



**Bu bir MMO  
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

## **YERDEN SOĞUTMA SİSTEMİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ VE ISIL KONFORDA SAĞLADIĞI AVANTAJLAR İLE DEZAVANTAJLARIN BELİRLENMESİ**

**GÜLTEKİN ŞAHİN**  
GENTEM MÜHENDİSLİK

**ABUZER ÖZSUNAR**  
GAZİ ÜNİVERSİTESİ

**BİROL KILKIŞ**  
BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ



# YERDEN SOĞUTMA SİSTEMİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ VE ISIL KONFORDA SAĞLADIĞI AVANTAJLAR İLE DEZAVANTAJLARIN BELİRLENMESİ

**Gültekin ŞAHİN**  
**Abuzer ÖZSUNAR**  
**Birol KILKIŞ**

## ÖZET

Isıtma ve soğutma insanın en temel ihtiyaçlarındandır. Enerji verimliliği bilinci artmakla birlikte yaşanan ortamların konfor şartlarının arttığına da şahit oluyoruz. Gelişen yapı teknolojileri ile paralel gelişen mekanik tesisat sektörü de bu konfor ihtiyacını yerine getirecek çalışmalar yapmaktadır. Ortamların soğutulması için yaygın olarak kullanılan klima veya fan coil sistemleri soğutulmuş havayı ortama direkt olarak verdiği için ortamda oluşan hava akımı insanları rahatsız edebilmektedir. Hava hızlarını ayarlamak, çözüm olarak sunulmakla birlikte pratikte bunu yapmak ve sürekliliğini sağlamak genellikle zordur. Yapılan çalışmalarda, yapının kütle ısısını kontrol ederek çalışan ısıtma ve soğutma uygulamalarının, insanların bekledikleri konforu sağladığı tespit edilmiştir.

Coğrafi konuma göre sadece ısıtma, sadece soğutma ve hem ısıtma hem soğutma ihtiyacı önem kazanmaktadır. Türkiye'nin de bulunduğu, ekonomik zenginliğe sahip kuzey yarım küre hem ısıtma hem de soğutma ihtiyacının olduğu bir bölgedir. Isıtma genellikle fosil yakıtlar ile sağlanmakta soğutma ise genellikle elektrik enerjisi ile sağlanmaktadır. Hava kaynaklı veya toprak kaynaklı ısı pompalarının gelişmesiyle ve enerji verimliliğinin öneminin her geçen gün daha iyi anlaşılması ile birlikte, ısıtma ve soğutma sistemleri “ düşük sıcaklıkla ısıtma yüksek sıcaklıkla soğutma “ kavramı ile tanışmıştır. Aslında düşük sıcaklıkla ısıtma, bilinen yerden ısıtma uygulamalarıdır. Farklı olan ise yüksek sıcaklıkla soğutma sistemidir. Fan-coil, klima gibi soğutma sistemlerinden asıl farkı oluşturan ise soğutucu akışkan sıcaklığıdır. Soğutma çevrimi ile çalışan sistemlerde evaporatörler genellikle 5 – 7 °C mertebelerinde akışkan giriş sıcaklıkları ile çalışmaktadır. Yerden soğutma da ise 15 - 20 °C mertebeleri yeterli olmaktadır. Bu sıcaklıkları belirleyen en önemli faktör ortamda oluşan nemdir.

**Anahtar Kelimeler:** Yerden soğutma, yerden serinletme, tavandan soğutma

## ABSTRACT

In this study, experimental investigation of radiant floor cooling system will be explained. Heating and cooling are the most basic of human needs. That increases the comfort of the living environment conditions, but we are also aware about increased energy efficiency. Developing construction technologies developed in parallel with the mechanical installation sector has also been working to fulfill this need for comfort. Air flow that occurs in the environment because it is cooled with air conditioning or fan coil systems are widely used to cool the ambient air environment may disturb people directly. To adjust the air speed, but presented as a solution together is often difficult in practice to do so and to ensure continuity. In this study, the structure of the working masses by controlling the temperature of the heating and cooling applications, has been found to provide the comfort that people expect. Geographical location is important by only heating, only cooling and both heating and cooling needs. Turkey is also found in the northern hemisphere with the economic prosperity of a region where both heating and cooling needs. Heating is usually provided with fossil

fuels and the cooling is provided with electric power. With air sourced or ground sourced heat pumps and a better understanding of the development of the importance of energy efficiency, humanity is acquainted the heating and cooling systems as "low temperature to high temperature heating and cooling". In fact, low-temperature heating is known as underfloor heating applications. The high temperature cooling system, which is different. Fan-coil, forming the main difference is the fluid temperature of the cooling systems such as air conditioning refrigerant. Working in the refrigeration cycle system evaporators generally in the range of 5 - 7° C has been working with the fluid inlet temperatures. In place of cooling from 15 to 20° C range is sufficient. At this temperature, moisture can form is the most important factor determining environment.

**Key Words:** Underfloor cooling, radiant cooling,

## 1. GİRİŞ

Bu çalışmada yerden soğutma sistemi deneysel olarak incelenerek, hangi parametrelerin hangi sonuçları etkilediğini görmek amaçlanmıştır. Ayrıca elde edilecek deney sonuçları ile daha önce yapılmış analitik hesapları karşılaştırmak hedeflenmiştir. Bunun için öncelikle ASHRAE Handbook da bulunan analitik hesaplar ve bu hesaplamalar sonucu elde edilmiş grafik incelenmiştir. Daha sonra deney odası planlanmıştır. Deney odası yapımı bitirilerek deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları ile analitik hesap sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar üzerinden yapılan değerlendirmeler sonucunda yerden soğutma sistemi için çalışma sıcaklık aralıkları belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca ileride yapılacak çalışmalara yol gösterebilecek yönlendirmeler tespit edilmiştir.

## 2. ANALİTİK HESAP YÖNTEMİ

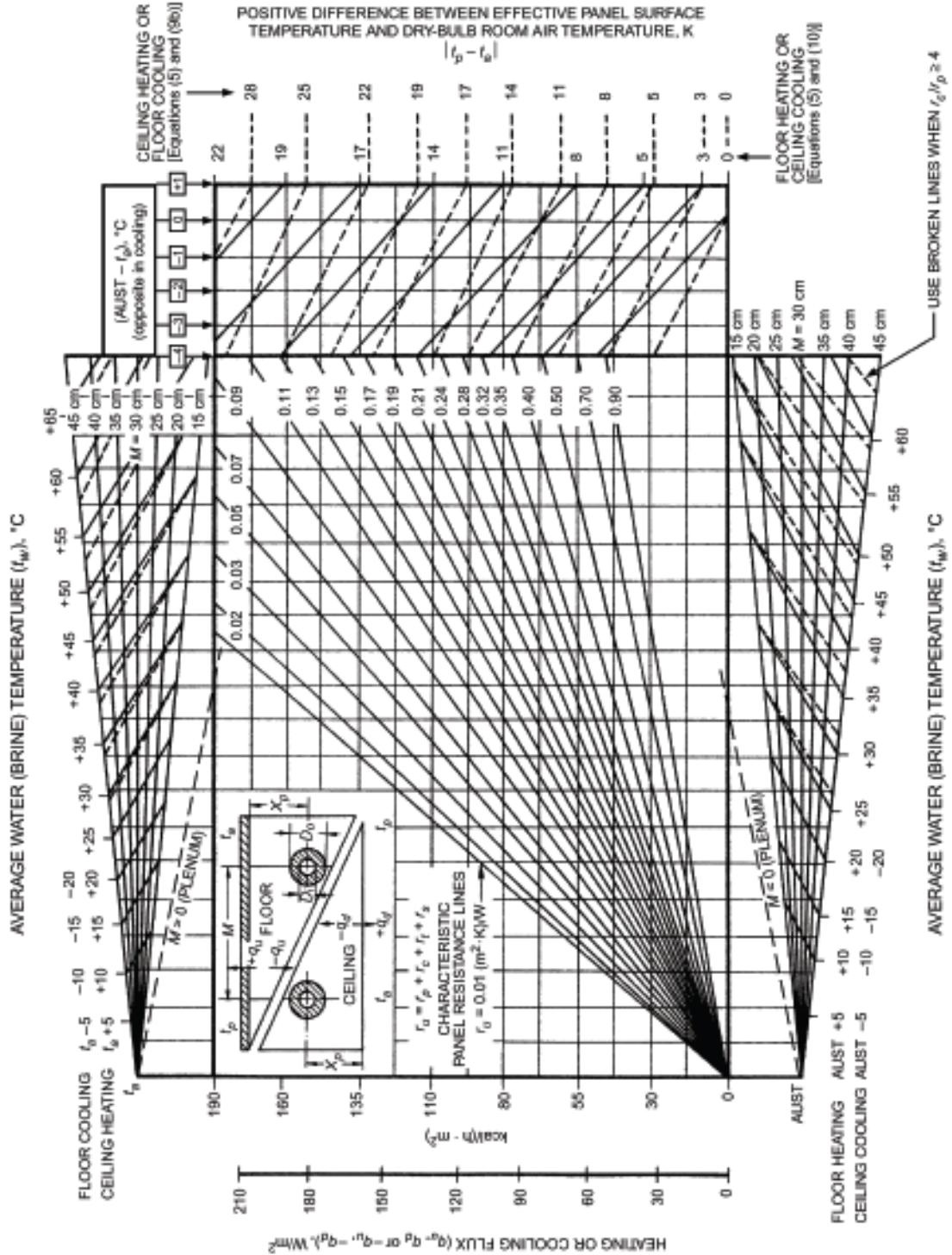
Yapılacak deneylere temel teşkil edecek analitik hesaplamalar ve formüller ASHRAE Handbook'dan alınmıştır. Buradaki hesaplar temel olarak ortalama akışkan sıcaklığı, iç ortam sıcaklığı, soğutulan yüzey sıcaklığı ile pasif yüzeylerin ağırlıklı ortalama sıcaklığı ( AUST ) değerlerine bağlı olarak yapılmıştır. Ayrıca aktif yüzeyin ısı dirençleri de hesaba katılmıştır. Bu dirençler dört etkene bağlı değişmektedir. Tüm bu hesaplar sonucunda parametre değişimlerine bağlı olarak aktif yüzeyden alınabilecek ısı akısı belirlenmektedir. Analitik hesaplamalarda kullanılan formüller:

$$r_u = r_t \cdot M + r_s \cdot M + r_p + r_c \quad r_p = \frac{x_p - D_o/2}{k_p} \quad r_s = 0,12 + \frac{x_s}{k_s} \quad r_t = \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k_t} \quad r_c = \frac{x_c}{k_c}$$

- $r_u$  :: Karakteristik toplam ısı direnç ( m<sup>2</sup>.K/W )  
 $r_p$  :: Yüzeyi oluşturan ana kütlede kaynaklanan ısı direnç ( m<sup>2</sup>.K/W )  
 $r_s$  :: Boru ve yüzey arasındaki bağlantıya bağımlı ısı direnç ( m.K/W )  
 $r_t$  :: Borudan kaynaklanan ısı direnç ( m.K/W )  
 $r_c$  :: Yüzey üzerindeki malzemenin ısı direnci ( m<sup>2</sup>.K/W )  
 $M$  :: Aktif yüzeyde kullanılan boru eksen aralığı ( m )  
 $D_o$  :: Boru Dış Çapı ( m )  
 $D_i$  :: Boru Dış Çapı ( m )  
 $k_p$  :: Ana kütlede ısı iletim katsayısı ( W/m.K )  
 $k_s$  :: Boru ile ana kütle arasındaki malzeme ısı iletim katsayısı ( W/m.K )  
 $k_t$  :: Boru malzemesinin ısı iletim katsayısı ( W/m.K )  
 $k_c$  :: Yüzey kaplama malzemesinin ısı iletim katsayısı ( W/m.K )

$$t_d \approx t_a + \frac{(t_p - t_a)M}{2W\eta + D_o} + q(r_p + r_c + r_s M) \quad t_w = (q + q_b)Mr_t + t_d$$

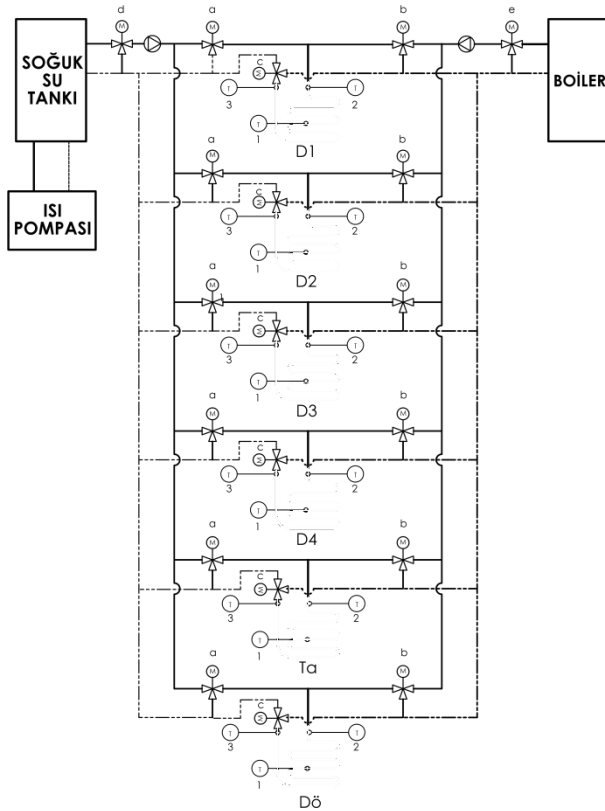
- $t_d$  : Boru dış yüzey sıcaklığı ( °C )  
 $t_a$  : İç Ortam Sıcaklığı ( °C )  
 $t_w$  : Ortalama akışkan Sıcaklığı ( °C )  
 $t_p$  : Soğutulan yüzeyin Sıcaklığı ( Aktif Yüzey ) ( °C )  
 Aust : Soğutulmayan diğer yüzeylerin Sıcaklıklarının ağırlıklı ortalaması ( °C )  
 $q_u$  : Aktif yüzeyden alınan ısı akısı ( W/m<sup>2</sup> )  
 $2W$  : Boru net aralığı ,  $2W=M-Do$ , ( m )  
 $\eta$  : Boru demeti verimi,



Şekil 1. Yer ve tavan panelleri için duyulur ısıtma ve soğutma tasarımı grafiği.

### 3. DENEY DÜZENEGİ

Bu çalışma için 280 x 230 x 250 cm boyutlarında bir deney odası kurulmuştur. Odanın duvarları arasına eps malzemeden imal edilmiş izolasyon konulmuştur. Tüm duvarları, tabanı ve tavanı özel izolasyon kullanılarak içten izole edilmiştir. Bu izolasyonun içerisine, iç yüzeyi odaya bakacak şekilde 16 X 2,2 mm ölçüsünde Pe-Xa ( Polietilen hammaddeli borunun kimyasal yöntemlerle çapraz bağlar ile sağlamlaştırılarak yüksek basınç ve sıcaklığa dayanıklı hale getirilmesi ) borular döşenmiştir. Boru ile izolasyon arasında özel form verilmiş alüminyum levhalar kullanılmıştır. Ayrıca tüm bu iç yüzeyler borulara ve alüminyum levhalara temas edecek şekilde ince ve boyalı bir alüminyum levha ile kaplanmıştır. Boya ışınım için ideal renk olan koyu mavi seçilmiştir. Tüm iç yüzeylere belirli aralıklarla termokupl sensörler yerleştirilmiştir. Büyük duvarlarda, tavanda ve tabanda 16 adet, küçük duvarlarda 12 adet olmak üzere toplam 80 adet sensör kullanılmıştır. Ayrıca iç hava nemini, ortam sıcaklığını ölçümü için yüksek hassasiyetli sensörler kullanılmıştır. Sistemin içerisinde akışkan olarak su kullanılmıştır. Hava kaynaklı 8 kw ısı gücünde bir ısı pompası ile soğutma ve ısıtma yapılarak akümüstasyon tankı ile soğuk su depolanmıştır, boyler ile sıcak su depolanmıştır. Ayrıca boyler sıcaklığını arttırmak için termostat kontrollü bir elektrikli ısıtıcı kullanılmıştır. Deney odasının yüzeylerinde bulunan boruların içerisine verilecek akışkanın sıcaklığını ayarlayabilmek için ısıtma ve soğutma hatlarında ayrı ayrı üç yollu vana ve sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Yine bu iki ısı devresinde tüketilen enerjiyi ölçmek üzere M-Bus çıkışlı, dijital ekranlı ultrasonik kalorimetreler kullanılmıştır. Gidiş ve dönüş akışkan sıcaklıkları, debileri bu cihazlardan ölçülerek bilgisayara aktarılmıştır. Deney odası içerisinde ve tüm yüzeylerde bulunan sensörlerden gelen sıcaklık bilgisi data kaydedici cihazlar yardımı ile bilgisayarda toplanmıştır. Sistemde her altı yüzey için üç adet olmak üzere toplam on sekiz adet üç yollu vana kullanılarak tüm yüzeylerin farklı anlarda farklı sıcaklıkta olabilmesi sağlanmıştır. Bunun için sensörlerden gelen bilgiler her bir yüzey için ayrı ayrı değerlendirilmiş, istenilen sıcaklığa gelene kadar ısıtma veya soğutma hattının üç yollu vanalarına röleler yardımıyla kumanda edilerek ayarlanan sıcaklığa gelmesi sağlanmıştır.



Şekil 2. Deney odası akışkan devresi şeması

Resim 1. Deney odası iç yüzeyler ve üç yollu vanalar



#### 4. DENEY SONUÇLARI

Farklı parametreleri değiştirerek yapılan deneysel çalışmada elde edilen veriler, data kaydediciler vasıtasıyla hafızaya alınmıştır. Yüzey sıcaklıklarının sürekli rejime ulaşması deney zamanını oldukça uzatmıştır. Datalar durağan hale geldiklerinde veriler okunmuş ve tablolara işlenmiştir. On adet deney yapılmıştır.

**Tablo 1.** Analitik hesaplar sonucu çıkan değerler

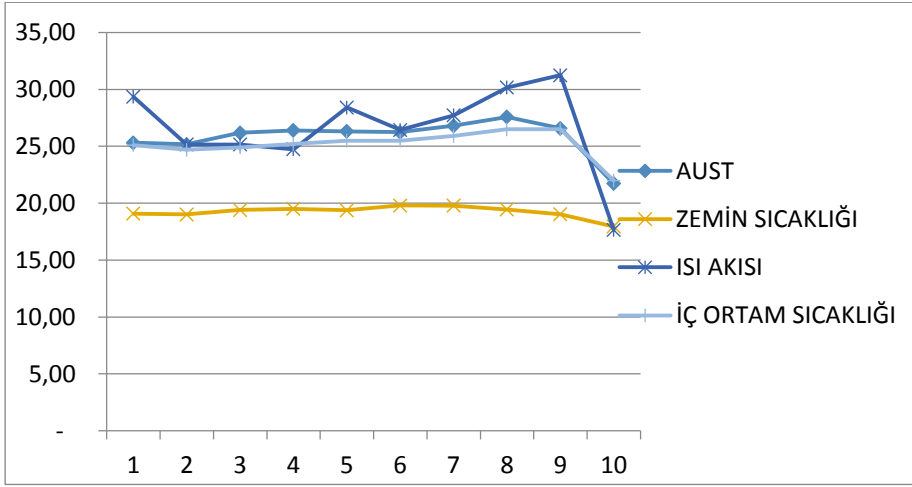
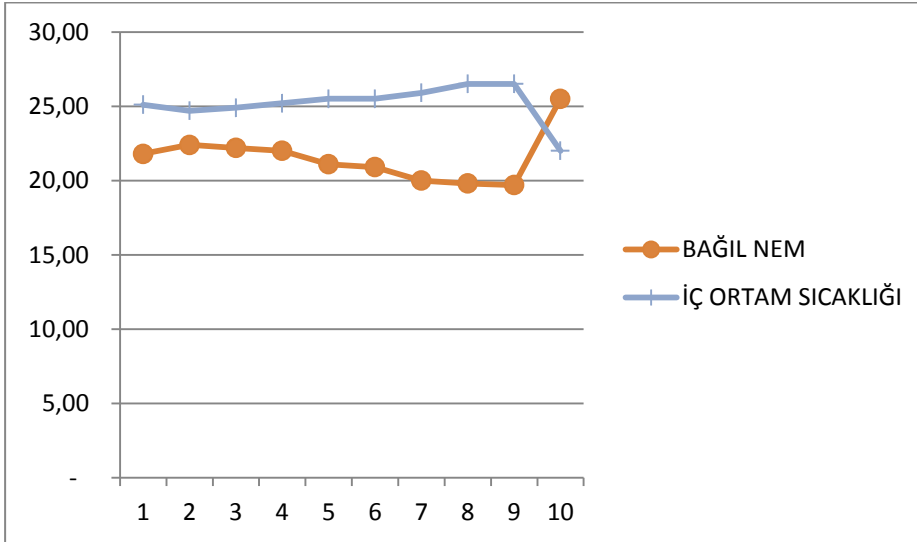
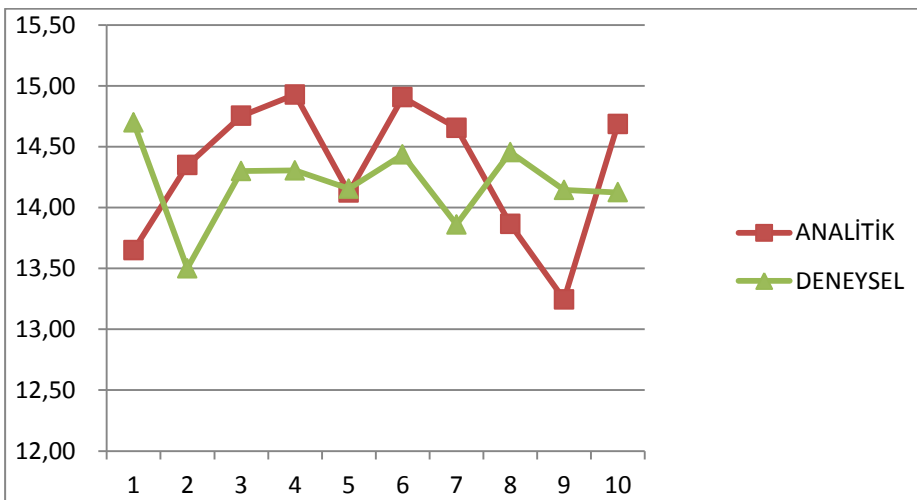
xc	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
kt	0,3800	0,3800	0,3800	0,3800	0,3800	0,3800	0,3800	0,3800	0,3800	0,3800	0,3800
kc	237,00	237,00	237,00	237,00	237,00	237,00	237,00	237,00	237,00	237,00	237,00
M	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250
rp	3,376E-06	3,376E-06	3,376E-06	3,376E-06	3,376E-06	3,376E-06	3,376E-06	3,376E-06	3,376E-06	3,376E-06	3,376E-06
rc	4,219E-06	4,219E-06	4,219E-06	4,219E-06	4,219E-06	4,219E-06	4,219E-06	4,219E-06	4,219E-06	4,219E-06	4,219E-06
rs	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100
rt	0,1347	0,1347	0,1347	0,1347	0,1347	0,1347	0,1347	0,1347	0,1347	0,1347	0,1347
ru	0,0181	0,0181	0,0181	0,0181	0,0181	0,0181	0,0181	0,0181	0,0181	0,0181	0,0181
Do	0,0160	0,0160	0,0160	0,0160	0,0160	0,0160	0,0160	0,0160	0,0160	0,0160	0,0160
s	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022
Di	0,0116	0,0116	0,0116	0,0116	0,0116	0,0116	0,0116	0,0116	0,0116	0,0116	0,0116
2W	0,1090	0,1090	0,1090	0,1090	0,1090	0,1090	0,1090	0,1090	0,1090	0,1090	0,1090
td	19,084	19,007	19,411	19,509	19,385	19,802	19,788	19,451	19,032	17,956	
f	3,9539	3,5663	3,5020	3,5365	3,9231	3,6563	3,8749	4,3348	4,5383	2,5256	
nu	0,9848	0,9876	0,9880	0,9878	0,9850	0,9854	0,9854	0,9818	0,9801	0,9937	
f*w	0,2155	0,1944	0,1909	0,1927	0,2138	0,1993	0,2112	0,2362	0,2473	0,1376	
tw analitik	13,65	14,35	14,75	14,93	14,12	14,91	14,65	13,86	13,24	14,68	

**Tablo 2.** Deneyler sonucu çıkan değerler

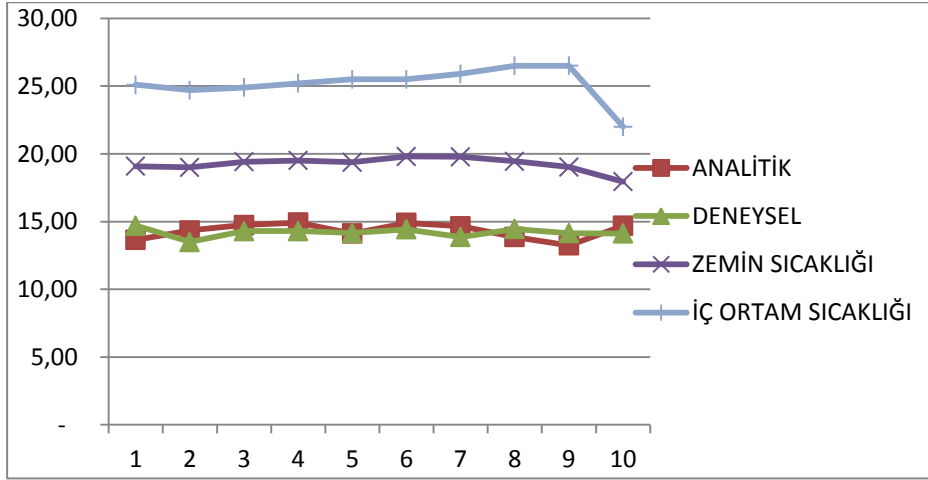
DUVAR 1		25,50	25,00	25,60	25,70	25,60	25,70	27,70	31,00	28,60	20,20
DUVAR 2		25,60	25,30	29,30	30,30	30,00	30,00	29,50	30,00	28,30	19,70
DUVAR 3		25,60	25,50	25,50	25,70	25,40	25,20	25,70	26,00	25,80	25,00
DUVAR 4		24,50	24,80	25,60	25,50	25,40	25,10	25,60	25,40	25,10	23,60
TAVAN		25,30	25,20	25,30	25,20	25,60	25,60	25,70	25,30	25,00	19,90
DOSEME	t_p	19,20	19,10	19,50	19,60	19,50	19,90	19,90	19,60	19,20	18,00
ORTAM SICAKLIĞI	t_a	25,10	24,70	24,90	25,20	25,50	25,50	25,90	26,50	26,50	22,00
Nem		21,80	22,40	22,20	22,00	21,10	20,90	20,00	19,80	19,70	25,50
Su_ust		15,05	13,80	14,60	14,60	14,69	14,93	14,37	15,01	14,72	14,45
SU_alt		14,35	13,20	14,00	14,01	13,62	13,94	13,35	13,90	13,57	13,80
Debi		0,27	0,27	0,27	0,27	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18
SU SICAKLIĞI	t_w	14,70	13,50	14,30	14,31	14,16	14,44	13,86	14,46	14,15	14,13
Delta T		0,70	0,60	0,60	0,59	1,07	0,99	1,02	1,11	1,15	0,65
Q hesaplanan		0,19	0,16	0,16	0,16	0,18	0,17	0,18	0,19	0,20	0,11
q (w/m2)		29,35	25,16	25,16	24,74	28,41	26,44	27,72	30,16	31,25	17,66
t_a-AUST		0,22	0,47	1,29	1,20	0,82	0,74	0,91	1,08	0,08	0,28
t_p - t_a		5,90	5,60	5,40	5,60	6,00	5,60	6,00	6,90	7,30	4,00
t_a - t_w		10,40	11,20	10,60	10,90	11,35	11,07	12,04	12,05	12,36	7,88
AUST(HARİÇ)		25,32	25,17	26,19	26,40	26,32	26,24	26,81	27,58	26,58	21,72

**Tablo 3.** Akışkan sıcaklığının analitik ve deneysel sonuçlarını kıyaslama

tw analitik	13,65	14,35	14,75	14,93	14,12	14,91	14,65	13,86	13,24	14,68
tw deneysel	14,70	13,50	14,30	14,31	14,16	14,44	13,86	14,46	14,15	14,13

**Grafik 1.** Deney sonucu elde edilen değerleri kıyas grafiği 1**Grafik 2.** Deney sonucu elde edilen değerleri kıyas grafiği 2**Grafik 3.** Akışkan sıcaklığı için deney sonucu ile analitik hesap sonucu kıyaslaması



**Grafik 4.** Akışkan sıcaklığı için deney sonucu ile analitik hesap sonucu kıyaslaması

## SONUÇ

Yapılan deneyler sonucunda analitik hesaplamalara yakın değerleri elde edilmiştir. Akışkan sıcaklığı düşürülerek yüzeyden daha fazla ısı akışı olmaktadır. İç ortam sıcaklığına bağlı olarak bağıl nemin değişimi izlenmiştir. Nem oranı yüksek bölgeler için minimum akışkan giriş sıcaklıkları tespit edilebilir. Deney sayıları artırılarak daha hassas sonuçlar elde edilmesi gerekmektedir. İleride yapılabilecek çalışmalarda farklı döşeme malzemelerinin ( parke, halı vb. ) ve boru aralıklarının değişiminin sonuçları nasıl etkilediği araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] ASHRAE Handbook-HVAC Systems and Equipment (SI) Chapter 6 Panel Heating and cooling, 2008.
- [2] Kılış,B.I,S.S.Sager, M.Uludag,1994,A simplified model for radiant heating and cooling panels. Simulation Practice and Theory Journal 2:61-76
- [3] Yerden Isıtma Sistemleri, Şahin, Gültekin, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayın Uygulama Eki, 2004. p.1-12

## ÖZGEÇMİŞ

### Gültekin ŞAHİN

1994 Yılında Hacettepe Üniversitesi Zonguldak Mühendislik Fakültesinden Makina Mühendisi olarak mezun olmuştur. Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünde yüksek lisans yapmıştır. 20 yıl boyunca mekanik tesisat sektöründe yurtiçinde ve yurtdışında çok sayıda tesisin ısıtma, soğutma, havalandırma, iklimlendirme, altyapı tesisatlarının yapımını gerçekleştiren GENTEM Müh.ve Mak. San. Ltd. Şti.'nin kurucu ortağıdır. İngilizce bilmektedir. Evli ve 3 çocuk babasıdır.

**Abuzer ÖZSUNAR**

1987 yılında Gazi Üniversitesinde lisans eğitimini tamamlamıştır. 1988 yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak göreve başlamıştır. Aynı üniversitede yüksek lisans eğitimini 1992 yılında doktora eğitimini 1999 yılında tamamlamıştır. 2002 yılında öğretim görevlisi olarak atanmış, 2012 yılında ise doçent unvanını almıştır. Halen aynı bölümde bölüm başkan yardımcısı olarak görev yapmaktadır. Karışık konveksiyon, elektronik cihazların soğutulması ve iklimlendirme konularında çalışmaktadır.

**Birol KILKIŞ**

1970 yılında ODTÜ Makine Mühendisliği Bölümünden yüksek şeref derecesi ile mezun oldu. Aynı bölümden M. Sc ve Doktor derecelerini alarak von Karman Enstitüsünden Akışkanlar Mekaniği dalında şeref derecesi ile mezun oldu. 1981 yılında TÜBİTAK Teşvik Ödülünü Kazandı. ASHRAE Yüksek Performans Binaları Komitesi üyesi ve ASHRAE TC 7.4 Sürdürülebilir Binalar İçin Ekserji Analizi Teknik Komitesi İkinci Başkanıdır. Diğer beş komitenin de üyesidir. Halen Başkent Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Profesör kadrosunda hizmet vermektedir. Ayrıca Enerji Mühendisliği Yüksek Lisans Programı Ana Bilim Dalı Başkanıdır.