Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering

AKÜ FEMÜBİD **21** (2021) 025604 (434-441) AKU J. Sci. Eng. **21** (2021) 025604 (434-441)
DOI: 10.35414/akufemubid.837150

Araştırma Makalesi / Research Article

Hidronik Isıtma Sistemlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Termal Analiz Sonuçlarının İncelenmesi

Hüseyin AKBULUT[1], Lale ATILGAN GEVREK[2*]

[1] *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.*
[2] *Yozgat Bozok Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Teknolojileri Bölümü, Yozgat*

e-posta: hakbulut@aku.edu.tr *ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4504-4384*
Sorumlu yazar e-posta: lale.gevrek@bozok.edu.tr *ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2015-9679*

Geliş Tarihi: 08.12.2020 Kabul Tarihi: 08.04.2021

Öz

Karayolu üst yapılarında buzlanma ile mücadele yöntemleri aktif (modern) ve pasif (geleneksel) yöntemler olmak üzere iki çeşittir. Aktif yöntemlerin içerisinde ise, iletken asfalt betonu, hidronik buz eritme sistemleri ve otomatik solüsyon kullanılarak buzlanmanın önüne geçilebilmektedir. Aktif yöntemlerde buzlanma oluşmadan, kurulan sistem gereği, buzlanmanın önlenmesi sağlanabilmektedir. Bu nedenle pasif (geleneksel) yöntemlerin çevreye ve yol kaplamasına verdiği zararları ortadan kaldırdığı için aktif yöntemler daha avantajlı olabilir. Hidronik ısıtma sistemleri de yenilenebilir bir aktif buzlanma önleyici sistem olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada aşınma, binder ve bitümlü temel tabakalarından oluşan geleneksel bir üst yapı kesiti üzerinde farklı parametreler kullanılarak aktif yöntemlerden olan hidronik ısıtma sistemlerinin, sonlu elemanlar metodu kullanılarak Ansys bilgisayar programında termal ve yapısal analizleri yapılmış ve kış aylarında asfalt betonunun buzlanmasının önlemesi için bu sistemin kullanılabilirliği ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler
Buz Önleme; Termal Analiz; Esnek Üstyapılar; Hidronik Isıtma Sistemleri

Investigation of Thermal Analysis Results of Hydronic Heating Systems Using Finite Element Method

Abstract

The methods of fighting icing in highway superstructures are of two types, active (modern) and passive (traditional) methods. Among the active methods, icing can be prevented by using conductive asphalt concrete, hydronic ice melting systems and automatic solutions. In active methods, icing can be prevented without icing, as required by the established system. For this reason, active methods can be more advantageous as they eliminate the damage caused by passive (traditional) methods to the environment and road pavement. Hydronic heating systems are also used as a renewable active anti-icing system. In this study, the thermal and structural analysis of hydronic heating systems, which are active methods using different parameters on a traditional superstructure section consisting of abrasion, binder and bituminous base layers, was performed in Ansys computer program using finite element method, and the usability of this system was revealed to prevent the icing of asphalt concrete in winter.

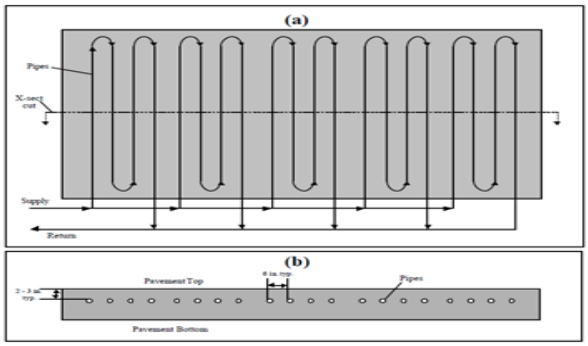
Keywords
Anti-icing; Thermal Analysis; Flexible Pavement; Hydronic Heating Systems

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Karayollarında kış aylarında meydana gelen buzlanma etkisi trafik güvenliği açısından çok ciddi kazalara neden olmakta ve kapasite kullanımı engellenmektedir. Bunun önüne geçmek ve daha güvenli bir platform için birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan bir tanesi de jeotermal kaynaklar kullanılarak kar ve buz eritme sistemleri, hidronik buz eritme sistemleri içerisinde yer almaktadır. Hidronik ısıtma sistemleri, kaplama tabakasında biriken kar ve buzu eritmek için kaplama tabakası altına yerleştirilen bir boru şebekesinden ısıtılmış bir sıvıyı sirküle eder ve bu sıvı tuz ve sudan oluşan bir çözelti veya yağ ve glikol suyu gibi sıvıdır (ASHRAE 2003). Boru şebekesi genellikle kıvrımlı bir yapıda döşenen sistemlerden

oluşur. Boru malzemesi genellikle çapraz bağlı veya yüksek yoğunluklu polietilendir. Tipik boru aralığı 150 ila 300 mm arasında, derinliği ise 50 ila 75 mm arasında değişir. Nominal boru çapları genellikle 18 ila 25 mm arasındadır. Hidronik ısıtma sistemlerinde ısı taşıyıcı akışkanlar olarak tuzlu su, yağlar ve glikol suyu gibi çeşitli sıvılar uygundur. Dondurma koruması çok önemlidir, çünkü çoğu sistem donma sıcaklığındaki hava şartlarında aralıklı olarak çalıştırılacaktır. Bu tür sistemler için kazanlar, elektrikli ısıtıcı, yeraltı suyu ve toprak kaynaklı ısı pompası gibi bir takım ısı kaynakları kullanılabilir (Liu and Spitler 2003). Sıcak suyu iletmek için kullanılan boru malzemeleri metal veya plastiktir. Çelik, demir ve bakır borular geçmişte yaygın olarak kullanılmaktadır ancak kolayca paslanmaya uğradığı kanıtlanmıştır ve bu nedenle plastik borular artık daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür plastik boruların ömrü 50 yıldan fazladır (Lund 2000). Şekil 1'de tipik bir hidronik ısıtma sistem yapısı gösterilmektedir.

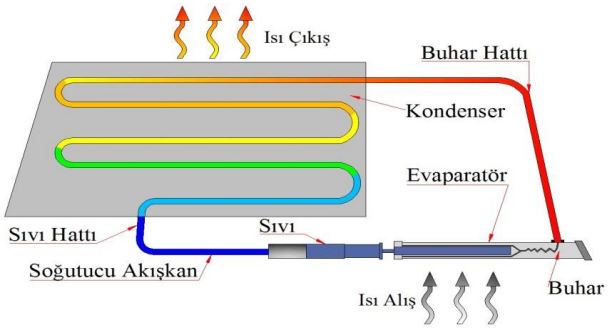


Şekil 1. Tipik bir hidronik ısıtma sistemi yapısı a)Plan b)Kesit (Chiasson and Spitler 2000)

Prensip olarak, yol, köprü veya benzeri bir dış yüzey ısıtma sistemi bina ısıtması gibi aynı temel unsurlardan oluşur. Bunlar; ısı kaynağı, üstyapıya gömülü ısı dolaşım boruları, hava parametrelerini ölçen sensörler ve sistem kontrolüdür (Eugster 2007). Jeotermal enerji ile buzlanma önleyici sistemler 3 farklı yöntemden biri kullanılarak sağlanabilir. Bunlar; ısı boruları kullanılarak, direk olarak jeotermal sıcak suyun kullanılması ve bir diğeri de yer ısısını depolama alanı olarak kullanan sistemler.

1.1 Isı Borulu Sistemler

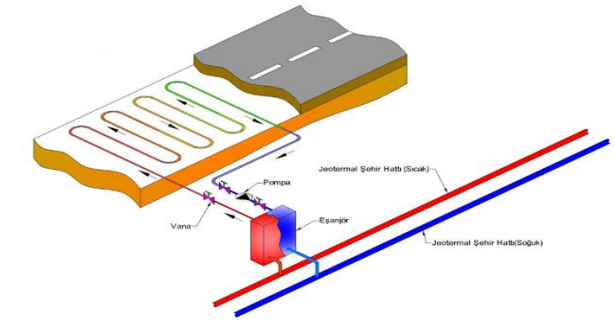
Isı borulu sistemler; pompalara, kontrol sistemlerine, dış güce veya herhangi bir insan müdahalesine gerek duymadan çalışır. Isı borulu sistem, pasif jeotermal bir köprü ısıtma sistemi olarak da bilinir. Isı borusu kurulum aşamasında amonyak sıvısı ya da freon gazlarıyla doldurulur. Toprağın içine yerleştirilir. Akışkan toprağın ısısıyla ısı borusunun dibinde (evaporatör kısmında) ısınır. Isınan akışkan, ısıtılacak alana serili olan boruların olduğu kondenser bölümüne hareket eder. Yoğuşarak ısısını bırakır. Yoğuşmuş akışkan yerçekiminin etkisiyle çevrimini tamamlayarak evaporatöre geri döner (Lund 2000, Liu 1998). Isı boruları çok geniş sıcaklık aralığında, değişik ebatlarda, sabit veya esnek şekillerde silindirik, düzlemsel, dönel veya kullanma yerine ve amacına uygun olarak imal edilirler (Özsoy ve Acar 2005).



Şekil 2. Isı borulu ısıtma sistemi (Akbulut vd. 2015)

1.2 Direk Jeotermal Sulu sistemler

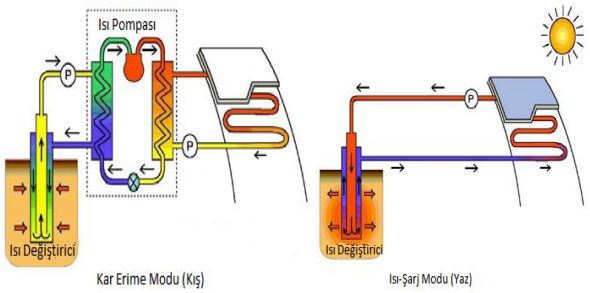
Jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı, jeotermal enerjinin en eski, en çok yönlü ve yaygın biçimlerinden biridir (Dickson and Fanelli 2003). Bölgesel ısıtma sistemlerinde, ısı merkezinden sağlanan ısı, boru şebekesi ile birinci devre akışkanı tarafından ısıtılacak bölgeye taşınır ve her bölgeye ait ısı eşanjöründe ikinci devrede dolaşan ısıtıcı akışkan ısıtılır. Birinci devrede sıcak su, kızgın su veya buhar, ikinci devrede de sıcak su dolaşır (Kula 2008). Direk jeotermal sulu sistemlerde, şekil 3'deki gibi akışkan bir sirkülasyon pompası yardımıyla asfaltın altına döşenmiş borulardan dolaştırılır. Isı, akışkandan yüzeye transfer edilir. İletimsel olarak yüzey ısıtılır. Akışkan olarak su ve antifriz karışımı (etilen veya propilen glikol ve su) kullanılır (Lund 2000, ASHRAE 1999).



Şekil 3. Direk jeotermal sulu sistemler

1.3 Yeraltı Termal Enerji Depolama Sistemleri (Jeotermal Enerji Depolama Sistemleri)

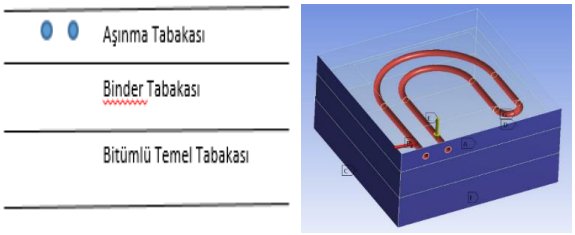
Bu kar eritme sistemi, kuyu altı ısı eşanjörleri, bir ısı pompası ve yolun altına gömülü ısıtma borularından oluşur. Bu sistemin ana ısı kaynağı, sığ toprakta bulunan jeotermal ısı ve yaz aylarında depolanan güneş enerjisi yardımcı bir kaynaktır. Topraktaki ısıl enerjiyi kullanarak kışın yollarda meydana gelen karı/buzu eritmek için kullanılan bu sistemde toprağın altında bulunan ısı enerjisini yüzeye çıkarmak için kuyular kazılır. Topraktaki ısıl enerji, borulardan antifriz ve su karışımı bir sirkülasyon pompası yardımıyla dolaştırılarak yüzeye çıkartılır. Kurulan sistem ile yaz aylarında kuyularda ısı enerjisi depolanabilmekte, kış aylarında ise depolanan bu enerji sirkülasyon pompaları ile yüzeye çıkarılabilmektedir (Iwamoto et. al. 1998, Morita and Tago 2005, Mirzanamadi et. al. 2018).



Şekil 4. Şekil 4. Kar Eritme Sistemi Çalışma Modları (Morita and Tago 2005)

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada sonlu elemanlar programı olan Ansys kullanılarak asfalt kaplamalı bir yol kesitinde termal analiz ve yapısal analizler yapılmıştır. Aşınma, binder ve bitümlü temel tabakalarına döşenmiş ısıtma borularının 5 farklı dış ortam ve 3 farklı giriş suyu sıcaklıklarında oluşturdukları asfalt yüzey sıcaklık değişimleri ve bu sıcaklıkların meydana getirdiği termal gerilmeler ve deformasyonlar incelenmiştir. Çalışmada 40 cm X 40 cm boyutlu asfalt kaplamalı yol kesit örnekleri kullanılmıştır. 8 cm bitümlü temel, 7 cm binder ve 5 cm aşınma tabakalarından oluşan bir üst yapı kesiti seçilmiştir. Şekil 5'te örnek modelin 2 ve 3 boyutlu görselleri verilmiştir.



Şekil 5. Asfalt Yol Kaplaması 2 ve 3 Boyutlu Görünüşleri

Aşınma yüzeyi haricinde kalan bölümler adyabatic (ısı ve kütle geçişi yok) olarak tanımlanmıştır. Sistem içerisinde dolaşan suyun hızı 5 m/s olarak seçilmiştir. Termal analiz için gerekli olan asfalt ve pex boru ile ilgili termal özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Asfalt ve pex boru ile ilgili termal özellikler (Górszczyk and Grzybowska 2011, Burger 2005, İnt Kyn 1)

Üst Yapı Katmanları	Termal İletkenlik (λ) [W/m°C]	Özgül Isı Kapasitesi(c) (j/kg.K)	Yoğunluk (ρ) (kg/m3)	Isı Transfer Katsayısı (W/m2.K)
Aşınma Tabakası	0,17	860	2415	14
Binder Tabakası	0,95	860	2577	
Bitümlü Temel Tabakası	0,95	860	1700	
Pex Boru	0,42	1465	930	

Termal analiz ile asfalt yüzey üzerinde meydana gelen sıcaklık değişimlerinin incelenmesi ve yapısal analiz ile meydana gelen gerilme ve deformasyonların incelenmesi için farklı giriş suyu sıcaklığı, hava sıcaklığı, boru aralık ve derinliklerinde analizler yapılmıştır. Bu analize ait değişkenler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Termal ve Yapısal Analiz İçin Kullanılan Değişkenler

Boru Derinlik (mm)	Boru Aralık (mm)	Su Giriş Sıcaklığı (°C)	Hava Sıcaklığı (°C)
25,85,160	150	30,40,50	0,(-2,5),(-5) (-7,5),(-10)
85	150,190,230	30,40,50	0,(-2,5),(-5) (-7,5),(-10)

Ansys Cfd modülü kullanılarak yapılan termal analizlerden çıkan sonuçlar doğrultusunda Ansys Mechanical modülünde yapısal analizler yapılmıştır. Yapısal analiz için aşınma, binder ve bitümlü temel tabakaları için viscoelastik malzeme tanımları yapılmıştır. Çizelge 3'te üst yapı katmanlarına ait malzemeler için gerekli veriler verilmiştir.

Çizelge 3. Üst Yapı Katmanlarının Malzeme Özellikleri

	Elastisite Modülü (Mpa)	Poisson Oranı	Yoğunluk (kg/m3)
Aşınma Tabakası	2267 (20°C sıcaklıkta)	0,35	2352
Binder Tabakası	2267 (20°C sıcaklıkta)	0,35	2376
Bitümlü Temel Tabakası	2267 (20°C sıcaklıkta)	0,35	2331
Pex Boru	600		930

Bitümlü karışımların elastisite modüllerinin sıcaklığa bağlı değişim gösterdiği bilinmektedir. Buna bağlı olarak malzeme modellenmesi yapılırken elastisite modülünün sıcaklığa bağlı değişimi çizelge 4 'teki veriler kullanılarak tanımlanmıştır.

Çizelge 4. Bitümlü Karışımların Sıcaklığa Bağlı Değişimi (Sayın ve Tanyıldızı 2006)

Numune Sıcaklığı (°C)	Karışım Rijitliği (MPa)
-10	16008,04
0	10024,49
10	5385,71
20	2266,59
30	605,70
40	51,89

Üst yapı tabakaları viskoelastik bir malzeme olduğundan dolayı Ansys'de viskoelastik malzeme tanımında kullanılan "curve fitting (eğri uydurma)" modeli kullanılmıştır. Curve fitting modelinde, Çizelge 5'te verilen hem kayma hem de hacim modülü değerleri tanımlanmıştır.

Çizelge 5. Kayma ve Hacim Modülü Değerleri (Mulungye et. al. 2005)

Zaman (sn)	Kayma Modülü (Mpa)	Hacim Modülü (Mpa)
2,5	975	2536
5	917	2383
7,5	938	2440
10	937	2437
12,5	950	2469
15	960	2495
17,5	985	2561
20	972	2528
22,5	952	2475
25	920	2392
50	596	1550
75	585	1521
100	597	1551
125	601	1563
137,5	616	1601
237,5	539	1402
262,5	535	1390
287,5	542	1408
312,5	546	1420
337,5	562	1462
362,5	570	1481
387,5	567	1474
637,5	499	1298
887,5	401	1043
1137,5	227	589
1147,5	212	551

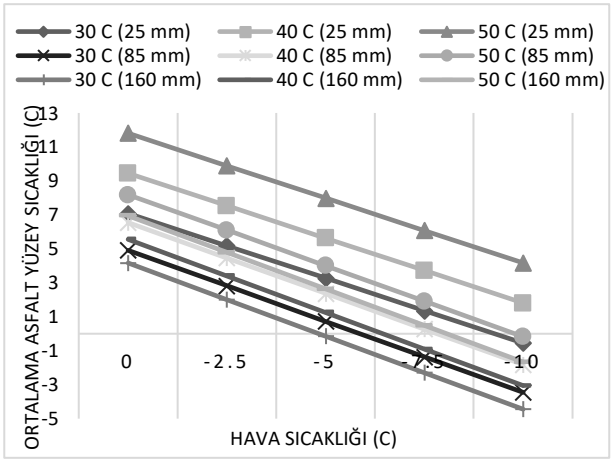
3.Bulgular

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan analizlerde, asfalt kaplamalı örneklerin her biri için 5 farklı hava sıcaklığı ve 3 farklı giriş suyu sıcaklığına göre aşınma tabakası, binder tabakası ve bitümlü temel tabakalarında yer alan sistemler için, ortalama asfalt yüzey sıcaklıkları ve yapısal analiz sonucu meydana gelen termal gerilme ve deformasyonlar incelenmiştir.

3.1.Termal Analiz

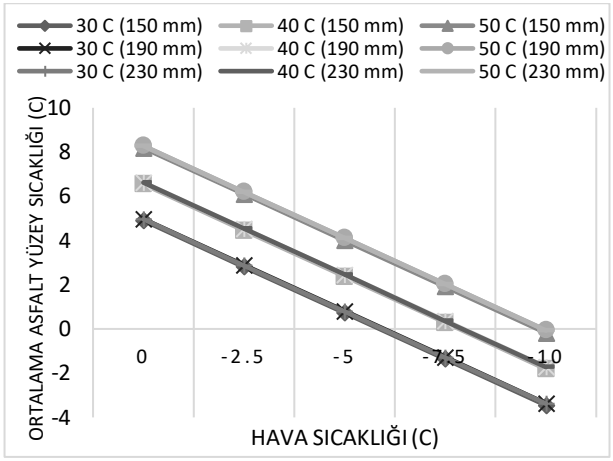
Yapılan termal analizler sonucu dış ortam sıcaklığı -10 derecelere düştüğünde bile asfalt yüzey sıcaklığının 0'ın üstünde tutulabileceği gözlemlenmiştir. Hava sıcaklığı 0'ın altına düşmeden

istenilen aralık, derinlik ve giriş suyu sıcaklıklarında asfalt yüzey sıcaklığının 0'ın üstünde tutulabileceği görülmektedir. Şekil 6'da görüldüğü gibi genel olarak aşınma tabakası içerisinde yer alan sistemin üstyapı yüzeyinde daha yüksek sıcaklıklar oluşturduğu görülmektedir. Gömülü boruların yüzeye yakın olması durumunda yüzey sıcaklığının diğer tabakalardaki sistemlere göre daha fazla olacağı söylenebilir. Ayrıca giriş suyu sıcaklığının 50 °C olduğu analizlerde, giriş suyunun 30 °C ve 40 °C olduğu sistemlere göre ortalama asfalt yüzey sıcaklarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Tüm modellerde, hava sıcaklığı düştükçe ortalama asfalt yüzey sıcaklıklarının da düştüğü anlaşılmaktadır.



Şekil 6. 150mm Boru Aralığında Çeşitli Derinliklerde, Farklı Dış ortam ve Farklı Giriş Suyu Sıcaklıklarına Göre Asfalt Yüzey Sıcaklıkları

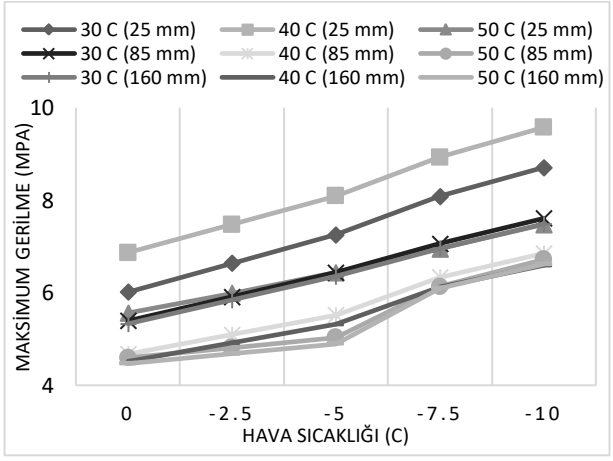
Şekil 7'de binder tabakası içerisinde yer alan ısıtma sisteminin farklı boru aralıklarındaki analiz sonuçları verilmiştir. Verilen grafiğe göre, boru aralık değişiminin asfalt yüzeyin ortalama sıcaklık değerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Grafikten görüleceği üzere 50 °C su girişine sahip sistemin, 30 °C ve 40 °C giriş suyuna sahip sıcaklıklarda yapılan analizlere göre ortalama asfalt yüzey sıcaklığının daha yüksek olduğu görülmektedir. Yapılan termal analiz sonuçlarına göre asfalt yüzey sıcaklığının daha fazla olması için boru derinliğinin boru aralığından daha önemli olduğu ortaya konulmuştur.



Şekil 7. 85 mm Derinlikteki Farklı Dış Ortam Sıcaklıkları ve Farklı Giriş Suyu Sıcaklıklarına Göre Asfalt Yüzey Sıcaklıkları

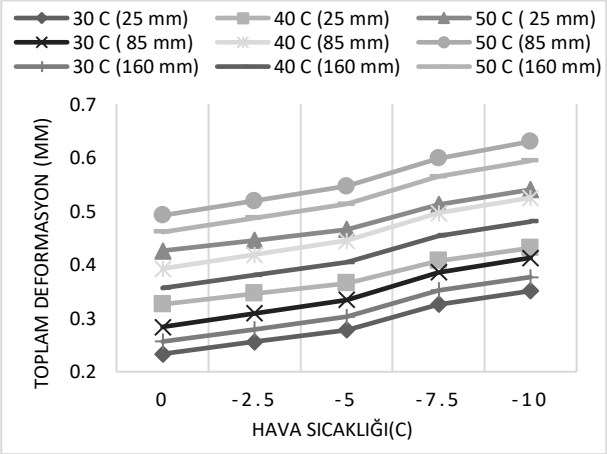
3.2 Yapısal Analiz

Termal analizden çıkan sonuçlar doğrultusunda yapılan yapısal analizle, üstyapı tabakalarında meydana gelen maksimum gerilme ve deformasyonlar verilmiştir. Şekil 8'de görüldüğü gibi, 150 mm boru aralığında aşınma, binder ve bitümlü temel tabakalarında yer alan sistemlerde; aşınma tabakasına yerleştirilmiş olan sistemin üstyapı tabakalarında meydana getirdiği termal gerilmelerin diğer tabakalardaki sistemlere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Gömülü borunun bitümlü temel tabakasında yer aldığı sistemde, meydana gelen gerilmelerin diğer tabakalarda yer alan sistemlere göre daha az olduğu görülmektedir. Ek olarak hava sıcaklığı düştükçe tabakalarda meydana gelen gerilmelerinde arttığı görülmektedir. Dolayısıyla sistemin, hava sıcaklığının 0'ın altına düşmeden çalıştırılmasının meydana gelecek gerilmeleri azaltacağı söylenebilir.



Şekil 8. 150 mm Boru aralığında Farklı katmanlarda yer alan sistemin asfalt tabakalarda meydana getirdiği gerilmeler

Şekil 9'da görüldüğü gibi, gömülü boruların üstyapının aşınma, binder ve bitümlü temel tabakalarında yer aldığı sistemlerde meydana getirdiği deformasyonlar verilmiştir. Giriş suyu sıcaklığının 50 °C olduğu tüm tabakalarda meydana gelen deformasyonların diğer giriş suyu sıcaklıklarına göre daha yüksek olduğu söylenebilir. Aşınma, binder ve bitümlü temel tabakalarında 30 °C su girişine sahip modelde en düşük deformasyonların meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 9. 150 mm Boru aralığında farklı katmanlarda yer alan sistemin asfalt tabakalarda meydana getirdiği deformasyonlar

Çizelge 6'da verildiği üzere yapısal analiz sonucu üstyapının, gömülü boruların aşınma tabakasında olduğu durumlarda ömürsüz olduğu görülmektedir. Binder tabakası ve bitümlü temel tabakalarında yer alan sistemlerde ise sadece 0 °C'nin altında çalıştığı durumlarda ömürlü olmaktadır. En yüksek ömrün olduğu durum ise, binder tabakasında ve 30 °C'de çalıştırılan sistem olduğu görülmektedir.

Çizelge 6. Asfalt Üstyapının Ömrü

	Minimum Ömür (Cycle)			
Boru Derinlik	Dış Ortam	30 °C	40 °C	50 °C
25	0	0	0	0
	-2,5	0	0	0
	-5	0	0	0
	-7,5	0	0	0
	-10	0	0	0
85	0	12695,88	0	8033,922
	-2,5	0	0	0
	-5	0	0	0
	-7,5	0	0	0
	-10	0	0	0
160	0	12250,72	9613,128	9874,303
	-2,5	0	0	0
	-5	0	0	0
	-7,5	0	0	0
	-10	0	0	0

Hem yapısal analiz hem de termal analiz sonuçları da göz önünde bulundurularak sistemin 0 °C altındaki sıcaklıklarda çalıştırılması durumunda yapısal olarak meydana gelecek olumsuzlukların artacağı söylenebilir. Genel yaklaşım olarak gömülü boruların sistemin bitümlü temel tabakasında yer alması ve hava sıcaklığının 0 °C 'ye düşmeden 30-40 °C aralığında giriş suyu sıcaklığı kullanılarak kar ve buzun oluşmadan engellenmesi sağlanabilir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada aşınma, binder ve bitümlü temel tabakalarında yer alan hidronik ısıtma sistemli bir üst yapının 5 farklı hava sıcaklığı ve 3 farklı giriş suyu sıcaklığı kullanılarak, asfalt kaplama yüzeyinin ortalama sıcaklık değişimleri, termal gerilmeleri ve deformasyonları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- Asfalt kaplamalı yollarda hidronik ısıtma sistemi kullanılarak kar ve buzun oluşmadan önlenmesi sağlanabilir.
- Sitem tasarımındaki değişkenler kar ve buz önleme performansını önemli derece de etkilemektedir.
- Farklı katmanlara yerleştirilen gömülü boruların, yüzeye yakın olduğu sistemlerde asfalt yüzeyini daha yüksek sıcaklıklara ulaştırabilir.
- Yüksek giriş suyu sıcaklıklarında asfalt kaplamanın kar ve buz önleme performansı olumlu yönde etkilenmektedir.
- Kar ve buz mücadelesi için boru derinliğinin boru aralığından daha önemli bir etkiye sahip olduğu söylenebilir.
- Sistemin kar ve buz önleme performansının arttırılması için hava sıcaklığının 0'ın altına düşmeden çalıştırılması ile sistem daha verimli hale gelebilir.

- Üstyapı tabakalarının hizmet ömrünün uzun olması için sistemin 0 °C'nin altına düşmeden çalıştırılması söylenebilir.
- Hem buz önleme performansı hem de asfalt üstyapının ömürlü olabilmesi açısından, hava sıcaklığının 0 °C ye düşmeden, gömülü boruların binder tabakası ya da bitümlü temel tabakasında yer aldığı ve 30-40 °C arasında giriş suyu sıcaklıkları kullanılarak verimli bir sistem elde edilebilir.

5. Kaynaklar

Akbulut H., Gürer C., Yıldız A., Gevrek L. 2018. "Karayollarında Buzlanma Önleyici Sistem Olarak Jeotermal Enerjinin Kullanımı" yayın yeri: IV. Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Sempozyumu ve Sergisi, Afyonkarahisar.

ASHRAE, 1999. Handbook of HVAC Applications, American Society of Heating, Refgeration and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta.

ASHRAE Handbook of HVAC Applications, 2003. American Society of Heating, Refgeration and Air-Conditioning Engineers. Inc., Atlanta.

Burger, M., 2005. Prediction of the Temperature Distribution in Asphalt Pavement Samples, Mechanical Engineering Master's Thesis, University of Stellenbosch, South Africa. 103.

Chiasson, A. and Spitler, J.D. 2000. A Modeling Approach to Design of a Ground-Source Heat Pump Bridge Deck Heating System. Proceedings of the 5th International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology. Roanoke, VA. September 5-8, 4.

Dickson, M.H. and Fanelli, M. , 2003. Geothermal Energy: Utilization and Technology, Unesco Renewable Energy Series, 205.

Eugster, W.J., 2007. Road and Bridge Heating Using Geothermal Energy Overview and Examples, Proceedings European Geothermal Congress, Unterhaching, Germany, 30 May-1 June.

Górszczyk J. and Grzybowska W., 2011. The use of fem for thermal analyses of the asphalt pavement, Roads and Bridges Research Institute, *Roads and Bridges* - Drogi i Mosty, **Vol:10** No.4, 5-30.

Iwamoto K., Nagasaka, S., Hamada, Y., Nakamura, M., Ochifuji, K., Nagano, K., 1998. Prospects of snow melting systems (Sms) using underground thermal energy storage (Utes) in Japan, Proceedings of the Second Stockton International Geothermal Conference, Pomona, New Jersey. March 16 – 17.

Kula, Ö. 2008. Jeotermal Isıtma Sistemlerinin Ekserji Analizleri. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri enstitüsü, Makina Eğitimi Ana Bilimdalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 77.

Lıu, X. 1998. Development and Experımental Valıdatıon of Sımulatıon of Hydronıc Snow Meltıng Systems for Brıdges. Master Thesis, Tongji University, Shanghai, China. 246.

Lund, J.W., 2000. Pavement snow melting, *Geo-Heat Center, Quarterly Bullettin*, **Vol:21(2)**, 12-19.

Mirzanamadi R., Hagentoft C.E., Johansson P., Johnsson J. 2018. "Anti-icing of road surfaces using Hydronic Heating Pavement with low temperature, *Cold Regions Science and Technology*, **145**, 106-118.

Morita, K. and Tago, M. 2005. Snow-Melting on Sidewalks with Ground-Coupled Heat Pumps in a Heavy Snowfall City. Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April.

Mulungye, R.M., Owende,P.M.O., Mellon, K., 2005. "Finite element modelling of flexible pavements on soft soil subgrades", Materials & Design, **28 (3)**, 739-756.

Özsoy, A. Ve Acar, M., 2005. "Yerçekimi Destekli Bakır-Su Isı Borusu İçin Deneysel Bir Çalışma" *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 90, 13-18.

Sayın E. ve Tanyıldızı H. 2006. Bitümlü Sıcak Karışımların Rijitliğinin Bulanık Mantık İle Bulunması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **21**, No 4, 645-649.

İnternet Kaynakları

1- https://www.jentrofittings.com/sites/jentro/files/insert-file/technical_information_pex_-_en.pdf (01.09.2020)