



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**FARKLI MALZEMELERDEN İMAL EDİLMİŞ PLAKALI ISI
DEĞİŞTİRİCİLERİNİN ATIK ISI GERİ KAZANIM
PERFORMANSLARININ DENEYSEL ANALİZİ**

**Ceyda KOCABAŞ
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Ahmet Fevzi SAVAŞ**

BİLECİK, 2014

Ref No: 10043297



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**FARKLI MALZEMELERDEN İMAL EDİLMİŞ PLAKALI ISI
DEĞİŞTİRİCİLERİNİN ATIK ISI GERİ KAZANIM
PERFORMANSLARININ DENEYSEL ANALİZİ**

**Ceyda KOCABAŞ
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Ahmet Fevzi SAVAŞ**

BİLECİK, 2014



**BİLECİK SEYH EDEBALI
UNIVERSITY**

**Graduate School Of Sciences
Department of Machine And Manufacturing Engineering**

**EXPERIMENTAL ANALYSIS OF WASTE HEAT
RECOVERY PERFORMANCE OF PLATE EXCHANGERS
MANUFACTURED FROM DIFFERENT MATERIALS**

**Ceyda KOCABAŞ
Master Of Science Thesis**

**Master Of Thesis
Yrd. Doç. Dr. Ahmet Fevzi SAVAŞ**

BİLECİK, 2014



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS

JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 27/05/2014 tarih ve 23/6 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 20/06/2014 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ceyda KOCABAŞ'ın "Farklı Malzemelerden İmal Edilmiş Plakalı Isı Değiştiricilerinin Atık Isı Geri Kazanım Performanslarının Deneysel Analizi" başlıklı tez çalışması Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/~~oy çokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

**ÜYE : Yrd.Doç.Dr. Ahmet Fevzi SAVAŞ
(TEZ DANIŞMANI)**

ÜYE : Yrd.Doç.Dr. Hasan YAMIK

ÜYE : Yrd.Doç. Dr. Şenol AVCI

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Sanayinin bir çok alanında kullanılan sıvı ve gaz, proses tamamladıktan sonra yüksek miktarda enerji barındırdığı halde atıl duruma gelmektedir. Isı boruları, ısı değiştiricileri, atık ısı kazanları gibi ekipmanlardan yararlanılarak bu atıl enerjinin geri kazanılması mümkündür. Böylece aynı miktarda enerji girdisinden daha fazla verim alınarak ekonomiye katkı sağlanacak, çevre kirliliği azaltılacak ve ekolojik denge korunarak büyük kazanım elde edilecektir.

Bu çalışmada; çapraz akımlı plakalı ısı değiştiricisi kullanılarak havadan havaya ısı geçişini sağlayacak bir ısı geri kazanım cihazı tasarlanmış ve imal edilmiştir. İç ortamdan alınan kirli ve yüksek sıcaklığa sahip egzoz havası ile dış ortamdan alınan temiz ve düşük sıcaklığa sahip taze hava, plakalar arasından geçirilerek taze havanın sıcaklığının yükselmesi sağlanır. Bu amaçla alüminyum, polimer ve selülozik olmak üzere üç farklı malzemeden imal edilmiş ısı değiştiricileri temin edilmiş; hava hızı, taze hava ve egzoz havası giriş sıcaklıkları çalışma parametreleri olarak belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucu taze hava ve egzoz havası çıkış sıcaklıkları elde edilmiş, bu değerler kullanılarak ısı hesaplamalar yapılmıştır.

Ayrıca Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılarak ısı etkenlik üzerinde etkisi olan parametreler, bunların etki dereceleri ve parametrelerin birbirleriyle etkileşimleri incelenmiştir. Analizler için Minitab (Release 16) istatistiksel yazılım programından faydalanılmıştır. Böylelikle sonuçların yorumlanması istatistiksel analizler ile desteklenmiştir. Bu analizlerde etkenlik değeri üzerindeki en etkili faktörün hava hızı olduğu ve faktörler arasında belirli bir etkileşim olmadığı sonucuna varılmıştır. Tüm ısı değiştiricilerinde en iyi ısı performansını; taze hava giriş sıcaklığının birinci düzeyi olan 0 °C, hava hızının birinci düzeyi olan 1,2 m/s ve egzoz havası giriş sıcaklığının ikinci düzeyi olan 40 °C seçildiğinde elde edildiği tespit edilmiştir. Selülozik ısı değiştiricinin polimer ve alüminyum ısı değiştiricilerine göre tüm parametre değerlerinde çok daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Isı geri kazanımı, Isı değiştirici, Plakalı ısı değiştirici, Etkenlik NTU metodu, Deney tasarımı, Taguchi deney tasarımı.

ABSTRACT

After completing their process, industrial liquids and gases comes idle state although that contain high amount of heat energy. Waste heat recovery can be carried out by using of equipments such as heat pipes, heat exchangers and waste heat boilers. In this way, much more efficiency will be obtained using with the same amount of energy input and also environmental pollution will be reduced and ecological balance will be maintained.

In this study; a heat recovery device was designed and manufactured to provide air to air heat transfer using cross-flow plate heat exchanger. The low temperature clean and fresh air was taken from the external environment and the high temperature exhaust air was obtained from the internal environment. The aim is; heating the fresh air when these air passing through the plates. Therefore, heat exchangers made from three different materials as aluminum, polymer and cellulosic are supplied. Air speed, fresh air and exhaust air inlet temperatures were defined as operating parameters. As a result of these experiments, fresh air and exhaust air outlet temperatures were obtained and also thermal calculations were conducted with using these values.

Parameters having an effect on thermal efficiency, the degrees of influence of these parameters and their interactions were examined with using Taguchi experimental design method. For these analysis Minitab (Release 16) statistical software was used. Thereby the interpretation of results was supported by statistical analysis. Analysis results have shown that; the most effective factor on the efficiency value is the air speed and there is no specific interaction between factors. The best thermal performances were achieved for all heat exchangers when fresh air inlet temperature 0 °C, air velocity 1,2 m/s and exhaust air inlet temperature 40 °C was selected. It was noticed that cellulosic heat exchanger compared to the other heat exchangers give much better results for all parameter values.

Keywords: Heat recovery, Heat exchanger, Plate heat exchanger, Effectiveness NTU method, Experimental design, Taguchi experimental design.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamın yapılmasında her türlü yardımlarını esirgemeyen değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ahmet Fevzi SAVAŞ' a, deneysel sistemin kurulması ve yürütülmesi sürecinde bana sınırsız destek olan meslek yüksek okulu teknik personeli Ali ARMAĞAN'a, deneysel malzemenin teminini sağlayan Kemal KILIÇ'a, her zaman yanımda olan sevgili eşime ve varlığıyla beni mutlu eden minik oğlum Salih'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, beni bugünlere getiren ve verdikleri destekle başarılarımı temellendiren sevgili aileme şükran duygularımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ATIK ISI GERİ KAZANIM SİSTEMLERİ	3
2.1. Sudan Havaya Isı Geri Kazanım Sistemleri.....	3
2.2. Havadan Havaya Isı Geri Kazanım Sistemleri.....	4
2.2.1. Plaka tipi ısı geri kazanım sistemleri	5
2.2.2. Tekerlek tipi ısı geri kazanım sistemleri	5
3. ISI DEĞİŞTİRİCİLERİ	6
3.1. Isı Değiştiricilerinin Sınıflandırılması	6
3.1.1. Isı değişim şekline göre sınıflama.....	8
3.1.1.1. Akışkanların doğrudan temaslı olduğu ısı değiştiricileri	8
3.1.1.2. Akışkanlar arasında doğrudan temasın olmadığı ısı değiştiricileri	8
3.1.2. Isı geçiş yüzeyinin ısı geçiş hacmine oranına göre sınıflama (kompaktlık)....	8
3.1.3. Akışkan sayısına göre sınıflama	8
3.1.4. Isı geçişi mekanizmasına göre sınıflama.....	8
3.1.4.1. İki tarafta da tek fazlı akış olan ısı değiştiriciler	9
3.1.4.2. Bir tarafta tek fazlı, diğer tarafta çift fazlı akış olan ısı değiştiriciler	9
3.1.4.3. İki tarafta da çift fazlı akış olan ısı değiştiriciler	9
3.1.4.4. Taşınım ve ışınlama ısı geçişi olan ısı değiştiriciler.....	9
3.1.5. Konstrüksiyon özelliklerine göre sınıflama.....	9
3.1.5.1. Borulu ısı değiştiricileri	10
3.1.5.2. Levhalı ısı değiştiricileri	11
3.1.5.3. Kanatlı yüzeyli ısı değiştiricileri	12

3.1.5.4. Rejeneratif ısı değıştiricileri	13
3.1.5.5. Karıştırmalı kaplar	14
3.1.6. Akıma göre sınıflama	14
3.1.6.1. Tek geçişli ısı değıştiriciler	14
3.1.6.2. Çok geçişli ısı değıştiriciler	15
4. PLAKALI ISI DEĞİŞTİRİCİLER	17
4.1. Plakalı Isı Değıştiricilerinin Genel Yapısı	17
4.2. Plakalı Isı Değıştiricilerinin Kullanım Alanları	18
4.3. Plakalı Isı Değıştiricilerde Malzeme Seçimi	19
4.4. Plakalı Isı Değıştiricilerinde Verim	20
4.5. Plakalı Isı Değıştiricileri Kullanımının Avantajları	21
5. LİTERATÜRDE KONUYLA İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	23
6. MATERYAL VE METOD	29
6.1. Isı Geçiş Miktarı	29
6.1.1. Isı geçiş modellenmesinde yapılan kabuller	30
6.2. Düzlemsel Levhada İletim Ve Taşınım İle Isı Geçiş	32
6.3. Toplam Isı Transfer Katsayısı	34
6.4. Laminer ve Türbülanslı Akış	36
6.5. Logaritmik Ortalama Sıcaklık Farkı ΔT_m	38
6.5.1. Paralel akımlı ısı değıştiricilerinde ΔT_m hesabı	38
6.5.2. Ters akımlı ısı değıştiricilerinde ΔT_m hesabı	39
6.5.3. Çapraz akımlı ısı değıştiricilerinde ΔT_m hesabı	40
6.6. Etkenlik NTU metodu (ϵ -NTU)	43
6.7. Deney Tasarım Teknikleri ve Taguchi İle Deney Tasarımı	48
6.7.1. Her defasında bir faktörü değıştirerek deney yapma	51
6.7.2. Klasik istatistiksel deney tasarımı	51
6.7.2.1. Tam faktöriyel deney tasarımı	51
6.7.2.2. Kesirli faktöriyel deney tasarımı	53
6.7.3. Taguchi deney tasarımı	53
7. DENEYSEL ÇALIŞMA	60
7.1. Deney Ortamı	60

7.2. Deneyde Kullanılan Ekipmanlar	60
7.2.1. Plakalı Isı değıştirici.....	61
7.2.2. Ölçü Aletleri	65
7.2.2.1. Anemometre	65
7.2.2.2. Hız Kontrol Cihazı.....	65
7.2.2.3. Dijital Termostat.....	66
7.3. Çalışma Prensibi.....	67
8. SONUÇLAR	68
8.1. Deney Sonuçlarının Grafıksel Gösterimi.....	69
8.2. Deney Sonuçlarının Deney Tasarım Metodu İle Analizi.....	80
8.2.1. Minitab programı kullanılarak deney sonuçlarının yorumlanması.....	85
8.3. Deney Sonuçlarının Yazılım Programıyla Sunumu	95
9. TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	96
10. KAYNAKLAR.....	99
ÖZGEÇMİŞ.....	103

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. Isı değıştircilerinin sınıflandırılması	7
Çizelge 6.1. Tam faktöriyel deney tasarım tablosu.....	52
Çizelge 6.2. Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu	56
Çizelge 6.3. L8 Ortogonal dizisi ve parametrelerin yerleşimi.	57
Çizelge 7.1. Alüminyum ısı değıştircisinin özellikleri.	62
Çizelge 7.2. Polimer ısı değıştircisinin özellikleri.....	63
Çizelge 7.3. Selülozik ısı değıştircisinin özellikleri.	64
Çizelge 8.1. Her bir ısı değıştirciye ait faktörler ve düzey seviyeleri.	80
Çizelge 8.2. Seçilen L8(2 ³) deney planı.	80
Çizelge 8.3. L8 deney planına göre alüminyum ısı değıştirciye ait deney sonuçları.....	81
Çizelge 8.4. L8 deney planına göre polimer ısı değıştirciye ait deney sonuçları.	81
Çizelge 8.5. L8 deney planına göre selülozik ısı değıştirciye ait deney sonuçları.	81
Çizelge 8.6. Seçilen L8(2 ³) dizayn matrisi.	82
Çizelge 8.7. Alüminyum ısı değıştirciye ait deney sonuçlarının excelde L8 hesap tablosu ile gösterimi.	83
Çizelge 8.8. Polimer ısı değıştirciye ait deney sonuçlarının excelde L8 hesap tablosu ile gösterimi.	84
Çizelge 8.9. Selülozik ısı değıştirciye ait deney sonuçlarının excelde L8 hesap tablosu ile gösterimi.	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3.1. Isı değıştircilerinin konstrüksiyonları	9
Şekil.3.2. Borulu tip ısı değıştircisinde akış yönleri.	10
Şekil 3.3. Gövde borulu ısı değıştircisi şematik resmi	11
Şekil 3.4. Contalı tip plakalı ısı değıştircisinin temel elemanları	11
Şekil 3.5. Spiral plakalı ısı değıştircisi	12
Şekil 3.6. Paralel akış düzeni.	14
Şekil 3.7. Ters akış düzeni.	14
Şekil 3.8. Çapraz akış düzeni.	15
Şekil 3.9. Çok geçişli ısı değıştircileri.....	16
Şekil 4.1. Plakalar arası sıcak ve soğuk hava akış yönleri.....	17
Şekil 4.2. Plakaların birbirine kenetlenmesi	18
Şekil 4.3. Plakalı ısı değıştircileri yerleştirme düzenleri.....	19
Şekil 4.4. Alüminyum plakalı ısı değıştircisi örneğİ.....	20
Şekil 4.5. Plakalı ısı değıştirci montajı.....	22
Şekil 6.1. İki akışkanlı bir ısı değıştircisinde, sıcak ve soğuk akışkanlar için toplam enerji dengesi.....	31
Şekil 6.2. Düzlemsel levhada ısı iletimi	32
Şekil 6.3. Isı iletim direnci.....	33
Şekil 6.4. Isı taşınım direnci	33
Şekil 6.5. Düzlemsel bir levhada ısı geçişi	34
Şekil.6.6. Düz bir levha yüzeyinde sınır tabakanın gelişmesi.	37
Şekil 6.7. Paralel akımlı değıştircide, değıştirci alanı boyunca sıcaklık dağılımı.	38
Şekil 6.8. Ters akımlı ısı değıştircide, değıştirci alanı boyunca sıcaklık dağılımı.....	39
Şekil 6.9. Çapraz akımlı ısı değıştircide sıcaklık transferi gösterimi.....	40
Şekil 6.10. Gövde borulu bir ısı değıştircisinde, bir gövde geçişli ve ikin katları (iki, dört, vb.) boru geçişinin olması durumunda düzeltme faktörü.....	41
Şekil 6.11. Gövde borulu bir ısı değıştircisinde, iki gövde geçişi ve dördün katları (dört,sekiz, vb.) boru geçişinin olması durumunda düzeltme faktörü.....	41

Şekil 6.12. Her iki akışkanın da karışmadığı, tek geçişli, çapraz akışlı bir ısı değiştiricisinde düzeltme katsayısı.	42
Şekil 6.13. Bir akışkanın karıştığı, diğer akışkanın karışmadığı, tek geçişli, çapraz akışlı bir ısı değiştiricisinde düzeltme katsayısı.	42
Şekil 6.14. Paralel akışta etkenlik.	46
Şekil 6.15. Ters akışta etkenlik.	46
Şekil 6.16. İki akışkanın da karışmadığı çapraz akışta etkenlik.	46
Şekil 6.17. Akışkanlardan birinin karıştığı çapraz akışta etkenlik.	46
Şekil 6.18. C 'nin ε değerine etkisi.	47
Şekil 6.19. Farklı akışkanların ε değerine etkisi.	47
Şekil 6.20. Bir deneysel sistem yada sürecin genel modeli.	50
Şekil 6.21. İki faktörün etkileşimsiz olduğunu gösteren durum grafiği.	58
Şekil 6.22. İki faktör arasında zayıf etkileşim olduğunu gösteren durum grafiği.	58
Şekil 6.23. İki faktör arasında kuvvetli etkileşim olduğunu gösteren durum grafiği.	59
Şekil 7.1. Lamel rezistanslar.	60
Şekil 7.2. Egzoz emiş girişi.	60
Şekil 7.3.a. Soğutma grubu ön görünüş.	61
Şekil 7.3.b. Soğutma grubu yan görünüş.	61
Şekil 7.4.a. Alüminyum ısı değiştirici boyutları.	62
Şekil 7.4.b. Alüminyum ısı değiştirici kanal aralıkları.	62
Şekil 7.5.a. Alüminyum ısı değiştirici önden görünüş.	62
Şekil 7.5.b. Alüminyum ısı değiştirici yandan görünüş.	62
Şekil 7.6.a. Polimer ısı değiştirici boyutları.	63
Şekil 7.6.b. Polimer ısı değiştirici kanal aralıkları.	63
Şekil 7.7.a. Polimer ısı değiştirici önden görünüş.	63
Şekil 7.7.b. Polimer ısı değiştirici yandan görünüş.	63
Şekil 7.8.a. Selülozik ısı değiştirici boyutları.	64
Şekil 7.8.b. Selülozik ısı değiştirici kanal aralıkları.	64
Şekil 7.9.a. Selülozik ısı değiştirici önden görünüş.	64
Şekil 7.9.b. Selülozik ısı değiştirici yandan görünüş.	64
Şekil 7.10. Anemometre.	65

Şekil 7.11. Azel hız kontrol cihazı.	66
Şekil 7.12. Emko 3710 – Dijital Termostat.	66
Şekil 7.13. EVKB 21 – Dijital Termostat.	66
Şekil 7.14. Deney Düzenəğinin şematik olarak gösterimi.	67
Şekil 7.15. Deneyde kullandığımız ısı geri kazanım cihazı.	67
Şekil 8.1. Alüminyum ısı değıştiricisinde Tcg 0 °C iken farklı hava hızlarında, değışen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen taze hava çıkış sıcaklıkları.	69
Şekil 8.2. Polimer ısı değıştiricisinde Tcg 0 °C iken farklı hava hızlarında, değışen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen taze hava çıkış sıcaklıkları.	69
Şekil 8.3. Selülozik ısı değıştiricisinde Tcg 0 °C iken farklı hava hızlarında, değışen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen taze hava çıkış sıcaklıkları.	69
Şekil 8.4. Alüminyum ısı değıştiricisinde Tcg 5 °C iken farklı hava hızlarında, değışen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen taze hava çıkış sıcaklıkları.	70
Şekil 8.5. Polimer ısı değıştiricisinde Tcg 5 °C iken farklı hava hızlarında, değışen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen taze hava çıkış sıcaklıkları.	70
Şekil 8.6. Selülozik ısı değıştiricisinde Tcg 5 °C iken farklı hava hızlarında, değışen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen taze hava çıkış sıcaklıkları.	70
Şekil 8.7. Alüminyum ısı değıştiricisinde Tcg 10 °C iken farklı hava hızlarında, değışen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen taze hava çıkış sıcaklıkları.	71
Şekil 8.8. Polimer ısı değıştiricisinde Tcg 10 °C iken farklı hava hızlarında, değışen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen taze hava çıkış sıcaklıkları.	71
Şekil 8.9. Selülozik ısı değıştiricisinde Tcg 10 °C iken farklı hava hızlarında, değışen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen taze hava çıkış sıcaklıkları.	71
Şekil 8.10. Alüminyum değıştiricide farklı soğuk hava giriş sıcaklık ve hızlarında, değışen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen soğuk hava çıkış sıcaklıkları. ..	72
Şekil 8.11. Polimer değıştiricide farklı soğuk hava giriş sıcaklık ve hızlarında, değışen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen soğuk hava çıkış sıcaklıkları. ..	72
Şekil 8.12. Selülozik değıştiricide farklı soğuk hava giriş sıcaklık ve hızlarında, değışen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen soğuk hava çıkış sıcaklıkları. ...	72
Şekil 8.13. Alüminyum ısı değıştiricisinde farklı taze hava giriş sıcaklık ve hava hızlarında, ortalama logaritmik sıcaklık farkları.	74

Şekil 8.14. Polimer ısı değıştiricisinde farklı taze hava giriş sıcaklık ve hava hızlarında, ortalama logaritmik sıcaklık farkları.	74
Şekil 8.15. Selülozik ısı değıştiricisinde farklı taze hava giriş sıcaklık ve hava hızlarında, ortalama logaritmik sıcaklık farkları.	75
Şekil 8.16. Alüminyum ısı değıştiricisinde hava hızı 1,2 m/s iken farklı taze hava giriş sıcaklıklarında, etkenlik değeri.	76
Şekil 8.17. Polimer ısı değıştiricisinde hava hızı 1,2 m/s iken farklı taze hava giriş sıcaklıklarında, etkenlik değeri.	76
Şekil 8.18. Selülozik ısı değıştiricisinde hava hızı 1,2 m/s iken farklı taze hava giriş sıcaklıklarında, etkenlik değeri.	76
Şekil 8.19. Alüminyum ısı değıştiricisinde hava hızı 1,6 m/s iken farklı taze hava giriş sıcaklıklarında, etkenlik değeri.	77
Şekil 8.20. Polimer ısı değıştiricisinde hava hızı 1,6 m/s iken farklı taze hava giriş sıcaklıklarında, etkenlik değeri.	77
Şekil 8.21. Selülozik ısı değıştiricisinde hava hızı 1,6 m/s iken farklı taze hava giriş sıcaklıklarında, etkenlik değeri.	77
Şekil 8.22. Alüminyum ısı değıştiricisinde hava hızı 2 m/s iken farklı taze hava giriş sıcaklıklarında, etkenlik değeri.	78
Şekil 8.23. Polimer ısı değıştiricisinde hava hızı 2 m/s iken farklı taze hava giriş sıcaklıklarında, etkenlik değeri.	78
Şekil 8.24. Selülozik ısı değıştiricisinde hava hızı 2 m/s iken farklı taze hava giriş sıcaklıklarında, gelen etkenlik değeri.	78
Şekil 8.25. Alüminyum ısı değıştirici deney sonuçlarını etkileyen faktörlerin etki derecelerine ait normal olasılık grafiğı.	86
Şekil 8.26. Alüminyum ısı değıştirici deney sonuçlarını etkileyen faktörlerin etki derecelerine ait pareto grafiğı.	86
Şekil 8.27. Alüminyum ısı değıştiricisinde girdi değışkenlerinin etkenlik değeri üzerindeki etkilerinin minitab programıyla gösterimi.	87
Şekil 8.28. Polimer ısı değıştirici deney sonuçlarını etkileyen faktörlerin etki derecelerine ait normal olasılık grafiğı.	88

Şekil 8.29. Polimer ısı değıştirici deney sonuçlarını etkileyen faktörlerin etki derecelerine ait pareto grafiğı.	88
Şekil 8.30. Polimer ısı değıştiricisinde girdi değışkenlerinin etkenlik değeri üzerindeki etkilerinin minitab programıyla gösterimi.	89
Şekil 8.31. Selülozik ısı değıştirici deney sonuçlarını etkileyen faktörlerin etki derecelerine ait normal olasılık grafiğı.	90
Şekil 8.32. Selülozik ısı değıştirici deney sonuçlarını etkileyen faktörlerin etki derecelerine ait pareto grafiğı.	90
Şekil 8.33. Selülozik ısı değıştiricisinde girdi değışkenlerinin etkenlik değeri üzerindeki etkilerinin minitab programıyla gösterimi.	91
Şekil 8.34. Alüminyum, polimer ve selülozik ısı değıştiricisinde girdi değışkenlerinin etkenlik değeri üzerindeki etkilerinin karşılaştırmalı olarak gösterimi.	92
Şekil 8.35. Alüminyum ısı değıştiricisinde girdi değışkenlerinin birbiriyle etkileşimlerinin etkenlik değeri üzerindeki etkilerinin minitab programıyla gösterimi.	93
Şekil 8.36. Polimer ısı değıştiricisinde girdi değışkenlerinin birbiriyle etkileşimlerinin etkenlik değeri üzerindeki etkilerinin minitab programıyla gösterimi.	93
Şekil 8.37. Selülozik ısı değıştiricisinde girdi değışkenlerinin birbiriyle etkileşimlerinin etkenlik değeri üzerindeki etkilerinin minitab programıyla gösterimi.	94
Şekil 8.38. Deney sonuçlarının Visual Basic yazılımıyla gösterildiğı arayüz ekranı.	95

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Isı transfer yüzey alanı
D_h	: Hidrolik çap
C	: Isıl kapasite debisi
C_p	: Özgül ısı
C_{ph}	: Sıcak akışkanın özgül ısısı
C_{pc}	: Soğuk akışkanın özgül ısısı
F	: Düzeltme faktörü
h	: Isı taşınım katsayısı
h_g	: Akışkan giriş entalpisi
$h_{\dot{c}}$	: Akışkan çıkış entalpisi
h_{hg}	: Sıcak akışkanın giriş entalpisi
$h_{c\dot{c}}$	: Soğuk akışkanın çıkış entalpisi
I	: Akım
k	: Isı iletim katsayısı
L	: Levha kalınlığı
$\dot{m}$	: Akışkanın kütleli debisi
$\dot{m}_h$	: Sıcak akışkanın kütleli debisi
$\dot{m}_c$	: Soğuk akışkanın kütleli debisi
Nu	: Nusselt sayısı
NTU	: Geçiş transfer sayısı
ΔV	: Voltaj farkı
Q	: Isı değıştiricide geçen ısı miktarı
P	: Islak çevre
PP	: Polipropilen
Re	: Reynolds sayısı
Re_{kr}	: Kritik reynolds sayısı
R_e	: Elektrik direnci
R_i	: Isı iletim direnci
R_t	: Isı taşınım direnci

S/N : Sinyal gürültü oranı

ΔT_m : Logaritmik ortalama sıcaklık farkı

T_g : Giriş sıcaklığı

T_{ϕ} : Çıkış sıcaklığı

T_{hg} : Sıcak akışkanın giriş sıcaklığı

$T_{h\phi}$: Sıcak akışkanın çıkış sıcaklığı

T_{cg} : Soğuk akışkanın giriş sıcaklığı

$T_{c\phi}$: Soğuk akışkanın çıkış sıcaklığı

U : Toplam ısı transfer katsayısı

UA : Isıl geçirgenlik

V_0 : Akışkanın ortalama hızı

ρ : Akışkanın yoğunluğu

ε : Etkenlik

μ : Dinamik viskozite

ϑ : Kinematik viskozite

1. GİRİŞ

Enerji, en çok ihtiyaç duyduğumuz kaynaklardan biridir. Özellikle yirminci yüzyılın dördüncü çeyreğinde, ülkelerin sosyal ve ekonomik yaşantısında önemli bir faktör haline gelmiştir. Birçok sektörde, atılan her yeni adım ve enerji teknolojisi alanındaki her yeni gelişme, hayatı her geçen gün daha geniş ölçüde etkilemekte ve daha çok enerji kullanımına itmektedir.

Enerji temininde hedef kaliteli, güvenilir ve ekonomik enerji üretimi olmalıdır. Burada sürdürülebilirlik kavramı ön plana çıkmaktadır. Günümüz dünyasının yaşam kalitesi yükseltilirken geleceğin dünyasına da aynı yaşam kalitesinin sunulması gerekmektedir. Sürdürülebilir enerji üretimi, ülkelerin enerji politikalarındaki temel amaç olmalıdır. Bu noktadaki basamaklardan biri de atık ısının geri kazanılması yönündeki çalışmalardır.

Üretimin olduğu yerde enerjinin olmaması mümkün değildir. İşletmelerde kullanılan enerjiden açığa çıkan ısı çoğu zaman atmosfere salınmaktadır. Sanayinin bir çok alanında kullanılan sıvı ve gaz, proses tamamladıktan sonra yüksek miktarda enerji barındırdığı halde atıl duruma gelmektedir. Özellikle endüstriyel sistemlerden çıkan atıklar, yüksek sıcaklıkta olup büyük bir ısı potansiyeline sahiptir. Bu kayıpları önlemek için atık ısının en aza indirilmesi ve kalan kısmının mümkün olduğunca değerlendirilmesi, geri kazanılması gerekmektedir. Atık ısının uygun sistemlerde kullanılmasıyla tasarlanacak bir kombine sistemle aynı anda hem ısıtma hem de soğutma uygulamalarının yapılması mümkündür. Sistemden atmosfere atılan ısıdan faydalanılarak yapılan tasarruf sayesinde aynı miktarda enerji girdisinden daha fazla verim alınarak ekonomiye katkı yapılacaktır.

Verim artışına yönelik alternatif teknolojiler kullanmak, yeni bir kaynak bulmaya göre daha ekonomiktir. Bu yaklaşım, atılan ya da işlem artığı olan ısı enerjisinin yeniden kazanılmasına yönelik olarak geliştirilmiş alternatif teknolojileri sıklıkla gündeme getirmektedir. Bunları önemli oranda sanayiye tekrar kazandırmak için ısı boruları, ısı değiştiricileri, atık ısı kazanları gibi sistemlerden yararlanılır. Bu yöntemler ekonomik katkı sağlamasının yanında çevre kirliliğini azaltmakta ve ekolojik dengenin bozulmasını engelleyerek büyük kazanç getirmektedir.

Atık ısıdan yararlanma yöntemleri; atık ısıdan doğrudan ve dolaylı yararlanma olarak iki ana başlıkta incelenebilir. Doğrudan yararlanma metodunda herhangi bir ısı değiştirici cihaz kullanmadan atık ısıdan direkt olarak faydalanılır. Örneğin bir üretim prosesinden çıkan atık baca gazları doğrudan yanma havası ile karıştırılarak, yanma havasının ön ısıtılmasında kullanılabilir veya bu baca gazlarından doğrudan proses hammaddesinin kurutulmasında yararlanılabilir. Bu sistem, diğer dolaylı atık ısı sistemlerine göre hem oldukça ucuz hem de uygulaması daha kolaydır. Buna rağmen atık ısının bünyesinde genellikle kükürt, rutubet ve bazı zararlı gazlar barındırması bu sistemin birçok yerde kullanımı engeller. Örneğin atık baca gazlarıyla proses hammaddesini kurutmaya çalıştığımızda, kurutma işlemi esnasında baca gazları çığ noktası sıcaklığı altına düşerse asit meydana gelerek ürünlerin kalitesini olumsuz yönde etkileyecek, yüzeylerde korozyon oluşumuna sebep olacaktır. İşte bu gibi durumlarda atık ısının doğrudan kullanımı mümkün olmaz ve atık ısıdan dolaylı yararlanma yöntemi tercih edilir. Isı alışverişini gerçekleştirmek için ise ısı değiştiricileri kullanılabilir. Isı değiştiricileri sayesinde atık ısının doğrudan proses hammaddesine teması önlenerek, atık ısıdan yararlanma imkanı sağlanabilmektedir. Örneğin kirli baca gazları içerisindeki atık ısı, sıcak su veya sıcak hava eldesinde, kazan besleme suyunun ısıtılmasında, atık ısı kazanları kullanımıyla buhar üretiminde kullanılabilir. (Tarakçıoğlu, 2006)

Bu çalışma Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Osmaneli Meslek Yüksek Okulu iklimlendirme ve soğutma laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarında atık ısının geri kazanılması amacıyla bir cihaz tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu cihazda atık ısı geri kazanımı; plakalı ısı değiştiricisi vasıtasıyla sağlanmıştır. Üç farklı malzemeden imal edilmiş ısı değiştiricileri temin edilerek ısı performans değerleri karşılaştırılmıştır. Hava hızı, taze hava ve egzoz havası giriş sıcaklıkları çalışma parametreleri olarak belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucu taze hava ve egzoz havası çıkış sıcaklıkları elde edilmiş, bu değerler kullanılarak ısı hesaplamalar yapılmıştır. Sonuç olarak ısı performansın optimum seviyede olması için gerekli değiştirici türü ve parametre seçimi ortaya konmuştur.

2. ATIK ISI GERİ KAZANIM SİSTEMLERİ

Endüstride yüksek ısı üreten ve tüketen birçok üniteye prosesin özelliğine göre mutlaka dışarı atılması gereken ve hiçbir yöntemle önüne geçilemeyen bir enerji oluşur. Bu şekilde birçok ülkede endüstriyel enerji tüketiminin yaklaşık %26'sı sıcak gazlar ve sıvılar şeklinde dış ortama salınmaktadır. Bu sıcak sıvı ve sıcak gaz atıkları önemli miktarda enerji potansiyeli taşımakta olup, ciddi enerji kayıpları oluşturmaktadır. Sanayide atık sıcak sıvı ve gaz akışkanlardan farklı ısı geri kazanım uygulamaları yapılmaktadır. Artık günümüzde farklı ısı geri kazanım teknikleri ve uygulamaları ile bu kayıp enerjinin bir kısmı geri kazanılabilmektedir. (Koçlu, 2011)

Taze havanın ortama verilmeden önce istenilen bir sıcaklığa kadar ısıtılması veya soğutulması gerekmektedir. Isı geri kazanımında mantık, mahalden egzoz edilen havanın kullanımı yolu ile kış şartlarında taze havanın ısıtıcı bataryaya ulaşmadan önce bir miktar ısıtılması veya yaz şartlarında taze havanın soğutucu bataryaya ulaşmadan önce bir miktar soğutulması şeklindedir. İç hava ve dış hava şartları arasındaki farkların daha büyük olduğu yerlerde ve zamanlarda daha fazla kazanç elde edilmektedir. Atık ısının geri kazanımında çeşitli sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemler temel olarak sudan havaya ısı geri kazanım sistemleri ve havadan havaya ısı geri kazanım sistemleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. (Çimen, 2005)

2.1. Sudan Havaya Isı Geri Kazanım Sistemleri

Birisi egzoz havasına, birisi de taze havaya yerleştirilen iki adet batarya, bataryalar arası su sirkülasyonunu sağlayan pompa ve boru bağlantılarından oluşur. Egzoz havası taşıdığı enerjinin bir kısmını önüne yerleştirilmiş olan bataryada dolaşan akışkana (genelde su ve glikol karışımı kullanılır, glikolün amacı sistemin kış şartlarında çalışırken don riskine karşı korunmasıdır) bırakır. Pompa vasıtası ile dolaşımı sağlanan akışkan taze hava önüne yerleştirilmiş olan diğer bataryadan geçerken egzoz havasından almış olduğu enerjiyi taze havaya bırakır. Sistem bu şekilde çalışır. Bu sistemlerde ısı geri kazanım değerleri diğerlerine oranla daha düşüktür. Bu değerler anlık kazançlarda %50-55 mertebelerindedir. Buna karşın egzoz havası ile taze havanın hiçbir şekilde karışma ihtimali olmadan uygulanabilir olması bu sistemleri %100 taze havanın önemli olduğu projelerde kullanımını getirmektedir. (Çimen, 2005)

2.2. Havadan Havaya Isı Geri Kazanım Sistemleri

Havadan havaya ısı geri kazanımı; yüksek sıcaklık ve nemlilikteki bir hava akımında bulunan enerji ve/veya nemin düşük sıcaklık ve/veya nemlilikteki bir başka hava akımına doğru geri kazanılması sürecidir. Bu süreç, iç ortam kalitesini kabul edilebilir bir düzeyde ve konforda tutar. Isı geri kazanımlı havalandırma sistemleri ortam içine, egzoz havasından aktardıkları ısı ile sürekli taze hava verirler. Enerji, ya duyulur ısı (sadece sıcaklık) ya da gizli ısı (nem) ya da bunların her ikisinden ve birden çok kaynaktan geri kazanılabilir. (Owen, 2007)

Havadan havaya ısı geri kazanım sistemleri uygulamalarına göre süreçten sürece, süreçten konfora ve konfordan konfora olmak üzere üç sınıfta toplanabilir. Kurutucular ve ocaklarda, süreçten sürece bir uygulama söz konusudur. Isı egzoz havasından alınır ve besleme havasına aktarılır. Dökümhane, kâğıt hamuru ve kâğıt fabrikaları gibi ısınan havanın egzoz edildiği işletmelerde süreçten konfora bir uygulama mevcuttur. Kışın procesten çıkan ısı tutularak ortamın ısıtılmasında kullanılan besleme havasına transfer edilir. Süreçten sürece uygulamalarda tam bir enerji kazanımı istenirken, süreçten konfora uygulamalarda besleme havasını aşırı ısıtmamak için özellikle ılık havalarda geri kazanım oranının azaltılması gerekebilir. Konutlar, yüzme havuzları, ameliyat odaları, hayvansal ve bitkisel havalandırmanın yapıldığı işletmelerde konfordan konfora uygulaması mevcuttur. Havalandırmada kullanılan besleme havası ile egzoz hava akımları arasında ısı alışverişi gerçekleştirilerek yazın entalpinin düşürülmesi, kışın ise artırılması hedeflenir. (Owen, 2007)

Havalandırma esnasında atılan ısı enerjisinden yeniden yararlanma yöntemlerinin esasını daha çok havadan havaya ısı değiştiricileri kullanılarak, atılan kirli havadaki ısı enerjisinin geri kazanılması oluşturmaktadır. Birçok sistemde ısı taşıyıcı olarak hizmet eden kirli havaya bağlanmış olan bu ısı enerjisi, klasik havalandırıcılar vasıtasıyla kapalı ortamlardan dış atmosfere atılmaktadır. Oysa kış aylarında içeriye giren soğuk havaya, atılan kirli havadaki ısı enerjisi, havadan havaya ısı değiştiricileri kullanılarak transfer edilebilir ve geri kazanılabilir niteliktedir. Havadan havaya ısı geri kazanımı plaka tipi ısı geri kazanım sistemleri ya da tekerlek tipi ısı geri kazanım sistemleri kullanılarak gerçekleştirilebilir.

2.2.1. Plaka tipi ısı geri kazanım sistemleri

Plaka tipi sistemler ısı geri kazanım amacı ile en çok kullanılan sistemlerdir. Adından da anlaşılacağı üzere ısı alışverişinde herhangi bir aracı akışkan kullanmadan transfer egzoz havasından taze havaya direkt olarak sağlanır. Ünite ısı iletim katsayısı yüksek malzemeden (alüminyum gibi) imal edilmiş plakalardan oluşur. Plakaların bir yüzeyinden egzoz havası geçerken diğer yüzeyden taze hava geçirilir ve ısı transferi sağlanır. Ünitelerin yapısı gereği taze hava ve egzoz havası birbirine karışmaz. Anlık ısı geri kazanım yüzdeleri %70 değerine kadar ulaşabilir. Bu anlamda sudan havaya ısı geri kazanım sistemlerine oranla daha başarılıdır. Plaka malzemesinin nem çekme özelliği olan bir malzemeden imal edilmesi yolu ile toplam ısı transferi sağlanabilir. Aksi taktirde sadece duyulur ısı transferi yapılır. (Çimen, 2005)

2.2.2. Tekerlek tipi ısı geri kazanım sistemleri

Bu alanda kullanılan en verimli ısı geri kazanım sistemleridir. Klima santrali içerisine yerleştirilen ünite dairesel kesit üzerine hava geçişine müsaade edebilecek şekilde dikine yerleştirilmiş sık metal plakalardan oluşur. Dairenin bir yarısından egzoz havası geçerken diğer yarısından taze hava geçer ve bu esnada daire bir elektrik motoru ve kayış kasnak sistemi vasıtası ile çok düşük devirlerde döndürülür. Egzoz havası ile ısınan (yaz şartlarında soğuyan) hava ünitenin döner halde olması sayesinde bir süre sonra taze hava ile karşılaşır ve üzerindeki enerjiyi taze hava tarafında bırakır. Plakaların arasından egzoz havası geçerken taze hava tarafına dönmesi nedeni ile plakalar arasında kalan egzoz havası taze havaya karışır. Ayrıca ünitenin döner konumda kalabilmesi için cihazla ünite arasında bırakılmak zorunda olan dar aralıklardan hava geçişi yani hava karışımı ayrıca mümkündür. Dolayısıyla %100 taze havanın önemli olduğu uygulamalar için uygun değildir. Bu geçişlerin minimuma indirilmesi için alınması gerekli tedbirler vardır. Bunlardan en önemlisi egzoz ve taze hava tarafları arasındaki basınç farklılıklarının çok yüksek olmaması gereklidir. Basınç farkı yükseldikçe by-pass miktarı artacaktır. Tekerlek tipi ısı geri kazanım ünitelerinde verimler rahatlıkla %75 değerlerine ulaşabilir. Don riski havanın direk teması olması nedeni ile plaka tipi ısı değiştiricilere oranla çok düşüktür. (Çimen, 2005)

3. ISI DEĞİŞTİRİCİLERİ

Isı değıştircileri, ısıl temas halinde bulunan farklı sıcaklıktaki iki veya daha fazla akışkan arasında ısı geçişinin sağlandığı cihazlardır. Değıştircinin görevi bir akışkanı soğutmak ya da diğerk akışkanı ısıtmaktır. Ya da aynı anda her ikisini birden gerçekleştirmektedir. İklimlendirme sistemlerinde, atık su tesislerinde, kâğıt üretiminde, termik santrallerde, kimyasal işlemlerde, atık ısının geri kazanılmasında ve diğerk pek çok endüstride yaygın kullanım alanına sahiptir. (Danışman, 2010)

Isı değıştircileri endüstrinin en önemli ısı tekniğı cihazları olup bunlar buharlaştırıcı, yoğuşturucu, ısıtıcı, soğutucu gibi değışik adlar altında kimya, petrokimya endüstrilerinin, soğutma, ısıtma ve iklimlendirme tesislerinin hemen her kademesinde değışik tip ve kapasitelerde görülebilir. Makine ve kimya mühendisliğı eğitimi açısından bakıldığında ısı değıştircileri bu mühendislik kollarının temel konuları olan, malzeme, mukavemet, termodinamik ve ısı geçişi bilim dallarının hepsini birden aynı anda içeren bu bilim dalına ait çok iyi bir uygulamadır. Anlaşılabileceğı gibi ısı değıştirciler günlük hayatımızda her zaman kullanılan bir yapıdır. Uygulama alanlarına örnekler olmak üzere, bir su borulu buhar kazanında, bir mekanik soğutma devresinde, bir iklimlendirme tesisatının çeşitli kademelerinde, bilgisayar işlemcisinin soğutulmasında kullanılabilen ısı değıştirici tipleri vardır. (Kılıç, 2008)

3.1. Isı Değıştircilerinin Sınıflandırılması

Isı değıştircileri, kullanım amacına, ısı geçiş şekline, akış türüne, akışkan sayısına veya akışkanların faz değışimlerine göre, değışik konstrüksiyonlarda, kapasitelerde ve boyutlarda Çizelge 3.1'deki gibi sınıflanabilir. Mühendislik uygulamalarında çok değışik tiplerde bulunabilen ısı değıştircilerinin, kullanıldığı alana göre dizaynı ve optimizasyonu büyük önem taşımaktadır. Isı değıştircilerinin dizaynı ve optimizasyonunda pek çok parametre etkilidir. Isı değıştircinin konstrüksiyonu, performans parametreleri (sıcaklıklar, debiler, basınç düşümleri), akışkanların tipleri, fazları, ekonomik faktörleri, ısı geçiş mekanizması, ısı değıştircilerinin tasarımı ve verimli bir şekilde kullanılmasında etkilidir. (Yakut, 2007)

Çizelge 3.1. Isı değiştiricilerinin sınıflandırılması. (Genceli, 2005)

Isı Değişim Şekline Göre Sınıflama a) Akışkanların doğrudan temaslı olduğu ısı değiştiricileri b) Akışkanlar arasında doğrudan temasın olmadığı ısı değiştiricileri
Isı geçiş yüzeyinin ısı geçiş hacmine oranına göre sınıflama (kompaktlık) a) Kompakt olmayan ısı değiştiriciler b) Kompakt ısı değiştiriciler
Akışkan sayısına göre sınıflama a) İki akışkanlı ısı değiştiriciler b) Üç akışkanlı ısı değiştiriciler c) n adet akışkanlı ısı değiştiriciler
Isı geçişi mekanizmasına göre sınıflama a) İki tarafta da tek fazlı akış olan ısı değiştiriciler b) Bir tarafta tek fazlı, diğer tarafta çift fazlı akış olan ısı değiştiriciler c) İki tarafta da çift fazlı akış olan ısı değiştiriciler d) Taşınım ve ışıma ile ısı geçişi olan ısı değiştiriciler
Konstrüksiyon özelliklerine göre sınıflama a) Borulu ısı değiştiriciler • Düz borulu ısı değiştiriciler • Spiral borulu ısı değiştiriciler • Gövde borulu ısı değiştiriciler b) Levhalı ısı değiştiricileri • Contalı levhalı ısı değiştiricileri • Spiral levhalı ısı değiştiricileri • Lamelli ısı değiştiricileri c) Kanatlı yüzeyli ısı değiştiricileri • Levhalı kanatlı ısı değiştiriciler • Borulu kanatlı ısı değiştiriciler d) Rejeneratif ısı değiştiricileri • Sabit dolgu maddeli rejeneratörler • Döner dolgu maddeli rejeneratörler • Paket yataklı maddeli rejeneratörler e) Karıştırmalı kaplar
Akıma göre sınıflama a) Tek geçişli ısı değiştiriciler • Paralel akımlı ısı değiştiriciler • Ters akımlı ısı değiştiriciler • Çapraz akımlı ısı değiştiriciler b) Çok geçişli ısı değiştiriciler • Çapraz – ters ve çapraz – paralel akımlı ısı değiştiriciler • Çok geçişli gövde – borulu ısı değiştiriciler • n adet paralel levha geçişli ısı değiştiriciler

3.1.1. Isı değişim şekline göre sınıflama

Isı değiştiricileri, akışkanlar arasında veya katı cisimlerle bir akışkan arasında doğrudan veya dolaylı temaslı olmasına göre ikiye ayrılır.

3.1.1.1. Akışkanların doğrudan temaslı olduğu ısı değiştiricileri

Isı, doğrudan temaslı ısı değiştiricilerinde aralarında doğrudan temasın olduğu soğuk ve sıcak akışkanlar arasından iletilir. Tek sınırlama, akışkanların karıştırılmaz cinsten olmasıdır. Soğutma kuleleri, püskürtmeli ve tablalı yoğuşturucular bu tip ısı değiştiricilerine iyi birer örneklerdir.

3.1.1.2. Akışkanlar arasında doğrudan temasın olmadığı ısı değiştiricileri

Dolaylı temaslı ısı değiştiricilerinde, ısı enerjisinin bir ısı transferi yüzeyi (akışkanları ayıran bir cidar) boyunca sıcak ve soğuk akışkanlar arasından değişimi sağlanır. Isı enerjisi, ayırıcı cidar boyunca transfer edilirken soğuk ve sıcak akışkanlar aynı anda akarlar ve bu akışkanlar birbirlerine karışmazlar. (Yakut, 2007)

3.1.2. Isı geçiş yüzeyinin ısı geçiş hacmine oranına göre sınıflama (kompaktlık)

Bu sınıflama kompakt olan ve kompakt olmayan olarak ikiye ayrılır. Birim hacimde ısı geçiş yüzey alanının çok büyük değerlerde olması durumu ($>700 \text{ m}^2/\text{m}^3$), ısı değiştiricilerinin önemli ve özel diğer bir sınıfını belirler. Kompakt ısı değiştiricileri olarak adlandırılan bu tür değiştiriciler, çok kanatlı boru veya levhalardan oluşur ve genellikle, ısı tasınım katsayısının küçük ve en az bir akışkanın gaz olduğu durumlarda kullanılır. (Durmaz, 2007)

3.1.3. Akışkan sayısına göre sınıflama

Isı değiştiricileri iki, üç ve çok akışkanlı olarak sınıflandırılabilirler. Çoğunlukla ısı değiştiricileri iki akışkanlıdır.  akışkanlı ısı değiştiricileri kriyojenide geniş uygulama alanı bulduğu gibi hava ayırma sistemleri, saflaştırma, hidrojenin sıvılaştırılması, amonyak sentezi gibi kimyasal ve proses endüstrilerinde de kullanılırlar.  ve çok bileşenli ısı değiştiricilerinin tasarımı oldukça karmaşıktır. (Yakut, 2007)

3.1.4. Isı geçişi mekanizmasına göre sınıflama

İki tarafta da tek fazlı akış, bir tarafta tek fazlı diğer tarafta çift fazlı akış, iki tarafta da çift fazlı akış, taşınım ve ışınım beraber ısı geçişi olmak üzere dörde ayrılır.

3.1.4.1. İki tarafta da tek fazlı akış olan ısı değıştirciler

Isı değıştircilerinin iki tarafındaki tek fazlı akışlardaki ısı taşınımı bir pompa veya vantilatör ile tahrik edilen zorlanmış ya da yoğunluk farkının doğurduğu doğal olarak olabilir. Oda ısıtıcıları, buhar kazanları ekonomizörleri ve hava ısıtıcıları, taşıt radyatörleri ve hava soğutmalı ısı değıştircileri önemli uygulamalardır.

3.1.4.2. Bir tarafta tek fazlı, diğer tarafta çift fazlı akış olan ısı değıştirciler

Bu ısı değıştircilerinin tek taraflarında zorlanmış veya tek fazlı akış varken, diğer tarafta kaynamakta veya yoğunlaşmakta olan iki fazlı akış vardır. Bunlara ait örnekler, termik santrallerin yoğunlaştırucuları, soğutma sistemlerinin yoğunlaştırucusu veya buharlaştırıcısı ile buhar kazanları sayılabilir.

3.1.4.3. İki tarafta da çift fazlı akış olan ısı değıştirciler

Bir taraflarında buharlaşma ve diğer taraflarında yoğunlaşma işlemi olan ısı değıştircileridir. Bunlar hidrokarbonların distilasyonunda, yüksek basınçlı buhar kullanılarak alçak basınçlı buhar elde edilmesi için kullanılır.

3.1.4.4. Taşınımla ve ısınımla ısı geçisi olan ısı değıştirciler

Özellikle bir tarafında yüksek sıcaklıkta gaz olan ısı değıştircilerinde taşınım ve ısınımla ısı geçişi bir arada görülür. Yüksek sıcaklıkta dolgu maddeli rejeneratörler, fosil yakacak yakan ısıtıcılar, buhar kazanları ve bunların kızdırıcıları ile piroliz ocakları bu tip ısı değıştircilerine örnektir. (Durmaz, 2007)

3.1.5. Konstrüksiyon özelliklerine göre sınıflama

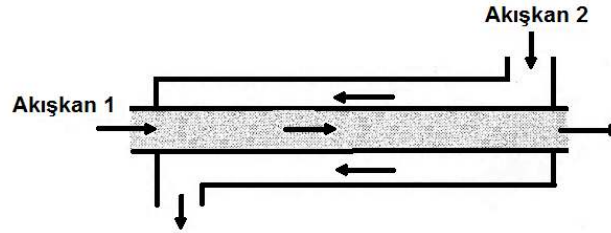
Isı değıştircileri genellikle konstrüksiyon özelliklerine Şekil 3.1’de gösterilen şekilde karakterize edilir.



Şekil 3.1. Isı değıştircilerinin konstrüksiyonları. (Yakut, 2007)

3.1.5.1. Borulu ısı değıştircileri

Bir akışkan borunun içersinden akarken, diğerk akışkan borunun dışından akar. Boru çapı, boru sayısı, boru uzunluğu, boru adımı ve boru düzenlemesi değıştirilebilir. Bu nedenle borulu ısı değıştircilerin dizaynlarında oldukça esneklik vardır. Borulu ısı değıştircileri; düz borulu, gövde borulu ve spiral borulu ısı değıştircilerinden oluşmaktadır. (Çorak, 2010)



Şekil 3.2. Borulu tip ısı değıştircisinde akış yönleri.

a) Düz borulu ısı değıştircileri

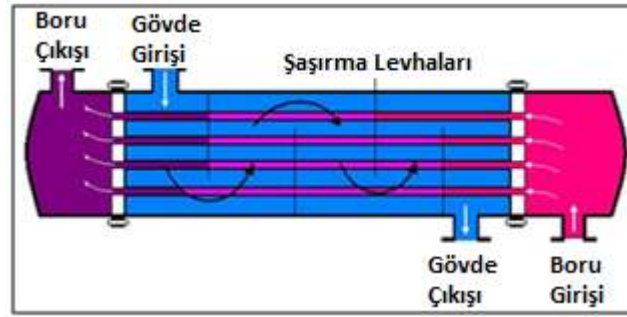
Pratikte çift borulu olanların yanı sıra, boru demetinden yapılmış çeşitlerine de rastlanır. Çift borulu olanlar, en basit ısı değıştirci tipidir. Sistem genellikle aynı eksenli iki borudan yapılır. Akışkanlardan biri içteki borudan akarken, diğerk akışkan dışarıdaki borudan akar. Akışkanların akış yönleri paralel veya ters akımlı olabilir.

b) Spiral borulu ısı değıştircileri

Bir veya daha fazla borudan yapılmış spiral ile bu spiralin dışındaki bir depodan meydana gelir. Soğutma sistemlerinde kullanılan yan eksenel kondenser ve yan eksenel evaporatör olarak da tasarlanabilir. Spiral boruların ısı transfer katsayısı, düz borulardakine göre daha yüksektir. (Yakut, 2007)

c) Gövde borulu ısı değıştircileri

Proses endüstrisinde en yaygın olarak kullanılan ısı değıştirci tipidir; yaklaşık olarak kullanılan tüm ısı değıştircilerinin % 60'ı gövde borulu ısı değıştircidir. Gövde borulu ısı değıştirci, boru eksenini gövdenin eksenine paralel olacak şekilde büyük silindirik gövde içine yerleştirilen birbirine paralel yuvarlak borulardan yapılır. Akışkanlardan birisi boruların içinden, diğerk akışkan ise gövde tarafında borulara paralel veya çapraz olarak akar. Temel elemanları; borular (veya boru demeti), gövde, iki baştaki manifold, boruların tespit edildiği ön ve arka ayna ile gövde içindeki akışı yönlendiren ve borulara destek olabilen saptırma levhaları ve destek çubuklarıdır. Şekil 3.3'te gövde borulu ısı değıştirci şematik resmi verilmiştir. (Çorak, 2010)



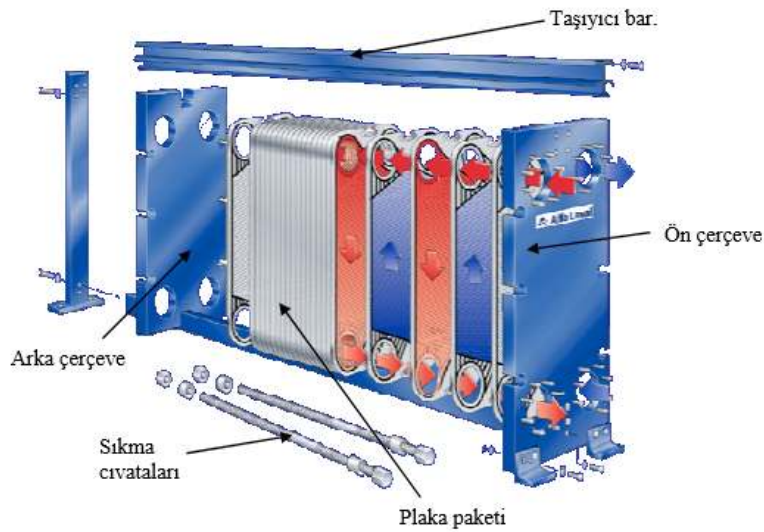
Şekil 3.3. Gövde borulu ısı değiştiricisi şematik resmi. (Incropera, 2006)

3.1.5.2. Levhalı ısı değiştiricileri

Levhalı ısı değiştiricileri, akış kanallarını oluşturan ince plakalardan yapılırlar. Plakalı ısı değiştiricileri olarak da adlandırılır. Plakalar düz veya dalgalı biçimde olabilir. Bunlar, gaz, sıvı veya iki-fazlı akımların herhangi bir kombinasyonu için ısı transfer etmek amacıyla kullanılırlar. Contalı-plakalı, spiral plakalı ve lamelli tiplerinden oluşmaktadır. (Genceli, 2005)

a) Contalı Plakalı Isı Değiştiricileri

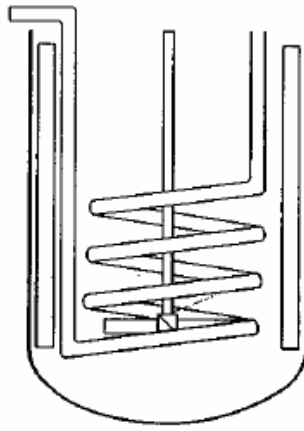
Contalı plakalı ısı değiştiricileri, ince metal plakaların bir çerçeve içerisine sıkıştırılarak paket haline getirilmesi suretiyle yapılırlar. Plakalar birleştirilip paket yapılırken uygun contalar kullanılarak akışkanların birbirine karışması ve dışarıya sızıntı yapması önlenir. Plakalar arasındaki boşluklardan, sıcak ve soğuk akışkanlar birbirlerine karışmadan akarlar. Rijitlik sağlamak, plakalar arasındaki mesafeyi sabitleştirmek ve ısı transferini iyileştirmek için plakalar dalgalı şekilde yapılırlar.



Şekil 3.4. Contalı tip plakalı ısı değiştiricisinin temel elemanları. (Danışman, 2010)

b) Spiral Plakalı Isı Değiştiriciler

Spiral plakalı ısı değiştiricileri, 150 ila 1800 mm genişliğindeki uzun ince iki metal plakanın her biri bir akışkan için olmak üzere iki spiral, paralel kanal oluşturacak şekilde spiral seklinde sarılması ile elde edilir. İki plaka arasına konulan saplamalar ile düzgün bir aralık sağlanabilir. Levhaların iki tarafı contalı kapaklar ile kapatılır. Akışkanlar birbirine ters veya paralel akacak şekilde düzenlenebilir. Temizlenmesi kolay olduğundan bu ısı değiştiricisi tortu yapabilecek akışkanlar için çok uygundur. (Genceli, 2005)



Şekil 3.5. Spiral plakalı ısı değiştiricisi. (Durmaz, 2007)

c) Lamelli Isı Değiştiricileri

Gövde içine yerleştirilmiş borulardan (lameller) yapılmış bir demetin yerleştirilmesi ile elde edilir. Lameller genellikle nokta veya elektrikli dikiş kaynağı ile birbirine tutturulur. Akışkanlardan birisi lamelli boruların içinden akarken diğer akışkan lamellerin arasından akar. Gövde içinde şaşırtma levhaları yoktur. Akış tek geçişli olup aynı yönlü veya karşıt akışlı düzenleme kullanılabilir. (Kılıç, 2008)

3.1.5.3. Kanatlı yüzeyli ısı değiştiricileri

Ana ısı transfer yüzeyinde (boru veya levha) kanatların veya diğer ilave çıkıntıların ısı transfer yüzeyini artırmak amacıyla kullanıldığı ısı değiştiricileridir. Gaz tarafındaki ısı transfer katsayısı, sıvı tarafındakinden daha düşük olduğu için kanatlı ısı transfer yüzeyleri genelde gaz tarafında kullanılırlar. Kanatların profillerine göre levhalı kanatlı ısı değiştiricileri ve borulu kanatlı ısı değiştiricileri olarak ikiye ayrılır.

a) Levhalı Kanatlı Isı Değiştiricileri

Genelde düşük sıcaklık tesislerinde ve akışkanlar arası sıcaklık farkının (1°C 'den 5°C 'ye kadar) düşük olduğu yerlerde kullanılırlar. Sahip oldukları akışa göre çeşitli şekillerde (paralel, ters veya çapraz akış) düzenlenebilirler. Kanatlar, paralel levhalar halindeki yüzeyler arasına mekanik olarak preslenerek, lehimlenerek veya kaynak ile tutturulur. Kanatlar düz, delikli, tırtıklı ve zikzak şeklinde olabilir.

b) Borulu Kanatlı Isı Değiştiricileri

Bu ısı değiştiricileri bir tarafında gaz, diğer tarafında sıvı bulunduğu durumlarda kullanılırlar. Borulu-kanatlı ısı değiştiricisi, kanatların boru dizilerinin dış tarafına sabitleştirildiği bir yapıdır. Boru içinde kanatların kullanıldığı yerler soğutma sistemlerindeki kondenserler ve evaporatörlerdir. Kanatlar boru cidarına döküm, kaynak, lehim veya sıkı geçme tekniği ile tutturulabilirler. (Yakut, 2007)

3.1.5.4. Rejeneratif ısı değiştiricileri

Bu ısı değiştiricilerinde ısı önce sıcak akışkan tarafından bir ortamda depo edilir, daha sonra sıcak akışkana verilir. Isı geçişi dolaylıdır. Bu ısı değiştiricilerine “Rejeneratörler” de denilmektedir. Rejeneratör içinde ısının depolandığı elemanlara ise dolgu maddesi veya matris adı verilir. Pratikte dönen ve sabit dolgu maddeli ile paket yataklı olmak üzere üç tip rejeneratör vardır. (Durmaz, 2007)

a) Sabit Dolgu Maddeli Rejeneratörler

Bu ısı değiştiricisinde gaz akış yönü sabit dolgu maddesine ve sabit dolgu maddesinden başka yöne saptırılır. Sürekli bir çalışma sağlamak için aynı tipten en az iki rejeneratöre gerek vardır. Yüksek fırınlarda, cam fabrikalarında ve düşük sıcaklık işletmelerinde havanın ayrılmasında kullanılırlar.

b) Döner Dolgu Maddeli Rejeneratörler

Bunlar disk ve silindir (kasnak) tipi olmak üzere iki grupta toplanabilir. Disk tipi rejeneratörlerde, ısı transfer yüzeyi disk şeklindedir ve akış eksenel yöndedir. Kasnak tipinde ise dolgu maddesi içi boş silindir şeklinde olup, akış radyal yöndedir. Gaz türbinleri ve taşıtlarda kullanılabilirler.

c) Paket Yataklı Maddeli Rejeneratörler

Paket yataklı rejeneratörlerin konstrüksiyonları çok basit olmalarına rağmen basınç kayıpları fazladır.

3.1.5.5. Karıştırmalı kaplar

Karıştırmalı kaplar, özellikle aralıklı çalışan ısıtma ve soğutma işlemlerinde çok kullanılan cihazlardır. Karıştırıcı kaplar içindeki akışkanlar, ya dış yüzeyinden ceket tipi ya da kap içine yerleştirilen serpantinlerle ısıtabilir veya soğutabilirler. (Yakut, 2007)

3.1.6. Akıma göre sınıflama

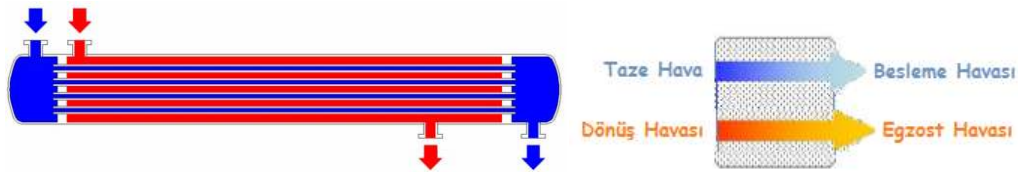
Isı değiştiricilerinde akışkanın değişik şekillerde düzenlenmesi ortalama logaritmik sıcaklık farkına, etkenliğe ve ısıl gerilmelere çok etki eder. Akış şekline göre sınıflandırma tek geçişli ve çok geçişli olarak iki ana grupta toplanabilir. (Yakut, 2007)

3.1.6.1. Tek geçişli ısı değiştiriciler

İki akışkanın ısı değiştirici içinde birbirine göre sadece bir kere karşılaştığı tiplerdir. Paralel, ters ve çapraz akımlı olmak üzere üç grupta incelenebilir.

a) Paralel akımlı ısı değiştiricileri

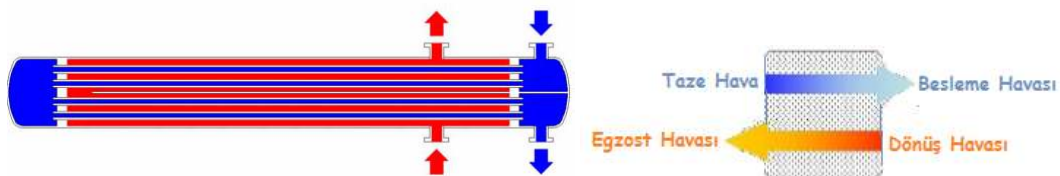
Bu akış düzenlemesinde ısı değiştirici içindeki iki akışkan değiştiricinin aynı tarafından girip, birbirlerine paralel olarak akarlar ve değiştiricinin diğer tarafından çıkarlar. ısı gerilmelerin istenmediği durumlarda tercih edilir.



Şekil 3.6. Paralel akış düzeni.

b) Ters akımlı ısı değiştiricileri

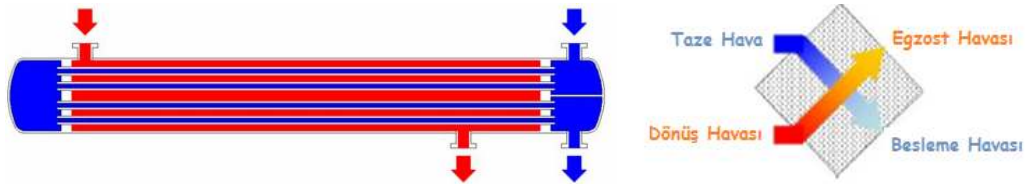
Bu akış tipinde, ısı değiştirici içindeki akışkanlar birbirlerine göre aksel olarak paralel, fakat ters olarak akarlar. Plaka yüzeylerindeki hava akış yönleri ve daha uzun akış mesafeleri sonucu, çapraz akışlılara oranla daha yüksek verimlidirler. Ters akımlı ısı değiştiricilerinde ortalama logaritmik sıcaklık farkı ve etkenlik, diğer bütün akış düzenlemelerine göre daha büyüktür.



Şekil 3.7. Ters akış düzeni.

c) Çapraz akımlı ısı değıştircileri

Bu düzenlemede, ısı değıştirci içindeki akışkanlar birbirlerine göre dik olarak akarlar. Yapılan konstrüksiyona göre, kanatlar veya şaşırtma levhaları yardımıyla, akışkanlar değıştirci içinde ilerlerken kendi kendisi ile karışabilir veya karışmayabilir. Akışkan değıştirci içinde bireysel kanallar (veya borular) içinde akıyorsa ve bitişik kanal içindeki akışkan ile karışmıyorsa, bu akışkana karışmayan adı verilir. Ters durumda ise karışan akışkan adı verilir. (Seber, 2008)



Şekil 3.8. Çapraz akış düzeni.

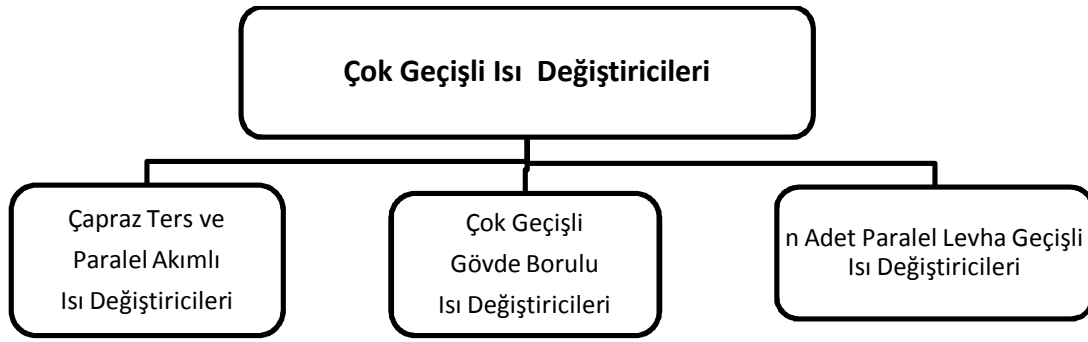
Isı geçişi bakımından çapraz akışlı ısı değıştircilerinin etkinliği paralel akışlı ve ters akışlı ısı değıştircilerinin etkinliklerinin arasındadır. İmalat kolaylığı nedeniyle pratikte kompakt ısı değıştircilerinin büyük çoğunluğu çapraz akışlı olarak yapılır. (Çeteci, 1999)

Çapraz akımlı ısı değıştircileri, ters akımlılara oranla daha düşük verimlilik ve etkinlik sağlamalarına karşılık, daha düşük hava dirençleri ile avantaj sağlarlar. Geniş plaka aralıkları ile daha yüksek hava hızlarında çalıştırılabilirler ve ters akışlılara kıyasla çok daha yüksek hava debilerini desteklerler. Sürtünme yüzeyinin daha kısa oluşu suyun plaka yüzeyinden hızlı boşaltılabilmesini sağladığından buzlanma riski azalır. Ters akımlılara oranla çok daha fazla kullanım çeşitliliği sağlaması ve imalat kolaylığı nedeniyle proses uygulamalarında da tercih edilirler. (İmmak, 2013)

3.1.6.2. Çok geçişli ısı değıştirciler

Tek geçiş halindeki paralel, ters ve çapraz üç esas geçiş işlemleri, ısı değıştirci içinde değişik şekillerde art arda seri halde düzenlenerek, çok geçişli ısı değıştirci tipleri elde edilebilir. Çok geçişli ısı değıştircilerin en büyük üstünlüğü, değıştircinin ortalama logaritmik sıcaklık farkını ve etkinliğini artırarak, bu değerleri tek geçişli ters akımlı düzenlemeye yaklaştırmasıdır. Isı değıştircilerinde geçiş sayısı ne kadar fazla ise, ters akımlı düzenlemeye yaklaşım o kadar iyidir.

Çok geçişli ısı değıştircileri, kanatlı yüzeyli, gövde borulu ve levhalı tiplerde değişik şekillerde uygulama alanı bulur. (Şekil 3.9)



Şekil 3.9. Çok geçişli ısı değiştiricileri. (Yakut, 2007)

a) Çapraz-ters ve çapraz-paralel akımlı düzenlemeler

Bu düzenlemeler genellikle kanatlı yüzeyli ısı değiştiricilerinde tercih edilir. İki veya daha fazla sayıda çapraz geçiş arka, arkaya ters veya paralel akımlı olarak seri halde bağlanır. Isı değiştirici etkenliği ve ortalama logaritmik sıcaklık farkı, geçiş sayısına ve her bir geçişteki akışkanların karışıp karışmadığına bağlıdır. Her iki durumda da geçiş sayısı artırıldıkça sistemin etkenliği, tek geçişli ters veya paralel akımlı düzenlemelere yaklaşabilir.

b) Çok geçişli gövde borulu ısı değiştiricileri

Gövde akışkanının karıştırıldığı, paralel-ters, bölünmüş akımlı, ayırık akımlı düzenlemeler pratikte en çok kullanılan tiplerdir. TEMA (Turbular Exchanger Manufacturers Association) tarafından yapılan düzenlemelerdir. Boru sayısı arttıkça sistemin etkenliği, iki akışkanın da karıştığı çapraz akımlı ısı değiştiricisine yaklaşmaktadır.

c) n Paralel levha geçişli düzenlemeler

Levha tipi ısı değiştiricilerinde, levhaların çeşitli şekillerde düzenlenmesi ile çok geçişli akımlar elde edilebilir. Levha tipi ısı değiştiricilerinde conta yeri değiştirilerek bu düzenlemeler kolayca elde edilebilir. Borulara ait bazı örnekler, Şekil 3.9'da görülmektedir. (Seber, 2008)

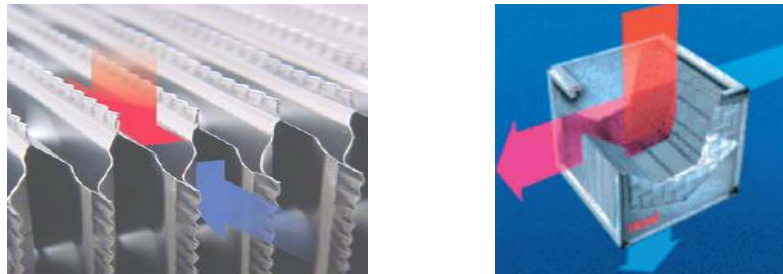
Bundan sonraki bölümde çalışmamızda kullandığımız plakalı ısı değiştiricileri ayrıntıyla incelenecektir.

4. PLAKALI ISI DEĞİŞTİRİCİLER

İklimlendirme sistemlerinde kullanılan ısı geri kazanım ekipmanları, dış ortamdan alınan taze havanın egzoz havası kullanılarak ön ısıtılmasını (soğutulmasını) sağlayarak, taze havanın sıcaklığını iç ortam şartlarına yaklaştırmaktadır. Isı geri kazanımında, egzoz havası ile taze hava arasındaki ısı transferi, ısı tekerleği, ısı borusu gibi farklı materyallerle yapılabilmektedir. Ancak en sık kullanılanı; egzoz ve taze hava kısımlarının birbirinden plakalarla ayrılmış olduğu çapraz akışlı ısı değiştiricili ısı geri kazanım cihazlarıdır. (Küçüka, 2005)

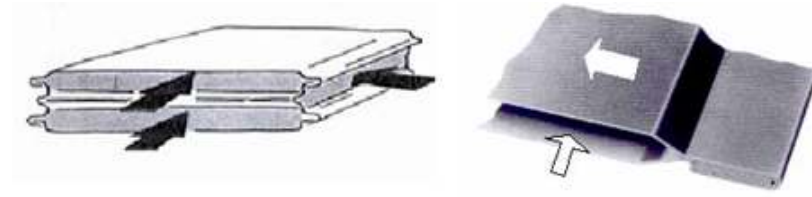
4.1. Plakalı Isı Değiştiricilerinin Genel Yapısı

Plakalı tip ısı geri kazanım değiştiricileri ısı geri kazanım amacı ile en yaygın kullanılan ünitelerdir. Plakalı ısı değiştiricilerinde iki akışkan ince oluklu bir plaka ile ayrılmıştır. Isı alışverişi herhangi bir aracı akışkan kullanmadan egzoz havasından taze havaya doğrudan sağlanır. Isı değiştirici plakalarının ısı iletim katsayısı yüksek malzemeden imal edilmiş olmaları tercih edilir. Plakaların bir yüzeyinden egzoz havası geçerken diğer yüzeyden taze hava geçirilir ve ısı alışverişi bu şekilde sağlanır. (Çimen, 2005)



Şekil 4.1. Plakalar arası sıcak ve soğuk hava akış yönleri.

Hava akımları aynı plakanın ön ve arka yüzüne temas ederler ve yüksek iletkenliğe sahip plaka üzerinden enerji alışverişi yaparlar. Şekil 4.1’de bu hava akış yönleri görülmektedir. Termodinamik olarak ısı sıcaktan soğuğa akar. Isı değiştiricisi üzerinde ise ısı akışı, dönüş havasından taze havaya olacak şekilde düzenlenmiştir. Dönüş havasının ısıtmaya veya soğutmaya çalıştığı plaka yüzeyinde yayılmaya çalışan ısı, diğer yüzünde akan taze hava tarafından alınır. Isı akışı eş zamanlıdır. Hava akımlarından birisi durduğunda ısı akışı da durur. Plakalı ısı değiştiriciler ısıyı bünyesinde biriktirip depolamaz. Fiziksel yapıları ve çalışma şekilleri buna uygun değildir. (İmmak, 2013)



Şekil 4.2. Plakaların birbirine kenetlenmesi. (Şahan, 1999)

Plakalı ısı değıştirciler, farklı malzemelerden imal edilmiş plakaların ardı ardına ve birbirlerine 90° farklı gelecek şekilde, uçlarından kenetlenip bir taşıyıcı çerçeve içinde toplanmaları ile elde edilirler. Şekil 4.2’de, plakaların birbirlerine kenetlenmesine bir örnek verilmiştir. Görüldüğü gibi üst ve alt plakalar, ortadaki iki plakaya sağ ve soldan ortadaki iki plaka ise birbirlerine, ön taraftan ve arka taraftan kenetlenmişlerdir. Bu sayede ön kısımdan arkaya doğru ilerleyen havanın enerjisinin, ortadaki iki plaka vasıtasıyla, soldan sağa hareket eden havaya aktarılması sağlanmaktadır. İki kanat birbirlerine, istenilen sızdırmazlık seviyesine göre, tek, ikili, üçlü, silikon destekli üçlü kenetler ile bağlanabilir. Isı değıştirci bloğu içerisinde, kullanılan malzeme ve uygulanan kenetleme teknikleri sayesinde 4500 Pascal basınç farkına kadar kesin sızdırmazlık ve deformasyon dayanıklılığı elde edilebilmektedir. (Şahan, 1999)

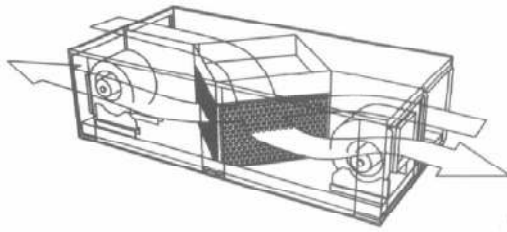
Plakalı ısı değıştircilerinin plaka boyutu ve plaka sayısı, içinden geçen akışkanın debisine, giriş çıkış sıcaklık değerlerine, fiziksel özelliklerine, basınç düşümlerine ve istenen maksimum mukavemet değerine göre belirlenmektedir. Plakalar üzerindeki simetrik veya asimetrik dizaynlar, akışkanların türbülanslı bir şekilde akmasını sağlayacak yapıda imal edilmeleri, yüksek ısı transfer katsayılarının elde edilmesini sağlamaktadır. Plakalı ısı değıştircilerinde, plakalar arasında oluşturulan temas noktaları, plaka paketinin istenen mukavemete ulaşmasını sağlar. (Koçlu, 2011)

4.2. Plakalı Isı Değıştircilerinin Kullanım Alanları

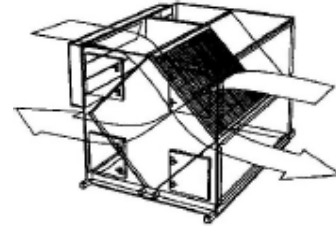
Plakalı ısı değıştircileri büyük oranlarda enerji tasarrufu sağlamakta olup bu özellikleri ile modern ısıtma-havalandırma ve klima teknolojisinin en önemli ürünlerinden birini oluşturmaktadır. Endüstri ve konfor uygulamalarında kullanılmakta olup otel, konferans salonu, restoran, kapalı yüzme havuzları, hastaneler ve fabrikalar gibi yüksek oranda dış hava gereksinimi olan tesislerde dış havanın ısıtılması için gerekli enerjiden büyük oranda tasarruf sağlarlar. Bu özellikleri nedeniyle hava kirliliğinin azalmasına da katkıda bulunurlar. (Dönüşüm İklimlendirme, 2013)

Konutlarda genelde pencereye ve duvara takılan tipte veya ortamın her tarafını dolaşan kanal bağlantılı lokal ısı geri kazanım cihazları kullanılır. Bazı durumlarda bir ısıtma-soğutma sistemi için kullanılan bir kanal, ısı geri dönüşümü için de hava akışı sağlayabilir. Ayrıca mevcut klima santralleri içine de montaj yapılabilir. Depo, garaj ve büyük fabrika sahalarında ise çatı tipi uygulamalar tercih edilir. (Bulgurcu, 2001)

Plakalı ısı değiştiriciler havalandırma ve klima santrallerinin içine monte edilebileceği gibi, santral dışına, hava kanalları üzerine de monte edilebilirler. İnce plakalarla egzoz edilen iç hava ile taze hava birbirinden ayrıldığı için birbirleriyle hiç temas etmezler. Bu nitelikleri sayesinde temiz oda uygulamalarında, ameliyathanelerde güvenli olarak kullanılabilirler. (Dönüşüm İklimlendirme, 2013)



a. Yatay Uygulama



b. Düşey Uygulama

Şekil 4.3. Plakalı ısı değiştiricileri yerleştirme düzenleri. (Müjdat, 2003)

Tüm seri plakalı ısı değiştiricileri, plakaları düzleme paralel veya dik duracak şekilde montajlanabilir ve kullanılabilirler. Bu iki farklı uygulama Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Yatay plakayla yapılan uygulamalar, genellikle küçük debili ve düşük cihaz yüksekliği istenilen yerlerde ön plana çıkar. Bunun yanında, hava akımlarının yönleri birbirlerine göre paralel veya ters olabilir. Fakat bu durum, ısı değiştiriciden beklenen performansı değiştirmez. Çünkü ısı değiştirici üzerindeki hava akımı, her iki durumda da çapraz şekilde oluşur. (Müjdat, 2003)

4.3. Plakalı Isı Değiştiricilerde Malzeme Seçimi

Plakalı ısı değiştiriciler; kâğıt, plastik, seramik ve başta alüminyum olmak üzere her türlü işlenebilir metallere üretilmektedir. Isı geri kazanım uygulamalarında kullanılan plakalı değiştiricilerin çalışma sıcaklık aralığı $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındadır. Geri kazanım sektöründe kullanılan plakalı değiştiricilerin kanatları, çoğunlukla alüminyumdan veya epoxy kaplı alüminyumdan imal edilir. PVC türü malzemeden üretilen kanatlara sahip

plakalı ısı geri kazanım değiştiricileri kullanımı da gittikçe yaygınlaşmaktadır. (şahan, 1999)

Alevlenmemesi ve dayanıklılığı nedeniyle alüminyum en çok kullanılan plaka malzemesidir. şekil 4.4'te alüminyum plakalı ısı değiştiricisi örneği verilmiştir. Polimer plakalı değiştiriciler kanal akışında bir türbölans oluşturarak ısı transferini iyileştirir ve korozyona dirençleri ve düşük maliyet avantajıyla çok kullanışlıdırlar. Çelik alaşımları 200 °C den yüksek sıcaklıklar için elverişlidir ve maliyetin anahtar faktör teşkil etmediği uygulamalarda kullanılır.



şekil 4.4. Alüminyum plakalı ısı değiştiricisi örneği. (İmmak, 2013)

Nem geri kazanım için kullanılan ısı değiştirici elemanları, reçine emdirilmiş ambalaj kâğıdı (kraft), ince delikli alüminyum ve polyester levhalar kullanılabilir. Ayrıca, arasına nem tutma özelliğine sahip silikajel gibi maddeler doldurulmuş delikli alüminyum levhalar kullanılırsa nem tutma özelliği önemli ölçüde arttırılmış olur.

Plakalı ısı değiştiriciler normalde sadece duyulur ısı (yalnız sıcaklık) değişimini gerçekteştirilir. İşlem görmüş kâğıt ve mikro gözenekli polimerik zarlar gizli ısı (nem) transferinde kullanıldığında toplam (entalpi) ısı değiştiricisi elde edilir. (Owen, 2007)

4.4. Plakalı ısı Değiştiricilerinde Verim

Plaka kalınlığı ısı değiştirici verimi üzerinde etkili bir parametredir. Plaka kalınlığı inceldikçe ısı transferi daha verimli ve dengeli, proses kontrolü de daha iyi olur. Fakat türbölanslı bir akış ve tüm plaka yüzeyinde dengeli bir dağılım elde edilmesi de aynı derecede önemlidir. (Güneş, 2009)

Plakalı ısı değiştiricilerinde, plaka üzerinde yer alan şekiller, tesisattaki akışkanın akışına karşı bir direnç oluşturacağı için, sistemde dikkate alınması gereken basınç kaybı meydana getirecektir. Plakalı ısı değiştiricilerin tasarımlarında önemli bir yere sahip olan basınç kayıpları, plakalı ısı değiştiricilerin yüzey alanını ve buna bağlı olarak da maliyetleri

doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, sistem tasarımı yapılırken, ısı değerleriyle beraber, istenen maksimum basınç kayıpları da verilmeli ve sonuç buna göre irdelenmelidir. (Koçlu, 2011)

Hava hızı arttığında ısı geri kazanım cihazının performansı azalır. Düşük hava hızı kullanıldığında, basınç kayıpları daha az, verimler daha yüksek ve işletme maliyetleri daha düşük olacaktır. Bununla birlikte düşük hava hızlarında seçilmiş bir ısı geri kazanım sisteminde ilk yatırım maliyetleri daha yüksek olacak ve cihazlar daha büyük seçildiği içinde cihaz yerleşimleri için daha büyük mekânlara ihtiyaç duyulacaktır. (Demirel, 2001)

Plakalı ısı değiştiricilerde genel anlamda öngörülen verimlilik aralığı %45 - %55 olmakla birlikte, yeni geliştirmeler sayesinde verimliliği %55 - %65 seviyesine yükseltmiştir. Isı değiştiricisi seçimi sırasında “basınç düşümleri” de dikkate alınmalıdır. Gerektiğinden yüksek seçilecek basınç düşümü, yatırımcıya ömür boyu daha yüksek enerji faturası ödetecektir.

Plakalı ısı değiştiricilerindeki toplam ısı transfer katsayısı (U), borulu ısı değiştiricilerine göre tipik olarak 3-5 kat daha fazladır. Katlamalı plaka yapısıyla, yüksek türbülans oluşturarak konveksiyonu artırır ve U katsayısını yükseltir. Çapraz akımda nem transferi, geçirgen düz plaka yüzeyli ısı değiştiricilerinde, değiştirici duvar geçirgenliğinin yüksek düzeyde olması ile artar. (Owen, 2007)

4.5. Plakalı Isı Değiştiricileri Kullanımının Avantajları

Periyodik bakımlar haricinde bu tip sistemlere bakım yapılmasına gerek yoktur. Plakaların aşırı kirlenmesinin önüne geçmek dönüş ve taze hava giriş taraflarında filtrelerin kullanılmasında fayda vardır. Sistemin basitliği ve hareketli parça bulunmaması güvenilirliği artırır, cihazın uzun ömürlü olmasını sağlar. (Güven, 2003)

Plakalı ısı değiştiricilerinde küçük hacimlerde büyük ısı transfer yüzeyleri elde edilebildiğinden diğer ısı değiştiricilerine göre daha küçük hacim ve ağırlıkta imal edilebilmektedir. Plakalı ısı değiştiricilerinde, özel tasarımı plakalar sayesinde oluşturulan akış kanallarında, yüksek türbülanslı akış oluşturulmakta olup yüksek ısı transfer katsayılarına ulaşılmasını sağlamaktadır. (Koçlu, 2011)

Plakalı ısı değiştiricileri hava kirliliğinden, sahip oldukları kanat yüzey formları ve kanat aralıkları nedeniyle aşırı derecede etkilenmezler ve kolaylıkla temizlenebilirler. Plakalı değiştiricilerin çalışma ömürleri, kullanılan malzemeye de bağlı olarak korozyif bir ortamda kalmamaları ve çalışan bir mekanik aksama sahip olmamaları şartı ile 25 yıl ve daha fazla olabilmektedir. (şahan, 1999)

Plakalı ısı geri kazanım değiştiricilerinin hareketli parçaları veya tehlike oluşturacak elektrik bağlantıları yoktur. (şekil 4.5) Bu da ısı plakalı ısı değiştiricilerine %100 güvenilirlik ve montaj kolaylığı sağlar. Isı borularının tersine yağlanma, ayar ve parça değişimi, freon gazı, özel kaplama vb. ihtiyaçları yoktur. Yani doğrudan işletme masrafı yoktur ve çalışma garantisi her zaman %100 dr. Özel tasarımlar kullanıldığında ise çok kirliliğ ve yağlı ortamlarda bile temizliğe gerek kalmaksızın ve filtreler kullanılmaksızın çalışabilirler. (Demirel, 2001)



şekil 4.5. Plakalı ısı değiştirici montajı. (İmmak, 2013)

Plakalı ısı değiştiricilerinin kompakt tasarımları ve yüksek verimlerinden ve imalat teknolojilerinden dolayı maliyetleri diğer tip ısı değiştiricilerine göre düşüktür. Plakalı ısı değiştiricilerinde, herhangi ek alana ihtiyaç duymaksızın, sadece saplamaların sökülmesiyle, ısı transfer plakalarına kolayca ulaşılarak, bakım yapılabilir. Borulu tip ısı değiştiricilerinde ise boru demetini dışarı alabilmek için kullanılan hacim kadar ek bir alana ihtiyaç duyulur. (Koçlu, 2011)

Bu sistemler kullanıldığında, konfor şartlarının temini için gerekli olan taze havanın getireceği yükü % 25 ile % 45 oranında azaltacaktır. Isı geri kazanımı uygulandığında, % 50 dış hava ile çalışan bir ısı geri kazanım sisteminde, toplam yükler ve cihaz kapasiteleri % 15 ile % 30 arasında küçülecektir. Yalnızca bu sonuç dahi, ısı geri kazanımının ne kadar önemli ve kaçınılmaz bir uygulama olduğunun altının çizilmesine yeterlidir. (şahan, 1999)

5. LİTERATÜRDE KONUYLA İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Oğulata ve Doba (1996), çalışmalarında atık ısı geri kazanım sistemlerinde verimli kullanımları nedeniyle, çapraz akımlı levhalı tip ısı değiştirgeci araştırmışlardır. Bu doğrultuda laboratuvar şartlarında bir ısı geri kazanım sistemi imal etmişlerdir. İmal edilen ısı değiştirgeci uygun bir deney düzeneği ile test edilmiş ve sıcaklık, hava hızı ve sistemdeki basınç kayıpları ölçülmüş, sistemin etkinliği belirlenmiştir. Bunların yanında tasarım esnasında ısı değiştirgecinin tersinmezliği de göz önünde tutulmuştur. Bunun için termodinamiğin II. kanununa göre; çapraz akımlı ısı değiştirgecinde, minimum entropi üretim birimini analiz etmişlerdir. Minimum entropi üretim biriminin; optimum akış yolu uzunluğu, boyutsuz kütle hızı ve boyutsuz ısı transfer alanı gibi parametrelere bağlı olmasından yola çıkarak entropi üretim biriminin bu parametrelerle değişimlerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunu grafiklerle ve bunların yorumlarıyla ortaya koymuşlardır.

Eker (1998), havalandırmada kullanılabilecek çapraz akımlı plakalı ve çapraz akımlı petekli tip olmak üzere iki farklı ısı eşanjörünün, tasarım ve imalatını gerçekleştirerek havalandırmada kullanılabilecek olanaklarını araştırmıştır. Dış hava ile iç hava arsına yerleştirilen ısı eşanjörlerini, 6 farklı hava debisinde ve her debide üç değişik sıcaklık farkında denemiştir. Bütün denemelerinde, sıcak hava ile soğuk hava arasındaki sıcaklık farkının artmasıyla transfer edilen toplam ısı enerjisinin ve eşanjör etkinliğinin yükseldiğini görmüştür. Fakat verim ile hava hızı arasında ters bir ilişki olduğunu saptayarak, en yüksek verimin en düşük hava debisinde, en düşük verimin ise en yüksek hava debisinde gerçekleştiğini görmüştür.

Demirel (2001), çalışmasında özellikle klima santrallerinde ve ev tipi ısı geri kazanımlı havalandırma ünitelerinde kullanılan plaka tipi ısı geri kazanım üniteleri (ısı küpleri) ile yine klima santrallerinde kullanılan ısı geri kazanım tamburlarını (tekerlekleri) ele almıştır. Bunların kullanım şartları, verimleri, avantaj-dezavantajları ve çalışma prensipleri hakkında bilgi vermiştir.

Noie (2006), havadan havaya termosifon ısı değiştiricisinin termal performansını incelemek için deneysel ve teorik araştırma yapmıştır. Havadan havaya termosifon ısı değiştiricisini tasarlamış, imal etmiş ve sabit koşullar altında test etmiştir. Etkenlik-NTU metodunu kullanarak çıkış hava sıcaklığını ve termal performansı tahmin edebilecek bilgisayarlı simülasyon programı geliştirmiştir. Deneysel sonuçlar sıcak hava giriş hızı 5,5

m/s'den 0,5 m/s'ye doğru azaldıkça, verimliliğin %37 'ten %65 'e kadar yükseldiğini saptamıştır.

Kragh ve diğerleri (2007), soğuk iklimlerde taze havanın içindeki nemin ısı değiştiricisi içerisinde buza dönüşmesiyle, basınç düşümündeki artışa bağlı olarak hava akış hızının hızla düşeceğini belirtmişlerdir. Giren taze havanın ısı değiştiricisine girmeden önce 0 °C' ye kadar ön ısıtmaya tabi tutulması bu probleme bir çözüm olabilir. Fakat bu durumda enerji tasarrufu belirgin ölçüde azalacaktır. Çalışmalarında ön ısıtmayı kullanmadan kendi kendine sürekli defrost yapabilen ısı değiştiricisi geliştirmişlerdir. Yeni ısı değiştiricisinin verimini teorik olarak hesaplanmış ve deneysel olarak ölçmüşlerdir. Deneyler göstermiştir ki; ısı değiştiricisi, donma noktasının altındaki sıcaklıklarda sürekli kendi kendini defrost ederek yüksek verimle çalışmaya devam edebilmektedir.

Durmaz (2007), geometrik özellikleri birbirinin aynı olan iki kanatlı yüzeyli ısı değiştiriciden oluşan atık ısı geri kazanımı sisteminin, ısı hesaplarını bilgisayar yardımıyla incelemiştir. Kullanışlılığı dolayısıyla, incelenen sistemin ısı hesabı yapılırken NTU yöntemi uygulanmıştır. Sistemin girdi parametreleri; serpantinlerin geometrik özellikleri, havanın giriş sıcaklık ve psikrometrik özellikleri ve sistemde sirküle edilen suyun giriş sıcaklık değerleri, ısı hesabı yaparken kullanılacak olan kanatlı yüzeyli ısı değiştirici etkenlik ve tüm sistemin tahmini etkenlik değerleridir. Isıtma ve soğutma tek bir program halinde ısı geri kazanım sisteminin ısı hesabını iterasyonlarla yapabilen, giriş değerleriyle kısa zamanda sonuç verecek Visual Basic.net yazılımında bir program hazırlamıştır. Böylece zamandan tasarruf sağlanacak ve kullanıcının başarılı sistem tasarımı için bir aracı olacaktır.

Ömeroğlu (2007), çalışmasında borulu silindirik, altıgen ve kare kanatçıklı geometriye sahip çapraz akışlı ısı değiştiricisinde akış ve ısı transferini deneysel olarak çalışmıştır. Yaptığı çalışmada, her iki akışkanın karışmadığı hava ve su akışkan çiftinin farklı sıcaklık ve akışkan debilerinde ölçümlerini gerçekleştirmiştir. Sıcak akışkan olarak hava, soğuk akışkan olarak su kullanmıştır. Hava tarafında ısı değiştiricisinin termal performansını ϵ -NTU yöntemi kullanarak analiz etmiş ve farklı tip çapraz akışlı ısı değiştiricileri arasında altıgen kanatçıklı ısı değiştiricisinin daha yüksek performansa sahip olduğunu belirtmiştir. Farklı geometriler için ısı transfer ve basınç düşümünün etkileri Reynolds sayısının fonksiyonu olarak incelemiş ve bunlarla ilgili sonuçları grafik olarak vermiştir. Grafiklerde

Nu-Re sayıları, f-Re sayıları, ε -NTU ve alt ve üst plakalar boyunca sıcaklık dağılımı (H/L)'na ait değişimler gösterilmiştir.

Kılıç (2008), belirli debi ve sıcaklık değerleri için plakalı ısı eşanjöründeki ısı transferlerini hesaplayarak sistemin optimum çalışma şartlarını tespit etmiştir. Bunun için plakalı ısı eşanjörü kullanılan bir ısıtma-soğutma sistemi deneysel olarak tasarlanmış ve imal edilmiştir. Deneysel analizlerde plakalı ısı eşanjöründe sıcak ve soğuk akışkanlar arasındaki ısı transferi miktarı, akışkanın debi değerinin ve sıcak su giriş sıcaklığının artmasıyla artmaktadır. Fakat debi miktarının optimum bir değerden fazla arttırılması durumunda eşanjörde ısı transfer miktarının azaldığı görülmüştür. Ayrıca ANSYS programı yardımıyla teorik ve deneysel olarak verilen sıcaklık değerleri kullanılarak, plakalı ısı eşanjörünün tek bir plakasındaki sıcaklık dağılımları, eksenel sıcaklık dağılımları, sıcaklık gradyanları, ve ısı akımları karşılaştırılmıştır.

Chen ve diğerleri (2009), malzeme ısı iletkenliğinin ısı değiştiricisi performansı üzerindeki etkisini detaylı bir şekilde incelemişlerdir. Yüksek ısı iletkenliğine sahip (2,3 W/mK, ve 16,5 W/mK olmak üzere) iki farklı polipropilen (PP) malzemeden üretilmiş kanatlı tip ısı değiştiricisi kullanmışlardır. Üçüncü bir plastik ısı değiştirici de doğrulama ve karşılaştırma için sıradan PP ile üretilmiştir. Deneyler plastik eşanjörlerin termal performansını belirlemek için yapılmaktadır. Sonuçlar malzemenin bir ısı iletkenlik değeri olduğunu göstermektedir. Bu değer altında ısı iletkenliğinin iyileştirilmesi eşanjör performansında önemli artış sağlarken, bu değer üstünde çok az katkı sağlamaktadır. Kanatlı-borulu ısı değiştirici için plastik ısı iletkenliği 15 W/mK üzerinde olduğunda, aynı şartlarda ve boyuttaki titanyum ısı değiştiricisi performansının yaklaşık % 95' i ve alüminyum veya bakır ısı değiştirici performansının % 84 'ü elde edilebilmektedir.

Joan ve diğerleri (2009), araştırmalarında hem polimerlerin malzeme özelliklerini hem de polimer matriks kompozitlerdeki sanatın mevcut durumunu incelemişlerdir. Polimerler düşük ısı iletkenliğe sahip olduğundan, standart dizayn düzeninde polimer duvarlarında ısı transfer direnci hakimiyetiyle sonuçlanacaktır. Ancak çok ince polimer yapıları kullanılarak, hem plakalı hem de borulu ısı değiştiricileri başarıyla dizayn edilmiş, imal edilmiş ve düşük maliyet ve azaltılmış ağırlıkla geleneksel birimlere göre performansları test edilmiştir. Bu malzemelerin ısı eşanjörü olarak ısı geri kazanım uygulamalarında kullanımının umut verici olduğunu ancak malzeme özellikleri ve yaşam-boyu davranışıyla ilgili önemli sayıda araştırmaya ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir.

Danışman (2010), eşanjörün en önemli çalışma parametrelerinden birisi olan eşanjör etkinliğini incelemiş; etkinliğin, aktarım birim sayısı (NTU) ve ısıl kapasite oran orantısı (C^*) ile bağıntılarını önce açıklamış daha sonra ise deneylerle ispatlamıştır. Çalışmasında 10 KW kapasiteye sahip plakalı eşanjör kullanarak sıcak suyun ısınının soğuk suya aktarılması için düzenek oluşturmuştur. Deney sonuçları grafik ortama aktarılarak değerlendirilmiş, etkenlik değerinin eşanjör performansını nasıl etkilediği ve diğer değişkenlerle bağlantısının ne olduğu açıklanmıştır. Aynı NTU ve aynı C^* değerleri için karşı akımlı eşanjörün etkinliğinin, paralel akımlı eşanjörün etkinliğinden daha fazla olduğunu ifade etmiştir. Aynı zamanda artan C^* değerleri ile etkinliğin her iki akış tipi için de azaldığını deneylerle gösterilmiştir.

Teke ve diğerleri (2010), atık ısı geri kazanımında maksimum kazanç eldesi için gerekli ısı değiştiricisi alanına ve değiştirici tipinin ne olduğuna karar vermek amacıyla kullanılabilecek yeni bir model önermişlerdir. Teknik ve ekonomik parametrelere dayanan bir boyutsuz E sayısı tanımlamışlardır. Bu parametreler; ısı değiştiricisinin birim alan maliyeti, birleşik ısı transfer katsayısı, etkenliği, ısıl kapasite oranları, kazan verimi, yıllık çalışma süresi, ısı değiştiricisine giren akışkanların yıllık sıcaklık değerlerindeki değişim ve net bugünkü değerdir. NTU ve ısıl kapasite oranlarının bir fonksiyonu olarak boyutsuz E sayısı grafik formda gösterilmiştir. Ayrıca maksimum net kazancın karşılık geldiği ısı değiştiricisi alanı da bu grafiklerden rahatça okunabilmektedir. En iyi ısı değiştiricisi tipine ve bunun alanına, net kazançlar ya da NTU_{max} iken ısı değiştiricisi etkenliği kıyaslanarak karar verilebilir. Yeni metodun uygulamasını gösteren bir hesaplama örneği verilmiştir.

Li ve diğerleri (2010), kanatlı ve mikro kanallı yeni bir alüminyum ısı değiştiricisi önermişlerdir. Bu ısı değiştiricisinin hava tarafı ısı transferi ve akış karakteristiklerini 3D sayısal simülasyonla analiz etmişlerdir. Akış derinliği, akış yüksekliği, kanat eğimi ve kanat yüksekliğinin farklı Reynolds sayılarındaki etkisini; Colburn faktörünü ve havalandırma sürtünme faktörünü hesaplayarak değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak ısı transferi performansını etkileyen faktörleri katkılarına göre azalan sırada akış derinliği, kanat eğimi, kanat yüksekliği ve kanat kalınlığı olarak belirlemişlerdir.

Fernandez-Seara ve diğerleri (2011), çalışmalarında polimer plakalı ısı değiştirici kullanılarak oluşturulmuş havadan havaya ısı geri kazanım birimine ait deneysel analizler gerçekleştirmişlerdir. Öncelikle, referans çalışma koşullarında ısı değiştirici performansını belirlemek üzere testler yapmışlar daha sonra çalışma koşullarındaki değişimin ısı

değiştiricisi performansı üzerindeki etkisini araştırmak üzere deneysel parametrik analiz gerçekleştirmişlerdir. Deneyler farklı taze hava giriş sıcaklıkları, egzoz havası relatif nemi ve hava akış hızlarında yapılmıştır. Deneylerinde taze hava giriş sıcaklığı arttıkça ısı değiştiricisindeki ısı transfer hızının düştüğünü ifade etmişlerdir. Termal verimin, taze hava giriş sıcaklığı 0 °C’den 15 °C’ye kadar artırıldığında nerdeyse sabit kaldığını, 15 °C’den yukarı değerlerde ise çok az miktarda azaldığını belirtmişlerdir. Egzoz havası relatif neminin %40 ‘tan az olduğunda ısı transfer hızının ve termal verimin sabit kaldığını, %50 ile %70 olduğu aralıktaysa az miktarda arttığını saptamışlardır. Hava akış hızı 50 m³/h ‘ten 175 m³/h’e çıkarıldığında ısı transfer hızının lineer bir şekilde artarken termal verimin düştüğünü vurgulamışlardır.

Cevallos ve diğerleri (2012), polimer ısı değiştiricilerinin tarihini ve bu teknolojidaki araştırmaları tetikleyen teknik limitleri gözden geçirmişlerdir. Polimerik malzemelerin düşük ısı iletkenlik kısıtının; basınç farklılıklarının üstesinden gelecek inovatif dizayna sahip çok ince film tabakası kullanımıyla dengelendiğini belirtmişlerdir. Yakın zamanlardaki yeni ortaya konan polimer-fiber kompozitlerin kullanımıyla çok iyi ısı ve termal performanslar elde edilmektedir. Bu sayede polimer ısı değiştiriciler korozyona ve kirlenmeye dayanıklılık avantajlarıyla ısı geri kazanım, desalinasyon, güç alanı soğutma ve bunun gibi daha birçok uygulama alanı bulacaktır.

Nasif ve diğerleri (2012), Z tip akışlı 45-gsm kraft kâğıttan yapılmış ısı değiştiricisinin ısı ve nem transfer yüzeyinin termal performansını, sıcaklık ve nem ölçümlerini kullanarak deneysel olarak değerlendirmişlerdir. Hem duyulur ve hem de gizli ısı verimliliği açısından performansına karar vermişlerdir. Etkenlik-NTU metodunu kullanarak matematiksel model geliştirmişler ve deney sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Bu modelde kâğıt nem geçirgenlik ölçümlerine göre kâğıt nem transfer direncine karar vermişlerdir. Sonuçlar kâğıt nem transfer direncinin sabit olmadığını ve nem gradyanıyla birlikte kâğıt boyunca değiştiğini göstermiştir. Ayrıca, daha yüksek verimliliğe ısı değiştirici akış yolu genişliği azaltıldığı zaman ulaşıldığını vurgulamışlardır. Sonuçlar, kâğıdın yüksek nem direncinden dolayı duyulur verimliliğin gizli verimlilikten daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Sonuç olarak yüksek ısı ve nem transferi; ısı değiştiricinin ters ya da çapraz akış bölgelerinde ve akış yolları komşu buhar akışının girişine yakın yerleştirildiğinde kaydedilmiştir. Çünkü burada nem ve ısı gradyanları en yüksektir.

Altınışık ve diğlerleri (2012), su buharının yoğunlaşmasıyla oluşan buhar gizli ısını almak amacıyla geçiş rejiminde kompakt ısı değiştiricinsin performansını teorik olarak incelemişlerdir. Giriş sıcaklığının, relatif nemin ve gazların hızın ısıl geçirgenlik (UA) üzerindeki etkilerini incelemek üzere matematiksel model geliştirmişlerdir. Matematiksel modeli geliştirmek için, ısı transferi ve termodinamiğin temel kanunlarından ve birkaç ampirik eşitlikten yararlanmışlardır. Matematiksel modelin nümerik algoritması MATLAB programı kullanılarak çözülmüştür. Sonuçlar göstermiştir ki, akan gazdaki su buharı miktarı ve akan gazın hızı artarsa, kompakt ısı değiştiricinsin ısıl geğirgenliği de artmaktadır.

Jungi ve diğlerleri (2013), ısı değiştiricideki alüminyum dalgalı kanalın hava tarafı termal hidrolik performansı üzerine deneysel çalışma gerçekteşirmişlerdir. Farklı geometri parametrelerine sahip 16 dalgalı kanatlı örnek test etmişlerdir. Çoklu regresyon metodu kullanılarak dalgalı kanadının ısı transferi ve basınç düşümüne ait deneysel korelasyon eşitliklerini oluşturmuşlardır. Taguchi metodu kullanılarak dalgalı kanatlarının performansı üzerine parametrik çalışma uygulamışlardır. Çalışma sonucunda termal hidrolik performansı etkileyen en önemli faktörün dalga genişliğinin dalga uzunluğuna oranı olduğunu göstermişlerdir.

6. MATERYAL VE METOD

6.1. Isı Geçişi Miktarı

Bir ısı değiştiricisi tasarımının ve performansının belirlenebilmesi için, ısı değiştiricisindeki toplam ısı geçişi ile akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları, toplam ısı transfer katsayısı ve ısı geçişi toplam yüzeyi arasında bir bağıntıya ihtiyaç vardır. Ortama bir ısı kaybının söz konusu olmadığı kabulünden hareketle; termodinamik ve ısı geçişi prensiplerini kullanarak plakalı ısı değiştiricisi için aşağıdaki bağıntılar yazılabilir. (Kılıç, 2008)

$Q = \text{Isı değiştiricide geçen ısı (W)}$

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_m \quad (\text{E.6.1})$$

Yukarıdaki eşitlikte U ($\text{W/m}^2\text{°C}$) toplam ısı transfer katsayısını, A (m^2) ısı transfer yüzeyini, ΔT_m (°C) ise logaritmik ortalama sıcaklık farkını temsil etmektedir.

Geçen ısı miktarını artırmak için şunlar yapılabilir:

- 1) Yüzey alanını artırmak: Isı taşıyım katsayısında bir değişiklik olmadan ısıyın transfer olduğu yüzey alanı artırılabilir.
- 2) Isı taşıyım katsayısını artırmak: Yüzey türbölans oluşturacak şekilde işlenerek yüzey alanında fark edilir bir artış olmadan ısı geçişi iyileştirilebilir. Çünkü işlenen bu yüzeyler yüzeye yakın bölgelerde akış yolunu bozarak ve sınır tabaka kalınlığını azaltarak ısı taşıyım katsayısını artırmaktadır. Ancak bu iyileştirmeler genellikle basınç kaybına ve dolayısıyla mekanik enerji kayıplarına neden olacaktır.
- 3) Isı taşıyım katsayısını ve yüzey alanını artırmak: Dalgalı ve çıkıntılı yüzey oluşturarak iyileşme sağlanabilir.
- 4) Sıcaklık farkını artırmak.
- 5) Türbölanslı akışta yüzeye yakın bölgede akış hızının düşük olduğu laminar bir bölge oluşmaktadır. Bu bölgede yüzeyde hız sıfıra yaklaşmaktadır. Girdap ve dönme hareketi sağlayacak çıkıntı ve spiral şeklindeki elemanlarla laminar tabaka bozularak ısı geçişi iyileşmektedir. (Pehlivan, 2002)

6.1.1. Isı geçişi modellenmesinde yapılan kabuller

Isı transferi probleminin çözümü için oluşturduğumuz formölasyonlarda aşağıda belirttiğimiz kabuller esas alınmıştır:

- 1- Isı değiştiricisi sürekli rejimde çalışmaktadır.
- 2- Isı değiştiricisi içinde faz değişimi yoktur.
- 3- Isı değiştiricisi içindeki akışkanların özgül ısısı sabittir.
- 4- Plakaların ısıl direnci tüm ısı değiştiricisi boyunca değişmemektedir.
- 5- Isı değiştiricisi cidarlarından ısı kazanımı veya ısı kaybı yoktur. Dış ortamla izolasyon sağlanmıştır. Değiştirici etrafında enerji üreten ya da tüketen bir sistem yoktur.
- 6- Akışkan veya plakalar boyunca akım yönüne paralel ısı transferi yoktur.
- 7- Kanat ve yüzey kirliliği yoktur.
- 8- Gizli ısı ihmal edilmiştir.
- 9-Ortalama ısı transfer katsayısı sıcaklıktan, zamandan ve ısı değiştiricisi pozisyonundan bağımsız olarak sabittir.
- 10-Basınç düşümleri ihmal edilmiştir.

E.6.1'e göre transfer edilen ısı miktarını bulmak için toplam ısı transfer katsayısının ve ΔT_m 'nin öncelikle bulunması gerekmektedir. Isı değiştiricisinden evre ortama bir ısı kaybı yoksa kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edildiğinde enerjinin korunumu için farklı sıcaklıkta bulunan iki akışkanın soğuması veya ısınması esnasında transfer edilen ısı aşağıdaki eşitlikler yardımıyla bulunabilir:

$$Q = \dot{m}(h_g - h_) \quad (E.6.2)$$

Burada $\dot{m}$ (kg/s) akışkanın kütleel debisini, h_g ve $h_$ (kJ/kg) giriş ve çıkış entalpilerini göstermektedir. Aşağıda ise bu denklem sıcak ve soğuk akışkan için ayrı ayrı yazılmıştır.

Sıcak akışkan için;

$$Q = \dot{m}_h (h_{hg} - h_{h}) \quad (E.6.3)$$

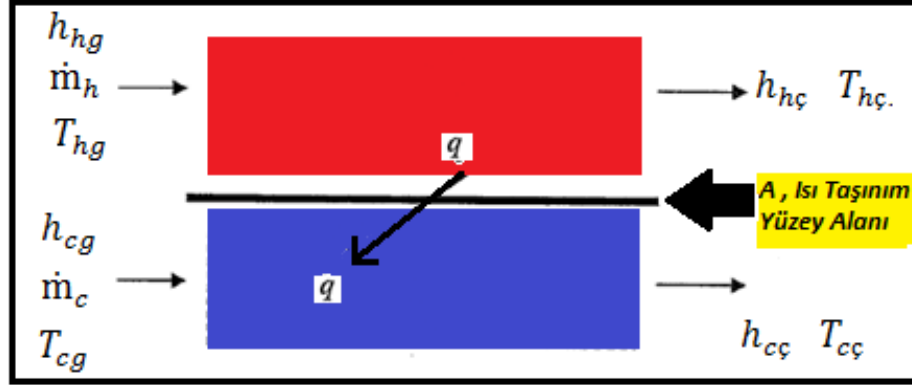
Soğuk akışkan için;

$$Q = \dot{m}_c (h_{c} - h_{cg}) \quad (E.6.4)$$

$\dot{m}_h$ ve $\dot{m}_c$: Sırasıyla sıcak ve soğuk akışkanın kütleli debisi (kg/s)

h_{hg} ve h_{hc} : Sırasıyla sıcak akışkanın giriş ve çıkış entalpileri (kJ/kg)

h_{cg} ve h_{cc} : Sırasıyla soğuk akışkanın giriş ve çıkış entalpileri (kJ/kg)



Şekil 6.1. İki akışkanlı bir ısı değiştiricisinde, sıcak ve soğuk akışkanlar için toplam enerji dengesi. (Incropera, 2006)

Akışkanlarda bir faz değişimi yoksa ve özgül ısıları sabit kabul edilirse, E.6.3 ve E.6.4 yerine E.6.5 ve E.6.6 aşağıda belirtilen şekilde kullanılır.

Sıcak akışkan için;

$$Q = \dot{m}_h C_{ph} (T_{hg} - T_{hc}) \quad (\text{E.6.5})$$

Soğuk akışkan için;

$$Q = \dot{m}_c C_{pc} (T_{cc} - T_{cg}) \quad (\text{E.6.6})$$

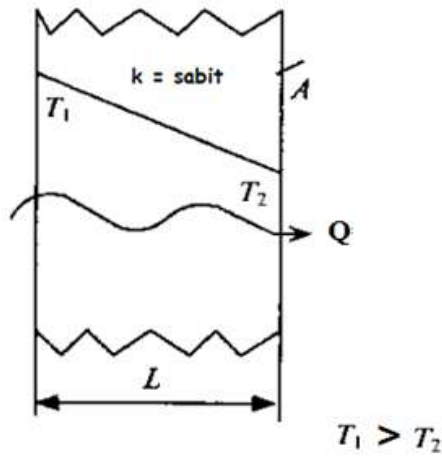
Burada C_p (J/kg°C) özgül ısıyı, T_g (°C) ve T_c (°C) ise giriş ve çıkış sıcaklıklarını göstermektedir. Bu denklemler ısı değiştiricisi türünden bağımsızdır. (Pehlivan, 2002)

C_{ph} ve C_{pc} : Sırasıyla sıcak ve soğuk akışkanın özgül ısısı (J/kgK)

T_{hg} ve T_{hc} : Sırasıyla sıcak akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları (°C)

T_{cg} ve T_{cc} : Sırasıyla soğuk akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları (°C)

6.2. Düzlemsel Levhada İletim Ve Taşınım İle Isı Geçişi



Şekil 6.2. Düzlemsel levhada ısı iletimi. (Halıcı, 2001)

Fourier ısı iletim yasasına göre; Şekil 6.2'deki gibi L kalınlığında A yüzey alanına ve k ısı iletim katsayısına sahip düz bir levhada sıcak akışkan yüzeyinden soğuk akışkan yüzeyine doğru transfer edilen ısı miktarı şu şekilde hesaplanır:

$$Q = k A \frac{T_1 - T_2}{L} = k A \frac{\Delta T}{L} \quad (\text{E.6.7})$$

Newton'un soğuma kanununa göre T_y sıcaklığındaki yüzey ile temasta bulunan T_a sıcaklığındaki akışkan arasında transfer edilen ısı miktarına ait denklem E.6.8'de verilmiştir. Burada h ısı taşınım katsayısını, A taşınımın olduğu yüzey alanını ifade etmektedir.

$$Q = h A (T_y - T_a) = h A \Delta T \quad (\text{E.6.8})$$

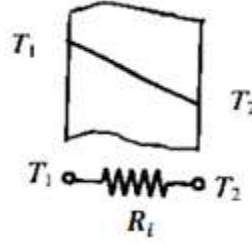
Elektrik akımı volt farkından, ısı geçişi ise sıcaklık farkından meydana gelir. Ohm kanununa göre elektrik akımına ait denklem E.6.9'da verilmiştir. Burada I akımı, ΔV voltaj farkını ve R_e de elektrik direncini ifade etmektedir. (Halıcı, 2001)

$$I = \frac{\Delta V}{R_e} \quad (\text{E.6.9})$$

Elektrik akımı ile ısı geçişi karşılaştırıldığında aralarında bir benzerlik görülür. Fourier ısı iletim kanunu da Ohm kanununa benzer biçimde yazılırsa;

$$Q = k A \frac{T_1 - T_2}{L} = \frac{\Delta T}{\frac{L}{kA}} = \frac{\Delta T}{R_i} \quad (\text{E.6.10})$$

Yukarıdaki eşitlikte R_i ısıl direnci göstermektedir. E.6.9 ve E.6.10'daki eşitlikler karşılaştırıldığında; ısı geçişinin akım geçişine, sıcaklık farkının voltaj farkına ve ısıl direncinde elektrik direncine benzer büyüklükler olduğu görülmektedir.



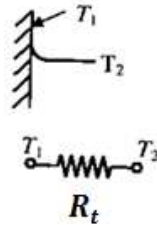
Şekil 6.3. Isı iletim direnci. (Halıcı, 2001)

$Q \rightarrow I$, $\Delta T \rightarrow \Delta V$, $R_i \rightarrow R_e$ olur. Burada R_i ,

$R_i = \frac{L}{kA}$ dır ve ısı iletim direnci adını alır.

Duvar ile akışkan arasında taşınım ile geçen ısı miktarı da Ohm kanununa benzer biçimde yazılırsa;

$$Q = h A (T_y - T_a) = \frac{\Delta T}{\frac{1}{hA}} = \frac{\Delta T}{R_t} \quad (\text{E.6.11})$$



Şekil 6.4. Isı taşınım direnci. (Halıcı, 2001)

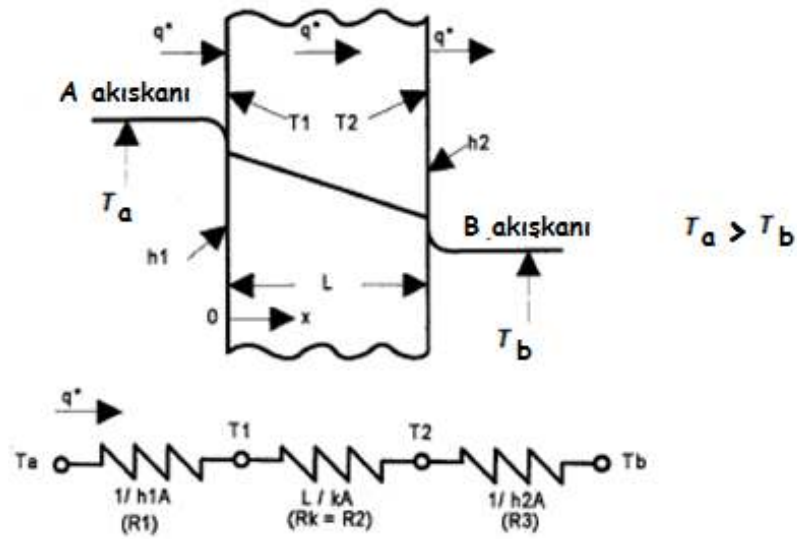
$R_t \rightarrow R_e$ olur. Burada R_t ,

$$R_t = \frac{1}{hA} \text{ dır ve ısı taşınım direnci adını alır. (Halıcı, 2001)} \quad (\text{E.6.12})$$

6.3. Toplam Isı Transfer Katsayısı

Toplam ısı transfer katsayısı (U) ; birim ısı transfer yüzey alanında, birim sıcaklık farkında ve birim zamanda transfer edilen ısı enerjisini ifade etmektedir. Isı değiştiricilerinin karakteristiklerini belirlemede önemli bir ölçüdür. Birimi $W/m^2\text{°C}$ ’ dir.

Değiştiricilerin gövdelerini oluşturan plaka ve borulardaki akışkanlar arasındaki ısı transferinde, konveksiyon ve kondüksiyonla iletim bir arada bileşik ısı transferi biçiminde görülmektedir.



Şekil 6.5. Düzlemsel bir levhada ısı geçişi. (Koyuncu, 1998)

Yukarıdaki şekilde sıcak akışkandan duvara taşınım, duvar içerisinde iletimle ve duvardan soğuk akışkana taşınım ısı geçişi gösterilmiştir. Matematiksel olarak ise Fourier yasası ve Ohm yasası kullanılarak aşağıdaki ifade elde edilir:

$$Q_1 = \frac{T_a - T_1}{\frac{1}{h_1 A}} \quad (T_a \text{ ile } T_1 \text{ yüzeyi arasında taşınım ile geçen ısı miktarı}) \quad (\text{E.6.13})$$

$$Q_2 = \frac{T_1 - T_2}{\frac{L}{kA}} \quad (\text{Levhadan iletimle geçen ısı miktarı}) \quad (\text{E.6.14})$$

$$Q_3 = \frac{T_2 - T_b}{\frac{1}{h_2 A}} \quad (T_2 \text{ yüzeyi ile } T_b \text{ arasında taşınım ile geçen ısı miktarı}) \quad (\text{E.6.15})$$

E.6.13, E.6.14 ve E.6.15'te belirtilen denklemlerdeki ısı geçişi ifadeleri aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{Q_1}{h_1 A} = T_a - T_1 \quad (\text{E.6.16})$$

$$\frac{Q_2 L}{k A} = T_1 - T_2 \quad (\text{E.6.17})$$

$$\frac{Q_3}{h_2 A} = T_2 - T_b \quad (\text{E.6.18})$$

Yukarıdaki 3 denklem taraf tarafa toplanırsa,

$$\frac{Q_1}{h_1 A} + \frac{Q_2 L}{k A} + \frac{Q_3}{h_2 A} = T_a - T_1 + T_1 - T_2 + T_2 - T_b = T_a - T_b \quad (\text{E.6.19})$$

İfadesi elde edilir. Yapılan kabuller altında ve termodinamiğin birinci kanununa göre her bir duvardan x yönünde geçen ısı miktarları birbirine eşit olacağından, $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$ yazılabilir. Yukarıdaki ifade Q parantezine alındığında,

$$Q \left(\frac{1}{h_1 A} + \frac{L}{k A} + \frac{1}{h_2 A} \right) = T_a - T_b \quad (\text{E.6.20})$$

denklemini elde edilir. Diğer bir ifade şekli ise;

$$Q = \frac{T_a - T_b}{\left(\frac{1}{h_1 A} \right) + \left(\frac{L}{k A} \right) + \left(\frac{1}{h_2 A} \right)} \quad (\text{E.6.21})$$

E. 6.1 ile E. 6.21 eşitlikliklerini birleştirirsek;

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_m = U \cdot A \cdot (T_a - T_b) = \frac{T_a - T_b}{\left(\frac{1}{h_1 A} \right) + \left(\frac{L}{k A} \right) + \left(\frac{1}{h_2 A} \right)} \quad (\text{E.6.22})$$

$$U \cdot A = \frac{1}{\frac{1}{A} \left(\frac{1}{h_1} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_2} \right)} \quad (\text{E.6.23})$$

$(T_a - T_b)$ İfadeleri sadeleştirildiğinde, E.6.23 ifadesine ulaşılır. Burada A büyüklüğü de sadeleştiğinde bileşik ısı transfer katsayısını gösteren bağıntı elde edilir:

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_1} \right) + \left(\frac{L}{k} \right) + \left(\frac{1}{h_2} \right)} \quad (\text{E.6.24})$$

6.4. Laminer ve Türbülanslı Akış

Taşıyım ve iletimle geçen ısı birbirine oranlandığında, ısı transferinde çok kullanılan boyutsuz bir sayı elde edilir. Bulunan bu boyutsuz sayı Nusselt (Nu) sayısı olarak adlandırılır. Büyük Nu sayıları ısı taşıyımının büyük olması demektir. Eğer Nu sayısı 1 ise, iletimle ısı transferi söz konusudur. Nusselt (Nu) sayısı şu şekilde hesaplanır:

$$\frac{Q_{\text{taşıyım}}}{Q_{\text{iletim}}} = \frac{hA\Delta T}{\frac{kA\Delta T}{L}} \quad (\text{E.6.25})$$

$$Nu = \frac{hL}{k} \quad (\text{E.6.26})$$

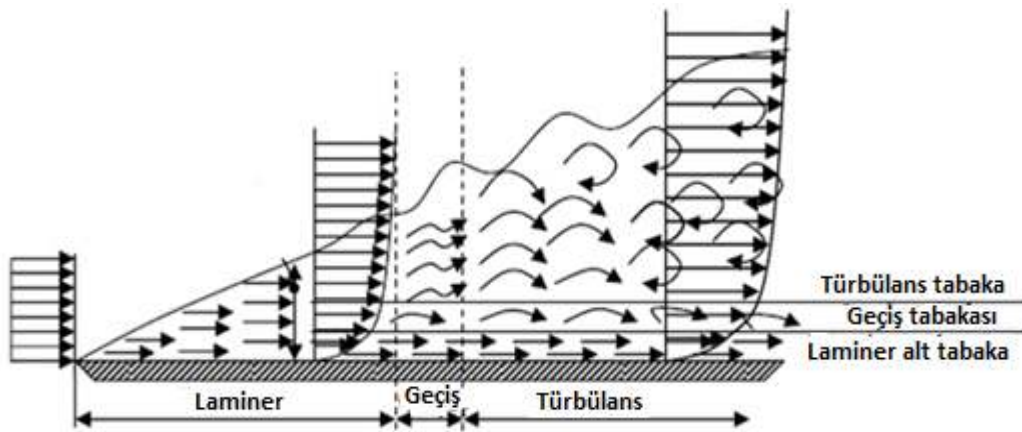
Dairesel kesitli borularda Nusselt sayısının bulunmasında iç çap, dairesel kesiti olmayan kanallarda ise, hidrolik çap kullanılır. Hidrolik çap (D_h) şu şekilde tanımlanır:

$$D_h = \frac{4A}{P} = \frac{4 \text{ Akış kesit alanı}}{\text{Islak çevre}} \quad (\text{E.6.27})$$

Bu durumda dairesel kesit olmayan kanallarda Nusselt (Nu) sayısı hesabı aşağıdaki eşitlikteki gibi yazılabilir. Burada k akışkanın (hava) ortalama sıcaklığına göre ısı iletkenlik katsayısı, h ise ortalama ısı transfer katsayısını ve D_h kanalın hidrolik çapını ifade eder.

$$Nu = \frac{h D_h}{k} \quad (\text{E.6.28})$$

Isı geçiş hızının boyutu akışın laminer veya türbülanslı olmasına büyük ölçüde bağlıdır. Bir akışkan kütlesi içinde, akışkan zerrelere salınım hareketi yapmaksızın aynı yörüngeyi takip ederek gidiyorsa, bu akış şekli laminer akış olarak adlandırılır. Eğer akışkan partikülleri aynı yörüngeyi takip etmeyip salınım hareketleri yaparak yol alıyorsa, bu akış şekli türbülanslı akış olarak adlandırılır.



Şekil.6.6. Düz bir levha yüzeyinde sınır tabakanın gelişmesi.

Şekil 6.6’da düz bir levha üzerindeki akış verilmiştir. Levha üzerindeki akışta hız sınır tabakası başlangıçta laminerdir. Akışkan giriş ucundan itibaren yol aldıkça, yavaş yavaş akış düzensizlikleri başlar ve ilerledikçe çalkantılar artarak türbülanslı akışa geçer. Sınır tabakanın sonunda akış tamamen türbülanslıdır. Laminer akıştan türbülanslı akışa geçiş boyutsuz sayı olan Reynolds (Re) sayısının değişimi ile belirlenir. Re sayısı atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranı şeklindedir.

$$Re = \frac{\text{Atalet kuvvetleri}}{\text{Viskoz kuvvetleri}} = \frac{V_0 \rho D_h}{\mu} = \frac{V_0 D_h}{\vartheta} \quad (\text{E.6.29})$$

V_0 = Akışkanın ortalama hızı, m/s

ρ = Akışkanın yoğunluğu, kg/m³

μ = Dinamik viskozite, kg/ms

ϑ = Kinematik viskozite, m²/s

D_h = Hidrolik çap, m

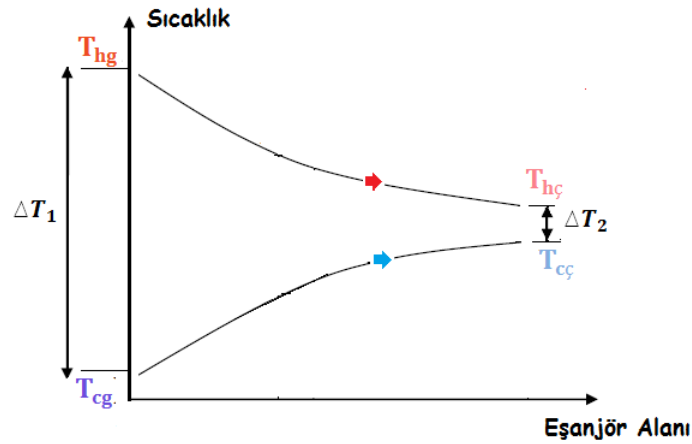
Düz bir levha üzerinde kritik reynolds sayısı $Re_{kr} = 5 \cdot 10^5$ ’dir. Eğer $Re \leq 5 \cdot 10^5$ ise akış laminerdir. Fakat $Re \geq 5 \cdot 10^5$ olduğu zaman akış türbülanslıdır. Reynolds sayısının büyüklüğü akış şartlarına, akış özelliklerine ve yüzey durumuna bağlı olarak 10^5 ile $3 \cdot 10^6$ arasında değişebilir.

Borulardaki akış ile levha yüzeyindeki akışta laminar akıştan türbülanslı akışa geçiş çok farklıdır. Borulardaki geçiş sınırı oldukça büyüktür. Eğer $Re \leq 2300$ ise akış laminar, $Re \geq 4000$ olduğu zaman akış türbülanslıdır. Geçiş için $2300 \leq Re \leq 4000$ bağıntısı geçerlidir. (Altınışık, 2003)

6.5. Logaritmik Ortalama Sıcaklık Farkı ΔT_m

Termodinamiğin 2. yasası gereği, ısı değiştiricilerinde akışkanların sıcaklıkları noktadan noktaya değişmektedir. Sıcak ve soğuk akışkan arasındaki sıcaklık farkı ne kadar fazlaysa, değişim miktarı da o ölçüde artacaktır. Isı değiştiricisi boyunca sıcaklık farkının değişken olması, logaritmik ortalama sıcaklık farkının kullanılmasını gerektirir. Paralel, ters ve çapraz akımlı değiştiriciler için logaritmik ortalama sıcaklık farkı hesaplamaları birbirinden farklıdır. (Altınışık, 2003)

6.5.1. Paralel akımlı ısı değiştiricilerinde ΔT_m hesabı



Şekil 6.7. Paralel akımlı değiştiricide, değiştirici alanı boyunca sıcaklık dağılımı.

Şekil 6.7’de görüldüğü gibi sıcak ve soğuk akışkanlar arasındaki sıcaklık farkı ısı değiştirici girişinde yüksektir ve çıkışa doğru üstel olarak azalır. Isı değiştiricisi boyunca sıcak akışkanın sıcaklığı azalırken soğuk akışkanın sıcaklığı artar. Fakat ısı değiştirici boyutu ne kadar uzun olursa olsun, termodinamiğin ikinci kanunu gereğince soğuk akışkanın sıcaklığı hiçbir zaman sıcak akışkanın sıcaklığını geçemez.

Isı değiştiricinin her bir akışkan için enerji dengesi yazıldığında yani ısı değiştiricinin herhangi bir kesitindeki sıcak akışkanın ısı kayıp hızı, o kesitte soğuk akışkanın ısı kazanç hızına eşitlendiğinde son olarak karşımıza şu ifade çıkacaktır:

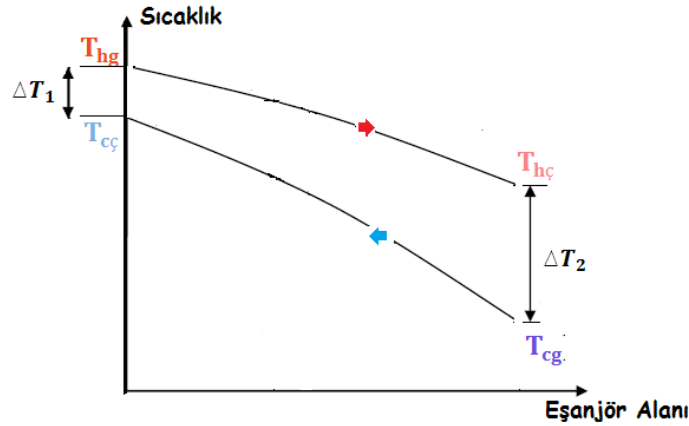
$$\Delta T_1 = T_{hg} - T_{cg} \quad (E.6.30)$$

$$\Delta T_2 = T_{hç} - T_{cç} \quad (E.6.31)$$

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \quad (E.6.32)$$

İki akışkan arasındaki sıcaklık farkı girişte ΔT_1 ’ den çıkışta ΔT_2 ’ ye kadar azalır. Sıcaklık farklarının doğrudan aritmetik ortalamasını almak cazip gelebilir, fakat ΔT_m logaritmik ortalama sıcaklık farkı; sıcaklık farkının üstel azalmasını gerçeğe daha yakın bir biçimde yansıtır. (Çengel, 2011)

6.5.2. Ters akımlı ısı değiştiricilerinde ΔT_m hesabı



Şekil 6.8. Ters akımlı ısı değiştiricide, değiştirici alanı boyunca sıcaklık dağılımı.

Şekilde görüldüğü gibi sıcak ve soğuk akışkanlar ısı değiştiriciye zıt taraflardan girerler. Bundan dolayı soğuk akışkanın çıkıştaki sıcaklığı sıcak akışkanın çıkıştaki sıcaklığını geçebilir. Fakat yine termodinamiğin 2. yasası gereği soğuk akışkanın çıkış sıcaklığı sıcak akışkanın giriş sıcaklığını asla aşamaz.

Yukarıda E.6.32’ de verilen ΔT_m logaritmik ortalama sıcaklık ifadesi paralel akışlı ısı değiştiricisi için türetilmiştir. Fakat eşitlikler ters akımlı ısı değiştiricisi için tekrarlandığında bu bağıntının ters akışlı ısı değiştiriciler için de uygulanabileceği görülür. Ancak bu kez, ΔT_1 ve ΔT_2 ’ nin ifade şekilleri şu şekilde değişir:

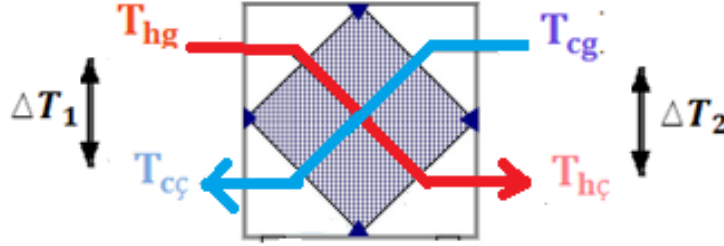
$$\Delta T_1 = T_{hg} - T_{cç} \quad (E.6.33)$$

$$\Delta T_2 = T_{hç} - T_{cg} \quad (E.6.34)$$

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \quad (E.6.35)$$

Belirli giriş ve çıkış sıcaklıkları durumunda ters akışlı ısı değiştiriciye ait logaritmik ortalama sıcaklık farkı paralel akışlı ısı değiştiricinininkine oranla her zaman daha büyüktür. Böylece ters akışlı ısı değiştiricisinde aynı yüzey alanı ile daha yüksek miktarda ısı transferi yapılabilir. (Çengel, 2011)

6.5.3. Çapraz akımlı ısı değiştiricilerinde ΔT_m hesabı



Şekil 6.9. Çapraz akımlı ısı değiştiricide sıcaklık transferi gösterimi.

Çapraz akımlı ısı değiştiricilerinde logaritmik ortalama sıcaklık farkının hesabı oldukça karmaşıktır. Bu durumda ters akımlı bir ısı değiştiricisi gibi kabul edilerek; bulunan logaritmik ortalama sıcaklık farkı; bir F düzeltme faktörüyle çarpılmalıdır. Buna göre çapraz akışlı ısı değiştiricisi için ΔT_m logaritmik ortalama sıcaklık farkı şu şekilde yazılabilir:

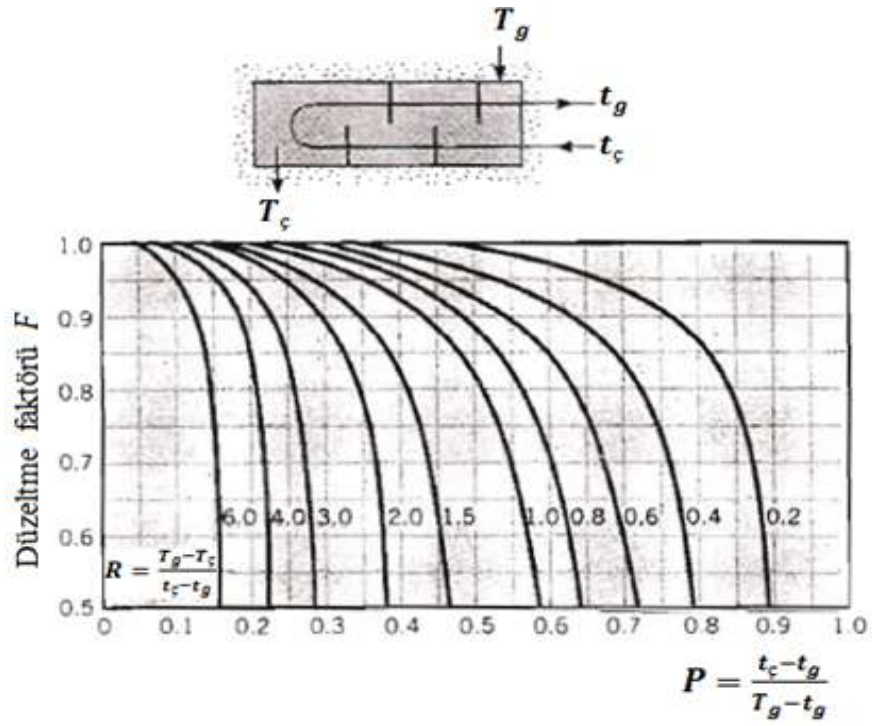
$$\Delta T_1 = T_{hg} - T_{cç} \quad (E.6.36)$$

$$\Delta T_2 = T_{hç} - T_{cg} \quad (E.6.37)$$

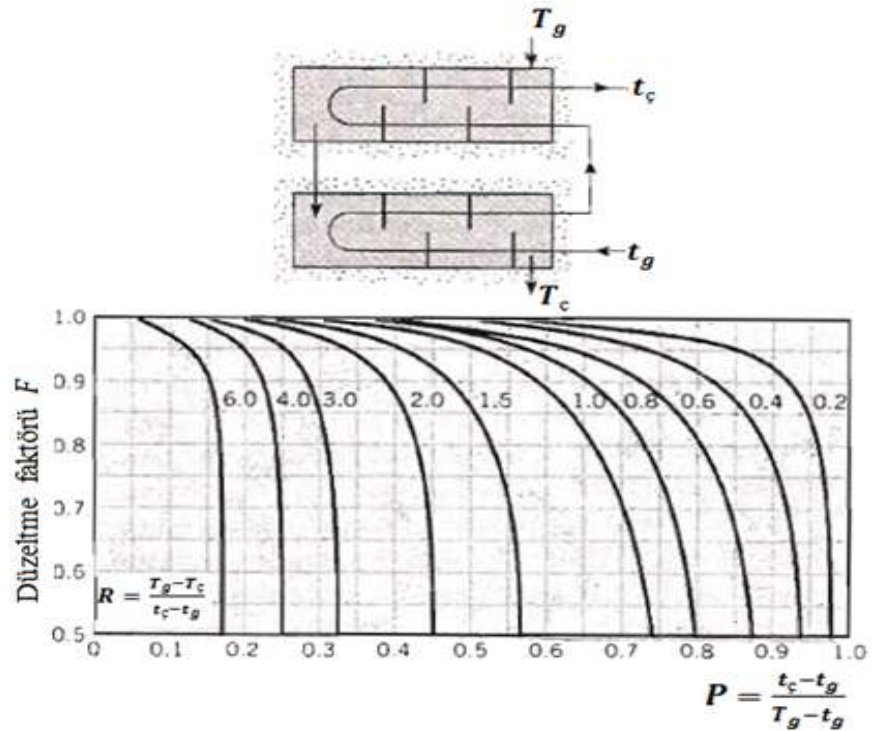
$$\Delta T_m = F \cdot \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \quad (E.6.38)$$

Düzeltilme faktörü F ısı değiştiricisinin geometrisine, sıcak ve soğuk akışkan akımlarının giriş ve çıkış sıcaklıklarına bağlıdır. F düzeltme faktörü $F = f(P, R, akışdüzeni)$ fonksiyonuyla tanımlanır.

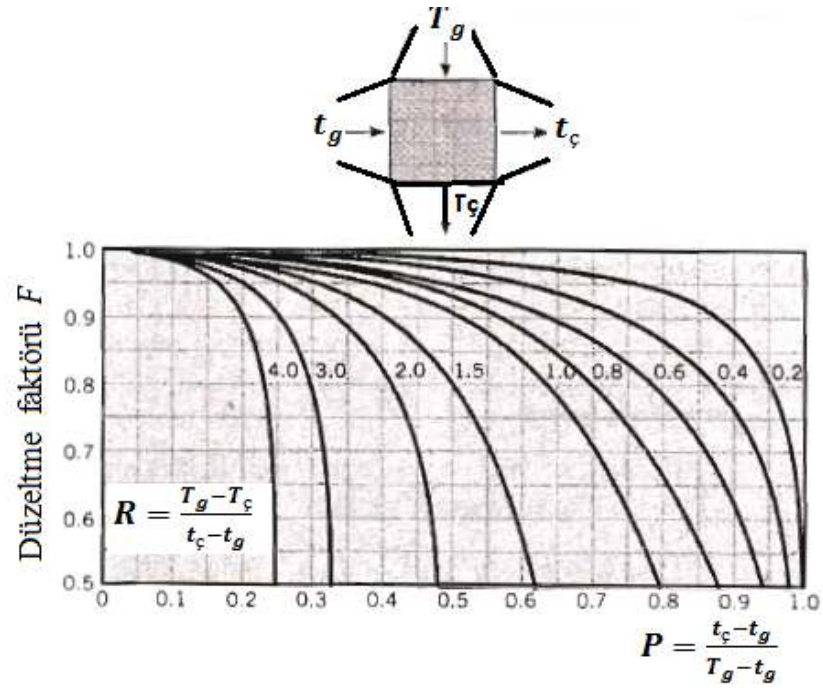
Düzeltilme faktörü F değeri her zaman 1'den küçük olup ısı değiştiricisinin konstrüksiyonuna göre farklı değerlere alır ve bu değerlerin hesaplanması oldukça karışık matematiksel ifadeler içermektedir. Bunun yerine F 'nin tayininde genellikle hazır diyagramlardan yararlanılır. Çeşitli değiştiricilere ait hazırlanmış düzeltme faktörüne ait diyagramlar aşağıda Şekil 6.10, Şekil 6.11, Şekil 6.12 ve Şekil 6.13'te verilmiştir.(Çengel, 2011)



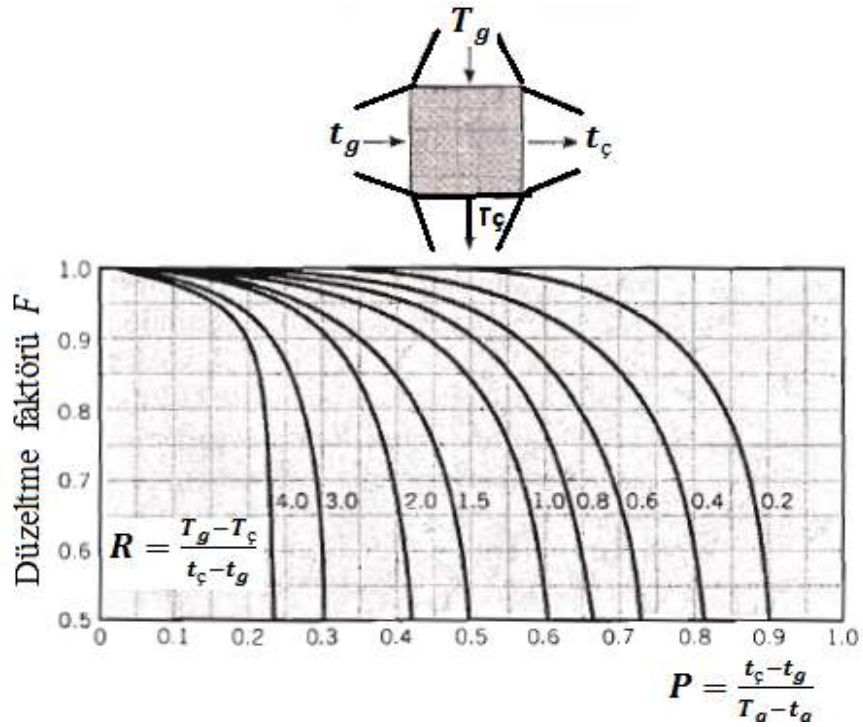
Şekil 6.10. Gövde borulu bir ısı değiştiricisinde, bir gövde geçişi ve ikin katları (iki, dört, vb.) boru geçişinin olması durumunda düzeltme faktörü.



Şekil 6.11. Gövde borulu bir ısı değiştiricisinde, iki gövde geçişi ve dördün katları (dört,sekiz, vb.) boru geçişinin olması durumunda düzeltme faktörü.



Şekil 6.12. Her iki akışkanın da karışmadığı, tek geçişli, çapraz akışlı bir ısı değiştiricisinde düzeltme katsayısı.



Şekil 6.13. Bir akışkanın karıştığı, diğer akışkanın karışmadığı, tek geçişli, çapraz akışlı bir ısı değiştiricisinde düzeltme katsayısı.

6.6. Etkenlik NTU metodu (ε -NTU)

Isı değiştiricilerinde akışkanların giriş ve çıkış sıcaklıkları biliniyor veya enerji korunumu ifadelerinden hesaplanabiliyorsa, bir önceki konuda bahsedilen logaritmik ortalama sıcaklık farkından yararlanılarak ısı hesaplar kolayca yapılabilir. Uygulamadaki bazı durumlarda akışkanların çıkış sıcaklıkları belli olmayabilir. Bu durumda logaritmik ortalama sıcaklık farkını kullanmak için, deneme yanılma yöntemi tercih edilebilir. Ancak bu gibi durumlarda, etkenlik-NTU yöntemi adı verilen farklı bir yöntemin kullanılması daha uygundur. Bu yönteminin diğerk bir üstünlüğü, aynı amaç için kullanılabilecek ısı değiştiricilerinin birbirleri ile karşılaştırılmasını sağlar ve bunlar içinden en uygun ısı değiştiricisinin seçimine olanak verir. (Genceli, 2005)

Etkenlik(ε), herhangi bir ısı değiştiricisinde gerçekleşen ısı geçişinin, mümkün olabilecek maksimum ısı geçişine oranı şeklinde tanımlanır.

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{max}} \quad (E.6.39)$$

Burada geçen ısı miktarı; E.6.5 ve E.6.6' da verilen sıcak akışkanın verdiği veya soğuk akışkanın aldığı ısılardan hesaplanabilir.

$$Q = \dot{m}_h c_{ph} (T_{hg} - T_{hc}) = \dot{m}_c c_{pc} (T_{cc} - T_{cg}) \text{ ifadesinde}$$

$$\dot{m}_h c_{ph} = C_1 \text{ (Sıcak akışkanın ısıl kapasite debisi) ve}$$

$$\dot{m}_c c_{pc} = C_2 \text{ (Soğuk akışkanın ısıl kapasite debisi) olarak yazıldığında;}$$

$$Q = C_1 (T_{hg} - T_{hc}) = C_2 (T_{cc} - T_{cg}) \text{ ifadesi elde edilir.} \quad (E.6.40)$$

Mümkün olabilen maksimum ısı geçiş miktarı olarak tanımlanan Q_{max} değeri ise C_1 ve C_2 ısıl kapasite debilerinden hangisi daha küçük ise, sıcak akışkanın girişi ile soğuk akışkanın girişi arasındaki sıcaklık farkı ile çarpılarak bulunur.

$$C_1 < C_2 \rightarrow Q_{max} = C_1 (T_{hg} - T_{cg})$$

$$C_2 < C_1 \rightarrow Q_{max} = C_2 (T_{hg} - T_{cg})$$

$$Q_{max} = C_{min} (T_{hg} - T_{cg}) \quad (E.6.41)$$

Bu tanımlamalara göre ısı değiştiricisi etkenliği;

$$\varepsilon = \frac{C_1(T_{hg}-T_{hc})}{C_{min}(T_{hg}-T_{cg})} \text{ yada } \varepsilon = \frac{C_2(T_{cc}-T_{cg})}{C_{min}(T_{hg}-T_{cg})} \text{ şeklinde yazılır.} \quad (E.6.42)$$

Burada, ε ısı değiştiricisi etkenliği olarak adlandırılır ve verim ile karıştırılmamalıdır. Isı değiştiricisi verimi, soğuk akışkanın kazandığı ısı, sıcak akışkanın kaybettiği ısıya oranı olup, aradaki fark değiştirici yüzeylerinden dış ortama geçen ısı miktarıdır. Etkenlik ise sistemin belirli çalışma şartları altında gösterdiği performansın, ideal performansına oranı şeklinde tanımlanabilir. (Danışman, 2010)

Isı değiştiricisi etkenliği $0 \leq \varepsilon \leq 1$ aralığındadır. $\varepsilon=1$ olan bir ısı değiştiricisinde küçük ısı kapasiteye sahip akışkanın çıkış sıcaklığı, büyük ısı kapasiteye sahip akışkanın giriş sıcaklığına ulaşacaktır. E.6.39 ve E.6.41 bağıntıları değerlendirildiğinde transfer edilen ısı miktarı; (Altınışık, 2003)

$$Q = \varepsilon \cdot Q_{max} = \varepsilon C_{min} (T_{hg} - T_{cg}) \text{ olur.} \quad (E.6.43)$$

Herhangi bir ısı değiştiricisi için geçiş transfer sayısı NTU, ısı değiştiricisinin büyüklüğünün bir göstergesi olup boyutsuz bir sayıdır. NTU, ısı değiştiricilerinin ısı analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Şu şekilde tanımlanır;

$$NTU = \frac{U A}{C_{min}} \quad (E.6.44)$$

E.6.44'ten de anlaşılacağı üzere NTU değeri U ve A değerlerinin artırılması ile ya da C_{min} değerinin azaltılması vasıtası ile artırılabilir. Düşük NTU değerlerinde ısı değiştiricisi etkinliği de düşüktür ve yükselen NTU değerleri ile yükselir. Mükemmel bir değiştiricide NTU değeri sonsuza gidecektir, bunun sebebi mükemmel değiştiricide A değerinin, yani ısı transfer alanının sonsuz olmasıdır. Bu durumda değiştirici etkenlik değeri (ε) ise %100 olacaktır.

$C^* = C_{min}/C_{max}$ tanımı genel olarak iki akışkanlı bir değiştiricide küçük ısı kapasiteli akışkanın ısı kapasite debisi, büyük ısı kapasiteye sahip akışkanın ısı kapasite debisine oranı şeklinde tanımlanabilir. Bu tanımdan yola çıkarak C^* değeri için hiçbir zaman 1'den büyük olamayacağını (≤ 1) söylemek yanlış olmaz. Bir ısı değiştiricisi C^* değeri 1'e eşit olduğu zaman o değiştirici dengelenmiş olarak tanımlanır.

Etkenlik değeri, ısı transfer birim sayısı (NTU), $C^* = C_{min}/C_{max}$ ısı kapasite debilerinin oranı değerleri ile akış karakteristiğine bağlı bir fonksiyondur ve

$$\varepsilon = f\left(NTU, \frac{C_{min}}{C_{max}}, \text{akış karakteristiği}\right) \text{ şeklinde yazılabilir.} \quad (\text{E.6.45})$$

Paralel akışlı ısı değiştiricisi için etkenlik;

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1+C^*)]}{1+C^*} \quad (\text{E.6.46})$$

Ters akışlı ısı değiştiricisi için $C^* < 1$ ise etkenlik;

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1-C^*)]}{1 - C \exp[-NTU(1-C^*)]} \quad (\text{E.6.47})$$

Ters akışlı ısı değiştiricisi için $C^* = 1$ ise etkenlik;

$$\varepsilon = \frac{NTU}{1+NTU} \text{ şeklinde ifade edilir.} \quad (\text{E.6.48})$$

İki akışkanın da karışmadığı çapraz akışlı ısı değiştiricisi için $0 < C^* \leq 1$ ise etkenlik;

$$\varepsilon = 1 - \exp\left[\frac{\exp(-C^*(NTU)^{0,78}) - 1}{C^*(NTU)^{-0,22}}\right] \quad (\text{E.6.49})$$

C_{max} karışıp C_{min} karışmadığı çapraz akışlı ısı değiştiricisi için etkenlik;

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-C^*[1 - \exp(-NTU)]]}{C^*} \quad (\text{E.6.50})$$

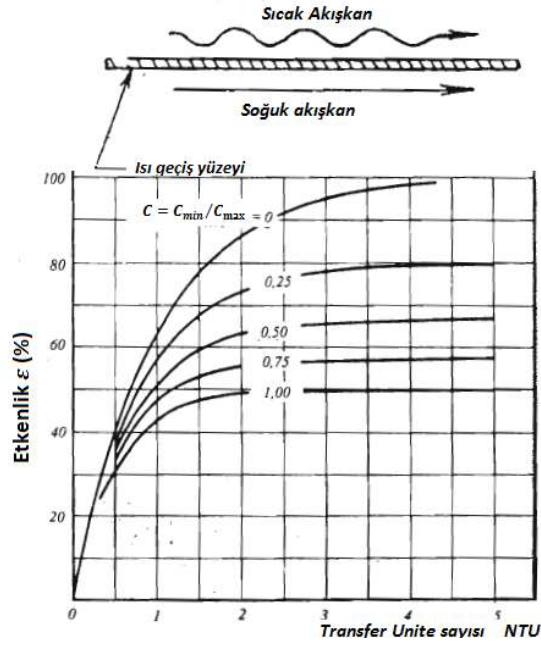
C_{min} karışıp C_{max} karışmadığı çapraz akışlı ısı değiştiricisi için etkenlik;

$$\varepsilon = 1 - \exp\left[-\frac{1}{C^*}[1 - \exp(-C^*(NTU))]\right] \quad (\text{E.6.51})$$

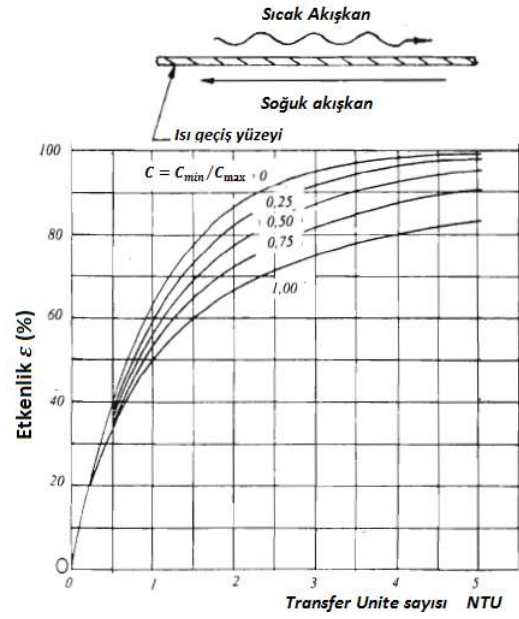
Tüm ısı değiştiricileri için $C^* = 0$ ise etkenlik;

$$\varepsilon = 1 - \exp(-NTU) \text{ bağıntısı kullanılarak hesaplanır.} \quad (\text{E.6.52})$$

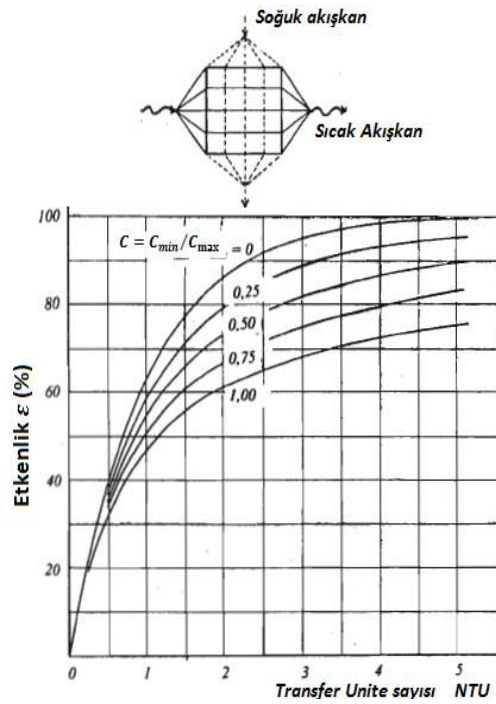
Uygulamada çok karşılaşılan bazı ısı değiştiricisi tipleri için etkenlik ε değerleri şekillerdeki grafikler kullanılarak bulunabilir.



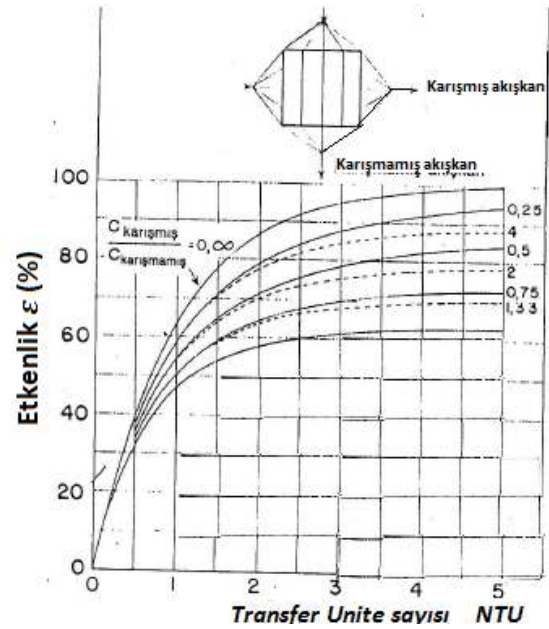
Şekil 6.14. Paralel akışta etkenlik.



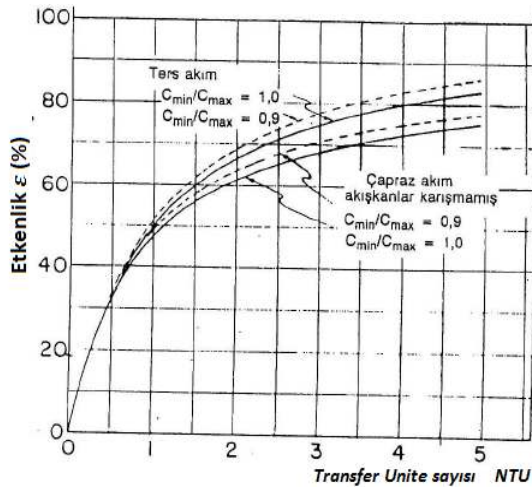
Şekil 6.15. Ters akışta etkenlik.



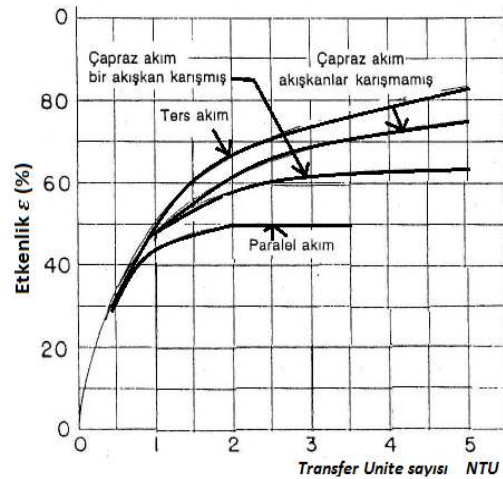
Şekil 6.16. İki akışkanın da karışmadığı çapraz akışta etkenlik.



Şekil 6.17. Akışkanlardan birinin karıştığı çapraz akışta etkenlik.



Şekil 6.18. C 'nin ε değerine etkisi.



Şekil 6.19. Farklı akışkanların ε değerine etkisi.

Bu grafikler incelendiğinde şu yorumlar yapılabilir:

1. Grafiklerdeki ısı değiştiricilerinin hepsinde sabit bir C^* değeri için ısı değiştirici etkenlik değeri ε , artan NTU değerlerine paralel olarak azalan bir oranda artar.
2. ε değerinin %100'e ulaştığı noktada NTU değeri de muhakkak sonsuza ulaşır.
3. Çapraz akımlı ve paralel akımlı değiştiricilerde (ters akımlı ısı değiştiricileri haricinde kalan değiştiricilerde) NTU hangi değeri alırsa alsın, ε değeri (%100) değerine çıkamayabilir. Ancak C^* çok küçük değerler aldığında ulaşılabilir.
4. Sabit bir NTU değerinde, düşen C^* değerleri için ısı değiştirici etkenlik değeri ε artar. $C^* = C_{min}/C_{max}$ tanımı incelendiğinde C^* 'yi azaltmak için C_{min} azaltılabilir. Bu doğrultuda düşük ısı kapasite oranına sahip akışkanın debisinin daha da düşürülerek, söz konusu akışkanın değiştirici içinde daha fazla kalmasının sağlanması ve çıkış sıcaklığının eğer sıcak akışkan ise daha da düşmesine, eğer soğuk akışkan ise daha da yükselmesine sebep olunarak değiştirici etkinliğinin daha da artması sağlanacaktır.
5. Isı değiştirici etkenlik değerinin yaklaşık %40 ve daha aşağıda değerler alması durumunda NTU sıfıra yaklaşmakta ve de C^* değerindeki artış ve düşüşlerin, etkenlik değeri üzerindeki etkisi azalmaktadır.
6. Eşit NTU ve C^* değerlerinde karşıt akımlı ısı değiştiricisinin etkinliği diğer tip değiştiricilerle karşılaştırıldığında daha yüksektir. (Danışman, 2010)

6.7. Deney Tasarım Teknikleri ve Taguchi İle Deney Tasarımı

Deney tasarımı, 1920'lerde İngiliz istatistikçi Sir Ronald A. Fisher tarafından, tarım alanlarında araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Yöntem, kısa süre içinde Amerika'da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için yoğun olarak uygulanmış ve Amerika'nın bu alanda dünyada lider konumuna gelmesine büyük katkıda bulunmuştur. Tarım alanında, çeşitli gübre ve dozları ile iklim koşullarının ve sulama düzeylerinin çeşitli ürünlere olan etkilerini belirlemek üzere uygulanmıştır. Daha sonra kimya ve ilaç sektöründe de uygulanmış olmasına rağmen; imalat sektöründeki uygulamaları, 1970'lere kadar son derece kısıtlı kalmıştır.

Deney tasarımı, 1980'lerin başında Japonya'da Taguchi'nin önderliğinde yoğun ve etkili olarak uygulanmıştır. Taguchi, üretimdeki uygulamalarla yöntemin imalat sektöründe kabul görmesini sağlamıştır. (Yılmaz, 2010)

Tasarlanmış deney, bir prosesin çıktılarındaki değişimleri gözlemlemek ve tanımlamak üzere girdi faktörlerinin bilinçli olarak değiştirilmesi şeklinde yapılan test veya testler dizisidir. Çıktı ürün bir veya daha fazla gözlemlenebilir kalite özelliğine sahiptir. Bazı proses girdileri kontrol edilebilir iken bazıları gürültü diye de adlandırılan kontrol edilemeyen girdi faktörleridir. Deneylerin amacı şu şekilde sıralanabilir;

- Girdi faktörlerden hangilerinin çıktı üzerinde en çok etkili olduğunun tespiti.
- En uygun çıktının eldesi için girdi faktörlerinin alması gereken değerin tespiti.
- Çıktı değerinin en az varyansa sahip olması için girdi faktörlerinin alması gereken değerin tespiti.
- Kontrol edilemeyen değişkenlerin etkilerini minimize etmek için girdi faktörlerinin alması gereken değerin tespiti.

Deney tasarımında kullanılan bazı kavramlar şunlardır;

Kalite değişkeni (Yanıt Değişkeni): Deneyde, ölçülmesi planlanan sonuç veya çıktıdır. Y şeklinde gösterilir.

Faktör: Deneye dahil edilen, yanıt değişkeni üzerinde etkili olabileceği düşünülen, araştırmacı tarafından belirlenen kontrol edilebilen değişkenlerin her biri olup, büyük harflerle (A,B gibi) gösterilir. Faktörler, sıcaklık, basınç, hız gibi nicel ve sürekli büyüklükler olabileceği gibi, bir malzemenin cinsi, bir cihazın türü veya bir sistemin açıklık- kapalılık durumu gibi nitel ve kesikli kavramlar da olabilir.

Düzey (seviye): Faktörlerin deneyde alması planlanan değerlerinin her biridir. Deneyler 2, 3 veya 4 düzeyli olabilir. 2 düzeyli deneylerde genellikle nicel olarak küçük değer alt düzey, büyük değer ise üst düzey olarak kabul edilir. Düzeyler 1, 2, 3, 4 gibi rakamlarla gösterilebileceği gibi 2 düzeyli deneylerde (-) ve (+) veya (-1) ve (+1) şeklinde de gösterilebilir.

Gürültü: Bir deneyde kontrol edilemeyen ya da kontrol edilmesi oldukça güç olan fakat kalite değişkeni üzerinde etkisi olduğu düşünülen değişkenlere gürültü denir.

Tekrar: Deneyin tamamının ya da bir kısmının birden fazla kez uygulanmasıdır. Hatayı ve gürültü faktörlerini tespit edebilmek için genellikle deneyler tekrarlı yapılır. Bir deneyin tekrar sayısı r ile gösterilir.

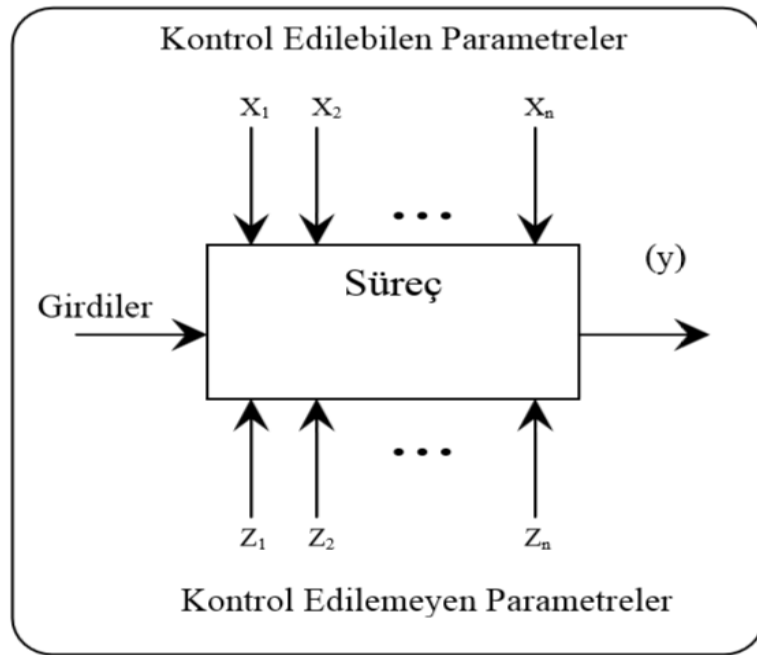
Etki: Bir faktörün kalite değişkeni üzerinde değişiklik yapabilme yeteneğinin büyüklüğüdür.

Etkileşim: Bir faktörün kalite değişkenine olan etkisinin diğer faktör veya faktörlerin düzeylerine bağlı olması durumunda ortak faktör etkilerinin ortaya çıkışıdır. (Öztop, 2007). Günlük hayattan örnek vererek etkileşim şu şekilde açıklanabilir: zinde bir insanın uyanık derecesini %100 olarak kabul ettiğimizde alkol alımı uyanıklık derecesini %90'a indirirken bir doz sakinleştirici %80'a indirir. Her ikisi birlikte alındığında kişi derin bir uykuya düşer. Yani uyanıklık %0'a iner. Burada alkol ile ilaç arasında bir etkileşim olduğu görülüyor. Etkileşim olmasaydı uyanıklık azalması ikisinin toplamı yani %70 kadar olacaktı. (Şirvancı, 1997)

Rastgeleleştirme: Araştırmacı tarafından deneyde ortaya çıkarılacak olan kişisel yanlılığa ve sistematikliğe engel olmak için denemelerin deney birimlerine atanması ve uygulanacak olan denemelerin sırasının rastgele belirlenmesi işlemidir.

Bloklama: Bir deneyin hassasiyetini artırmak için deney birimlerini gruplayarak parçalama veya bölmeye denir. Her bir bloktaki gözlemler benzer deney koşulları altında bir araya getirilir ve her bir bloktaki gözlemler farklı bloklardakilere göre daha homojendir. Bloklanmış iki ya da daha fazla denemenin karşılaştırılması, bloklanmamış bir düzendeki benzer karşılaştırmalardan daha hassas sonuçlar verir. (Öztop, 2007)

Genel olarak deneyler sistemin ya da sürecin performansını ölçmede de kullanılır. Bir deney modeli Şekil 6.20'de gösterilmiştir. Burada X_1 , X_2 ve X_n kontrol edilebilen parametreler ve Z_1 , Z_2 ve Z_n ise kontrol edilemeyen parametrelerdir.



Şekil 6.20. Bir deneysel sistem yada sürecin genel modeli. (Gökçe, 2009)

Deney tasarım teknikleri, yeni bir süreç geliştirmede ve iyileştirme amacıyla mevcut süreci düzeltmede çok önemli bir rol oynamaktadır. Değişkenliğin kaynağı olan, kontrol edilemeyen değişkenlerin ($Z_1, Z_2, \dots, Z_n$) etkisinin en az olduğu bir süreç ile en iyi koşullar sağlanmaktadır. Deney tasarımı çalışmalarında faktöryel tasarım, cevap yüzeyi metodu ve Taguchi yöntemi günümüzde yaygın bir kullanıma sahiptir. Bu yöntemler içinde Taguchi yöntemi, diğer yöntemlere göre daha az deney sayısı ve daha az maliyetle hızlı bir şekilde sonuca ulaşmayı sağlaması bakımından literatürde yaygın kullanılan yöntem olarak görülmektedir. (Yıldırım, 2011)

Deneyisel tasarım yöntemlerinin amacı, incelenen sistemdeki değişimlerin nedenini araştırmak ve değişimleri ortadan kaldırmaya veya değişimlere karşı sistemi güçlendirmeye yönelik çalışmalar yapmaktır. Değişkenliğin kontrol altında tutulmasıyla kalitenin yükseltilmesi ve maliyetin düşürülmesi sağlanabilir. Bu gelişmeler, bir çok araştırmacıyı bu alana yöneltmiş ve aşağıda sıralanan bazı yöntemler geliştirilmiştir;

1. Her defasında bir faktörü değiştirerek deney yapma
2. Klasik istatistiksel deney tasarımı
 - a. Tam faktöryel deney tasarımı
 - b. Kesirli faktöryel deney tasarımı
3. Taguchi deney tasarımı

6.7.1. Her defasında bir faktörü değiştirerek deney yapma

Bu stratejide ürün ve süreci etkileyen faktörlerin performans değeri üzerindeki etkilerini belirleyebilmek için her defasında bir faktör değiştirilip diğerleri sabit tutularak deneyler gerçekleştirilmektedir. Fazla sayıda deney gerektirmesi ve optimum çalışma şartlarını her zaman belirleyememesi, her defasında bir faktörü değiştirerek deney yapma yönteminin ne pratik, ne ekonomik, ne de etkin olmadığının göstergesidir.

6.7.2. Klasik istatistiksel deney tasarımı

Klasik istatistiksel tasarımların nihai amacı, performans değeri ortalamasını hedeflenen değere getirmek olup, hedef civarındaki değişkenlikle ilgilenilmez. Oysa ki, kitle üretiminde karşılaşılan en önemli problem performans değerindeki değişkenliktir.

Klasik istatistiksel tasarımda kontrol edilmeyen faktörler deneylerde incelenmediği için deneyler üzerinde bazı sınırlamalar getirmektedir. Deneysel malzemedeki heterojenliğin etkisini ortadan kaldırmak için rastgeleleştirme kullanılmaktadır. Böyle bir hareket tarzı ile kontrol edilmeyen faktörlerdeki beklenmeyen değişkenliklerin (ortamın sıcaklığı, nemi, basıncı, vb.) olumsuz etkileri azaltılabilir. Ancak, bütün kontrol edilmeyen faktörlerin performans değeri üzerindeki etkileri sabit olmadığı için kısmi başarı elde edilse de, tam sağlıklı sonuç elde edilememektedir. Klasik deney tasarım yöntemlerinin eleştirilen diğer bir yönü de istatistiksel kurallara son derece bağlı olmasıdır. Sözelimi, deneyler sonunda bir faktörün modele alınıp alınmayacağı F testi ile belirlenir. Ayrıca, deneylerde çok sayıda bileşik etkinin incelenmesi ve böylece performans değerinin elde edilmesinde faktörlerin toplanabilirliğinin bozulması nedeniyle laboratuvar ortamında belirlenen optimum değerler, gerçek üretim şartlarında elde edilmeyebilir.

6.7.2.1. Tam faktöriyel deney tasarımı

Performans değerini etkileyen faktörlerin tüm kombinasyonlarının incelendiği tam faktöriyel tasarım stratejisinde tüm faktörler aynı anda değiştirilmektedir. Her defasında bir faktör değiştirerek deney yapma stratejisine göre her yönü ile daha avantajlı olan tam faktöriyel tasarımın tek ve en önemli dezavantajı faktör ve/veya seviye artıkcı yapılması gereken deney sayının aşırı derecede artmasıdır. (Demir, 2006)

Tam faktöriyel deney tasarımı, en az iki veya daha fazla parametre ve bu parametrelere ait en az iki veya daha fazla seviyelerin bulunduğu deneylerde seviyelerin birbirleri ve çarpımları ile oluşan kombinasyondur. Çizelge 6.1’de örnek bir deney modeli verilmiştir. Bu deney modeline göre 3 adet parametre ve her bir parametrenin de 2 adet

seviyesi bulunmaktadır. Bu durumda her bir parametre ve seviye kombinasyonu denendiğinde toplam 8 adet deney yapılmalıdır. Aynı şekilde 4 parametrelili bir deneyde her bir parametre 3 seviyeye sahipse toplam $3 \times 3 \times 3 \times 3 = 81$ adet deney yapılması gerekmektedir.

Çizelge 6.1.'de P_1 , P_2 ve P_3 parametreleri, 1 ve 2 ise parametrelere ait seviyeleri göstermektedir. Her bir deneyin en az 3 ölçüm sonucu Y_i olarak deney satırına yerleştirilmiştir. Tüm ölçümler yapıldıktan sonra her bir deneyin ölçümlerinin ortalaması alınır ve ortalama hanesine sonuç olarak (S_i) yazılır.

Çizelge 6.1. Tam faktöriyel deney tasarım tablosu. (Gökçe, 2010)

Deney Sayısı	Parametre ve seviyeleri			Ölçüm (Y) 1	Ölçüm (Y) 2	Ölçüm (Y) 3	Ort.
	P_1	P_2	P_3				
1	1	1	1	Y_1	Y_1	Y_1	S_1
2	1	1	2	Y_2	Y_2	Y_2	S_2
3	1	2	2	Y_3	Y_3	Y_3	S_3
4	1	2	1	Y_4	Y_4	Y_4	S_4
5	2	1	1	Y_5	Y_5	Y_5	S_5
6	2	1	2	Y_6	Y_6	Y_6	S_6
7	2	2	1	Y_7	Y_7	Y_7	S_7
8	2	2	2	Y_8	Y_8	Y_8	S_8

Çizelge 6.1'deki örneğe göre her bir parametrenin etkisi ve birbirleri ile olan etkileşimi araştırıldığında basit olarak ortaya şu denklemler çıkar:

$$\text{Etki } P_1 = (S_1 + S_2 + S_3 + S_4)/4 - (S_5 + S_6 + S_7 + S_8)/4$$

$$\text{Etki } P_2 = (S_1 + S_2 + S_5 + S_6)/4 - (S_3 + S_4 + S_7 + S_8)/4$$

$$\text{Etki } P_3 = (S_1 + S_4 + S_5 + S_7)/4 - (S_2 + S_3 + S_6 + S_8)/4$$

$$\text{Etki } P_1 P_2 = (S_1 + S_2 + S_7 + S_8)/4 - (S_3 + S_4 + S_5 + S_6)/4$$

$$\text{Etki } P_1 P_3 = (S_1 + S_4 + S_6 + S_8)/4 - (S_2 + S_3 + S_5 + S_7)/4$$

$$\text{Etki } P_2 P_3 = (S_1 + S_3 + S_5 + S_8)/4 - (S_2 + S_4 + S_6 + S_7)/4$$

$$\text{Etki } P_1 P_2 P_3 = (S_2 + S_4 + S_5 + S_8)/4 - (S_1 + S_3 + S_6 + S_7)/4 \quad (\text{E.6.53})$$

Yukarıda belirtilen eşitlikler (E.6.53) deneyin sonucunu etkileyebilecek parametre seviyelerinin çıkartılmasında kullanılmaktadır. Bu denklem Çizelge 6.1'e göre çıkartılmıştır. P_1 parametresinin birinci seviyesine karşılık gelen sonuçların toplamı ile

ikinci seviyesine karşılık gelen sonuçlarının toplamı karşılaştırılır. Burada hangisi diğerinden daha büyükse o seviyenin etkisinin daha fazla olduğu ortaya konulur. Bu işlem tüm parametreler için yapılır.

Tam faktöriyel deneylerin analizinde ANOVA (Varyasyon Analizi) ve regresyon analizi kullanılmaktadır. Bu yöntemler ile bir parametrenin deney üzerindeki etkisi hesaplanabilir. Varyasyon ve regresyon analizi teknikleri işlem sırasında bir değişiklik yapmadan farklılıkların kaynağının belirlenmesine yardımcı olur. (Gökçe, 2009)

6.7.2.2. Kesirli faktöriyel deney tasarımı

Çok sayıda faktörü içeren gerçek hayat problemlerinin çözümünde tam faktöriyel tasarım stratejisi ile çok fazla sayıda deney yapmak gerekmektedir. Bu durum, çoğu kere, deneysel çalışmanın başlamadan bitmesine neden olur. Deneysel çalışmanın yapılabilirliğini sağlayabilmek için kesirli faktöriyel tasarım strateji kullanılabilir bir alternatiftir. Kesirli faktöriyel tasarım, tam faktöriyel tasarımdan dikkatlice seçilmiş deneyleri kullanarak bazı bileşik etki bilgilerinin kaybına karşın deney sayısında önemli miktarda azalma sağlamaktadır. (Demir, 2006)

Maliyetten ve zamandan kazanmak için deney sayısını orantılı olarak azaltarak kesirli faktöriyel deney tasarımı elde edilir. Örneğin 7 parametrelili ve 2 şer seviyeli bir deney tam faktöriyel olarak yapıldığında $2^7 = 128$ deney yapılması gerekir bunun $\frac{1}{2}$ kesiri yani 64 deney ya da $\frac{1}{4}$ kesiri 32 deney vb. yapılabilir. Deney sayısını kesirli olarak azaltmak tamamen araştırmacıların elindedir. (Gökçe, 2009)

6.7.3. Taguchi deney tasarımı

Taguchi metodu, üründe ve proseste, değişkenliği oluşturan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin düzeylerinin en uygun kombinasyonunu seçerek, ürün ve prosesteki değişkenliği en aza indirmeye çalışan bir deneysel tasarım metodudur. Bu metot; ürünlerin kalitesinin iyileşmesinde etkili olmasının yanı sıra, kalite geliştirmede çok daha az deneme ile daha iyi sonuç alma imkanını vermektedir. (Canıyılmaz ve Kuntay, 2003)

Taguchi yöntemi bir kesirli faktöriyel deney tasarımı türüdür. Ancak Taguchi'nin bu deney tasarımına kattığı yeni fikirler ile son zamanlarda özellikle sanayi uygulamalarında hem kesirli faktöriyel deney tasarımına hem de diğer deney tasarımı yöntemlerine göre belirgin olarak öne çıkmıştır. (Bayrak, 1996)

Taguchi'ye göre bir ürün veya sürecin performansı; kullanılacağı çevre şartlarından ve üretimde kullanılan bileşenlerden etkilenir. Ürün ve süreci etkileyen faktörler ise; kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen olmak üzere iki grupta toplanabilir. Taguchi'nin tasarım parametreleri kavramı ile ifade ettiği kontrol edilebilen faktörler, ürünü veya süreci direkt olarak etkileyen, üretici tarafından seçilen ve bir parçanın boyutları, malzeme cinsi veya bir devrenin çıkış voltajının seçimi gibi basit olarak kontrol edilebilen faktörlerdir. Kontrol edilebilen faktörlerden her biri birden fazla değer alabilir bu değerlere seviye denir. Taguchi yönteminin de asıl amacı bu faktörlerin optimum seviyelerinin belirlenmesidir. Kontrol edilemeyen faktörler ise ürün kullanım ortamındaki sıcaklık, nem, rüzgar, gürültü, toz, titreşim, ürünün aşınması, özelliğini kaybetmesi, hammadde ve bileşenlerinin toleranslarındaki değişiklikler, vb. gibi kontrolleri çok zor, mümkün olmayan veya kontrol edilebilir fakat bu durumda da maliyeti çok fazla olan faktörlerdir. (Taguchi, 1989) Çok yüksek maliyet gerektirmeleri nedeniyle kontrol edilmeyen faktörlerin olumsuz etkilerini belirleyip ortadan kaldırmak yerine, bunların olumsuz etkilerini ortadan kaldıracak veya azaltacak kontrol edilebilen parametrelerin değerleri araştırılır. (Demir, 2006)

Taguchi; üründe ve proseste değişkenlik (hedef değerden farklılık) yaratan kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin (parametrelerin) değerlerini optimal seçerek ürün veya prosesteki değişkenliği en aza indirmek gerektiğini söylemektedir. Burada robüst tasarım kavramı ortaya çıkmaktadır. Robüst tasarım; kontrol edilebilen faktörlerin seviyelerini, kontrol edilemeyen faktörlerin ürün üzerine olan etkilerini en azlayacak şekilde belirleyen tasarımıdır. Kontrol edilemeyen faktörlere, örneğin; nem, toz, ısı gibi çevre koşullarına, müşteri kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemedeki farklılıklara karşı duyarsız, yani onlardan etkilenmeyen, ürün ve proses anlamında kullanılmaktadır. (Yücel, 2011)

Japonya'da İna seramik firmasında 1953'te seramiklerle ilgili bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu firmada, fırın içi sıcaklık dağılımındaki farklılıklar dolayısıyla pişirilen seramik boyutlarında önemli farklar oluşarak, ürünün büyük bölümü ıskartaya ayrılmaktadır. Bu tür durumlar için geleneksel (Taguchi öncesi) yaklaşım firmanın fırın içi ısısını herhangi bir şekilde kontrol ederek, ısı dağılımını homojen hale getirmeye çalışmasıdır. Geleneksel yaklaşımda amaç, kaliteyi bozan sebebi bularak onu ortadan kaldırmaktır. Bu yaklaşım genellikle maliyeti artırır. İna firması farklı bir yaklaşım benimser. Isı dağılımını kontrol etmek yerine, ısı farklılığının seramik boyutlarında

oluşturduğu etkiyi en aza indirecek bir formül araştırır. Bu amaçla çeşitli katkı maddelerinin ve diğer faktörlerin seramik boyutlarına olan etkisini belirlemek üzere oldukça basit bir deney tasarımlanır ve üretim koşullarında uygulanır. Deneyin en önemli sonucu şudur: Seramik hammadde formülünde yer alan kireç oranının %1'den %5'e çıkarılması, seramik boyutlarındaki varyasyonu mevcut değerin 1/10'una indirmektedir. Bu uygulamanın sonucunda ıskarta önemli ölçüde azalmaktadır. Bu çalışma sözü edilen robüst tasarıma klasik bir örnek oluşturur. Kalitesizlik yaratan ve kontrol edilemeyen bir faktörün etkisi, kontrol edilebilen başka bir faktörün ayarlanması sonucu azaltılmaktadır. Deney tasarımı bu amaçla kullanıldığı zaman, maliyeti artırmadan kaliteyi iyileştirmek mümkün olmaktadır. (Şirvancı, 1997)

Taguchi metodunun, belirgin esaslarından biri, kesirli deney tasarımın, matematikçi Jacques Hadamard'ın icat ettiği ortogonal dizimler ile yapılmasına dayanmasıdır. Ortogonal dizimler kullanılarak hangi denemede hangi faktörün hangi düzeyinin kullanılacağını belirlenmesi Taguchi metodunun özünü oluşturur. Taguchi uzun çalışmalar sonrasında standart deneme planları belirlemiş ve bunların Hadamard'ın ortogonal dizimleri ile özdeş olduğunu görmüştür. Bu dizimler baz alınarak yapılacak denemeler ile tam faktöryel bir denemenin sonuçlarının aynı olacağı iddiasında bulunmuş ve haklılığını yaptığı pek çok uygulama ile göstermiştir.

Ortogonal dizimler L Harfi arkasına deney sayısı eklenerek gösterilir. En çok kullanılan ortogonal dizimler düzeylerine göre şöyledir;

- 2 düzeyli: L4, L8, L12, L16, L32, L64
- 3 düzeyli: L9, L18, L27
- 4 düzeyli: L16 ve L32 (Öztop, 2007)

Taguchi, parametrelerdeki değişkenliği azaltmak amacıyla robüst tasarımın yanında performans kriteri olarak kullanılmak üzere, sinyal/gürültü oranı olarak adlandırılan bir dizi istatistik geliştirilmiştir. Bu istatistikler, gürültü faktörlerinin kalite göstergesi üzerindeki etkisinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Taguchi yönteminde elde edilen deney sonuçları sinyal/gürültü oranına (S/G) çevrilerek değerlendirilmektedir. S/G oranı değeri küçük olan değer iyi, büyük olan değer iyi, hedef değer en iyi olarak kalite değerlerinin hedeflendiği değere göre farklı şekillerde hesaplanır ve analiz edilir. (Yılmaz, 2010)

Parametreler belirlendikten sonra Taguchi ortogonal dizisinden bir dizi seçmek gerekmektedir. Çizelge 6.2’de Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu görülmektedir. Bu tabloya göre, bir araştırmacı 7 parametreye sahipse ve her bir parametrenin 2 seviyesi olduğu kabul edilirse L8 ortogonal dizisi en uygun dizi olarak seçilir. Çizelge 6.2’de L16 ve L32 dizileri 4 seviyeli deneyler için kullanılmaktadır.

Çizelge 6.2. Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu . (Yıldırım, 2011)

SEVIYE SAYISI												
2			3			4			5			
P=2	S=2	L4	P=2	S=3	L9	P=2	S=4	L' 16	P=2	S=5	L25	
P=3	S=2		P=3	S=3		P=3	S=4		P=3	S=5		
P=4	S=2		P=4	S=3		P=4	S=4		P=4	S=5		
P=5	S=2	L8	P=5	S=3	L18	P=5	S=4	L' 32	P=5	S=5	L50	
P=6	S=2		P=6	S=3		P=6	S=4		P=6	S=5		
P=7	S=2		P=7	S=3		P=7	S=4		P=7	S=5		
P=8	S=2	L11	P=8	S=3	L27	P=8	S=4		P=8	S=5		
P=9	S=2		P=9	S=3		P=9	S=4		P=9	S=5		
P=10	S=2		P=10	S=3		P=10	S=4		P=10	S=5		
P=11	S=2	L16	P=11	S=3	L36				P=11	S=5		
P=12	S=2		P=12	S=3					P=12	S=5		
P=13	S=2		P=13	S=3								
P=14	S=2	L32	P=14	S=3								
P=15	S=2		P=15	S=3								
P=16	S=2		P=16	S=3								
P=17	S=2		P=17	S=3								
P=18	S=2		P=18	S=3								
P=19	S=2		P=19	S=3								
P=20	S=2		P=20	S=3								
P=21	S=2		P=21	S=3								
P=22	S=2		P=22	S=3								
P=23	S=2		P=23	S=3								
P=24	S=2											
P=25	S=2											
P=26	S=2											
P=27	S=2											
P=28	S=2											
P=29	S=2											
P=30	S=2											
P=31	S=2											

Çizelge 6.3’te örnek olarak ortogonal diziler içerisinde L8 dizisi seçilmiş ve sütünlara A, B, C, D, E, F,G parametreleri atanmıştır. Bu tabloda parametre sütunlarının altındaki 1-2 ler parametrelere ait seviyeleri göstermektedir. Y₁, Y₂, Y₃ deneylerin tekrarlarının sonuçlarını göstermektedir. Aynı zamanda ortalamalar ve gürültü oranı (S/N) değerleri de hesaplanarak kaydedilir. (Gökçe, 2009)

Çizelge 6.3. L8 Ortogonal dizisi ve parametrelerin yerleşimi.

L8 Ortogonal Dizi												
Deneme No	Parametreler							Sonuçlar (3 Tekrar)				
	A	B	C	D	E	F	G	Y1	Y2	Y3	Ortalama	S/N Oranı
1	1	1	1	1	1	1	1	*	*	*	*	*
2	1	1	1	2	2	2	2	*	*	*	*	*
3	1	2	2	1	1	2	2	*	*	*	*	*
4	1	2	2	2	2	1	1	*	*	*	*	*
5	2	1	2	1	2	1	2	*	*	*	*	*
6	2	1	2	2	1	2	1	*	*	*	*	*
7	2	2	1	1	2	2	1	*	*	*	*	*
8	2	2	1	2	1	1	2	*	*	*	*	*

Taguchi yöntemini bir ürün veya süreçte başarılı bir şekilde uygulayabilmek için sistematik bir yaklaşım izlemek, hem deneysel tasarımının anlaşılabilirliği, hem de en doğru sonuçların daha kolay bir şekilde alınabilmesi için gereklidir. Taguchi yöntemlerinde yapılacak işlemler aşağıdaki gibi 10 başlık altında toplanabilir.

1. Problemin belirlenmesi: Yapılacak çalışmaya konu olan problem, yeni bir ürün veya proses geliştirme çalışmaları olabilir.

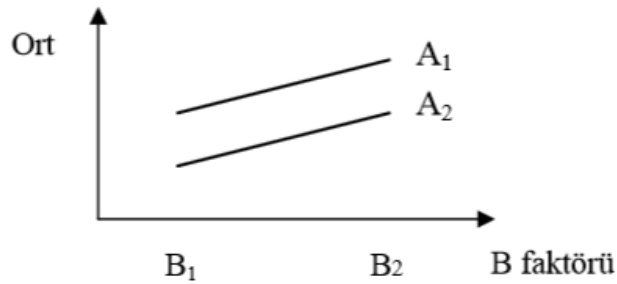
2. Performans karakteristiğinin ve ölçüm sistemlerinin belirlenmesi: Performans karakteristiği ürünün kalitesinin ölçüldüğü özelliğidir. Başka bir ifade ile ürünün müşteri tarafından istenilen fonksiyonlarını yerine getirmesinde kalitesini belirleyen özellikleridir. Bu aşamada ikinci olarak bütün çalışma boyunca gerekli olacak ölçüm sistemlerinin seçimi yapılmalıdır. Farklı karakteristikler için farklı ölçüm sistemleri ve farklı ölçüm aletleri gerekecektir.

3. Performans karakteristiğini etkileyen faktörlerin ve seviyelerinin belirlenmesi: Bu aşamada, meydana gelen hedef değerden sapmaların kaynakları araştırılır. Sapmalara neden olan bu kaynaklara faktör denir. Faktörler belirlendikten sonra bu faktörlerin seviye sayıları da belirlenmelidir. Taguchi seviye sayılarının mümkün olduğunca 2 veya 3 olarak seçilmesi gerektiğini belirtmektedir. Çünkü seviye sayıları yapılacak deney sayısını doğrudan etkilemektedir.

4. Faktörlerin kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörler olarak ayrılması: Bu aşamada seçilen faktörler kontrol edilebilen faktörler ve kontrol edilemeyen faktörler olarak ayrılırlar. Seçilen faktörler en az iki seviyeli olmalıdır. Seviye sayıları ölçülebilen ve seviyelerinin ayarlanması kolay olan faktörler kontrol edilebilir faktörler, seviyesi olmayan veya kontrolü zor olan faktörler ise kontrol faktörleri olarak ayrılır.

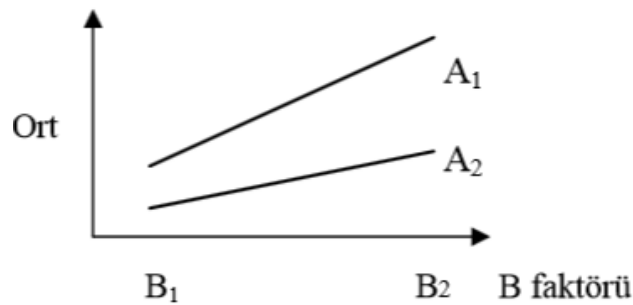
5. Etkileşimlerin belirlenmesi: Etkileşim, bir faktörün (A), performans karakteristiği üzerindeki etkisinin diğer bir faktöre (B) bağlı olduğu durumlardır. (A faktörünün etkisinin B Faktörünün durumuna bağlı olarak değişmesi gibi.) Bu durum $A \times B$ şeklinde gösterilir. İki faktör arasındaki etkileşimi en açık olarak grafiksel gösterim metodu ile anlaşılabilir. Deneyler sonucu elde edilen grafiklere bakıldığında;

- a) İki faktör çizgisi arasında paralellik varsa bu iki faktör arasında bir etkileşim yoktur.



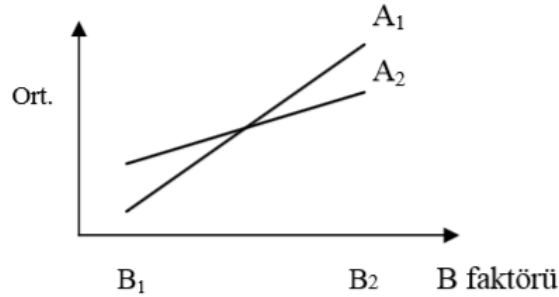
Şekil 6.21. İki faktörün etkileşimsiz olduğunu gösteren durum grafiği.

- b) İki faktör çizgisi arasında paralellik yok fakat kesişmiyorlarsa, belirlenen değerler civarında zayıf bir etkileşim vardır.



Şekil 6.22. İki faktör arasında zayıf etkileşim olduğunu gösteren durum grafiği.

- c) İki faktör çizgisi belirlenen değerler içerisinde birbiri ile kesişiyorsa bu iki faktör arasında kuvvetli bir etkileşim vardır.



Şekil 6.23. İki faktör arasında kuvvetli etkileşim olduğunu gösteren durum grafiği.

6.Uygun ortogonal dizinin seçilmesi ve faktörlerin bu dizinlere atanması:

Deney tasarımında kullanılacak ortogonal dizinin seçimi her bir faktörün serbestlik derecelerinin toplamı ile bulunur. Her bir faktörün serbestlik derecesi ise seviye sayısının bir eksikliğidir. Faktör grubunun serbestlik derecesi ise her bir faktörün serbestlik derecelerinin toplamına eşittir.

7.Performans istatistiklerinin belirlenmesi: Taguchi tasarımlarında en çok kullanılan performans istatistiği S/N oranıdır. S/N oranı en iyi robüst tasarım performansını ölçmek için kullanılır.

8.Deneylerin yapılması ve sonuçların kaydedilmesi: Yapılacak deneyler, seçilen ortogonal dizinlerin sütunlarına yerleştirilen faktör kombinasyonlarına göre oluşturulacaktır. Deneylerin yapılış sırası belirlenirken rastsallığın sağlanması gerekir.

9. Verilerin analizi: Bu aşamada yapılan deneylerden elde edilen verilerle çeşitli değerlendirme yöntemleri kullanılırken uygun faktör-seviye kombinasyonunu belirlenecektir.

10.Doğrulama deneyinin yapılması: Deney seçilen en iyi şartlar altında tekrarlanır. Bu doğrulama deneyleri sonucunda elde edilen değerler beklenen güven aralığının içinde ise bulunan faktör-seviye kombinasyonu en iyi performans karakteristiği değerini veren kombinasyondur ve deney tasarımı amacına ulaşmıştır. Ancak sonuçlar belirlenen güven aralığı değerleri içerisinde değilse o zaman yapılan deney tasarımında bir başarısızlık vardır. Bu durumda proses tekrar incelenir ve hatalar tespit edilmeye çalışılır. Hataların bulunması ile deney tasarımı tekrar başlatılarak en iyi faktör-seviye kombinasyonu bulunmaya çalışılır. (Bayrak, 1996)

7. DENEYSEL ÇALIŞMA

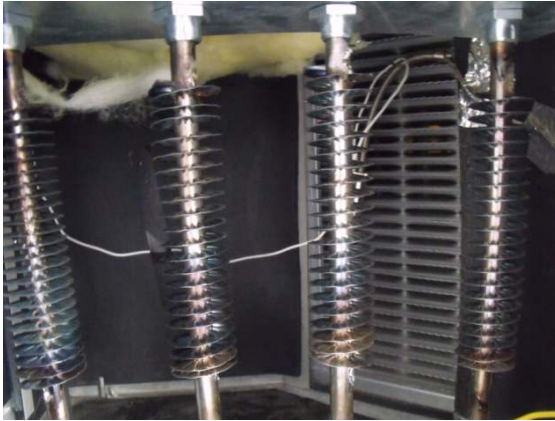
Bu bölümde deney setinin kurulması, deney ekipmanlarının tanıtımı, çalışma şartları değişkenleri anlatılacak ve deney sonuçları irdelenecektir. Plakalı ısı değiştirici aracılığı ile farklı hava sıcaklık ve hızlarında havadan havaya ısı transferi yapılarak ısı geri kazanımı deneysel yolla gösterilecektir. Farklı malzemelerden imal edilmiş plakaların taze hava çıkış sıcaklıklarının ve etkenliklerinin kıyaslanması ve bir önceki bölümde bahsedilen matematiksel modellemenin, yapılan deneylerle ilişkilendirilmesi bu kısımda gösterilecektir.

7.1. Deney Ortamı

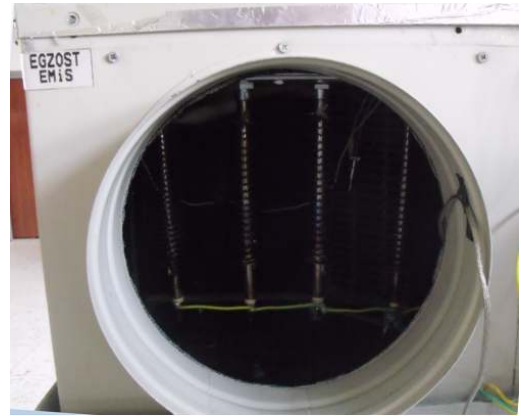
Deneyler, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Osmaneli Yüksek Okulu iklimlendirme laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney süresince hava sıcaklığı ortalama 20-30 °C aralığında ölçülmüştür.

7.2. Deneyde Kullanılan Ekipmanlar

Deneylerin yapılabilmesi gerekli sistem elemanları öncelikle belirlenmiş ve buna göre deney seti şekillendirilmiştir. Deney için öncelikle sıcak ve soğuk akışkana ihtiyaç vardır. Bu çalışmada akışkan olarak hava seçilmiştir. Sıcak hava elde etmek için 500W büyüklüğünde 4 adet lamel rezistans ısıtıcı olarak kullanılmıştır. Isıtıcılar vasıtasıyla ortam havası ısıtılarak yüksek sıcaklıkta iç ortam havası oluşturulmuştur. Egzoz havası da denen bu hava sıcaklık termostatu vasıtasıyla farklı sıcaklık değerlerine ayarlanabilmektedir.



Şekil 7.1. Lamel rezistanslar.



Şekil 7.2. Egzoz emiş girişi.

Soğuk dış ortam havası elde etmek için ise 886 W kapasiteli kompresörle soğutulan hava kullanılmıştır. Taze hava diye adlandırdığımız bu hava sıcaklık termostatu vasıtasıyla farklı sıcaklık değerlerine ayarlanabilmektedir. Kompresörlü soğutma grubu, hava soğutmalı kondensere sahip olup sistemde dolaşan soğutucu akışkan R-22'dir. Düşük dış ortam hava sıcaklığı elde etmeye çalıştığımızda evaporatörde su yürümesi meydana gelmekte ve kompresör tam olarak soğutma gerçekleştirememektedir. Bunun önüne geçmek için ortam havasının soğutulmasında klimadan yararlanılmıştır.



Şekil 7.3.a. Soğutma grubu ön görünüş.



Şekil 7.3.b. Soğutma grubu yan görünüş.

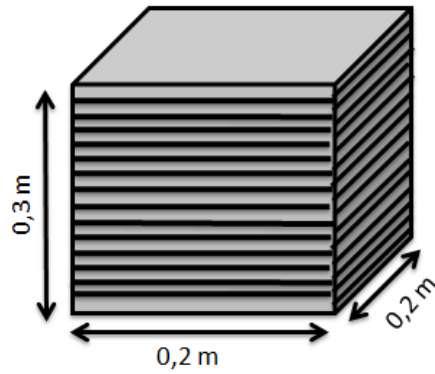
2500/2700 rpm devirli iki adet fan kullanılmıştır. Fanlardan biri plakalardan geçerek soğuyan egzoz havasının dışarı atılmasına, diğeri ise plakalardan geçerek ısınan taze havanın iç ortama verilmesine yardımcı olmaktadır.

7.2.1. Plakalı Isı değıştirici

Sıcak ve soğuk akışkanların birbirine karışmadan ısı alışverişi yapabilmeleri için çapraz akışlı plakalı ısı değıştiricisi temin edilmiştir. Isıtma amaçlı çalıştırılan deney düzeneğinde üç farklı malzemeden imal edilmiş plakalı ısı değıştiricileri kullanılmıştır. Bunlardan ilki alüminyum, ikincisi polimer, üçüncüsü ise selülozik kâğıt malzemeler kullanılarak üretilmiştir. Sırasıyla tüm değıştiricilere ait özellikler tablosu aşağıdaki çizelgelerde belirtilmiştir.

Çizelge 7.1. Alüminyum ısı değıştiricinin özellikleri.

Plaka Markası	AIREP
Plaka Malzemesi	Alüminyum
Plaka Boyutları	200*200*300 mm
Kanat Sayısı	24
Kanatlar Arası Mesafe	10 mm
Malzeme Kalınlığı	0,8 mm
Isı transfer Yüzey Alanı	2 m²



Şekil 7.4.a. Alüminyum ısı değıştirici boyutları.



Şekil 7.4.b. Alüminyum ısı değıştirici kanal aralıkları.



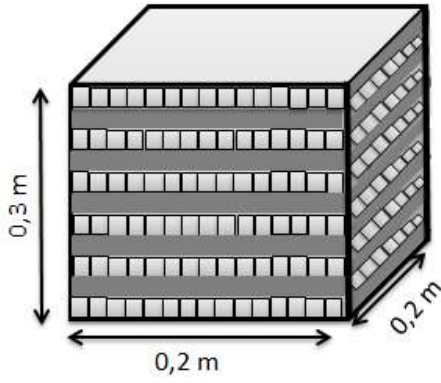
Şekil 7.5.a. Alüminyum ısı değıştirici önden görünüş.



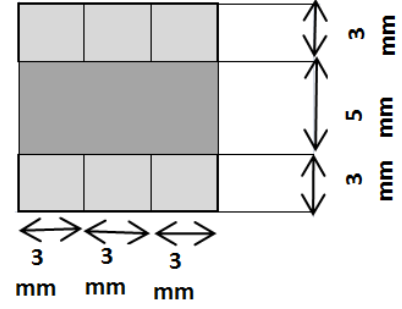
Şekil 7.5.b. Alüminyum ısı değıştirici yandan görünüş.

Çizelge 7.2. Polimer ısı değıştiricinin özellikleri.

Plaka Malzemesi	Polimer (Polipropilen)
Plaka Boyutları	200*200*300 mm
Yatay Hücre Sayısı	60
Dikey Hücre Sayısı	50
Hücre Boyutu	3*3 mm
Malzeme Kalınlığı	5 mm
Isı transfer Yüzey Alanı	4 m²



Şekil 7.6.a. Polimer ısı değıştirici boyutları.



Şekil 7.6.b. Polimer ısı değıştirici kanal aralıkları.



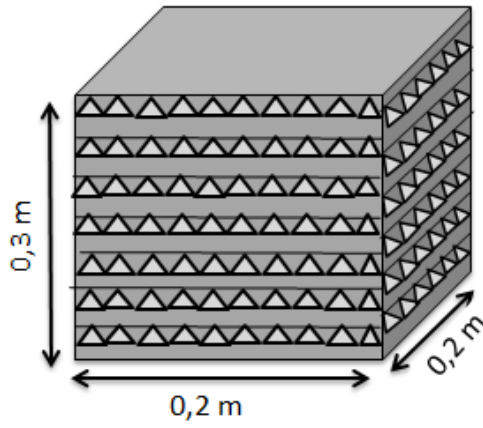
Şekil 7.7.a. Polimer ısı değıştirici önden görünüş.



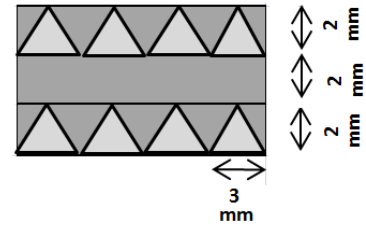
Şekil 7.7.b. Polimer ısı değıştirici yandan görünüş.

Çizelge 7.3. Selülozik ısı değıştiricinin özellikleri.

Plaka Malzemesi	Selüloz
Plaka Boyutları	200*200*300 mm
Yatay Hücre Sayısı	40
Dikey Hücre Sayısı	70
Hücre Boyutu	3*2 mm
Malzeme Kalınlığı	2 mm
Isı transfer Yüzey Alanı	5,6 m²



Şekil 7.8.a. Selülozik ısı değıştirici boyutları.



Şekil 7.8.b. Selülozik ısı değıştirici kanal aralıkları.



Şekil 7.9.a. Selülozik ısı değıştirici önden görünüş.



Şekil 7.9.b. Selülozik ısı değıştirici yandan görünüş.

7.2.2. Ölçü Aletleri

Deneyde çeşitli ölçü aletleri kullanılmıştır. Bunlar; anemometre, sıcaklık termostatları ve hız kontrol cihazıdır.

7.2.2.1. Anemometre

Deney süresinde farklı hızlarda hava akımı kullanılarak sistemin etkinliği ve verimliliği araştırılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla havanın hızını ölçmek için Prova marka AVM-07 model anemometre kullanılmıştır. Bu cihazla hava akımı ve sıcaklık aynı anda ölçülebilmektedir. Cihaz 0-45 m/s hız ve 0- 45 °C sıcaklık aralığında ölçüm alabilmektedir.



Şekil 7.10. Anemometre.

7.2.2.2. Hız Kontrol Cihazı

Fan hızlarının istenen bir değerde sabitlenmesini sağlamak ve farklı hızlar elde etmek için Azel marka hız kontrol cihazı kullanılmıştır. Cihaz; havalandırma sistemlerinde kullanılan fan motorlarının dönüş hızını, uygulanan gerilimi değiştirerek kontrol edebilecek hız kontrol paneline sahiptir. Kontrol paneli üzerinde cihazı açıp kapatan bir anahtar ve hız kademelerinin ayarlanmasını sağlayan bir potansiyometre bulundurmaktadır. Şekil 7.11’de deneyde kullanılan bu hız kontrol cihazı gösterilmiştir.



Şekil 7.11. Azeli hız kontrol cihazı.

7.2.2.3. Dijital Termostat

Sıcak hava eldesi için kullandığımız ısıtıcıların sıcaklığının kontrolünde Emko marka ESM-3710 model sıcaklık termostatu tercih edilmiştir. Şekil 7.12’de deneyde kullanılan bu dijital termostat gösterilmiştir.



Şekil 7.12. Emko 3710 – Dijital Termostat.

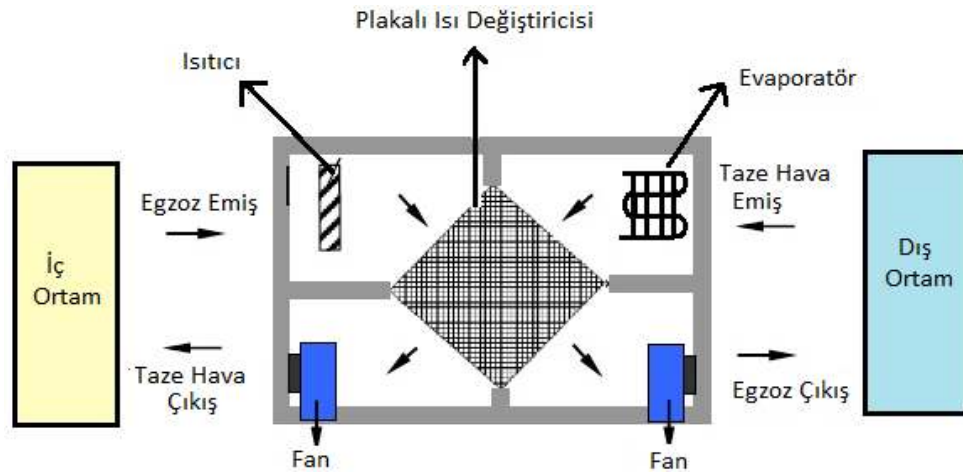
Kompresörlü soğutma grubunda soğuk hava sıcaklığını sabit bir değerde tutmak için Evko marka EVKB 21 model dijital termostat kullanılmıştır. Cihaz, -50 °C ile +130 °C sıcaklık aralığında ölçüm yapabilmektedir. Artı derecelerde çalışan sistemlerde, kompresörü durdurarak düzenli aralık ve uzunluklarda defrost etme imkânı sağlamaktadır. Kontrol edilen sistemin sıcaklığı ekranda görülebilmektedir. Şekil 7.13’te deneyde kullanılan bu dijital termostat gösterilmiştir.



Şekil 7.13. EVKB 21 – Dijital Termostat.

7.3. Çalışma Prensibi

Kurulan deney düzeneğinin çalışma prensibi şöyledir: Yüksek sıcaklıktaki egzoz havası ısı değiştiricisinin bir kenarından emilip çapraz olarak karşı tarafa geçerken, soğutulmuş taze hava diğer kenardan emilerek yine çapraz olarak karşı taraftan geçerek fanlar yardımıyla ortama atılırlar. Plakalar arasından geçen sıcak ve soğuk hava birbirine karışmadan sadece ısı alışverişinde bulunur. Burada amaç; egzoz havasındaki yüksek miktardaki ısı enerjisinin, taze havanın ısıtılmasında kullanımına olanak sağlanmasıdır. Böylece ısı geri kazanımı gerçekleştirilerek enerjiden tasarruf edilecektir. Sistemin şematik resmi Şekil 7.14'te, gerçek resmi de Şekil 7.15'te verilmiştir.



Şekil 7.14. Deney Düzeneğinin şematik olarak gösterimi.



Şekil 7.15. Deneyde kullandığımız ısı geri kazanım cihazı.

8. SONUÇLAR

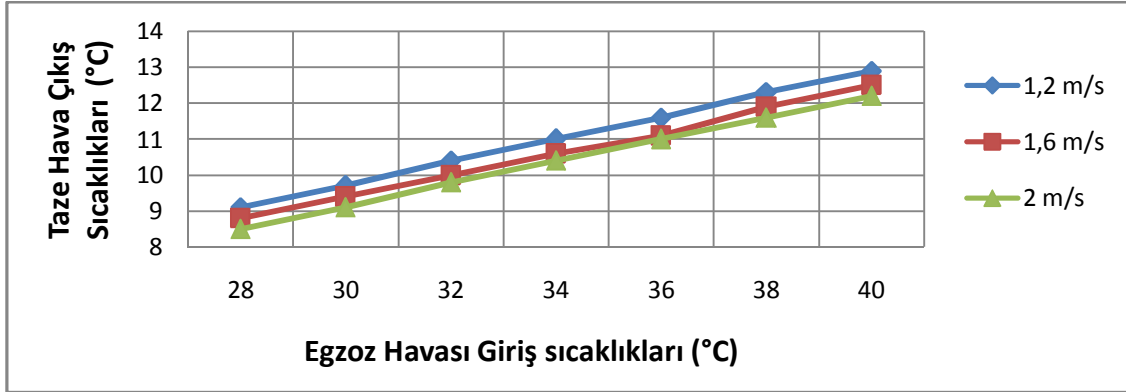
Deneysel çalışmanın amacı, plakalı ısı değiştiricisi kullanılan bir ısı geri kazanım cihazında plakalı ısı değiştiricisi performans karakteristiklerini belirlemek ve bu karakteristiklerin cihaz performansı üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Deneyler biri alüminyum, biri polipropilen ve bir diğeri selülozik malzemeden imal edilmiş üç farklı plakalı ısı değiştirici kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Değiştirici malzemesi, hava hızı, taze hava giriş sıcaklığı ve egzoz havası giriş sıcaklığı parametrelerimiz olarak belirlenmiştir. Her bir deneyde bu parametrelerden yalnızca biri değiştirilirken diğerleri sabit tutulmuştur.

Her hava hızı ve giriş sıcaklık değerlerine karşılık, değiştirici çıkışındaki sıcaklık değerleri okunarak not alınmıştır. Her bir değiştirici 1,2 m/s, 1,6 m/s ve 2 m/s olmak üzere üç farklı hava hızında denenmiştir. Kompresör ve klima yardımıyla 0 °C, 5 °C ve 10 °C olmak üzere üç farklı taze hava giriş sıcaklığı; lamel ısıtıcılar ve termostat vasıtasıyla 28 °C, 30 °C, 32 °C, 34 °C, 36 °C, 38 °C ve 40 °C olmak üzere yedi farklı egzoz havası çıkış sıcaklığı elde edilmiştir.

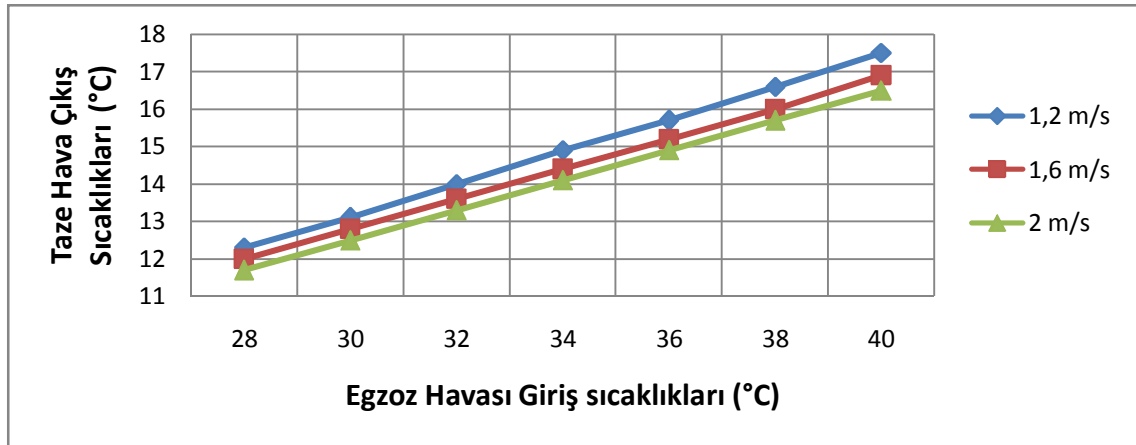
İlk deneyde alüminyum ısı değiştirici geri kazanım cihazına yerleştirilmiş ve hava hızı 1,2 m/s olarak ayarlanmıştır. Taze hava sıcaklığı 0 °C' ye sabitlenerek 28 °C den başlayarak 40 °C'ye kadar farklı sıcaklıklara sahip egzoz havası teker teker sisteme verilmiştir. Her bir değerde taze hava ve egzoz havası çıkış sıcaklık değerleri not edilmiştir. Daha sonra aynı plaka ve hava hızında sadece taze hava sıcaklığı değiştirilip önce 5 °C' ye sonra 10 °C' ye sabitlenerek deneyler tekrarlanmış ve tüm sonuçlar kaydedilmiştir. Diğer hava hızları içinde aynı işlem basamakları tekrar edilmiş ve alüminyum ısı değiştiriciye ait deneyler tamamlanmıştır. Daha sonra sırasıyla polimer ve selülozik ısı değiştirici cihaza yerleştirilerek tüm saydığımız deney basamakları bir kez daha gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde elde edilen taze hava (T_{cc}) ve egzoz havası çıkış değerleri ve (T_{hc}) kullanılarak etkenlik (ϵ), ısı geçiş miktarı (Q), toplam ısı transfer katsayısı (U) logaritmik ortalama sıcaklık farkı (ΔT_m), NTU ve C^* değerleri hesaplatılmıştır. Okunan değerlerin birbiriyle çelişmesi durumunda deney tekrarlanmış ve hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır. Okunan ve hesaplanan değerlere ilişkin veriler ve aralarındaki ilişkiler aşağıda grafiklerle belirtilmiştir.

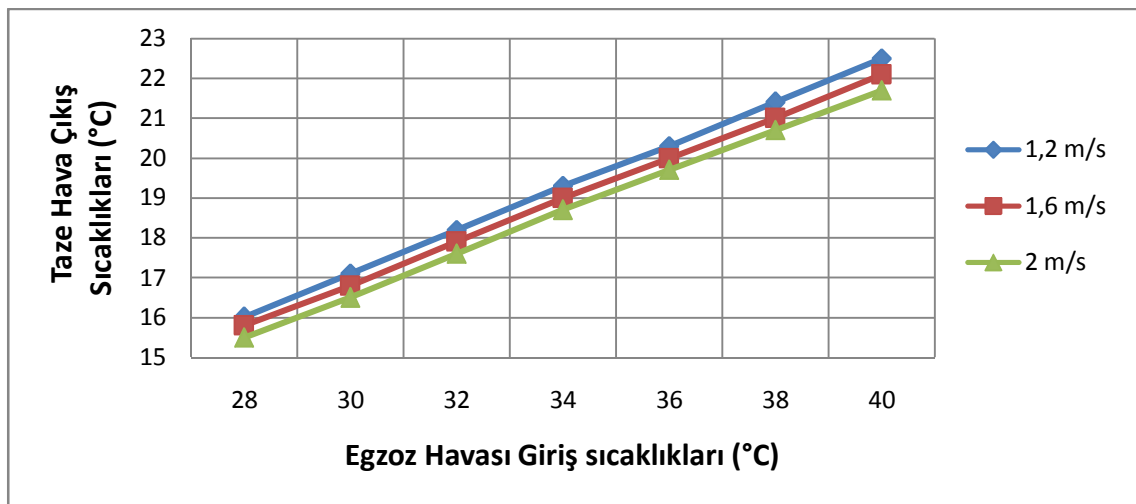
8.1. Deney Sonuçlarının Grafiksel Gösterimi



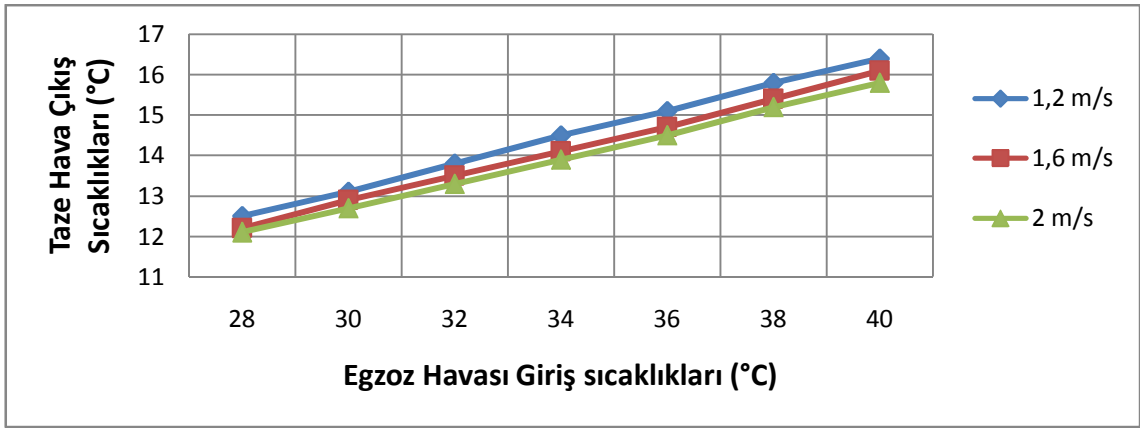
Şekil 8.1. Alüminyum ısı değiştiricisinde $T_{cg} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ iken farklı hava hızlarında, değişen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen taze hava çıkış sıcaklıkları.



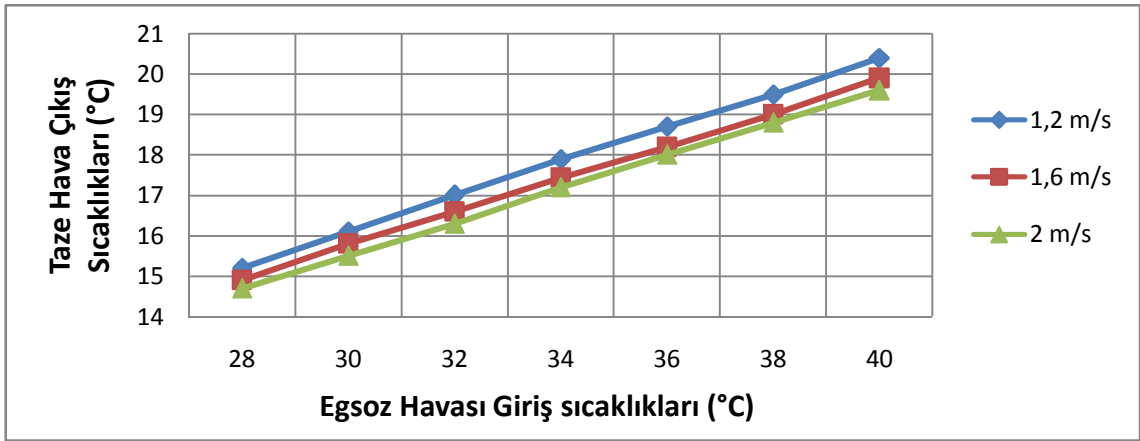
Şekil 8.2. Polimer ısı değiştiricisinde $T_{cg} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ iken farklı hava hızlarında, değişen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen taze hava çıkış sıcaklıkları.



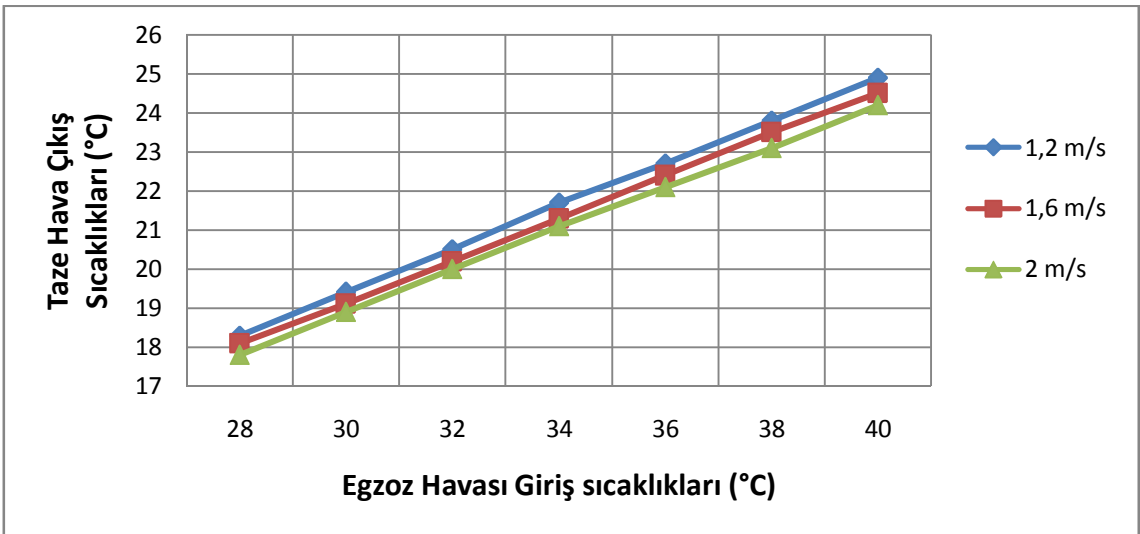
Şekil 8.3. Selülozik ısı değiştiricisinde $T_{cg} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ iken farklı hava hızlarında, değişen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen taze hava çıkış sıcaklıkları.



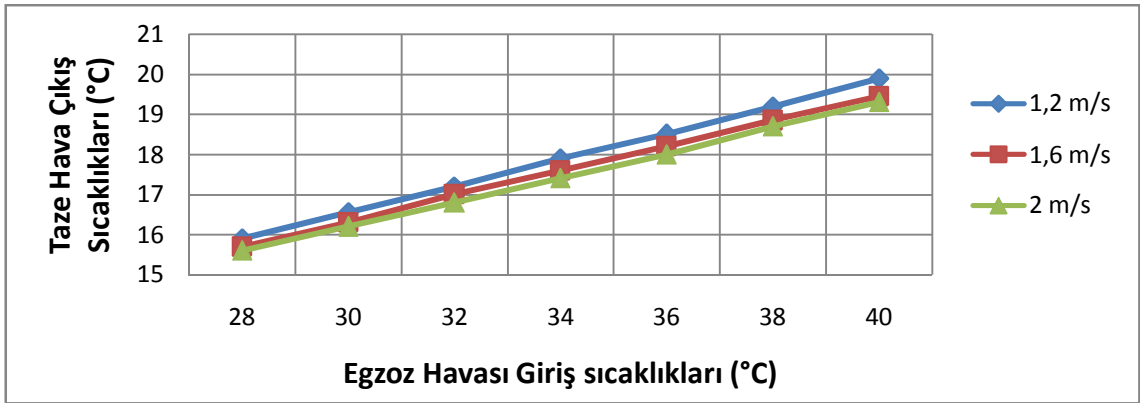
Şekil 8.4. Alüminyum ısı değiştiricisinde $T_{cg} = 5\text{ °C}$ iken farklı hava hızlarında, değişen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen taze hava çıkış sıcaklıkları.



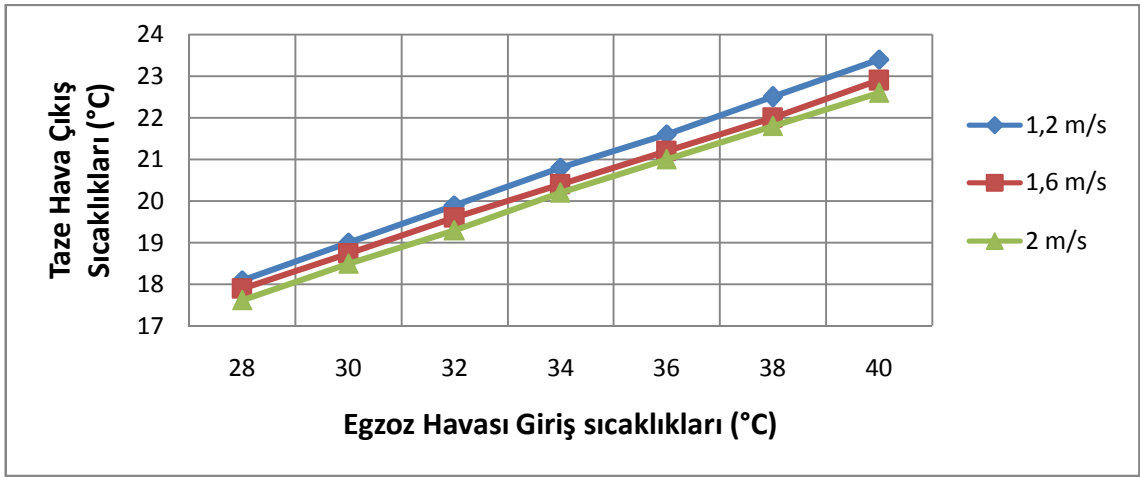
Şekil 8.5. Polimer ısı değiştiricisinde $T_{cg} = 5\text{ °C}$ iken farklı hava hızlarında, değişen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen taze hava çıkış sıcaklıkları.



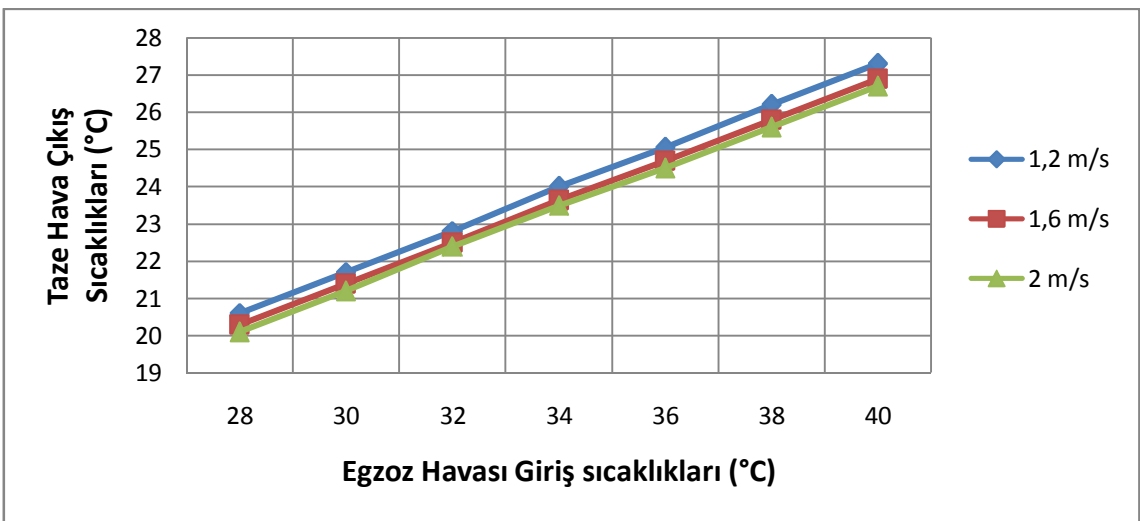
Şekil 8.6. Selülozik ısı değiştiricisinde $T_{cg} = 5\text{ °C}$ iken farklı hava hızlarında, değişen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen taze hava çıkış sıcaklıkları.



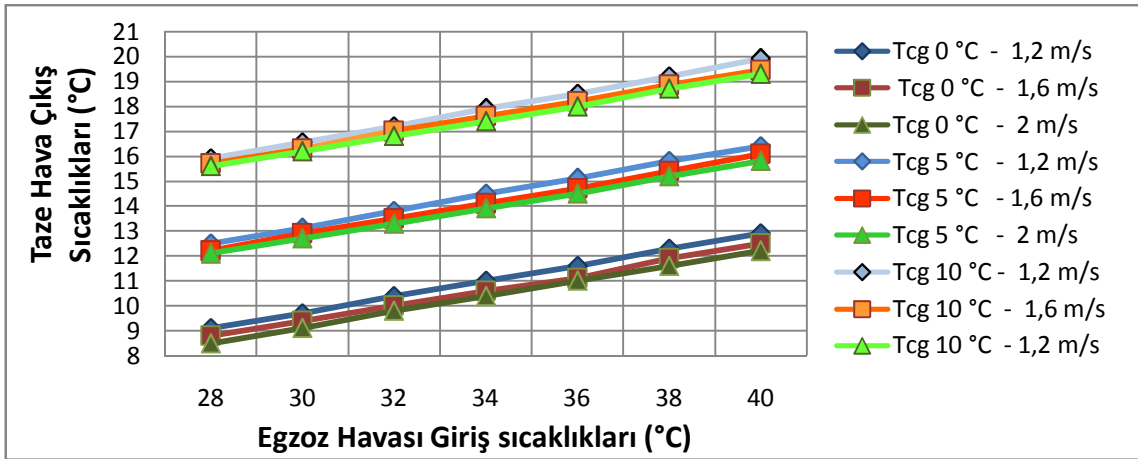
Şekil 8.7. Alüminyum ısı değiştiricisinde $T_{cg} = 10\text{ °C}$ iken farklı hava hızlarında, değişen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen taze hava çıkış sıcaklıkları.



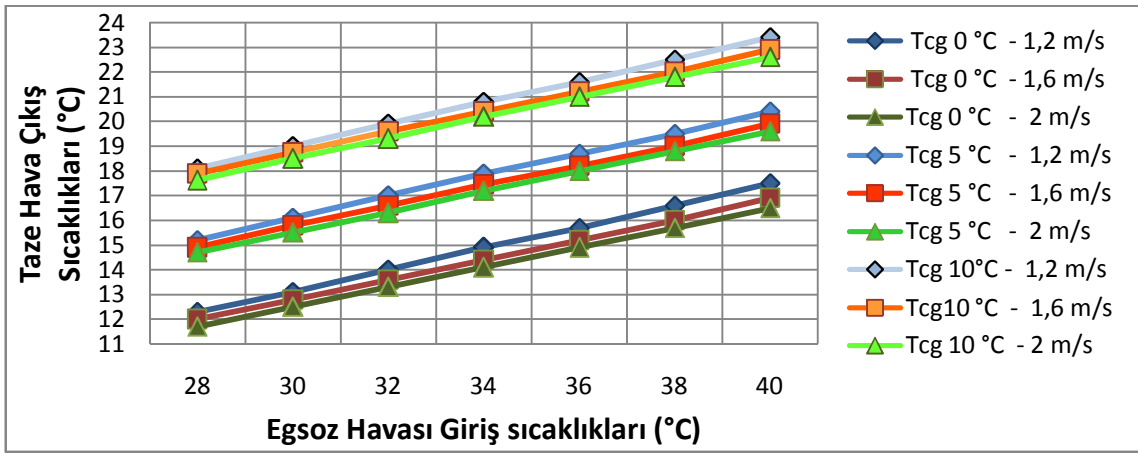
Şekil 8.8. Polimer ısı değiştiricisinde $T_{cg} = 10\text{ °C}$ iken farklı hava hızlarında, değişen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen taze hava çıkış sıcaklıkları.



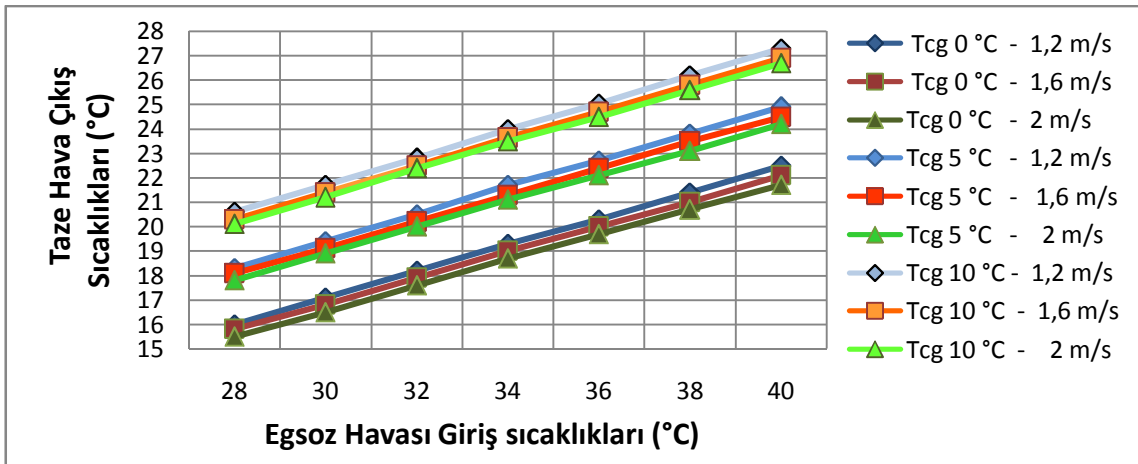
Şekil 8.9. Selülozik ısı değiştiricisinde $T_{cg} = 10\text{ °C}$ iken farklı hava hızlarında, değişen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen taze hava çıkış sıcaklıkları.



Şekil 8.10. Alüminyum değiştiricide farklı soğuk hava giriş sıcaklık ve hızlarında, değişen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen soğuk hava çıkış sıcaklıkları.



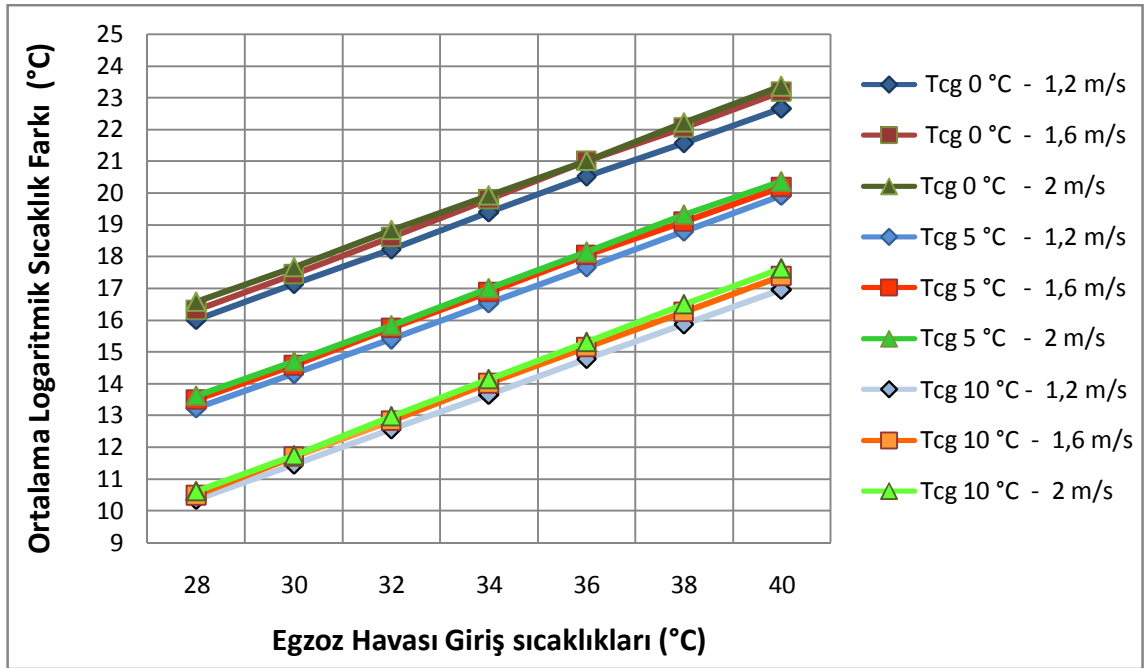
Şekil 8.11. Polimer değiştiricide farklı soğuk hava giriş sıcaklık ve hızlarında, değişen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen soğuk hava çıkış sıcaklıkları.



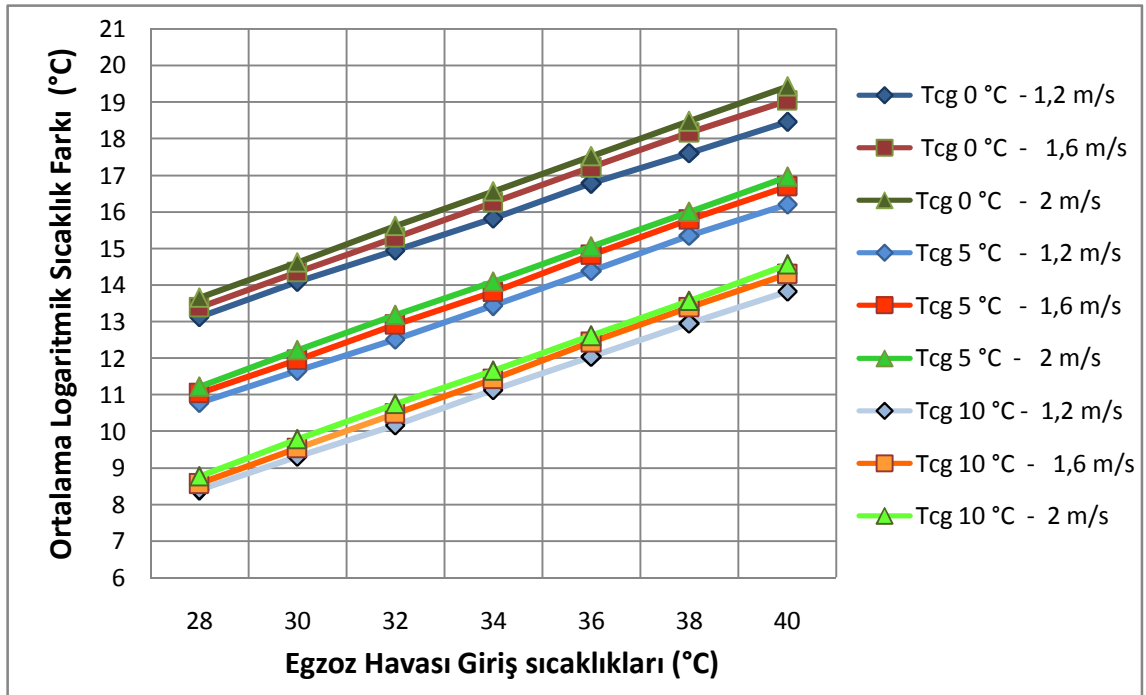
Şekil 8.12. Selülozik değiştiricide farklı soğuk hava giriş sıcaklık ve hızlarında, değişen egzoz havası giriş sıcaklıklarına karşılık gelen soğuk hava çıkış sıcaklıkları.

Taze hava giriş sıcaklığı T_{cg} 0 °C , 5 °C , 10 °C olarak alınarak egzoz havası giriş sıcaklığı T_{hg} 28 °C'den 40 °C'ye kadar kademe kademe artırılmış ve farklı hava hızlarına karşılık gelen taze hava çıkış T_{cc} değerleri alüminyum, polimer ve selülozik ısı değiştiricileri için ayrı ayrı kaydedilmiş ve yukarıdaki grafikler vasıtasıyla gösterilmiştir. Bu grafiklerden çıkardığımız yorumlar şöyledir:

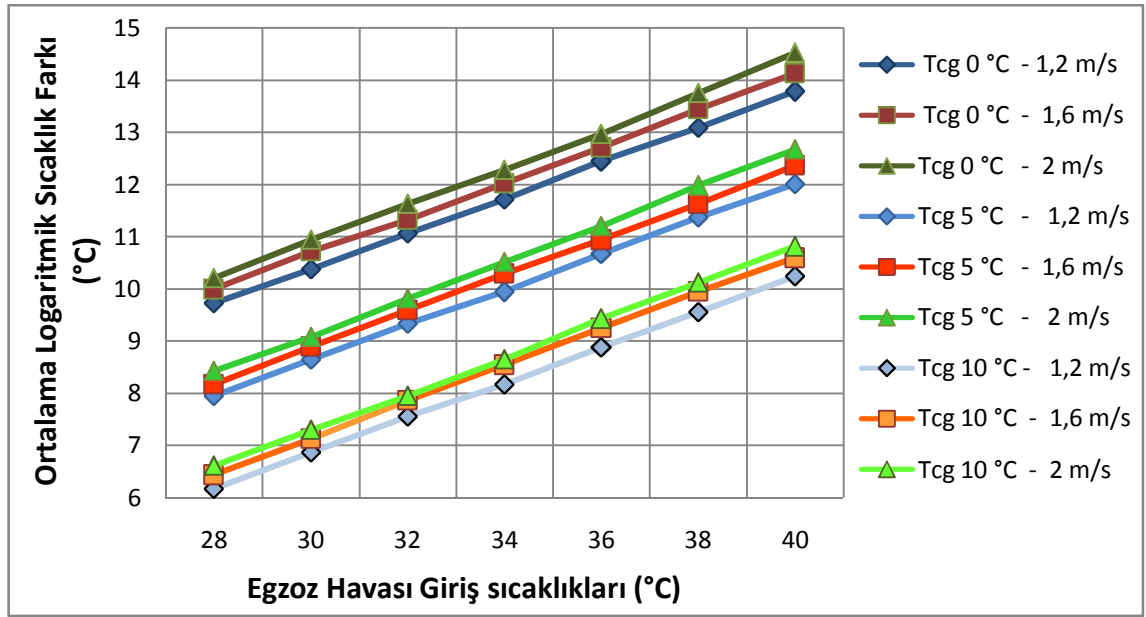
- 1) Tüm ısı değiştiricilerinde hava hızı ve taze hava giriş sıcaklığı sabit tutulduğunda egzoz havası giriş sıcaklığı artırıldığında taze hava çıkış sıcaklıkları sürekli olarak artar. Bunun nedeni egzoz havası giriş ile taze hava giriş sıcaklıkları arasındaki farkın gittikçe açılmasıyla birlikte transfer edilen ısı enerjisi miktarının artmasıdır.
- 2) Tüm ısı değiştiricilerinde hava hızı ve egzoz hava giriş sıcaklığı sabit tutulduğunda taze havası giriş sıcaklığı artırıldığında taze hava çıkış sıcaklıkları sürekli olarak artar. Bunun nedeni yüksek sıcaklık değerine sahip taze hava, ısı değiştiricisinden çıkışta çok daha yüksek bir sıcaklığa ulaşabilmektedir.
- 3) Tüm ısı değiştiricilerinde egzoz havası giriş sıcaklığı ve taze hava giriş sıcaklığı sabit bir değer alındığında hava hızı artırıldıkça taze hava çıkış sıcaklığı düşer. Bu durum havanın hızı yükseldikçe havanın değiştirici gövdesinde kalma süresinin daha az olması nedeniyle, ısı transfer edilebilmesi için yeterli zaman olmamasından kaynaklanmaktadır. Yani egzoz havası sıcaklığını taze havaya tam olarak transfer edecek kadar süreye sahip olamamaktadır. Bu doğrultuda egzoz havasından daha fazla yarar sağlayabilmek için düşük hava hızı kullanılması gerekliliği sonucu ortaya çıkmaktadır.
- 4) Alüminyum, polimer ve selülozik ısı değiştiricileri kıyaslandığında aynı hava hızı, aynı egzoz havası giriş sıcaklığı ve aynı taze hava giriş sıcaklığında, en yüksek taze hava çıkış sıcaklığı selülozik ısı değiştiricisinde elde edilmektedir. Daha sonra sırasıyla polimer ve alüminyum ısı değiştiricileri gelmektedir. İlk bakışta selülozik ısı değiştiricisinin ısı iletim katsayısı düşük olduğu düşünülebilir fakat yeterince ince olduğunda alüminyum ısı değiştiricisinin performansına ulaşılabilir. Ayrıca selülozik ısı değiştiricisinin imalat imkanlarının esnekliği sayesinde aynı kesit alanında çok daha fazla ısı transfer alanı sağlanabilmektedir. Bu nedenle daha yüksek ısı transfer alanına sahip olan selülozik ısı değiştiricisiyle en yüksek taze hava çıkış sıcaklığına ulaşılmıştır.



Şekil 8.13. Alüminyum ısı değıştiricisinde farklı taze hava giriş sıcaklık ve hava hızlarında, ortalama logaritmik sıcaklık farkları.



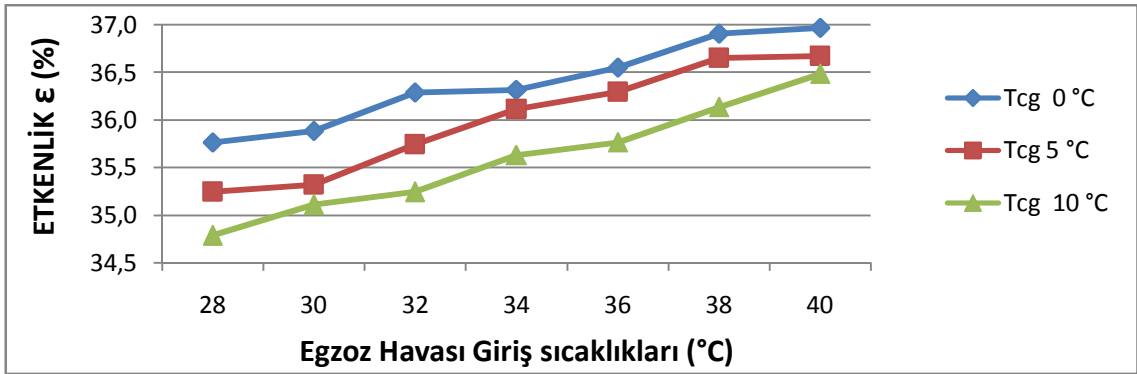
Şekil 8.14. Polimer ısı değıştiricisinde farklı taze hava giriş sıcaklık ve hava hızlarında, ortalama logaritmik sıcaklık farkları.



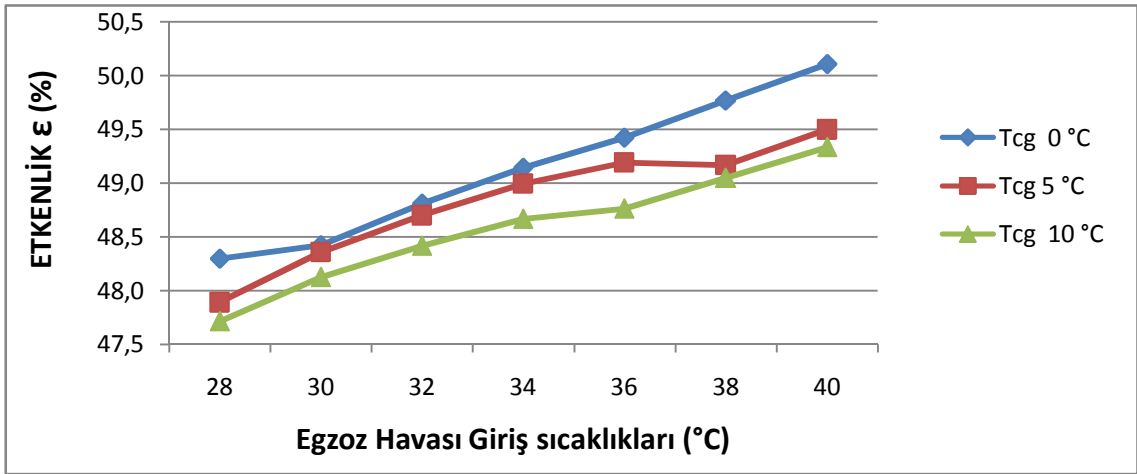
Şekil 8.15. Selülozik ısı değiştiricisinde farklı taze hava giriş sıcaklık ve hava hızlarında, ortalama logaritmik sıcaklık farkları.

Farklı taze hava ve egzoz havası giriş sıcaklıklarında farklı hava hızlarına karşılık gelen ortalama logaritmik sıcaklık farkları; alüminyum, polimer ve selülozik ısı değiştiricileri için ayrı ayrı yukarıdaki grafikler vasıtasıyla gösterilmiştir. Grafiklere göre;

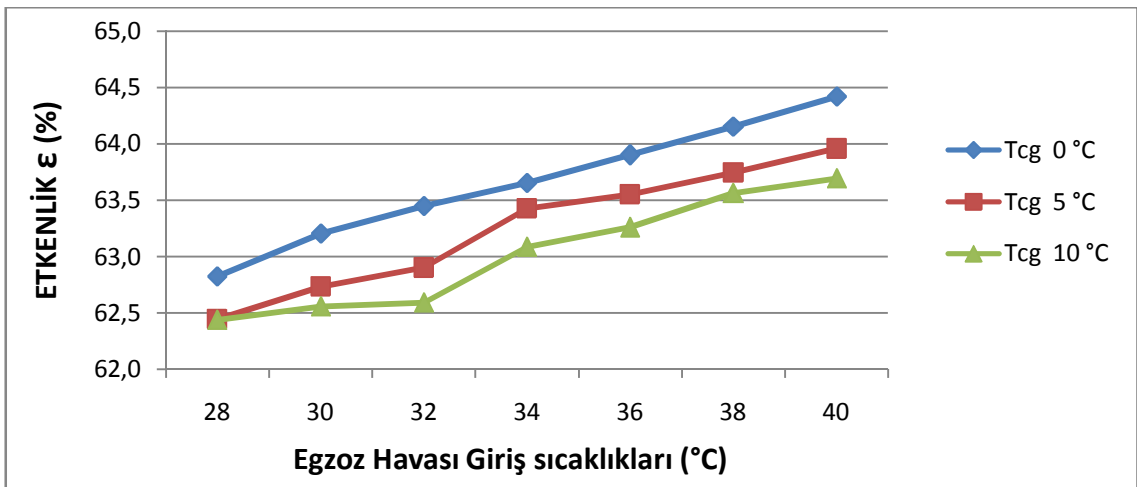
- 1) Tüm ısı değiştiricilerinde hava hızı ve taze hava giriş sıcaklığı sabit tutulduğunda egzoz havası giriş sıcaklığı artırıldığında ortalama logaritmik sıcaklık farkı artmaktadır. Bunun nedeni; egzoz havası giriş sıcaklığı arttıkça, taze hava giriş ile egzoz havası giriş sıcaklığı arasındaki farkın artmasıdır.
- 2) Tüm ısı değiştiricilerinde hava hızı ve egzoz havası giriş sıcaklığı sabit tutulduğunda taze havası giriş sıcaklığı arttıkça ortalama logaritmik sıcaklık farkı azalmaktadır. Bunun nedeni; taze hava giriş sıcaklığı arttıkça, taze hava giriş ile egzoz havası giriş sıcaklığı arasındaki farkın azalmasıdır.
- 3) Tüm ısı değiştiricilerinde egzoz havası giriş sıcaklığı ve taze hava giriş sıcaklığı sabit bir değer alındığında hava hızı artırıldıkça ortalama logaritmik sıcaklık farkı bu değişimden pek fazla etkilenmemektedir.
- 4) Alüminyum, polimer ve selülozik ısı değiştiricileri kıyaslandığında aynı hava hızı, aynı egzoz havası giriş ve taze hava giriş sıcaklığında, en düşük ortalama logaritmik sıcaklık farkı selülozik ısı değiştiricisinde elde edilmektedir. Daha sonra sırasıyla polimer ve alüminyum ısı değiştiricileri gelmektedir.



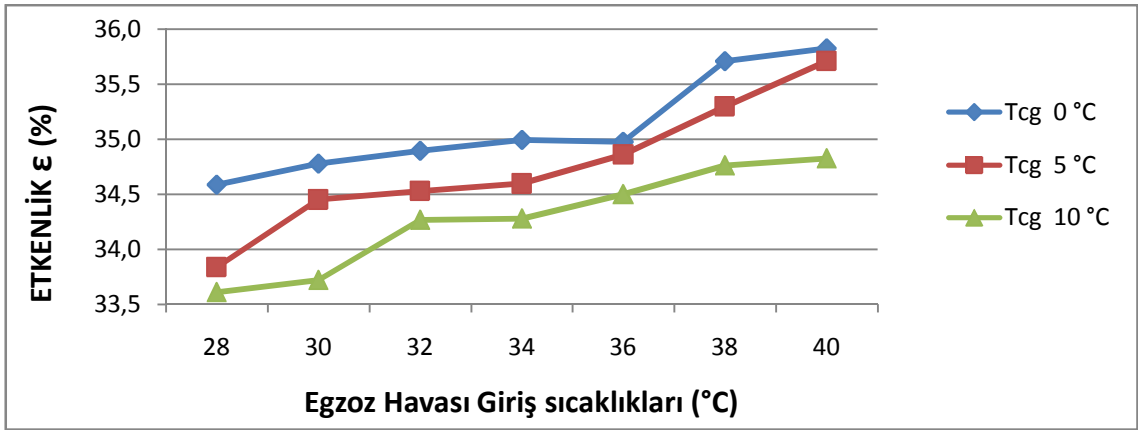
Şekil 8.16. Alüminyum ısı değiştiricisinde hava hızı 1,2 m/s iken farklı taze hava giriş sıcaklıklarında, etkenlik değerleri.



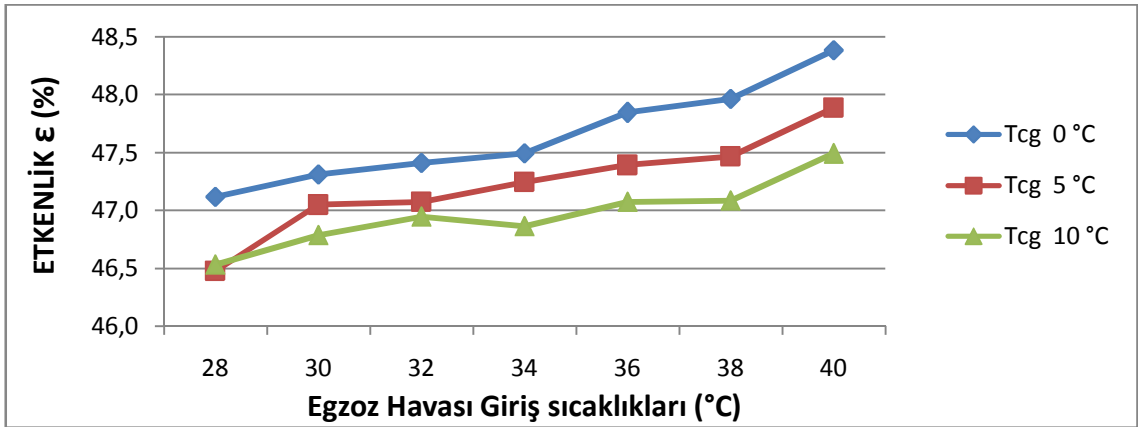
Şekil 8.17. Polimer ısı değiştiricisinde hava hızı 1,2 m/s iken farklı taze hava giriş sıcaklıklarında, etkenlik değerleri.



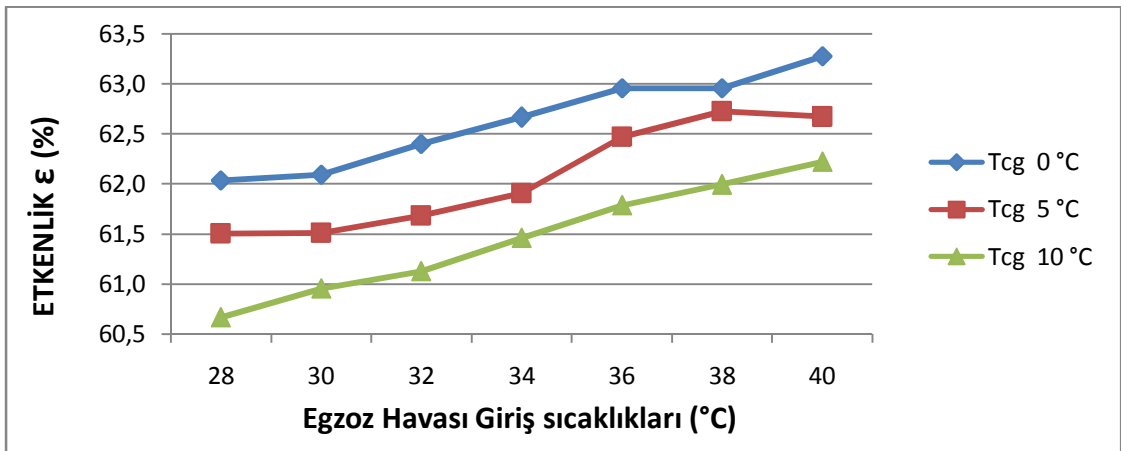
Şekil 8.18. Selülozik ısı değiştiricisinde hava hızı 1,2 m/s iken farklı taze hava giriş sıcaklıklarında, etkenlik değerleri.



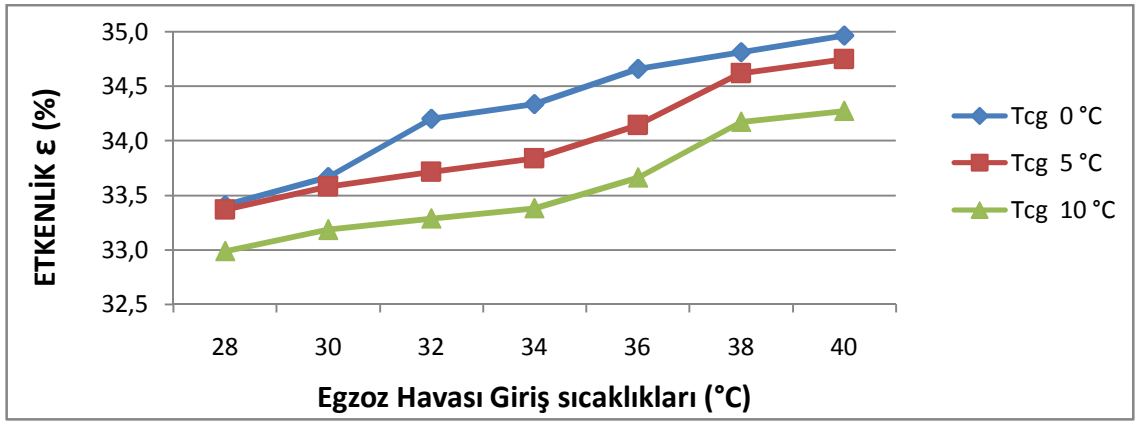
Şekil 8.19. Alüminyum ısı değıştiricisinde hava hızı 1,6 m/s iken farklı taze hava giriş sıcaklıklarında, etkenlik değeri.



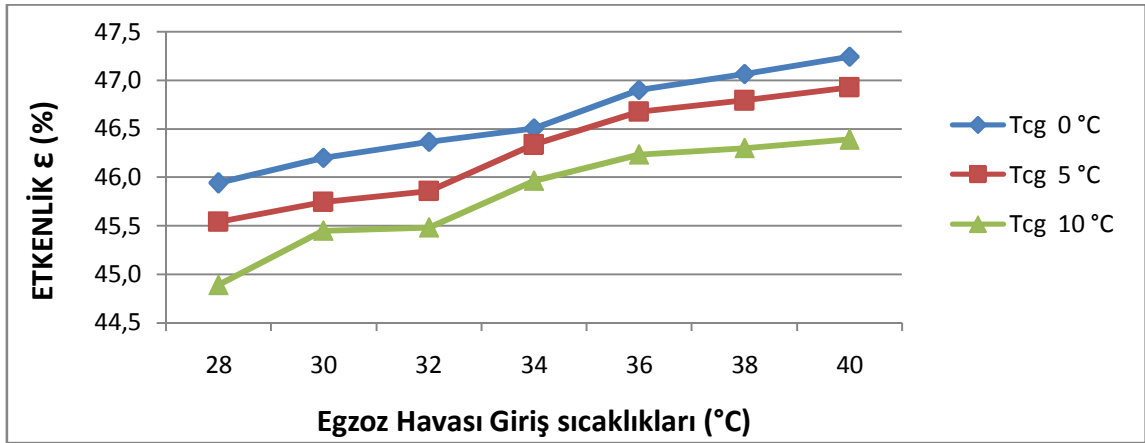
Şekil 8.20. Polimer ısı değıştiricisinde hava hızı 1,6 m/s iken farklı taze hava giriş sıcaklıklarında, etkenlik değeri.



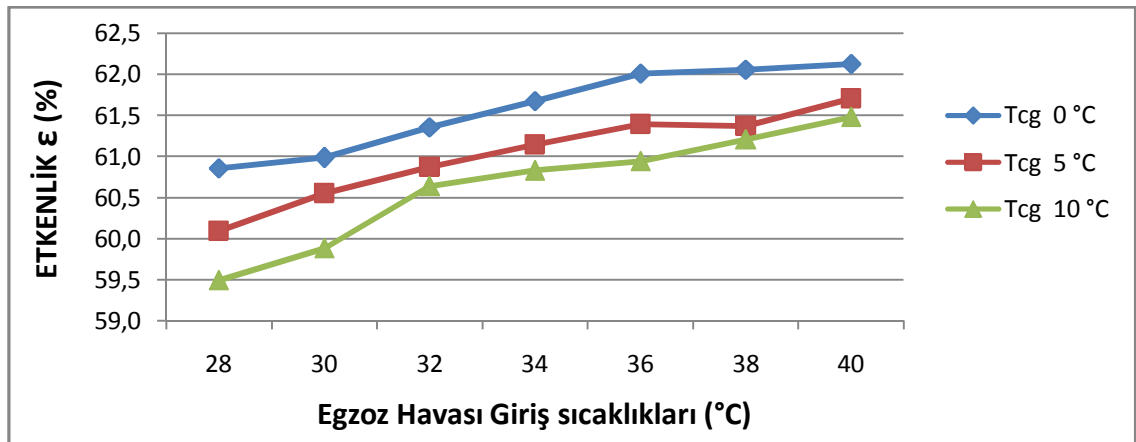
Şekil 8.21. Selülozik ısı değıştiricisinde hava hızı 1,6 m/s iken farklı taze hava giriş sıcaklıklarında, etkenlik değeri.



Şekil 8.22. Alüminyum ısı değiştiricisinde hava hızı 2 m/s iken farklı taze hava giriş sıcaklıklarında, etkenlik değerleri.



Şekil 8.23. Polimer ısı değiştiricisinde hava hızı 2 m/s iken farklı taze hava giriş sıcaklıklarında, etkenlik değerleri.



Şekil 8.24. Selülozik ısı değiştiricisinde hava hızı 2 m/s iken farklı taze hava giriş sıcaklıklarında, gelen etkenlik değerleri.

Taze hava giriş sıcaklığı T_{cg} 0 °C , 5 °C , 10 °C olarak alınarak egzoz havası giriş sıcaklığı T_{hg} 28 °C'den 40 °C'ye kadar kademe kademe artırılmış ve farklı hava hızlarına karşılık gelen etkenlik ε değerleri alüminyum, polimer ve selülozik ısı değiştiricileri için ayrı ayrı hesaplanmış ve yukarıdaki grafikler vasıtasıyla gösterilmiştir. Bu grafiklerden çıkardığımız yorumlar şöyledir:

- 1) Tüm ısı değiştiricilerinde hava hızı ve taze hava giriş sıcaklığı sabit tutulduğunda egzoz havası giriş sıcaklığı artırıldığında etkenlik ε değerleri artmaktadır. Bunun nedeni; egzoz havası giriş sıcaklığı arttıkça, ortalama logaritmik sıcaklık farkının artmasıdır.
- 2) Tüm ısı değiştiricilerinde hava hızı ve egzoz havası giriş sıcaklığı sabit tutulduğunda taze havası giriş sıcaklığı arttıkça etkenlik ε değerleri azalmaktadır. Bunun nedeni; taze hava giriş sıcaklığı arttıkça, ortalama logaritmik sıcaklık farkının azalmasıdır.
- 3) Tüm ısı değiştiricilerinde egzoz havası giriş sıcaklığı ve taze hava giriş sıcaklığı sabit bir değer alındığında hava hızı artırıldıkça etkenlik ε değerleri azalmaktadır. Bunun nedeni; hava hızı artırıldıkça taze hava çıkış sıcaklığının düşmesidir.
- 4) Alüminyum, polimer ve selülozik ısı değiştiricileri kıyaslandığında aynı hava hızı, aynı egzoz havası giriş ve taze hava giriş sıcaklığında, en yüksek etkenlik ε değerleri selülozik ısı değiştiricisinde elde edilmektedir. Bunun nedeni; aynı koşullarda en yüksek taze hava çıkış sıcaklığına selülozik ısı değiştiricisi kullanıldığında ulaşılmasıdır. Daha sonra sırasıyla polimer ve alüminyum ısı değiştiricileri gelmektedir.
- 5) Hangi ısı değiştiriciyi kullanıyor olursak olalım, sistemi en etkin biçimde kullanmak istiyorsak yani maksimum etkenlik ε değeri etmeyi amaçlıyorsak taze hava giriş sıcaklığı T_{cg} en düşük değerde, egzoz havası giriş sıcaklığı T_{hg} en yüksek değerde ve hava hızı mümkün olabilen en düşük seviyede seçilmelidir. Mevcut deney koşulları için seçtiğimiz parametreler ise sırasıyla şöyledir: Hava hızı 1,2 m/s, T_{cg} 0 °C ve T_{hg} 40 °C .

8.2. Deney Sonuçlarının Deney Tasarım Metodu İle Analizi

Isı geri kazanım cihazı performansını belirlemek için kullandığımız parametrelerden en önemlilerinden biride etkenlik ε değeridir. Etkenlik değeri üzerinde çeşitli faktörler etki etmektedir. Bunlar içerisinde kontrol edebildiklerimiz ise egzoz havası giriş sıcaklığı, taze hava giriş sıcaklığı, hava hızı ve kullandığımız değiştiricinin malzeme türüdür. Kontrol edemediğimiz ve gürültü faktörü diye adlandırdığımız nem, gürültü, toz, titreşim vb. faktörler değerlendirilmeyecektir.

Alüminyum, polimer ve selülozik ısı değiştiricileri kullandığımız deneylerde A, B ve C ile simgelediğimiz faktörlere ait düzey seviyeleri Çizelge 8.1’de gösterilmiştir. Her bir faktör için alabileceği en alt ve en üst değer olmak üzere ikişer düzey seçilmiştir.

Çizelge 8.1. Her bir ısı değiştiriciye ait faktörler ve düzey seviyeleri.

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

Faktör sayısı 3 ve her bir faktör için belirlenen düzey sayısı 2 olduğundan öncelikle L8(2³) tam faktöriyel tasarımının kullanımına karar verilmiştir. Böylece hem faktörlerin ana etkilerini hem de birbirleriyle etkileşimlerini tespit edebiliriz. Bu doğrultuda hazırladığımız deney planı Çizelge 8.2’de verilmiştir. Çizelgede her faktör için alt düzey “-” ile üst düzey “+” işaretiyle temsil edilmiştir.

Çizelge 8.2. Seçilen L8(2³) deney planı.

FAKTÖRLER			DENEY SONUÇLARI
A	B	C	
-	-	-	
-	-	+	
-	+	-	
-	+	+	
+	-	-	
+	-	+	
+	+	-	
+	+	+	

Çizelge 8.2’ deki deney planı kullanarak gerçekleştirilen farklı değiştiricilere ait deneylerin sonuçları sırasıyla Çizelge 8.3, Çizelge 8.4 ve Çizelge 8.5’te verilmiştir.

Çizelge 8.3. L8 deney planına göre alüminyum ısı değiştiriciye ait deney sonuçları.

FAKTÖRLER			DENEY SONUÇLARI (Etkenlik Değerleri)
A	B	C	
0 °C	1,2 m/s	28 °C	%35,7
0 °C	1,2 m/s	40 °C	%36,7
0 °C	2 m/s	28 °C	%33,5
0 °C	2 m/s	40 °C	%34,4
10 °C	1,2 m/s	28 °C	%35,2
10 °C	1,2 m/s	40 °C	%36,2
10 °C	2 m/s	28 °C	%33,0
10 °C	2 m/s	40 °C	%33,9

Çizelge 8.4. L8 deney planına göre polimer ısı değiştiriciye ait deney sonuçları.

FAKTÖRLER			DENEY SONUÇLARI (Etkenlik Değerleri)
A	B	C	
0 °C	1,2 m/s	28 °C	%48,3
0 °C	1,2 m/s	40 °C	%50,1
0 °C	2 m/s	28 °C	%45,9
0 °C	2 m/s	40 °C	%47,2
10 °C	1,2 m/s	28 °C	%47,7
10 °C	1,2 m/s	40 °C	%49,3
10 °C	2 m/s	28 °C	%44,9
10 °C	2 m/s	40 °C	%46,4

Çizelge 8.5. L8 deney planına göre selülozik ısı değiştiriciye ait deney sonuçları.

FAKTÖRLER			DENEY SONUÇLARI (Etkenlik Değerleri)
A	B	C	
0 °C	1,2 m/s	28 °C	%62,8
0 °C	1,2 m/s	40 °C	%64,4
0 °C	2 m/s	28 °C	%60,9
0 °C	2 m/s	40 °C	%62,1
10 °C	1,2 m/s	28 °C	%62,4
10 °C	1,2 m/s	40 °C	%63,7
10 °C	2 m/s	28 °C	%59,5
10 °C	2 m/s	40 °C	%61,5

Çizelge 8.6. Seçilen L8(2³) dizayn matrisi.

FAKTÖRLER						
A	B	C	AB	AC	BC	ABC
-	-	-	+	+	+	-
-	-	+	+	-	-	+
-	+	-	-	+	-	+
-	+	+	-	-	+	-
+	-	-	-	-	+	+
+	-	+	-	+	-	-
+	+	-	+	-	-	-
+	+	+	+	+	+	+

Çizelge 8.6’ da verilen matrisin ilk üç sütunu Çizelge 8.2’deki kolonların tekrarıdır ve A, B ve C faktörlerinin düzey sıralaması ifade eder. Diğer sütunlar ise faktörler arası etkileşimi ifade etmektedir. Bunların “-“ ve “+” işaretleri ise ilk üç sütunun işaretleri çarpımı kullanılarak elde edilmiştir. Örneğin AB etkileşim sütunun işaretleri A ve B sütunlarının işaretlerinin çarpımı sonucu bulunmuştur.

Her bir faktörün deney sonucunu (etkenlik değeri) ne ölçüde etkilediğini bulmak için, deney sonucunun tüm değerlerinin (8 değer), A’nın iki farklı düzeyine göre, dörder dörder gruplamak gerekir. Bu gruplandırma A’nın alt düzeyine (-) tekabül eden deney sonucunun ilk dört değeri ile A’nın üst düzeyine (+) tekabül eden deney sonucunun son dört değeri anlamına gelmektedir. A’nın deney sonucuna etkisini belirlemek için, ilk dört değer ortalamasını alıp, ikinci dört değer ortalamasıyla karşılaştırmak gerekmektedir. Şöyle ki;

$$\text{Ortalama } A_1 = (0,357 + 0,367 + 0,334 + 0,344) / 4 = 0,3509$$

$$\text{Ortalama } A_2 = (0,352 + 0,362 + 0,330 + 0,339) / 4 = 0,3459$$

$$\text{Etki } A = \text{Ortalama } A_2 - \text{Ortalama } A_1 = (0,3459 - 0,3509) = - 0,00493$$

Yapılan hesaplama göre A’nın alt düzeyinden üst düzeyine geçirilmesi etkenlik değerinin 0,3509’dan 0,3459’a düşürme sonucunu doğurmuştur. Bu taktirde A’nın net ortalama etkisi, iki düzey ortalamasının farkı olan eksi 0,00493’tür. Diğer faktörlerin etkileri de aynı biçimde bulunacaktır. Ancak dörderlik gruplandırma yapılırken, söz konusu faktörün düzeyleri, yani “-“ ve “+” işaretleri dikkate alınacaktır.

Yukarıda yaptığımız hesaplamayı kolaylaştırmak amacıyla otomatik doldurulabilen excel tablosu oluşturulmuştur. 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. Daha sonra her sütunun toplamı alınarak “TOPLAM” satırı doldurulur. Her sütunun toplamı “SAYI” satırındaki rakamla bölünerek sonuç “ORTALAMA” satırına işlenir. Son basamakta, faktörlerin ve etkileşimlerinin etki derecesini bulmak için, her ana sütundaki (toplam 7 ana kolon var) 2. Sütunun ortalamasından 1. Sütunun ortalaması çıkarılır ve sonuç “ETKİ” satırına işlenir. Alüminyum, polimer ve selülozik ısı değiştiriciye ait deney sonuçları bu tablo üzerine kaydedilmiş ve sırasıyla Çizelge 8.7, Çizelge 8.8, ve Çizelge 8.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 8.7. Alüminyum ısı değiştiriciye ait deney sonuçlarının excelde 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
0,357	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
TOPLAM	1,40	1,38	1,44	1,35	1,37	1,41	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39
SAYI	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
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	

Çizelge 8.8. Polimer ısı değıştiriciye ait deney sonuçlarının excelde 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
TOPLAM	1,92	1,88	1,95	1,84	1,87	1,93	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90
SAYI	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
ORTALAMA	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
ETKİ	-0,008159		-0,027479		0,015593		-0,001384		0,000033		-0,001563		0,000973	

Çizelge 8.9. Selülozik ısı değıştiriciye ait deney sonuçlarının excelde 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
0,628	0,628		0,628		0,628			0,628		0,628		0,628	0,628	
0,644	0,644		0,644			0,644		0,644	0,644		0,644			0,644
0,609	0,609			0,609	0,609		0,609			0,609	0,609			0,609
0,621	0,621			0,621		0,621	0,621		0,621			0,621	0,621	
0,624		0,624	0,624		0,624		0,624		0,624			0,624		0,624
0,637		0,637	0,637			0,637	0,637			0,637	0,637		0,637	
0,595		0,595		0,595	0,595			0,595	0,595		0,595		0,595	
0,615		0,615		0,615		0,615		0,615		0,615		0,615		0,615
TOPLAM	2,50	2,47	2,53	2,44	2,46	2,52	2,49	2,48	2,48	2,49	2,48	2,49	2,48	2,49
SAYI	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
ORTALAMA	0,63	0,62	0,63	0,61	0,61	0,63	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62
ETKİ	-0,007823		-0,023520		0,015279		-0,002251		0,000942		0,001022		0,002659	

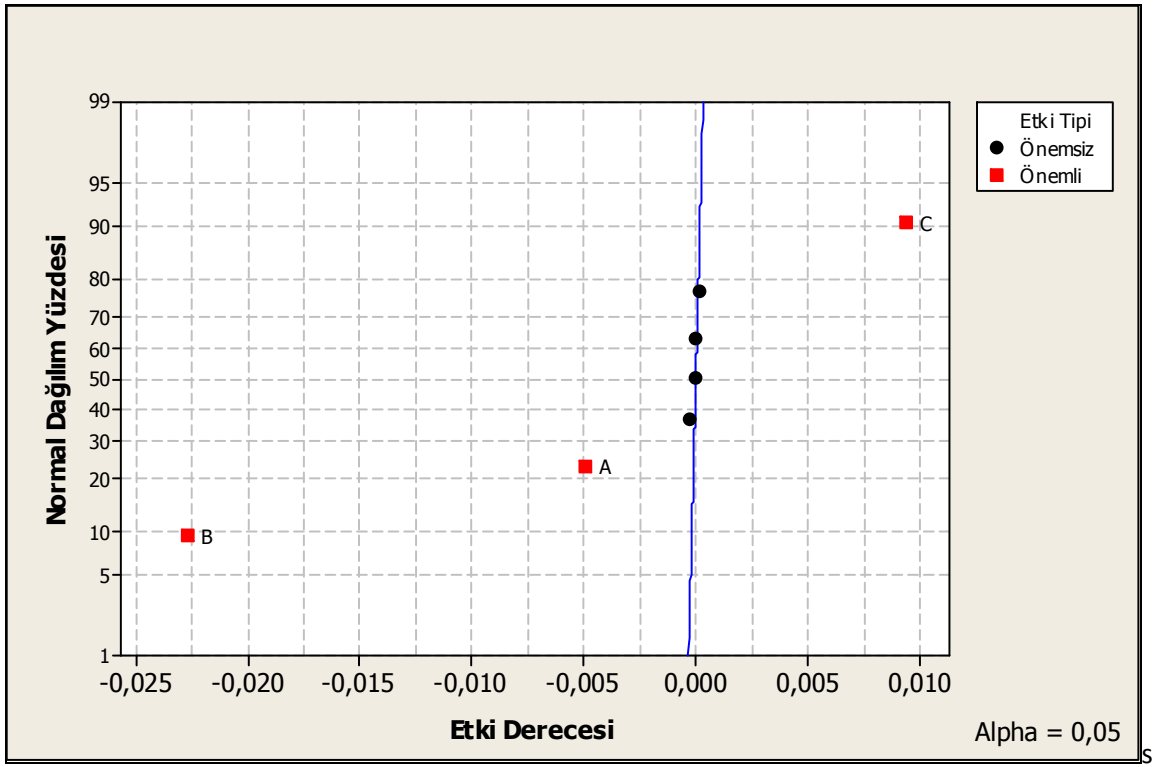
8.2.1. Minitab programı kullanılarak deney sonuçlarının yorumlanması

Faktör etkilerinin Minitab (Release 16) istatistiksel yazılım programı kullanılarak grafiksel gösterimi yapılmıştır. Bu metot kullanılarak, ısı geri kazanım cihazı etkenlik değerinin en yüksek değere sahip olması için bu değer üzerinde etkili olduğu düşünülen faktörlerin en iyi seviyelerinin bulunması amaçlanmaktadır. Aynı zamanda faktörlerin birbirleriyle etkileşimleri görülebilecektir.

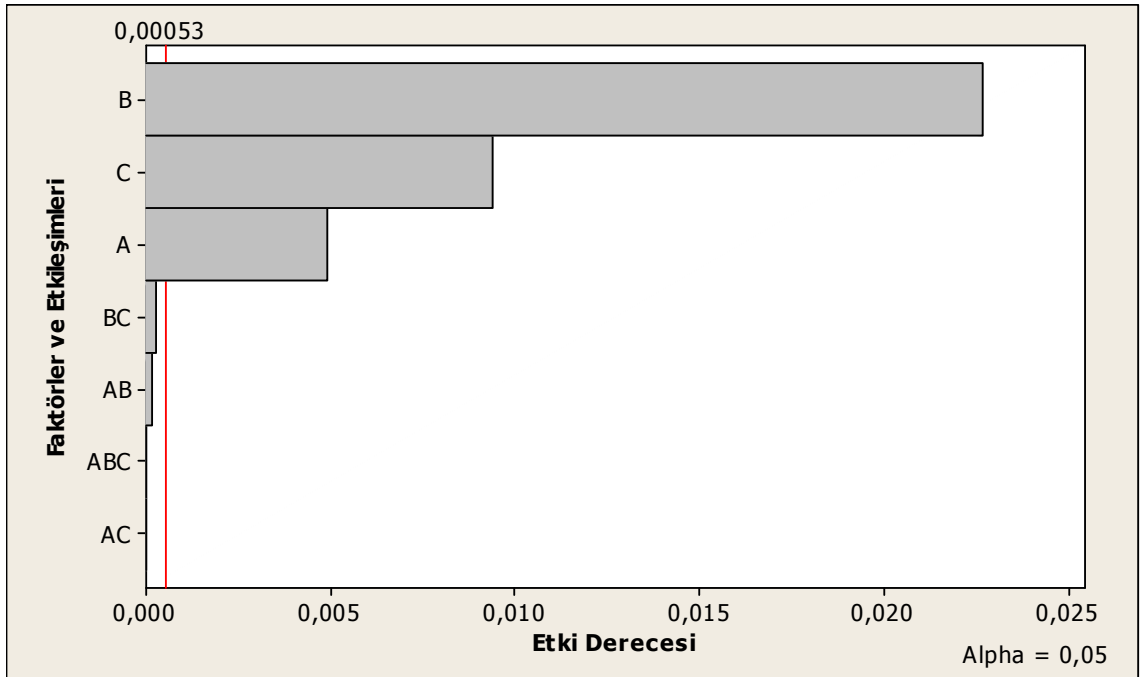
Çizelge 8.7’ deki “ETKİ” satırındaki etkilerden hangilerinin istatistiksel açıdan önemli olduğuna karar vermektir. Bunun için normal olasılık grafiği %95 güven düzeyiyle Minitab programı kullanılarak çizilmiş ve Şekil 8.25’te gösterilmiştir. Etkilerin istatistiksel önemliliği çizilen doğruya göre belirlenir. Önemli noktalar ya grafiğin altında ve doğrunun sol yanında, ya da grafiğin üstünde ve doğrunun sağında kalan noktalardır. Doğruya yakın noktalar ise istatistiksel olarak önemsizdir.

Şekil 8.25’e göre doğrudan uzak olan A, B ve C noktaları önemli olarak belirlenmiştir. Diğer noktalar yani 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.

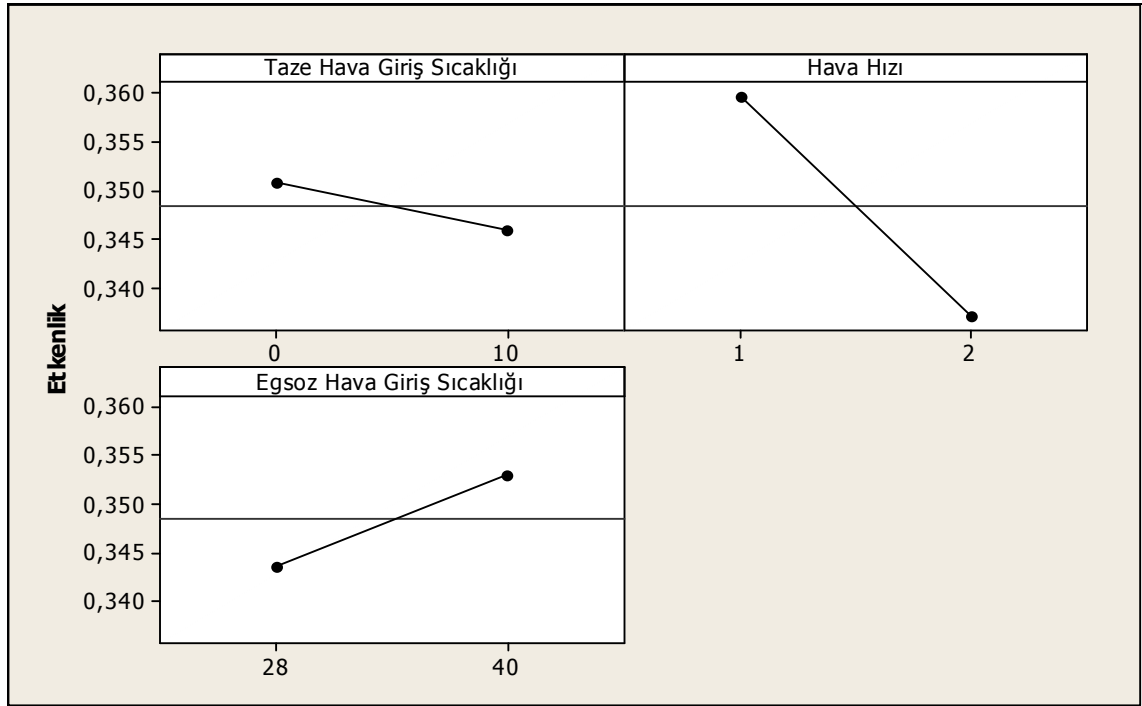
Normal olasılık grafiğinde hangi noktaların önemli olduğu belirlenmiş fakat net bir sıralama yapılmamıştır. Deney sonucunu etkileyen faktörlerin sahip olduğu etki derecelerinin önemlerine göre sıralamasını gösteren pareto grafiği ise Şekil 8.26’da verilmiştir. Bu grafiğe göre en büyük etki derecesine 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 8.25’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. Ayrıca Şekil 8.25, Şekil 8.28 ve Şekil 8.31’ de gösterilen etki derecelerinin hesaplama sonuçları Çizelge 8.7, Çizelge 8.8, ve Çizelge 8.9’dan takip edilebilir.



Şekil 8.25. Alüminyum ısı değıştirici deney sonuçlarını etkileyen faktörlerin etki derecelerine ait normal olasılık grafiğı.



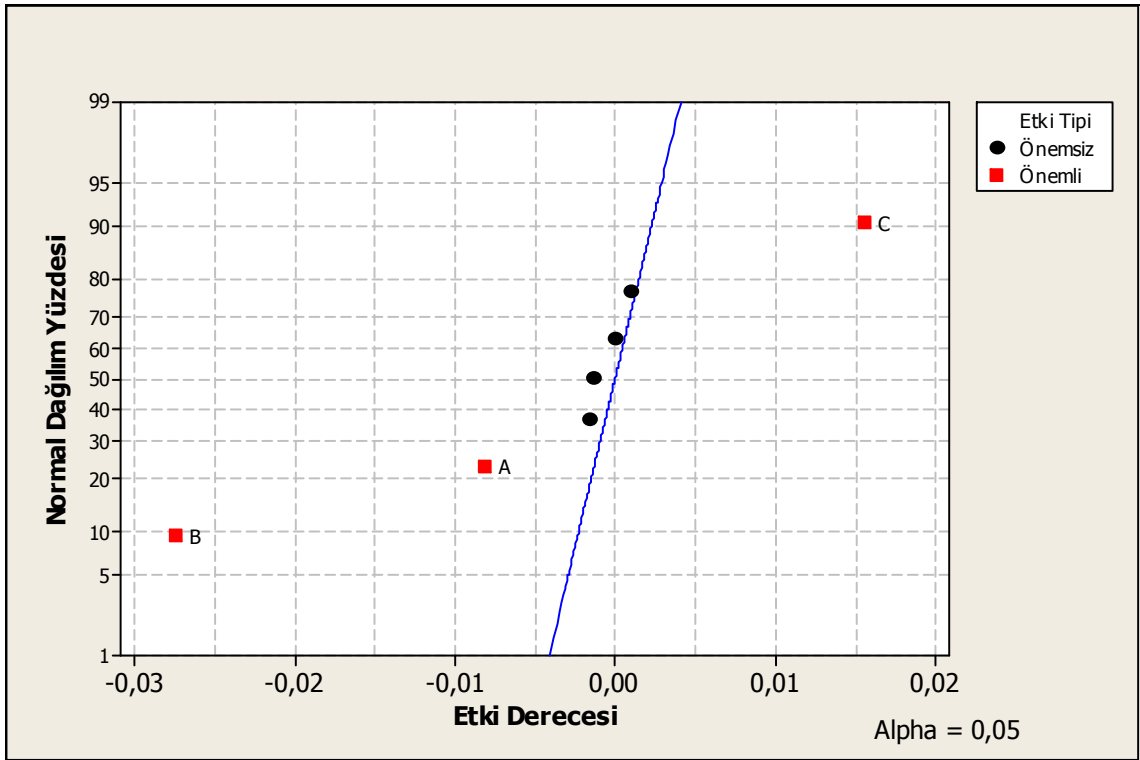
Şekil 8.26. Alüminyum ısı değıştirici deney sonuçlarını etkileyen faktörlerin etki derecelerine ait pareto grafiğı.



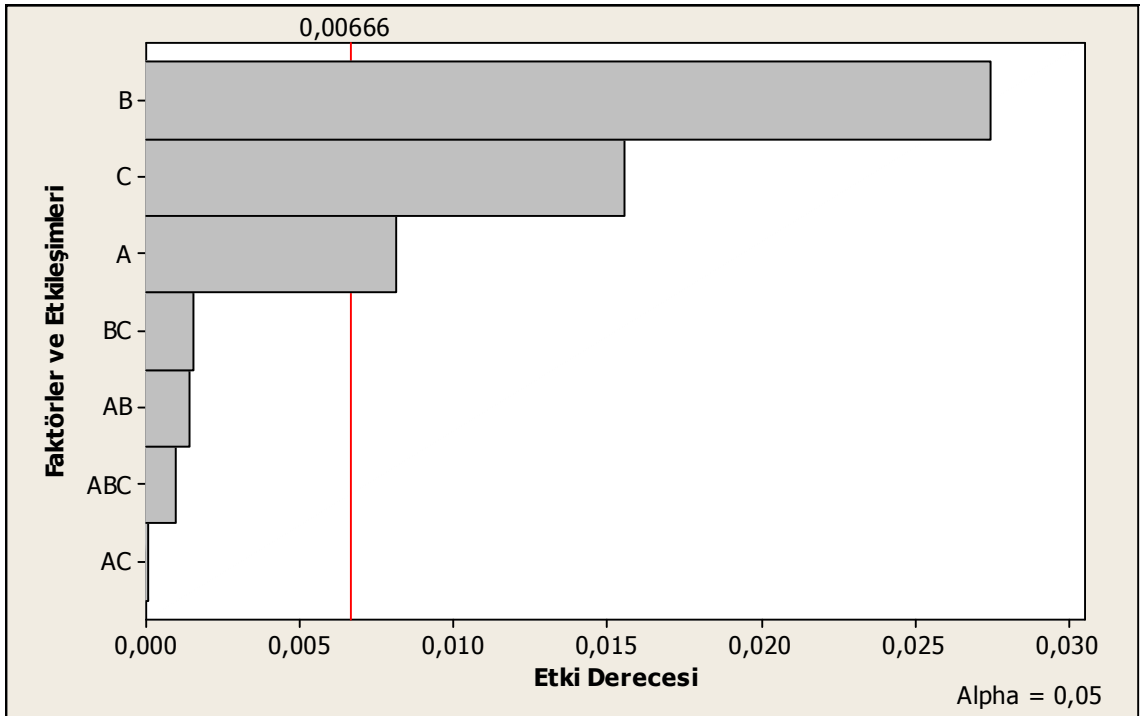
Şekil 8.27. Alüminyum ısı değıştiricisinde girdi değışkenlerinin etkenlik değeri üzerindeki etkilerinin minitab programıyla gösterimi.

Şekil 8.27’de temel faktörler olan taze hava giriş sıcaklık (faktör A), hava hızı (faktör B) ve egzoz havası giriş sıcaklık (faktör C) değerin birinci düzeyden ikinci düzeye getirilmesinin etkenlik üzerinde gerçekleştirdiği değışim görölmektedir. Buna göre şu sonuçlar çıkarılabilir:

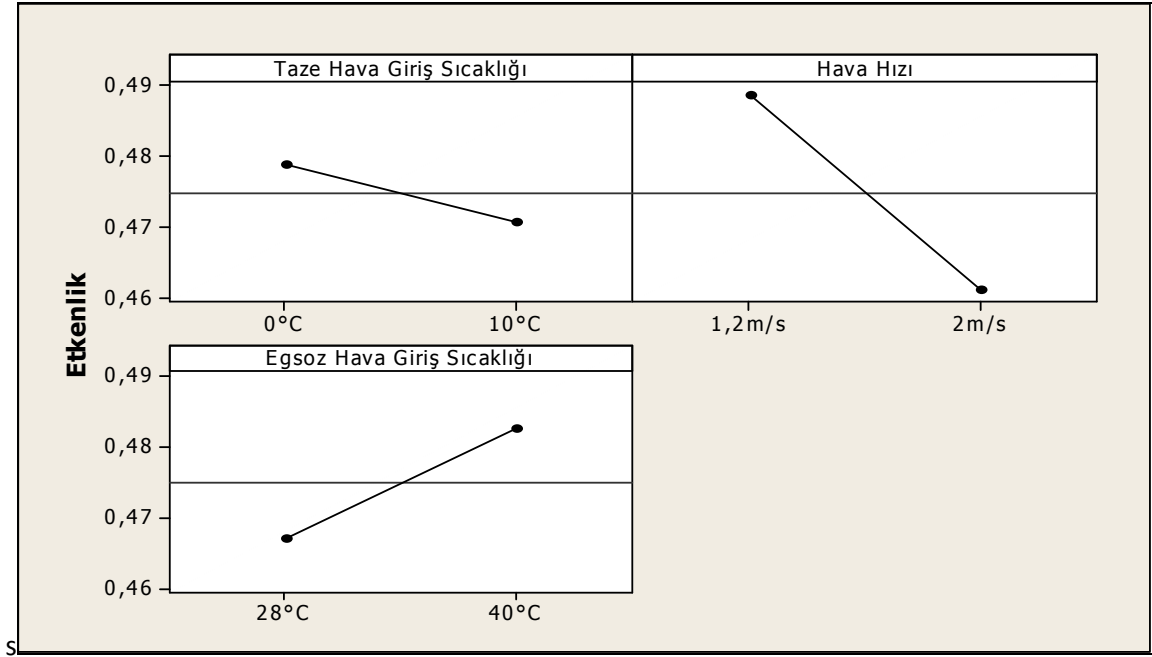
- 1) Taze hava giriş sıcaklığını (faktör A) 0 °C ‘den 10 °C’ ye getirmek etkenliğin bir miktar düşmesine neden olacaktır. Düşme miktarı ise Şekil 8.25’te yaklaşık -0,0049 olarak verilmiştir.
- 2) Hava hızını (faktör B) 1,2 m/s ‘den 1,6 m/s ‘ye çıkarmak etkinliğin hızlı bir biçimde düşmesine yol açmıştır. Düşme miktarı ise Şekil 8.25’te yaklaşık - 0,0226 olarak verilmiştir.
- 3) Egzoz havası giriş sıcaklığını (faktör C) 28 °C ‘den 40 °C’ ye getirmek etkenliğin bir miktar yükselmesine neden olacaktır. Yükselme miktarı ise Şekil 8.25 ’te yaklaşık +0,0094 olarak verilmiştir.
- 4) Etkenlik üzerinde en yüksek etki derecesine sahip faktör “B” ile simgelenen hava hızıdır. Daha sonra sırasıyla “C” ve “A” faktörleri gelmektedir. Bu durum Şekil 8.26 ‘da verilen pareto diyagramında gösterilmiştir.



Şekil 8.28. Polimer ısı değıştirici deney sonuçlarını etkileyen faktörlerin etki derecelerine ait normal olasılık grafiğı.



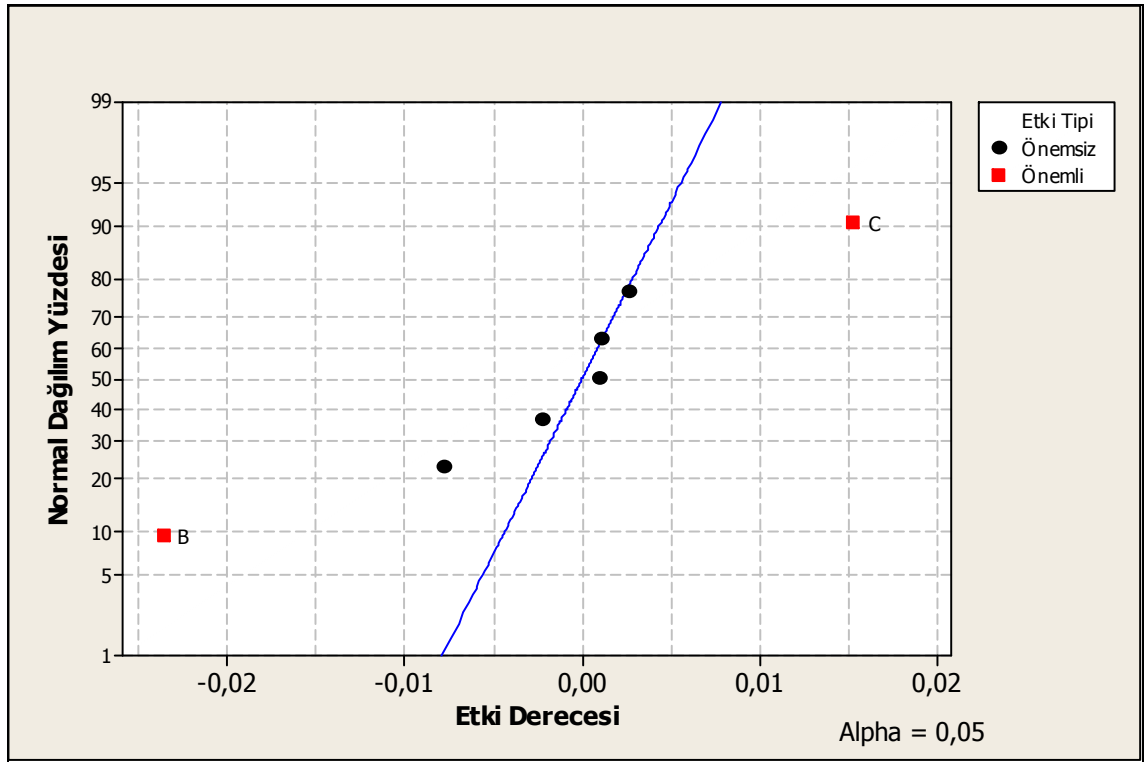
Şekil 8.29. Polimer ısı değıştirici deney sonuçlarını etkileyen faktörlerin etki derecelerine ait pareto grafiğı.



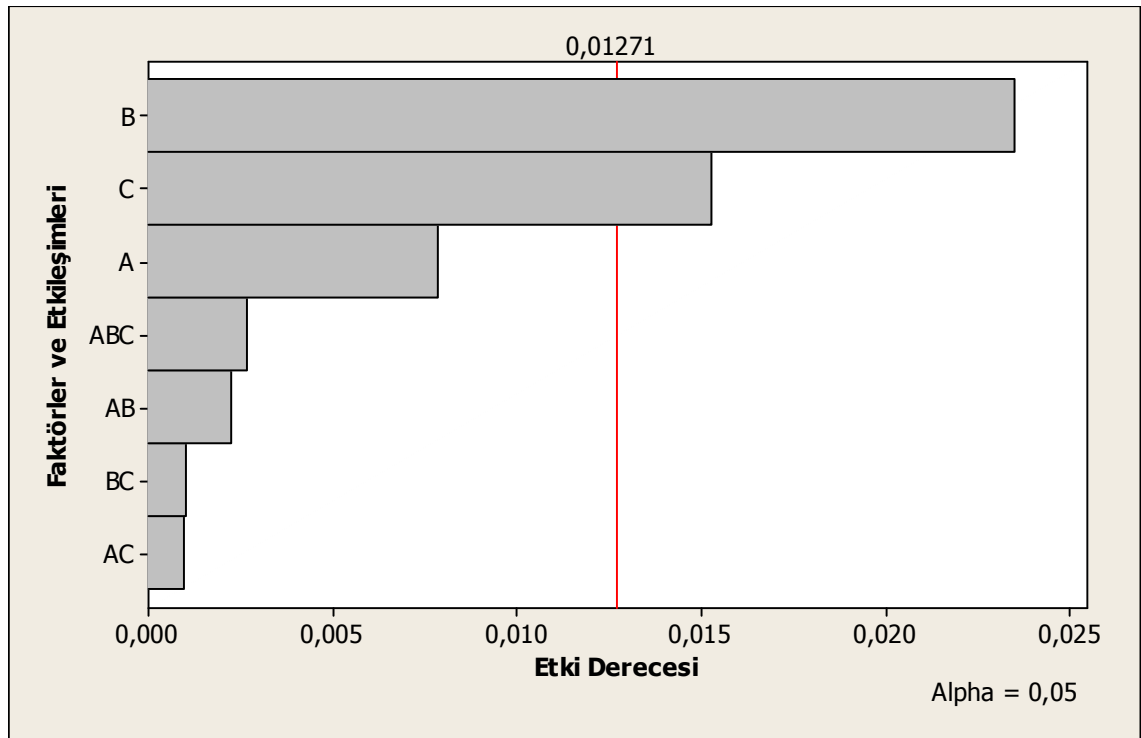
Şekil 8.30. Polimer ısı değiştiricisinde girdi değişkenlerinin etkenlik değeri üzerindeki etkilerinin minitab programıyla gösterimi.

Şekil 8.30’da 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 görülmektedir. Buna göre şu sonuçlar çıkarılabilir:

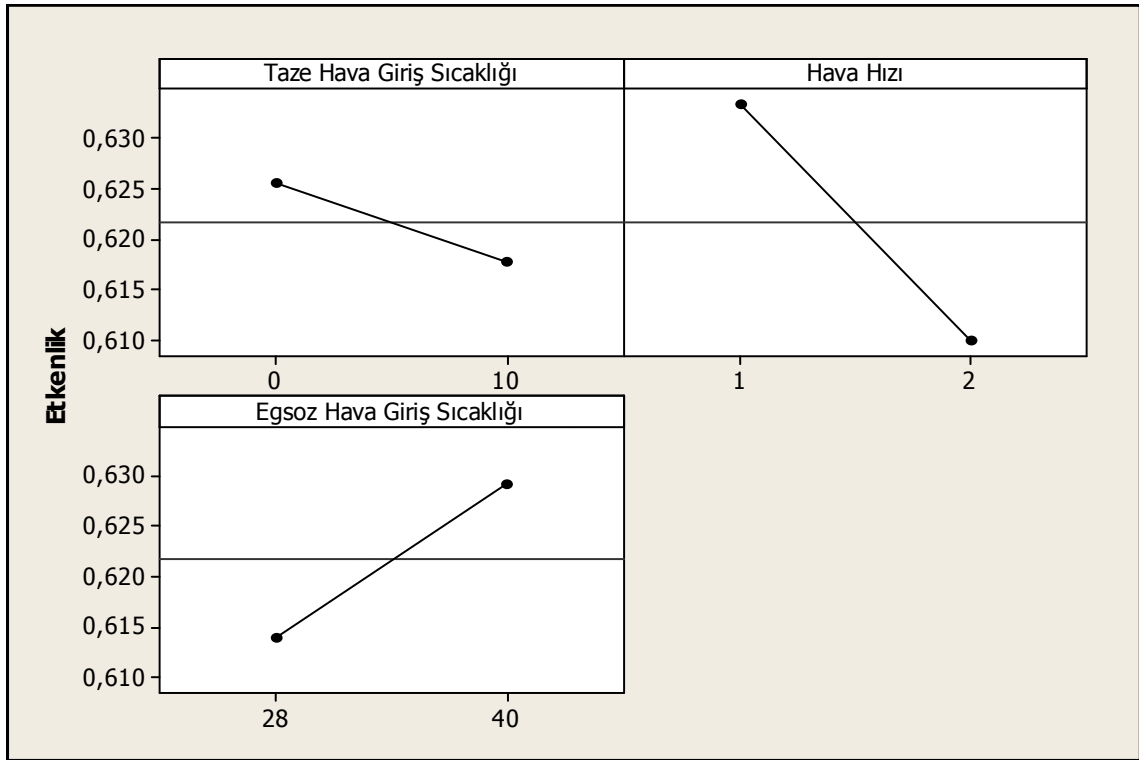
- 1) Taze hava giriş sıcaklığını (faktör A) 0 °C ‘den 10 °C’ ye getirmek etkenliğin bir miktar düşmesine neden olacaktır. Düşme miktarı ise Şekil 8.28’de yaklaşık -0,0081 olarak verilmiştir.
- 2) Hava hızını (faktör B) 1,2 m/s ‘den 1,6 m/s ‘ye çıkarmak etkinliğin hızlı bir biçimde düşmesine yol açmıştır. Düşme miktarı ise Şekil 8.28’de yaklaşık -0,0274 olarak verilmiştir.
- 3) Egzoz havası giriş sıcaklığını (faktör C) 28 °C ‘den 40 °C’ ye getirmek etkenliğin bir miktar yükselmesine neden olacaktır. Yükselme miktarı ise Şekil 8.28’de yaklaşık +0,0156 olarak verilmiştir.
- 4) Etkenlik üzerinde en yüksek etki derecesine sahip faktör “B” ile simgelenen hava hızıdır. Daha sonra sırasıyla “C” ve “A” faktörleri gelmektedir. Bu durum Şekil 8.29 ‘da verilen pareto diyagramında gösterilmiştir.



Şekil 8.31. Selülozik ısı değiştirici deney sonuçlarını etkileyen faktörlerin etki derecelerine ait normal olasılık grafiği.



Şekil 8.32. Selülozik ısı değiştirici deney sonuçlarını etkileyen faktörlerin etki derecelerine ait pareto grafiği.

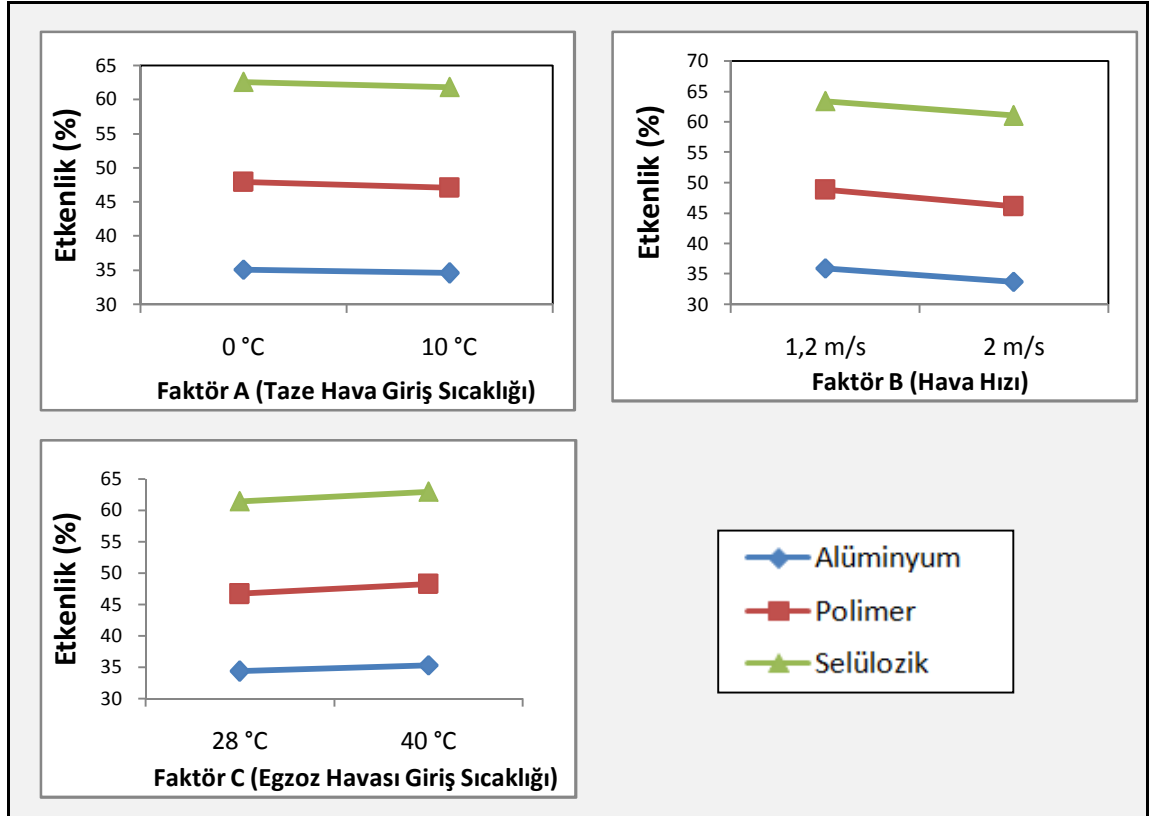


Şekil 8.33. Selülozik ısı değiştiricisinde girdi değişkenlerinin etkenlik değeri üzerindeki etkilerinin minitab programıyla gösterimi.

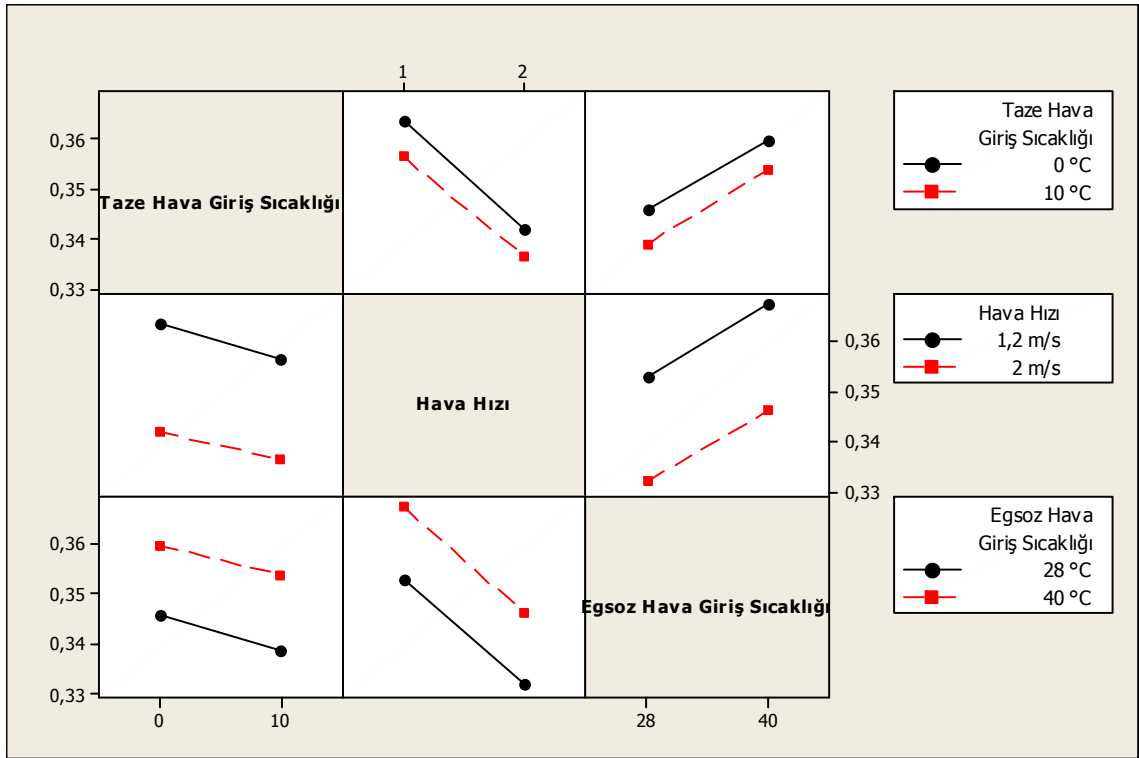
Şekil 8.33'te temel faktörler olan taze hava giriş sıcaklık (faktör A), hava hızı (faktör B) ve egzoz havası giriş sıcaklık (faktör C) değerinin birinci düzeyden ikinci düzeye getirilmesinin etkenlik üzerinde gerçekleştirdiği değişim görülmektedir. Buna göre şu sonuçlar çıkarılabilir:

- 1) Taze hava giriş sıcaklığını (faktör A) 0 °C 'den 10 °C' ye getirmek etkenliğin bir miktar düşmesine neden olacaktır. Düşme miktarı ise Şekil 8.31'de yaklaşık -0,0078 olarak verilmiştir.
- 2) Hava hızını (faktör B) 1,2 m/s 'den 1,6 m/s 'ye çıkarmak etkinliğin hızlı bir biçimde düşmesine yol açmıştır. Düşme miktarı ise Şekil 8.31'de yaklaşık -0,024 olarak verilmiştir.
- 3) Egzoz havası giriş sıcaklığını (faktör C) 28 °C 'den 40 °C' ye getirmek etkenliğin bir miktar yükselmesine neden olacaktır. Yükselme miktarı ise Şekil 8.31'de yaklaşık +0,0153 olarak verilmiştir.
- 4) Etkenlik üzerinde en yüksek etki derecesine sahip faktör "B" ile simgelenen hava hızıdır. Daha sonra sırasıyla "C" ve "A" faktörleri gelmektedir. Bu durum Şekil 8.32 'da verilen pareto diyagramında gösterilmiştir.

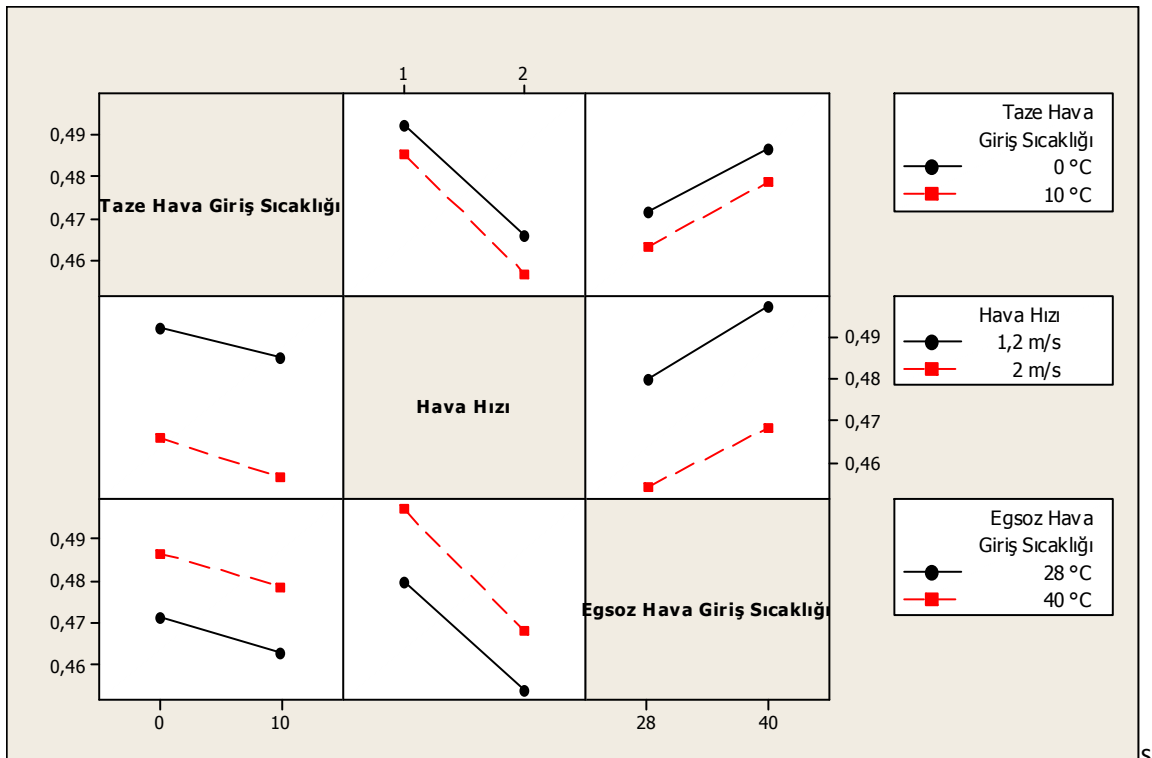
Şekil 8.34'te ise alüminyum, polimer ve selülozik ısı değıştircilerinde girdi değışkenlerin etkenlik üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak görölmektedir. Değışkenlerin aldığı değerler ne olursa olsun selülozik ısı değıştircisinin etkenliği diğerlerinden daha fazla olmaktadır. Daha sonra sırasıyla polimer ve alüminyum ısı değıştircileri gelmektedir.



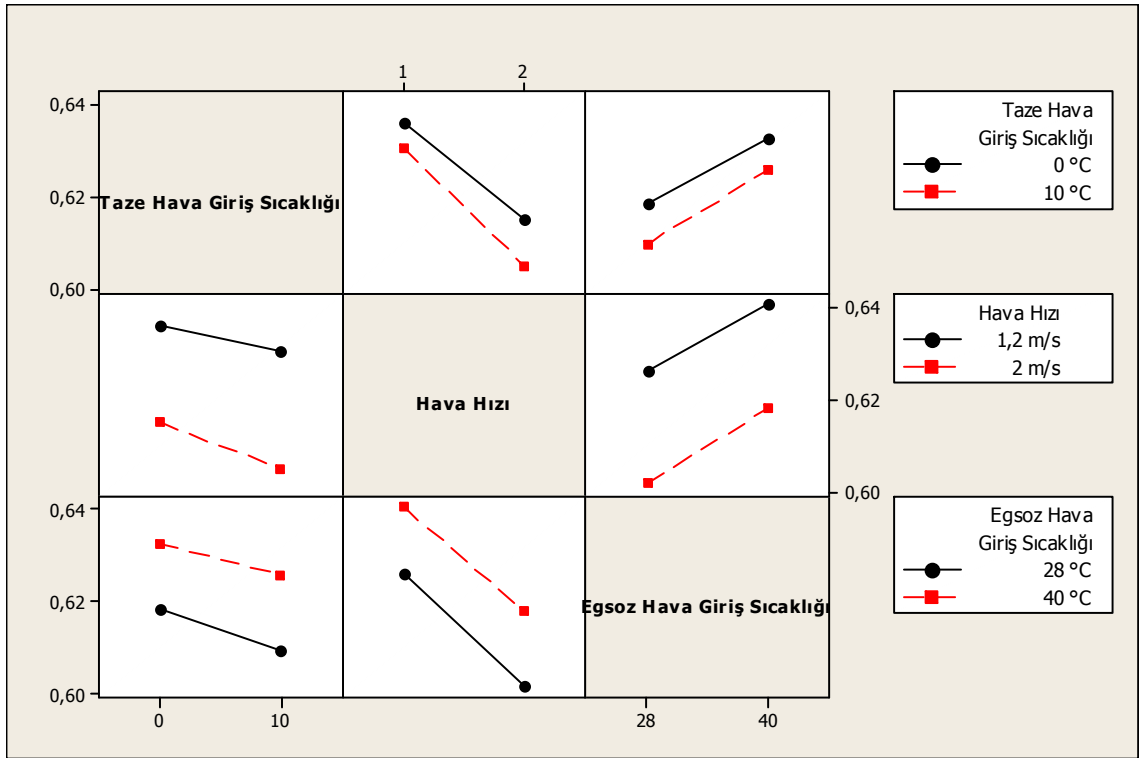
Şekil 8.34. Alüminyum, polimer ve selülozik ısı değıştircisinde girdi değışkenlerinin etkenlik değeri üzerindeki etkilerinin karşılaştırmalı olarak gösterimi.



Şekil 8.35. Alüminyum ısı değıştiricisinde girdi değışkenlerinin birbiriyle etkileşimlerinin etkenlik değeri üzerindeki etkilerinin minitab programıyla gösterimi.



Şekil 8.36. Polimer ısı değıştiricisinde girdi değışkenlerinin birbiriyle etkileşimlerinin etkenlik değeri üzerindeki etkilerinin minitab programıyla gösterimi.



Şekil 8.37. Selülozik ısı değiştiricisinde girdi değişkenlerinin birbiriyle etkileşimlerinin etkenlik değeri üzerindeki etkilerinin minitab programıyla gösterimi.

Şekil 8.35, Şekil 8.36 ve Şekil 8.37’de faktörlerinin birbirleriyle etkileşimleri görülmektedir. Her bir bölmedeki çizgiler iki farklı faktörün birbirleriyle ikişerli etkileşimini yansıtmaktadır. Etkileşim; bir faktörün kalite değişkenine olan etkisinin diğer faktör veya faktörlerin düzeylerine bağlı olması anlamına gelmektedir. Etki analizini kolaylaştırmak amacıyla çizilen etkileşim grafiklerindeki paralellikler, bir faktörün düzeyinin değişmesi halinde, diğer faktörün etki derecesinin değişmediğini, dolayısıyla etkileşimin söz konusu olmadığını göstermektedir. Şekildeki bölmeleri incelediğimizde, tümünde paralel çizgiler görmekteyiz. Bu durum faktörler arasındaki etkileşimlerin yok denecek kadar az olduğunu göstermektedir. Örneğin; taze hava giriş sıcaklığı ile hava hızının kesiştiği bölmeye baktığımızda, taze hava sıcaklığındaki artışın etkenlik değerinde az miktarda düşmeye, hava hızındaki artışın ise etkenlik değerinde önemli oranda azalmaya yol açtığı söylenebilir. Ancak taze hava giriş sıcaklığındaki değişim, etkenliğin hava hızı karşısındaki değişimini etkilememektedir. Benzer durum taze hava giriş sıcaklığı-egzoz havası giriş sıcaklığı, hava hızı-egzoz havası giriş sıcaklığı etkileşimleri için de geçerlidir.

8.3. Deney Sonuçlarının Yazılım Programıyla Sunumu

Deney sonuçlarına daha hızlı ve kolay erişebilmek ve de sonuçların görselleştirilmesi amacıyla Visual Basic 6.0 programı kullanılarak yazılım hazırlanmıştır. Bu yazılımın arayüzü Şekil 8.38’de verilmiştir. Gerçekleştirdiğimiz deneyin sonucunu yansıtmak için hazırladığımız bu programda; malzeme, taze hava giriş sıcaklığı, hava hızı ve egzoz havası giriş sıcaklıklarının istediğimiz değerlerini seçtiğimizde bu değerlere karşılık değişen soğuk hava çıkış sıcaklığı, sıcak hava çıkış sıcaklığı ve etkenlik değeri ekranda gösterilmektedir.

ISI GERİ KAZANIM CİHAZI PARAMETRE SEÇİMİ

MALZEME SEÇİMİ

- ☒ ALÜMİNYUM
- ☐ POLİMER
- ☐ SELÜLOZİK

SOĞUK HAVA GİRİŞ SICAKLIĞI

- ☒ 0 °C
- ☐ 5 °C
- ☐ 10 °C

HAVA HIZI

- ☒ 1,2 m/s
- ☐ 1,6 m/s
- ☐ 2 m/s

SICAK HAVA GİRİŞ SICAKLIĞI

- ☒ 28 °C
- ☐ 30 °C
- ☐ 32 °C
- ☐ 34 °C
- ☐ 36 °C
- ☐ 38 °C
- ☐ 40 °C

SOĞUK HAVA ÇIKIŞ SICAKLIĞI

9,1

SICAK HAVA ÇIKIŞ SICAKLIĞI

17,9

ETKENLİK

35,7%

Şekil 8.38. Deney sonuçlarının Visual Basic yazılımıyla gösterildiği arayüz ekranı.

9. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada plakalı ısı değıştirici kullanılan bir ısı geri kazanım cihazı deneysel olarak tasarlanmış ve imal edilmiştir. Deneysel sistem alüminyum, polimer ve selülozik olmak üzere üç farklı malzemeden imal edilmiş ısı değıştiricisi kullanılarak ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Her bir ısı değıştirici cihaza teker teker yerleştirilmiş, belirlenen parametrelerin farklı değerleri için analizlere tabi tutulmuştur. Her bir deney sonucunda elde edilen taze ve egzoz havası çıkış sıcaklıkları kaydedilmiş, bu değerler kullanılarak ısı hesaplamalar yapılmıştır. Sıcak ve soğuk akışkan arasındaki ısı transfer performansını yansıtan etkenlik değerleri, grafiklerle gösterilmiştir. Bu sayede veriler görselleştirilmiş ve sonuçları karşılaştırma imkânı sunulmuştur.

Taze hava ve egzoz havası giriş sıcaklıkları ile havanın hızı, parametreler olarak belirlenmiştir. Taze hava giriş sıcaklığı için 0 °C, 5 °C ve 10 °C olmak üzere üç farklı değer; egzoz havası giriş sıcaklığı için 28 °C, 30 °C, 32 °C, 34 °C, 36 °C, 38 °C, 40 °C olmak üzere yedi farklı değer; havanın hızı için 1,2 m/s, 1,6 m/s ve 2 m/s olmak üzere üç farklı değer kullanılmıştır. Deneyler sonunda okunan taze hava çıkış sıcaklıkları için aşağıdaki genellemeler yapılabilir. Tüm ısı değıştiricileri için geçerli olmak üzere;

- 1) Hava hızı ve taze hava giriş sıcaklığı sabit tutulduğunda egzoz havası giriş sıcaklığı artırıldığında taze hava çıkış sıcaklıkları sürekli olarak artmaktadır.
- 2) Hava hızı ve egzoz hava giriş sıcaklığı sabit tutulduğunda taze havası giriş sıcaklığı artırıldığında taze hava çıkış sıcaklıkları sürekli olarak artmaktadır.
- 3) Egzoz havası giriş sıcaklığı ve taze hava giriş sıcaklığı sabit bir değer alındığında hava hızı artırıldıkça taze hava çıkış sıcaklığı düşmektedir.
- 4) Mevcut çalışma koşulları içerisinde en yüksek taze hava çıkış sıcaklığını temin etmek için; taze hava giriş sıcaklığı en yüksek değer olan 10 °C, egzoz havası giriş sıcaklığı en yüksek değer olan 40 °C ve hava hızı en düşük değer olan 1,2 m/s olarak tercih edilmelidir.
- 5) Üç farklı ısı değıştiricisi birbirleriyle kıyaslandığında ise aynı hava hızı, aynı egzoz havası giriş sıcaklığı ve aynı taze hava giriş sıcaklığında, en yüksek taze hava çıkış sıcaklığı selülozik ısı değıştiricisi kullanıldığında elde edilmektedir. Daha sonra sırasıyla polimer ve alüminyum ısı değıştiricileri gelmektedir.

Hem taze hava ve egzoz havası giriş sıcaklıkları hem de deneyler sonucu elde edilen taze hava ve egzoz havası çıkış sıcaklıkları kullanılarak; toplam ısı transfer katsayısı (U), logaritmik ortalama sıcaklık farkı (ΔT_m), NTU ve C^* değerleri, etkenlik(ϵ) ve ısı geçiş miktarı (Q) hesaplatılmıştır. Bu hesaplamalar sonucu elde edilen etkenlik değerleri için aşağıdaki genellemeler yapılabilir. Tüm ısı değiştiricileri için geçerli olmak üzere;

- 1) Hava hızı ve taze hava giriş sıcaklığı sabit tutulduğunda egzoz havası giriş sıcaklığı artırıldığında etkenlik ϵ değeri artmaktadır.
- 2) Hava hızı ve egzoz havası giriş sıcaklığı sabit tutulduğunda taze havası giriş sıcaklığı arttıkça etkenlik ϵ değeri azalmaktadır.
- 3) Egzoz havası giriş sıcaklığı ve taze hava giriş sıcaklığı sabit bir değer alındığında hava hızı arttırıldıkça etkenlik ϵ değeri azalmaktadır.
- 4) Mevcut çalışma koşulları içerisinde etkenlik ϵ değerini en yüksek düzeyde tutmayı amaçlıyorsak taze hava giriş sıcaklığı en düşük olan 0 °C, egzoz havası giriş sıcaklığı en yüksek değer olan 40 °C ve hava hızı en düşük değer olan 1,2 m/s olarak tercih edilmelidir.
- 5) Üç farklı ısı değiştiricisi birbirleriyle kıyaslandığında ise aynı hava hızı, aynı egzoz havası giriş sıcaklığı ve aynı taze hava giriş sıcaklığında, en yüksek etkenlik ϵ değeri selülozik ısı değiştiricisi kullanıldığında elde edilmektedir. Daha sonra sırasıyla polimer ve alüminyum ısı değiştiricileri gelmektedir.
- 6) Aynı hava hızı, aynı egzoz havası giriş sıcaklığı ve aynı taze hava giriş sıcaklığında; polimer ısı değiştirici kullanıldığında alüminyum ısı değiştiricisine göre etkenlik değeri ortalama %12,6 daha fazla olmaktadır. Aynı şekilde selülozik ısı değiştirici kullanıldığında polimer ısı değiştiricisine göre etkenlik değeri ortalama %14,5 daha fazla olmaktadır. En yaygın kullanılan alüminyum ısı değiştirici ile selülozik ısı değiştirici kıyaslandığında ise aradaki fark ortalama %27'ye çıkmaktadır. Bu durumda aynı kesit alanına alüminyum ısı değiştiricisi yerine selülozik ısı değiştiricisini yerleştirdiğimizde etkenlik değeri %27 artacaktır.

Ayrıca Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılarak ısıl etkenlik üzerinde etkisi olan parametreler, etki dereceleri ve parametrelerin birbirleriyle etkileşimleri incelenmiştir. Analizler için Minitab (Release 16) istatistiksel yazılım programından faydalanılmıştır. Böylelikle sonuçların yorumlanması istatistiksel analizler ile desteklenmiştir.

Analizlerde L8 tam faktöriyel deney tasarımı kullanılarak taze hava giriş sıcaklığı, hava hızı ve egzoz havası giriş sıcaklığının iki farklı düzeyi için deney planı oluşturulmuştur. Minitab programı ile yapılan analizlerde etkenlik değeri üzerindeki en etkili faktörün hava hızı olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca Taguchi deney tasarım metodu kullanılarak faktörler arasında belirli bir etkileşim olmadığı sonucuna varılmıştır. Tüm ısı değiştiricilerinde en iyi ısıl performansın; taze hava giriş sıcaklığının birinci düzeyi olan 0 °C, hava hızının birinci düzeyi olan 1,2 m/s ve egzoz havası giriş sıcaklığının ikinci düzeyi olan 40 °C seçildiğinde elde edildiği tespit edilmiştir. Selülozik ısı değiştiricinin polimer ve alüminyum ısı değiştiricilerine göre tüm parametre değerlerinde çok daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Bundan sonraki çalışmalar için şunlar önerilmektedir:

- Seramik gibi farklı malzemelerden üretilmiş ısı değiştiricileri kullanılarak etkenlik değerleri karşılaştırılabilir.
- Bu çalışmada kullanılan faktörler daha farklı değerlerde belirlenerek deneyler gerçekleştirilebilir.
- Ayrıca faktörlerin düzey sayıları artırılabilir. Bu durumda taguchi ortogonal dizilimleri kullanılarak çok daha az sayıda deney yapılarak optimizasyon çalışmaları düzenlenebilir.
- Isıl performans göstergesi olarak; etkenlik değeri yerine verim, ısı transfer miktarı vb. incelenebilir.
- Eldeki mevcut veriler kullanılarak ANOVA, SPSS gibi farklı yazılımlar kullanılarak analizler yapılabilir.
- Ağırlıklı olarak bilim çevrelerince kullanılan Taguchi yönteminin yüksek araştırma geliştirme maliyetlerinde sağladığı azalma ve deney sürelerinde sağlanan süre kısalığı endüstriyel uygulamalar için iyi bir çözüm niteliğindedir. Metodun bilinirliğinin artırılmasına yönelik endüstriye uygulamalar ve eğitimler artırılabilir.

10. KAYNAKLAR

- Altınışik, K., “Uygulamalarla Isı Transferi” *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 2003.
- Altınışik, K., Abdulkarim, A.H., Özen, D.N. ve Resitoğlu, I.A., “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(1): 139-142 (2012).
- Bayrak, Z., “Taguchi yönteminin kalite kontrolüne uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 1996.
- Bulgurcu, H., “Lokal Isı-Enerji Geri Kazanımlı Havalandırma Cihazlarının Tasarımı”, *V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve sergisi*, İzmir, 141-150, (2001).
- Canıyılmaz E. ve Kutay F., “Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım”, *Gazi Üniversitesi mühendislik ve mimarlık fakültesi dergisi*, Ankara, 18(3): 51-63,(2003).
- Cevallos, J.G., Bergles, A.E., Bar-Cohen, A., Rodgers P. and Gupta, S.K.,”Polymer Heat Exchangers—History, Opportunities, and Challenges”, *Heat Transfer Engineering*, 33(13):1075-1093 (2012).
- Chen,L., Li ,Z., Guo, Z.-Y., “Experimental Investigation Of Plastic Finned-Tube Heat Exchangers, Withemphasis On Material Thermal Conductivity”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 33: 922–928 (2009).
- Çengel, Y.A., “Isı Ve Kütle Transferi ”, Vedat TANYILDIZI, İhsan DAĞTEKİN, *İzmir Güven Kitabevi*, İzmir, 2011.
- Çeteci, Ö.,“Bilgisayar yardımıyla ısı değiştiricisi tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1999.
- Çorak, A., “Kanatçıklı ısı değiştiricilerinin ısı performanslarının sayısal olarak incelenmesi ”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 2010.
- Çimen, F., “Klima Santrallerinde Enerji Tasarrufu”, *TTMD Dergisi*, 40:18-22, (2005).
- Çömlekçi, N., “Deney Tasarımı İlke ve Teknikleri, *Alfa yayınları*, İstanbul, 2003.
- Danışman, C.,“Plakalı eşanjör etkinlik parametrelerinin deneysel analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir , 2010.
- Demir,A., “Kanatlı bir ısı değiştiricisinde optimum dizayn parametrelerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum , 2006.
- Demirel, Ö.,“ Klima Sistemlerinde Isı Geri Kazanımı”,*TTMD Dergisi*, 16:18-20, (2001).
- Dönüşüm İklimlendirme, “Plakalı Isı Geri Kazanım Eşanjörleri, ”<http://www.donusumiklimlendirme.com/pdf/airep.pdf>, 2013.

- Durmaz, M., “Isı geri kazanım ısı değıştircilerinin bilgisayar yardımıyla optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 2007.
- Eker, B., “Havalandırmada kullanılabilcek çapraz akımlı plakalı ve petekli tip ısı eşanjörlerinin tasarımı ve yapımı”, Doktora Tezi, **Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Tekirdağ, 1998.
- Fernandez-Seara, J., Diz, R., Uhia, F.J., Dopazo, A. and Ferro, J. M., “Experimental Analysis Of An Air-To-Air Heat Recovery Unit For Balanced Ventilation Systems In Residential Buildings”, **Energy Conversion and Management**, 52:635–640(2011).
- Genceli, O.F., “Isı Değıştircileri”, **Birsan Yayınevi**, İstanbul, 2005.
- Gökçe, B.; “Metalürjik deneylerin taguchi ve genetik algoritmalar yöntemleri kullanılarak tasarımı”, Doktora Tezi, **Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Afyon, 2009.
- Güneş, S., “Atık ısıdan faydalanma ve özel bir fabrika uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 2009.
- Güven, K. O., “Havadan havaya ısı geri kazanım sistemleri” **TTMD Dergisi**, 26.Sayı, 18-22, (2003).
- Halıcı, F. ve Gündüz, M., “Örneklerle Isı Geçışı”, **Burak Ofset**, Sakarya, 2001.
- Incropera, F.P. ve DeWitt, D.P., “Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri” **Literatür Yayıncılık**, İstanbul, 2006.
- İmmak, “Air To Air Heat Recovery Exchangers Recuperator”, <http://www.immak.eu/Admin/photos/belgelerkucuk/634671386075318750.pdf>, 2013.
- Joan, C. T., Park, Y., Wang, Q., Sommers, A., Han, X. and Jacobi, A., “A Review On Polymer Heat Exchangers For HVAC&R Applications”, **International Journal Of Refrigerations**, 32:763-779 (2009).
- Jungi, D., Yi, Z., Gengtian, L. and Weiwu,&.X., “Experimental Study of Wavy Fin Aluminum Plate Fin Heat Exchanger”, **Experimental Heat Transfer**, 26:4, 384-396 (2013).
- Kılıç, B., “Plakalı ısı eşanjörlerinin ısıtma ve soğutma uygulamaları için optimum çalışma şartlarının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Isparta, 2008.
- Koçlu, A., “Tekstil endüstrisinde plakalı ısı değıştircilerle atık ısı geri kazanım sistemi ve performansının değeriendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Uşak, 2011.

- Koyuncu, T., “Havalandırmada kullanılabilecek çapraz akımlı plakalı ve petekli ısı eşanjörlerinin tasarımı ve yapımı”, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ, 1998.
- Kragh, J., Rose, J., Nielsen, T.R. and Svendsen, S., “New Counter Flow Heat Exchanger Designed For Ventilation Systems In Cold Climates”, *Energy and Buildings*, 39:1151–1158 (2007).
- Küçüka, S., “Isı geri kazanım cihazlarının bazı şehirlerdeki yıllık toplam ısıtma ve soğutma kazançlar”, *VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 39-47, (2005).
- Li, J., Wang, S., Cai, W. And Zhang, W., “Numerical Study On Air-Side Performance Of An Integrated Fin And Micro-Channel Heat Exchanger”, *Applied Thermal Engineering*, 30: 2738-2745 (2010).
- Nasif, M. S. , Al-Waked, R. , Behnia, M. and Morrison, G.,”Modeling of Air to Air Enthalpy Heat Exchanger “, *Heat Transfer Engineering*, 33: 1010-1023 (2012).
- Noie, S.H., “Investigation of Thermal Performance of An Air-to-Air Thermosyphon Heat Exchanger Using ϵ -NTU Method”, *Applied Thermal Engineering*, 26 : 559 567 (2006).
- Oğulata, R.T. ve Doba, F., “Çapraz Akımlı Bir Isı Değiştirgecinin Teorik Ve Deneysel Analizi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2 (3), 185-192, (1996).
- Owen, M.S., “ASHRAE Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme Uygulamaları”, Demircioğlu, N., *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği*, İstanbul, 2007.
- Ömeroğlu, G., “Farklı tipte kanatçıkların çapraz akışlı ısı değiştiricisinde deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 2007.
- Öztop, M., “Taguchi deney tasarımı yöntemi alüminyum ekstrüzyon prosesinin iyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 2007.
- Pehlivan, H., “Tek geçişli çapraz akışlı plakalı ısı değiştiricisi optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 2002.
- Seber, A.C., “Çapraz akımlı ısı değiştiricisiyle çok borulu sistemler için deneysel çalışma”, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir , 2008.
- Şahan, A.M., “HVAC uygulamalarında ısı geri kazanım”, *IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve sergisi*, İzmir, 151-162, (1999).
- Şahan A.M., “ Isı geri kazanım eşanjörlerinin kullanım opsiyonları”, *VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve sergisi*, İzmir, 1-14, (2003).

- Şirvancı, M., “Kalite İçin Deney Tasarımı Taguchi Yaklaşımı”, *Literatür Yayınları*, İstanbul, 1997.
- Taguchi, G. and Wu, Y., “Taguchi methods case studies from the US and Europe”, *Ameriken Supplier Institute Inc.*, Michigan, 1989.
- Tarakçıoğlu A., “Sanayide atık ısıdan yararlanma yöntemleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2006.
- Teke, İ., Özden, A., Atayılmaz, Ö. and Demir, H., “Determining The Best Type Of Heat Exchangers For Heat Recovery” *Applied Thermal Engineering*, 30:577-583 (2010).
- Yakut, M.Z., “Soğutucu akışkan-hava ile çalışan ısı değiştiricilerinin teorik ve deneysel incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 2007.
- Yıldırım, S., “Ürün tasarımı geliştirilmesi:Taguchi tasarımı”,Yüksek Lisans Tezi, *Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2011.
- Yılmaz, O., “Standart seramik yapıştırıcılarının önemli kalite göstergelerinin analizinde taguchi yöntemi”, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir , 2010.
- Yücel, E., “Yüksek alaşımlı beyaz dökme demirlerin (Ni-Hard) işlenebilirlik parametrelerinin taguchi yöntemi ile optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 2011.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı :Ceyda KOCABAŞ
Doğum Yeri ve Tarihi :Samsun, 1984.

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi :Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık
Fakültesi, Endüstri Mühendisliği (2007)
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyetleri :Uşak Üniversitesi 1. Ulusal Geri Kazanım Kongre
Ve Sergisi, Su Jetiyle İşleme Ve Eko-Tasarım
İlişkisi, Bildiri, Mayıs 2012

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : Mahle Mopisan Konya Yedek Parça Sanayi Ve.
Ticaret A.Ş (2007-2009)
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi (2009 –)

İletişim

Adres :Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Meslek Yüksek
Okulu , BİLECİK
Tel : 0 228 214 11 11
E-Posta Adresi :Ceyda.pak@bilecik.edu.tr

Tarih:
İmza