

DOI: 10.5578/fmbd.67815

Araştırma Makalesi / Research Article

Isı Değiştirici Performansının Deneysel Tasarım Metoduyla Analizi

Ceyda Kocabaş¹, Ahmet Fevzi Savaş²¹ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Üretimde Kalite Kontrol Programı, Bilecik.² Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü, Bilecik.

e-posta: Ceyda.pak@bilecik.edu.tr

Geliş Tarihi:06.02.2018

; Kabul Tarihi:18.12.2018

Özet

Bu çalışmada; havadan havaya atık ısı geri kazanımının gerçekleştirildiği bir sistemde, ısı transferini gerçekleştirmek üzere sisteme yerleştirilen plakalı bir ısı değiştiricinin ısı performansını etkileyen faktörler araştırılmıştır. Bu amaçla; ısı performans göstergesi olarak etkenlik değeri seçilmiştir. Hava akış hızı, taze ve egzoz havası giriş sıcaklıkları olmak üzere üç farklı faktör belirlenmiştir. Sonra her bir faktör için ikişer düzey seçilmiştir. Analizlerde istatistiksel deneysel tasarım yöntemlerinden biri olan L8 (2³) tam faktöriyel deneysel tasarım kullanılmıştır. Hava akış hızının diğer faktörlere göre ısı etkenlik üzerinde daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Tüm faktörler ve etkileşimleri pareto grafiği üzerinde önem derecelerine göre listelenmiştir. Daha düşük hava hızı, daha düşük taze hava giriş sıcaklığı ve daha yüksek egzoz havası giriş sıcaklığında daha yüksek etkenlik değerine ulaşılabileceği vurgulanmıştır. Bu doğrultuda mevcut koşullar içinde belirtilen sistem için en uygun çalışma parametreleri; taze hava giriş sıcaklığı için 0°C, hava hızı için 1.2 m/s ve egzoz hava giriş sıcaklığı için 40°C olarak tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler

Deneysel tasarım; Plakalı ısı değiştirici; Atık ısı geri kazanımı

Analysis of Heat Exchanger Performance by Experimental Design Method

Abstract

In the present study; factors affecting the thermal performance of a plate heat exchanger which was placed in an air-to-air heat recovery system to perform heat transfer were investigated. For this purpose; the effectiveness was chosen as the thermal performance indicator. Three different factors were determined as air flow rate, fresh and exhaust air inlet temperatures. Then, two levels were selected for each factor. L8 (2³) full factorial experimental design, which is one of the statistical experimental design methods, was used in the analyzes. It was concluded that the air flow rate is more effective on thermal effectiveness than other factors. All factors and their interactions are listed according to their significance on the Pareto chart. It is emphasized that a higher effectiveness can be achieved at a lower air flow rate, lower fresh air inlet temperature and higher exhaust air inlet temperature. Optimal working parameters for the system specified in the current conditions are ; 0 ° C for fresh air inlet temperature, 1.2 m / s for air flow rate and 40 ° C for exhaust air inlet temperature.

Keywords

Experimental design;
Plate heat exchanger;
Waste heat recovery

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Endüstrinin hızla gelişmesi, doğal kaynakların tükenmesi riskini beraberinde getirmektedir. Bu nedenle enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği oldukça önem arz etmektedir. Bir kızıl derili atasözünün dediği gibi doğa atalarımızdan bize

miras değil, torunlarımızın bize emanetidir. Sürdürülebilirlik için kullanılan enerjinin mümkün

olduğu ölçüde geri kazanılması gerekmektedir. Enerjiyi daha yoğun bir şekilde kullanan endüstriyel tesisler daha yüksek ısı geri kazanım potansiyeli sergilemektedirler. Bu sahalarda yapılacak enerji

tasarrufu sayesinde hem çevreye duyarlı bir üretim gerçekleştirmek hem de ülke ekonomisine katkı sağlamak mümkün olabilecektir.

Isının geri kazanılmasında tercih edilen materyallerden biri de ısı eşanjörleri veya diğer adıyla ısı değiştiricilerdir. Plakalı ısı değiştiricilerde, plakaların bir tarafından sıcak hava geçerken diğer tarafından soğuk hava gönderilmektedir. Bu sayede sıcak havadaki ısının bir kısmı soğuk havaya transfer olur. Daha yüksek ısı geçişi temin edilebilmesi için plakalar genellikle ısı iletim katsayısı yüksek malzemelerden imal edilirler. Hafif ve ucuz olması gibi etkenler nedeniyle de alüminyum en sık kullanılan plaka malzemelerinden biri olarak gösterilebilir.

Literatüre bakıldığında alüminyum ısı değiştirici performansının araştırıldığı birçok çalışmaya rastlamak mümkündür. Havalandırmada kullanabilmek amacıyla tasarlanmış çapraz akımlı plakalı ve petekli iki farklı ısı eşanjörünün farklı hava debi ve sıcaklıklarında gösterdikleri verimleri birbiriyle kıyaslayan Eker (1998), daha düşük hava debisinde verimin arttığını gözlemiştir. Qi ve diğerleri (2007), oluklu kanatlı ısı değiştiricinin ısı transferini ve basınç düşüşünü etkileyen beş deneysel faktörü Taguchi yöntemi kullanarak analiz etmişlerdir. Şahin ve Demir (2008), kare kesitli delikli kanatlı ısı değiştirici için çeşitli tasarım parametrelerinin ısı transferi ve sürtünme faktörü üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Kılıç (2008), plakalı bir ısı eşanjöründe belirli debi ve sıcaklıklar için ısı transfer miktarlarını hesaplayarak optimum çalışma koşullarını ortaya koymuştur. Kompakt ısı değiştiricisinin performansını teorik olarak araştıran Altınışık ve arkadaşları (2012), giriş sıcaklığı, relatif nem ve hızın ısı geçirgenlik üzerindeki etkilerini analiz etmek amacıyla matematiksel model oluşturmuşlardır. Jungi ve arkadaşları (2013), farklı dalgalı kanat geometrilerine sahip alüminyum ısı değiştiriciler üzerinde deneyler gerçekleştirerek termal hidrolik performansı etkileyen en önemli faktörün dalga genişliğinin dalga uzunluğuna oranı olduğunu tespit etmişlerdir. Kotçioğlu ve arkadaşları (2013), bir plakalı kanatlı ısı değiştiricide tasarım

parametrelerinin optimum değerlerini Taguchi yöntemi kullanarak tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada ise; havadan havaya atık ısı geri kazanımı sağlamak amacıyla kullanılan plakalı bir ısı değiştiricide ısı etkenliği etkileyen faktörler, deney tasarımı metoduyla araştırılmıştır. Bu amaçla, atık ısı geri kazanımını gerçekleştirmek üzere laboratuvar ortamında bir cihaz tasarlanmıştır. Isı değiştiricinin ısı performansını etkileyen faktörlere farklı değerler verilerek sistemden çıkan havanın sıcaklıkları ölçülmüştür. Ölçülen çıktı değerleri kullanılarak ısı etkenlik değerleri hesaplanmıştır. İstatistiksel deney tasarım metodu kullanılarak L8 tam faktöriyel deney tasarlanmıştır. Tasarlanan deney planı uygulanarak faktörlerin ısı etkenlik üzerindeki etki dereceleri tespit edilmiş ve en uygun çalışma parametreleri ortaya konmuştur.

2. Materyal ve Metot

Deneysel çalışma, egzoz havasının dış ortama atılmadan önce bünyesinde barındırdığı ısının bir kısmının taze havaya aktarılması işlemi simüle etmektedir. Egzoz havasını simüle etmek için; 500W gücünde 4 adet lamel rezistanslı ısıtıcı kullanılarak ortam havası ısıtılmış ve yüksek sıcaklıkta hava elde edilmiştir. Taze havayı simüle etmek için ise, 886 W kapasiteli kompresörlü soğutma grubu kullanılarak soğuk dış ortam havası elde edilmiştir. Egzoz ve taze hava, sıcaklık termostatları kullanılarak farklı sıcaklık değerlerine ayarlanmıştır. 2500/2700 rpm devirli iki adet fan kullanılmıştır. Bu fanlardan biri egzoz havasının dışarı atılmasını, diğeri ise taze havanın iç ortama verilmesini sağlamaktadır. Deney süresinde farklı hızlarda hava akımı kullanılarak sistemin etkenliği araştırılmıştır. Bu amaçla havanın akış hızını ölçmek için anemometre kullanılmıştır. Fan hızlarının istenen bir değerde sabitlenmesini sağlamak ve farklı hızlar elde etmek için ise bir fazlı hız kontrol cihazından faydalanılmıştır. Kullanılan hız kontrol cihazı; havalandırma sistemlerinde kullanılan fan motorlarının dönüş hızını, uygulanan gerilimi değiştirerek kontrol edebilecek hız kontrol paneline sahiptir.

Çizelge 1. Cihazların ölçüm aralıkları ve doğrulukları.

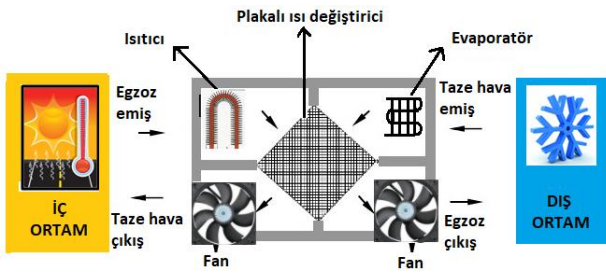
Cihaz	Marka	Ölçüm aralığı	Doğruluk
Anemometre	Prova AVM-07	0-45 m/s	± 3%
Termostat	Emko ESM-3710	(-40) - (+85) °C	± 1%
Termostat	Evko EVKB 21	(-50) - (+130) °C	± 1%

Taze ve egzoz havası arasındaki ısı geçişini sağlamak üzere çapraz akışlı plakalı ısı değiştirici sisteme yerleştirilmiştir. 20*20*30 cm boyutlarındaki değiştirici oluklu yüzeye sahip olup alüminyum plakalardan oluşmaktadır.



Şekil 1. Deneysel çalışmada kullanılan alüminyum plakalı ısı değiştirici.

Sistem şu şekilde çalışmaktadır: Plakaların bir yüzünden sıcak hava diğer yüzünden ise soğuk hava çapraz olarak fanlar yardımıyla üflenmektedir. Egzoz havası plaka boyunca hareket ederken plakanın diğer tarafındaki taze havaya doğru ısı transferi gerçekleşmektedir. Böylece ısının bir kısmı geri kazanılarak iç ortama daha ılık taze hava verilmesi sağlanabilmektedir (Kocabaş 2014).



Şekil 2. Deneysel düzeneğin şeması (Kocabaş ve Savaş 2015).

Isı değiştiricinin ısıl performansının tespit edilmesinde kullanılan metodlardan bir tanesi de etkenlik analizidir. Etkenlik (ϵ) herhangi bir ısı değiştirgecinde gerçekleşen ısı geçişinin (Q), mümkün olan maksimum ısı geçişine (Q_{max}) oranı olarak $\epsilon = Q / Q_{max}$ şeklinde yazılır. Bu bağıntıdan yararlanılarak deneysel çalışmada elde edilen veriler

yardımıyla etkenlik değerleri belirlenmiştir (Kocabaş ve Savaş 2015).

Deneysel tasarımı, çıktı üzerinde etkili olan faktörlere farklı değerler vererek çıktı üzerinde nasıl bir değişikliğe neden olduklarını gösteren bilimsel bir yöntemdir. Bu yöntemde faktör sayısına ve faktörlerin sahip olduğu düzey sayısına göre seçilen hazır tablolar kullanılmaktadır. Bu tablolar sayesinde deneyler belirli bir sıra ve mantıkla gerçekleştirilmekte ve sonucu istatistiksel açıdan yorumlamamıza imkân vermektedir. Bu çalışmada ısıl etkenlik değerinin en yüksek olması hedef olarak seçilmiştir. Etkenlik üzerinde oldukça etkili olduğunu düşündüğümüz hava akış hızı, taze hava ve egzoz havası giriş sıcaklıkları olmak üzere üç faktör tespit edilmiştir. Bu faktörler için ikişer düzey kullanılması öngörülmüştür. A, B ve C harfleri ile gösterilen faktörler ve bu faktörlere ait düzeyler Çizelge 2' de verilmiştir.

Çizelge 2. Faktörler ve düzeyler (Kocabaş 2014).

SİMGE	FAKTÖRLER	DÜZEY 1	DÜZEY 2
A	Taze hava giriş sıcaklığı	0 °C	10 °C
B	Hava hızı	1.2 m/s	2 m/s
C	Egzoz havası giriş sıcaklığı	28 °C	40 °C

Düzeylemlerin değerleri belirlenirken mevcut deney düzeneği ve ekipmanlarla ulaşılabilen en alt ve en üst sınırlar dikkate alınmıştır. Taze hava giriş sıcaklığı için 0 °C 'nin altına inildiğinde sistemde su yürümesi problemi oluşmuştur. Hava akış hızı aralığı fanların çalışma kapasitesine göre belirlenmiştir. Deneyler çoğunlukla yazın yapıldığı için egzoz havası 28 °C nin altına düşmemiştir. Lamel ısıtıcılar ise en fazla 40 °C 'ye kadar sıcaklık sağlayabilmişlerdir.

Deneysel tasarımı, tam faktöriyel ve kesirli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Tüm faktörlerin ve düzeylerinin kullanıldığı tasarım türü tam faktöriyel deneysel tasarımıdır. Kesirli faktöriyel deneysel tasarımı ise, maliyetten ve zamandan tasarruf sağlamak için deney sayısının orantılı olarak azaltılmasıyla elde edilir. Örneğin 7 parametrelili ve 2 şer seviyeli bir deneysel tasarım olarak yapıldığında $2^7 = 128$ deneysel yapılması gerekir bunun $\frac{1}{2}$ kesiri yani 64

deney ya da $\frac{1}{4}$ kesiri 32 deney yapılabilir. Yapılması gereken deney sayısı fazla olduğunda deneyler kesirli hale getirilerek deney sayısı azaltılabilmektedir (Kocabaş 2014).

Deneysel çalışmada 3 adet faktör ve her bir faktörün için de 2'şer düzey belirlenmiştir. Tüm faktör ve düzeylerinin kombinasyonlarının test edilmesi için $2 \times 2 \times 2 = 8$ adet deney gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Deney sayısı az olduğu için tam faktöriyel deney tasarımı yapılmasına karar verilmiş ve Çizelge 3' te verilen hazır L8(2^3) deney planı kullanılmıştır. Çizelgede belirtilen "-" işareti faktörlerin ilk düzeyini ve "+" işareti ise ikinci düzeyi simgelemektedir.

Çizelge 3. Hazır L8(2^3) deney planı (Şirvancı 1997).

Deney No	A faktörü	B faktörü	C faktörü	DENEY SONUÇLARI
1	-	-	-	
2	-	-	+	
3	-	+	-	
4	-	+	+	
5	+	-	-	
6	+	-	+	
7	+	+	-	
8	+	+	+	

3. Bulgular

L8 deney planına uygun olarak tüm deneyler yapılmış ve elde edilen etkenlik değerleri Çizelge 4' te verilmiştir (Kocabaş 2014).

Çizelge 4. Etkenlik sonuçları.

A faktörü (°C)	B faktörü (m/s)	C faktörü (°C)	ETKENLİK (%)
0	1.2	28	35.7
0	1.2	40	36.7
0	2	28	33.5
0	2	40	34.4

Çizelge 5. Etkenlik değerlerinin excelde L8 deney planı ile gösterimi (Kocabaş 2014).

ETKENLİK (%)	A		B		C		AB		AC		BC		ABC	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0.357	0.357		0.357		0.357				0.357	0.357		0.357		0.357
0.367	0.367		0.367			0.367		0.367	0.367		0.367			0.367
0.335	0.335			0.335	0.335		0.335			0.335	0.335			0.335
0.344	0.344			0.344	0.344		0.344		0.344			0.344		0.344
0.352		0.352	0.352		0.352		0.352		0.352			0.352		0.352
0.362		0.362	0.362			0.362	0.362			0.362	0.362			0.362
0.330		0.330		0.330	0.330			0.330	0.330			0.330		0.330
0.339		0.339		0.339		0.339		0.339		0.339		0.339		0.339
ORTALAMA	0.35	0.35	0.36	0.34	0.34	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
ETKİ	-0.004925		-0.022693		0.009384		0.000171		0.000001		-0.000248		0.000017	

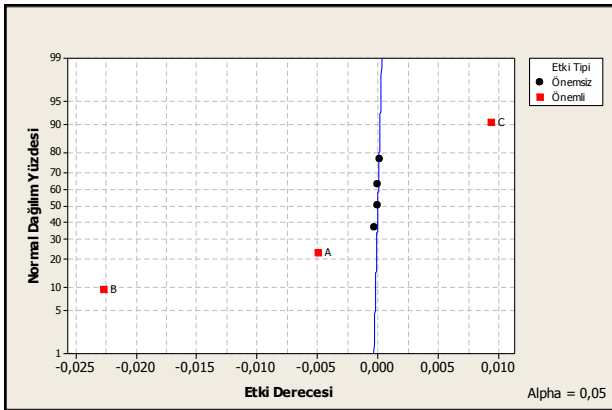
10	1.2	28	35.2
10	1.2	40	36.2
10	2	28	33
10	2	40	33.9

L8 tam faktöriyel deney tasarımında deney sonuçlarını her bir faktörün iki farklı düzeyine göre, dörder dörder gruplamak gerekir. İlk düzeye ait dört değerlerin ortalaması alınıp, ikinci düzeye ait dört değerlerin ortalamasıyla karşılaştırma yapılarak her bir faktörün deney sonucunu ne ölçüde etkilediği hesaplanır. Örneğin, A faktörünün etkisi şu şekilde bulunabilir:

İlk grup ortalama = $(35,7+36,7+33,5+34,4)/4 = 35,08$
 İkinci grup ortalama = $(35,2+36,2+33,9)/4 = 34,58$
 Faktörün etkisi = İkinci grup ortalama - ilk grup ortalama = $(34,58 - 35,08) = -0,5$ (değerler çizelge 4' ten alınmıştır.) Sonucun "-" çıkması A faktörünün değerini 1. düzeyden 2. düzeye değiştirmenin deney sonucunu azaltacağını ifade etmektedir. Diğer faktörlerin etkileri de bu şekilde hesaplanabilir.

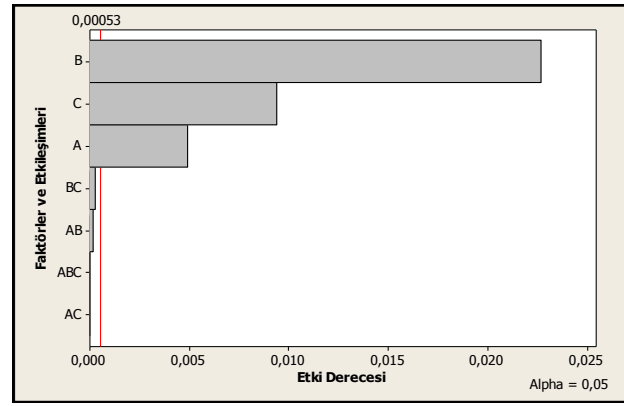
Faktörlerin deney sonucunda nasıl bir etkiye sahip olduklarını tespit etmek amacıyla Çizelge 5'te verilen excel tablosu hazırlanmıştır. Çizelgenin kullanımı şu şekildedir: Deney sonucu olan etkenlik değerleri ilk sütuna yazılır ve her bir değer bulunduğu satırdaki boş hücrelere kopyalanır. Sırasıyla her sütunun ortalaması alınır. Her bir faktör için 1. ve 2. Sütun ortalamaları bulunarak birbirinden çıkartılır. Böylece tüm faktörlerin etkileri ayrı ayrı bulunmuş olur. Faktörler arası etkileşimi ifade eden AB, BC, AC ve ABC harfli sütunlar da bu şekilde doldurulur. Buradan çıkarılan sonuca göre deney üzerindeki en etkili faktör mutlak değerce en büyük etkiye sahip olan B faktörü olup başındaki "-" işareti B faktörünü 1. düzeyden 2. düzeye getirmenin etkenliği düşüreceğini ifade etmektedir.

Çizelge 5' teki faktörlerin etki ve etkileşim değerlerine ilişkin bilgiye Minitab programı kullanarak daha pratik bir şekilde ulaşabiliriz. Güven düzeyinin 0.05 alındığı istatistiksel hesaplara göre çizilen normal olasılık grafiği Şekil 3'te gösterilmiştir. Normal olasılık grafiğine baktığımızda doğrunun sağ üst ve sol alt bölgesinde bulunan noktalar önemli olup doğruya yakın olanlar ise istatistiksel olarak önemsizdir. Bu duruma göre en önemli faktör B faktörü olup onu sırasıyla C ve A faktörleri izlemektedir. Diğer noktalar etkileşimleri göstermekte olup önemsiz olarak değerlendirilmiştir. Doğrunun sol tarafında kalması faktörün (-) etki derecesine, sağ tarafında kalması ise (+) etki derecesine sahip olduğunu belirtmektedir.



Şekil 3. Normal olasılık doğrusu (Kocabaş 2014).

Faktörlerin etkilerinin ayrı ayrı gösterildiği pareto diyagramı Şekil 4'te verilmiştir. Burada sırasıyla B, C ve A faktörlerinin yüksek öneme sahip olduğu açıkça görülmektedir. BC ve AB etkileşimlerinin, ana faktörlerinin etkilerine nazaran çok daha az etkiye sahip oldukları da görülebilmektedir.



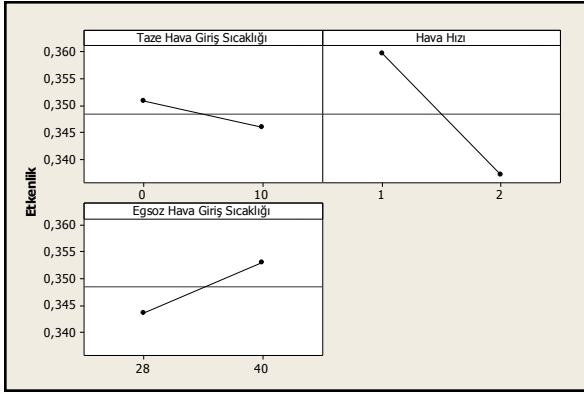
Şekil 4. Pareto grafiği (Kocabaş 2014) .

Şekil 5'te ise alüminyum ısı değiştirici üzerinde yapılan deneylerde araştırdığımız üç faktörün her birinin değerlerini ilk düzeyinden ikinci düzeye getirmenin etkenlik üzerinde yaptığı değişiklikler sergilenmiştir. Bu şekle bakarak yapabileceğimiz yorumlar şunlardır:

- 1) Taze giriş havası sıcaklığını ilk düzeyi 0 °C 'den ikinci düzeyi olan 10°C' ye çıkardığımızda, etkenlik değeri bir miktar azalmaktadır. Bu durum; giriş çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın azalmasından kaynaklanmaktadır. Eker'in hazırladığı doktora çalışması bu durumu desteklemektedir. Eker'e göre, sıcak hava ile soğuk hava arasındaki sıcaklık farkının artmasıyla, transfer edilen toplam ısı enerjisi ve değiştirici etkenliği yükselmektedir (Eker 1998).
- 2) Hava hızı ilk düzeyi olan 1,2 m/s 'den ikinci düzeyi olan 2 m/s 'ye çıkardığımızda, etkenlik değeri keskin biçimde azalmaktadır. Bunun nedeni hava hızı arttığında ısı transferi için yeterli sürenin bulunmamasıdır. Eker'e göre, hız yükseldiğinde havanın değiştirici gövdesinde kalma süresinin daha az olması nedeniyle, ısının transfer edilebilmesi için yeterli zaman olmamaktadır. Dolayısıyla verim ile hava hızı arasında ters bir ilişki bulunmaktadır (Eker 1998). Nasif ve diğ. (2010), ısı geri kazanımı için kullandıkları entalpi veya membran ısı değiştiricisinin termal performansını deneysel olarak incelemişlerdir. 0.3 ile 2.89 m / s arasındaki hava hızında çalışmışlar ve hava hızı arttıkça etkinliğin azaldığını tespit etmişlerdir. Bu hava hızı aralığı için yerleşik zaman ne kadar büyükse, ısı

transferi ve etkinliğin o kadar yüksek olacağını ifade etmişlerdir. Yaici ve diğ. (2013), yaz ve kış Kanada koşullarında CFD kullanarak ısı ve membran bazlı enerji geri kazanımlı vantilatörlerin ayrıntılı bir nümerik analizini sunarak termal performansı araştırmışlardır. Artan hava hızı ile ısı geri kazanımının etkinliğinin azaldığını belirtmişlerdir.

- 3) Egzoz giriş havası sıcaklığını ilk düzeyi 28 °C 'den ikinci düzeyi olan 40°C' ye çıkardığımızda, etkenlik değeri bir miktar artmaktadır. Bu durum; giriş çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın artmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5. Faktörlerin etkileri (Kocabaş 2014).

4. Tartışma ve Sonuç

Atık ısı geri kazanımında kullanılan bir ısı değiştiricinin ısıl etkinliği üzerinde etkili olan faktörlerin etki dereceleri L8 (2³) tam faktöriyel deney tasarım metodu kullanılarak araştırılmıştır. Minitab istatistiksel yazılım programının tercih edildiği analizlerde hava hızı en etkili faktör olarak öne çıkmıştır, daha sonra bunu sırasıyla egzoz havası giriş sıcaklığı ve taze hava giriş sıcaklığı takip etmektedir. Elde edilen sonuçlar literatürle benzerlik göstermektedir: Mardiana ve Riffat (2013), hava akış hızının ısı geri kazanım verimliliği veya geri kazanılan ısı miktarında önemli rolü olduğunu vurgulamış ve giriş hava sıcaklığının ise az bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Yaichi ve diğ. (2013), giriş hava sıcaklığının ısı geri kazanımı üzerinde sadece az miktarda etkisi olduğu ifade etmiştir.

Deneylerden elde edilen sonuçlar bize düşük hava hızı, düşük taze hava sıcaklığı ve yüksek egzoz hava sıcaklığında daha yüksek etkenlik elde edeceğimizi göstermektedir. Önceki çalışmalar da yorumlarımızı destekler nitelikte olup hava akış hızı arttığında ısı değiştirici etkinliğinin azaldığı ifade edilmektedir (Kocabaş ve Savaş 2015, Nasif ve diğ. 2010). Mardiana ve Riffat (2013), Niu ve Zhang (2001) hava akış hızının azalmasıyla birlikte tüm ısı geri kazanım sistemlerinde verimin artacağını ve taze hava giriş sıcaklığının artmasıyla birlikte etkinliğin düşeceğini belirtmişlerdir.

Mevcut koşullar içinde belirtilen sistem için en uygun çalışma parametreleri; taze hava giriş sıcaklığı için 0°C, hava hızı için 1.2 m/s ve egzoz hava giriş sıcaklığı için 40°C olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, deney tasarım metodunun; ısı değiştirici performansının analizinde ve optimum hale getirilmesinde rahatlıkla kullanılabileceği ortaya konmuştur.

5. Kaynaklar

- Altınışık, K., Abdulkarim, A.H., Özen, D.N. and Resitoğlu, I.A., 2012. Numerical modeling of thermal performance of a compact heat exchanger for latent heat recovery from exhaust flue gases. *Journal of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology*, 16, 11, 139-142.
- Eker, B., 1998. Havalandırmada kullanılabilecek çapraz akımlı plakalı ve petekli tip ısı eşanjörlerinin tasarımı ve yapımı. Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 80.
- Jungi, D., Yi, Z., Gengtian, L. and Weiwu, & X., 2013. Experimental study of wavy fin aluminum plate fin heat exchanger. *Experimental Heat Transfer Forestry*, 26, 4, 384-396.
- Kılıç, B., 2008. Plakalı ısı eşanjörlerinin ısıtma ve soğutma uygulamaları için optimum çalışma şartlarının araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 62.
- Kocabaş C., 2014. Farklı malzemelerden imal edilmiş plakalı ısı değiştiricilerin atık ısı geri kazanım performanslarının deneysel analizi. Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik, 102.
- Kocabaş C. and Savaş A.F., 2015. Comparison of waste heat recovery performances of plate-fin heat

- exchangers produced from different materials. *Contemporary Engineering Sciences*, 8, **11**, 453-466.
- Kotcioglu I., Cansiz A. and Khalaji M. N., 2013. Experimental investigation for optimization of design parameters in a rectangular duct with plate-fins heat exchanger by Taguchi Method. *Applied Thermal Engineering*, **50**, 604-613.
- Mardiana, A. and Riffat S.B., 2013. Review on physical and performance parameters of heat recovery systems for building applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **28**, 174-190.
- Nasif M., AL-Waked R, Morrison G. and Behnia M., 2010. Membrane heat exchanger in HVAC energy recovery systems, systems energy analysis. *Energy and Buildings*, **142**, 1833-1840.
- Niu JL and Zhang LZ, 2001. Membrane-based Enthalpy Exchanger: material considerations and clarification of moisture resistance. *Journal of Membrane Science*, **189**, 179-191.
- Qi Z., Chen J. and Chen Z., 2007. Parametric study on the performance of a heat exchanger with corrugated louvered fins. *Applied Thermal Engineering*, **27**, 539–544.
- şahin B., and Demir A., 2008. Performance analysis of a heat exchanger having perforated square fins. *Applied Thermal Engineering*, **28**, 621-632.
- şirvancı, M., 1997. Kalite İçin Deney Tasarımı Tagui Yaklaşımı. Literatür Yayınları, İstanbul, 26-27.
- Yaıcı W., Ghorab M. and Entchev E., 2013. Numerical analysis of heat and energy recovery ventilators performance based on CFD for detailed design. *Applied Thermal Engineering*, **51**, 770-780.