleri

Kapalı Formül	NaCl	Kapalı Formül	$MgCl_2$
Molekül Ağırlığı	58.44 gr/mol	Molekül Ağırlığı	203.3 gr/mol
Koku	kokusuz	Koku	kokusuz
Erime Noktası	801°C	Erime	118 °C

Çizelge 3.1.2. Sırasıyla kalsiyum klorür ve potasyum klorür tuzlarının fiziksel özellikleri

Kapalı Formül	$CaCl_2$	Kapalı Formül	KCl
Molekül ağırlığı	110.98gr/mol	Molekül Ağırlığı	75.55gr/mol
Koku	Kokusuz	Koku	Kokusuz
Erime noktası	772-775 °C	Erime noktası	770°C

Çizelge 3.1.3. Sırasıyla potasyum asetat ve magnezyum asetat tuzlarının fiziksel özellikleri

Kapalı Formül	KCH_3COO	Kapalı Formül	$MgCH_3COO$
Molekül ağırlığı	98.15 g/mol	Molekül ağırlığı	142.39 gr/mol
Yoğunluk	1.57 g/cm^3	Yoğunluk	1.45 g/cm^3
Erime noktası	292 °C	Erime noktası	80 °C

Çizelge 3.1.4. Sodyum format tuzunun fiziksel özellikleri

Kapalı Formül	HCOONa
Molekül Ağırlığı	68.01 gr / mol
Erime Nok	253 °C
Yoğunluk	1.92 gr / cm^3

3.1.1. Polietilen glikol

Etilen monomerinin polimerizasyonu ile sentezlenen polietilen glikol, polimer olmasından dolayı fiziksel özellikleri üretim şekline, molekül ağırlığına bağlı olarak değişebilmektedir.

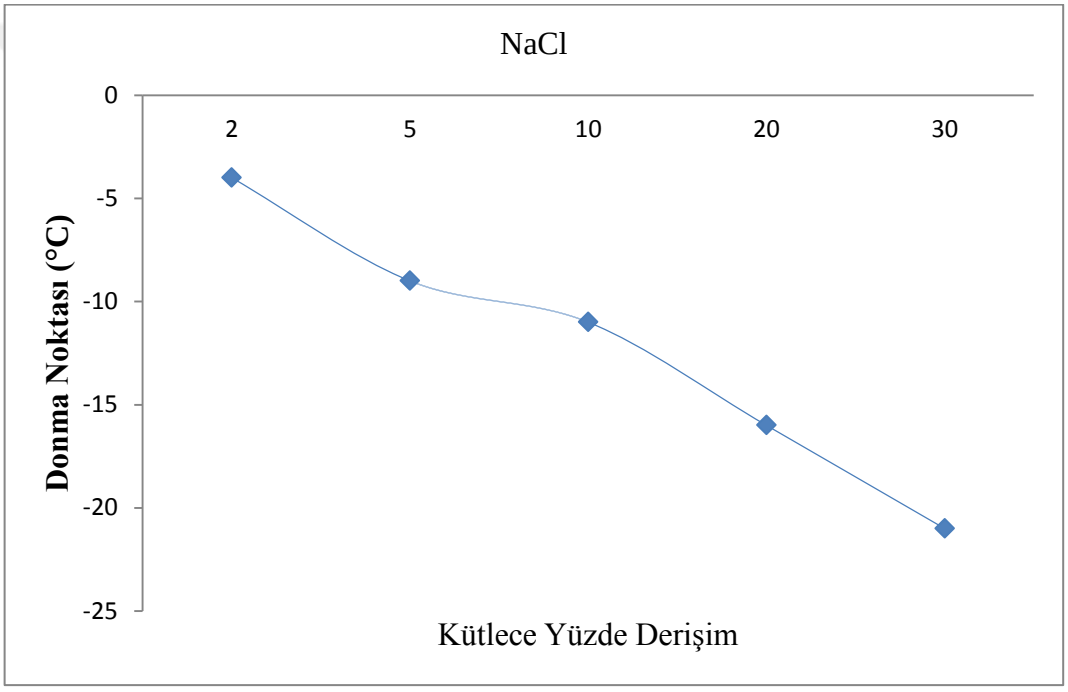
Çizelge 3.1.5. Sırasıyla üre ve sorbitolün fiziksel özellikleri

Kapalı Formül	CH_4N_2O	Kapalı Formül	$C_6H_{14}O_6$
Molekül ağırlığı	60.06 gr/mol	Molekül ağırlığı	182.17 gr/mol
Erime noktası	133 °C	Erime noktası	95 °C
Yoğunluk	1.32 gr/cm^3	Yoğunluk	1.49 gr/cm^3

Çizelge 3.1.6. Melasın fiziksel özellikleri

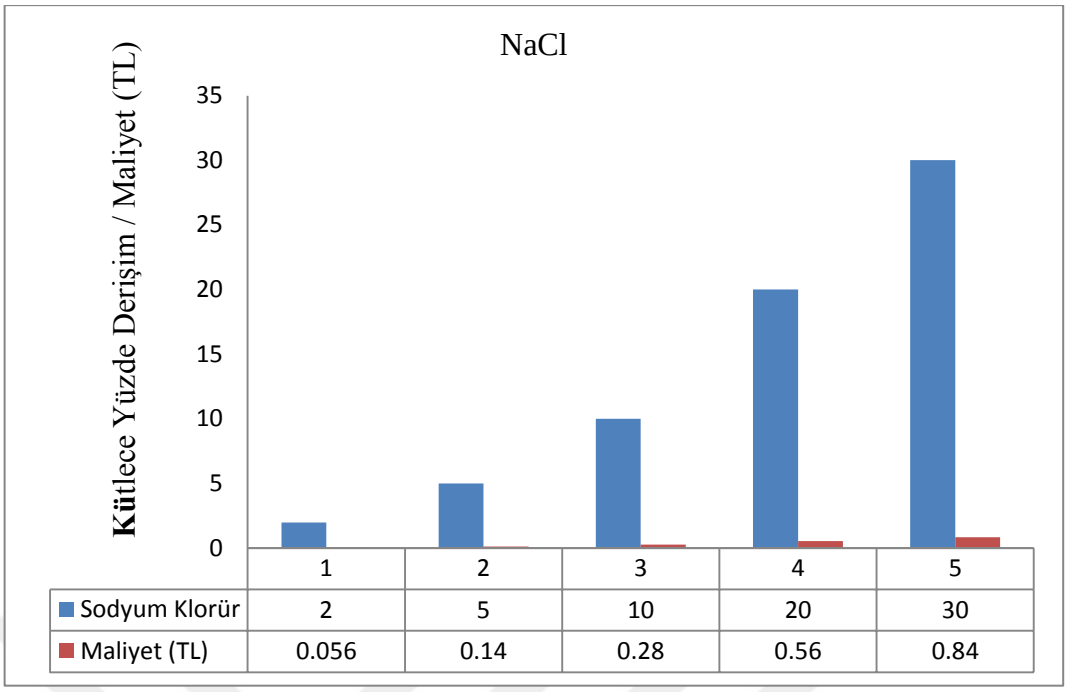
Kimyasal ismi	Melas
Yoğunluk	1.35 gr / cm^3
Renk	Siyah veya koyu kahverengi
Koku	Yanık şeker kokusu
Çözünürlük	Suda çözünür
pH	5

3.2. Tekli Tuz Çözeltilerinin Donma Noktası ve Maliyeti



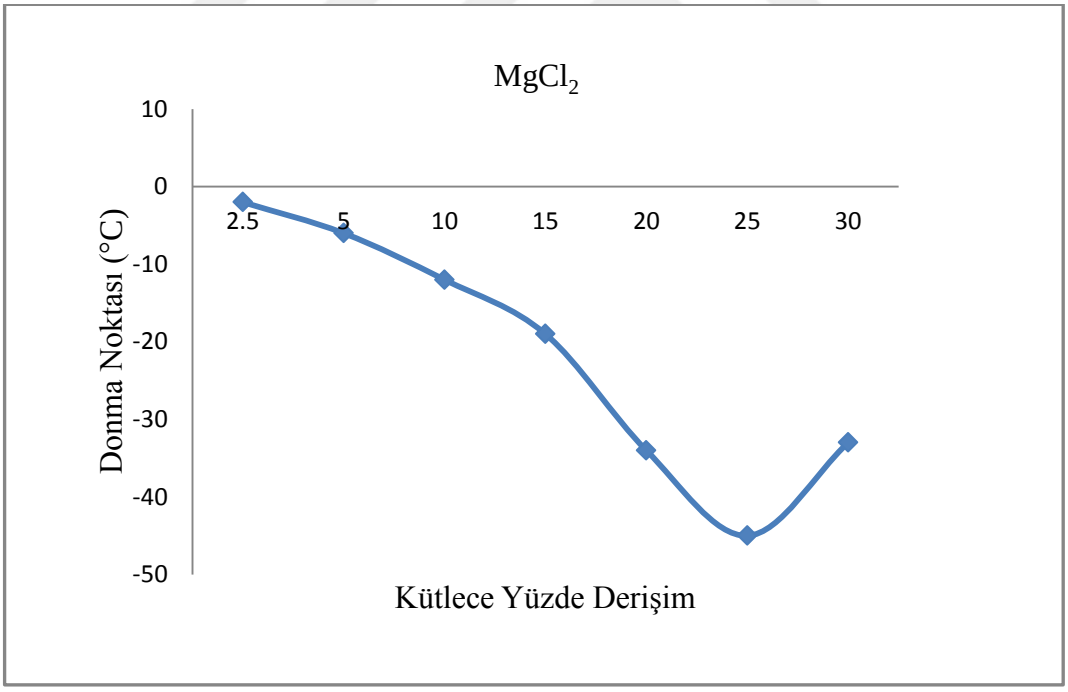
Şekil 3.2.1. NaCl tuz çözeltisinin derişime bağlı olarak donma noktası değişimi

Şekil 3.2.1'de NaCl buz giderici olarak çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Fakat çok düşük sıcaklıklarda yeterince etkili olamamaktadır. %30'luk kütlece derişime kadar çıkıldığı halde suyun donma noktasını sadece -21 °C'ye kadar düşülmüştür (Şekil 3.2.1). Bunun yanı sıra NaCl tuzunun korozif etkileri de yüksektir.



Şekil 3.2.2. NaCl çözeltisinin kütlece derişime bağlı olarak maliyet değişimi

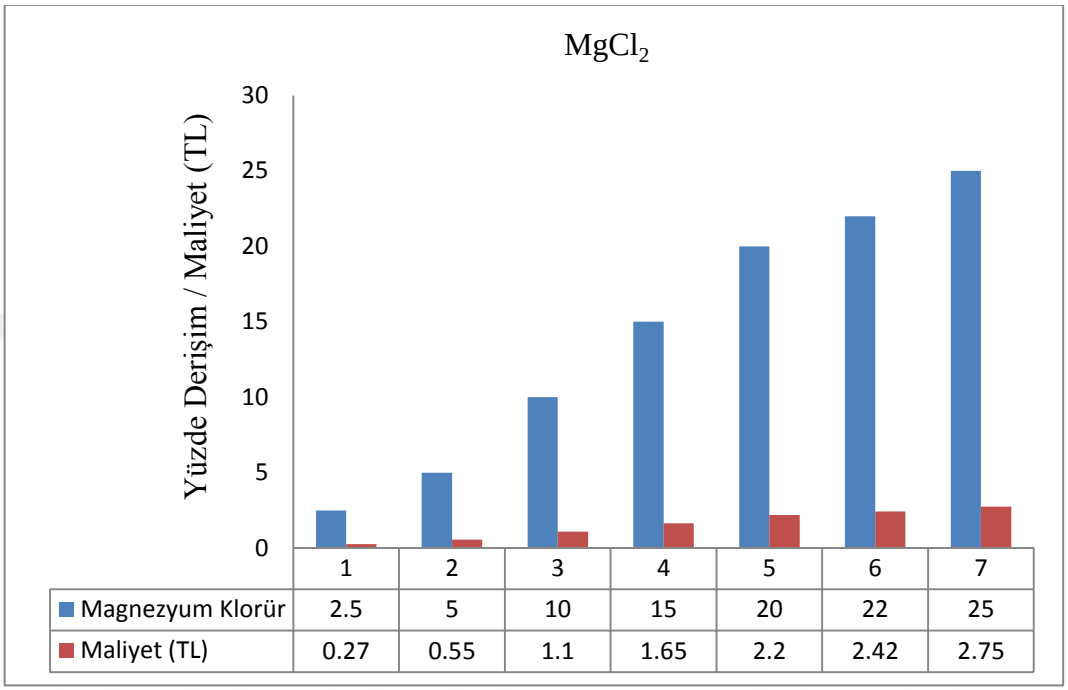
Harcadığımız NaCl'nin TL bazında maliyeti hesaplanmıştır.



Şekil 3.2.3. $MgCl_2$ çözeltisinin kütlece derişime bağlı olarak donma noktasının değişimi

Şekil 3.2.3'de görüldüğü gibi $MgCl_2$ tuzunun kütlece derişimi artırıldığı zaman $MgCl_2$'ün donma noktası hızlıca düşmüştür. % 25'lik $MgCl_2$ tuzunun donma noktası -45°C kadar düşmüştür ve çözeltide donma meydana gelmemiştir. Cihazımızla -45 °C'den daha düşük derecelerin ölçümünü alamadığımız için %25'lik $MgCl_2$ çözeltisinin

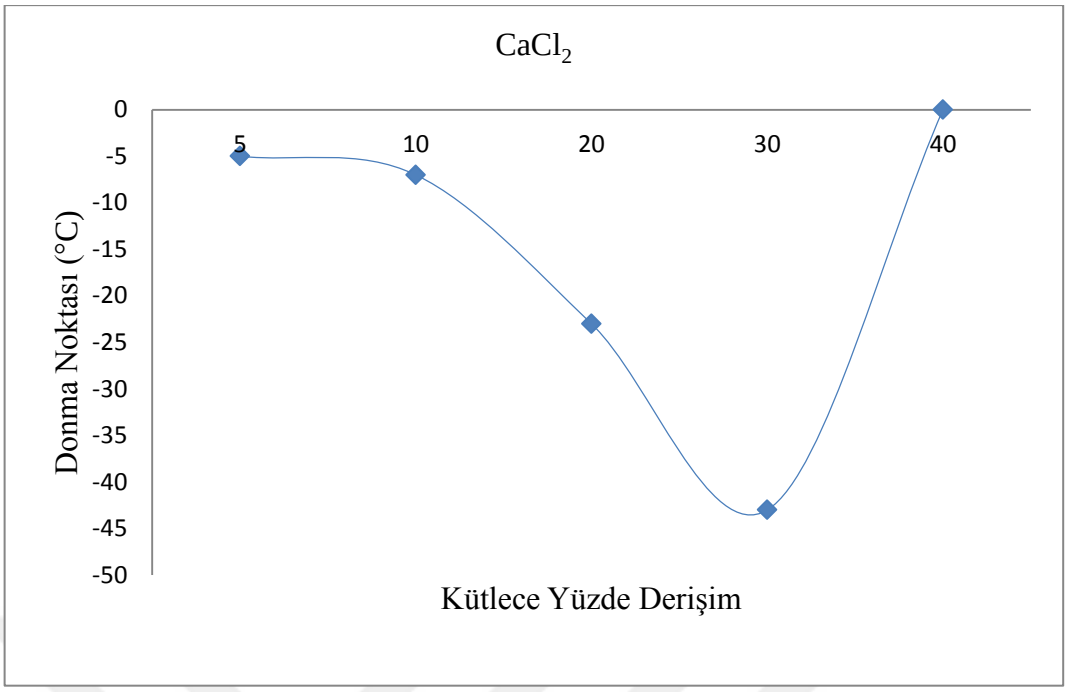
suyun donma noktasını -45°C'ye kadar çektiğini kabul edilmiştir. Kütlece yüzde 25'lik $MgCl_2$ tuzunun donma noktasını en fazla düşürdüğü konsantrasyon olarak belirlenmiştir. Derişim hesaplamada $MgCl_2$ tuzu kristal suyu molekül ağırlığı dahil edilmiştir ($MgCl_2.10H_2O$). Yaklaşık %47 su içerdiğinden dolayı istenilse bile çok yüksek derişimlere çıkılamaz. (Kütlece %47'den yukarıya çıkılamaz)



	1	2	3	4	5	6	7
Magnezyum Klorür	2.5	5	10	15	20	22	25
Maliyet (TL)	0.27	0.55	1.1	1.65	2.2	2.42	2.75

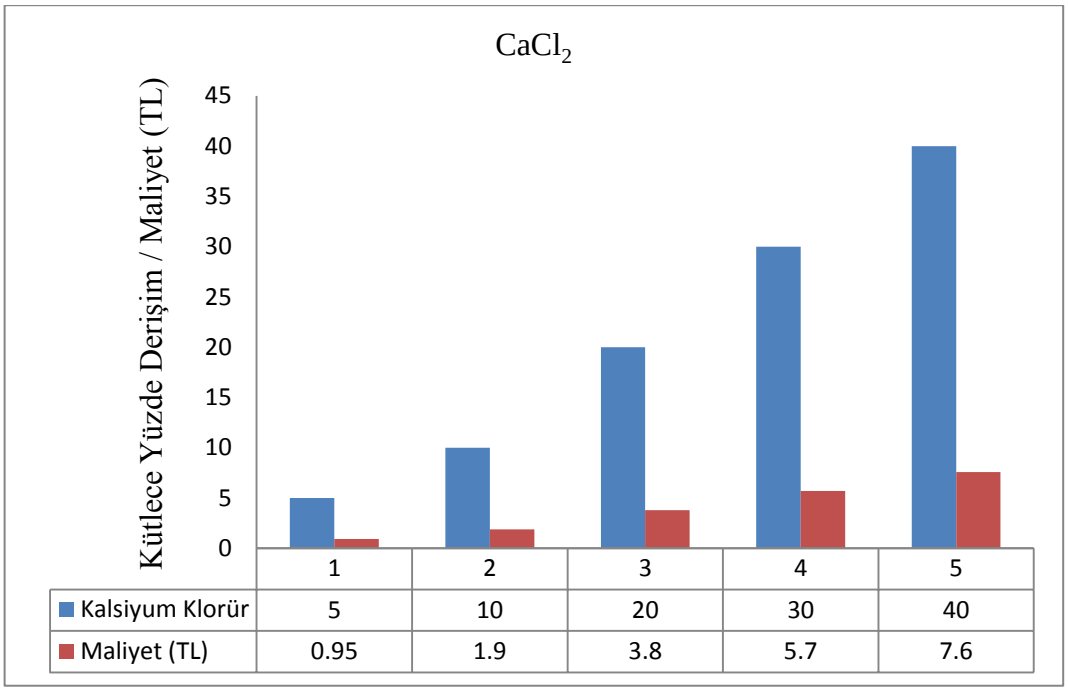
Şekil 3.1.4. Kütlece yüzde derişime bağlı olarak $MgCl_2$ tuzunun maliyetinin değişimi

Şekil 3.2.4'de görüldüğü gibi $MgCl_2$ tuzunun maliyeti kütlece derişimlerine göre hesaplanmıştır. $MgCl_2$ tuzu $CaCl_2$ tuzu ile karşılaştırıldığında maliyeti daha düşüktür ve donma noktası düşüşü en fazla $MgCl_2$ tuzunda görülmektedir.



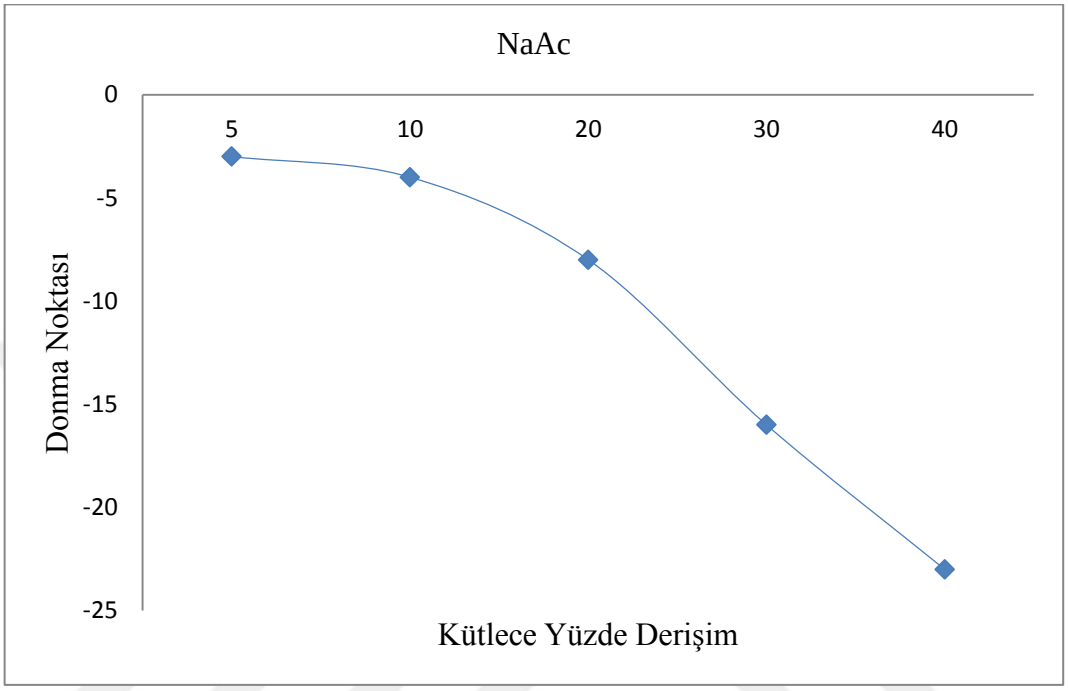
Şekil 3.2.5. Kütlece yüzde derişime bağlı olarak $CaCl_2$ çözeltisinin donma noktası değişimi

$CaCl_2$ tuzu (Şekil 3.2.5) $MgCl_2$ tuzu (Şekil 3.2.3) kadar yüksek performans göstermemiş olsa da, çözünürken oldukça yüksek ısı vererek çözünmektedir. % 30'luk kütlece derişimi $CaCl_2$'nin ötektik noktası olarak tespit edilmiştir. Ca^{2+} ve Mg^{2+} 2A grubu elementlerinden olduğundan klorürlü tuzlarında suya 3 iyon vererek çözünmektedir. Bu da donma noktasının aşağıya çekilmesinde etkili rol oynamaktadır.



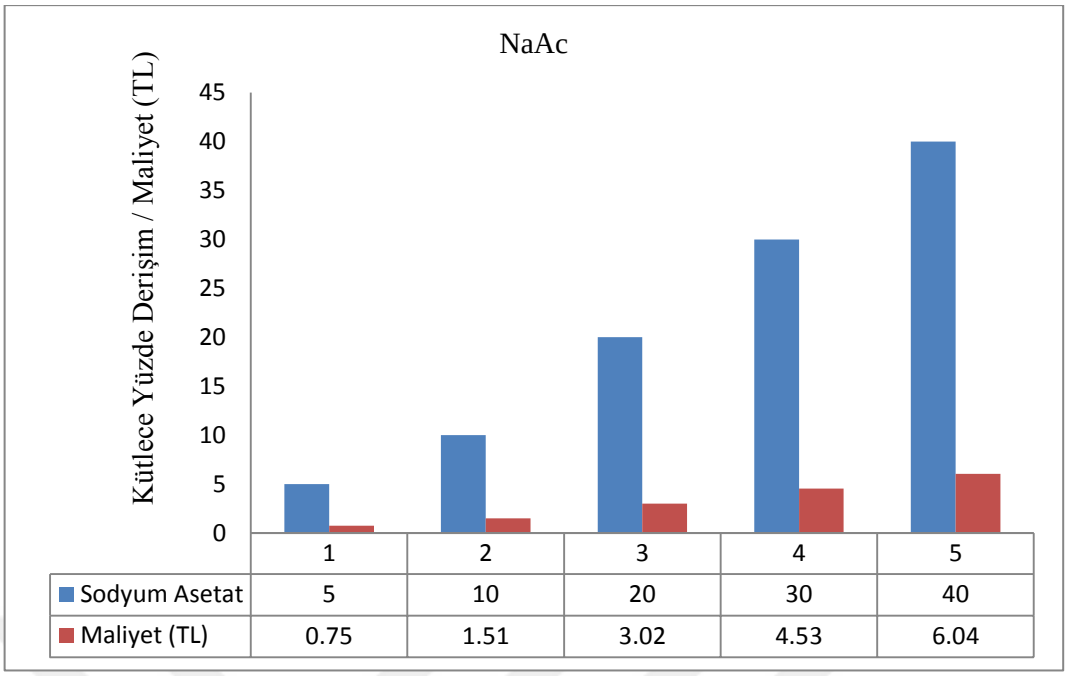
Şekil 3.2.6. $CaCl_2$ tuzunun kütlece derişimine bağlı olarak maliyetinin değişimi

Şekil 3.2.6'ya göre $CaCl_2$ donma noktasını düşürmede $MgCl_2$ tuzu kadar etkili olmamıştır. Buna rağmen etkili bir biçimde çözeltinin donma noktasını aşağı çeken bir tuzdur. Maliyeti $MgCl_2$ tuzundan biraz daha yüksektir.



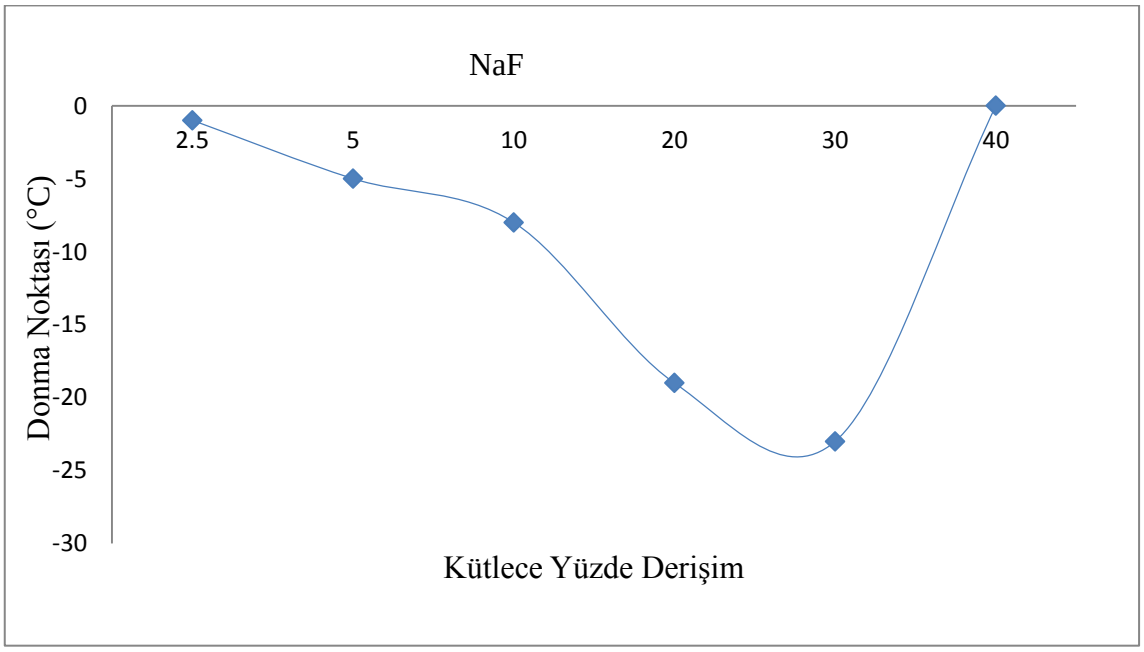
Şekil 3.2.7. NaAc çözeltisinin kütlece yüzde derişime bağlı olarak donma noktasının değişimi

Na^+ iyonu Mg^{2+} ve Ca^{+2} iyonu gibi 2A grubu elementlerinden olmadığından, sulu çözeltilerde çözündüğü zaman verdiği iyon miktarı daha azdır, bundan dolayı çözeltinin donma noktasını düşürücü etkisi daha az olmuştur. Asetat tuzları buz üzerine uygulandığı zaman buzu daha iyi çözebilmekte ve Cl^- gibi çevreye zararlı iyon vermemektedir. Şekil 3.2.7'ye göre Na^+ iyonu donma noktasını aşağıya çekmede Mg^{2+} ve Ca^{2+} iyonları kadar etkili olmamaktadır.



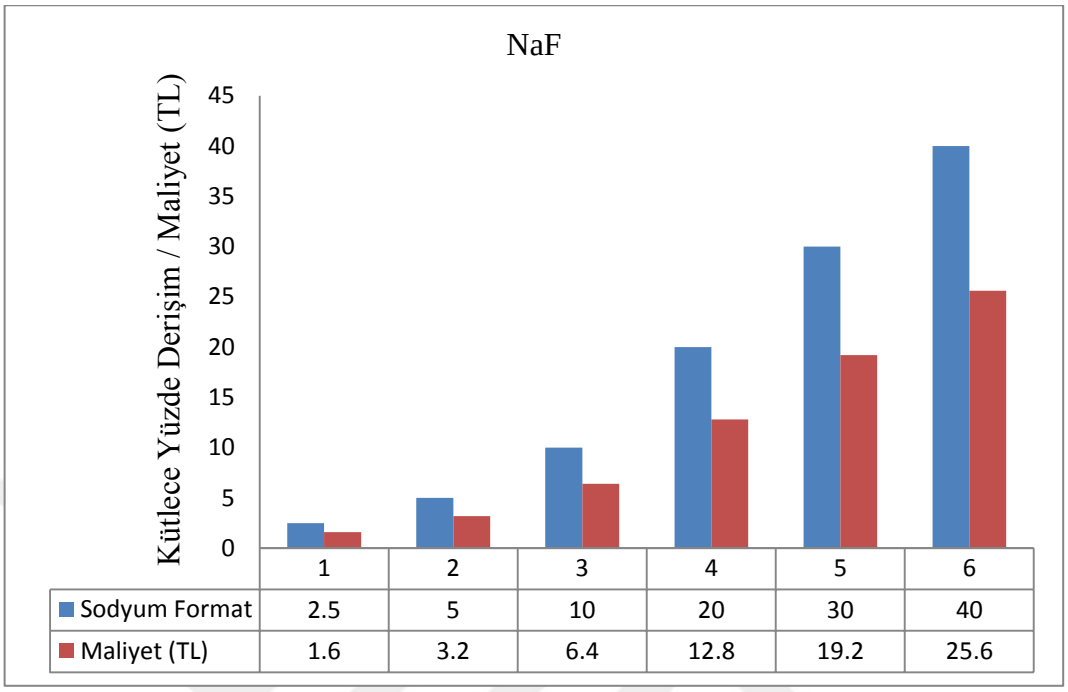
Şekil 3.2.8. NaAc çözeltisinin kütlece yüzde derişime bağlı olarak maliyetinin değişimi

Şekil 3.2.8'e göre $NaCH_3COO$ çözeltinin donma noktasını aşağıya çekmede klorürlü tuzlar kadar etkili olmamıştır. Maliyeti diğer tuzlara göre biraz daha yüksektir, donma noktasını düşürmede tek başına kullanılması verimli olmayacaktır. Maliyeti $MgCl_2$ tuzunun maliyetinden daha yüksek fakat $MgCl_2$ kadar donma noktası düşüşüne etkisi yoktur.



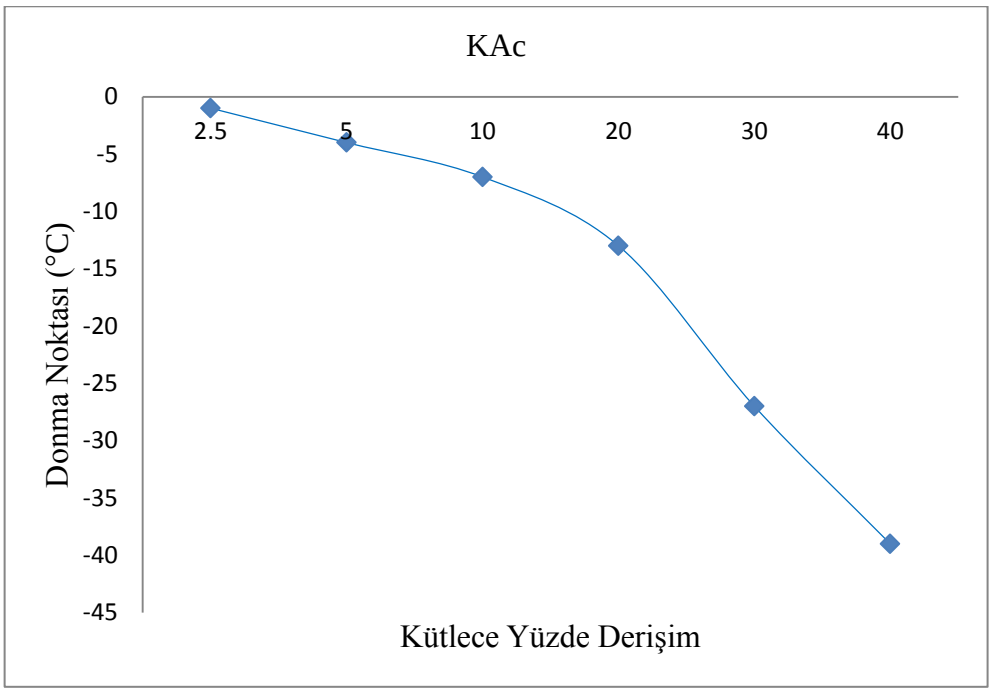
Şekil 3.2.9. NaF çözeltisinin kütlece yüzde derişime bağlı olarak donma noktasının değişimi

Naf (sodyum format) suyun donma noktasını düşürmede çok etkili olmamıştır. -23 °C çok altına düşemeden ötektik noktaya ulaşılmıştır.



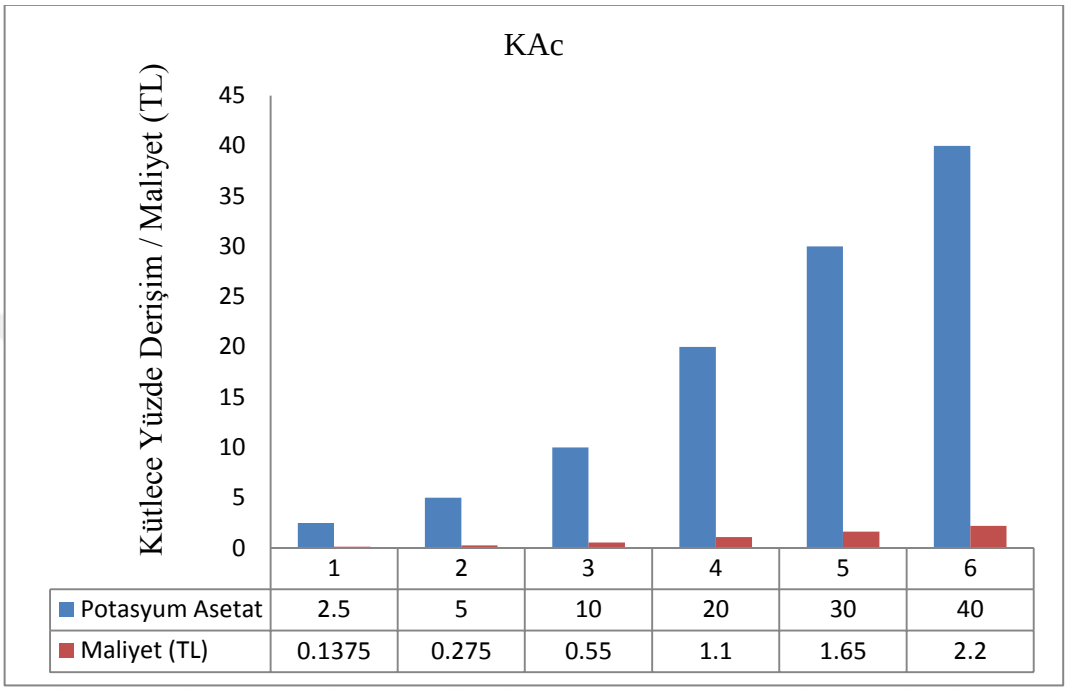
Şekil 3.2.10. NaF çözeltisinin derişime bağlı olarak maliyetinin değişimi

NaHCOO perfomans/maliyet açısından değerlendirildiğinde verimli bir buz giderici olmadığı tespit edilmiştir.



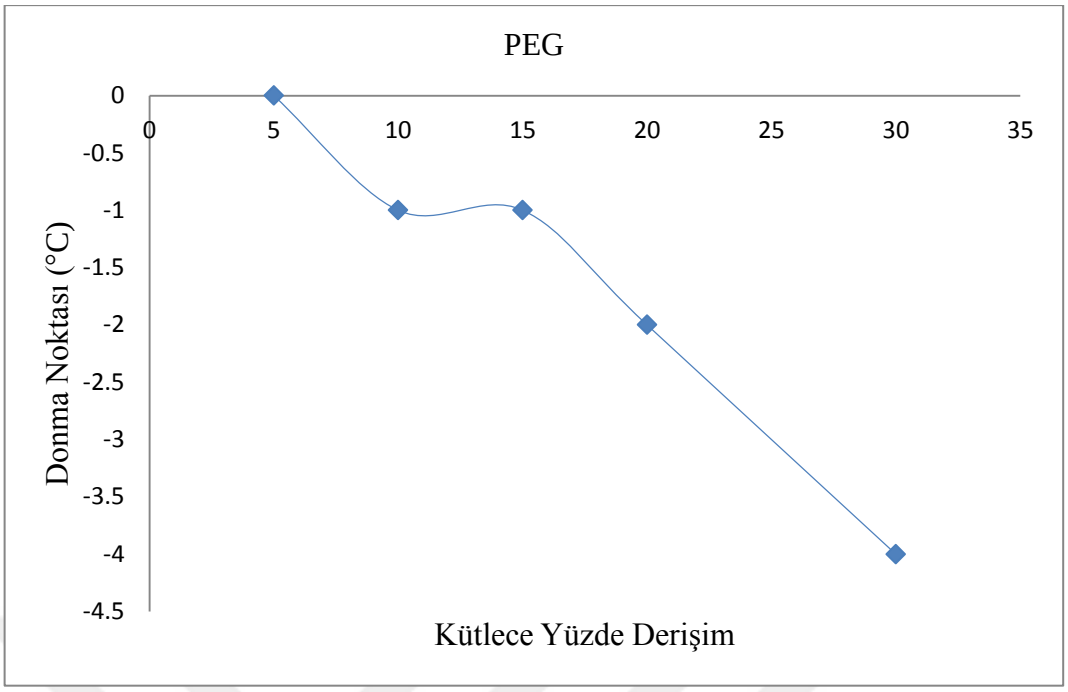
Şekil 3.2.11. KAc tuzunun kütlece yüzde derişime bağlı olarak donma noktasının değişimi

KAc tuzu asetattan dolayı hem çevreye karşı zararsız hem de sulu çözeltilerde çok çabuk çözünebilme özelliğine sahip olduğundan etkili bir buz gidericidir. Ayrıca kütlece %40 derişimlere çıktığımızda suyun donma noktasını -39°C'ye kadar düşürebilmektedir. Özellikle kütlece %20 derişimi aştıktan sonra suyun donma noktasında daha hızlı bir düşüş gözlemlenmiştir (şekil 3.2.11).



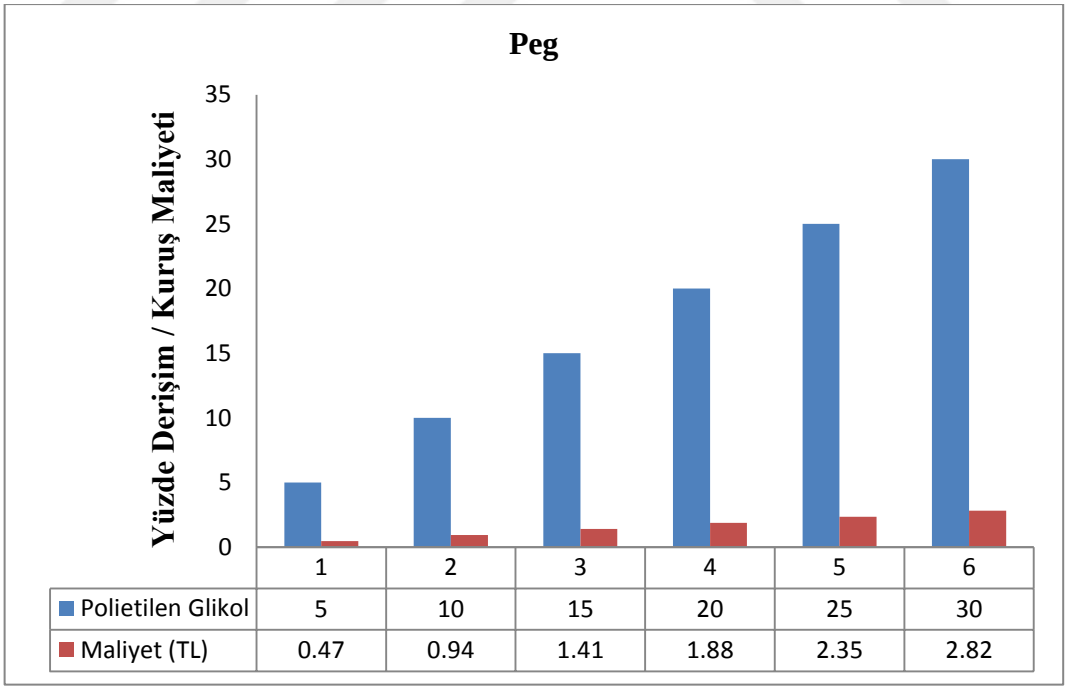
Şekil 3.2.12. KAc tuzunun kütlece yüzde derişime bağlı olarak maliyetinin değişimi

KAc donma noktasını aşağıya çekmede etkili olsa bile maliyeti düşük tuzlardan biridir (Şekil 3.2.12.) Maliyet yüksek olmadığı için yüksek derişimlere çıkılması ekonomik açıdan olumsuzluk oluşturmayacaktır.



Şekil 3.2.13. PEG çözeltisinin kütlece derişime bağlı olarak donma noktasının değişimi

Peg organik bir donma noktasını düşürücü kimyasal bir maddedir. Tek başına etkisini incelediğimizde donma noktasını düşürmesi çok fazla değildir. En fazla kütlece %30'a kadar çıkılmıştır. Suyun donma noktasını -4 °C'den aşağıya düşürmemiştir.

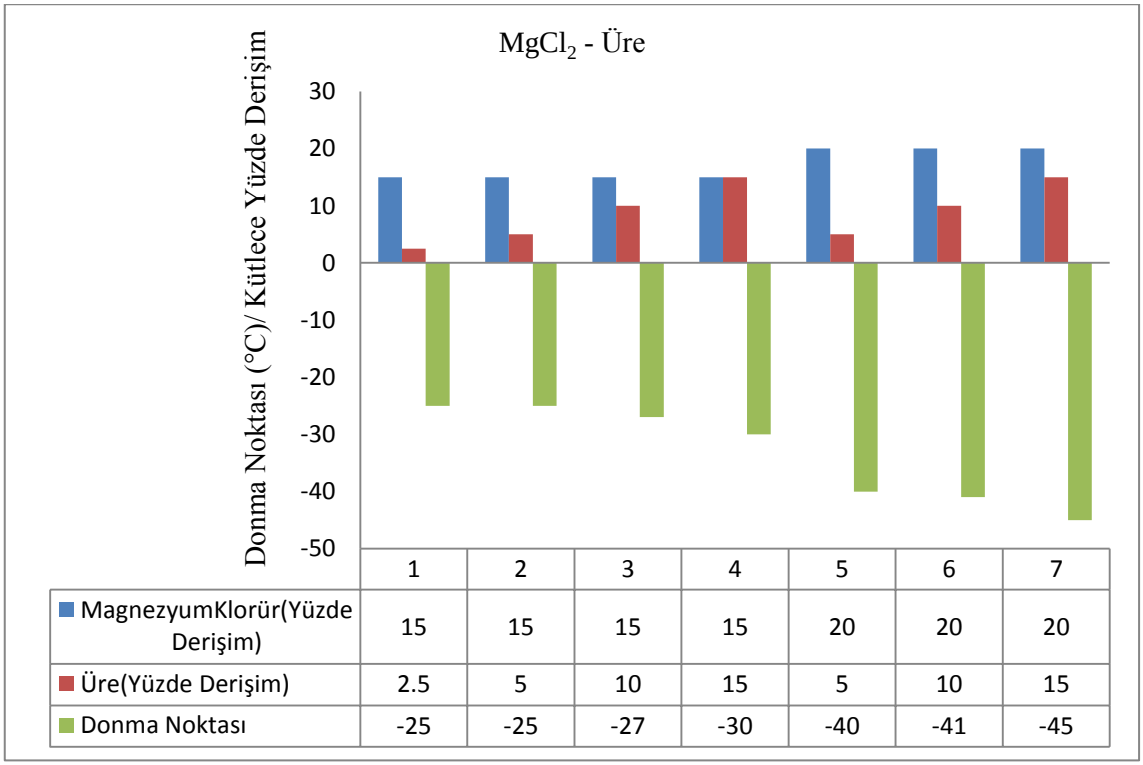


Şekil 3.2.14. PEG çözeltisinin kütlece derişime bağlı olarak maliyetinin değişimi

Peg maliyeti yüksek değildir. Katkı maddesi olarak belli derişimlerde kullanılabilir. Zincir uzunluğundan dolayı Meg'e göre donma noktasına çok daha fazla etki edeceği düşünülmesine rağmen aralarında çok büyük bir fark olmadığı gözlemlenmiştir.

3.3. İkili Tuz Karışımları

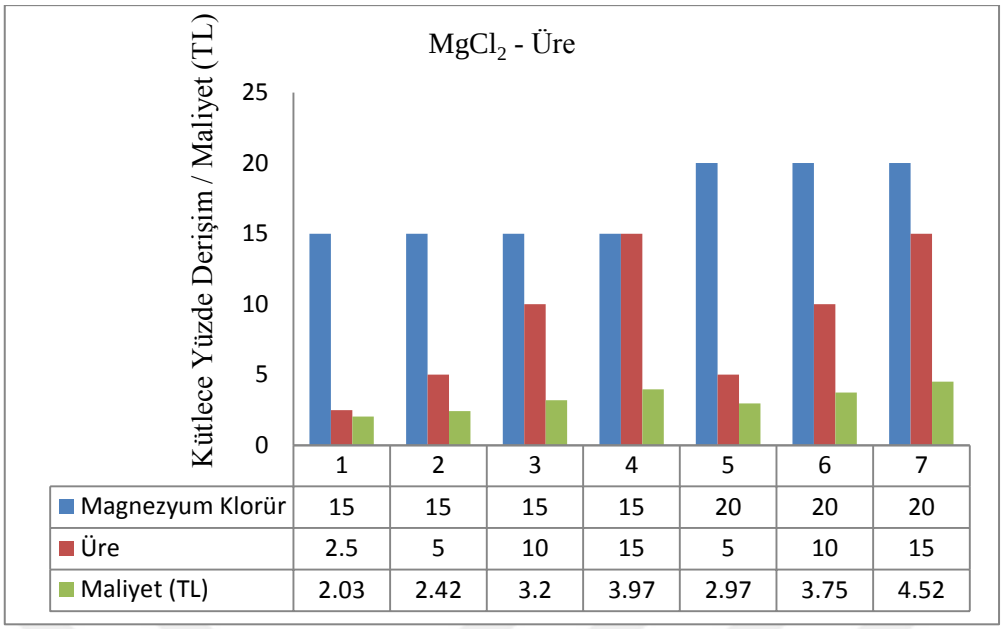
Tuzlar incelendiği zaman $MgCl_2$ etkili tuzlardan bir tanesi olmuştur. Bu nedenlerden dolayı çoklu tuz karışımlarının hemen hemen hepsinde $MgCl_2$ tuzu biraz daha fazla miktarda ilave edilmiştir.



	1	2	3	4	5	6	7
MagnezyumKlorür(Yüzde Derişim)	15	15	15	15	20	20	20
Üre(Yüzde Derişim)	2.5	5	10	15	5	10	15
Donma Noktası	-25	-25	-27	-30	-40	-41	-45

Şekil 3.3.1. $MgCl_2$ – Üre tuz karışımının derişimlerinin değişimine bağlı olarak donma noktası değişimi

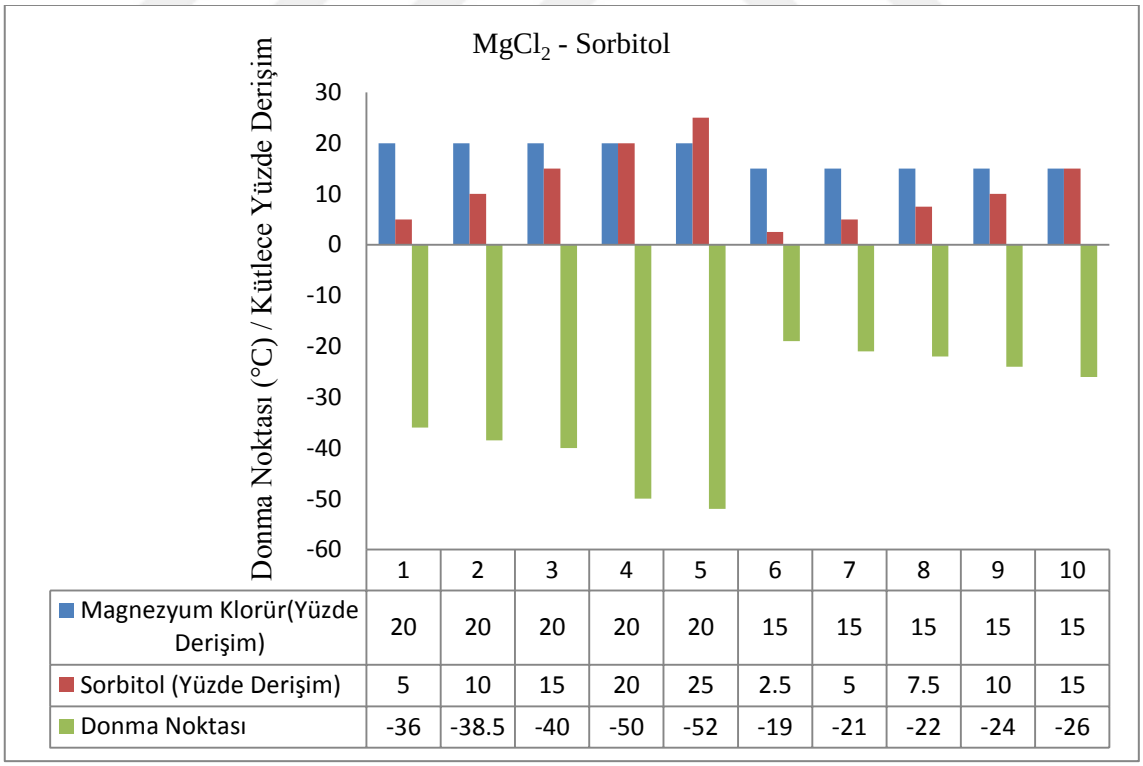
$MgCl_2$ ve üre karışımında üre, $MgCl_2$ tuz çözeltisinin donma noktasını aşağıya çekmiştir. Kütlece %20'lik $MgCl_2$ tek başına kullanıldığında tuz çözeltisinin donma noktası -34 °C iken %5'lik üre ilave edildiğinde tuz çözeltisinin donma noktasında -40 °C'ye kadar düşüş gözlemlenmiştir. Ayrıca şekil 3.3.1'de belirtilen 3 no'lu deney ile 5 no'lu deneyde toplamda kütlece %25'er tuz-üre karışımı kullanılmıştır. 5 no'lu deney için hazırlanan tuz karışımı donma noktasını daha fazla düşürülmüştür. Bunun nedeni $MgCl_2$ tuzunun miktarının diğerine göre daha fazla olmasıdır.



	1	2	3	4	5	6	7
Magnezyum Klorür	15	15	15	15	20	20	20
Üre	2.5	5	10	15	5	10	15
Maliyet (TL)	2.03	2.42	3.2	3.97	2.97	3.75	4.52

Şekil 3.3.2. $MgCl_2$ – Üre karışımının kütlece derişimine bağlı olarak maliyetinin değişimi

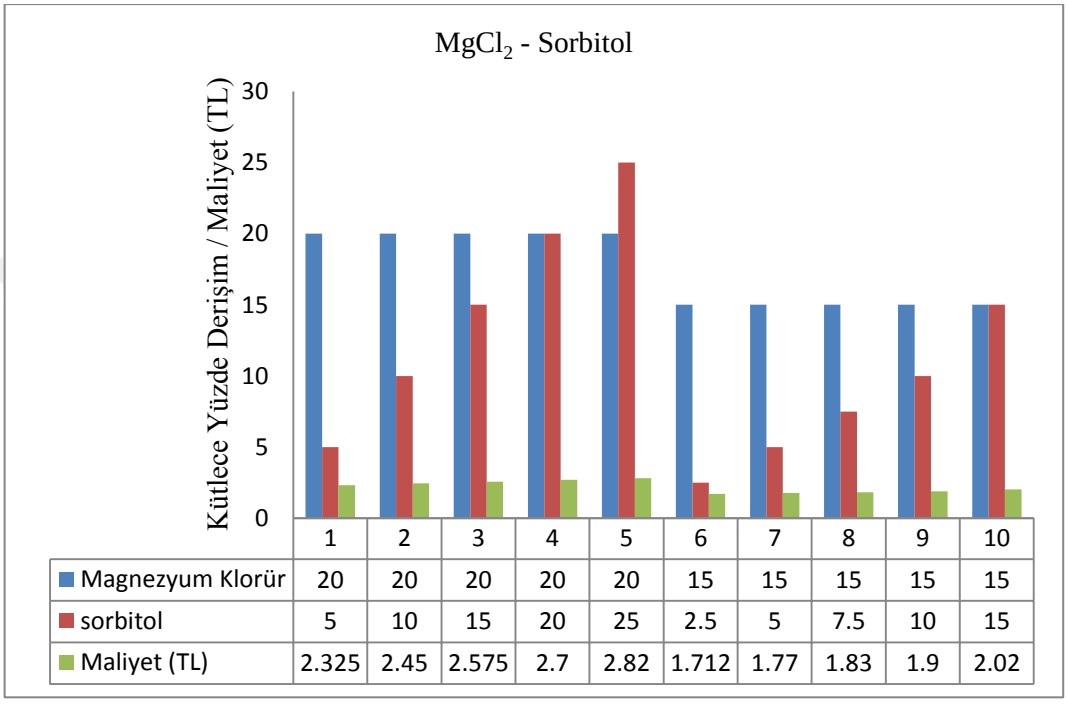
Üre maliyeti düşük değildir, fakat korozif olmamasından dolayı ve suyun donma noktasını da düşürücü bir etkiye sahip olmasından dolayı belirli bölgelerde (viyadük vs) kullanılabilmektedir.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Magnezyum Klorür(Yüzde Derişim)	20	20	20	20	20	15	15	15	15	15
Sorbitol (Yüzde Derişim)	5	10	15	20	25	2.5	5	7.5	10	15
Donma Noktası	-36	-38.5	-40	-50	-52	-19	-21	-22	-24	-26

Şekil 3.3.3. $MgCl_2$ – Sorbitol miktarına bağlı olarak hazırlanan çözeltinin donma noktası değişimi

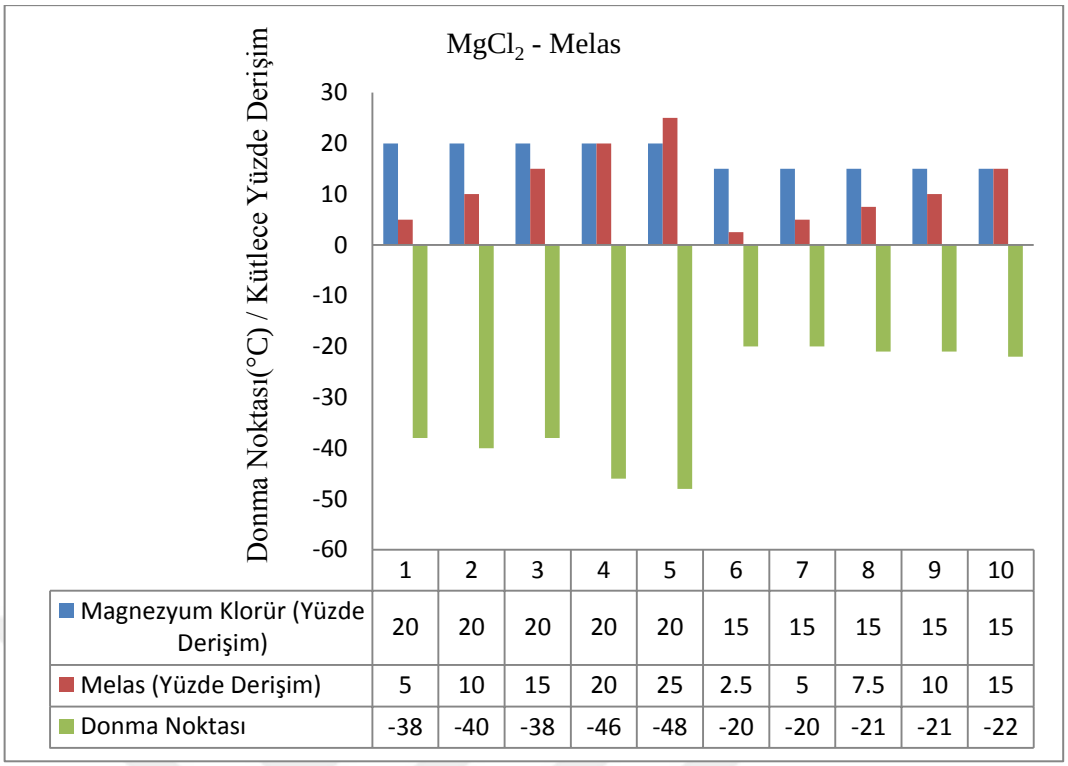
$MgCl_2$ ile sorbitolün kütlece belli oranlarda karışımlarının donma noktaları incelendi. Toplamda 25 gram tuz kullanıldığında 9 no'lu tuz karışımı donma noktası -24°C iken 1 no'lu karışımda donma noktası -36°C'ye kadar düşmüştür. Karışımda $MgCl_2$ tuzunun ağırlıklı kullanılması etkiyi artırmaktadır ama çok düşük sıcaklıklarda çalışmak istemiyorsak ve maliyeti düşürmek istiyorsak $MgCl_2$ miktarını azaltmış olduğumuz 9 no'lu tuz karışımı yeterli olacaktır.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Magnezyum Klorür	20	20	20	20	20	15	15	15	15	15
sorbitol	5	10	15	20	25	2.5	5	7.5	10	15
Maliyet (TL)	2.325	2.45	2.575	2.7	2.82	1.712	1.77	1.83	1.9	2.02

Şekil 3.3.4. $MgCl_2$ – Sorbitol karışımının kütlece derişime bağlı olarak maliyet değişimi

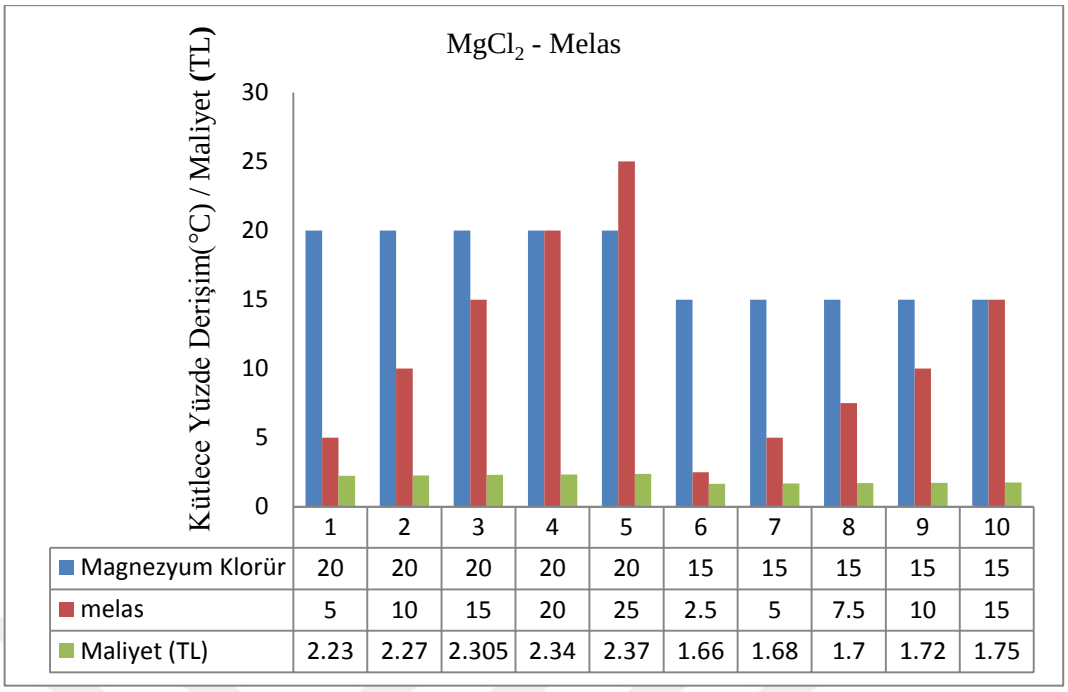
Maliyeti $MgCl_2$ tuzundan daha düşük olduğundan ve donma noktasını düşürmeye de etkisi olması sorbitolü önemli bir organik katkı maddesi haline getirmektedir.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Magnezyum Klorür (Yüzde Derişim)	20	20	20	20	20	15	15	15	15	15
Melas (Yüzde Derişim)	5	10	15	20	25	2.5	5	7.5	10	15
Donma Noktası	-38	-40	-38	-46	-48	-20	-20	-21	-21	-22

Şekil 3.3.5. $MgCl_2$ – Melas karışım çözeltisinin kütlece derişime bağlı olarak donma noktası değişimi

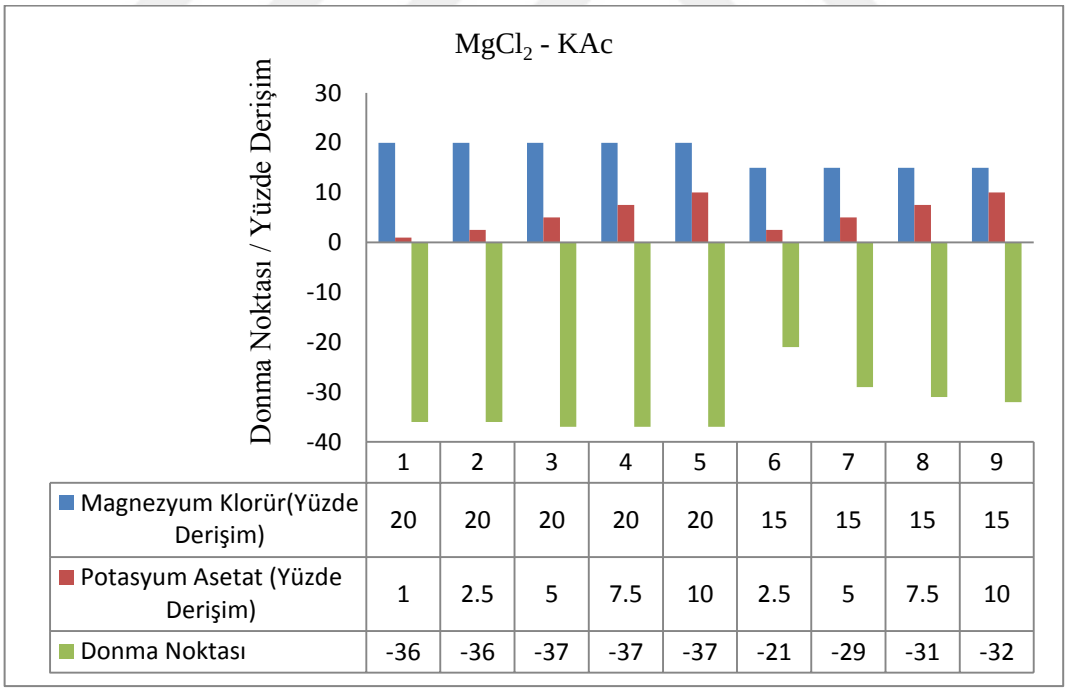
$MgCl_2$ ile melasın kütlece yüzdelerine göre karışımlarının donma noktaları incelendiğinde melasın kütlece oranının artması, donma noktasında düşüş olmaktadır. $MgCl_2$ %20 oranında katıldığında çözeltinin donma noktası -38°C ile- 48°C arasında (No 1,2,3,4,5), $MgCl_2$ %15 civarında katıldığında ise çözeltinin donma noktası -20°C ile -22°C civarlarındadır (No 6,7,8).



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Magnezyum Klorür	20	20	20	20	20	15	15	15	15	15
melas	5	10	15	20	25	2.5	5	7.5	10	15
Maliyet (TL)	2.23	2.27	2.305	2.34	2.37	1.66	1.68	1.7	1.72	1.75

Şekil 3.3.6. $MgCl_2$ – Melas karışım çözeltisinin kütlece derişime bağlı olarak maliyet değişimi

Melas maliyet açısından daha ucuz bir katkı maddesi olmasından dolayı uygun bir katkı maddesi olarak tuz çözeltilerine ilave edilebilir.

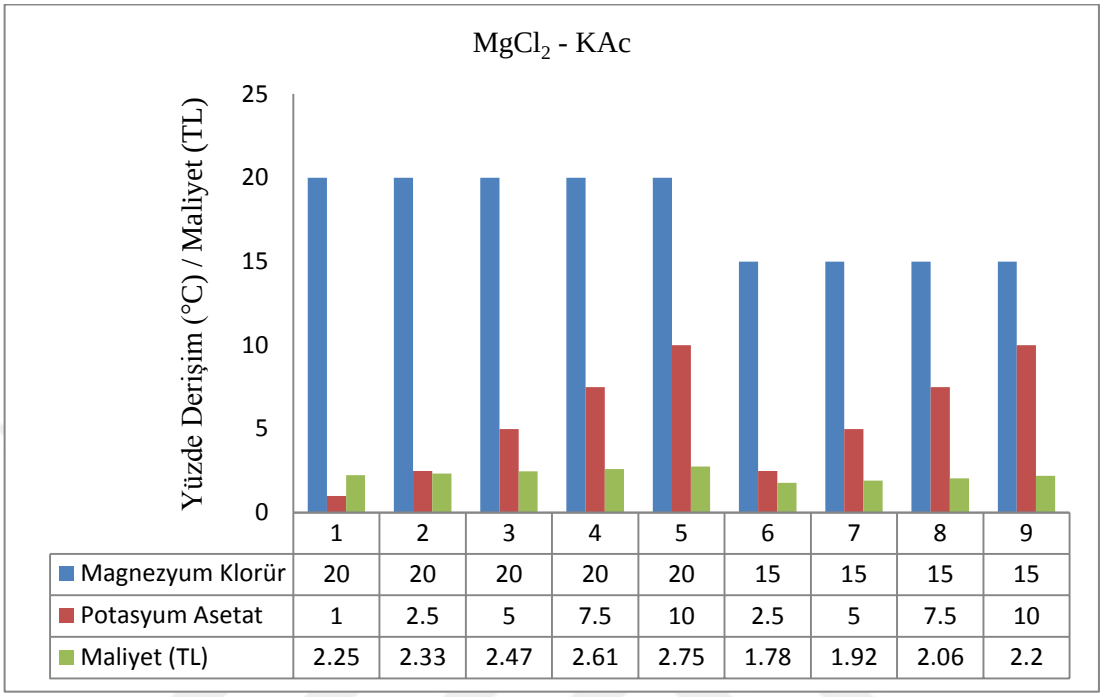


	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Magnezyum Klorür(Yüzde Derişim)	20	20	20	20	20	15	15	15	15
Potasyum Asetat (Yüzde Derişim)	1	2.5	5	7.5	10	2.5	5	7.5	10
Donma Noktası	-36	-36	-37	-37	-37	-21	-29	-31	-32

Şekil 3.3.7. $MgCl_2$ – KAc ikili karışım çözeltisinin kütlece derişime bağlı olarak donma noktası değişimi

$MgCl_2$ ve KAc karışımında $MgCl_2$ tuzu %20'lik hazırlandığında, KAc en fazla kütlece %5'liği eklenebilir. %5'in üzerine çıkıldığında çözeltide çökme oluşmakta olup donma noktası değişmemektedir. Bu yüzden KAc çok fazla katılmamıştır. $MgCl_2$ tuzunun

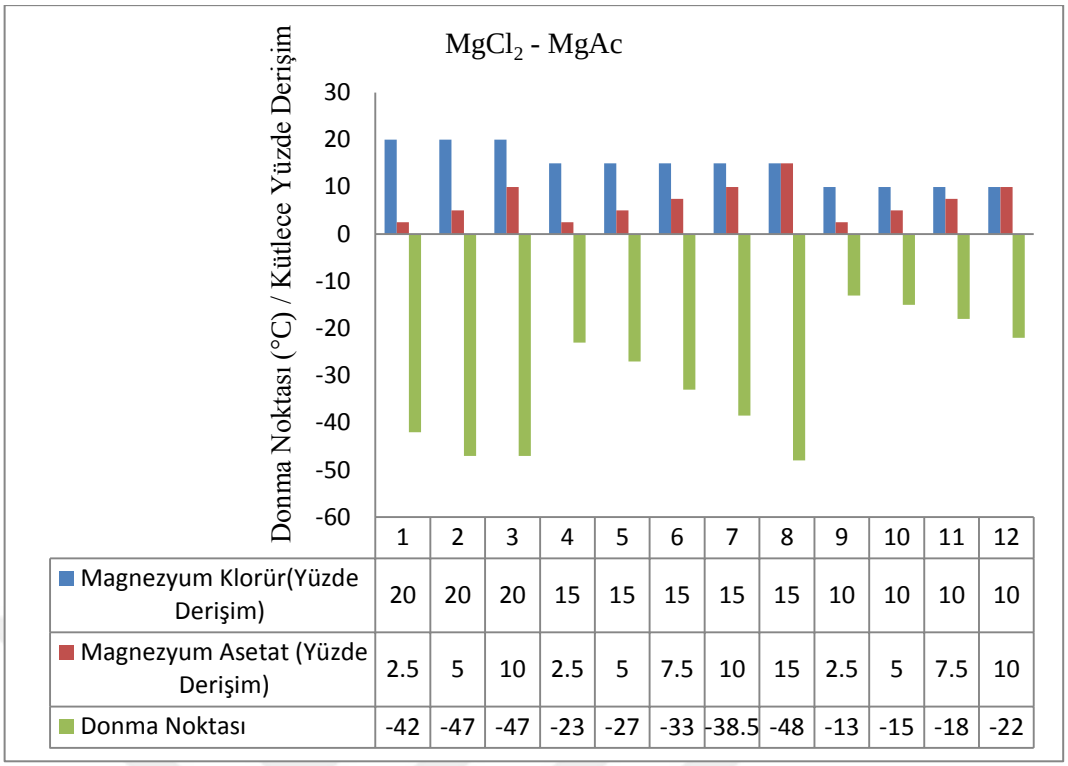
düşük oranlarda kullanıldığı zaman, KAc miktarı biraz daha artırılabilir. %15'lik $MgCl_2$ tuzu kullanıldığında, KAc %7.5 oranında eklenmiştir. %7.5'un üzerine çıkıldığında çökme olmaktadır.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Magnezyum Klorür	20	20	20	20	20	15	15	15	15
Potasyum Asetat	1	2.5	5	7.5	10	2.5	5	7.5	10
Maliyet (TL)	2.25	2.33	2.47	2.61	2.75	1.78	1.92	2.06	2.2

Şekil 3.3.8. $MgCl_2$ – KAc çözelti karışımının kütlece derişime bağlı olarak maliyet değişimi

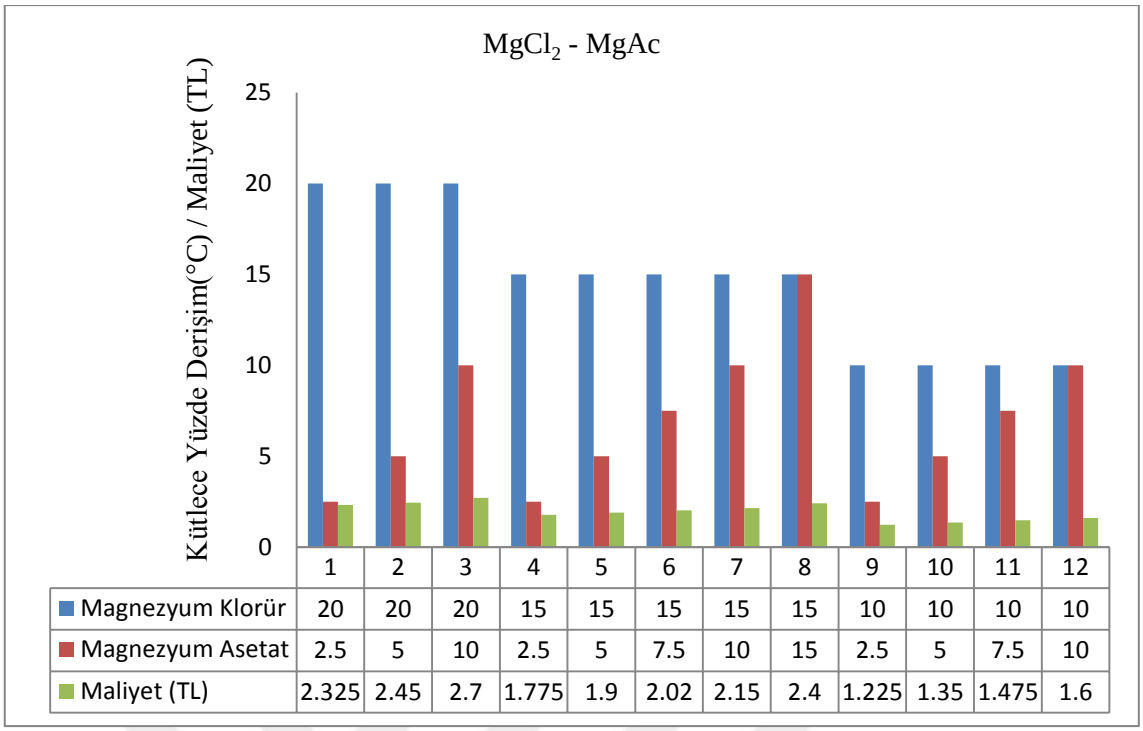
KAc yüksek çözünürlüğe sahip olup çözeltinin donma noktasının düşürülmesinde etkili bir tuzdur. Donma noktasını aşağıya çekmede $MgCl_2$ kadar etkili olamasa da yüksek çözünürlüğü sayesinde, buz çözmede daha etkili olmaktadır. Maliyet grafiği göz önüne alındığında maliyetinin yüksek olmadığı görülmektedir. İkili karışım ($MgCl_2$ – KAc) maliyet açısından daha uygundur fakat $MgCl_2$-Melas karışımı ile daha düşük maliyetle aynı donma derecelerine ulaşılabilir.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Magnezyum Klorür(Yüzde Derişim)	20	20	20	15	15	15	15	15	10	10	10	10
Magnezyum Asetat (Yüzde Derişim)	2.5	5	10	2.5	5	7.5	10	15	2.5	5	7.5	10
Donma Noktası	-42	-47	-47	-23	-27	-33	-38.5	-48	-13	-15	-18	-22

Şekil 3.3.9. $MgCl_2$ – KAc karışım çözeltisinin kütlece derişime bağlı olarak donma noktası değişimi

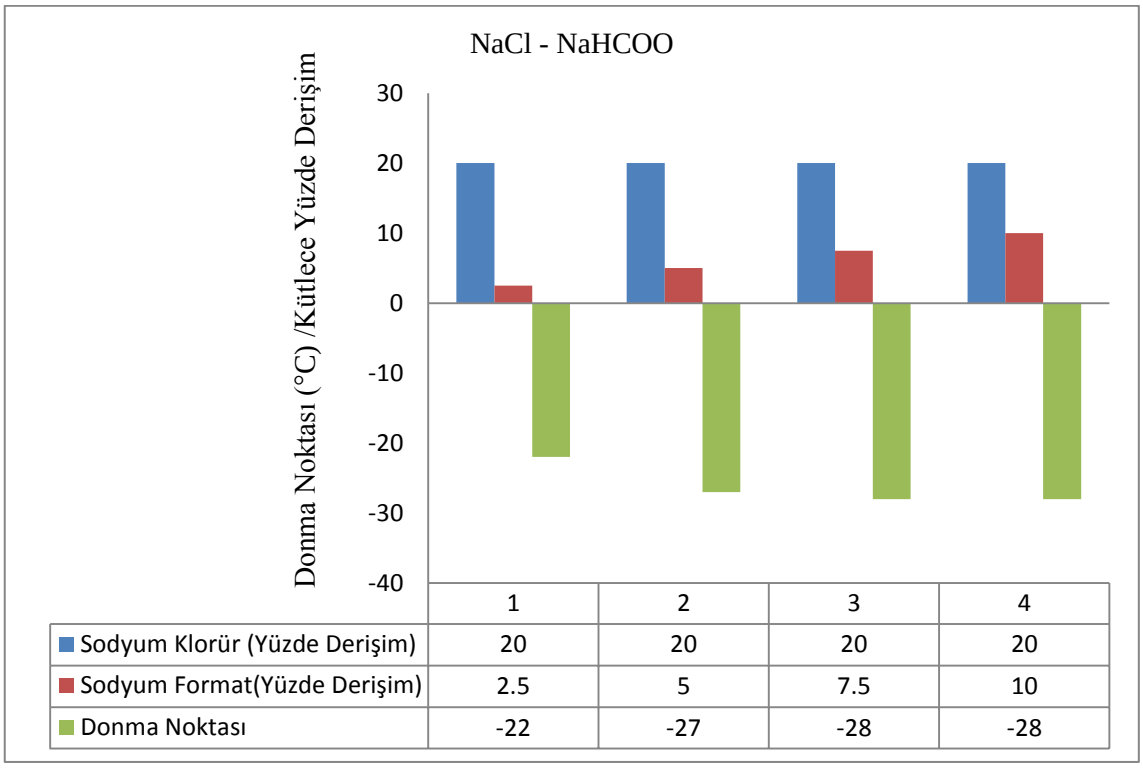
1 no'lu ve 6 no'lu ölçümlerde kullanılan tuz miktarları aynı olmasına rağmen 1 no'lu ölçümde -42°C'ye kadar donma noktası düşmüş olup, $MgCl_2$ miktarı %20 alındığında donma noktasının daha da aşağıya düştüğü görülmüştür. $MgCl_2$ % 10 olarak sabit alındığında en fazla -22°C kadar ulaşıldı (12 no'lu Ölçüm). $MgCl_2$ tuzunun derişimi yüksek olduğunda KAc tuzu gibi MgAc tuzunda yüksek derişimlere çıkıldığında çökme olmaktadır. $MgCl_2$ tuzunun MgAc tuzu ile yapılan bu ikili karışım KAc ile yapılan karışımdan donma noktasını düşürme bakımından daha etkili olmuştur.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Magnezyum Klorür	20	20	20	15	15	15	15	15	10	10	10	10
Magnezyum Asetat	2.5	5	10	2.5	5	7.5	10	15	2.5	5	7.5	10
Maliyet (TL)	2.325	2.45	2.7	1.775	1.9	2.02	2.15	2.4	1.225	1.35	1.475	1.6

Şekil 3.3.10. $MgCl_2$ – MgAc karışımının kütlece derişime bağlı olarak maliyet değişimi

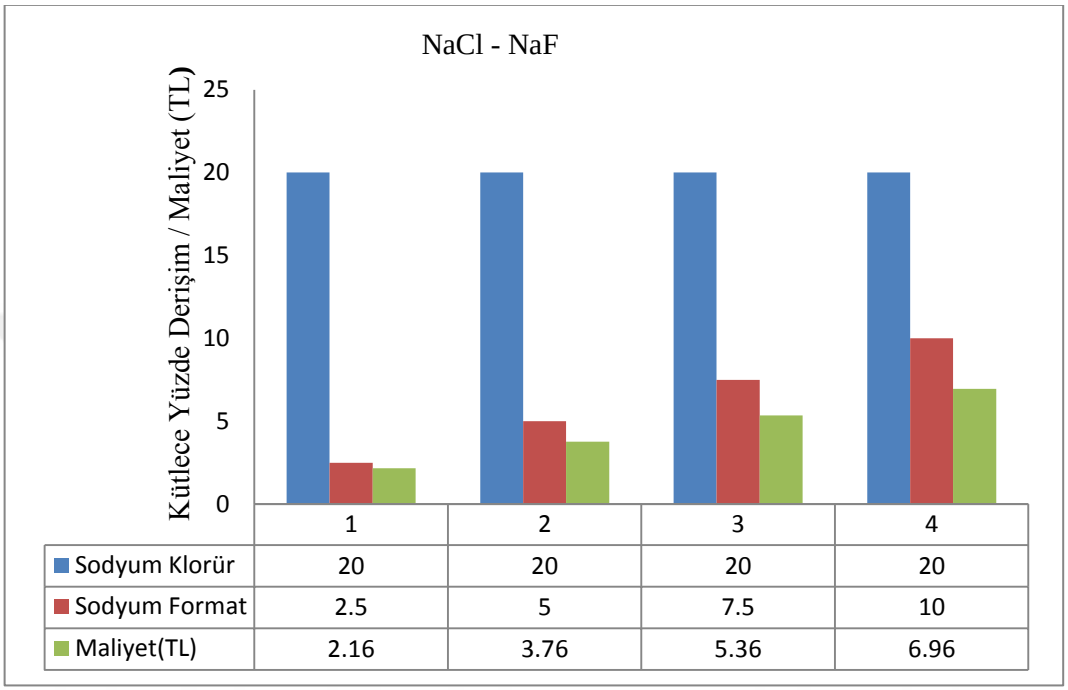
$MgCl_2$ ve MgAc karışımının maliyeti çok yüksek olmamakla birlikte donma noktası alçalmasında etkili tuz karışımıdır.



	1	2	3	4
Sodyum Klorür (Yüzde Derişim)	20	20	20	20
Sodyum Format(Yüzde Derişim)	2.5	5	7.5	10
Donma Noktası	-22	-27	-28	-28

Şekil 3.3.11. NaCl – NaF çözelti karışımının derişime bağlı olarak donma noktası değişimi

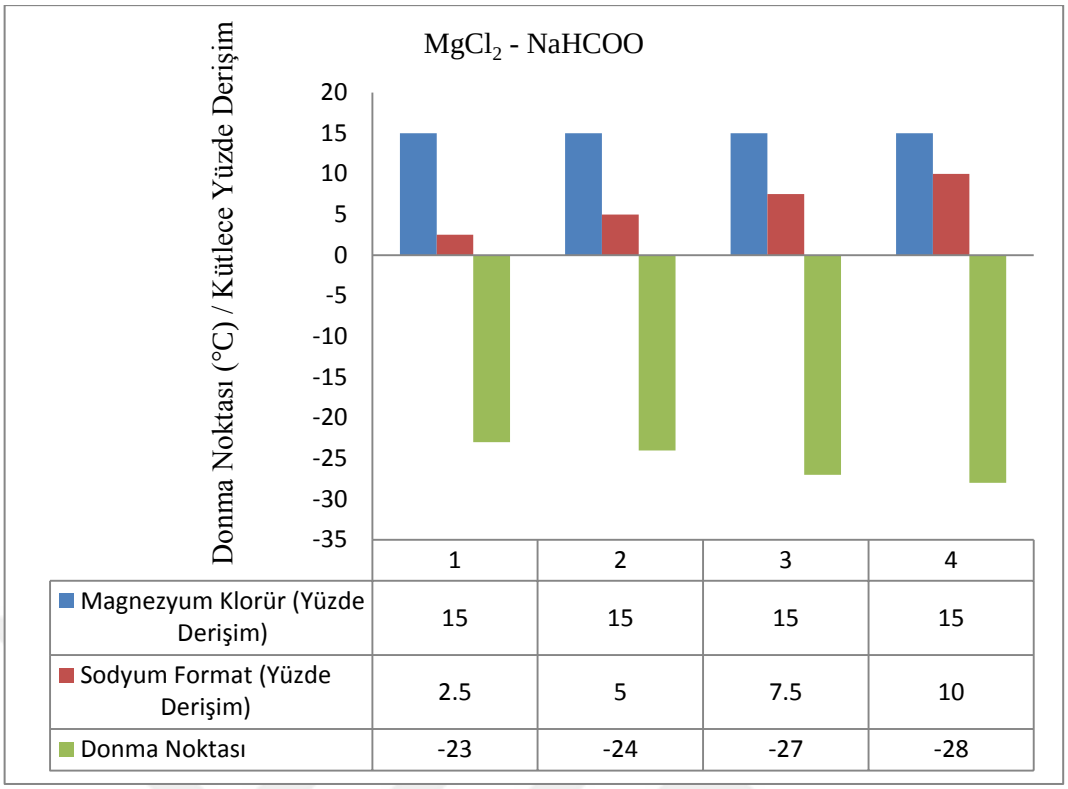
NaCl ve NaHCOO karıştırılarak NaCl'nin tek başına göstermiş olduğu etki artırılarak -28°C'ye kadar düşüş sağlanmıştır. NaCl'nin tek başına göstermiş olduğu etkiden daha fazla düşme olmuştur. Tek başına %30'luk NaCl'nin donma noktası -21°C iken toplamda 30 gram kullanmış olduğumuz %20 NaCl ve %10 NaHCOO karışımı (4 no'lu deney) -28 °C'ye kadar düşürülmüştür.



	1	2	3	4
Sodyum Klorür	20	20	20	20
Sodyum Format	2.5	5	7.5	10
Maliyet(TL)	2.16	3.76	5.36	6.96

Şekil 3.3.12. NaCl ve NaF karışım çözeltisinin kütlece derişime bağlı maliyet değişimi

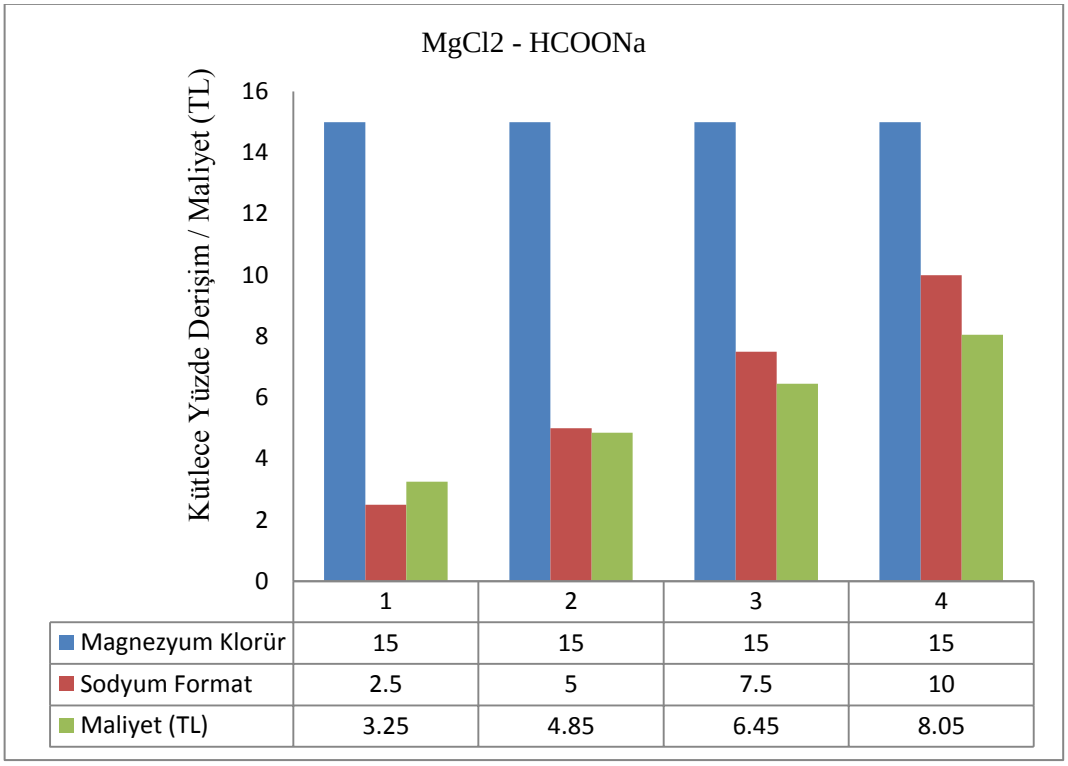
Sodyum format tuzunun maliyetinin çok yüksek olması ve karışımın donma noktasını düşürmeye etkisinin çok olmaması bu karışımın kullanılmak için çok verimli olmadığını göstermektedir.



	1	2	3	4
Magnezyum Klorür (Yüzde Derişim)	15	15	15	15
Sodyum Format (Yüzde Derişim)	2.5	5	7.5	10
Donma Noktası	-23	-24	-27	-28

Şekil 3.3.13. $MgCl_2$ – NaHCOO karışım çözeltisinin kütlece derişime bağlı donma noktası değişimi

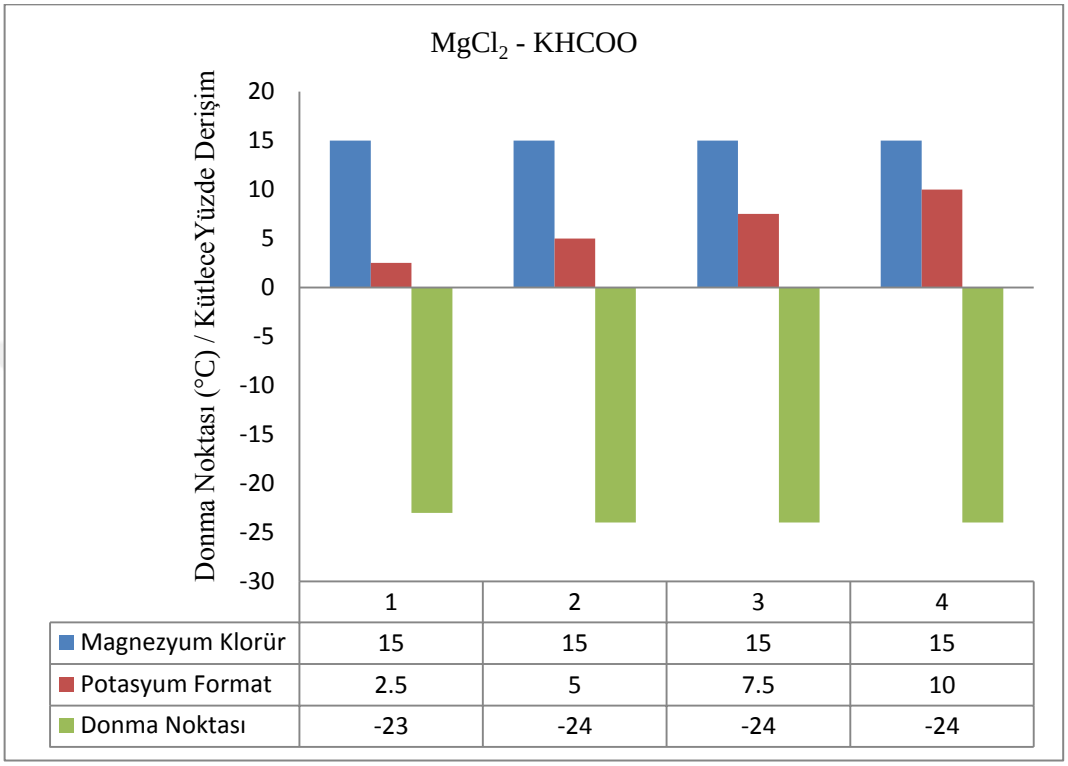
$MgCl_2$-NaHCOO karışımı, NaCl-NaHCOO karışımına göre daha etkili olduğu görülmektedir. NaCl yerine $MgCl_2$ tuzunun kullanılmasından kaynaklanmaktadır.



	1	2	3	4
Magnezyum Klorür	15	15	15	15
Sodyum Format	2.5	5	7.5	10
Maliyet (TL)	3.25	4.85	6.45	8.05

Şekil 3.3.14. $MgCl_2$ - HCOONa karışımının kütlece derişime bağlı olarak maliyetinin değişimi

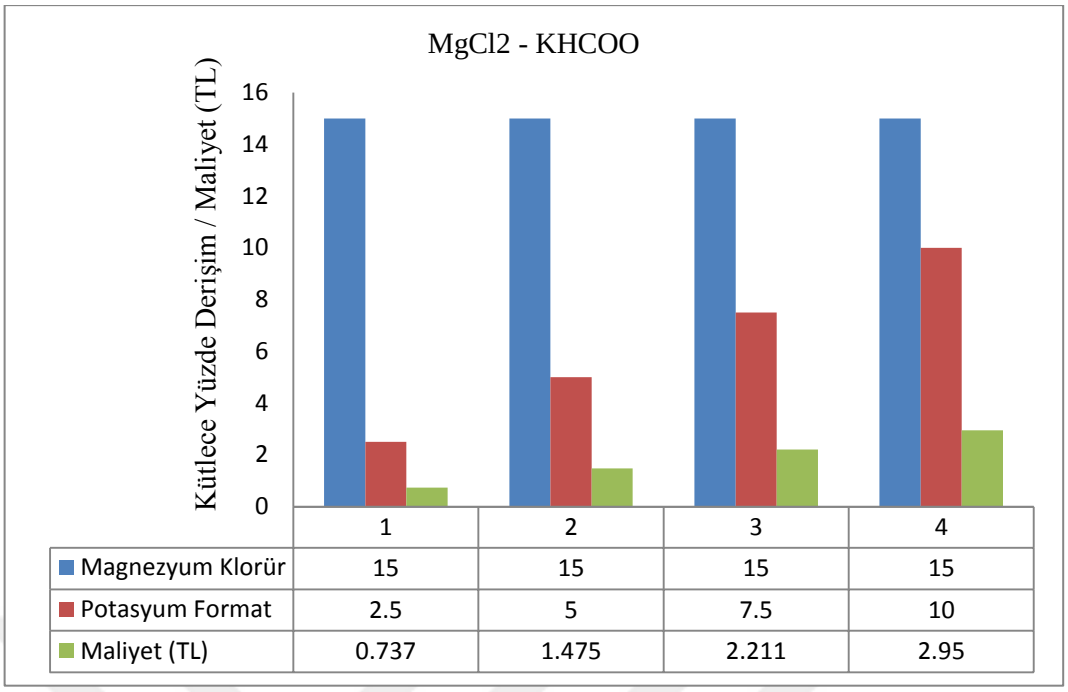
NaF ve $MgCl_2$ maliyetinin yüksek olması hazırlanan karışımın maliyetini yükseltmiştir. Maliyeti yükseltmekle birlikte NaF da donma noktasını düşürmeye etkisi fazla olmamıştır.



	1	2	3	4
Magnezyum Klorür	15	15	15	15
Potasyum Format	2.5	5	7.5	10
Donma Noktası	-23	-24	-24	-24

Şekil 3.3.15. $MgCl_2$ – KHCOO karışım çözeltisinin kütlece derişime bağlı olarak donma noktası değişimi

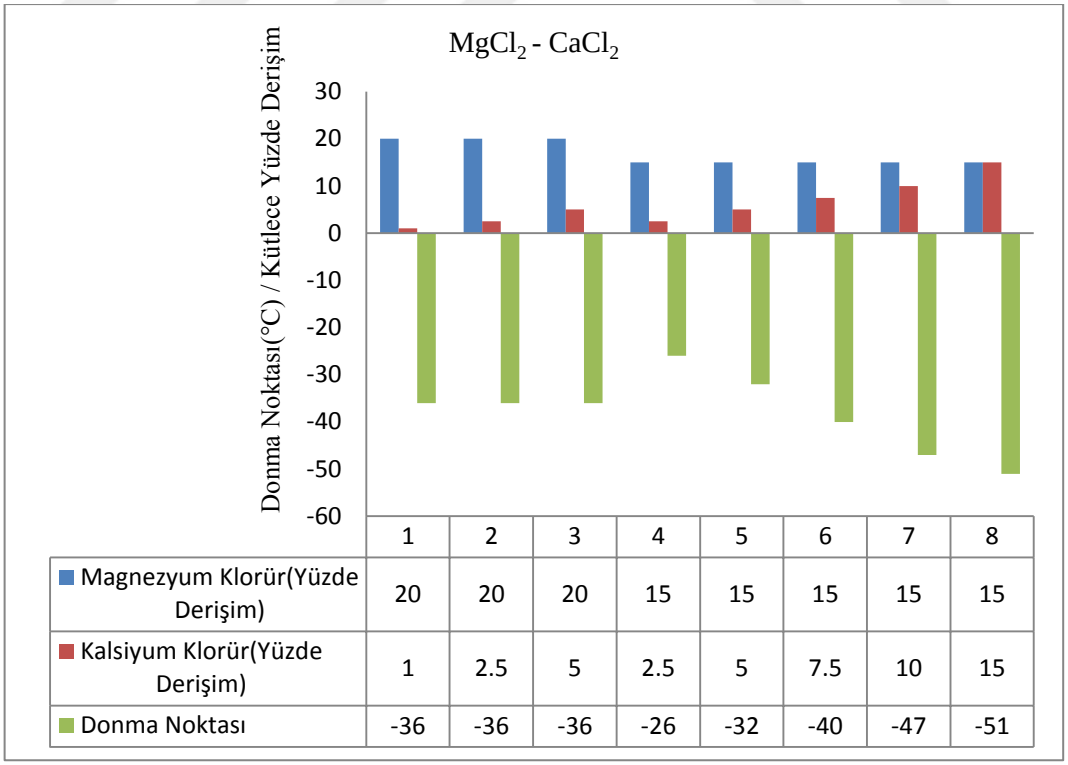
$MgCl_2$ tuzu ve KAc tuzu karışımında %5'lik derişimin üzerine çıkılmasının donma noktasına bir etkisi olmamıştır. $MgCl_2$ tuzu potasyum format ile birlikte kullanıldığı zaman çözeltinin donma noktasını düşürmede daha etkili olmuştur.



	1	2	3	4
Magnezyum Klorür	15	15	15	15
Potasyum Format	2.5	5	7.5	10
Maliyet (TL)	0.737	1.475	2.211	2.95

Şekil 3.3.16. $MgCl_2$ - KHCOO karışımının kütlece derişime bağlı olarak maliyet değişimi

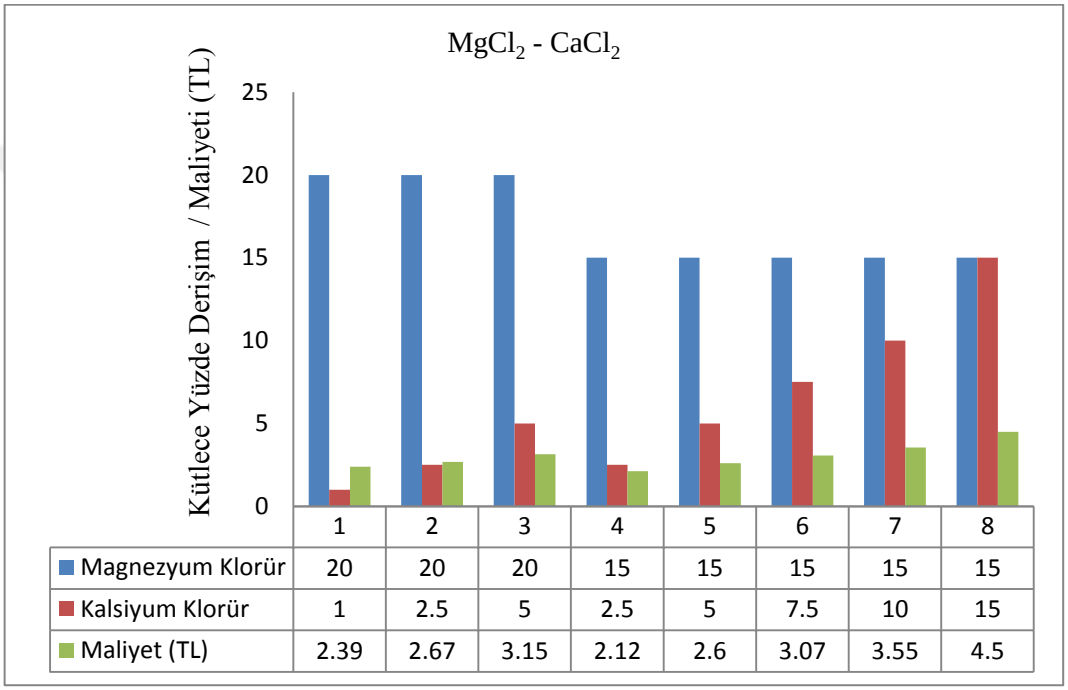
Sodyum format kadar yüksek olmasa da potasyum format tuzu daha maliyetli bir tuzdur. Sodyum formatla karşılaştırıldığında donma noktasına etkisi biraz daha düşüktür.



	1	2	3	4	5	6	7	8
Magnezyum Klorür(Yüzde Derişim)	20	20	20	15	15	15	15	15
Kalsiyum Klorür(Yüzde Derişim)	1	2.5	5	2.5	5	7.5	10	15
Donma Noktası	-36	-36	-36	-26	-32	-40	-47	-51

Şekil 3.3.17. $MgCl_2 – CaCl_2$ karışım çözeltisinin kütlece derişime bağlı olarak donma noktası değişimi

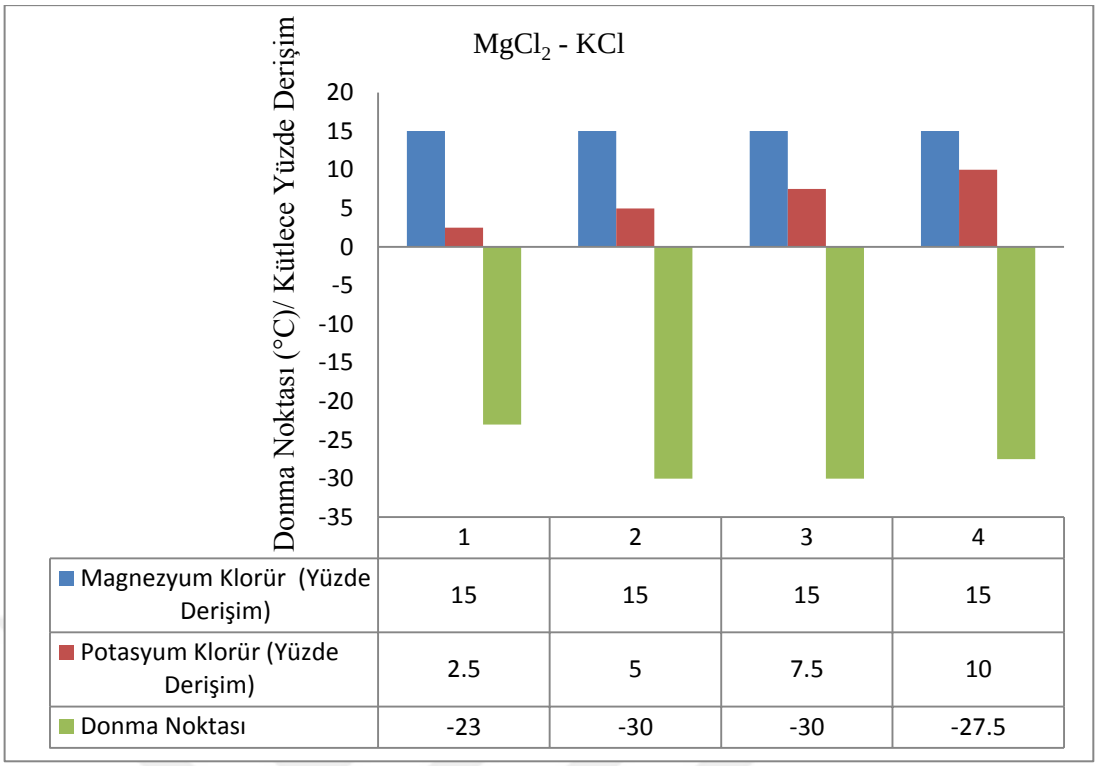
$MgCl_2$ ve $CaCl_2$ karşımında $CaCl_2$ çok fazla katılamamaktadır. 2 No'lu deneye geçtiğimizde dahi çökme meydana gelmektedir. $MgCl_2$ %15 orana düşürüldüğünde bir çökme meydana gelmemektedir. Donma noktasını oldukça aşağıya çektiği görülmektedir. $MgCl_2$ kütlece yüzdesi %15 e düşürüldüğünde hiçbir çökme meydana gelmemektedir. 7 no'lu deneyde 25 gram tuz kullanılmasına rağmen bir çökme meydana gelmemişken, 2 no'lu deneyde 22.5 gram tuz kullanıldığında çökme meydana gelmiştir. Çökmenin nedeni $MgCl_2$ miktarının fazla olmasından kaynaklanmıştır.



	1	2	3	4	5	6	7	8
Magnezyum Klorür	20	20	20	15	15	15	15	15
Kalsiyum Klorür	1	2.5	5	2.5	5	7.5	10	15
Maliyet (TL)	2.39	2.67	3.15	2.12	2.6	3.07	3.55	4.5

Şekil 3.3.18. $MgCl_2$ – $CaCl_2$ karışımının kütlece derişimine bağlı maliyet değişimi

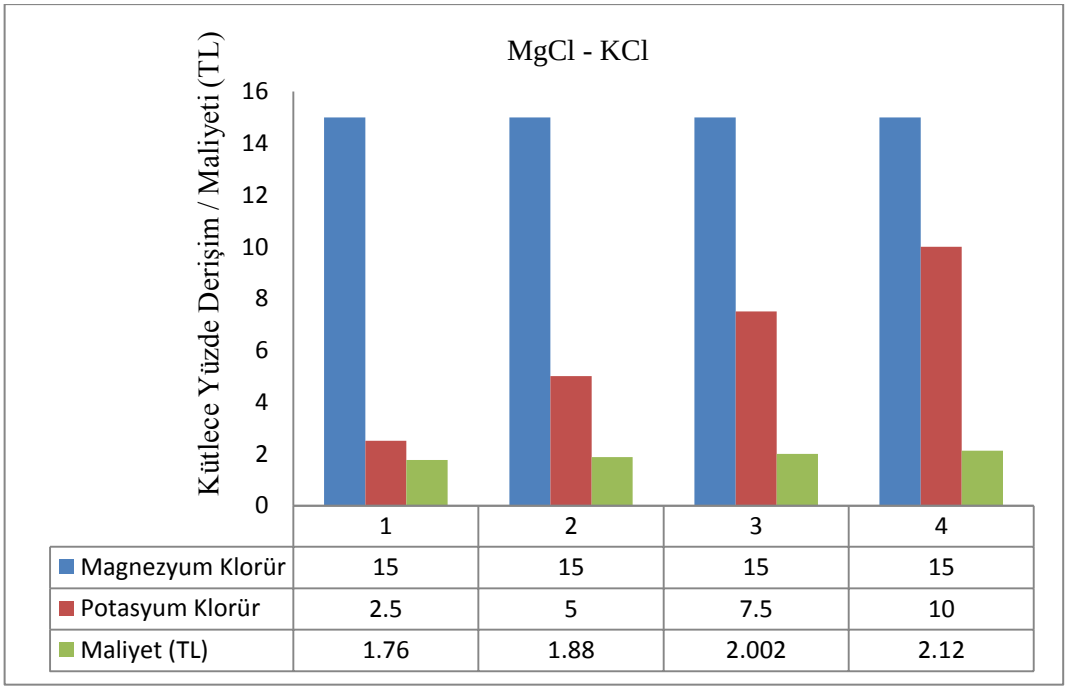
$MgCl_2$ ile $CaCl_2$ ikili karışımı hem donma noktasını aşağıya çekmede etkili olmasına rağmen maliyet bazında değerlendirildiğinde ikili karışımın maliyeti biraz yüksek olmaktadır.



	1	2	3	4
Magnezyum Klorür (Yüzde Derişim)	15	15	15	15
Potasyum Klorür (Yüzde Derişim)	2.5	5	7.5	10
Donma Noktası	-23	-30	-30	-27.5

Şekil 3.3.19. $MgCl_2$ – KCl çözelti karışımının kütlece derişime bağlı donma noktası değişimi

$MgCl_2$ ve KCl karışımında $MgCl_2$ sabit %15'lik derişimde tutulup KCl yavaş yavaş artırılmıştır. KCl'nin etkisi fazla olmamıştır. % 7.5'dan daha fazla KCl'nin katılması halinde donma noktasının düşmemesi $MgCl_2$ – KCl karışımının bir dezavantajıdır.

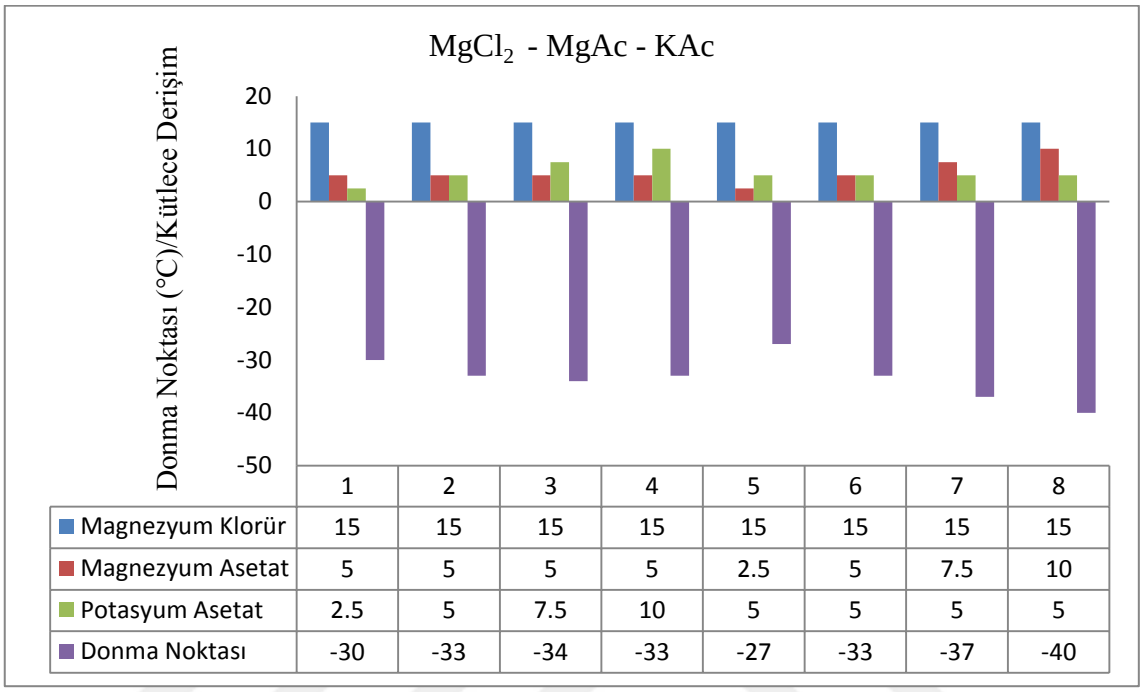


	1	2	3	4
Magnezyum Klorür	15	15	15	15
Potasyum Klorür	2.5	5	7.5	10
Maliyet (TL)	1.76	1.88	2.002	2.12

Şekil 3.3.20. $MgCl_2$ – KCl karışımının kütlece derişime bağlı olarak maliyet değişimi

Potasyum klorürde maliyet ve performans verimleri göz önüne alındığında potasyum formatla benzer etkiler göstermektedir.

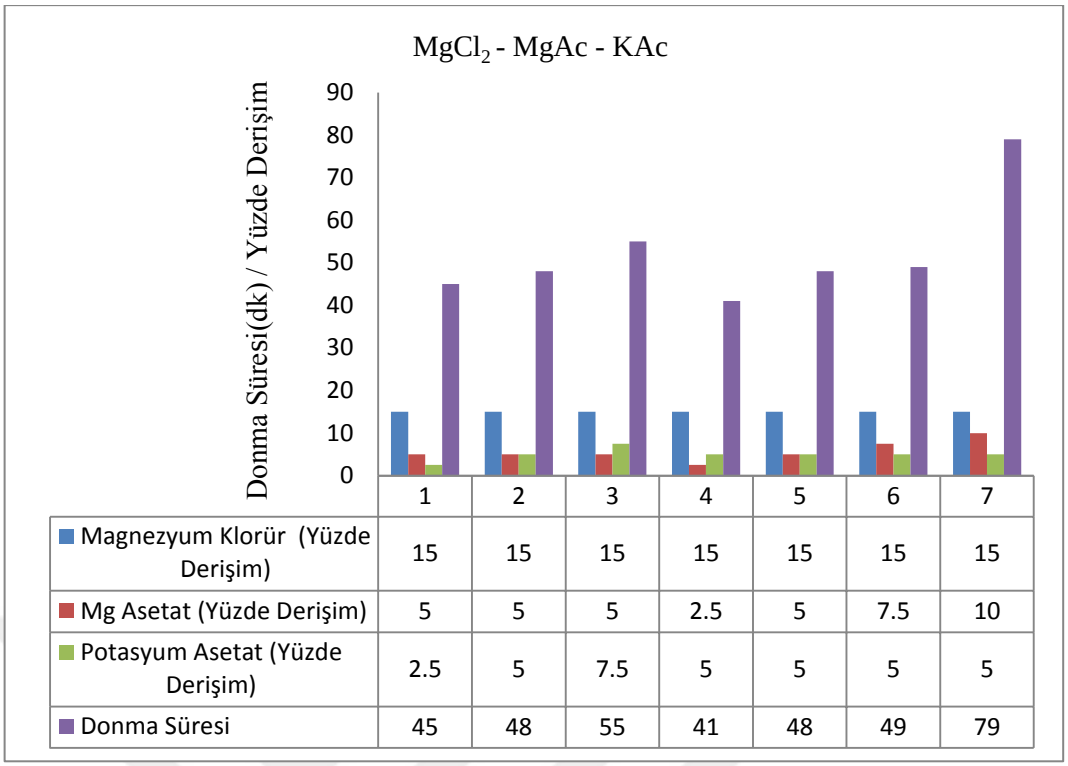
3.4. Üçlü Karışımlar



	1	2	3	4	5	6	7	8
Magnezyum Klorür	15	15	15	15	15	15	15	15
Magnezyum Asetat	5	5	5	5	2.5	5	7.5	10
Potasyum Asetat	2.5	5	7.5	10	5	5	5	5
Donma Noktası	-30	-33	-34	-33	-27	-33	-37	-40

Şekil 3.4.1. Tuz karışımlarının derişime bağlı olarak donma noktasının değişimi

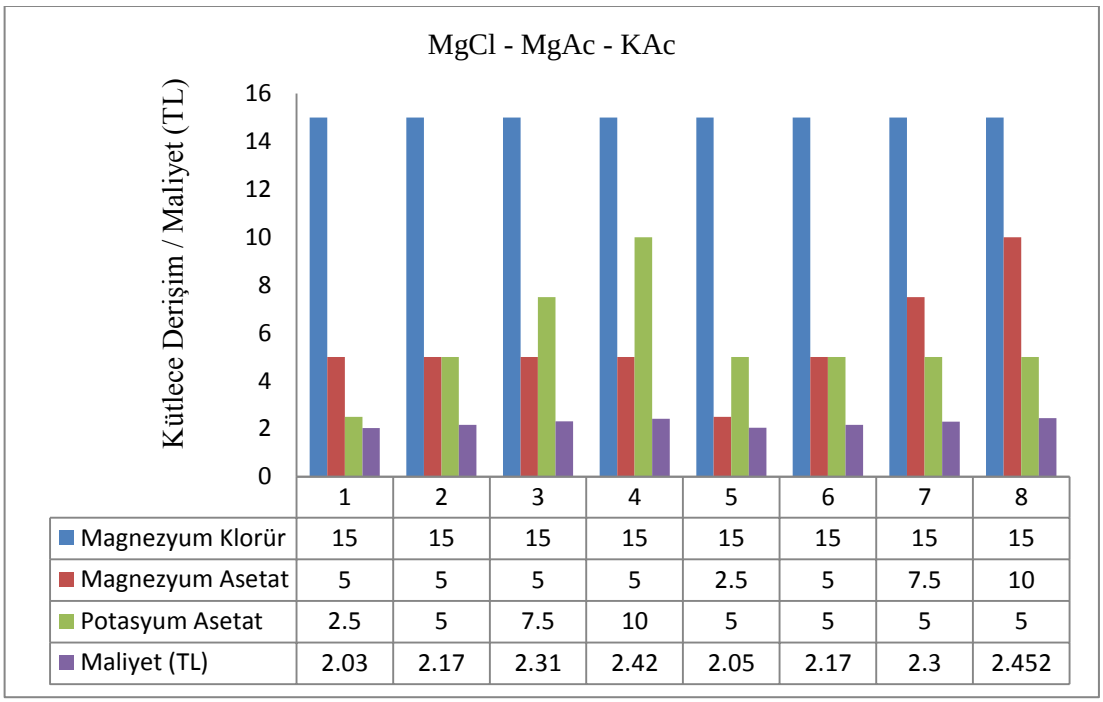
Şekil 3.4.1'e göre MgAc tuzunun KAc tuzundan daha etkili olduğu görülmektedir. MgAc tuzu sabit tutulup KAc tuzunun artırıldığı deneylerde (1,2,3,4 no'lu deneyler) donma noktası bir miktar düşmüş olsa da KAc tuzunun sabit tutulup MgAc tuzunun derişiminin artırıldığı (5,6,7,8 no'lu) deneylerde donma noktası daha fazla düşmüştür. Bu durumda MgAc tuzunun KAc tuzundan daha etkili bir tuz olduğu anlaşılmıştır.



	1	2	3	4	5	6	7
Magnezyum Klorür (Yüzde Derişim)	15	15	15	15	15	15	15
Mg Asetat (Yüzde Derişim)	5	5	5	2.5	5	7.5	10
Potasyum Asetat (Yüzde Derişim)	2.5	5	7.5	5	5	5	5
Donma Süresi	45	48	55	41	48	49	79

Şekil 3.4.2. Tuz karışımlarının derişime bağlı olarak donma sürelerinin değişimi

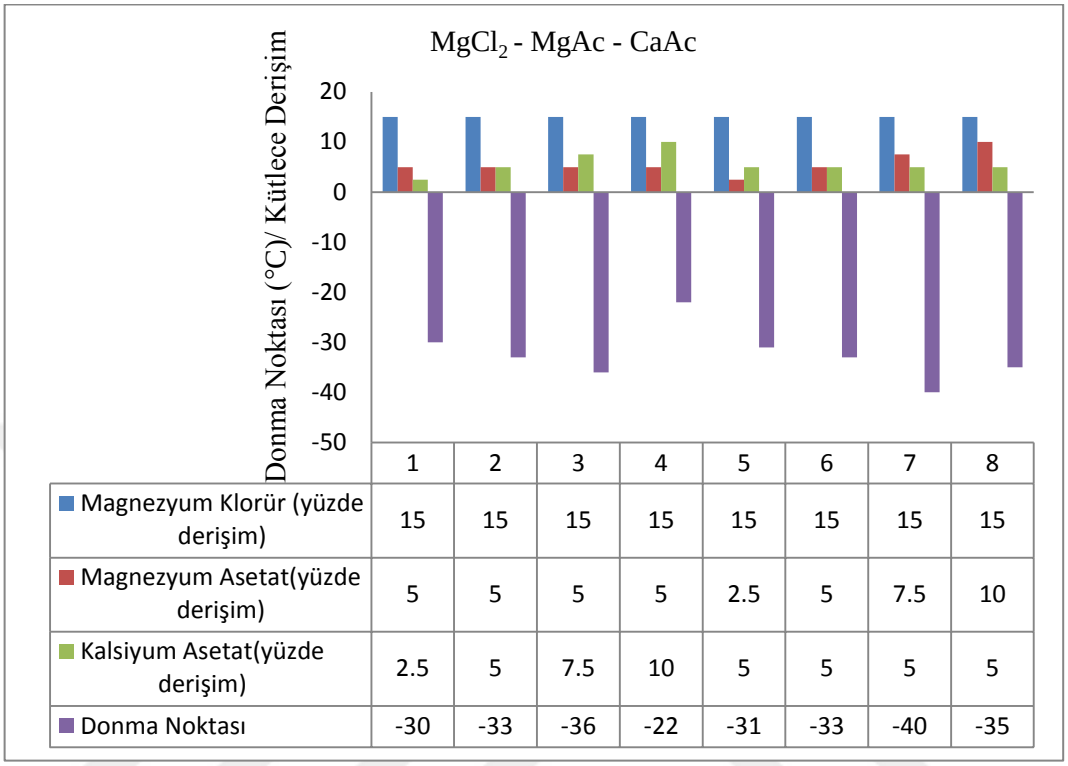
Bu üçlü karışımın donma sürelerini incelediğimizde 7 no'lu deneyde donma sürecinde büyük bir gecikme olmuştur. MgAc tuzu artırılıp KAc tuzunun sabit tutulduğu 4,5,6 no'lu deneylere kadar ciddi bir donma süresi artışı görülmezken, 7 no'lu deneyde donma süresi ciddi bir ölçüde artmıştır.



	1	2	3	4	5	6	7	8
Magnezyum Klorür	15	15	15	15	15	15	15	15
Magnezyum Asetat	5	5	5	5	2.5	5	7.5	10
Potasyum Asetat	2.5	5	7.5	10	5	5	5	5
Maliyet (TL)	2.03	2.17	2.31	2.42	2.05	2.17	2.3	2.452

Şekil 3.4.3. Tuz karışımlarının derişime bağlı olarak maliyetinin değişimi

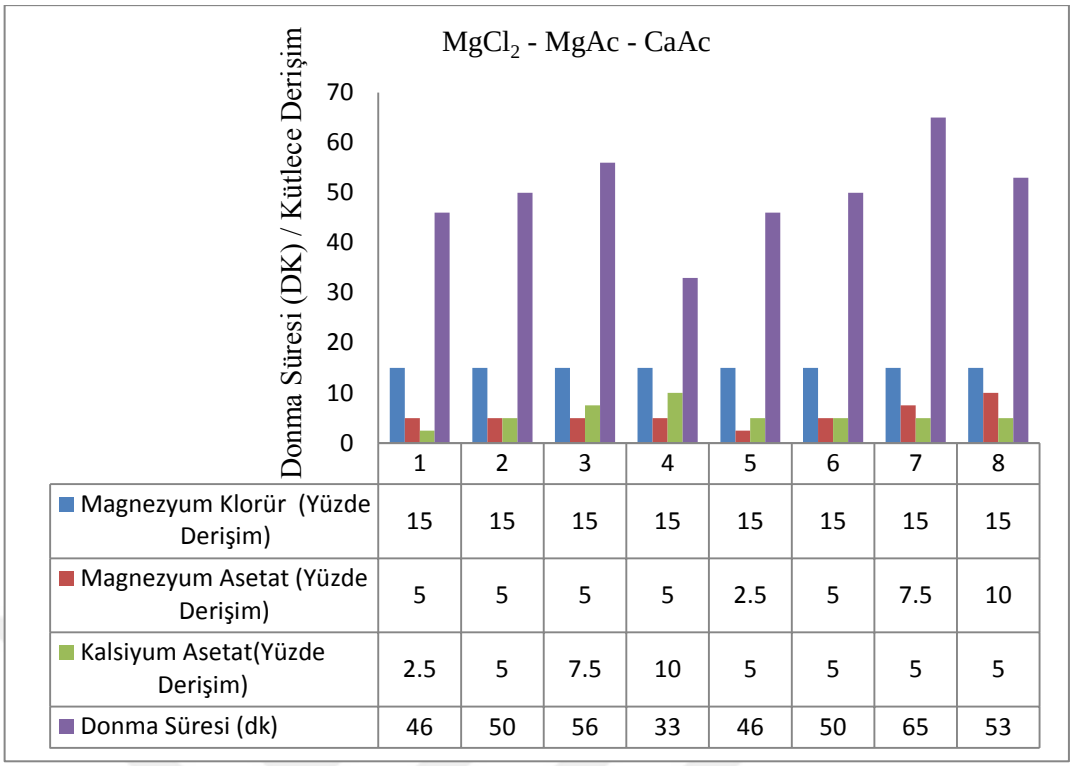
KAc'nin etkili bir tuz olmasından dolayı tuz çözeltisinde yüksek derişimlere çıkılmasına gerek olmamaktır. Bu durum tuz karışım maliyetini çok yükseltmeden kullanılmasına imkan vermektedir.



	1	2	3	4	5	6	7	8
Magnezyum Klorür (yüzde derişim)	15	15	15	15	15	15	15	15
Magnezyum Asetat(yüzde derişim)	5	5	5	5	2.5	5	7.5	10
Kalsiyum Asetat(yüzde derişim)	2.5	5	7.5	10	5	5	5	5
Donma Noktası	-30	-33	-36	-22	-31	-33	-40	-35

Şekil 3.4.4. Tuz karışımlarının derişime bağlı olarak donma noktasının değişimi

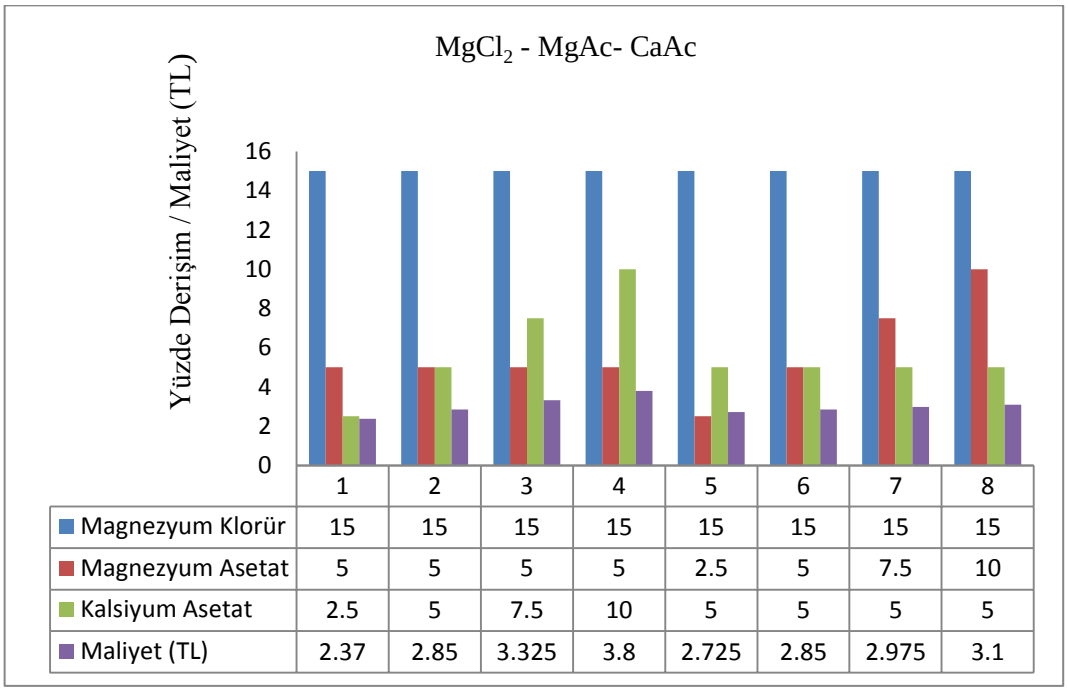
1,2,3,4 no'lu ölçümlerde CaAc artırılıp diğer tuzlar sabit miktarlarda katılmıştır. 5,6,7,8 no'lu ölçümlerde ise MgAc artırılıp diğerleri sabit tutulmuş ve bu ölçümlerde donma noktası biraz daha aşağıya düşmüş olduğu görülmektedir. Bundan dolayı MgAc tuzu CaAc tuzundan biraz daha etkilidir. MgCl'li karışımlarda MgAc tuzunun, hem CaAc hem de Kac'den daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.



	1	2	3	4	5	6	7	8
Magnezyum Klorür (Yüzde Derişim)	15	15	15	15	15	15	15	15
Magnezyum Asetat (Yüzde Derişim)	5	5	5	5	2.5	5	7.5	10
Kalsiyum Asetat(Yüzde Derişim)	2.5	5	7.5	10	5	5	5	5
Donma Süresi (dk)	46	50	56	33	46	50	65	53

Şekil 3.4.5. Tuz karışımlarının derişime bağlı olarak donma süresinin değişimi

Donma sürelerinin hesaplandığı bu üçlü tuz karışımında (Şekil 3.4.5.) MgAc tuzunun artırılıp CaAc tuzunun sabit tutulduğu 5,6,7,8 no'lu deneylerde, MgAc tuzunun, donma noktasını düşürmekle birlikte donma süresini de etkilemiştir. 7 no'lu deneyde donma süresi 65 dk ile en uzun süre olmuştur.

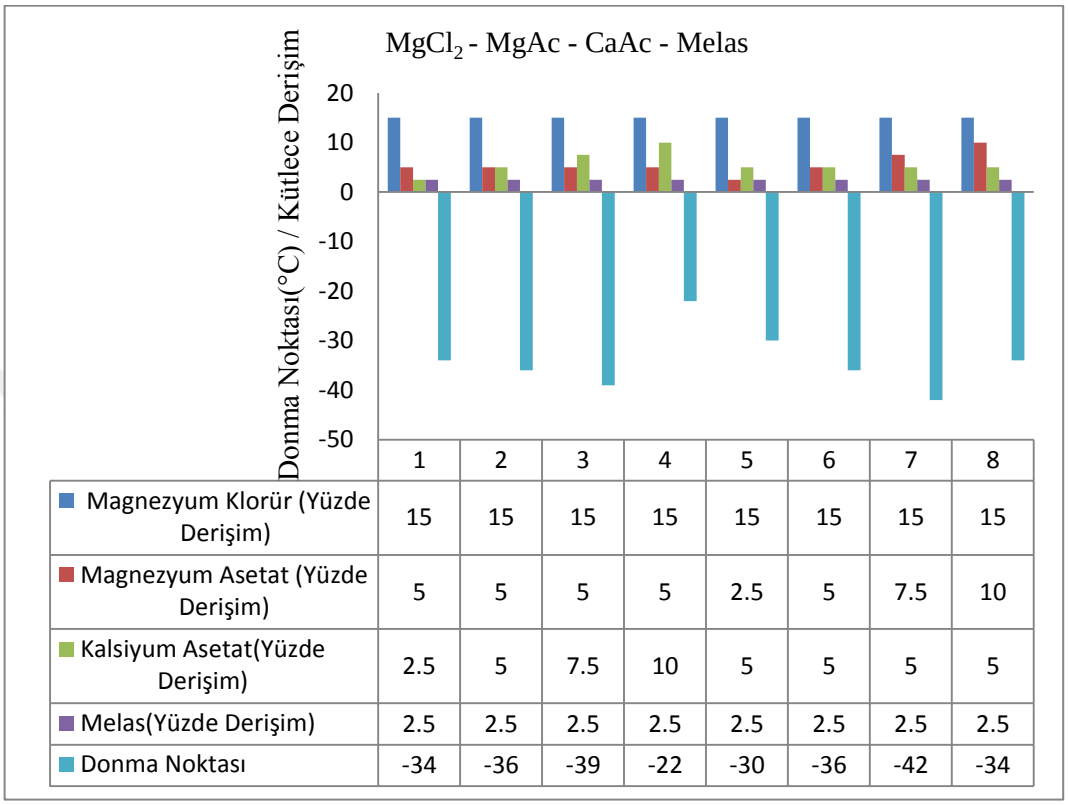


	1	2	3	4	5	6	7	8
Magnezyum Klorür	15	15	15	15	15	15	15	15
Magnezyum Asetat	5	5	5	5	2.5	5	7.5	10
Kalsiyum Asetat	2.5	5	7.5	10	5	5	5	5
Maliyet (TL)	2.37	2.85	3.325	3.8	2.725	2.85	2.975	3.1

Şekil 3.4.6. Tuz karışımlarının derişime bağlı olarak maliyetinin değişimi

Maliyet KAc yerine CaAc kullanılmasından dolayı biraz yükselmiştir. Donma noktası alçalması ve donma süresi artışında da bir azalma görülmektedir.

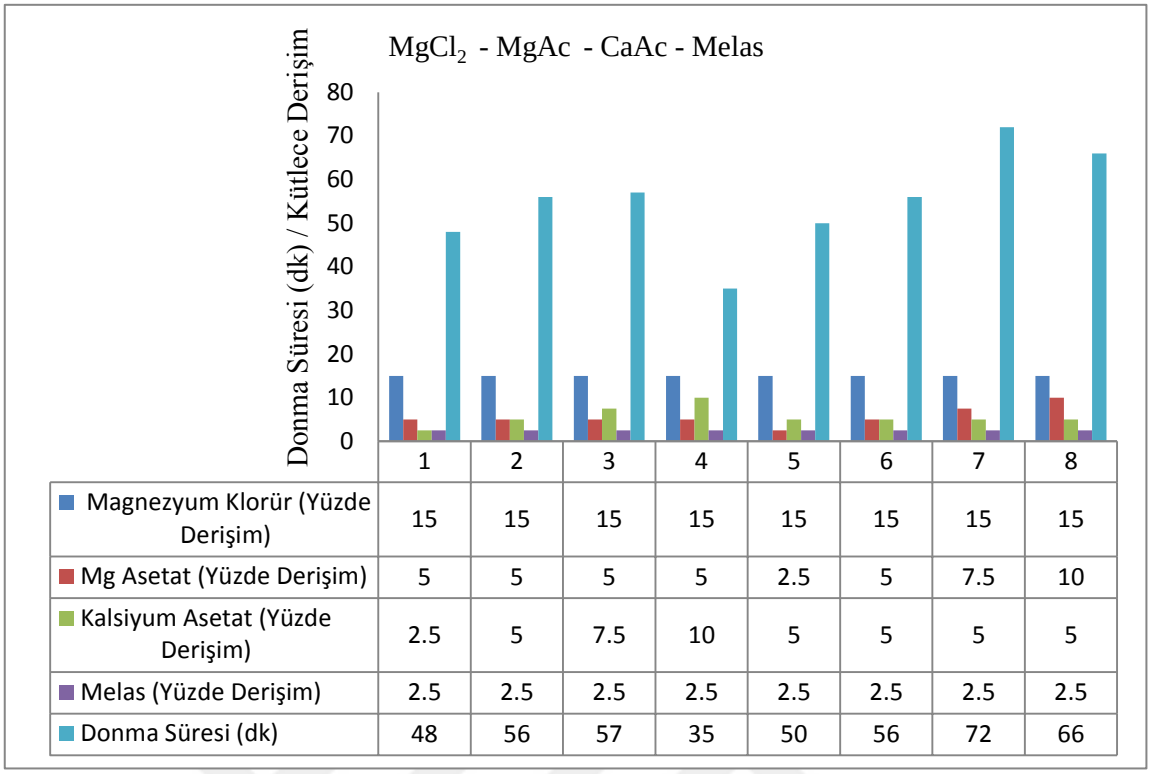
3.5. Dörtlü Karışımlar



	1	2	3	4	5	6	7	8
Magnezyum Klorür (Yüzde Derişim)	15	15	15	15	15	15	15	15
Magnezyum Asetat (Yüzde Derişim)	5	5	5	5	2.5	5	7.5	10
Kalsiyum Asetat(Yüzde Derişim)	2.5	5	7.5	10	5	5	5	5
Melas(Yüzde Derişim)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Donma Noktası	-34	-36	-39	-22	-30	-36	-42	-34

Şekil 3.5.1. Tuz-organik karışımlarının derişime bağlı olarak donma noktası değişimi

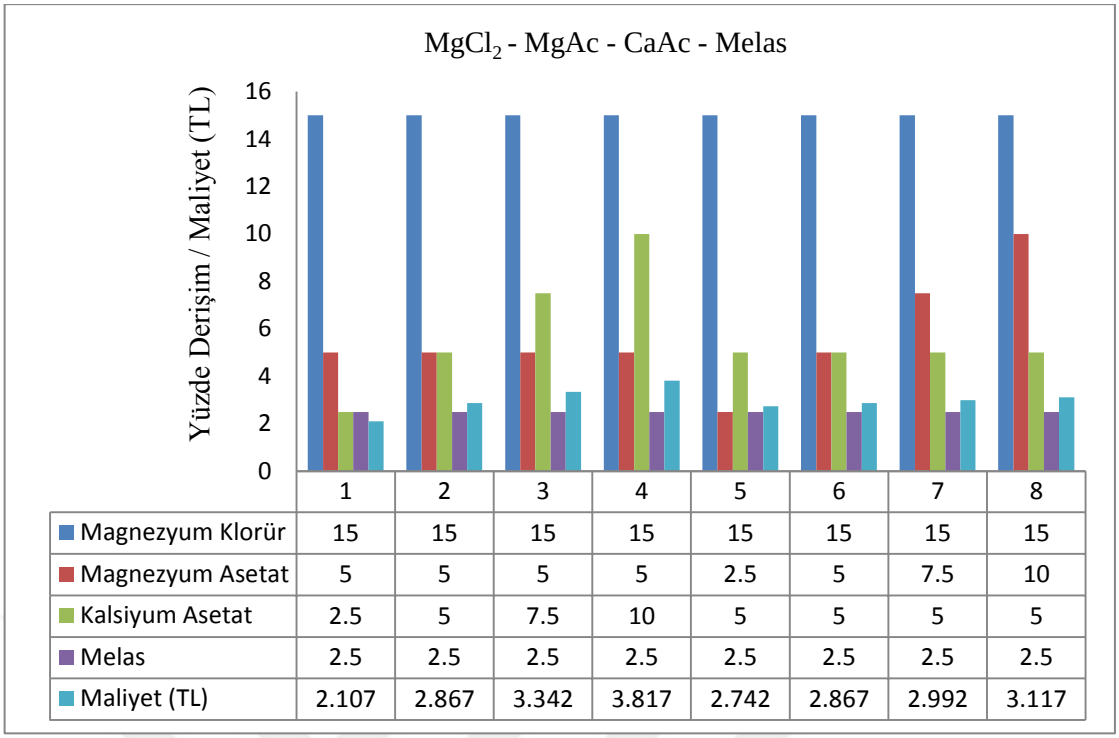
Daha önce üçlü karışım halinde deneylerini yaptığımız $MgCl_2$ – MgAc – CaAc karışımına melas eklenerek, melasın bu karışımın donma noktasına etkisi incelenmiştir. Melasın donma noktasını etkili bir şekilde düşürmüştür.



	1	2	3	4	5	6	7	8
Magnezyum Klorür (Yüzde Derişim)	15	15	15	15	15	15	15	15
Mg Asetat (Yüzde Derişim)	5	5	5	5	2.5	5	7.5	10
Kalsiyum Asetat (Yüzde Derişim)	2.5	5	7.5	10	5	5	5	5
Melas (Yüzde Derişim)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Donma Süresi (dk)	48	56	57	35	50	56	72	66

Şekil 3.5.2. Tuz-organik karışımlarının derişime bağlı olarak doma süresinin değişimi

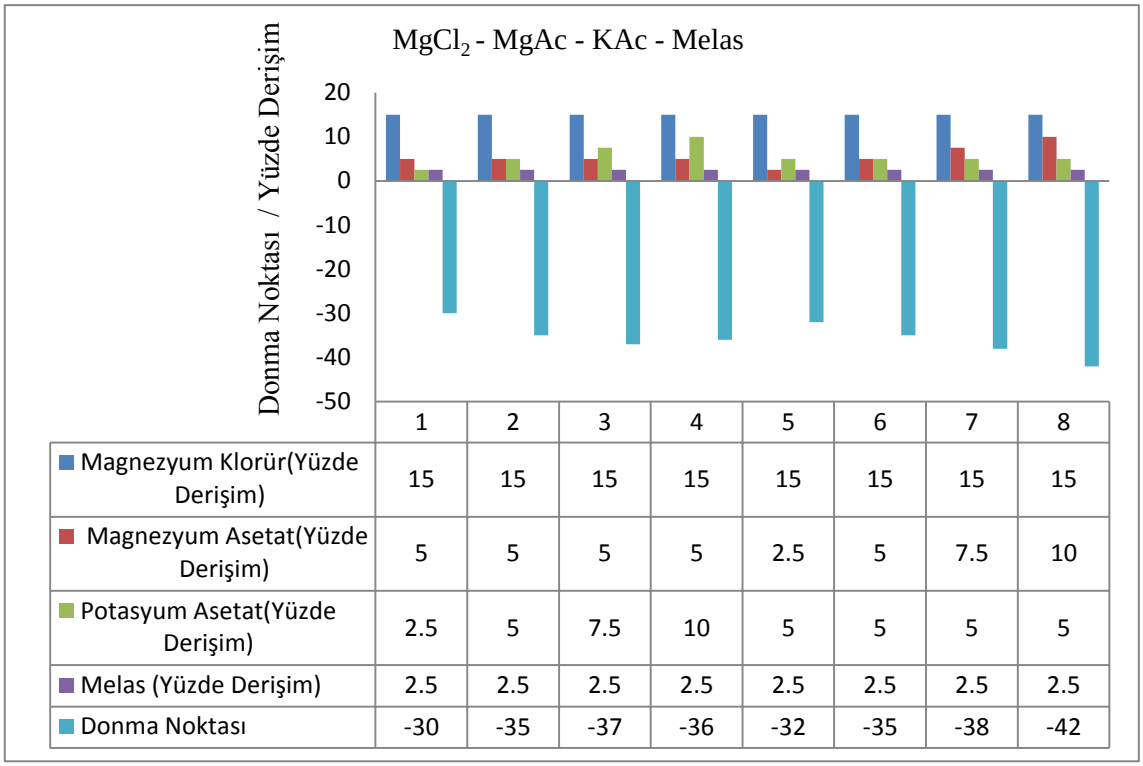
Melasın tuz karışımına ilavesi ile donma noktası yaklaşık 3°C'ye düşmüştür. Melasın katılmaması halinde en yüksek donma süresi 65 dk iken melas katıldığında bu süre 72 dk'ya kadar çıkmıştır. Donma süresinin artış nedeni donma noktası düşüşünden dolayı gerçekleşmiştir.



	1	2	3	4	5	6	7	8
Magnezyum Klorür	15	15	15	15	15	15	15	15
Magnezyum Asetat	5	5	5	5	2.5	5	7.5	10
Kalsiyum Asetat	2.5	5	7.5	10	5	5	5	5
Melas	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Maliyet (TL)	2.107	2.867	3.342	3.817	2.742	2.867	2.992	3.117

Şekil 3.5.3. tuz-organik karışımlarının derişime bağlı olarak maliyetinin değişmesi

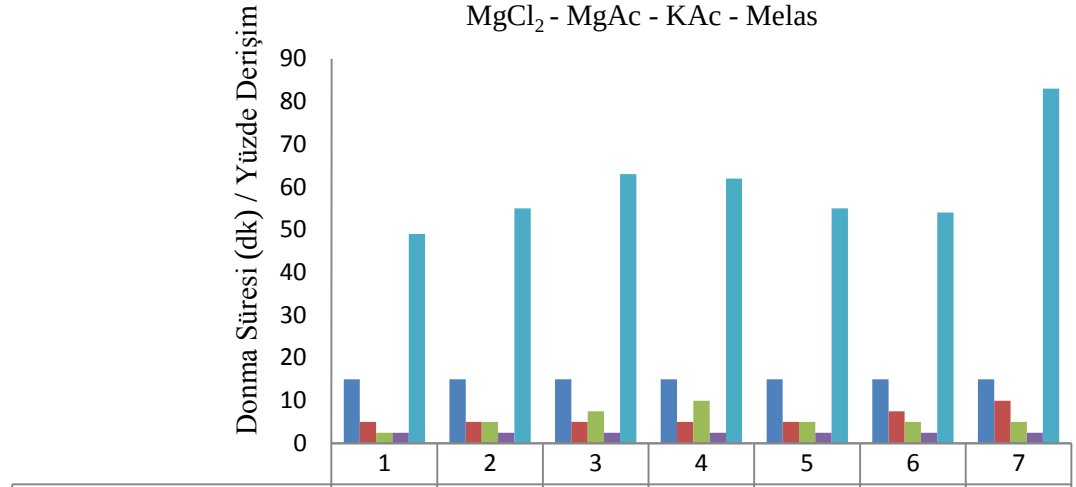
Melas şeker fabrikalarından elde edilen ucuz bir katkı maddesidir bundan dolayı tuz karışımının maliyeti düşmektedir.



	1	2	3	4	5	6	7	8
Magnezyum Klorür(Yüzde Derişim)	15	15	15	15	15	15	15	15
Magnezyum Asetat(Yüzde Derişim)	5	5	5	5	2.5	5	7.5	10
Potasyum Asetat(Yüzde Derişim)	2.5	5	7.5	10	5	5	5	5
Melas (Yüzde Derişim)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Donma Noktası	-30	-35	-37	-36	-32	-35	-38	-42

Şekil 3.5.4. Tuz-organik karışımlarının derişime bağlı olarak donma noktasının değişimi

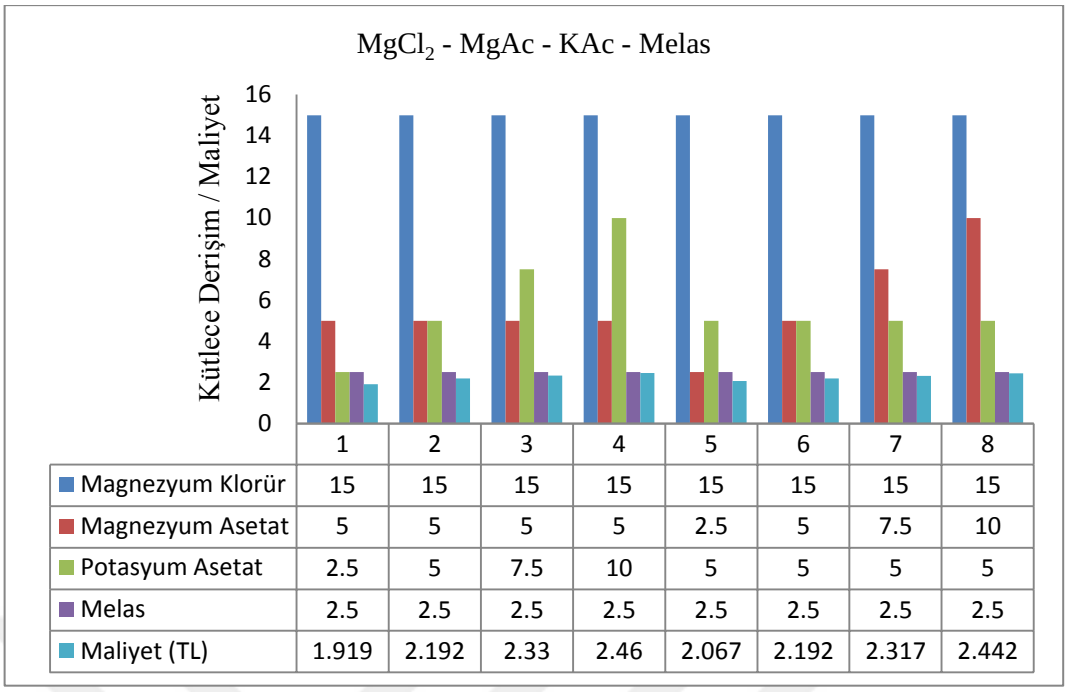
Melas eklenmeden yaptığımız deneyin donma noktası dereceleri ile mevcut tablodaki (şekil 3.4.4) tuz karışımlarının donma noktası dereceleri karşılaştırıldığında, melas oranı %2.5'luk olduğunda bile donma noktası aşağılara çekilmiştir. Melas birim fiyatının düşük olması melası önemli bir organik katkı maddesi haline getirmektedir. Çok fazla miktarlarda melas ve sorbitol tuz karışımına katılmış olursa yol yüzeyinde kayganlık oluşacağından melas ve sorbitolun %2.5tan daha fazla derişimi tuz karışım örneklerinde kullanılmamıştır.



	1	2	3	4	5	6	7
Magnezyum Klorür(Yüzde Derişim)	15	15	15	15	15	15	15
Magnezyum Asetat(Yüzde Derişim)	5	5	5	5	5	7.5	10
Potasyum Asetat(Yüzde Derişim)	2.5	5	7.5	10	5	5	5
Melas (Yüzde Derişim)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Donma Süresi (dk)	49	55	63	62	55	54	83

Şekil 3.5.5. Tuz-organik karışımlarının derişime bağlı olarak donma sürelerinin değişimi

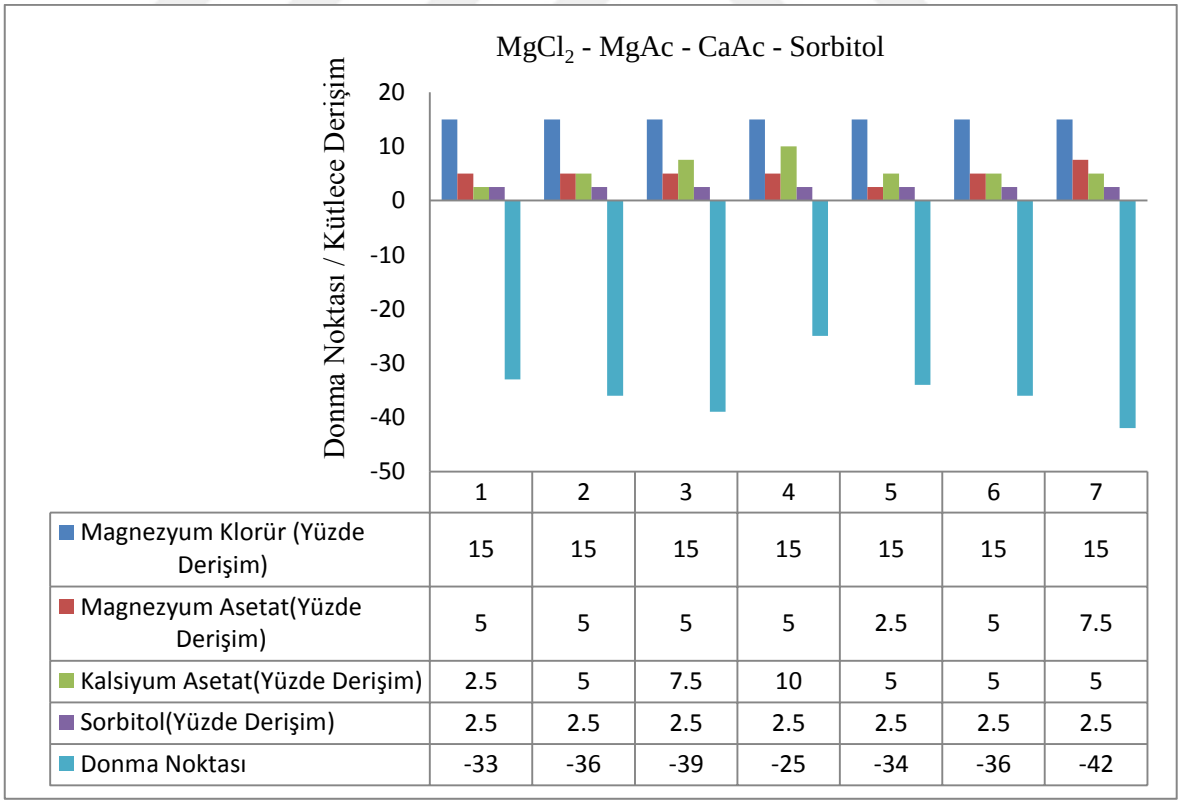
Melaslı deneylerde, donma noktalarında bir miktar donma sürelerinde gecikme olduğu görülmüştür. Melas katılmamış halinde en yüksek donma süresi 79dk iken melasın katılmasıyla 4dk'lık bir artışla 83dk olmuştur. Verilere göre melasın donmayı geciktirdiği görülmektedir, fakat bu etkinin donma noktası düşüşünden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.



	1	2	3	4	5	6	7	8
Magnezyum Klorür	15	15	15	15	15	15	15	15
Magnezyum Asetat	5	5	5	5	2.5	5	7.5	10
Potasyum Asetat	2.5	5	7.5	10	5	5	5	5
Melas	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Maliyet (TL)	1.919	2.192	2.33	2.46	2.067	2.192	2.317	2.442

Şekil 3.5.6. Tuz-organik karışımlarının derişime bağlı maliyet değişimleri

Bu dörtlü karışımda melasın katılmış ve katılmamış durumdaki tuz çözeltileri fiyatları karşılaştırıldığında maliyet açısından etkisi olmayan bir durum oluşmuştur.

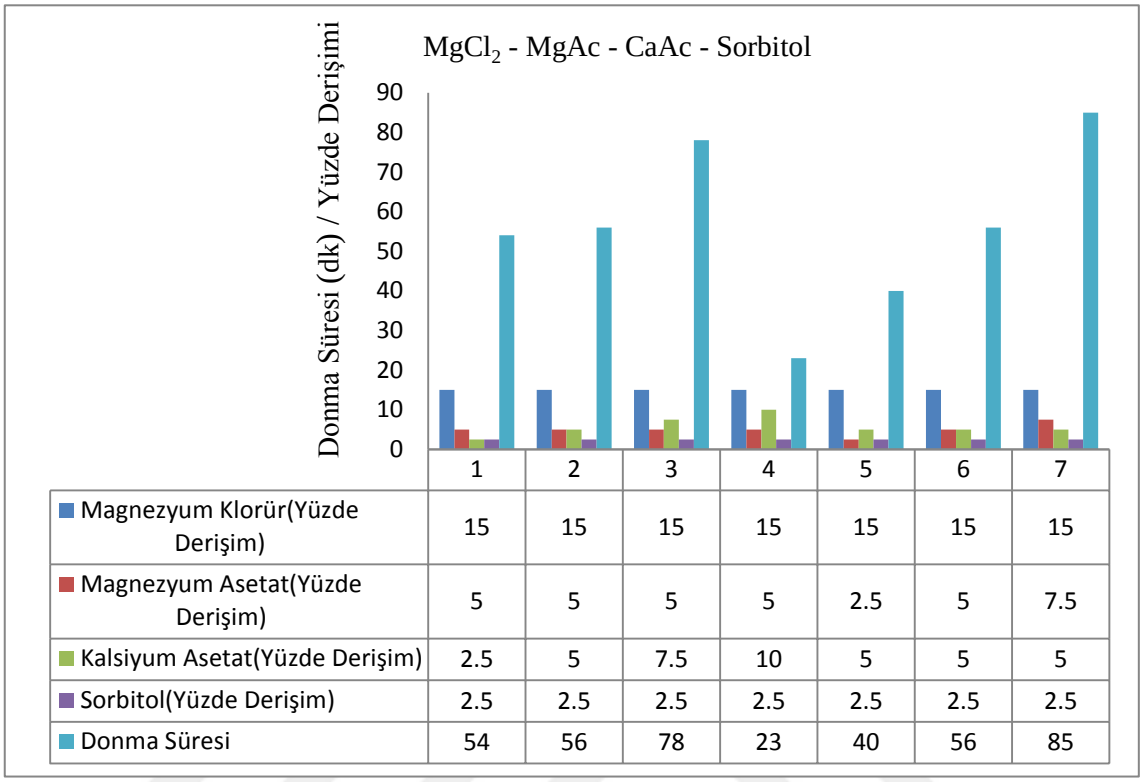


	1	2	3	4	5	6	7
Magnezyum Klorür (Yüzde Derişim)	15	15	15	15	15	15	15
Magnezyum Asetat(Yüzde Derişim)	5	5	5	5	2.5	5	7.5
Kalsiyum Asetat(Yüzde Derişim)	2.5	5	7.5	10	5	5	5
Sorbitol(Yüzde Derişim)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Donma Noktası	-33	-36	-39	-25	-34	-36	-42

Şekil 3.5.7. Tuz-organik karışımlarının derişime bağlı olarak donma noktasının değişimi

Şekil 3.5.7'de melasın yerine sorbitol denenerek donma noktası tayini ve maliyet analizleri yapılmıştır.

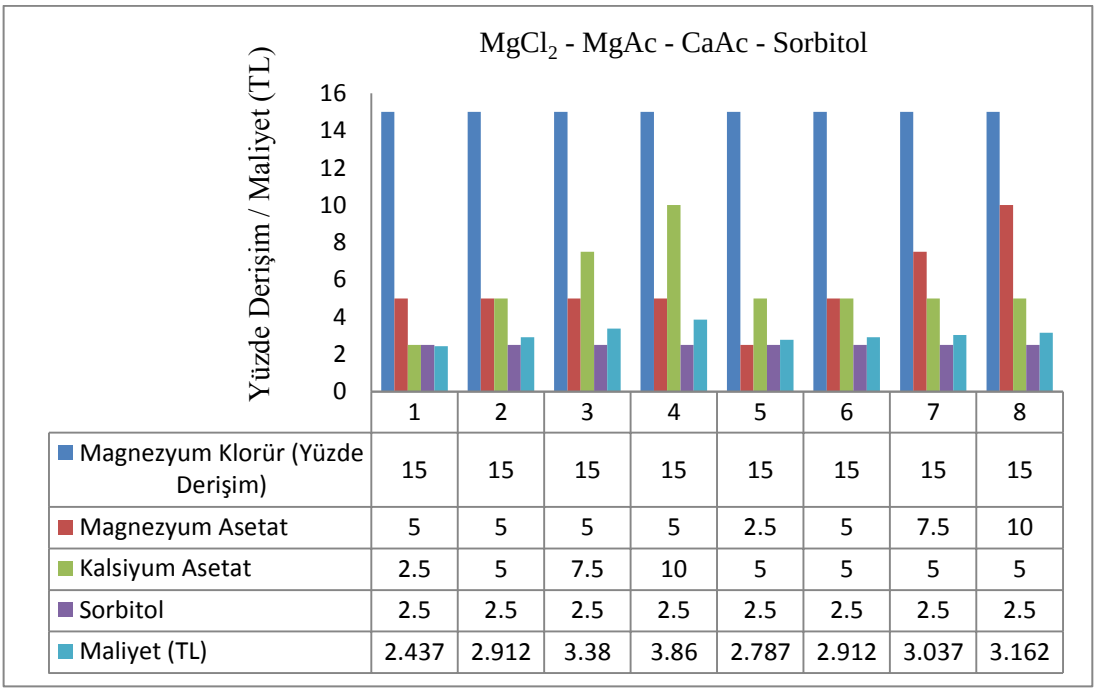
.



	1	2	3	4	5	6	7
Magnezyum Klorür(Yüzde Derişim)	15	15	15	15	15	15	15
Magnezyum Asetat(Yüzde Derişim)	5	5	5	5	2.5	5	7.5
Kalsiyum Asetat(Yüzde Derişim)	2.5	5	7.5	10	5	5	5
Sorbitol(Yüzde Derişim)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Donma Süresi	54	56	78	23	40	56	85

Şekil 3.5.8. Tuz-organik karışımlarının derişime bağlı olarak donma süresinin değişimi

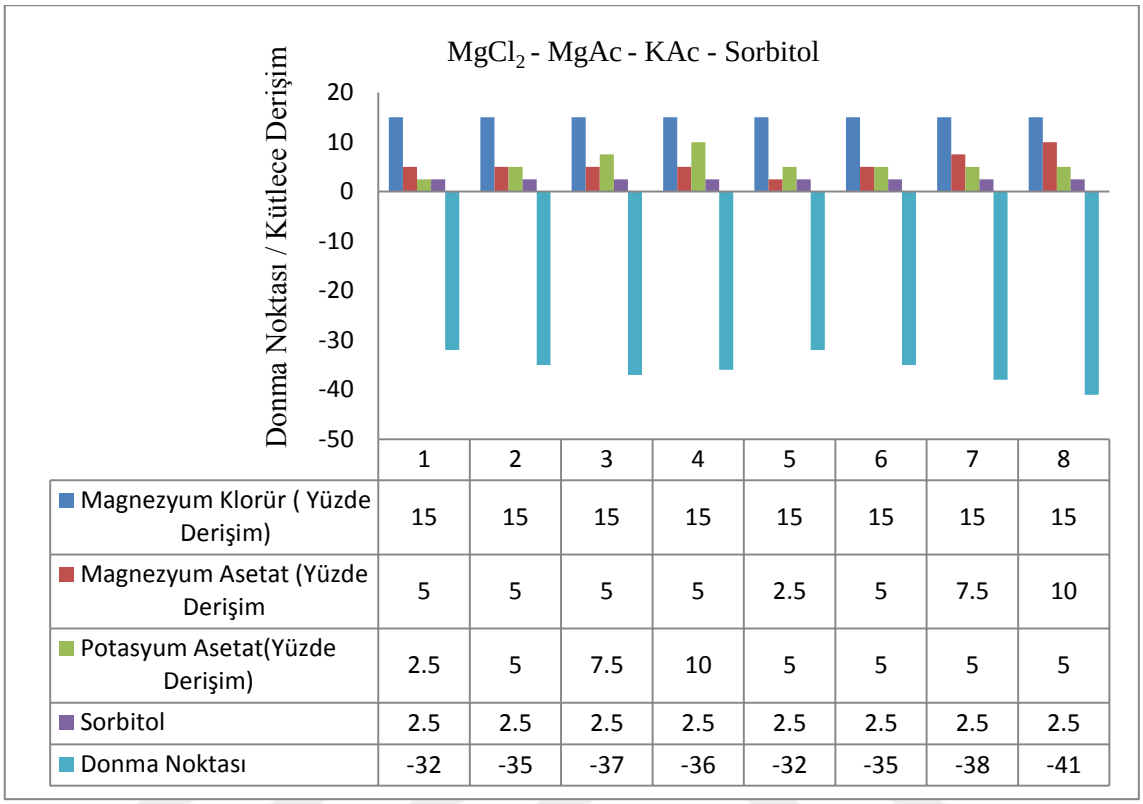
Sorbitolün tuz karışımına eklenmesi ile çözeltinin donma süresi artmıştır.



	1	2	3	4	5	6	7	8
Magnezyum Klorür (Yüzde Derişim)	15	15	15	15	15	15	15	15
Magnezyum Asetat	5	5	5	5	2.5	5	7.5	10
Kalsiyum Asetat	2.5	5	7.5	10	5	5	5	5
Sorbitol	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Maliyet (TL)	2.437	2.912	3.38	3.86	2.787	2.912	3.037	3.162

Şekil 3.5.9. Tuz-organik karışımlarının derişime bağlı olarak maliyetinin değişimi

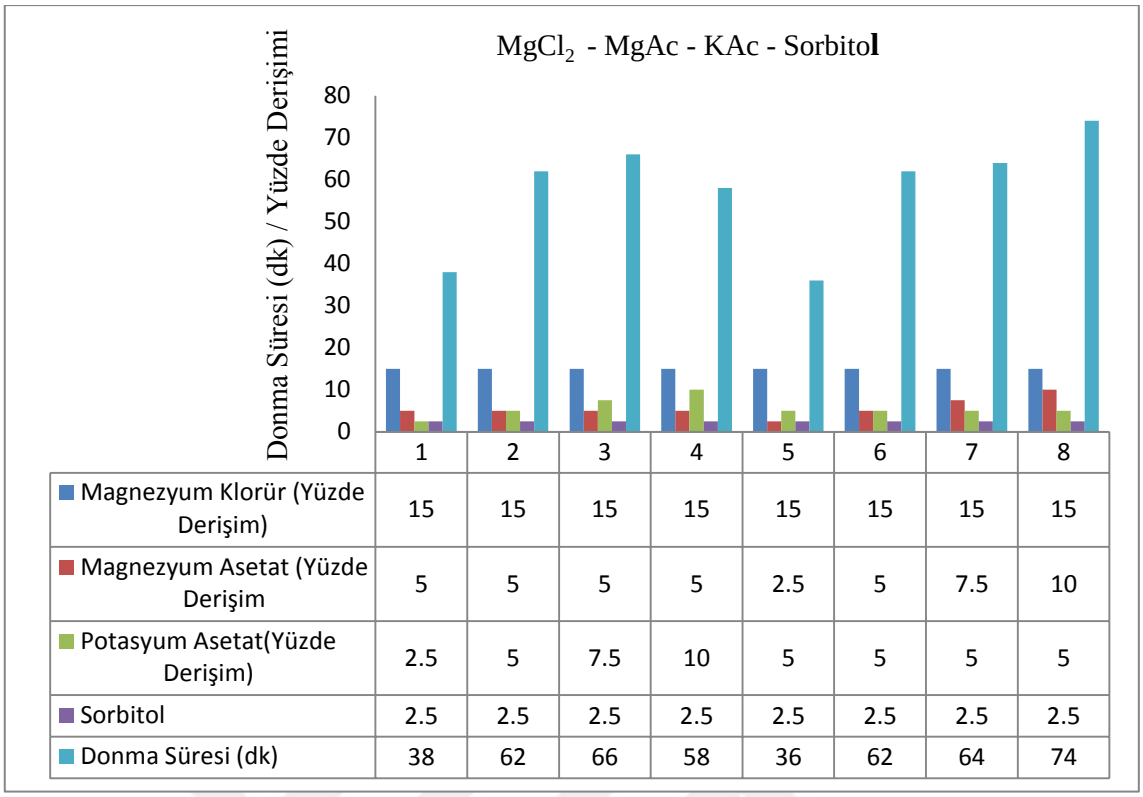
Sorbitol fiyat açısından melasa kıyasla maliyeti daha yüksektir bu nedenle melas fiyat yönünden tuz karışımına organik madde eklemede tercih edilebilir.



	1	2	3	4	5	6	7	8
Magnezyum Klorür (Yüzde Derişim)	15	15	15	15	15	15	15	15
Magnezyum Asetat (Yüzde Derişim	5	5	5	5	2.5	5	7.5	10
Potasyum Asetat(Yüzde Derişim)	2.5	5	7.5	10	5	5	5	5
Sorbitol	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Donma Noktası	-32	-35	-37	-36	-32	-35	-38	-41

Şekil 3.5.10. Tuz karışımlarının derişime bağlı olarak donma noktasının değişimi

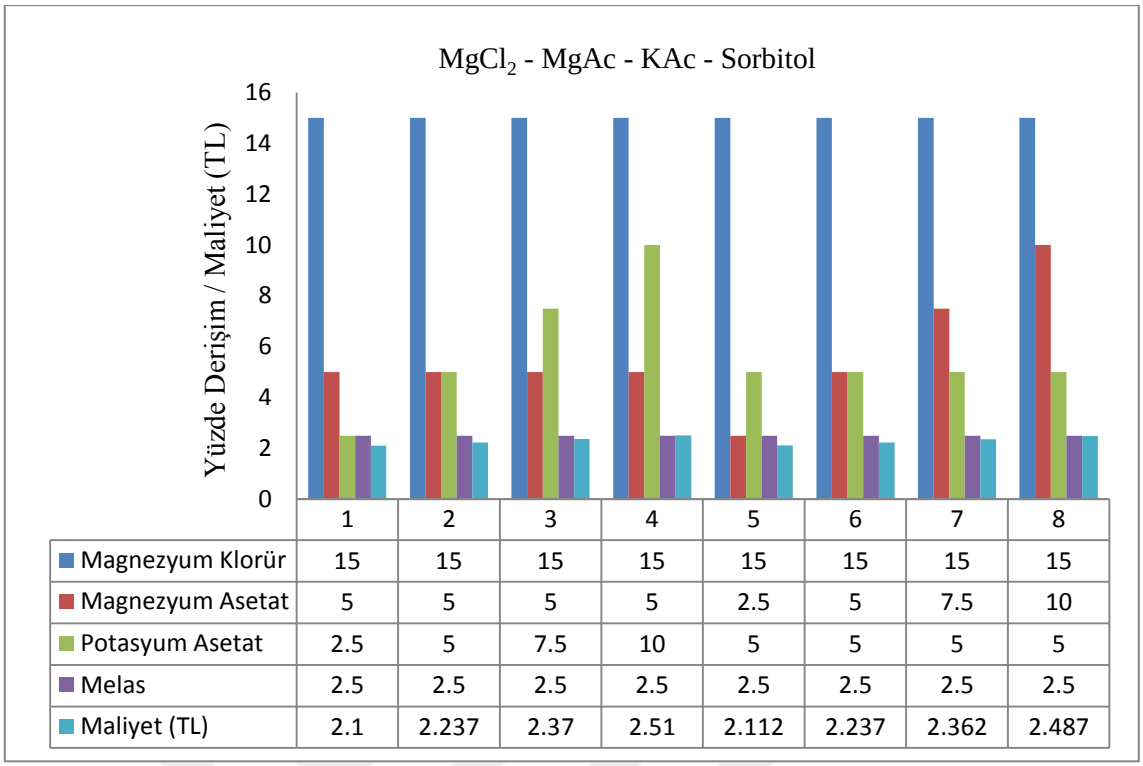
Şekil 3.5.10'daki karışımın sorbitol katılmamış hali incelendiğinde (şekil3.4.1) sorbitolün çözeltinin donma noktasının düşmesine etkisi olduğu daha önceki deneylerde sonuçlandırılmıştır. Sorbitol aynı karışıma katıldığında, sorbitolün alkol yapısında olması (OH^- bağlı yapısı gereği) çözeltinin donma noktası düşmüştür. Sorbitol derişimi %2.5'un üzerine çıkılmadığı için birkaç derecelik donma noktası düşüşleri sağlanmıştır.



	1	2	3	4	5	6	7	8
Magnezyum Klorür (Yüzde Derişim)	15	15	15	15	15	15	15	15
Magnezyum Asetat (Yüzde Derişim	5	5	5	5	2.5	5	7.5	10
Potasyum Asetat(Yüzde Derişim)	2.5	5	7.5	10	5	5	5	5
Sorbitol	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Donma Süresi (dk)	38	62	66	58	36	62	64	74

Şekil 3.5.11. Tuz-organik karışımlarının derişime bağlı olarak donma süresinin değişimi

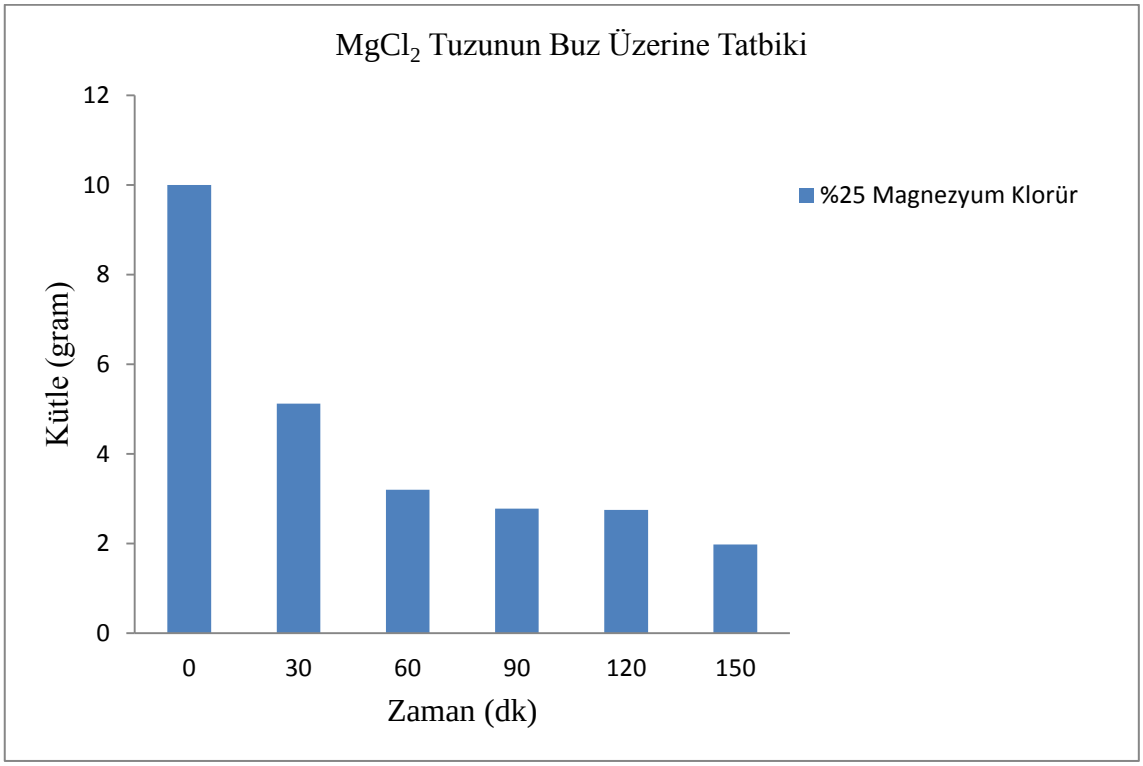
Sorbitolün donma süresini artırması etkili bir şekilde olmamıştır. Çünkü bu karışım için donma noktası düşüşü olduğundan dolayı donma süresinin gecikmesinin bu düşüş nedeniyle olabileceği söylenilebilmektedir.



	1	2	3	4	5	6	7	8
Magnezyum Klorür	15	15	15	15	15	15	15	15
Magnezyum Asetat	5	5	5	5	2.5	5	7.5	10
Potasyum Asetat	2.5	5	7.5	10	5	5	5	5
Melas	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Maliyet (TL)	2.1	2.237	2.37	2.51	2.112	2.237	2.362	2.487

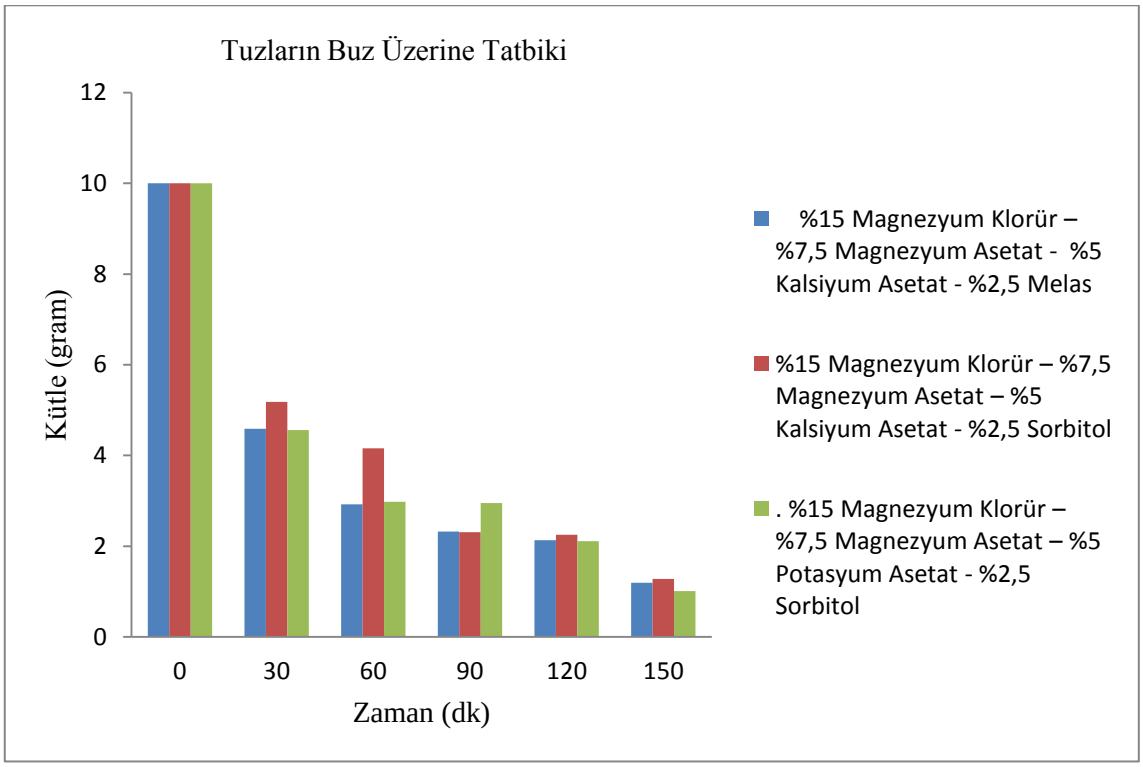
Şekil 3.5.12. Tuz-organik karışımlarının derişime bağlı olarak maliyetinin değişimi

Şekil 3.5.12'deki tuz karışımının maliyeti çok yüksek değildir. Bu karışımda KAc tuzu çevre dostu, çözünürlüğü yüksek bir tuz olup çözeltinin donma noktası düşüşünde etkili olmuştur ve bu tuzun birim fiyatı da düşüktür.



Şekil 3.5.13. Kütlece %25'lik $MgCl_2$ tuzunun buz giderme performansı

$MgCl_2$ tuzunun en verimli olduğu konsantrasyon kütlece %25'liktir. Bu derişimde buzun yaklaşık 8 gramı eritilebilmiştir fakat organik katkı maddeleri ilave edildiğinde bu yaklaşık 9 grama çıkmaktadır. Şekil 3.5.14'e göre %15 $MgCl_2$ - %7.5 MgAc - %5 KAc - %2.5 Sorbitol karışımı 10 gram buza tatbik edildiğinde geriye 1.007 gram buz kalmıştır. Maliyeti de 2.362 TL dir. Aynı şekilde %25 $MgCl_2$ tuzu 10 gram buza tatbik edildiğinde ise geriye 1.98 gram (yaklaşık 2 gram) buz kalmıştır. Maliyeti de 2. 72 TL dir. Görüldüğü gibi organik madde ilavesi yapıldığında maliyet düşerken buz giderme verimi de yükselmiştir.



Şekil 3.5.14. Tuz-organik karışımlarının buz giderme performansı

Donma noktası düşüşü ve donma süresine etkisi temel alındığında en etkili üç karışım belirlenip direkt buz üzerine tatbik edildi. Bu sayede somut bir biçimde etki gözlemlenmeye çalışıldı. İlk yarım saatte buz kütlesinde büyük bir kütle kaybı varken daha sonra bu kadar büyük bir buz giderme görülmemektedir. Bunun sebebi ilk yarım saatte tuz konsantrasyonu en yüksekte iken buz eridikçe konsantrasyonda sulanmanın etkisiyle azalıp seyrelmektedir. -20 °C'de yapılan bu deneyde kalıpların içinde hazırladığımız 2 gramlık buz kütleleri üzerine karışımlar ilave edildi. Her yarım saatte

bir buzların kütleleri ölçülerek ağırlık kaybı hesaplandı. Diğerlerinden biraz daha etkili karışımın %15 $MgCl_2$ - %7.5 MgAc - %5 Kac - %2.5 Sorbitol olduğu tespit edildi. KAc tuzunun yüksek çözünürlüğü bunda etkili olduğu düşünülmektedir. Bununla beraber diğer karışımlarda belli zaman dilimlerinde etkili performans gösterdi. Bu üç karışımda birbirlerinden çok büyük farklarının olmadığı gözlemlendi. Diğer karışımlarda da CaAc nin yüksek ekzotermik özelliği, KAc'nin de yüksek çözünürlüğü buzun erimesinde etkili bir faktör olarak düşünülmektedir. Üç karışımda 2.5 saatte buzun yaklaşık %90'ını eritmeye yaklaştığı görülmüştür.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Koefod (2008) yapmış olduğu çalışmada da $MgCl_2$ tuzuna ksilitol ekleyerek donma noktasını düşürdüklerini fakat buz eritme kapasitesini düşürdüğünü belirtmişlerdir. Biz çalışmamızda ise sorbitol ve melas ekleyerek bu donma noktası düşüşünü sağladık ayrıca biz organik madde ilavesinde tuz oranını azaltmadığımız için buz eritme kapasitesinde de artış sağladık.

Shi Xianming ve ark. çalışması bizim bulgularımızı destekler niteliktedir. $MgCl_2$ ve $CaCl_2$ -18 °C gibi düşük sıcaklıklarda buz giderme verimi açısından en etkili tuzlardan biri olmuştur. Fakat yüksek sıcaklıklarda NaCl'nin daha etkin olduğunu ortaya koymuşlardır. Çalışmamızda -20°C'de katı buz gidericileri buz üzerine ilave ettiğimizden $MgCl_2$ tuzu daha ağırlıklı olarak kullanılmıştır.

Acheeva ve ark. yaptıkları çalışmada çeşitli tuzları birbirleri ile karıştırarak özelliklerini incelemişlerdir. Tuzları birbirleri ile büyük miktarlarda karıştırmanın tuzların buz giderme özelliklerini daha da düşürdüğünü. Düşük miktarlarda ilavelerin ise özellikleri düşürmediği fakat maliyeti artırdığı belirtilmiştir. Biz çalışmamızda ise buz üzerine eklemek için oluşturduğumuz tuz karışımlarında, belirlediğimiz $MgCl_2$ tuzuna düşük miktarlarda tuzlar ve organik katkı maddeleri ekledik. Melas ve sorbitol gibi katkı maddeleri kullanılması maliyetin de yükselmemesini sağladı.

Laura Fay ve Xianming Shi çalışmalarında $MgCl_2$ tuzunun buz giderme de -18 °C'de $NaCH_3COO$, NaHCOO, NaCl tuzlarından çok daha etkili olduğu belirtilmiştir. -20°C'de tuz-organik karışımını buz üzerine tatbik ettiğimiz çalışmamızda $MgCl_2$ tuzu daha ağırlıklı olarak kullanılmıştır.

Yapmış olduğumuz literatür taramaları sonucunda $MgCl_2$ tuzunun düşük sıcaklıklarda bir buz giderici olduğu, fakat sıfıra yakın sıcaklıklarda NaCl tuzunun kullanımının hem buz giderme hem de maliyet açısından daha uygun olduğu ortaya konulmuştur. Tuzların sulu çözeltilere verdiği iyon sayısının fazla olması onun daha etkin bir buz giderici olmasını sağlayacaktır. Ayrıca katı buz gidericilerin kar/buz giderme performansı daha yüksek olacaktır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

$MgCl_2$ tuzunun donma noktasına etkisi dikkate alındığında oldukça etkili bir tuzdur çünkü Mg^{+2} iyonu 2A grubuna dahil metaldir ve suda çözünürken fazla iyon verebilmektedir, ayrıca geleneksek olarak yaygın bir şekilde kullanılan NaCl tuzuyla karşılaştırıldığında korozif etkisi ve bitkilere olan zararı daha az olan daha çevre dostu bir tuzdur. $MgCl_2$ tuzu deneylerimizde konsantrasyon olarak diğer tuzlara göre daha fazla kullanıldı. $MgCl_2$ tuzunun maliyetini organik katkı maddelerinin takviyesi aşağılara çekerken verimliliğin de artmasını sağladık. Oluşturduğumuz tuz-organik karışımlar ile çevreye daha az tuzluluk verilmesi sağlanmıştır. Dolayısıyla su kaynaklarında su canlıların zarar görmesinin, yol kenar bitkilerinde iyon dengesizliği ve yeterli su alamamaya bağlı olarak bitkilerin kuruyup solmasının; asfalt, beton ve metaller üzerinde de meydana gelecek korozif etkinin önüne geçilmeye çalışılmıştır.

Melasın yüksek konsantrasyonda kullanılmasının yol üzerinde kayganlaştırıcı etkiye sebep olması nedeniyle %2.5'luk konsantrasyonun üzerine çıkılmamıştır. Sadece, vereceği etkiyi gözlemlemek amacıyla $MgCl_2$ ile beraber ikili karışım olarak kullanıldığında melas konsantrasyonu kademeli olarak yüksek derişimlere kadar artırılmıştır.

Sorbitol de bir şeker alkolü olduğu için donma noktasına düşürmeye katkıda bulunmuştur. Maliyeti melas kadar düşük olmasa da diğer tuzlar ile mukayese edildiğinde daha ucuz bir katkı maddesidir. Ayrıca organik katkı maddeleri tuzlara ilave edildiğinde tuzun ötektik noktasını da düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Organik katkı maddesi ilave etmenin dışında, farklı tuzları da kendi aralarında karıştırarak donma noktasına ve donma süresine olan etkisini gözlemledik fakat dikkate değer önemli bir sonuç gözlemlenmediği gibi, donma sürelerini de göz önüne aldığımızda herhangi bir tuz, tuz karışımı veya tuz-organik karışımının, suyun donma süresini önemli ölçüde artırarak buzlanmayı geciktirdiğine dair net bir bulgu gözlemlemedik. Bunun en büyük nedeni kullandığımız maddelerin donma süresini artırırken donma noktasını da aynı anda düşürmesinden kaynaklanmaktadır. Donma noktası düştüğünde zaten donma süreside uzayacaktır, sağlıklı bir gözlem için donma süresini bağımsız bir biçimde gözlemlemek gerekmektedir.

Çizelge 5.1.1. Tuzların karşılaştırılması

Tuzlar	**Donma Noktası (°C)**	**Maliyet (TL)**
NaCl	-21	0.84
$MgCl_2$	**-45**	**2.75**
$CaCl_2$	-43	5.7
NaHCOO	-23	19.2
NaAc	-23	6.04
KAc	-39	2.2

Tekli tuz çözeltileri incelendiğinde donma noktasını en fazla aşağıya çeken tuz olması ve maliyetinin de çok yüksek olmaması nedeniyle $MgCl_2$ tuzunun en etkili tuz olduğuna karar verilmiştir. Tuz karışımlarımızda $MgCl_2$ tuzu daha yüksek konsantrasyonlarda ilave edilecektir.

Çizelge 5.1.2. İkili tuz karışımlarının karşılaştırılması

İkili Tuz Karışımları	Donma Noktası (°C)	Maliyet (TL)	Deney No
$MgCl_2$ - Üre	-27	3.2 TL	3
$MgCl_2$ - Sorbitol	-24	1.9 TL	9
$MgCl_2$ - Melas	-21	1.72 TL	9
$MgCl_2$ - KAc	-32	2.2	9
$MgCl_2$ - MgAc	**-38.5**	**2.15**	**7**
$MgCl_2$ - HCOONa	-28	8.05	4
$MgCl_2$ - HCOOK	-24	2.95	4
$MgCl_2$ – $CaCl_2$	-47	3.55	7
$MgCl_2$ - KCl	-27.5	2.12	4

$MgCl_2$ – $CaCl_2$ ikili karışımının donma noktası – 47 °C'ye kadar düşmüştür fakat bu karışımın maliyeti oldukça yüksektir. Çizelge 5.1.2'ye göre en etkili ikili karışım (maliyeti de değerlendirildiğinde) $MgCl_2$ – MgAc ikili karışımıdır.

Çizelge 5.1.3. Üçlü tuz karışımları ve organik katkı maddesi ilave edilmiş hallerini karşılaştırılması

Tuz Karışımı	Donma Noktası (°C)	Donma Süresi (dk)	Maliyet (TL)	Deney No
$MgCl_2$ – MgAc - KAc	-33	48	2.17	2
$MgCl_2$ – MgAc - CaAc	-33	50	2.85	2
$MgCl_2$ – MgAc – KAc - Melas	-35	55	2.19	2
$MgCl_2$ – MgAc – CaAc - Melas	-36	56	2.86	2
$MgCl_2$ – MgAc – KAc - Sorbitol	-35	62	2.23	2
$MgCl_2$ – MgAc – CaAc - Sorbitol	-36	56	2.91	2

Çizelge 5.1.3'te üçlü tuz karışımları ve bu karışımlara melas, sorbitol gibi organikler eklendikten sonra meydana gelen değişimler incelenmiştir. Melas ve sorbitolün donma noktasını düşürdüğü ve donma sürelerini artırdığı çizelge 5.1.3'te görülmektedir. Ayrıca melas ve sorbitol maliyeti de fazla etkilememişlerdir.

5.2. Öneriler

Buz giderici tuz çalışmalarında daha farklı alternatif katkı maddeleri kullanılabilir. Örneğin literatürde odun külünün buz gidermeye etkisi olduğu belirtilmektedir, çeşitli ağaçların külleri, kömür külleri belirli konsantrasyonlarda ayrı ayrı ve birlikte denenerek performans/fiyat oranı daha da artırılabilir. Bir atığın değerlendirmesi açısından külün katkı maddesi olarak kullanılması önemlidir fakat bu durum çevre ve görüntü kirliliği açısından da değerlendirilmelidir.

Buz gidermede aşındırıcı madde kullanımı da oldukça önemlidir. Genelde kum, çakıl, cüruf gibi malzemeler kullanılsa da bir çalışmada alternatif olarak pomza da kullanılmıştır. Aşındırıcılar yolda sürtünmeyi artırarak güvenliği artırdığı gibi aynı zamanda tuzların buza nüfuz etmesini de kolaylaştırmaktadır. Aşındırıcılar da buz giderme verimini etkileyen önemli bir unsurdur.

Buz giderici kimyasalların üretimi kadar uygulanma şekli de önemli bir konudur. Gereksiz yere çok fazla kullanılan bir buz gidericinin maliyeti yükselecektir. Bu nedenle otomatik buz önleyici spreyler ve alttan ısıtmalı asfalt gibi otomasyon sistemlerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması buz sarfiyatını azaltacak maliyeti düşürecektir.

Biz çalışmamızda üç temel faktörü göz önünde bulundurduk. Donma noktası, donma süresi, maliyet. Tuzun asfalta ve çimentoya olan korozif etkisi fiziksel testler ile incelenebilir, ayrıca bitkilere olan etkide incelenerek buz gidericiler çevre dostu hale getirilmeye çalışılabilir. Özellikle asetatlı tuzların ana tuz olarak seçilmesi ve onun üzerine çalışılması çevre dostu buz giderici çalışmalarında yarar sağlayacaktır, zira alt yapının zarar görmesi karla/buzla mücadelede maliyeti artıran bir unsurdur.

Donma noktası tayin cihazımız -50 °C'ye kadar soğutmaktadır, ve çözeltinin donduğunu kontrol etmek için sürekli çözeltiyi yerinden çıkarıp bakmak gerekmektedir. Ayrıca haznesi sadece iki tüp alabildiğinden dolayı deneyde ilerleme hızı biraz daha yavaş olmaktadır. Daha düşük derecelere kadar soğutan çok hazneli ve sürekli kontrole gerek kalmayan bir donma tayin cihazı deney hızını ve kalitesini artıracaktır.

KAYNAKLAR

Achkeeva, M. V., Romanyuk, N. V., Avdyushkina, L. I., Frolova, E. A., Kondakov, D. F., Khomyakov, D. M., Bykov, A. V. ve Danilov, V. P., 2014, Anti-icing agents based on magnesium and sodium acetates and chlorides, *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 48 (4), 461-467.

Achkeeva, M. V., Romanyuk, N. V., Frolova, E. A., Kondakov, D. F., Khomyakov, D. M. ve Danilov, V. P., 2015, Deicing properties of sodium, potassium, magnesium, and calcium chlorides, sodium formate and salt compositions on their basis, *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 49 (4), 481-484.

Ahmedzade, P., Yılmaz, M. ve Yılmaz, M., Kar ve Buz ile Mücadele Etmek Amacıyla Geliştirilen Daha Etkili ve Ekonomik Yeni Yöntemler, *İnşaat Mühendisleri Odası Bülteni*.

Anonim, Buzlanmayi Algilama ve Önleme Sistemleri, *İşbak Aş, No;56, İstanbul*.

Anonim, 2003, Hava Alanları Pist Yüzey Şartları Yönergesi, *Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü*

Anonim, 2012, Etilen Türevleri Ve Prosesleri, *Milli Eğitim Bakanlığı Kimya Teknolojisi*.

Anonim, 2015, Kar Siperi, *http://karsiperi.com/kar-perdesi.html, [Ziyaret Tarihi: 27 Mart 2017]*.

Anonim, 2016a, 2015 Devlet ve İl Yolları Bakım-İşletme Maliyetleri *Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü*.

Anonim, 2016b, Korkmayın BEUS Devrede, *http://www.istanbulajansi.ist/haber/korkmayin-beus-devrede/45347 [Ziyaret Tarihi: 27 Mart 2017]*.

Anonymous, Colligative Properties *https://opentextbc.ca/chemistry/chapter/11-4-colligative-properties/, [Ziyaret Tarihi: 27 Mart 2017]*.

Anonymous, Curbing adds class to a heated permeable pavement system that immediately melts and drains snow and ice, *http://www.hardscapemagazine.com/the-building-of-a-curbed-heated-permeable-award-winner.htm, [Ziyaret Tarihi: 27 Mart 2016]*.

Anonymous, 1996, Using Salt and Sand for Winter Road Maintenance, *Wisconsin Transportation Bulletin No. 6*.

Anonymous, 2005, Pre-Wetting and Anti-icing Techniques For Winter Road Maintenance, *Wisconsin Transportation Bulletin No. 22*.

Berberoğlu, Ş., 2011, Beton Yollarda Buz Çözücü Tuz Etkisine Su-Çimento Oranının Etkileri, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Bing, H. ve Ma, W., 2011, Laboratory investigation of the freezing point of saline soil, *Cold Regions Science and Technology*, 67 (1-2), 79-88.

Çulha, Ş. ve Çakırlar, H., 2011, Tuzluluğun Bitkiler Üzerine Etkileri ve Tuz Tolerans Mekanizmaları, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11-34.

Danilov, V. P., Frolova, E. A., Kondakov, D. F. ve Avdyushkina, L. I., 2016, Deicers based on magnesium and calcium nitrates, *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 50 (4), 479-482.

Derwin, D., Booth, P., Zaleski, P., Marsey, W. ve Flood, W., 2003, Snowfree®, Heated Pavement System to Eliminate Icy Runways, SAE International.

Equiza, M. A., Calvo-Polanco, M., Cirelli, D., Señorans, J., Wartenbe, M., Saunders, C. ve Zwiazek, J. J., 2017, Long-term impact of road salt (NaCl) on soil and urban trees in Edmonton, Canada, *Urban Forestry & Urban Greening*, 21, 16-28.

Ekmekçi, E., Apan, M. ve Kara, T., 2005, Tuzluluğun Bitki Gelişimine Etkisi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20 (3), 118 - 125.

Erdoğan, B., 2008, Production and Development of De/Anti Icing Fluids For Aircraft, *The Graduate School Of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University*.

Farnam, Y., Wiese, A., Bentz, D., Davis, J. ve Weiss, J., 2015, Damage development in cementitious materials exposed to magnesium chloride deicing salt, *Construction and Building Materials*, 93, 384-392.

Fay, L. ve Shi, X., 2011, Laboratory Investigation of Performance and Impacts of Snow and Ice Control Chemicals for Winter Road Service, *Journal of Cold Regions Engineering*, 25 (3), 89-114.

Frolova, E. A., Kondakov, D. F., Orlova, V. T., Avdyushkina, L. I., Bykov, A. V. ve Danilov, V. P., 2013, Design of deicing reagents based on alkali and alkaline-earth metals and ammonium formates, acetates, and nitrates, *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 47 (4), 422-427.

Giuliani, F., Merusi, F., Polacco, G., Filippi, S. ve Paci, M., 2012, Effectiveness of sodium chloride-based anti-icing filler in asphalt mixtures, *Construction and Building Materials*, 30, 174-179.

Goodwin, C. L., 2003, Best Practices For Road Weather Management, *Federal Highway Administration (FHWA) Office of Transportation Operations Road Weather Management Program Washington, DC 20024*.

Gökdemir, T., 2013, Buzlanma Erken Uyarı Sistemi Uygulamaları ve İstanbul Örneği, *Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Gürer, C., Düşmez, C. ve Demirci, B., 2015, Buzlanma ile Mücadelede Modern Yöntemler, *Ejoir IWCEA*.

Hu, Y. ve Schmidhalter, U., 2005, Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168, 541-549.

Ke, C., Li, Z., Liang, Y., Tao, W. ve Du, M., 2013, Impacts of chloride de-icing salt on bulk soils, fungi, and bacterial populations surrounding the plant rhizosphere, *Applied Soil Ecology*, 72, 69-78.

Koefod, S., 2012, A Better Understanding of Chemical Deicers, *Cargill Deicing Technology*.

Köse, H., 2015, Bitümlü Ilık Karşımların Kimyasal Buz Çözücülere Karşı Direncinin İncelenmesi, *Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Küçükçongar, S., Sevimli, M. F. ve Yel, E., 2009, Organik Madde Konsantrasyonunun Trihalometan (THM)Bileşiklerinin Oluşumuna Etkisi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakülte Dergisi*

Li, H., Zhang, Q. ve Xiao, H., 2013, Self-deicing road system with a CNFP high-efficiency thermal source and MWCNT/cement-based high-thermal conductive composites, *Cold Regions Science and Technology*, 86, 22-35.

Liu, Z. ve Hansen, W., 2016, Freeze–thaw durability of high strength concrete under deicer salt exposure, *Construction and Building Materials*, 102, 478-485.

Okur, A., 2008, Karayolları Kar ve Buz Mücadelesinde Kullanılan Modern Yöntemlerin Ülkemizde Uygulanabilirliğinin Araştırılması *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Ensititüsü*.

Özgan, E., Serin, S., Gerengi, H. ve Arslan, İ., 2013, Multi-faceted investigation of the effect of de-icer chemicals on the engineering properties of asphalt concrete, *Cold Regions Science and Technology*, 87, 59-67.

Santagata, E., Baglieri, O. ve Riviera, P. P., 2013, Effect of Antiicing Chemicals on Stripping of Asphalt Concrete Mixtures for Airport Runway Wearing Courses, *Airfield and Highway Pavement 2013*.

Seferoğlu, A., Seferoğlu, M. ve Akpınar, M. V., 2015, Karayolu ve Havayolu Kaplamalarında Kullanılan Kar ve Buzla Mücadele Yöntemlerinin Mali Analizi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 407-416.

Shi, X., Fortune, K., Smithlin, R., Akin, M. ve Fay, L., 2013a, Exploring the performance and corrosivity of chloride deicer solutions: Laboratory investigation and quantitative modeling, *Cold Regions Science and Technology*, 86, 36-44.

Shi, X., Veneziano, D., Xie, N. ve Gong, J., 2013b, Use of chloride-based ice control products for sustainable winter maintenance: A balanced perspective, *Cold Regions Science and Technology*, 86, 104-112.

Shi, X., Jungwirth, S., Akin, M., Wright, R., Fay, L., Veneziano, D. A., Zhang, Y., Gong, J. ve Ye, Z., 2014, Evaluating Snow and Ice Control Chemicals for Environmentally Sustainable Highway Maintenance Operations, *Journal of Transportation Engineering*, 140 (11), 05014005.

Varış, M., 2007, Karayolları Esnek Üst Yapılarında Buzlanma İle Mücadele Yöntemleri, *Süleyman Demirel Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Wåhlin, J. ve Klein-Paste, A., 2015, The effect of common de-icing chemicals on the hardness of compacted snow, *Cold Regions Science and Technology*, 109, 28-32.

Wåhlin, J., Leisinger, S. ve Klein-Paste, A., 2014, The effect of sodium chloride solution on the hardness of compacted snow, *Cold Regions Science and Technology*, 102, 1-7.

Wang, Z., Zhang, T., Shao, M., Ai, T. ve Zhao, P., 2017, Investigation on snow-melting performance of asphalt mixtures incorporating with salt-storage aggregates, *Construction and Building Materials*, 142, 187-198.

Xie, B., Li, Y. ve Jin, L., 2013, Vehicle Routing Optimization for Deicing Salt Spreading in Winter Highway Maintenance, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 96, 945-953.

Xu, O., Han, S., Zhang, C., Liu, Y., Xiao, F. ve Xu, J., 2015, Laboratory investigation of andesite and limestone asphalt mixtures containing sodium chloride-based anti-icing filler, *Construction and Building Materials*, 98, 671-677.

Yörükoğulları, E., 2005, Doğal Zeolitlerin Karayollarında Buz/Kar Çözücü Olarak Kullanımı, *Madencilik Bülteni İnceleme*, 42.

Zihang, J., 2009, Selection of Effective and Efficient Snow Removal and Ice Control Technologies for Cold-Region Bridges, *Journal of Civil, Environmental and Architectural Engineering*, 3 (1).

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Emre KARAKUZU
Uyruğu : Türk
Doğum Yeri ve Tarihi : Mudanya, 1992
Telefon : 0538 258 9224
Faks :
e-mail : karakuzuemre@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
	Orhaneli Türkan Sait Yılmaz Anadolu Lisesi, Orhaneli, Bursa	**2010**
Üniversite :	**Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya**	**2014**
Yüksek Lisans :	**Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya**	**2017**