

## Atık Isı Kazanımının Deneysel Tasarım Metoduyla Optimizasyonu

Ahmet Fevzi Savaş<sup>1\*</sup>, Ceyda Kocabaş<sup>2+</sup>

<sup>1</sup> Industrial Products Design Department /Faculty of Fine Arts and Designing, Bilecik Şeyh Edebali University, Bilecik, Turkey

<sup>2</sup> Quality Control In Manufacturing /Vocational School, Bilecik Şeyh Edebali University, Bilecik, Turkey

\*Corresponding author: [ahmetfevzi.savas@bilecik.edu.tr](mailto:ahmetfevzi.savas@bilecik.edu.tr)

+Speaker: [ceyda.pak@bilecik.edu.tr](mailto:ceyda.pak@bilecik.edu.tr)

Presentation/Paper Type: Oral / Full Paper

**Özet** – Bu çalışma; havadan havaya bir atık ısı geri kazanım uygulamasında ısı performansını etkileyen faktörlerin optimum değerlerinin araştırılması üzerinedir. Sistemde ısı transferini gerçekleştirmek üzere polimer malzemeden imal edilmiş çapraz akışlı plakalı ısı değiştirici kullanılmıştır. Taze hava giriş sıcaklığı, hava akış hızı ve egzoz havası giriş sıcaklığı çalışma parametreleri olarak belirlenmiştir. Her parametre için ikişer düzey seçilerek L8 tam faktöriyel deney tasarımı uygulanmıştır. Analizler için Minitab istatistiksel yazılım programından faydalanılmıştır. Deneysel çalışma ve hesaplamalar neticesinde ısıl etkenlik üzerinde en etkili faktörün hava hızı olduğu sonucuna varılmıştır. Son olarak maksimum ısı transferine imkân verecek parametre kombinasyonları ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler** – Deneysel tasarımı, Plakalı ısı değiştirici, Polimer, Atık ısı geri kazanımı, Isıl etkenlik

## Optimization of Waste Heat Recovery by Experimental Design Method

**Abstract** – This study is concerned with investigating the optimum values of the factors that affect thermal performance in air to air waste heat recovery applications. A cross-flow plate heat exchanger made of polymer material was used to perform the heat transfer in the system. The fresh air inlet temperature, the air flow rate and the exhaust air inlet temperature are specified as operating parameters. Two levels were selected for each parameter and L8 full factorial experiment design was applied. Minitab statistical software program was used for analysis. As a result of experimental studies and calculations, it has been determined that air flow rate is the most effective factor on thermal effectiveness. Finally, parameter combinations that allow maximum heat transfer are described.

**Keywords** – Experimental design, Plate heat exchanger, Polymer, Waste heat recovery, Thermal effectiveness

### I. GİRİŞ

Enerji, çoğu ülkenin sosyal ve ekonomik yaşantısında önemli faktörlerden biri haline gelmiştir. Enerjideki yeni gelişme ve adımlar, bizleri daha çok enerji kullanımına itmektedir. Üretim olduğu her yerde enerji de gereklidir. Dünya ülkelerinin enerji politikası sürdürülebilirlik üzerinedir. Günümüzün enerji ihtiyaçlarını karşılarken gelecek nesillere bırakılacak olan kaynakların da olabildiğince muhafaza edilmesi gerekmektedir.

Çok yüksek miktarda enerji kullanmakta olan endüstriyel sistemler büyük ısı geri kazanım potansiyeline sahiptir. Çeşitli ekipmanlarla bu enerji yeniden kullanılabilir. Atık ısının geri kazanılmasında en sık tercih edilen araçlardan biri olan ısı değiştiriciler ısının hammaddeye doğrudan temas etmesinin önüne geçerek birçok alanda bu ısının kullanılmasına imkân sağlamaktadır. Örneğin; alüminyum ergitme fırınlarından çıkan yüksek sıcaklığa sahip kirli gazlar başka herhangi bir proses için ön ısıtımda kullanılabilirler. Bu yöntemle aynı kaynaktan çok daha yüksek verim sağlanarak kaynak tüketim oranı azaltılabilmektedir. Isının geri kazanılmasında plaka tipi değiştiriciler sıklıkla tercih edilirler. Bunlar genellikle ısı iletimi yüksek malzemeye sahip plakalar vasıtasıyla ısı

transferi gerçekleştirir. Plakaların bir yüzünden taze hava diğerinden egzoz havası geçirilerek taze ve egzoz havasının birbirine karışması önlenmiş olur.

Plaka üretiminde çoğunlukla alüminyum kullanılır. Son yıllarda polimer malzemelerde bu amaçla kullanılmaya başlanmıştır. Alüminyum iyi ısı iletimine sahip olmasının ve hafifliğinin yanı sıra korozyona açık olması dezavantajıdır. Polimerler bu noktada çok iyi bir alternatiftir. Ayrıca maliyetleri de düşük olduğundan oldukça ekonomiktirler. Joen ve ark. [1] çok ince polimerik yapıya sahip plakalı ve borulu ısı değiştiriciler tasarlayıp imal etmişler ve bunların ısı geri kazanım uygulamalarında kullanımının umut verici olduğunu ifade etmişlerdir. Noie [2], havadan havaya ısı transferi gerçekleştirmekte olan termosifon ısı değiştiricisinin termal performansını deneysel ve teorik açıdan incelemiştir. Chen ve ark. [3], ikisi yüksek ısı iletkenliğine sahip ve diğeri sıradan polipropilen (PP) ile üretilmiş olan üç farklı kanatlı ısı değiştiricisinin termal performans değerlerini karşılaştırmışlardır. Başka bir çalışmada Fernandez ve ark. [4], ısı geri kazanımında polimer yapıları ısı değiştirici kullanmışlar ve değiştirici performansı üzerinde farklı hava hızı, sıcaklık ve nem parametrelerinin etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir.

Mevcut Çalışma, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Osmaneli Meslek Yüksek Okulu iklimlendirme ve soğutma laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Dış ortama atılan ısıyı geri kazanmamızı sağlayacak sistem tasarlanmış ve bunun için gerekli deney düzeneği oluşturulmuştur. Isı transferini sağlamak için plakalı ısı değiştirici temin edilmiştir. Geri kazanım performansı üzerinde etkili olduğunu düşündüğümüz hava akış hızı, taze hava giriş sıcaklığı ve egzoz havası giriş sıcaklığı için farklı seviyeler seçilerek sıcaklık çıkış değerleri kaydedilmiştir. Daha sonra elde edilen bu değerler kullanılarak ısıl etkenlik değerleri bulunmuştur. Literatürden farklı olarak polimer ısı değiştirici kullanılarak atık ısının kazanımı gerçekleştirilmiş ve faktörlerin etkenlik üzerindeki etki miktarları istatistiksel olarak ortaya konmuştur.

## II. MATERYAL VE METOD

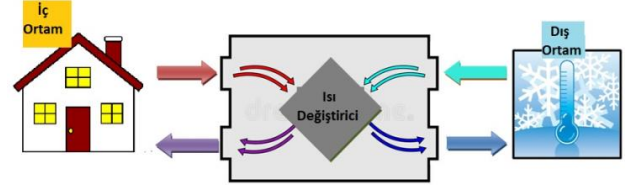
Havadan havaya ısı aktarımının sağlanacağı sistemde kirli ve temiz havanın birbirleriyle karışmasını önleyecek olan çapraz akışa sahip plakalı ısı değiştirici kullanılmıştır. Bu değiştirici 20\*20\*30 cm boyutlarında olup polimer malzemeden imal edilmiştir.



Şekil 2. Isı değiştirici

Kış mevsimlerinde dışarıda bulunan temiz hava iç ortamda bulunan kirli havaya göre oldukça soğuktur. İç ortamları havalandırmaya çalıştığımızda temiz havayı içeriye alırken mahali de soğutmaktayız. Bu durumda iç ortamı normal oda şartlarına döndürmek için çok daha yüksek miktarda ısıyı sürekli olarak transfer etmek mecburiyetinde kalırız. Bu durumun önüne geçmek ve iç mahale verilmek istenen ısıdan kazanç sağlamak için dışarıya verilen kirli havadaki enerjinin bir kısmının temiz havaya transferi sağlanabilir. Böylelikle atık ısıdan ısı geri kazanımı gerçekleştirilebiliriz. Bu çalışmada atılan bu ısının bir miktarını yeniden kullanmamıza imkan verecek bir sistem tasarlanmış ve imalatı yapılmıştır. Sıcak egzoz havası oluşturmak için dört adet lamel rezistans, soğuk taze hava eldesi için ise kompresör kullanılmıştır. Birbirinden değişik sıcaklık aralıklarındaki taze havayı ve egzoz havasını elde etmek için termostatlardan faydalanılmıştır. Taze soğuk havanın düzenek içine alınması ve sıcak egzoz havasının dışarıya verilmesi iki adet fan yardımıyla sağlanmıştır. Sisteme verilen havanın hızını kontrol etmek amacıyla bir faza sahip hız kontrol cihazı sisteme dahil edilmiştir.

Sistemde plakaların bir tarafından egzoz havası diğer tarafından taze hava birbirine temas etmeksizin fanlar yardımıyla geçirilir. Böylece ısı aktarımı sağlanarak kirli havadaki ısı yükü, plakalı ısı değiştiricisi yardımıyla taze havaya geçmektedir [5].



Şekil 3. Atık ısı geri kazanım şematik resmi

Isı değiştirgecinin termal performansının tespit edilmesinde kullanılan metodlardan biri de etkenlik analizidir. Bu yöntem kullanılarak, benzer koşullarda hangi değiştiricinin kullanılacağına kolaylıkla karar verilir. Etkenlik,  $\epsilon$  harfi ile simgelenir ve herhangi bir ısı değiştirgecinde gerçekleşen ısı geçişinin, mümkün olan maksimum ısı transferine oranıdır. Formülasyonu ise şöyledir:  $\epsilon = Q / Q_{\max}$  [6].

Bir prosesin çıktılarındaki değişiklikleri tespit etmek amacıyla girdi faktörlerinin bilinçli bir şekilde değiştirilmesiyle gerçekleştirilen deneylere tasarlanmış deney denmektedir. Bu deneyler birkaç amaçla yapılırlar. Hangi girdi faktörünün çıktı üzerinde daha büyük etkiye neden olduğu, en uygun çıktıyı elde etmek için her bir faktörün hangi değerinde çalıştırılması gerektiği ve en düşük varyansın hangi girdi değerlerinde elde edildiği bu nedenlerden birkaçıdır. Tam faktöriyel ve kısmi faktöriyel deney tasarımı olmak üzere temelde ikiye ayrılır. Bir deneyi etkileyen tüm parametrelerin her seviyesiyle ilgili gerekli tüm deneylerin yapıldığı tasarım tam faktöriyel deney tasarımıdır. Örneğin 3 parametrelili ve her bir parametrenin 2' şer seviyesi olduğunu varsayarsak; tüm parametre ve seviyelerinin kombinasyonları test edilirse toplam  $2^3 = 8$  adet deney yapılması gerekir. Ancak parametre sayısı ve seviyeleri yeterince düşük olduğunda kullanışlı olur. Ayrıca deneysel tasarım metodu kullanılarak hangi girdi parametresinin deney sonucunu hangi ölçüde etkilediği kolaylıkla tespit edilebilir.

Tablo 1. Tam faktöriyel deney tasarım tablosu [7-8]

1. Parametre	2. Parametre	3. Parametre	1. Ölçüm sonucu	2. Ölçüm sonucu	3. Ölçüm sonucu	Ortalama
1	1	1	Y1	Y1	Y1	S1
1	1	2	Y2	Y2	Y2	S2
1	2	1	Y3	Y3	Y3	S3
1	2	2	Y4	Y4	Y4	S4
2	1	1	Y5	Y5	Y5	S5
2	1	2	Y6	Y6	Y6	S6
2	2	1	Y7	Y7	Y7	S7
2	2	2	Y8	Y8	Y8	S8

Tablo 1'de her bir parametre için ikişer seviye belirlenmiştir. İlk seviye 1 ikinci seviye ise 2 ile gösterilmiştir. Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>, Y<sub>3</sub> deneylerin tekrarlarının sonuçlarını göstermektedir. Bu üç sonucun ortalama değerleri de hesaplanarak S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>... olarak kaydedilmiştir.

Her bir parametrelerin etkisi Tablo 1' e göre hazırlanmış denklemler kullanılarak bulunabilir:

$$1. \text{Parametre etkisi} = (S_1 + S_2 + S_3 + S_4) / 4 - (S_5 + S_6 + S_7 + S_8) / 4$$

$$2. \text{Parametre etkisi} = (S_1 + S_2 + S_5 + S_6) / 4 - (S_3 + S_4 + S_7 + S_8) / 4$$

$$3. \text{Parametre etkisi} = (S_1 + S_4 + S_5 + S_7) / 4 - (S_2 + S_3 + S_6 + S_8) / 4$$

Her bir parametrenin ilk seviyesinde elde edilen sonuçlar ile diğer seviyesinde bulunan sonuçlar birbirleriyle kıyaslanarak farkları alınır. Hangi parametre mutlak değerce daha yüksek değere sahipse o seviye diğerlerinden daha etkilidir denebilir [9].

### III. DENEY SONUÇLARININ ANALİZİ

Atık ısının geri kazanım performansını tespit etmek amacıyla kullandığımız etkenlik değeri çok çeşitli parametrelerden etkilenebilmektedir. Bunlar hava girdi sıcaklıkları, havanın debisi veya hızı ve benzerleridir. Bu saydıklarımız üzerinde kontrolümüz olan faktörlerdendir. Gürültü, vibrasyon, nem gibi çok da fazla kontrol edemediğimiz faktörlerde etkenlik üzerinde etkili olmakla birlikte değerlendirmeye alınmayacaktır. Denede ısı etkenliği etkileyen üzerinde kontrolümüz olan taze hava giriş sıcaklığı, hava hızı ve egzoz havası giriş sıcaklığı olmak üzere 3 faktör seçilmiş ve bunlara ait 2'şer seviye belirlenmiştir. A, B ve C ile simgelediğimiz faktörlere ait düzeyler Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Her bir ısı değiştiriciye ait faktörler ve seviyeleri

SİMGE	FAKTÖRLER	SEVİYE 1	SEVİYE 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

Faktör sayısı 3 ve her bir faktör için belirlenen seviye sayısı 2 olduğundan öncelikle L8(2<sup>3</sup>) tam faktöriyel tasarımının kullanımına karar verilmiştir. Böylece hem faktörlerin ana etkilerini hem de birbirleriyle etkileşimlerini tespit edebiliriz. Bu doğrultuda hazırladığımız deney planı Tablo 3'te verilmiştir. Ayrıca deney sonucunda temin edilen etkenlik değeri de tabloda ilgili yere yazılmıştır [8]. Her bir faktörün deney sonucunu ne ölçüde etkilediğini bulmak için, deney sonucunun tüm değerlerinin, A'nın iki farklı düzeyine göre, dörder dörder gruplamak gerekir. Gruplandırma A'nın birinci

düzeyine tekabül eden deney sonucunun ilk dört değeri ile A'nın ikinci düzeyine tekabül eden deney sonucunun son dört değeri anlamına gelmektedir. A'nın deney sonucuna etkisini belirlemek için, ilk dört değerlerin ortalamasını alıp, ikinci dört değerlerin ortalamasıyla karşılaştırmak gerekir.

Tablo 3. Deneyde kullanılan plan ve etkenlik sonuçları [8]

FAKTÖRLER			ETKENLİK SONUCU (%)
A faktörü (°C)	B faktörü (m/s)	C faktörü (°C)	
0	1.2	28	48.3
0	1.2	40	50.1
0	2	28	45.9
0	2	40	47.2
10	1.2	28	47.7
10	1.2	40	49.3
10	2	28	44.9
10	2	40	46.4

Örneğin A faktörünün etkisi şu şekilde hesaplanmaktadır: Ortalama A<sub>1</sub>=(0,483 +0,501 +0,459 +0,472) /4 = 0,48 Ortalama A<sub>2</sub>=( 0,477 +0,493 +0,449 +0,464) /4 = 0,47 Etki A = Ortalama A<sub>2</sub>-Ortalama A<sub>1</sub>= (0,47 -0,48)= - 0,01 Yapılan hesaplamaya göre A'nın ilk düzeyinden ikinci düzeyine geçirilmesi etkenlik değerinin 0,48'den 0,47'ye düşmesi sonucunu doğurmuştur. Bu taktirde A faktörünün net ortalama etkisi, iki düzey ortalamasının farkı olan 0,01'tür. Diğer faktörlerin etkileri de aynı biçimde bulunabilir.

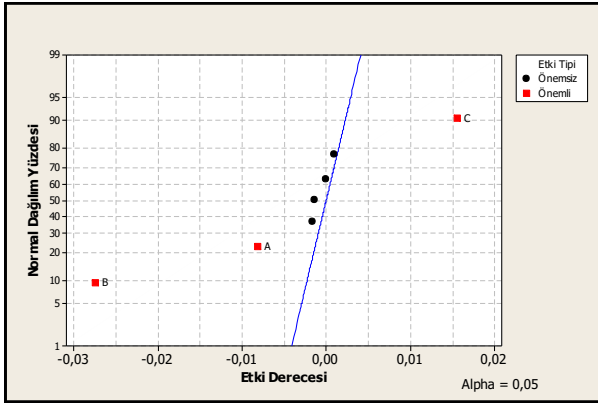
Yaptığımız hesaplamayı kolaylaştırmak amacıyla hazırlanan excel tablosu Tablo 4'te gösterilmiştir. Bu tablo, deney sonuçlarının analizi için pratikte şu şekilde kullanılır; Önce deney sonuçları ilgili sütuna kaydedilir. Bu sütunun her satırındaki değer, o satırdaki boş hanelere kopya edilir. Her sütunun ortalaması alınarak "ORTALAMA" satırına işlenir. Son olarak, faktörlerin ve etkileşimlerinin etki derecesini bulmak için, her temel sütundaki (toplam 7 temel sütun var :A, B, C, AB, AC, BC, ABC) 2. kolonun ortalamasından 1. kolonun ortalaması çıkarılır ve sonuç "ETKİ" satırına işlenir. AB, BC, AC ve ABC sütunları ise faktörler arası etkileşimi ifade etmektedir. Her bir faktörün ilk seviyesini "-", ikinci seviyedeki değerini "+" kabul edersek, bu işaretler çarpılarak etkileşimin işareti oluşturulur.

Tablo 4. Deney sonuçlarının L8 hesap tablosu ile gösterimi

DENEY SONUCU	A		B		C		AB		AC		BC		ABC	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0,483	0,483		0,483		0,483			0,483		0,483		0,483	0,483	
0,501	0,501		0,501			0,501		0,501	0,501		0,501			0,501
0,459	0,459			0,459	0,459		0,459			0,459	0,459			0,459
0,472	0,472			0,472		0,472	0,472		0,472			0,472	0,472	
0,477		0,477	0,477		0,477		0,477		0,477			0,477		0,477
0,493		0,493	0,493			0,493	0,493			0,493	0,493			0,493
0,449		0,449		0,449	0,449			0,449	0,449		0,449			0,449
0,464		0,464		0,464		0,464		0,464		0,464		0,464		0,464
<b>ORTALAMA</b>	0,48	0,47	0,49	0,46	0,47	0,48	0,48	0,47	0,47	0,47	0,48	0,47	0,47	0,48
<b>ETKİ</b>	-0,0081		-0,0274		0,0156		-0,0014		0,0000		-0,0016		0,0010	

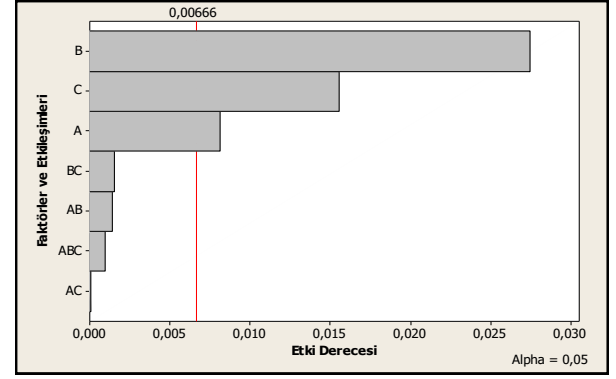
Örneğin; AB etkileşim sütununun 1. satırının işareti bulmak için A'nın birinci satırındaki işaret olan (-) ile ve B'nin birinci satırındaki işaret (-) çarpılır. Çarpım sonucu "+" çıktığından AB sütununun birinci satırının işareti "+" olur ve 2. seviye olarak kaydedilir. Aynı şekilde ABC etkileşim sütununun 1. satırının işareti bulmak için A'nın birinci satırındaki işaret olan (-), B'nin birinci satırındaki işaret olan (-) ve C'nin birinci satırındaki işaret olan (-) çarpılır. Çarpım sonucu "-" çıktığından ABC sütununun birinci satırının işareti "-" olur ve 1. Seviye olarak kaydedilir [8].

Tablo 4' te yer alan "ETKİ" satırındaki etkilerden hangilerinin istatistiksel açıdan önemli olduğuna karar vermek amacıyla Minitab programından yararlanılarak normal olasılık doğrusu çizilmiştir. (Şekil 4) İstatistiksel hesaplarda güven düzeyi 0.05 olarak alınmıştır. Çizilen normal olasılık doğrusuna göre önemli gördüğümüz noktalar grafiğin ya sol alt ya da grafiğin sağ üst bölgesinde konumlanırlardır. Doğruya yakın çıkanlar ise istatistiksel açıdan önemsizdir. Buna göre doğrudan uzak olan A, B ve C noktaları önemli olarak belirlenmiş; AB, AC, BC ve ABC etkileşimleri doğruya yakın olduğundan önemsiz kabul edilmiştir. Doğrunun sol tarafındaki noktalar (-) etki derecesine sahiptir. Yani bu noktaların aldığı değerlerin birinci seviyeden ikinci seviyeye getirilmeleri deney sonucunun (etkenlik değerinin) düşmesine neden olacaktır. Doğrunun sağ tarafındaki noktalar ise tam tersine (+) etki derecesine sahiptir. Yani bu noktaların aldığı değerlerin birinci seviyeden ikinci seviyeye getirilmeleri deney sonucunun (etkenlik değerinin) yükselmesine neden olacaktır.



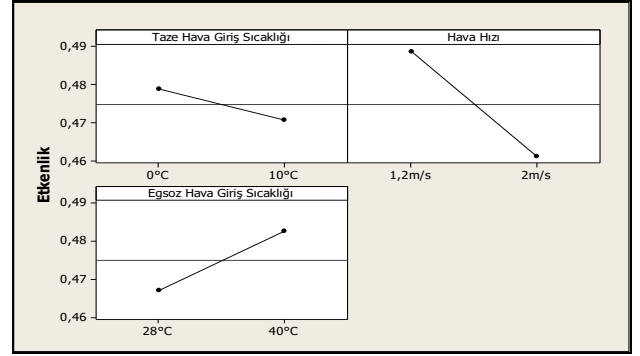
Şekil 4. Faktörlerin etki derecelerine ait normal olasılık doğrusu

Normal olasılık doğrusunda hangi noktaların önemli olduğu belirlenmiş fakat net bir sıralama yapılmamıştır. Deney sonucunu etkileyen faktörlerin sahip olduğu etki derecelerinin önemlerine göre sıralamasını gösteren pareto grafiği ise Şekil 5'te verilmiştir. Bu grafiğe göre en büyük etki derecesine sahip faktör B, daha sonra sırasıyla C ve A'dır. Yani etkenlik değerini iyileştirmek istersek A, B ve C faktörleri içerisinde öncelikle B faktörü üzerinde değişiklik yapmayı düşünmeliyiz. Şekil 4'ten de gördüğümüz gibi B değeri (-) etki derecesine sahiptir. B'yi birinci seviyeden ikinci seviyeye getirmek deney sonucunu kötüleştireceğinden B faktörü için ilk seviye seçilmelidir.



Şekil 5. Faktörlerin etki derecelerine ait pareto grafiği

Deneyde belirlediğimiz temel faktörler olan taze hava giriş sıcaklık (faktör A), hava hızı (faktör B) ve egzoz havası giriş sıcaklık (faktör C) değerinin birinci düzeyden ikinci düzeye getirilmesinin etkenlik üzerinde gerçekleştirdiği değişim Şekil. 6'da görülmektedir.



Şekil 6. Girdi değişkenlerinin etkenlik üzerindeki etkileri

Grafiklere göre çıkarabileceğimiz yorumlar şöyle sıralanabilir:

- Taze hava giriş sıcaklığını (faktör A) 0°C 'den 10°C' ye getirmek etkenliğin bir miktar düşmesine neden olacaktır. Bunun nedeni sıcak-soğuk hava arasındaki sıcaklık farkının azalması olarak açıklanabilir. Düşme miktarı ise Tablo 4'te yaklaşık 0,0081 olarak verilmiştir.
- Hava hızını (faktör B) 1,2 m/s 'den 2 m/s 'ye çıkarmak etkenliğin hızlı bir biçimde düşmesine yol açmıştır. Bunun durum; hava hızı arttığında ısı transferi için yeterli süre bulunmamasından kaynaklanmaktadır. Düşme miktarı ise Tablo 4'te yaklaşık 0,0274 olarak verilmiştir.
- Egzoz havası giriş sıcaklığını (faktör C) 28°C 'den 40°C' ye getirmek etkenliğin bir miktar yükselmesine neden olacaktır. Bunun nedeni sıcak-soğuk hava arasındaki sıcaklık farkının artması olarak açıklanabilir. Yükselme miktarı ise Tablo 4'te yaklaşık 0,0156 olarak verilmiştir.
- Etkenlik üzerinde en yüksek etki derecesine sahip faktör "B" ile simgelenen hava hızıdır. Daha sonra sırasıyla "C" ve "A" faktörleri gelmektedir. Bu durum Şekil 5'te verilen pareto diyagramında da gösterilmiştir.

#### IV. SONUÇ

Deney tasarımı yöntemi kullanılarak etkenlik üzerinde etkisinin olduğunu düşündüğümüz parametreler, etki dereceleri ve parametrelerin birbirleriyle olan etkileşimleri irdelenmiştir. Çalışmada L8 tam faktöriyel deney tasarımı kullanılmıştır. Her faktörün iki farklı seviyesi için plan oluşturulmuştur. Minitab paket programı ile gerçekleştirilen analizlerde sonuç üzerindeki en etkili faktörün hava akım hızı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. En iyi termal performansın; birinci faktörün birinci düzeyi olan 0°C, ikinci faktörün birinci düzeyi olan 1,2 m/s ve üçüncü faktörün ikinci düzeyi olan 40°C tercih edildiğinde olduğu gözlenmiştir.

#### REFERANSLAR

- [1] C. T. Joen, Y. Park, Q. Wang, A. Sommers, X. Han and A. Jacobi, "A review on polymer heat exchangers for HVAC&R applications," *International Journal Of Refrigerations*, vol. 32, pp. 763-779, 2009.
- [2] S.H. Noie, "Investigation of thermal performance of an air-to-air thermosyphon heat exchanger using  $\epsilon$  NTU method," *Applied Thermal Engineering*, vol. 26, pp. 559-567, 2006.
- [3] L. Chen, Z. Li ve Z.-Y. Guo, "Experimental investigation of plastic finned-tube heat exchangers, with emphasis on material thermal conductivity," *Experimental Thermal and Fluid Science*, vo. 33, pp. 922-928, 2009.
- [4] J. Fernandez-Seara, R. Diz, F.J. Uhia, A. Dopazo ve J. M Ferro, "Experimental analysis of an air-to-air heat recovery unit for balanced ventilation systems in residential buildings," *Energy Conversion and Management*, vol. 52, pp. 635-640, 2011.
- [5] C. Kocabaş and A.F. Savaş, "Comparison of waste heat recovery performances of plate-fin heat exchangers produced from different materials," *Contemporary Engineering Sciences*, vol. 8(11), pp. 453 - 466, 2015.
- [6] C. Danışman, "Plakalı eşanjör etkinlik parametrelerinin deneysel analizi," Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2010.
- [7] B. Gökçe, "Metalürjik deneylerin taguchi ve genetik algoritmalar yöntemleri kullanılarak tasarımı," Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 2009.
- [8] C. Kocabaş, "Farklı malzemelerden imal edilmiş plakalı ısı değiştiricilerinin atık ısı geri kazanım performanslarının deneysel analizi," Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik, 2014.
- [9] M. Şirvancı, *Kalite İçin Deney Tasarımı Taguchi Yaklaşımı, 1. Baskı*, İstanbul, Türkiye: Literatür Yayınları, 1997.