



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University

## Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 23.03.2020  
Kabul Tarihi : 08.04.2020

Received Date : 23.03.2020  
Accepted Date : 08.04.2020

### HAVADAN HAVAYA PLAKALI TİP ISI GERİ KAZANIM CİHAZININ ISI DEĞİŞTİRİCİSİNİN ISIL VERİMİNİN İNCELENMESİ

### INVESTIGATION OF THE THERMAL EFFICIENCY OF AIR TO AIR PLATE TYPE HEAT RECOVERY DEVICE'S HEAT EXCHANGER

Hasan SAVAT<sup>1\*</sup> (ORCID: 0000-0003-1278-5733)  
Mustafa ATMACA<sup>2</sup> (ORCID: 0000-0003-3906-9606)

<sup>1</sup> Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul Türkiye  
<sup>2</sup> Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Hasan SAVAT, hsnsvt@gmail.com

#### ÖZET

Isı geri kazanım cihazı, havalandırılma ihtiyacı olan, dış ortamla farklı sıcaklıktaki tüm mahallerde (ev, ofis, sinema, AVM, Konferans salonu vb.) enerji tasarrufu sağlamak için kullanılabilen bir sistemdir. Bu cihaz dışarı atılacak hava ile iç ortama alınacak hava arasında ısı transferi yaparak, ısıtma ve soğutma işlemlerinden ciddi oranda tasarruf ve enerji kazancı sağlayabilmektedir.

Bu cihazın en yaygın kullanılan türü plakalı Tip Isı değiştiricili olanıdır. Bu sistemde dışarı atılan kirli hava ile içeri alınan temiz hava arasındaki, ısı transferi bir ısı değiştiricisiyle sağlanmaktadır.

Bilgisayar analizlerinin (benzetimlerinin) giderek önem kazandığı günümüzde, mühendislik işlerinde hesaplanması zor veya mümkün pek çok hesap bu benzetimler vasıtasıyla çözülebilmektedir. Ancak bu analizlerin doğru sonuç verebilmesi için analizlerin sağlıklı bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bilgisayar analizleri pek çok sebep ile yanlış sonuçlar verebilmektedir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizlerinde, bu sebeplerin başında oluşturulan çözüm ağlarının (mesh ağlarının) yetersiz olması gelmektedir.

Bu çalışmada havadan havaya ısı geri kazanım cihazlarında yaygın olarak kullanılan plakalı tip ısı değiştiricisi bilgisayar ortamında oluşturulmuştur. Isı değiştiricisinde tekrar eden bölgeler belirlenmiş ve bu bölgeler için, çeşitli çözüm ağları oluşturulmuştur. Oluşturulan çözüm ağları kullanılarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği benzetimleri yapılmıştır.

Üzerinde çalışılan model deneysel olarak test edilmiş ve sonuçlar analiz sonuçları ile kıyaslanarak benzetim kalitesi artırılmaya çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji verimliliği, ısı değiştiricisi, havalandırma sistemi, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, had

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Mustafa ATMACA, matmacat@marmara.edu.tr

**ToCite:** SAVAT, H., & ATMACA, M., (2020). HAVADAN HAVAYA PLAKALI TİP ISI GERİ KAZANIM CİHAZININ ISI DEĞİŞTİRİCİSİNİN ISIL VERİMİNİN İNCELENMESİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(2), 80-93.

## ABSTRACT

The heat recovery device is a system that can be used to save energy in all location (home, office, cinema, shopping mall, conference hall, etc.) where needs ventilation and temperature difference between internal and external air. This device can save a significant amount of energy savings from heating and cooling processes by transferring heat between the air to be ejected and the air to be taken into the interior.

The most widely used type of this device is the one with the heat exchanger. This system is provided by a heat exchanger, it exchanges the heat between the dirty air being thrown out and the fresh air being imported.

Computer analysis (simulate) gains increasing importance nowadays, the calculation of engineering work difficult or impossible in many calculations can be resolved through these simulations. However, to have accurate results of these analyses must be done in a healthy way. Computer analysis may give incorrect results with many reasons. In computational fluid dynamics (CFD) analyses, the solution networks (mesh networks) created at the beginning of these reasons are insufficient.

The studied model was experimentally tested. The results which are the experimental and simulation, were compared.

**Keywords:** Energy efficiency, heat exchanger, ventilation system, computational fluid dynamics, cfd

## GİRİŞ

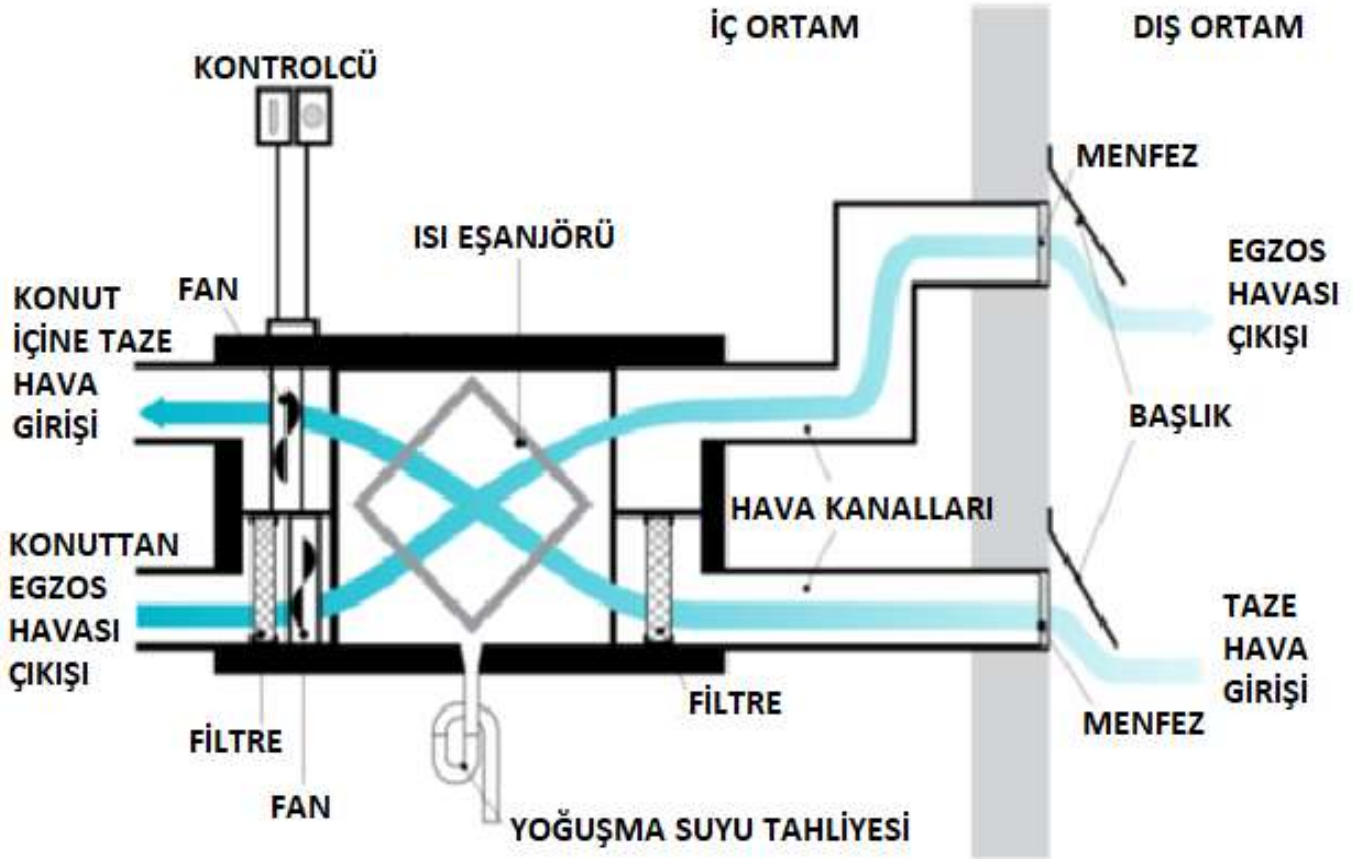
Dünyada ve Türkiye’de enerjiye talep artmaktadır ve gelecekte de artmaya devam edecektir. Birçok kurum enerji talebi hakkında çalışma yapmaktadır. Günümüze oranla 2030 yılında enerji tüketiminin dünyada %60 ve Türkiye’de ise %100’den daha yüksek oranda artması dile getirilmektedir (Satman, 2007). Enerji tüketiminin azaltılması için en iyi çözüm enerji verimliliğinin artırılmasıdır. Yapılan bir çalışmada küresel ısınmanın etkilerini önlemek amacıyla; kullanılabilir etkili yöntemlerden birinin de enerji verimliliğini artırmak olduğuna değinilmiştir (Bayraç, 2010). Pamir ise yaptığı çalışmasında enerji tasarrufunun ve enerji tüketimini azaltmanın öneminden bahsetmiştir (Pamir, 2005). Yapılan başka bir çalışmada ise enerji verimliliğinin öneminden ve bu konuda neler yapılabileceğinden bahsedilmiştir (Narin & Akdemir, 2006). Enerji verimliliği gerek ekonomik anlamda önemi gerekse küresel ısınmayı yavaşlatacak hatta önüne geçebilecek olması sebebi ile günümüzde büyük önem taşımaktadır. Enerji verimliliği, miktar ve kaliteyi düşürmeden, var olan enerji atıklarından faydalanılması ve enerji kayıplarının en aza indirilmesi ile mümkündür.

Isı geri kazanımlı havalandırma endüstrisi gün geçtikçe gelişen ve büyüyen bir alandır (Şentürk, Aktakka, & Toksoy, 2015). Isı geri kazanım cihazı dış ortam ile farklı sıcaklıktaki havalandırılma ihtiyacı olan tüm mahallerde (ev, ofis, sinema, AVM, Konferans salonu vb.) atık ısıdan faydalanarak enerji tasarrufu sağlamak için kullanılabilen bir sistemdir. Bu cihaz dışarı atılacak olan hava ile iç ortama alınacak olan hava arasında ısı transferi yaparak, ısıtma ve soğutma işlemlerinden ciddi oranda tasarruf ve enerji kazancı sağlayabilmektedir.

İklimlendirme sistemlerinde ısı geri kazanımı, enerji verimliliğini artırması dışında üç önemli avantaja sahiptir:

1. Geri kazanılan ısı sayesinde iç ortamı konfor koşullarına getirmek için gereken dış hava yükü önemli miktarda azaltılmış olur. Böylece iklimlendirme için harcanan enerji miktarı düşer, tasarruf sağlanır.
2. Gerek iklimlendirme sisteminde kullanılan bileşenlerin kapasitelerinin azaltılması gerekse nemlendirme ve nem alma bileşenlerine ihtiyacın kalmaması durumunda ilk yatırım maliyeti azaltılabilir.
3. Azalan dış hava yükü, taze havalı cihaz kullanımını daha makul hale getirir. Böylece iç hava kalitesinin sağlanmasında üstünlük sağlanır (Altın, Aktakka, Günerhan, & Karakoç, 2013).

Bu çalışma bu cihazın plakalı ısı değiştiricili olan tipi için yapılmıştır. Aşağıdaki şekil 1.’de cihazın çalışma durumundaki Montajı ve iç yapısı görülmektedir.



Şekil 1. Cihazın Çalışma Durumundaki Montajı ve İç Yapısı (Şentürk, Aktakka, & Toksoy, 2015)

Bilgisayar analizleri (benzetimleri) de gerek üretim süreçlerini kolaylaştırması gerekse prototip ihtiyacını azaltması bakımından, enerji ve zaman verimliliğini arttırabilmektedirler. Ancak bu analizlerin doğru sonuç verebilmesi için analizlerin sağlıklı bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bilgisayar analizleri pek çok sebep ile yanlış sonuç verebilmektedirler. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), analizlerinde bu sebeplerin başında oluşturulan çözüm ağlarının (mesh ağlarının) yetersiz olması gelmektedir. Erdinç ve arkadaşları da ANSYS paket programını hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) problemlerinin çözümünde kullanmıştır (Erdinç, Yılmaz, Cihan, & Ünal, 2015).

Bu çalışmada iklimlendirme proseslerinde enerji verimliliğini arttırmak ve maliyetleri düşürmek için kullanılan havadan havaya plakalı tip ısı geri kazanım cihazının; ısı değiştiricisinde farklı çözüm ağları kullanılarak bilgisayar analizleri (benzetimleri) ile çözdürülmüştür.

Aynı ısı değiştiricisinin, ısı verimliliği deneysel olarak test edilmiş ve deneysel sonuçlar ile bilgisayar analizlerinin sonuçları karşılaştırılarak, analiz (benzetim) kalitesi artırılmaya çalışılmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Deneysel Çalışma

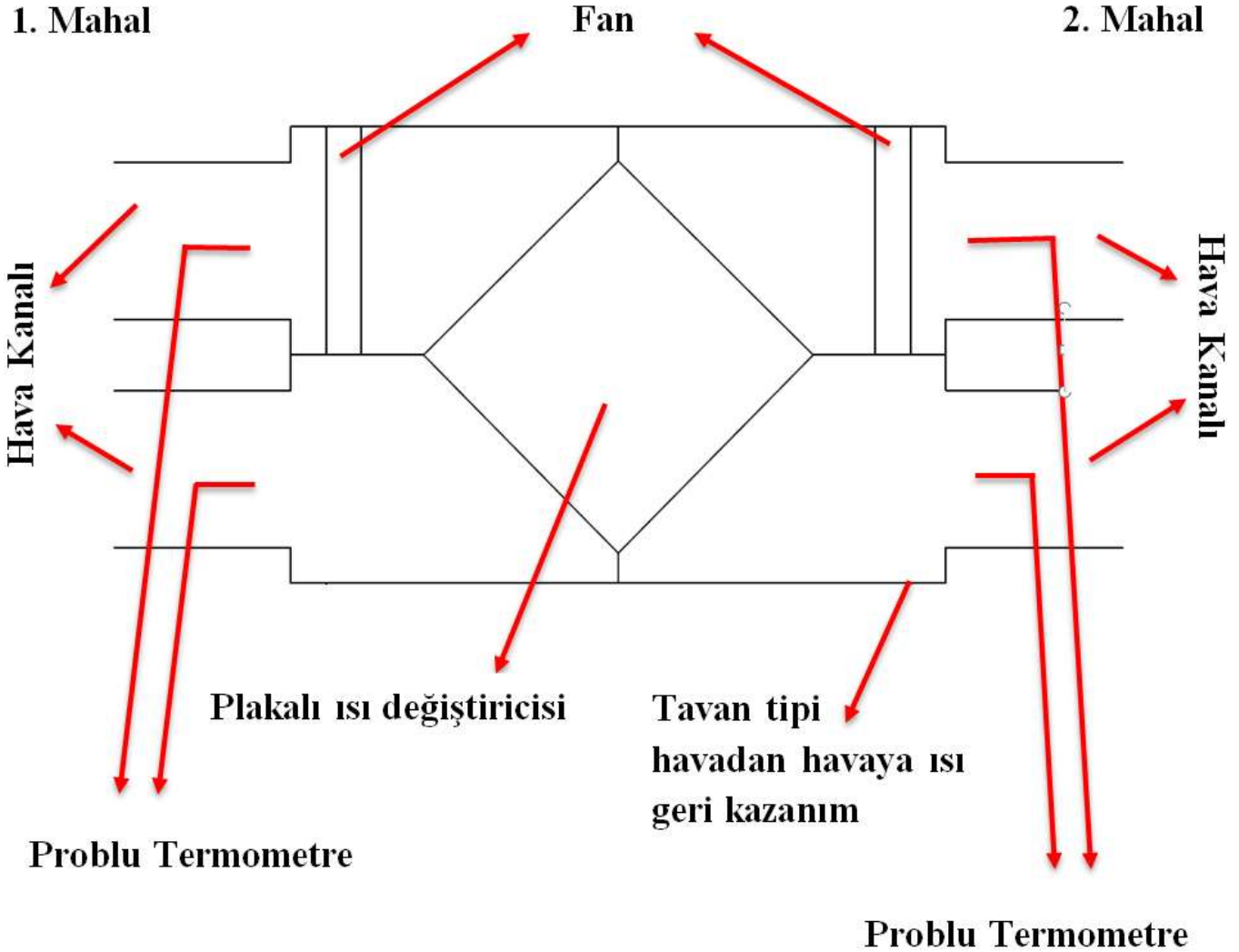
Bu deney vasıtasıyla ısı değiştiricisinin veriminin ölçülmesi amaçlanmaktadır.

Bu deneyde:

- Tavan tipi plakalı havadan havaya ısı geri kazanım cihazı
- Flexi hava kanalları
- Probu termometre

- Anemometre
- PVC Kanal bandı, kullanılmaktadır.

Bu deney aralarında sıcaklık değerleri farklı olan iki mahal arasında şekil 2.'de gösterildiği gibi yukarıdaki malzemeler vasıtası ile düzenek kurularak yapılmaktadır.



Şekil 2. Deney Düzenegi Şeması

Deney düzenegi kurulurken ve deney yapılırken aşağıdaki adımlar takip edilmiştir.

- Tavan tipi plakalı havadan havaya ısı geri kazanım cihazının flanşlarına hava kanalları bağlanır.
- Hava kanallarının sızdırmazlığı sağladığından emin olunur. Hava kaçakları ve açıklıklar kalır ise PVC kanal bandı ile kapatılır.
- 1. mahal ve 2. mahalle ilgili kanal hatlarının uçları yerleştirilir. Deney sırasında kullanılacak 1. mahal ile 2. mahal arasında sıcaklık farkı olması gerekmektedir.
- Probu termometrelerin bağlantıları yapılır, bu işlem sırasında oluşan tüm kaçaklar PVC kanal bandı kullanılarak kapatılır.
- Tavan tipi plakalı havadan havaya ısı geri kazanım cihazının elektrik bağlantıları yapılır ve cihaz çalıştırılır.
- Kaçak olup olmadığı kontrol edilir, saptanan kaçaklar, PVC kanal bandı vasıtasıyla kapatılır.
- Cihaz çalıştırdıktan sonra ilk 2 saat boyunca hiçbir ölçüm alınmaz, ısıl dengeye ulaşılması beklenir. Sonrasında ise her yarım saatte bir probu termometreler vasıtasıyla şekilde gösterilen yerlerden sıcaklıklar ölçülerek kaydedilir. Her sıcaklık ölçümü yapıldığında da anemometre vasıtasıyla hava hızı kaydedilir.
- Ölçümler 25 kere yapılıncaya sistem durdurulur ve cihazın elektrik bağlantısı sökülür.

- Yapılmış olan sıcaklık ölçümleri kullanılarak denklem 1. vasıtasıyla her bir ölçüm için verim değeri hesaplanır ve bu değerlerin ortalaması alınır.
- Yapılmış olan hava hızı ölçümleri kullanılarak debi değeri hesaplanır ve bu değerlerin ortalaması alınır.
- Bulunan değerler kaydedilerek deney sonuçlandırılır.

Şekil 3.'de kurulmuş olan deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 3. Deney Düzeneği

Bir plakalı ısı geri kazanım cihazının ısı verimi, ısı değiştiricisinin, geri kazandığı ısının, kazanılabilecek en çok ısıya oranıdır. Bu verim, aşağıdaki denklem-1 ile hesaplanır:

$$\text{Isıl Verim} = (T_{tç} - T_{tg}) / (T_{eg} - T_{tg}) \quad (1)$$

$T_{tç}$ ,  $T_{tg}$  ve  $T_{eg}$  ilgili konumlardaki termometrelerin ölçtükları, °C cinsinden sıcaklık değerleridir.

$T_{tç}$ : Taze hava çıkış sıcaklığı

$T_{tg}$ : Taze hava giriş sıcaklığı

$T_{eg}$ : Egzos havası giriş sıcaklığı

Formülün sözel olarak ifadesi; ısı geri kazanım cihazının verimi, geri kazanılan ısının kazanılabilecek en çok ısıya oranıdır (Kaya, 2013).

Yapılan ölçümler, tablo 1.' de görülmektedir. Tablo 2., Tablo 1. kullanılarak; ısı verim denklemi vasıtasıyla elde edilmiştir.



**Tablo 1.** Yapılan Ölçümlerin Sonuçları

Ölçüm No	Hava Hızı (m/s)	Ttç (°C)	Ttg (°C)	Teg (°C)
1	4,4	26,7	21	31,7
2	4,6	26,8	21,3	31,8
3	4,4	27	21,6	32,1
4	4,6	27	21,7	32,2
5	4,5	27,1	21,7	32,2
6	4,4	27,1	21,7	32,3
7	4,3	27,2	21,5	33
8	4,5	27,2	21,5	33,1
9	4,6	27,4	21,5	32,9
10	4,2	27,2	21,5	32,6
11	4,2	27,3	21,5	32,4
12	4,4	27,4	21,6	32,4
13	4,3	27,3	21,6	32,3
14	4,4	27,3	21,6	32,2
15	4,5	27,2	21,6	32,1
16	4,5	27,2	21,6	32,2
17	4,4	27,5	21,6	32,7
18	4,6	27,5	21,6	32,7
19	4,4	27,4	21,6	32,6
20	4,6	27,4	21,6	32,5
21	4,6	27,4	21,6	32,6
22	4,5	27,3	21,6	32,4
23	4,6	27,3	21,6	32
24	4,6	27,1	21,6	32,1
25	4,5	27,2	21,6	32,2

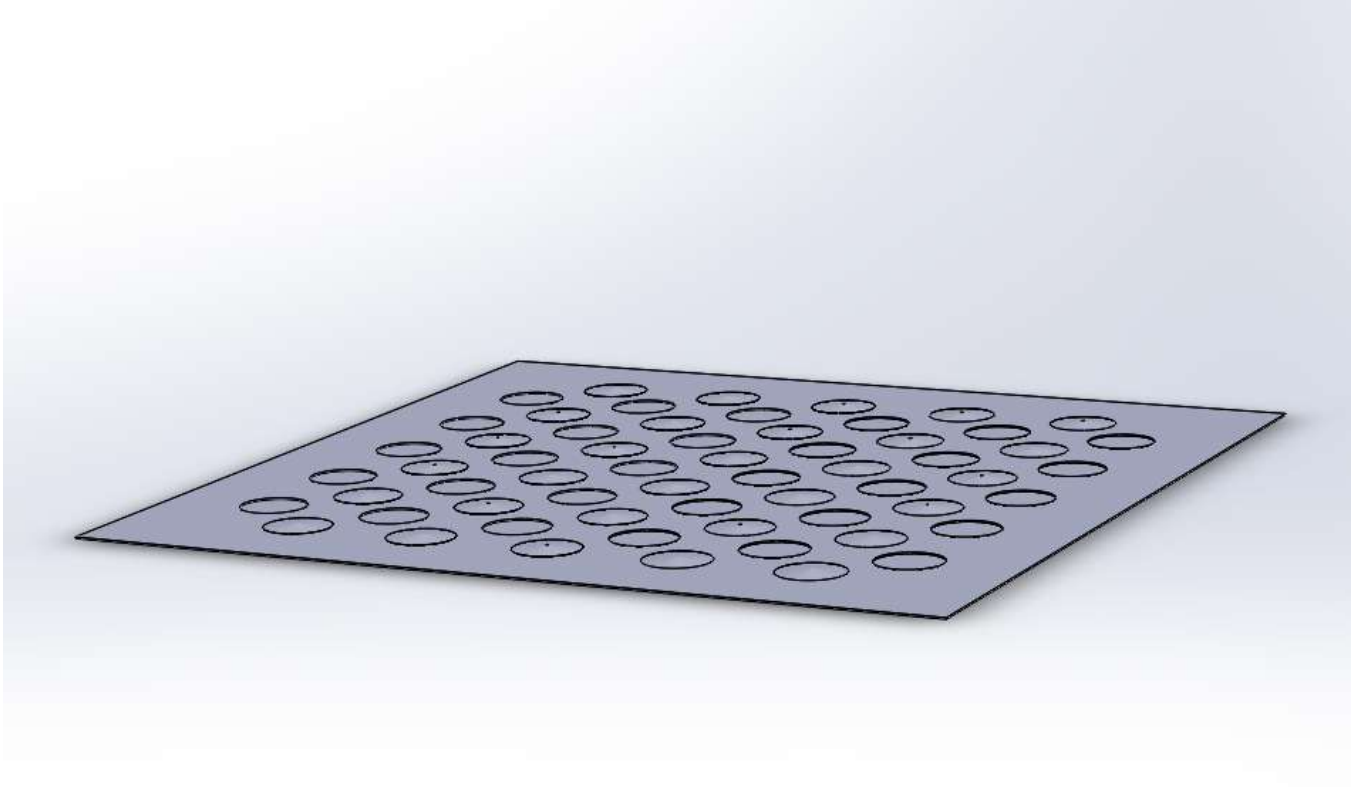
**Tablo 2.** Debi – Verim Değerleri

Ölçüm No	Debi (m <sup>3</sup> /h)	Verim (%)
1	790	53
2	826	52
3	790	51
4	826	50
5	808	51
6	790	51
7	772	50
8	808	49
9	826	52
10	754	51
11	754	53
12	790	54
13	772	53
14	790	54
15	808	53
16	808	53
17	790	53
18	826	53
19	790	53
20	826	53
21	826	53
22	808	53
23	826	55
24	826	52
25	808	53

Yukarıdaki debi ve verim değerlerinin ortalaması alınır. Böylece 800 m<sup>3</sup>/h debi değeri için %52 verim değeri deneysel olarak bulunmuş olur.

### ***Sayısal Çalışma***

Solidworks programı vasıtasıyla kullanılan ısı değiştiricisi birebir olacak şekilde bilgisayar ortamında oluşturulmuştur. Bu ısı değiştiricisi lamellerin üşte üşte dizilmesinden oluşmaktadır. şekil 4.'te ilgili lamel görölmektedir.



**şekil 4.** Oluşturulan Lamel

Oluřturulmuř olan bu lameller döndürölerek üřte üřte gelecek şekilde kopyalanarak, kapaklar ve çitalar eklenerek modelin tamamı oluřturulabilmektedir.

Isı değiştiricisi periyodik olarak kendini tekrarlayan bir geometriye sahiptir. Bu sebeple tekrarlanan geometrinin sadece bir parçasının analizinin yapılması ile tamamının yapılması aynı sonuca çıkacaktır. Bu sebep ile geometri periyodik olacak şekilde bölünmüş ve periyodik olan parçalardan biri incelenmiştir. Model için periyodik olan kısım şekil 5.'de görölmektedir.





**Şekil 5.** Periyodik Bölge

Solidworks programı ile yapılmış olan çizim step formatına çevrilerek ANSYS programına aktarılır. ANSYS programının geometri modülü vasıtasıyla yapılan çizime akış hacimleri eklenir.

Akış hacmi bilgisayarın analiz sırasında akışkan olarak hesaplayacağı hacimdir. Bu çalışmada akışkan havadır ve oluşacak olan akış ve ısı transferi hesaplanacaktır.

Eklenen akış hacimleri şekil.6'da görülmektedir. Akış hacimleri birbirleri ile kesişmemekte ve alüminyum plaka vasıtasıyla ayrılmaktadır. Bir akış bölgesinden sıcak olan hava geçerken, diğerinden soğuk olan geçecektir. Akış alanları yarı saydam, alüminyum plaka ise şekildeki gibi mavi renkte görülmektedir.

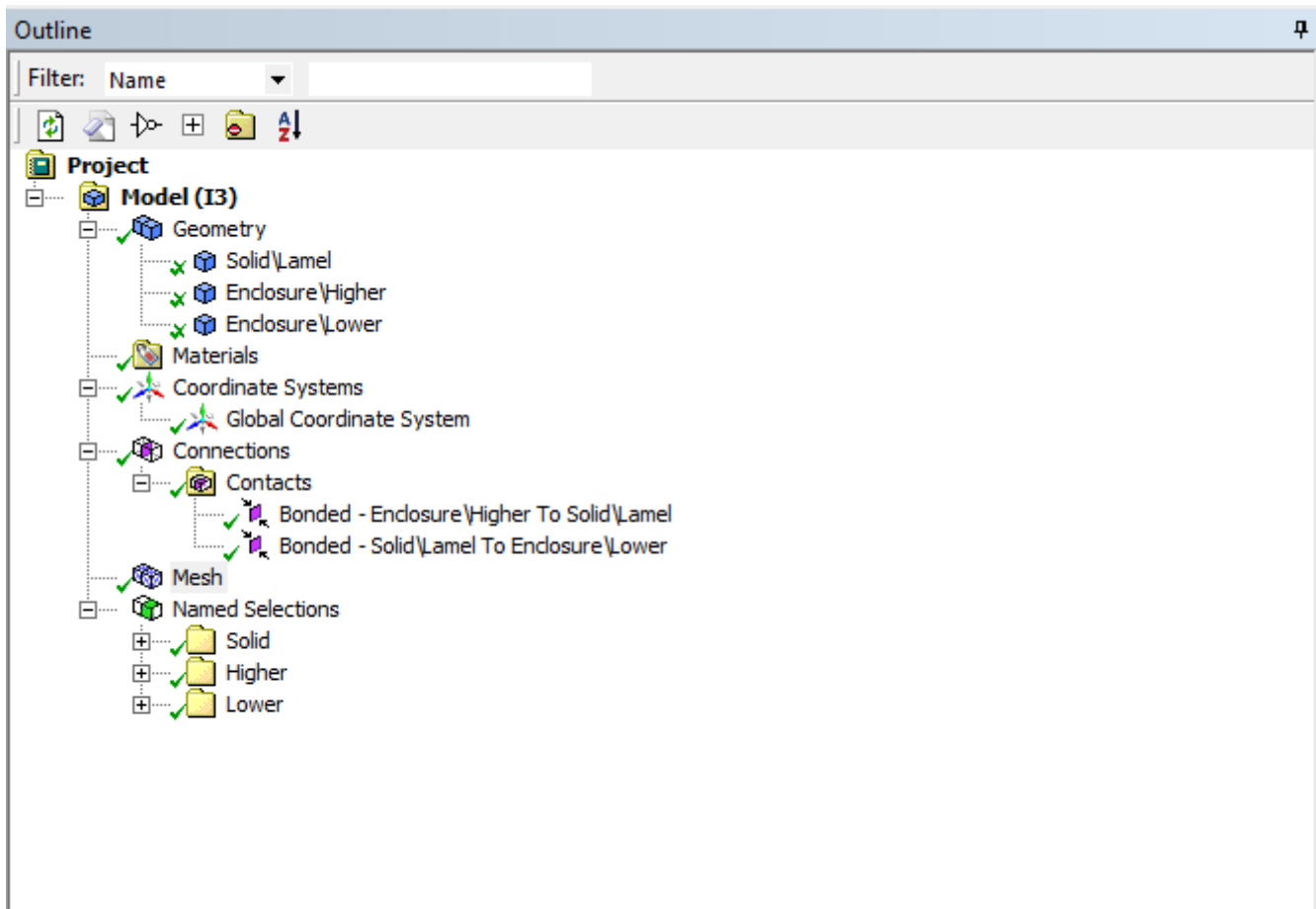


**Şekil 6.** Akış Hacmi

Geometri modülünde akış hacmi eklendikten sonra mesh aktarılır. Bu data aktarımı sırasındaki veri bağlantısı yine ANSYS paket programında yer alan Workbench aracılığıyla yapılmaktadır (Atmaca & Ezgi, 2019). Workbench, ANSYS programının içerdiği modülleri seçerek kullanmak ve birbirlerine bağlayarak aralarında data transferini sağlamak için kullanılan bir ara yüz programıdır (Atmaca, Çetin, & Yılmaz, 2019).

Çözüm ağı (mesh ağı) oluşturmak, fiziksel olarak tanımlı bir aralığı daha küçük elemanlara bölme işlemidir. Bu işlem ile yüzeysel tanım aralıkları üçgen, dörtgen vb. geometrik şekillere bölünürken, hacimsel tanım aralıkları tetrahedra, hexahedra, küp gibi geometrik şekillere bölünürler. Sonlu elemanlar ve sonlu hacimler metodu ile yapılan mekanik analizlerde, akış analizlerinde, ısı transferi analizlerinde ve manyetizma analizleri gibi analizlerde, analize başlamadan önce çözüm ağını (mesh ağını) oluşturmak gerekmektedir (Atmaca, Girgin, & Ezgi, 2016).

Mesh modülü, vasıtasıyla çözüm ağı örülür. Öncesinde mesh ağı modülü üzerinde modülün geometrileri doğru şekilde görüp görmediği (2 akışkan geometri ve 1 katı geometri), contactların (geometriler arasındaki temas yüzeylerinin) doğru olup olmadığı kontrol edilir. Yüzeylerde isimlendirme yapılır. İlgili görsel şekil 7.'de yer almaktadır.



Şekil 7. Mesh Modülü Outline Penceresi

Modül otomatik olarak çözüm ağı atabilmektedir. Ancak oluşan çözüm ağı düzgün ve ideal olmadığından analiz için yetersizdir ve manuel olarak müdahale edilerek uygun bir çözüm ağı kurulması sağlanır. Şekil 8.'de çözüm ağının kurulması için yapılan ayarlar görülmektedir. Şekilde yer alan ayarların yanı sıra tablo 3.'de yer alan değişiklikler yapılarak yeni çözüm ağları oluşturulmuştur.

Details of "Mesh"	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Display</b>	
Display Style	Use Geometry Setting
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Defaults</b>	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Order	Linear
<input checked="" type="checkbox"/> Element Size	10, mm
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizing	No
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,2)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (20, mm)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (5,e-002 mm)
Capture Curvature	Yes
<input type="checkbox"/> Curvature Min Size	Default (0,1 mm)
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18,°)
Capture Proximity	Yes
<input type="checkbox"/> Proximity Min Size	Default (0,1 mm)
<input checked="" type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	6
Proximity Size Function Sou...	Faces and Edges
Bounding Box Diagonal	300,85 mm
Average Surface Area	397,35 mm <sup>2</sup>
Minimum Edge Length	0,5 mm
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Quality</b>	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Skewness	0,8
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
<input checked="" type="checkbox"/> Min	4,9516e-002
<input checked="" type="checkbox"/> Max	1,
<input checked="" type="checkbox"/> Average	0,83672
<input checked="" type="checkbox"/> Standard Deviation	8,2991e-002
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
<input type="checkbox"/> Transition Ratio	0,272
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Assembly Meshing</b>	
Method	None
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel...	4
Straight Sided Elements	
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Default (9,e-002 mm)
Generate Pinch on Refresh	No
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Statistics</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> Nodes	6500042
<input checked="" type="checkbox"/> Elements	33184738

Şekil 8. Çözüm Ağı Ayarları

**Tablo 3.** Çözüm Ağları

	Sık Olan Çözüm Ağı	Orta Sıklıkta Olan Çözüm Ağı	Seyrek Olan Çözüm Ağı
Element Size	10	15	20
Number Cells Across Gap	6	4	2
Min	4,95E-02	6,02E-02	7,02E-02
Standart Deviation	8,30E-02	8,94E-02	9,52E-02
Nodes	65000042	2174561	461423
Elements	33184738	10410833	1883386

Çözüm ağlarının oluşturulması tamamlandıktan sonra workbench aracılığıyla tüm çalışma fluent modülüne aktarılır.

Fluent modülünde analizde ısı verilerinin de yer alması istendiği için energy seçeneği off konumundan on konumuna alınır. Matematik model olarak k-epsilon model Realizable, Near Wall treatment: Standart Wall Function seçilmiştir. Malzeme bilgisi olarak akışkan hava, katı ise alüminyum olarak tanımlanır. İnlet, outlet (preasure outlet), wall ve symetry olan bölümler tanımlanır. Hava hızı ise toplam debinin ısı değiştiricisinin giriş yüzey alanına bölünmesi ile hesaplanmıştır; 6,9m/s'dir. Turbulent intensity: %5, turbulent viscosity ratio: %10 olarak girilmiştir. Havanın giriş sıcaklıkları da girilerek, modül vasıtasıyla analiz işlemi başlatılmıştır.

Analiz Sonucunda tablo 4'te gösterilen sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Bu sıcaklık değerleri Teg sıcak havanın ısı değiştiricisine girdiği alandaki havanın ortalama sıcaklığı, Ttg soğuk havanın ısı değiştiricisine girdiği alandaki havanın ortalama sıcaklığı ve Ttç ise ısınan havanın ısı değiştiricisinden çıktığı alandaki havanın ortalama sıcaklığıdır.

**Tablo 4.** Analiz Sonuçları

	Sık Olan Çözüm Ağı	Orta Sıklıkta Olan Çözüm Ağı	Seyrek Olan Çözüm Ağı
Teg (°C)	32	32	32
Ttg (°C)	21,6	21,6	21,6
Ttç (°C)	26,9	27,4	28,4

## BULGULAR

Tablo 4'te görülen analiz sonuçları için deneysel çalışma sonuçlarının da hesaplandığı denklem-1 (ısı verim formülü) kullanılarak ısı verim değerleri elde edilmiştir.

Sık olan çözüm ağı ile yapılan analiz için %51, orta sıklıkta çözüm ağı ile yapılan analiz için %56 ve seyrek olan çözüm ağı ile yapılan analiz içinse %65 ısı verim değeri hesaplanmıştır.

Deneysel ve analiz sonucunda elde edilmiş değerler, tablo 5'de karşılaştırmalı olarak görülmektedir.

**Tablo 5.** Analiz Sonuçları

	<b>Deneysel Sonuçlar</b>	<b>Sık Olan Çözüm Ağı (Analiz) Sonuçlar</b>	<b>Orta Sıklıkta Olan Çözüm Ağı (Analiz) Sonuçlar</b>	<b>Seyrek Olan Çözüm Ağı (Analiz) Sonuçlar</b>
Hava Debisi (m <sup>3</sup> /h)	800	800	800	800
Teg (°C)	32,4	32	32	32
Ttg (°C)	21,6	21,6	21,6	21,6
Ttç (°C)	27,2	26,9	27,4	28,4
Isıl Verim (%)	52	51	56	65

Yapılmış olan deneyde ve analiz sonuçlarında aynı şartların sağlanmış olması için hava giriş sıcaklıkları ve ısı değiştiricisinden geçen hava miktarı (debisi) aynı olacak şekilde ayarlanmıştır. Tablo 5'te görüldüğü gibi sık olan çözüm ağı ile yapılmış olan analizden elde edilen ısı verim değerleri, deneysel çalışmadan elde edilen ısı verim değeri ile örtüşmektedir. Ancak deneysel çalışmadan elde edilen ısı verim değeri, orta sıklıkta çözüm ağı ile ve seyrek olan çözüm ağı ile yapılan analiz sonucunda elde edilen ısı verim değerleri ile örtüşmemektedir.

## TARTIŞMA VE SONUÇ

Günümüzde bilgisayar benzetimleri (analizleri) ile, yeni ürünlerin tasarlanması ve üretilebilmesi için; gereken süreçleri hızlandırmakta, üretim-tasarım maliyetleri düşürmekte ve tasarım kalitesini artmaktadır. Bu sebep ile etkin ve doğru şekilde kullanımları büyük önem taşımaktadır.

Çalışmamızda, Tablo 5'de de görüldüğü üzere mesh sayısının (çözüm ağı sıklığının) yetersiz olduğu durumlarda havanın çıkış sıcaklıkları farklı çıkmıştır. Böylece bu sıcaklıklar üzerinden hesaplanan ısı verim değerleri de farklı olmuştur. Bu durumun sebebi yeterli çözüm ağı oluşmadığı durumlarda bilgisayar analizlerinde hata payının oldukça artması ve benzetim kalitesi düşmesidir.

Çözüm ağının (mesh ağının) yeterli sıklıkta olduğu durumlarda sonuçlar gerek deneysel verilerle gerek üreticinin sağlamış olduğu bilgilerle örtüşmektedir.

Bu sonuçlardan yola çıkarak yapılacak olan bilgisayar benzetimlerinde (analizlerinde), doğru sonuçlar elde edebilmek için yeterli sayıya sahip çözüm ağı (mesh ağı) oluşturulması gerektiği görülmüştür.

Yapılan sayısal çalışmalardan elde edilmiş olan sonuçların deneysel çalışmanın sonuçları ile örtüşmesi sayısal çalışmayı ve sayısal çalışmada kullanılan metodu doğrulamaktadır.

Bu sebep ile gelecekte oluşturulacak olan farklı modellerin ısı verimlerinin hesaplanmasında, aynı sayısal çalışma metodunun kullanılmasına güvenilebileceği görülmüştür. Böylece yeni modellerin geliştirmesi sürecinde gerek zamandan gerekse bütçeden büyük tasarruflar sağlanabilecektir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı, FEN-C-YLP-121218-0624 No.lu proje ile destekleyen, Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Altın, M., Aktakka, S., Günerhan, H., & Karakoç, T.H. (2013). Farklı İklim Bölgelerine Ait Isıtma-Soğutma Tasarım Sıcaklıklarının Dikkate Alınarak Bir Isı Geri Kazanım Sisteminin Tasarımı. *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 1055-1070.

- Atmaca, M., Girgin, I., & Ezgi, C. (2016). CFD modeling of a diesel evaporator used in fuel cell systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(14), 6004–6012.
- Atmaca M, Çetin B., & Yılmaz E. (2019). CFD Analysis of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Moving in Flocks. *ACTA PHYSICA POLONICA A*, 135(4), 694-696.
- Atmaca, M., & Ezgi, C. (2019). Three-dimensional CFD modeling of a steam ejector. *Energy Sources Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 1-12.
- Bayraç, H. N. (2010). Enerji Kullanımının Küresel Isınmaya Etkisi Ve Önleyici Politikalar. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(2), 229-259.
- Erdoğan, M. T., Yılmaz, T., Cihan, E., & Ünal, Ş. (2015). Isı Transferi Problemlerinin Ansys Workbench İle Hızlı Analizi Ve Kaydırılmış Levhada Örnek Uygulama. *Ulubtk'15 20. Ulusal Isı Bilimi Ve Tekniği Kongresi*, 1424-1230.
- Kaya, O. (2013). Havadan havaya ısı geri kazanım cihazları için ts en 308 standardına göre test düzeneği tasarımı. *PhD Thesis. DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Narin, M., & Akdemir, S. (2006). Enerji verimliliği ve Türkiye. *Türkiye Ekonomik Kurumu UEK-TEK*.
- Pamir, N. (2005). Enerji Politikalar ve Küresel Gelişmeler. *Stratejik Analiz*, 6(68).
- Satman, A. (2007). Türkiye'nin enerji vizyonu. *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 3-18.
- Şentürk, U., Aktakka, S., & Toksoy, M. (2015). Havalandırmada Enerji Geri Kazanımı: Araştırma ve Geliştirme. *12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 301-327.