

# Toprak kaynaklı ısı borularıyla kaldırımlardaki buzlanmanın önlenmesinin ısı analizi

## Thermal analysis of anti-icing on pavements with ground source heat pipes

Ragıp YILDIRIM<sup>1</sup>, Ahmet ÖZSOY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bucak Emin Gülmez Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, Türkiye.

ryildirim@mehmetakif.edu.tr

<sup>2</sup>Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.

ahmetozsoy@sdu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 08.08.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 22.01.2018

doi: 10.5505/pajes.2018.09634

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

Kış aylarında derinliklere inildikçe toprak sıcaklığı artmakta ve belirli derinlikten sonrada değişmemektedir. Bu çalışmada, toprağın sahip olduğu enerjiden, toprak kaynaklı ısı borularıyla kaldırımlardaki buzlanmanın önlenmesi araştırılmıştır. İlk olarak dış ortam sıcaklığının -1 ile -7 °C arasında, rüzgâr hızının ise 0 m/s ve 3 m/s olarak değiştiği durumda toprak sıcaklığının derinlikle değişimi incelenmiştir. Buzlanmayı önlemek için kullanılacak ısı borularının evaporatör uzunluğu 3 m, kondenser uzunluğu 1 m, adyabatik bölge uzunluğu 0.1 m ve çapları da 25 mm ve 50 mm olarak seçilmiştir. Isı borusu malzemesi paslanmaz çelik ve iş akışkanı da amonyak olarak kabul edilmiştir. Yapılan çalışmada, başlangıç olarak 3 m derinlikteki toprak sıcaklığının 8 °C olduğu kabul edilmiştir. Rüzgâr hızı 0 m/s, dış ortam sıcaklığı -1 °C olduğu durumda, 25 mm çapındaki ısı borusu ile 1.2 m<sup>2</sup>'lik alanı buzlanmaya karşı önlediği bulunmuştur. Aynı şartlarda 3 m derinlikteki toprak sıcaklığının 12 °C olduğu durumda 25 mm veya 50 mm çapındaki ısı borularının buzlanmaya karşı koruyabileceği alan sırasıyla 2 m<sup>2</sup> ve 2.7 m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Isı borusu çapının ve kaynak sıcaklığının artması ısı borusunun ısı taşıma kapasitesini artırmış ve dolayısıyla ısı borusunun buzlanmaya karşı daha etkili olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Isı borusu, İki fazlı kapalı termosifon, Toprak sıcaklığı, Buzlanma

### Abstract

During the winter months, the soil temperature increases as the soil depth increase, and after a certain depth it does not change. In this study, the prevention of icing on pavements by heat pipes which uses the energy of the ground has been investigated. Firstly, the variation of the soil temperature is investigated when the ambient temperature varies between -1 to -7 °C and the wind speed 0 and 3 m/s. For anti-icing, the evaporator, condenser and adiabatic section lengths of the heat pipe to be used were chosen as 3 m, 1 m and 0.1 m respectively and diameters of the heat pipe were determined as 25 mm and 50 mm. The heat pipe material was selected as stainless steel and the working fluid as ammonia. In the study, first it is assumed that the soil temperature is 8 °C at 3 m depth. If the wind speed and outdoor temperature are assumed to be 0 m/s and -1 °C respectively, icing for 1.2 m<sup>2</sup> area was prevented by the 25 mm diameter heat pipe. At the same conditions, icing prevented areas by 25 mm and 50 mm heat pipes were calculated as 2 m<sup>2</sup> and 2.7 m<sup>2</sup> respectively for 3 m depth and with 12 °C soil temperature. Heat transfer rate was increased by the increase of the heat pipe diameter and ground source temperature, consequently it was seen that the heat pipe was more effective to prevent icing.

**Keywords:** Heat pipe, Two phase closed thermosyphon, Ground temperature, Icing

## 1 Giriş

Isı borusu, her tarafı kapalı, vakumlanmış ve içerisine düşük kaynama noktasına sahip bir çalışma akışkanı sarf edilmiş pasif bir ısı transfer cihazıdır. Evaporatör, kondenser ve adyabatik bölge olmak üzere üç kısımdan meydana gelir. Isı boruları, küçük sıcaklık farklarında bile yüksek miktarda ısı taşıyabilir. Dışardan herhangi bir güce gerek duymadan çalışabildiği için pasif bir cihazdır. Silindirik, dairesel, sabit, esnek, dönел şekillerde, kullanım yerine göre farklı şekil ve büyüklüklerde imal edilebilir. Sahip olduğu bu özelliklerinden dolayı ısı geri kazanım sistemlerinde, bilgisayarların ve elektronik devrelerin soğutulmasında, güneş enerjisi sistemlerinde, kar ve buzlanmayı önleyici sistemler gibi birçok kullanım alanı vardır [1],[2].

Isı borusu içinde bulunan iş akışkanın faz değişimi ile çalışır. Evaporatör kısmında yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağından aldığı ısı enerjisiyle iş akışkanını buharlaştırır. Buharlaşan akışkan basınç gradyanı ile ısı borusunun kondenser kısmına geçer ve düşük sıcaklıktaki ortama ısı vererek yoğunlaşır. Yoğuşan akışkan ısı borusu içerisinde bulunan kılcal yapıdaki fitil ya da yerçekimi kuvveti ile tekrar evaporatöre geri döner.

Bu döngü sürekli tekrar ederek yüksek sıcaklıktaki bir ortamdan düşük sıcaklıktaki bir ortama dışarıdan herhangi bir güç kullanımına ihtiyaç duymadan ısı taşımını sağlar. Akışkanın kondenserden evaporatöre dönüşü yerçekimi etkisi ile sağlanıyorsa termosifon olarak adlandırılır. Yerçekimsiz ortamda ya da yerçekimine ters yönde konumlandırıldığı durumlarda akışkanın dönüşü kılcallık etkisiyle sağlanıyorsa ısı borusu olarak adlandırılır.

Toprağın ısı kaynağı olarak kullanıldığı ısı borusu sistemlerine toprak kaynaklı ısı borusu denir. Bu tip ısı boruları topraktan aldıkları ısıyı farklı amaç için kullanılabilir. Örneğin kaldırımlar, havaalanları, otoyollar ve köprülerdeki buzlanmanın önlenmesi, petrol boru hatları gibi uygulama alanları vardır [3].

Toprak sıcaklığı dış ortam sıcaklığının aksine günlük değişimlerden fazlaca etkilenmez ve yıl boyunca değişimi azdır. Ayrıca toprak sıcaklığı yüzeyden derinlere gidildikçe bir miktar artar ve sonra sabit kalır.

Kış aylarında toprak sıcaklığı dış ortam sıcaklığından daha fazla, yaz aylarında ise daha azdır. Toprak sıcaklığı belirli derinlikten sonra (toprağın ısı özellikleri ile değişmekle

birlikte) sabit kalır [4]. Tablo 1’de bazı toprak çeşitlerine ait ısıl özellikler verilmiştir [5].

Tablo 1: Bazı toprak çeşitlerinin ısıl özellikleri [5].

Toprak Tipi	a [mm <sup>2</sup> /s]	λ [W/m °C]
Çakıllı Toprak	0.139	0.52
Kuru-Ağır Toprak	0.521	0.95
Nemli-Ağır Toprak	0.684	1.30
Granit	1.134	2.93

Toprak kaynaklı ısı boruları ve buzlanmayı önleyici sistemlerle ilgili literatür incelendiğinde konu ile ilgili birçok kaynağa ulaşılabilir. Mauro ve Grossman [6], kış mevsiminde yollardaki sıcaklık dalgalanmalarını azaltmak ve buzlanmayı önlemek için düşük entalpiye sahip jeotermal enerjinin kullanılmasını önermiştir. Bu amaçla herhangi bir mekanik aksamı olmayan yüksel ısıl iletkenliğe sahip malzemeleri toprağın içine gömerek, topraktan alınan ısı enerjisini yol yüzeyine taşıyıp istenilen yüzey sıcaklığı elde edilmesine çalışmışlardır. Yapılan sayısal analizde buzlanmaya karşı sistemin etkili olduğu belirtilip, dış ortam ve toprak sıcaklığı ile kullanılan malzemelerin özelliklerinin sistem tasarımı için önemli faktörler olduğu vurgulanmıştır.

Zenewitz [7] ve Donnelly [8] karayolları ve köprülerde buzlanmayı önlemek için jeotermal kaynaklı ısı borusu kullanılmasını önermişlerdir. Lee ve diğ. [9], köprü yüzeyinde buzlanmayı engellemek için toprak kaynaklı ısı borusu kullanıldığı bir sistemi deneysel olarak çalışmış ve ısı borularının köprü yüzeyinde meydana gelen buzlanmayı önlemek için yeterli olduğu belirtilmiştir. Zorn ve diğ. [10] itfaiye istasyonu girişinde kar ve buzlanmayı önlemek için CO<sub>2</sub> akışkanlı toprak kaynaklı ısı borusu deneysel incelemiş, çapları 10 mm ile 16 mm olan ısı boruları derinliği 75 m’lik sondaj kuyularına konulmuştur. Her sondaj deliğine 4 adet ısı borusu yerleştirilerek 165 m<sup>2</sup> alan ısıtılmış, çok düşük sıcaklıklarda bile yüzey sıcaklığı her zaman 0 °C üzerinde tutulmuştur.

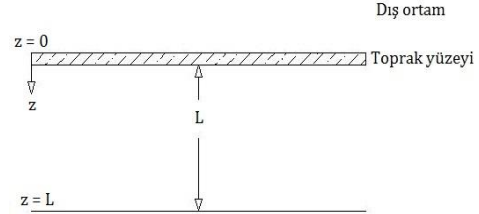
Wang ve diğ. [11] kar ve buz ile mücadelede toprak kaynaklı ısı borusu kullanımında iş akışkanı olarak NH<sub>3</sub> kullanımı diğer iş akışkanlarına göre daha iyi performans gösterdiğini bildirmiştir. Ochsner [12], ısı borusuyla kombine edilmiş toprak kaynaklı ısı pompası sistemini incelemiş, herhangi bir sızıntı durumunda CO<sub>2</sub>’in zararsız olması ve sera gazı ile ilgili riskler bakımından diğer soğutucu akışkanlarla kıyaslandığında verdiği zarar ihmal edilebilecek seviyede olduğundan toprak kaynaklı ısı pompalarında CO<sub>2</sub> akışkanlı ısı borusunun kullanılmasını önermiştir.

Kar ve buzlanmayı önlemede yaygın olarak kullanılan kimyasallar ve mekanik yöntemlerin birçoğunda yoğun iş gücü gereksinimi ve maliyetlerinin yüksek olması, yol yapısına zarar vermesi, çevre kirliliği, korozyon oluşumunun araç ve yol, kaldırım, köprü gibi yapıların çelik konstrüksiyonlarına zarar vermesi gibi birçok olumsuzlukları vardır [13]. Bu nedenle buzlanmanın önlenmesinde toprak kaynaklı ısı boruları, güneş enerjisi destekli sistemler, elektrikle ısıtma gibi farklı uygulamalarının da seçenek olarak değerlendirilmesi gerekir.

## 2 Materyal ve metot

Bu çalışmada, toprak kaynaklı ısı borusu ile bir yüzeyde meydana gelen buzlanmanın önlenmesi incelenmiştir. Kışın belirli derinlikten yüzeye doğru ilerledikçe toprak sıcaklığı düşer

ortamın sıcaklığı ve rüzgâr hızı ile doğru orantılı olarak azalmaktadır. Isı borusuyla topraktan çekilecek ısı akısı da toprak sıcaklığı ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle öncelikle toprak sıcaklığının derinlikle değişimi analiz edilerek daha sonra ısı borusunun çalışma sıcaklığı tespit edilecektir. Isı borusunun çalışma sıcaklığına bağlı olarak ısı borusunun konfigürasyonu oluşturularak ısıl performansı ve buzlanmanın önenebileceği alan ve bu alanın sıcaklık dağılımı incelenecektir.



Şekil 1: Toprak derinliği ve yüzeyi.

Tek katmanlı homojen yapılı toprak için (Şekil 1) tek boyutlu zamana bağlı ısı transferi Eşitlik (1)’de verilmiştir [5].

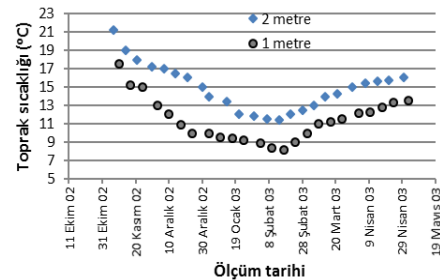
$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (1)$$

Burada,  $T$ ,  $t$ ,  $z$  ve  $a$  sırasıyla, sıcaklık, zaman, toprak derinliği ve toprağın ısıl yayılım katsayısını göstermektedir. Toprağın çok derinliklerinde sıcaklık gradyanı sıfıra gider. Böylece sınır şartı Eşitlik (2)’deki gibi yazılabilir [5].

$$z \rightarrow \infty ; \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

Toprak sıcaklığının derinlikle değişimini belirlemek için oluşturulan model Şekil 3’te görülmektedir. Modelde beton yüksekliği ( $T_y-Z_1$  arası) 20 cm, yüzey alanı 100x100 cm<sup>2</sup>, yalıtım kalınlığı ( $Z_1-Z_2$  arası) 10 cm ve toprak kısımda yer alan  $Z_2$ ’den  $Z_1$ ’ye kadar olan tüm düğüm noktaları arasındaki mesafe eşit olup 20 cm’dir. Yer derinliklerinden yüzeye doğru sürekli bir ısı transferi vardır. Yüzeiden derinliklere inildikçe her 100 m’de ortalama yer sıcaklığı 3 °C artmaktadır [14].

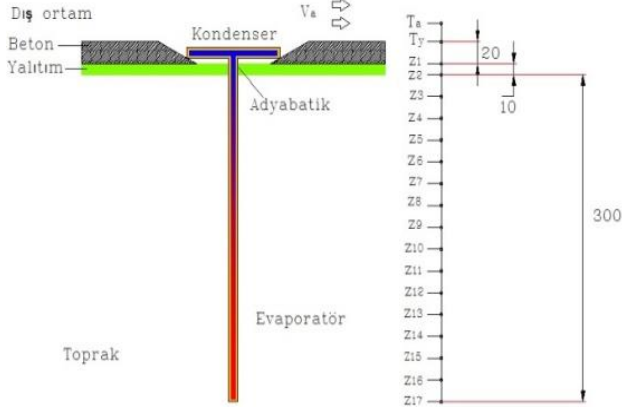
Esen ve diğ. [15] toprak kaynaklı ısı pompasını deneysel olarak incelemiş ve ısıtma mevsimi boyunca (Kasım 2002-Mayıs 2003) Elazığ ili için 1 m ve 2 m toprak sıcaklıkları ölçülerek, ısıtma sezonu boyunca 2 m’deki toprak sıcaklığının 1 m’deki toprak sıcaklığından daha yüksek olduğunu görmüşlerdir. Toprak sıcaklığının değişimi Şekil 2’de verilmiştir. Kış sezonu için (Kasım ve Mart ayları arasında) 1 m derinlikteki toprak sıcaklığı ortalama 111 °C ve 2 m derinlikteki toprak sıcaklığı da 14.8 °C olarak ölçülmüştür. Şekil 2 incelendiğinde en düşük toprak sıcaklığı Şubat ayında 1 m derinlik için 8.2 °C, 2 m derinlik için 11.4 °C olarak ölçülmüştür.



Şekil 2: Elazığ için toprak sıcaklığının derinlikle değişimi [15].

Isparta ilinin Ocak, Şubat ve Mart ayları için uzun yıllar (56 yıl) 1m derinlikteki ortalama toprak sıcaklığı sırasıyla 7.9 °C, 6.7 °C ve 7.7 °C'dir. Burdur iline baktığımız zaman Ocak, Şubat ve Mart ayları için bu sıcaklıklar ortalama 7.6 °C, 6.6 °C ve 7.8 °C'dir [16].

Diğer soğuk illerimiz için de toprak sıcaklığı derinlikle artacaktır fakat sıcaklık değerleri birbirinden farklı olacaktır. Buradan yola çıkarak çalışmada başlangıç değeri olarak toprak sıcaklığının ( $T_s$ ) 3 m'den sonra değişmediği ve sabit 8 °C olarak kaldığı kabul edilmiştir.



Şekil 3: Düğüm noktalarına ayrılmış model.

Burada,  $T_a$  dış ortam sıcaklığı ve  $T_y$  beton yüzey sıcaklığını göstermekte olup,  $T_a$  ve  $T_y$  düğüm noktaları arasındaki  $R_a$  ısı direnci Eşitlik (3)'ten bulunur.

$$R_a = \frac{1}{h_y S_y} \quad (3)$$

Burada,  $S_y$  yüzey alanı,  $h_y$  yüzeye ait ısı taşınım katsayısıdır. Sıcaklığı dış ortamdaki yüksek olan bir yüzeyden dış ortama taşınım ve ışımla ısı kaybı gerçekleşir. Yüzeye ait ısı taşınım katsayısı Eşitlik (4)'ten hesaplanır [17]. Burada  $V_a$  rüzgâr hızını,  $h_y$  yüzeye ait ısı taşınım katsayısı ile birlikte ışımla olan ısı transferini de kapsamaktadır.

$$h_y = 5.7 + 3.8 V_a \quad (4)$$

$T_y$  ve  $Z_1$  düğüm noktaları arasındaki betona ait ısı direnci ( $R_b$ ) Eşitlik (5)'ten hesaplanır.

$$R_b = \frac{L_b}{\lambda_b S_b} \quad (5)$$

Burada,  $L_b$ ,  $\lambda_b$  ve  $S_b$  sırasıyla, beton kalınlığı, betona ait ısı iletim katsayısı ve betonun yüzey alanını göstermektedir.

$Z_1$  ve  $Z_2$  düğüm noktaları arasında ısı yalıtım malzemesi vardır. Bu yalıtım malzemesi ısı borusunun kondansör kısmı ile yüzey ısıtılırken iletimle toprağın üst tabakalarına olan ısı transferini azaltmak amacıyla kullanılmıştır. Bu yalıtıma ait ısı direnci ( $R_y$ ) Eşitlik 6'dan hesaplanır.

$$R_y = \frac{L_y}{\lambda_y S_y} \quad (6)$$

Burada,  $L_y$ ,  $\lambda_y$  ve  $S_y$  sırasıyla, yalıtım kalınlığı, yalıtımın ısı iletim katsayısı ve yalıtımın yüzey alanını göstermektedir.

$Z_2$ - $Z_3$  arası toprak olup, buradaki ısı direnci ( $R_s$ ) Eşitlik (7)'den hesaplanır.

$$R_s = \frac{L_s}{\lambda_s S_s} \quad (7)$$

Burada,  $L_s$ ,  $\lambda_s$  ve  $S_s$  sırasıyla, toprak derinliğini, toprağın ısı iletim katsayısını ve toprak yüzey alanını göstermektedir.  $Z_2$ 'den  $Z_{17}$ 'ye kadar olan bütün düğüm noktaları arasındaki ısı dirençlerinin hepsi de aynı olup birbirine eşittir.

$Z_2$ - $Z_{17}$  düğüm noktaları arasındaki toprak sıcaklığı ısı borusunun evaporatör bölgesinin ortalama sıcaklığını ( $T_{me}$ ) oluşturmaktadır. Benzer şekilde  $T_y$ - $Z_1$  noktaları arasındaki sıcaklık ortalama kondansör sıcaklığını ( $T_{mc}$ ) verir.

Isı borularında kullanılan iş akışkanı çalışma sıcaklığına bağlı olarak seçilir. Fakat bu sıcaklık, iş akışkanını belirlemede tek başına yeterli değildir. İş akışkanı seçiminde akışkanın yoğunluğu, buharlaşma gizli ısısı, yüzey gerilmesi ve viskozitesini de göz önünde bulundurmak gerekir. Bütün bu özellikleri içinde barındıran Merit ( $\Phi$ ) sayısı tanımlanmış olup Eşitlik 8'den bulunur [3]. Bu eşitlikte  $h_{fg}$  (J/kg) akışkanın buharlaşma gizli ısısını,  $\lambda_l$  (W/mK) ısı iletim katsayısını,  $\rho_l$  (kg/m<sup>3</sup>) yoğunluğunu ve  $\mu_l$  (Ns/m<sup>2</sup>) dinamik viskozitesini ifade etmektedir.

$$\Phi = \left[ \frac{h_{fg} \lambda_l^3 \rho_l^2}{\mu_l} \right]^{0.25} \quad (8)$$

Bu çalışmadaki ısı borusu için seçilebilecek akışkanlar toprak ve dış ortam sıcaklıkları dikkate alınarak belirlenir. Akışkanın çalışma sıcaklığı dikkate alındığında kullanılacak iş akışkanları Aseton, Metanol ve Amonyaktır. Bu akışkanlar için Merit sayısı sırasıyla 1460, 1725 ve 4579 olarak bulunur. Belirlenen şartlar için en büyük Merit sayısı sahip olan Amonyak iş akışkanı olarak seçilmiştir.

Isı borusunun sıcaklığı farklı iki ortam arasındaki taşıdığı ısı akısı Eşitlik 8'den hesaplanır.

$$Q_{HP} = \frac{T_{me} - T_{mc}}{R_{HP}} \quad (9)$$

$Q_{HP}$  ısı borusunun taşıdığı ısı miktarını,  $R_{HP}$  ise ısı borusundaki ısı dirençleri göstermektedir. Isı borusundaki dirençlerle ilgili geniş bilgi ilgili literatürden görülebilir [3].

Bu çalışma kapsamında kullanılan toprak katmanını ile ilgili ön kabuller Tablo 2'de, yapılan sayısal analizdeki değişkenler Tablo 3'te ve ısı borusu konfigürasyonu ile ilgili bilgiler de Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 2: Hesaplama yapılan ön kabuller.

Sistemin Bileşenleri	Kabul Edilen
3 m derinlikteki toprak sıcaklığı [ $T_s$ ]	8 °C
Toprak cinsi	Çakıllı toprak
Toprağın ısı iletim katsayısı [ $\lambda_s$ ]	0.52 W/m K
Beton ısı iletim katsayısı [ $\lambda_b$ ]	1.4 W/m K
Yalıtım malzemesi ısı iletim katsayısı [ $\lambda_y$ ]	0.035 W/m K

Tablo 3: Hesaplama kullanılan değişkenler.

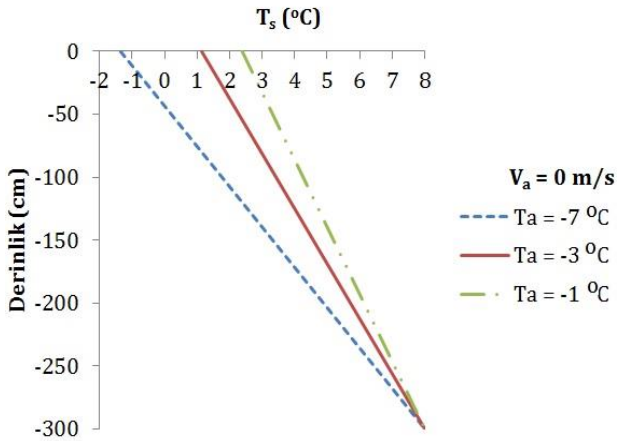
Değişken	Değeri
Rüzgâr hızı [ $V_a$ ]	0 m/s, 3 m/s
Dış ortam sıcaklığı [ $T_a$ ]	-1 °C, -3 °C, -7 °C

Tablo 4: Isı borusu konfigürasyonu.

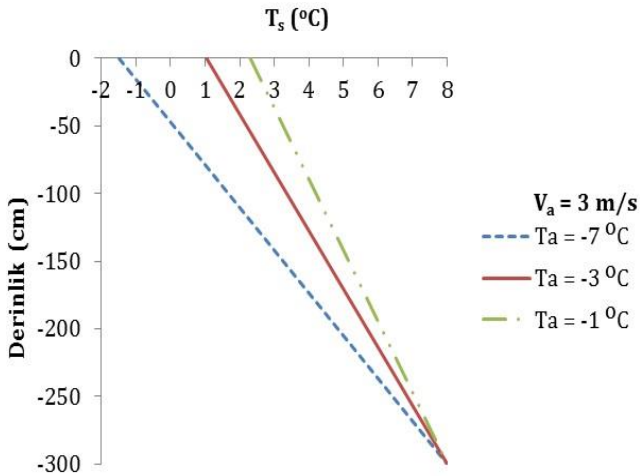
Karakteristik	Büyüklüğü/Özelliği
Isı borusu dış çapı [D <sub>o</sub> ]	0.025 m, 0.050 m
Evaporatör uzunluğu [L <sub>e</sub> ]	3 m
Kondenser uzunluğu [L <sub>c</sub> ]	1 m
Adyabatik bölge uzunluğu [L <sub>a</sub> ]	0.1 m
Isı borusu şarj oranı [F]	%50
Isı borusunun et kalınlığı [t <sub>x</sub> ]	0.002 m
Kullanılan akışkan	Amonyak
Isı borusu malzemesi	Paslanmaz çelik

### 3 Araştırma bulguları

Toprak sıcaklığının, farklı rüzgâr hızları ve dış ortam sıcaklıklarına göre derinlikle değişimi Şekil 4 ve 5'te görülmektedir. Toprak sıcaklığı derinlere inildikçe artmaktadır. Toprak sıcaklığı günlük hava değişimlerinden çok etkilenmez. Ancak, yüzeye yakın derinlikler (1 m'ye kadar) dış ortam şartlarından etkilenir. Örneğin; dış ortam sıcaklığı -7 °C olduğu durumda, 0 m/s ve 3 m/s rüzgâr hızları için 60 cm derinlikteki toprak sıcaklığı sırasıyla 0.515 °C, 0.410 °C'dir. Aynı şartlar için 260 cm derinlikteki toprak sıcaklığı rüzgâr hızına bağlı olarak sırasıyla 6.753 °C ve 6.735 °C olarak bulunur.



Şekil 4: Toprak sıcaklığının derinlikle değişimi ( $V_a = 0$  m/s).



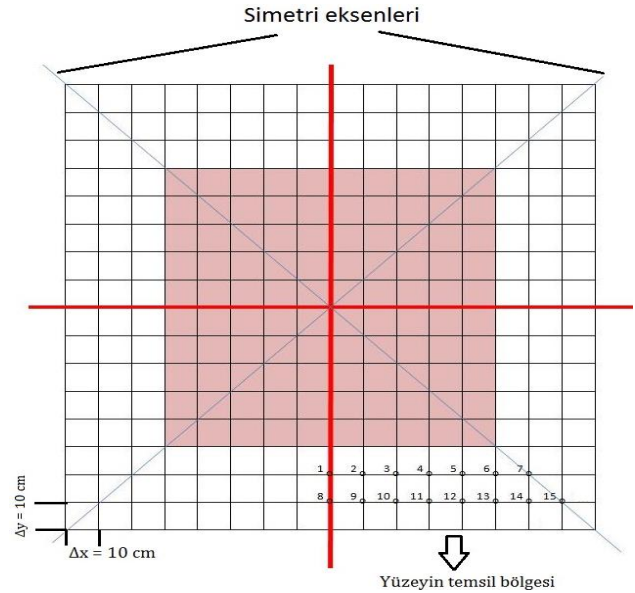
Şekil 5: Toprak sıcaklığının derinlikle değişimi ( $V_a = 3$  m/s).

Eşitlik 4'te verildiği gibi yüzeyden taşınım ile olan ısı kaybı rüzgâr hızına bağlı olarak değişmektedir. Rüzgâr hızının

artması yüzeyden taşınan ısı miktarını da artırır. Dış ortam sıcaklığı -3 °C ve rüzgâr hızı 0 m/s olduğunda, beton yüzeyin sıcaklığı -2.771 °C'dir. Rüzgâr hızı 3 m/s olduğunda yüzeyin sıcaklığı -2.923 °C olmaktadır. Ayrıca, rüzgâr hızının artması toprak sıcaklığını azaltır. Toprak sıcaklığının azalması da ısı borusu performansını olumsuz etkiler.

Yüzeydeki buzlanmanın önlenmesi için kullanılacak ısı borusu ile yüzey ısıtılırken oluşacak sıcaklık dağılımı için Şekil 6'da görüldüğü gibi 1.6x1.6 m<sup>2</sup>'lik bir alan seçilmiştir.

Şekil 6'daki alanın sıcaklık dağılımını belirlemek için bu alan 0.1 m eşit aralıklarla düğüm noktalarına bölünmüştür. Şekildeki 1x1 m ölçülerindeki taralı kısım (ısı borusunun kondenser bölgesi uzunluğu 1 m olduğu için), ısı borusu tarafından ısıtılan bölge olup, sıcaklık değerlerinin her noktasında eşit olduğu varsayılmıştır. Şekilde verilen alan simetri özelliğine sahip olduğundan, her bir düğüm noktasındaki sıcaklığı tespit etmek için yüzey geometrisinin sekizde birini (temsil bölgesini) incelemek yeterli olacaktır.



Şekil 6: Düğüm noktalarına bölünmüş alanın görünümü.

Temsil bölgesine ait sonlu fark eşitliklerini elde etmek için enerji dengeleri yazılarak her bir düğüm noktasındaki sıcaklık değerleri tespit edilebilir. Şekil 6'da verilen yüzeye ait enerji dengesi ve sonlu fark eşitlikleri sırasıyla Eşitlik 10 ve 11'de görülmektedir.

$$\dot{Q}_{ilt.sol} + \dot{Q}_{ilt.üst} + \dot{Q}_{ilt.sağ} + \dot{Q}_{ilt.alt} = 0 \quad (10)$$

$$T_{sol} + T_{üst} + T_{sağ} + T_{alt} - 4T_{düğüm} = 0 \quad (11)$$

Şekil 6'daki alan için, rüzgâr hızı ( $V_a$ ) 0 m/s ve dış ortam sıcaklığının ( $T_a$ ) -1 °C olması durumunda, ısı borusu yok iken beton yüzey sıcaklığı ( $T_y$ ) -0.812 °C'dir. Sisteme 25 mm çapında ısı borusu eklendiğinde taralı bölgenin sıcaklığı 0.773 °C olarak bulunmuştur.

Şekil 6'daki temsil bölgesine ait düğüm noktalarındaki sıcaklıklar Tablo 5'te verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde 6. düğüm noktasından sonra ısı borusunun, yüzeyi buzlanmaya karşı koruyamadığı görülmektedir. Bu şartlarda 25 mm çaplı ısı borusunun buzlanmaya karşı koruyabildiği alan yaklaşık 1.2 m<sup>2</sup>'dir.

Tablo 5: Temsil gölgesine ait düğüm noktalarındaki yüzey sıcaklıkları ( $V_a=0$  m/s,  $T_a = -1$  °C).

Düğüm Noktası	Sıcaklık (°C)	Düğüm Noktası	Sıcaklık (°C)
1	0.2424	9	-0.2873
2	0.2413	10	-0.2915
3	0.2367	11	-0.3027
4	0.2240	12	-0.3304
5	0.1885	13	-0.3948
6	0.0872	14	-0.5232
7	-0.2179	15	-0.6672
8	-0.2862		

Isı borusunun boyutlandırılması ve toprak sıcaklığı ısı borusunun çalışmasını etkileyen en önemli parametrelerdir. Isı borusunun buzlanmayı önlemede etkili olabilmesi için topraktan çekilen ısı miktarının artırılması gerekir. Isı akısının artırılması için ısı borusu çapı ve evaporatör bölgesi uzunluğunun artırılması mümkündür. Başlangıçta toprak sıcaklığı 3 m derinlikte sabit ve 8 °C kabul edilmişti. Elazığ ili göz önüne alındığında en soğuk ayda 2 m derinlikteki toprak sıcaklığının 11.4 °C olduğu Şekil 2'de görülmektedir. Yüzeiden derinlere inildikçe sıcaklık arttığından 3 m derinlikteki toprak sıcaklığının 2 m'deki sıcaklıktan da fazla olacağından toprak sıcaklığı 12 °C kabul edilerek ısı borusunun analizi farklı ısı borusu çapları için yeniden yapılmış ve sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6 incelendiğinde, 25 mm çapında ısı borusu rüzgar hızı 0 m/s ve dış ortam sıcaklığı -1 °C iken 2 m<sup>2</sup>'lik alanı buzlanmaya karşı korurken, ısı borusu çapı 50 mm olduğunda 2.7 m<sup>2</sup>'lik alanı buzlanmaya karşı koruyabilmektedir. Isı borusunun çapının artması ısı borusunun ısı akısını artırmış, dolayısıyla koruma alanı da artmıştır.

Isı borusunun evaporatör uzunluğu artırılarak da ısı borusunun topraktan çekeceği ısı miktarı artırılabilir. Isı borusunun evaporatör uzunluğunu arttıkça toprakta daha derinliklere inilmesi gerekecek, derinliklere inildikçe ısı kaynağı olarak kullanılan toprak sıcaklığı da artacaktır. Bunun sonucunda hem evaporatör yüzey alanı artacak hem de ısı kaynağı sıcaklığı arttığından ısı borusu ısı akısı artacaktır.

#### 4 Sonuç

Bu çalışmada, farklı rüzgâr hızları ve dış ortam sıcaklıklarında çalışacak toprak kaynaklı bir ısı borusu konfigürasyonu

Tablo 6: Isı borusu kullanıldığında buzlanmanın önlenmesi için alan ve yüzey sıcaklıklarının değişimi.

Isı Borusu Çapı (mm)	Dış ortam Sıcaklığı (°C)	Evaporatör Bölgesi Uzunluğu (m)	Kondenser Bölgesi Uzunluğu (m)	Adyabatik Bölge Uzunluğu (m)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Yüzey Sıcaklığı (Isı borusuz) (°C)	Yüzey sıcaklığı (Isı borulu) (°C)	Buzlanmanın Önlenmesi için alan (m <sup>2</sup> )
25	-1	3	1	0.1	0	-0.7297	0.3029	2.00
25	-3	3	1	0.1	0	-2.6880	0.0100	1.00
25	-7	3	1	0.1	0	-6.6050	0.2376	0.42
25	-1	3	1	0.1	3	-0.9086	0.0528	1.00
25	-3	3	1	0.1	3	-2.8950	0.1439	0.40
25	-7	3	1	0.1	3	-6.8660	0.0200	0.20
50	-1	3	1	0.1	0	-0.7297	0.0931	2.70
50	-3	3	1	0.1	0	-2.6880	0.1421	1.10
50	-7	3	1	0.1	0	-6.6050	0.1010	0.55
50	-1	3	1	0.1	3	-0.9086	0.0120	1.30
50	-3	3	1	0.1	3	-2.8950	0.0655	0.50
50	-7	3	1	0.1	3	-6.8660	0.0786	0.25

oluşturulmuştur. Çalışmada toprak sıcaklığının derinlikle değişimi göz önünde bulundurularak, ısı borusunun ısı analizi yapılmış, ısı borusunun buzlanmaya karşı koruyabileceği yüzey alanı ve çevre alandaki sıcaklık dağılımı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar:

- Isı boruları ile topraktan ısı taşınmasında toprak sıcaklığı en önemli faktördür. Toprak sıcaklığı arttıkça taşınabilecek ısı akısı da artar.
- Dış ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı, üst tabakalardaki toprak sıcaklığının değişiminde etkin olmakla birlikte, yüzeyden derinlere inildikçe toprak sıcaklığı sabit kalır.
- Rüzgâr hızı arttıkça yüzeyden dış ortama taşınan ısı da arttığı için, ısı borusunun buzlanmayı önlenebileceği alan da azalır.
- Evaporatör bölgesinde topraktan ısı çekilmesinde ısı borusu çapının ve evaporatör uzunluğunun artırılması taşınacak ısı miktarını artırır. Taşınan ısı arttıkça buzlanmanın önlenebileceği alan da artar.

Sonuç olarak toprak kaynaklı ısı borularıyla yüzeydeki buzlanma önlenmektedir. Isı borularının buzlanmanın önlenmesi çalışmalarında, bölgenin meteorolojik verileri dikkate alınarak rüzgâr hızı ve dış ortam sıcaklığı ile toprak sıcaklığının derinlikle değişimi de belirlenerek ısı borusunun boyutlandırılması yapılmalıdır.

#### 5 Kaynaklar

- [1] Faghri A. *Heat Pipe Science and Technology*. Washington, USA, Taylor and Francis, 1995.
- [2] Özsoy A. Isıtma Sistemlerinden Isı Geri Kazanımında Isı Borularının Uygulanabilirliği, Ekserji ve Ekonomik Analizi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2005.
- [3] Yıldırım, R. Buzlanmayı Önlemek için Toprak Kaynaklı Isı Borularının Teorik İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2014.
- [4] Özbek A, Yılmaz T, Yılmaz A, Büyükalaca O. 2009. "Yatay Katmanlı Topraklarda Katman Fiziksel Özelliklerinin Toprak Sıcaklığına Etkisi". 9. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, Türkiye, 7-10 Mayıs 2009.

- [5] Özbek A, Yılmaz T, Yılmaz, A, Büyükalaca O. 2011. "Tek katmanlı toprakta dip, maksimum, minimum sıcaklıklar ve bunların derinlikleri ile ilgili bağıntılar". *10. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, Türkiye, 13-16 Nisan 2011.
- [6] Özbek A, Yılmaz T, Yılmaz, A, Büyükalaca O. 2011. "Tek katmanlı toprakta dip, maksimum, minimum sıcaklıklar ve bunların derinlikleri ile ilgili bağıntılar". *10. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, Türkiye, 13-16 Nisan 2011.
- [7] Mauro A, Grossman JC. "Street-heat: controlling road temperature via low enthalpy geothermal energy". *Applied Thermal Engineering*, 110, 1653-1658, 2017.
- [8] Zenewitz JA. "Survey of Alternatives to the Use of Chlorides for Highway Deicing". Federal Highway Administration, Offices of Research and Development, Rep. No. FHWA-RD-77-52, 1977.
- [9] Donnelly D. "Geothermal Energy for Highway Snow and Ice Control". Colorado Department of Highways Summary Report, CDH-DTP-R-81-13, Colorado, USA, 25, 1981.
- [10] Lee RC, Sackos JT, Nydahl JE, Pell KM. "Bridge Heating Using Ground-Source Heat Pipes". Transportation Research Board, Transportation Research Record. 962, DC, 51-57. 1984.
- [11] Zorn R, Steger H, Kolbel T. "De-Icing and snow melting system with innovative heat pipe technology". *World Geothermal Congress*, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.
- [12] Wang X, Zhu Y, Zhu M, Zhu Y, Fan H, Wang Y. "Thermal analysis and optimization of an ice and snow melting system using geothermy by super-long flexible heat pipes". *Applied Thermal Engineering*, 112, 1353-1363. 2017.
- [13] Ochsner K. "Carbon dioxide heat pipe in conjunction with a ground source heat pump (GSHP)". *Applied Thermal Engineering*, 28(16), 2077-2082, 2008.
- [14] Yang ZJ, Yang T, Song G, Singla M. "Experimental Study on an Electrical Deicing Technology Utilizing Carbon Fiber Tape". Alaska University Transportation Center, Final Report, DTRT06-G-0011. 2012.
- [15] Erdin E, Alten A, Şirin G. "Isıtmak ve soğutmak için yer ısısının kullanılması". *IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*. İstanbul, Türkiye, 16-18 Ekim 2002.
- [16] Esen H, Inalli M, Esen M. "Technoeconomic appraisal of a ground source heat pump system for a heating season in eastern Turkey". *Energy Conversion and Management*, 47(9-10), 1281-1297, 2006.
- [17] Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü. "İllere Ait Toprak ve Dış Ortam Sıcaklık Verileri". Ankara, Türkiye, 2012.
- [18] Duffie JA, Beckman WA. *Solar Engineering of Thermal Processes*. NY, USA, Wiley, 1991.