



ANALYSIS OF EARTH-AIR HEAT EXCHANGER PERFORMANCE WITH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Hüsamettin BULUT
Harran University
hbulut@harran.edu.tr

Baran PEKER
Şimşekler A.Ş.
baranpeker19@hotmail.com

Yunus DEMİRTAŞ
Harran University
yunusdemirtas@harran.edu.tr

İsmail HİLALİ
Harran University
ihilali@harran.edu.tr

ABSTRACT: Nowadays, Computational Fluid Dynamics (CFD) softwares are used in many industrial sectors such as energy, air-conditioning and defense widely and successfully. Because, Computational Fluid Dynamics (CFD) tools provide significant advantages in terms of time and cost with accurate determination of fluid behavior, heat transfer and pressure losses in complex engineering problems that cannot be directly calculated by analytical methods. In this study, the parameters affecting on the performance of an earth air heat exchanger (EAHX) were analyzed by Autodesk Simulation CFD program for the heating and cooling conditions. Simulation results were compared with experimental results measured in Şanlıurfa climatic conditions. It is determined that the results obtained from the CFD software are in agreement with the experimental measurements and the average deviation from the experimental results is 10% for heating condition and 3% for cooling condition, respectively. As a result, it is seen that the thermofluid analysis of the earth air heat exchangers can be carried out for any working condition and the acceptable results can be obtained with aid of Computational Fluid Dynamics (CFD) software.

Key words: computational fluid dynamics, earth-air heat exchanger, simulation, earth energy

TOPRAK-HAVA ISI DEĞİŞTİRİCİSİ PERFORMANSININ HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE ANALİZİ

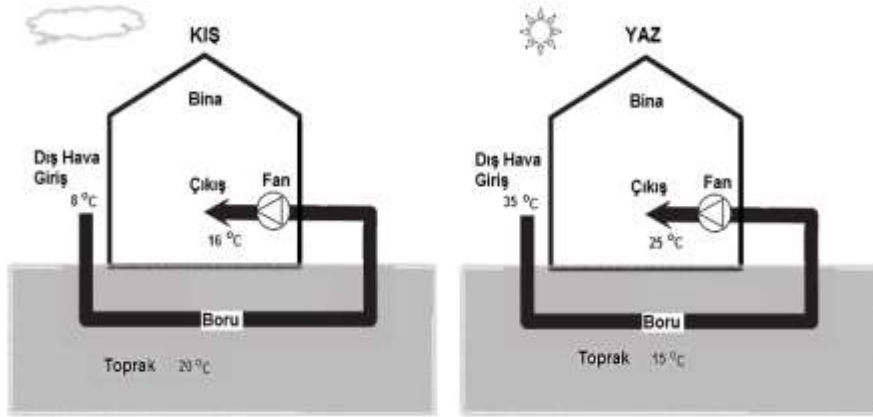
ÖZET: Günümüzde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımları, enerji, iklimlendirme ve savunma sanayi gibi birçok alanda yaygın ve başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Çünkü Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) araçları, analitik yöntemlerle doğrudan hesaplanamayan karmaşık mühendislik problemlerinde akışkan davranışını, ısı transferini ve basınç kayıplarını doğru tespit edilmesi ile zaman ve maliyet açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu çalışmada, bir toprak-hava ısı değiştiricisi (THİD)'nin performansına etki eden parametreler ısıtma ve soğutma durumu için, Autodesk Simulation CFD programıyla analiz edilmiştir. Simülasyon sonuçları, Şanlıurfa iklim koşullarında ölçülen deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği(HAD) yazılımı ile elde edilen sonuçların deneysel ölçümlerle uyum içinde olduğu ve deneysel sonuçlardan ortalama sapmasının ısıtma durumunda %10 ve soğutma

durumunda %3 olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı ile toprak-hava ısı değiştiricilerinin termoakış analizleri her türlü çalışma durumunda yapılabileceği ve kabul edilebilir sonuçlar elde edilebileceği görülmüştür.

Anahtar sözcükler: hesaplamalı akışkanlar dinamiği, toprak-hava ısı değiştiricisi, simülasyon, toprak enerjisi

GİRİŞ

Toprak, ısııl enerji deposu olarak ısıı kaynağı veya ısıı kuyusu olabilir. Toprağın yüksek ısııl kapasitesi ve ortam havasına göre sıcaklık dalgalanmalarının düşük olmasından dolayı toprak altı ısıısı rahatlıkla kullanılabilir. Yeterli bir derinlikte, toprak sıcaklığı dış ortam sıcaklığına göre yazın daha düşük ve kışın ise daha yüksektir. Bu sıcaklık farkı kullanılarak, hava, toprağa gömülmüş kanal veya borulardan geçirilerek, yazın soğutulabilir, kışın ise ısıtılabilir. Bu şekilde toprak enerjisini kullanan bir Toprak-Hava Isı Değiştiricisi (THID) sistemi Şekil 1.'de gösterildiği gibi borulardan ve hava hareketini sağlayan bir fandan meydana gelir (Bulut ve ark., 2015). Toprak-hava ısıı değiştiricileri (THID) ısııtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinde kullanılarak enerji maliyetleri azaltılabilir.



Şekil 1. Bir Toprak-Hava Isı Değiştiricisi (THID) Sisteminin Isıtma ve Soğutma Durumunda Çalışması

Bir THID sisteminin performansına iklimsel şartlar ve coğrafik konum, toprak özellikleri, boru dizilişi ve özellikleri, toprak derinliği, hava debisi ve hızı gibi parametreler etki etmektedir (Abbaspour ve ark., 2011; Peretti ve ark., 2013). Bu parametrelerin analizi deneysel ve teorik çalışmalar ile yapılmaktadır. Deneysel çalışmaların zorluğu, literatürde toprak hava ısıı değiştiricisi sistemleri ile ilgili olarak hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin kullanılmasına yönlendirmiştir. Farklı programların kullanıldığı teorik ve HAD çalışmaları, ısııtma ve soğutma alanında olsa da genelde sera uygulamalarında görülmektedir.

Daloğlu (2015), Ankara ilinde bulunan bir evin soğutma ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanan bir THID sistemi ile ilgili araştırma yapmıştır. Çalışmada 4 m derinlikte toprak sıcaklığının 14 °C'de sabit kaldığı kabul edilmiştir. Evin soğutma yükü belirlendikten sonra THID'nin boru uzunluğu; farklı çap ve farklı malzeme durumları için hesaplanmıştır. Aynı zamanda yapılan deneysel çalışmaya ait sonuçlar teorik sonuçlarla ve literatürdeki benzer çalışmalarla da karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda literatürdeki diğer sonuçlardan daha iyi bir yaklaşım elde ettiği görülmektedir. Çalışma sonucunda THID sistemlerinin bir evin soğutma ihtiyacını karşılayabileceği ifade edilmiştir. Bansal ve ark. (2013) tarafından, toprak ısııl iletkenliği ve sürekli çalışmanın THID'nin ısııl performansı üzerine etkisi değişik boru uzunluğu için deneysel sonuçlar üzerinden CFD simülasyonu yapılmıştır. CFD olarak Fluent programı kullanılmıştır. Çalışmada THID boru



çevresindeki sıcaklık dağılımı ve çalışma periyodunun THID'nin ısı performansına üzerine etkisi incelenmiştir. Isıl etkinin gözlemlendiği boru etrafındaki toprak halkasının kalınlığı toprağın iletkenliğine ve THID sisteminin sürekli çalışma periyoduna bağlı olduğu ve toprak halkasının kalınlığı boru çapına eşit olduğu tespit edilmiştir. Trzaski ve Zawada (2011), çevresel ve geometrik faktörlerin THID enerji verimi üzerine etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla bir sayısal model geliştirmişlerdir. Isı değiştiricinin çevresindeki işlem karmaşıklığından dolayı ölçüm ve analitik çözümlerin, inceleme için yeterli olmadığını ifade etmişlerdir. Bir THID'in verimini etkileyen çoklu ve birbirine bağlı değişkenler olduğundan, performans optimizasyonu özel durumlar için yapısı, çalışma parametreleri, ilk yatırım ve enerji maliyetleri dikkate alınarak yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Bir THID'in ısı davranışı Brezilya, Viamao şartlarında yeni bir sayısal modelleme ile incelenmiştir. Sayısal modellemede Fluent programı kullanılmıştır. Toprak derinliği, THID ısı performansı üzerine etkisi çalışılmıştır. 5 m' ye kadar olan toprak derinliği her 1 m için incelenmiş ve 3 m' den daha aşağı derinliklerin THID sisteminin ısı potansiyeli kullanmasında önemli bir fark yapmadığı sayısal olarak da tespit edilmiştir. Vaz ve ark. (2011), Bir THID'nin deneysel ve sayısal analizini Brezilya için yapmışlardır. Sayısal analizde Fluent kullanılmıştır. Deneysel ve sayısal sonuçlar arasında %15 fark tespit edilmiştir. Sayısal analizin THID sistemlerinde, araştırmalarda ve proje geliştirilmesinde kullanılabileceği ifade edilmiştir. Fluent simülasyon programı kullanılarak bir THID sistemin kışın ısıtma durumunda ısı performansı ve ısıtma kapasitesi (Bansal ve ark. 2009) tarafından araştırılmıştır. Simülasyon, Batı Hindistan'daki Ajmer şehrinde kurulmuş THID deneysel sonuçları ile karşılaştırılmış ve doğrulanmıştır. Çelik ve PVC boru malzemesinin THID sistem performansı üzerinde önemli etkisi saptanmamıştır. Fakat hava hızının, THID sistem performansı üzerine önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Kapalı devre modunda bulunan THID' li sera ısıtma sistemlerinin performansını modellenmesi, analizi ve değerlendirmesi Hepbaşlı (2013), tarafından yapılmıştır. Çalışılan THID sisteminin toplam enerji verimi %72.10 ve 0 °C referans durum sıcaklığında toplam ekserji verimi değeri %19.18 olarak hesaplanmıştır. Bojic ve ark. (1997), %100 temiz hava kullanan yazın soğutma ve kışın ısıtma yapan bir THID sistemin teknik ve ekonomik değerlendirmesini yapmışlardır. Teorik çalışmanın sonucunda THID'nin binanın günlük ısıtma ve soğutma ihtiyacının bir kısmını sağladığı ve yazın kışa göre daha enerji verimli ve ekonomik olduğu bulunmuştur. Ascione ve ark. (2011), THID'lerin İtalya şartlarındaki yaz ve kış ısı performansını ve ekonomik analizini incelemişlerdir. Teorik analiz sonuçlarına göre THID'lerin en iyi performansı soğuk iklim koşullarına sahip yerlerde gösterdikleri tespit edilmiştir. Metalik olmayan boruların daha ekonomik olduklarını ifade etmişlerdir. THID sisteminin yazın havalandırma amacıyla kullanımı ayrıca analiz edilmiştir.

Toprak – hava ısı değiştiricisi (THID) ile havanın ısıtılması ile ilgili olarak Bulut ve ark. (2015a) tarafından Şanlıurfa ilinde yapılan çalışmada THID sisteminin ısıtma konumunda iyi performans gösterdiği ve ısıtma ve havalandırma uygulamaları açısından enerji tasarrufu potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. 2014 yılı yaz döneminde sıcak ve kuru iklim şartlarına sahip Şanlıurfa ilinde Bulut ve ark. (2015b) tarafından yapılan bir diğer deneysel çalışmanın sonuçlarına göre; THID'nin iyi bir ısı performans gösterdiği ve soğutma ve havalandırma uygulamalarında enerji tasarrufu potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Ozgener ve Ozgener (2011), İzmir'de sera ısıtılması için kullanılan bir kapalı döngülü THID'in en uygun tasarımını belirlemesini ekserjoeekonomik analiz ile yapmışlardır. Bir THID için termodinamik ve ekonomik faktörlerin önemli olduğu çıkan sonuçlarla görülmüştür.

Literatür taramasından THID sistemleri üzerine teorik, sayısal ve deneysel olarak çalışmalar yapıldığı görülmüştür. THID sistemine etki eden çok parametre olması ve değişik şartlarda farklı performans göstermelerinden dolayı her bir durum için ayrı ayrı teorik ve sayısal çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada Hesaplamalı akışkanlar dinamiği programlarından olan Autodesk Simulation CFD kullanılarak farklı özelliklerdeki THID sistemlerinin analizler yapılmıştır.



MATERYAL ve METOD

Mühendislik hesaplamalarında, akışkan davranışının doğru tespit edilmesi oldukça önemlidir. Analitik yöntemlerle direkt olarak hesaplanamayan karmaşık problem ve modellerde, ısı transferi, basınç kayıpları, akış hızları gibi verilerin nümerik yöntemlerle, parçanın tasarım aşamasında iken belirlenmesi, zaman ve maliyet açısından üreticiye önemli avantajlar sağlamaktadır (HSK Ar-Ge, 2011). Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), akışkanlar mekaniği problemlerinin analizi ve çözümlenmesi için sayısal yöntem ve algoritmaların kullanıldığı bir akışkanlar mekaniği bilimi dalıdır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), akış ve ısı transferinin olduğu sağlık, enerji, iklimlendirme, savunma sanayi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Sanayi ve akademik çevrelerde Ansys CFX, Polyflow, Icepak, Airpak, Mixsim, Ansys Fluent, Xflow, Starccm+, Flow3d, Flowmaster, Openfoam, Pointwise, Mohid, Delft3d-Flow, Openfvm, Featool, Fluidyn ve Autodesk Simulation CFD gibi açık kodlu veya tescilli HAD yazılım programları kullanılmaktadır.

Bu çalışmada HAD yazılım programı olarak Autodesk Simulation CFD kullanılmıştır (<http://www.autodesk.com/products/cfd/overview>). Çalışma kapsamında 2 adet THID sistemi modellenmiş olup farklı derinlik ve çaplardaki sistemlerin kış ve yaz dönemlerinde performansları incelenmiştir. Autodesk Simulation CFD programında analiz için aşağıdaki işlemler sırasıyla yapılmıştır:

- Model geometrinin oluşturulması
- Malzeme özelliklerinin belirlenmesi
- Sınır şartlarının belirlenmesi
- Modelin ağ yapısının (mesh) oluşturulması
- Isı geçiş modelinin ayarlanması
- Çözüm kontrol parametrelerinin ayarlanması
- İlk çözümlemenin yapılması
- Sonuçların kaydedilmesi
- Sonuçların değerlendirilmesi

Modeller, Autodesk Inventor 3D CAD bilgisayar çizim tasarım programıyla çizilmiştir. Gerçek deney THID sistemlerinin ölçüleri baz alınarak 2 farklı derinlikte ve farklı çaplarda 2 adet model oluşturulmuştur. Çalışma alanındaki toprak kum ve kil karışımı olduğu için toprak seçiminde öncelikle killi toprak seçilmiştir. Daha sonra kumlu toprak seçilerek aynı çalışma tekrarlanmıştır.

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Isıtma Durumunda HAD Analiz Sonuçları

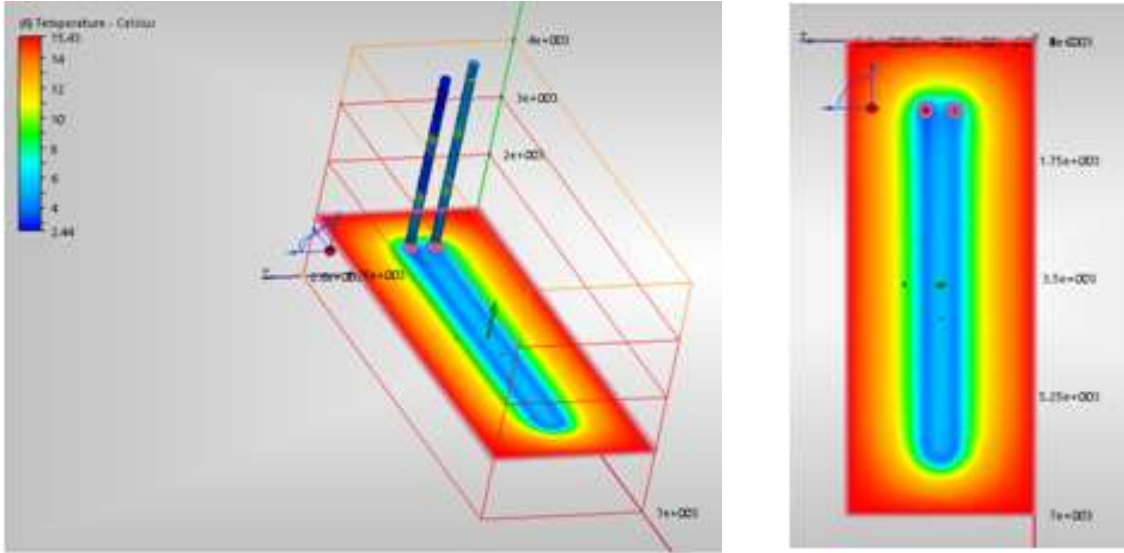
Autodesk Simulation CFD programıyla kış mevsimi için Ocak ayı baz alınıp ısıtma durumunda THID sistemlerinin performans analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları, deneysel ölçüm verileri ile karşılaştırılmıştır. THID modellerin geometrik özellikleri Tablo 1.'de verilmiştir. Modeller farklı çaplarda ve farklı derinliktedirler. Toprak üst yüzeyinden toprak altında döşenen boru derinliğine kadar toprak sıcaklığı değiştiğinden model üzerinde toprak katmanlara ayrılmış ve her katman için ölçülen toprak sıcaklıkları kullanılmıştır.

Tablo 1. HAD Analizi Yapılan THID Modelleri

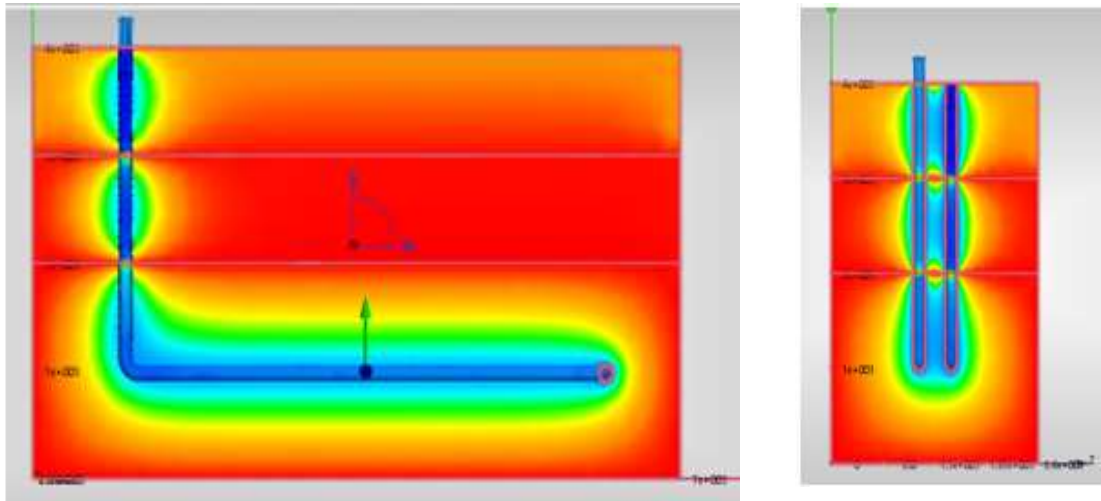
THID Modeli	Boru Çapı, mm	Toprak Derinliği, mm	Toprak katman sayısı	Analiz sayısı
1	150	3000	3	24
2	110	2000	2	6

Autodesk Simulation CFD programında THID Model 1 için sıcaklık dağılımı ısıtma döneminde farklı kesitlerden Şekil 2. ve Şekil 3.'te gösterilmektedir. Şekillerden katmanlarda boru etrafındaki sıcaklık dağılımlarının farklı olduğu ve derinlik arttıkça sıcaklığın arttığı görülmektedir. Tablo 2.'de THID Model 1 sisteminin ısıtma durumunda performans analiz sonuçları 4, 10, 20 ve 28 Ocak 2015 tarihleri için sırasıyla verilmiştir. Tablodan katmanlarda toprak sıcaklığının farklı olduğu ve deneysel ölçümlerden sapmanın değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Ortalama sapma % 7.6 olarak hesaplanmıştır. Deneysel ölçümlerden sapma aşağıdaki denklemle tespit edilmiştir.

$$Sapma = \frac{|T_{\text{çıkış}}(CFD) - T_{\text{çıkış}}(Deneysel)|}{T_{\text{çıkış}}(Deneysel)} \times 100 \quad (1)$$



Şekil 2. THID Model 1 (3 m derinlik ve 3 katman) İçin Boru Etrafında Sıcaklık Dağılımının Üstten Gösterimi



Şekil 3. THID Model 1 (3 m derinlik ve 3 katman) İçin Boru Etrafında Sıcaklık Dağılımının Yandan Gösterimi

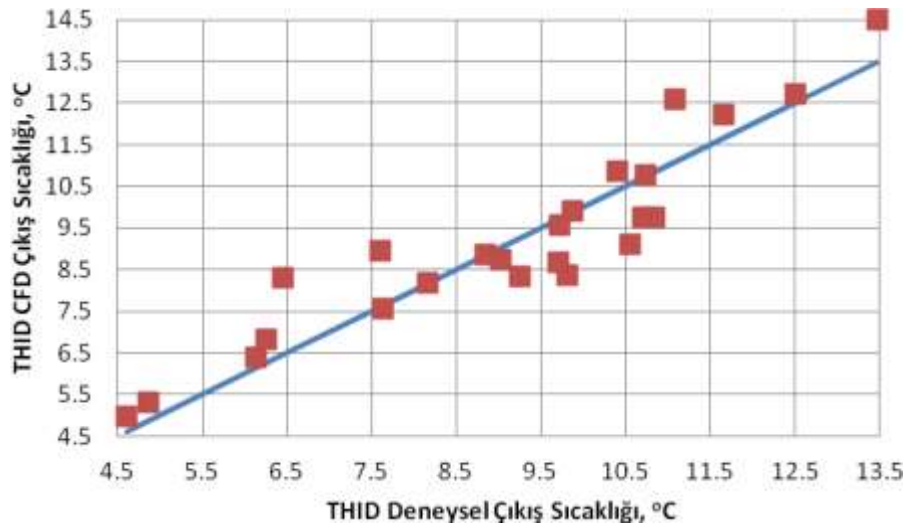
Tablo 2. Isıtma Durumunda THID Model 1 İçin Yapılan Analizlerin Sınır Şartları ve Sonuçları

		Sıcaklık, °C				THID	THID	Çıkış	THID	Sapma,
Tarih	Saat	1	2	3	THID					
		Toprak	Toprak	Toprak	Giriş	(Deneysel)	Çıkış	Çıkış		%

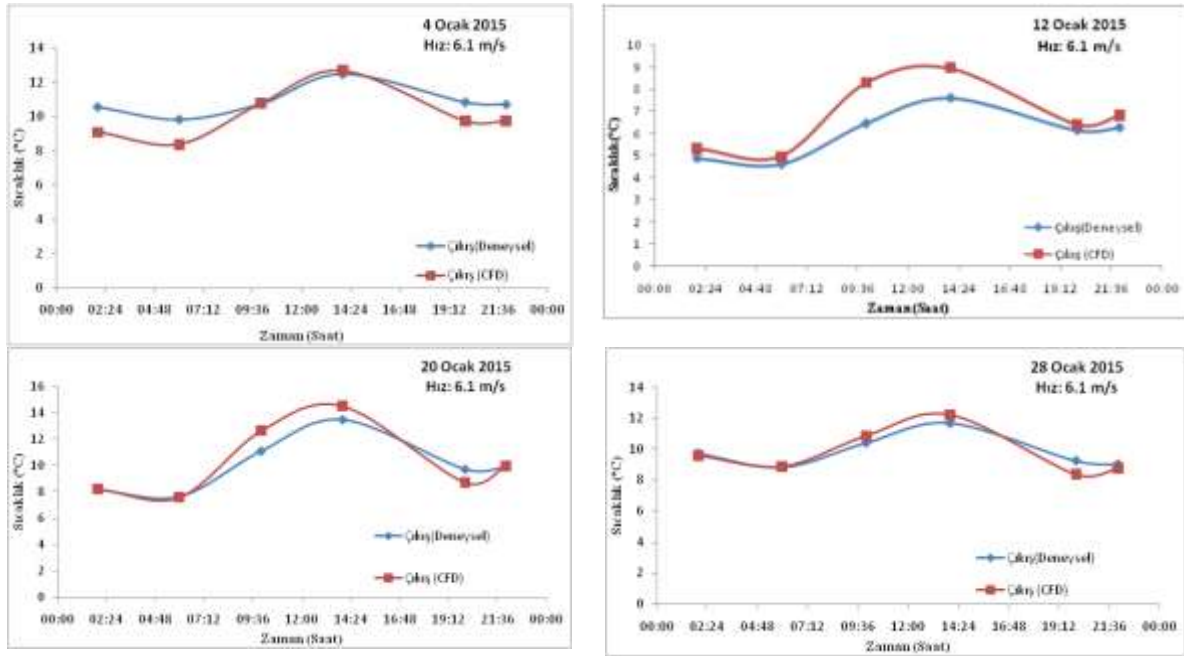


(CFD)								
04.Ocak	02:00	13.66	16.56	17.54	6.11	10.56	9.1	13
	06:00	13.68	16.57	17.55	4.97	9.82	8.38	14
	10:00	13.26	16.2	17.17	8.82	10.74	10.78	1
	14:00	13.53	16.31	17.23	11.64	12.5	12.7	1
	20:00	13.6	16.42	17.33	7.1	10.84	9.74	10
	22:00	13.64	16.45	17.36	7.01	10.71	9.75	9
12.Ocak	02:00	13.4	15.49	15.65	0.72	4.87	5.31	9
	06:00	13.44	15.5	15.66	0.17	4.6	4.96	8
	10:00	12.9	14.99	15.15	5.5	6.45	8.29	28
	14:00	13.23	15.22	15.34	6.37	7.61	8.96	18
	20:00	13.29	15.29	15.43	2.44	6.14	6.4	4
	22:00	13.23	15.24	15.39	3.1	6.26	6.81	9
20.Ocak	02:00	11.97	13.96	14.64	5.78	8.16	8.19	1
	06:00	12.06	14.05	14.75	4.82	7.64	7.55	1
	10:00	11.42	13.49	14.23	12.73	11.09	12.6	14
	14:00	11.72	13.64	14.33	15.48	13.48	14.49	7
	20:00	11.86	13.88	14.64	6.56	9.71	8.68	10
	22:00	11.87	13.89	14.67	8.44	9.88	9.92	1
28.Ocak	02:00	11.34	13.52	14.66	8.12	9.72	9.58	1
	06:00	11.39	13.56	14.71	7.01	8.85	8.87	1
	10:00	11.22	13.4	14.55	10.11	10.4	10.85	4
	14:00	11.11	13.29	14.42	12.23	11.66	12.21	5
	20:00	11.36	13.52	14.62	6.26	9.25	8.35	10
	22:00	11.35	13.5	14.6	6.85	9.03	8.74	3
Hava Hızı V=6.1 m/s							Ortalama	7.6

CFD sonuçlarının deneysel sonuçlarla karşılaştırılması Şekil 4’ de gösterilmiştir. Şekilden CFD sonuçlarının ölçüm sonuçları ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Şekil 5’ de Autodesk Simulation CFD analiz sonucu elde edilen çıkış sıcaklıkları ve deneysel ölçüm sıcaklık değerlerinin gün boyunca değişimleri verilmiştir. Şekillerden gün boyunca CFD’den elde edilen çıkış sıcaklıklarının deneysel ölçüm sonuçları ile uyum içinde olduğu ve benzer değişimi gösterdiği görülmüştür.



Şekil 4. CFD Analiz Sonuçlarının Ölçüm Sonuçları ile Karşılaştırılması

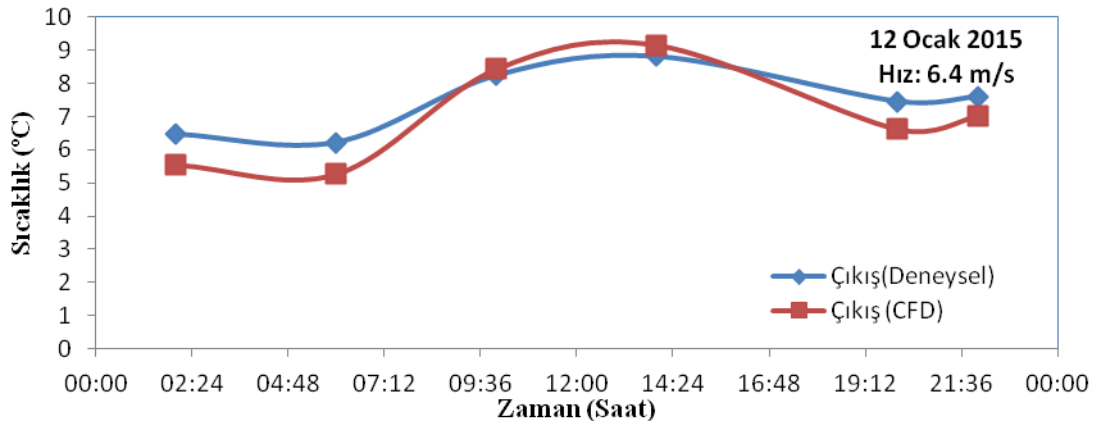


Şekil 5. THID Model 1 Sisteminde CFD ve Deneysel Ölçüm Çıkış Sıcaklıklarının Zamanla Değişimi

Tablo 3.' de THID Model 2 (2 m derinlik ve çift katman) sisteminin ısıtma durumunda performans analiz sonuçları 12 Ocak 2015 tarihi için verilmiştir. Şekil 6.' da ise THID Model 2 için Autodesk Simulation CFD analiz sonucu elde edilen çıkış sıcaklığı ve deneysel ölçüm sıcaklık değerlerinin gün boyunca değişimleri gösterilmiştir. Şekilden CFD sonuçlarının deneysel ölçümlerle uyum içinde ve zamanla benzer değişimi gösterdiği görülmektedir.

Tablo 3. 12 Ocak 2015' te THID Model 2 İçin Yapılan 6 Adet Analizin Sınır Şartları ve Sonuçları

12 Ocak Sıcaklık, °C									
2015									
Saat	1 m Toprak	2 m Toprak	THID Giriş	THID (Deneysel)	Çıkış	THID (CFD)	Çıkış	Sapma, %	
02:00	13.4	15.49	0.72	6.47		5.55		14	
06:00	13.44	15.5	0.17	6.22		5.26		15	
10:00	12.9	14.99	5.5	8.25		8.44		2	
15:00	13.23	15.22	6.37	8.82		9.16		4	
18:00	13.29	15.29	2.44	7.46		6.62		11	
22:00	13.23	15.24	3.1	7.61		7.02		8	
Hava Hızı, V=6.4 m/s						Ortalama		9	



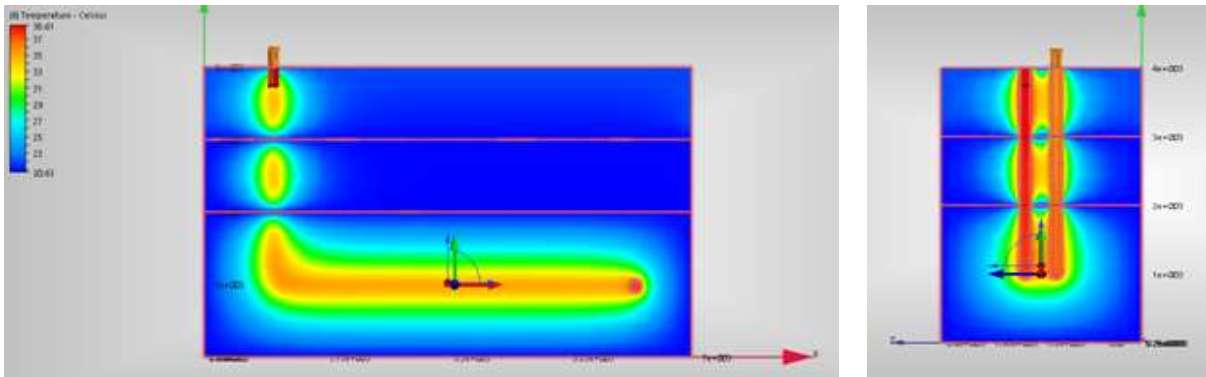
Şekil 6. 12 Ocak 2015 İçin THID Model 2 Sisteminde CFD ve Deneysel Ölçüm Çıkış Sıcaklıklarının Zamanla Değişimi

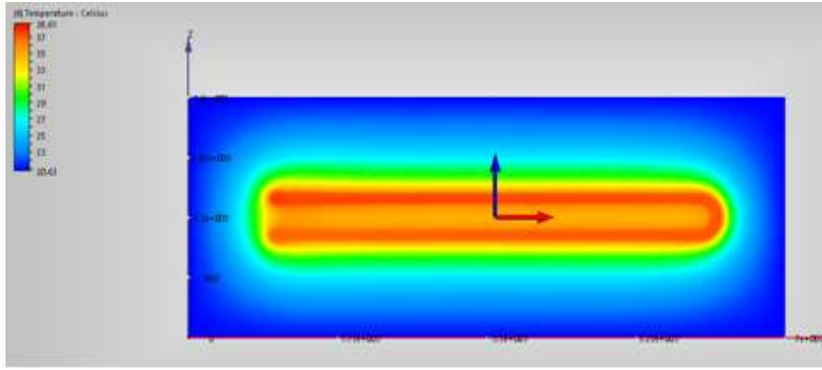
Soğutma Durumunda HAD Analiz Sonuçları

Soğutma durumu için yaz mevsiminden Temmuz ayı baz alınarak Autodesk Simulation CFD programıyla model olarak oluşturulan 2 adet THID sisteminin performans analizi yapılmış ve sonuçlar ölçüm verileri ile karşılaştırılmıştır. Soğutma durumunda analizi yapılan THID sistemlerinin Model 1 ve Model 2' nin geometrik özellikleri Tablo 1' de verilmiştir.

Şekil 7.' de soğutma durumunda THID Model 1 için Autodesk Simulation CFD programında sıcaklık dağılımı farklı kesitlerden gösterilmektedir. Şekillerden katmanlarda boru etrafındaki sıcaklık dağılımlarının farklı olduğu ve derinlik arttıkça sıcaklığın azaldığı görülmektedir.

Tablo 4.' te THID Model 1 (3 m derinlik ve 3 katman) sisteminin soğutma durumunda performans analiz sonuçları 4, 10, 20 ve 28 Temmuz 2015 tarihleri için sırasıyla verilmiştir. Tablodan katmanlarda toprak sıcaklığının farklı olduğu ve deneysel ölçümlerden sapmanın değişkenlik gösterdiği görülmektedir.



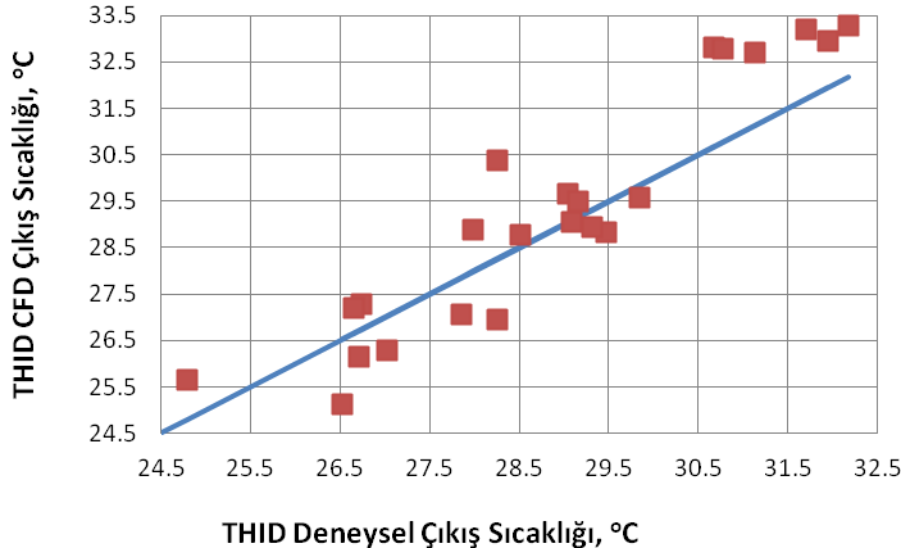


Şekil 7. Soğutma Durumunda THID Model 1 (3 m derinlik ve 3 katman) İçin Boru Etrafında Sıcaklık Dağılımı

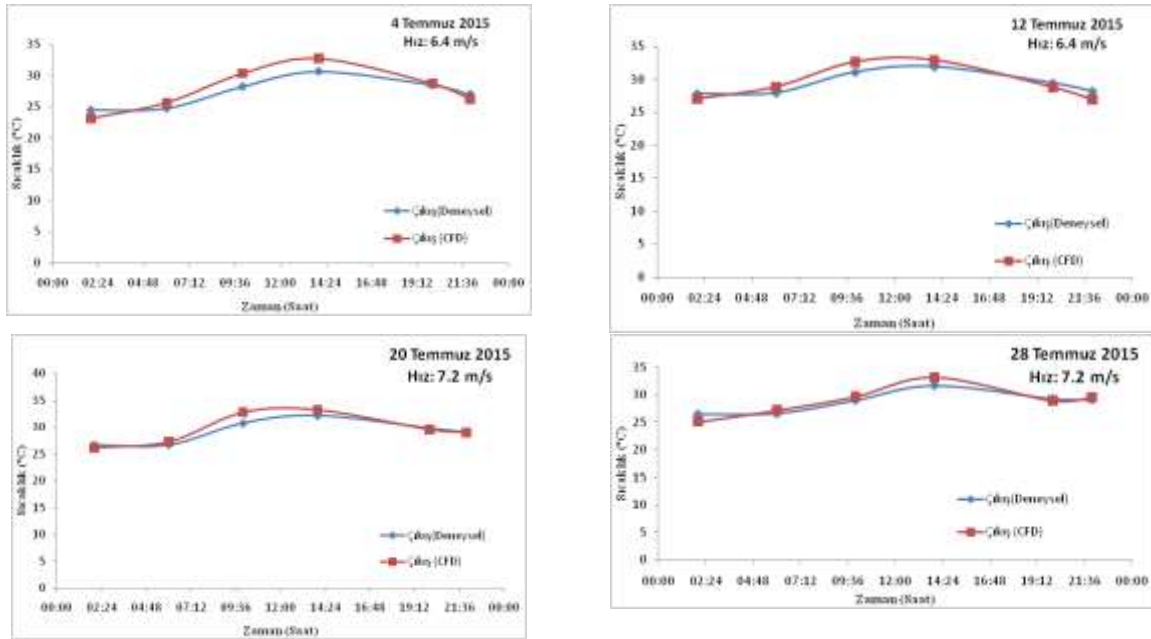
Tablo 4. Soğutma Durumunda THID Model 1 İçin Yapılan 6 Adet Analizin Sınır Şartları ve Sonuçları

Tarih	Saat	1 m Toprak	2 m Toprak	3 m Toprak	THID Giriş	THID Çıkış (Deneysel)	THID Çıkış (CFD)	Sapma, %
04.Tem	02:00	22.48	21.19	21.16	23.72	24.51	23.14	6
	06:00	22.22	20.98	20.98	27.65	24.79	25.66	4
	10:00	22.06	20.85	20.81	34.86	28.25	30.38	8
	14:00	21.91	20.68	20.63	38.61	30.67	32.81	7
	20:00	22.29	21.05	20.98	32.32	28.51	28.77	1
	22:00	22.4	21.18	21.13	28.5	27.03	26.28	3
12.Tem	02:00	23.1	22.14	22.1	29.27	27.85	27.06	3
	06:00	22.73	21.86	21.84	32.19	27.99	28.88	3
	10:00	22.7	21.83	21.8	37.96	31.13	32.69	5
	14:00	22.72	21.84	21.8	38.36	31.95	32.96	3
	20:00	23.02	22.12	22.09	31.96	29.47	28.83	2
	22:00	23.05	22.15	22.14	29.09	28.25	26.94	5
20.Tem	02:00	24.05	23.08	23.07	27.34	26.71	26.14	2
	06:00	23.88	22.94	22.93	29.11	26.74	27.27	2
	10:00	23.63	22.66	22.63	37.49	30.77	32.79	7
	14:00	23.61	22.57	22.51	38.23	32.18	33.27	3
	20:00	23.98	22.86	22.79	32.56	29.84	29.59	1
	22:00	24	22.86	22.82	31.73	29.08	29.04	1
28.Tem	02:00	24.63	23.4	23.22	25.58	26.53	25.11	5
	06:00	24.38	23.2	23.04	28.81	26.65	27.19	2
	10:00	24.24	23.05	22.88	32.58	29.04	29.67	2
	14:00	24.11	22.89	22.69	37.92	31.7	33.19	5
	20:00	24.43	23.2	22.98	31.42	29.31	28.95	1
	22:00	24.5	23.29	23.07	23.22	29.16	29.5	1
Ortalama								3.42

Soğutma durumunda CFD sonuçlarının deneysel sonuçlarla karşılaştırılması Şekil 8.' de gösterilmiştir. Şekilden CFD sonuçlarının ölçüm sonuçları ile son derece uyumlu olduğu görülmektedir. Şekil 9.' da Autodesk Simulation CFD analiz sonucu elde edilen çıkış sıcaklıkları ve deneysel ölçüm sıcaklık değerlerinin gün boyunca değişimleri verilmiştir. Şekillerden gün boyunca CFD' den elde edilen çıkış sıcaklıklarının deneysel ölçüm sonuçları ile uyum içinde olduğu ve benzer değişimi gösterdiği görülmüştür.



Şekil 8. Soğutma Durumunda CFD Sonuçlarının Deneyisel Sonuçlarla Karşılaştırılması



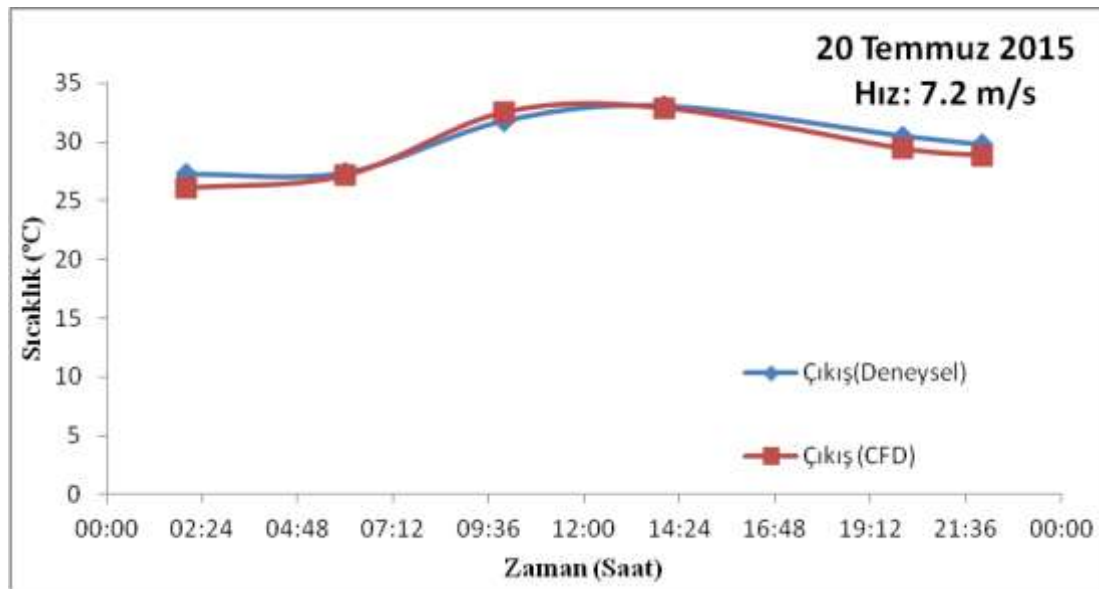
Şekil 9. Soğutma Durumunda THID Model 1 Sisteminde CFD ve Deneyisel Ölçüm Çıkış Sıcaklıklarının Zamanla Değişimi

Tablo 5.' te THID Model 2 (2 m derinlik ve 2 katman) sisteminin soğutma durumunda performans analiz sonuçları 20 Temmuz 2015 tarihi için verilmiştir. Tablodan katmanlar arasında toprak sıcaklık farkının 1 °C farklı olduğu ve deneysel ölçümlerden sapmanın çok büyük değişkenlik göstermediği görülmektedir. Ortalama sapma 2.33 olarak belirlenmiştir. 20 Temmuz 2015 için THID Model 2 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi Şekil 10.' da verilmiştir. Şekilden CFD sonuçlarının ölçüm sonuçları ile son derece uyumlu olduğu görülmektedir.

Tablo 5. 20 Temmuz 2015' te THID Model 2 İçin Yapılan 6 Adet Analizin Sınır Şartları ve Sonuçları

20	Sıcaklık, °C
Temmuz	
2015	

Saat	1 Toprak	m 2 Toprak	m THID Giriş	THID Çıkış (Deneysel)	THID Çıkış (CFD)	Sapma, %
02:00	24.05	23.08	27.34	27.23	26.04	4
06:00	23.88	22.94	29.11	27.35	27.12	1
10:00	23.63	22.66	37.49	31.76	32.51	2
14:00	23.61	22.57	38.25	33.03	32.86	1
20:00	23.98	22.86	32.56	30.48	29.41	3
22:00	24	22.86	31.73	29.75	28.82	3
Hava Hızı, V=7200 mm/s	Ortalama					2.33



Şekil 10. 20 Temmuz 2015 İçin THID Model 2 Sisteminde CFD ve Deneysel Ölçüm Çıkış Sıcaklıklarının Zamanla Değişimi

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Autodesk Simulation CFD programıyla, farklı yapılarıdaki toprak-hava ısı değiştiricisi (THID) sistemlerinin performans analizleri ısıtma ve soğutma durumu için analiz edilmiştir. Simülasyon sonuçlarının, Şanlıurfa iklim koşullarında ölçülen deneysel sonuçlar ile uyum içinde olduğu ve deneysel sonuçlardan ortalama sapmasının ısıtma durumunda % 8 ve soğutma durumunda % 3 olduğu tespit edilmiştir. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımının yaz mevsimindeki soğutma durumunda ölçüm sonuçlarına daha yakın sonuçlar verdiği ve HAD yazılımı ile toprak-hava ısı değiştiricilerinin termoakış analizleri her türlü çalışma durumunda yapılabileceği ve kabul edilebilir sonuçlar elde edilebileceği görülmüştür.

Isı transferi açısından olumsuz bir etki yapmaması için borular arasındaki mesafenin yeterli olması gerektiği tespit edilmiştir. Toprak sıcaklığının derinlikle değiştiği göz önüne alındığında analizlerin toprağın katmanlara ayrılması ile yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca boru malzemesinin çok önemli olmadığı görülmüştür.

Mesh ağının yoğunlaştırılması, sisteme etki eden parametrelerin ve sınır şartlarının değiştirilmesiyle daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca, HAD programında tüm toprak çeşitleri ile ilgili teknik değerlerin olması gerekir. Farklı iklim koşullarında yapılan simülasyon sonuçları deneysel verilerle doğrulanabilir.



KAYNAKLAR

- Ascione, F., Bellia, L. & Minichiello, F. (2011). Earth-to-air heat exchangers for Italian climates. *Renewable Energy*, 36: 2177,2188.
- Bansal, V., Misra, R., Agrawal, G.D. & Mathur, J. (2009). Performance analysis of earth–pipe–air heat exchanger for winter heating. *Energy and Buildings*, 41: 1151–1154.
- Bansal, V., Misra, R., Agrawal, G.D. & Mathur, J. (2009). Performance analysis of earth–pipe–air heat exchanger for summer cooling. *Energy and Buildings*, 42: 645-648.
- Bansal, V., Misra, R., Agrawal, G.D. & Mathur, J. (2012). Performance evaluation and economic analysis of integrated earth–air–tunnel heat exchanger–evaporative cooling system. *Energy and Buildings*, 55: 102–108.
- Bansal, V., Misra, R., Agrawal, G.D. & Mathur, J. (2013). Transient effect of soil thermal conductivity and duration of operation on performance of Earth Air Tunnel Heat Exchanger. *Applied Energy*, 103: 1-11.
- Bojic, M., Trifunovic, N., Papadakis, G. & Kyritsis, S. (1997). Numerical Simulation, technical and economic evaluation of air-to-earth heat exchanger coupled to a building. *Energy*, 22:12, 1151-1158.
- Bojic, M., Papadakis, G. & Kyritsis, S. (1999). Energy from a two-pipe, earth-to-air heat exchanger. *Energy*, 24: 519–523.
- Bulut H., Karadağ, R., Demirtaş, Y., & Hilali, İ. (2015a). Şanlıurfa Kış Şartlarında Bir Toprak-Hava Isı Değiştiricisinin Performans Analizi. *12.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı*, Cilt 2, 1789-1804, İzmir.
- Bulut, H., Demirtaş, Y., Karadağ, R., & Hilali, İ. (2015b). Experimental Analysis of an Earth Tube Ventilation System under Hot and Dry Climatic Conditions, *Proceedings of The 8th Mediterranean Congress of Heating Ventilation and Air-Conditioning-Climamed 2015*, 1-8, 9–11 September 2015, Juan Les Pins, France.
- Çengel, Y.A. ve Boles, M.A. (2008). *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik* (5. Basım), İzmir: İzmir Güven Kitabevi.
- Daloğlu, A. (2015) Performance Analysis of an Earth Tube Heat Exchanger for Summer Cooling in Ankara. *Proceedings of The 8th Mediterranean Congress of Heating Ventilation and Air-Conditioning-Climamed 2015*, 1-8, 9–11 September 2015, Juan Les Pins, France.
- Hepbaslı, A. (2013). Low exergy modelling and performance analysis of greenhouses coupled to closed earth-to-air heat exchangers (EAHEs). *Energy and Buildings*, 64: 224–230.
- HSK Ar-Ge, (2011). Hesaplamalı akışkanlar dinamiği. *Teknik Bülten*, 5:1-6.
- Özgener, O. & Özgener, L. (2011). Determining the optimal design of a closed loop earth to air heat exchanger for greenhouse heating by using exergoeconomics. *Energy and Buildings*, 43: 960–965.
- Özgener, O. & Özgener, L. (2013). Three cooling seasons monitoring of exergetic performance analysis of an EAHE assisted solar greenhouse building. *Journal Of Solar Energy Engineering-Transactions Of The Asme*, 135:2 , 021008-1-7.
- Özgener, O., Özgener, L. & Tester, J. W. (2013). A practical approach to predict soil temperature variations for geothermal (ground) heat exchangers applications. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 62: 473–480.
- Trzaski, A. & Zawada, B. (2011). The influence of environmental and geometrical factors on air-ground tube heat exchanger energy efficiency. *Building and Environment*, 46: 1436-1444.
- Turgay, B. (2013). EAHX (Toprak-Hava Isı Eşanjörü). *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Kitabı*, 307-315.
- Vaz, J., Sattler, M.A., Santos, E.D. & Isoldi, L.A. (2011). Experimental and numerical analysis of an earth–air heat exchanger. *Energy and Buildings*, 43: 2476–2482.