

# ISI DEĞİŞTİRİCİ SEĞİMİ

Mehmet YILMAZ\* Osman Nuri ŐARA\*\*

Makina Yüksek Mühendisi

\* Yrd. Doç. Dr., Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 25240  
ERZURUM

\*\* Yrd. Doç. Dr., Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 25240  
ERZURUM

## ÖZET

Isı değiştirici tipinin seÇiminde kullanılacak temel ilke, benzer proses koşullarında çalışan ısı deĐiŐtiricisine benzer olan ısı değiştirici tipinin seğilmesidir. EĞer benzer çalışma koŐulları mevcut değilse; konstrüksiyon malzemeleri, basıncı ve sıcaklık, performans parametreleri (sıcaklık programı, debiler, basıncı düşümleri), kirlenme eğilimleri, muayene, temizleme, ilave ve tamir, akışkanların tipleri ve fazları, ısı değiştiricinin boyutu, bulunabilirlik ve ekonomik faktörler gibi çeşitli faktörler göz önüne alınarak ısı değiştirici seğimi yapılmalıdır. EĞer alıŐma koŐullarındaki deĐiŐimler ve tamamıyla yeni tip bir uygulama, yeni bir yaklaŐım gerektiriyorsa yeni bir ısı değiştirici dizayn etme yöntemi kullanılmalıdır. Bu makalede temel ısı değiştirici tipleri, özellikleri, avantajları ve dezavantajları zet olarak verilmiş ve ısı değiştirici seÇiminde dikkate alınması gereken faktörler ayrıntılı olarak incelenmiŐtir. Bu bilgilerin ıŐıĐı altında, herhangi bir ısılı görev için ısı değiştiricinin ilk seğimi ve ilk seÇim yapıldıktan sonra fizibil olduğu bulunan ısı değiştirici tipleri arasında son seÇimin nasıl yapılacağı anlatılmıŐtır.

## ABSTRACT

The basic guide for selecting heat exchanger type is to select similar heat exchanger type operating under similar process conditions. However, If previous operational experience is not available, type of heat exchanger must be selected

considering several factors such as materials of construction, pressure and temperature, performance parameters (temperature program, flow rates, pressure drops), fouling tendencies, inspection, cleaning, addition, and repair, types and phases of fluids, heat exchanger size, availability, and overall economy. If changes in operating conditions and completely new types of application require a fresh approach, method of designing a new type of heat exchanger must be used. In this study, basic heat exchanger types, their scopes, advantages, and disadvantages are given shortly, and factors that must be considered for selecting type of heat exchanger are studied in detail. Using this knowledge, it is studied how initial selection of heat exchanger type is made for any heat duty, and then selection between feasible types.

## 1- GİRİŞ

Isı değişim problemlerini çözerken, ısı değiştiricisini seğen mühendis veya dizayn mühendisi tarafından alınan en önemli karar, ısı değiştirici tipinin seğilmesidir. Isı değiştirici tipinin seçiminde temel kural, deneyime dayanarak, benzer fonksiyonları yerine getiren ve benzer proses koşullarında çalışan ısı değiştirici tipini seğmektir. Bu nedenle ısı değiştirici tipinin seğimini yapacak mühendisin deneyimi çok önemlidir. Deneyimle beraber tam bir araştırma yapıldıktan sonra eğer benzer proses koşullarında çalışan ısı değiştiriciler var ise bu tip ısı değiştiricinin kullanımına karar verilir. Eğer benzer proses koşullarında çalışan ısı değiştirici mevcut değilse, çeşitli faktörler dikkate alınarak ısı değiştirici seğimi yapılır. Isı değiştiricilerin çalışma şartları geniş sınırlar içinde değiştiğinden, yapılış ve çalışma yetenekleri değişik isteklere göre belirlendiğinden, ısı değiştirici seçiminde dikkate alınacak faktörlerin tümü özel uygulamalara bağlıdır ve bu nedenle genel kurallar verilemez. Bununla beraber, ısı değiştirici tipini seçerken dikkate alınması gereken faktörler şu şekilde özetlenebilir [1, 2, 3, 9]:

1- Konstrüksiyon malzemeleri

2- Basınç ve sıcaklık

3- Performans parametreleri- sıcaklık programı, debiler, basınç düşümleri

4- Kirlenme eğilimleri

5- Muayene, temizleme, tamir ve ilave

6- Akışkanların tipleri ve fazları

7- Isı değiştiricinin boyutu

8- Bulunabilirlik

9- Ekonomik faktörler

## 2- ISI DEğİşTİRİCİ TİPLERİ

Isı değiştiricileri, farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla akışkan arasında ısı enerjisinin değişimini sağlayan cihazlardır. Isı değiştiricileri; transfer prosesine, yüzey kompaktlığına, konstrüksiyon geometrisine, akış düzenlemesine, akışkan sayısına, ısı transfer mekanizmalarına ve uygulama alanlarına göre sınıflandırılırlar. Isı değiştiricileri, konstrüksiyon geometrisine göre 4 temel sınıfa ayrılır [12]:

a- Borusal ısı değiştiricileri

b- Plakalı ısı değiştiricileri

c- Genişletilmiş yüzeyli ısı değiştiricileri

d- Rejeneratif ısı değiştiricileri

Borusal ısı değiştiricileri, esas olarak borulardan yapılırlar. Bir akışkan borunun iğerisinden akarken, diğer akışkan borunun dışından akar. Boru apı, boru sayısı, boru uzunluğu, boru adımı ve boru düzenlemesi değiştirilebilir. Bu nedenle borusal ısı değiştiricilerin dizaynlarında oldukça esneklik vardır. Borusal ısı değiştiricileri; çift borulu, gövde borulu ve spiral borulu ısı değiştiricilerinden oluşmaktadır.

Plakalı ısı değiştiricileri, akış kanallarını oluşturan ince plakalardan yapılırlar. Bunlar, gaz, sıvı veya iki-fazlı akımların herhangi bir kombinasyonu için ısı transfer etmek amacıyla kullanılırlar. Contalı-plakalı, spiral plakalı ve lamelli tiplerinden oluşmaktadır.

Genişletilmiş yüzeyli ısı değiştiricileri, ısı transfer alanını artırmak amacıyla esas ısı transfer yüzeyi (borusal veya plakalı) zerinde kanatçıklar veya ilaveler bulunan ısı değiştiricileridir. Gaz tarafındaki ısı taşınım katsayısı, sıvı tarafındaki ısı taşınım katsayısından çok düşük olduğundan, kanatçıklar gaz tarafında kullanılır. En yaygın tipleri plakalı-kanatlı ve borulu-kanatlı ısı değiştiricileridir.

Rejeneratif ısı değiştiricileri, periyodik akışlı ısı değiştiricileridir. Bu ısı değiştiricilerine "Rejeneratörler" de denilmektedir. Rejeneratrlerde, ısı önce sıcak akışkan tarafından bir ortamda depo edilir, daha sonra soğuk akışkana verilir. Isı geçişi dolaylıdır.

Aşağıda endüstride çok yaygın olarak kullanılan tipik ısı değiştirici tipleri, özellikleri, avantajları ve dezavantajları zet olarak verilmiştir [1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12].

## 2.1- GÖVDE BORULU ısı değiştiricileri (GBID)

Proses endüstrisinde en yaygın olarak kullanılan ısı değiştirici tipidir; yaklaşık olarak kullanılan tüm ısı değiştiricilerinin % 60'ı gövde borulu ısı değiştiricidir. Gövde borulu ısı değiştirici, boru eksenini gövdenin eksenine paralel olacak şekilde büyük silindirik gövde içine yerleştirilen birbirine paralel yuvarlak borulardan yapılır. Akışkanlardan birisi boruların içinden, diğer akışkan ise gövde tarafında borulara paralel veya çapraz olarak akar. Temel elemanları; borular (veya boru demeti), gövde, iki baştaki kafalar, boruların tespit edildiği n ve arka ayna ile gövde içindeki akışı yönlendiren ve borulara destek olabilen şaşırtma levhaları ve destek çubuklarıdır. Isıl görev, basınc düşümü, basınc seviyesi, kirlenme, imalat yöntemi ve maliyeti, korozyon ve temizleme problemlerine bağlı olarak çeşitli gövde tarafı ve boru tarafı akış düzenlemeleri kullanılır.

### zellikleri :

- Maksimum basınc: Gövde tarafında 350 bar (mutlak), boru tarafında 1400 bar (mutlak).
- Sıcaklık aralığı: (-200 °C) ile (600 °C) arasında değişir. Özel malzemeler ile bu sıcaklık aralığı genişleyebilir.
- Tek bir ünite için tipik yüzey alanı 10 - 1000 m<sup>2</sup> arasında değişir.

- Maksimum etkinlik :  $e = 0.9$  (çok geçişli ünitelerde etkinlik daha küçüktür).  
Etkinlik, akışkandaki sıcaklık yükselmesinin teorik olarak mümkün olan maksimum sıcaklık yükselmesine oranı olarak tanımlanır.

- Minimum  $D T = 5 K$
- Mümkün olduğu zaman karbon çeliğinden yapılır.

#### Avantajları :

- Hemen hemen tüm uygulamalar için kullanılabilir; örneğın petrol rafinerileri, termik santraller, kimya endüstrisi vs.
- Son derece esnek ve sağlam dizayna sahiptir.
- Temizleme için demonte edilebilecek, sökülebilecek şekilde dizayn edilebilir.
- Bakımı ve tamiri kolaydır.
- Piyasadan çok kolay bir şekilde bulunabilir. Bu ısı değıştiricilerini sağlayan firma sayısı oldukça fazladır.
- Çoklu üniteleri yapmak kolaydır.
- Bir çok metal ile imal edilebildiğinden akışkan sınırlaması çok azdır.

#### Dezavantajları :

- Yüksek plan alanı gerektirir. Bunun yanında demeti sökebilmek için ekstra alana gereksinim vardır.
- 16 bar basınç ve  $200^{\circ}C$  sıcaklığın altındaki koşullarda plakalı ısı değıştiricileri daha ucuz olabilir.

## **2.2- Çift borulu ısı değıştiricileri (ÇBİD)**

Çift borulu ısı değıştiricileri en basit ısı değıştirici tipidir. Bir borunun daha büyük çaplı bir boru içerisine eşmerkezli olarak yerleştirilmesi ile elde edilir. Akışkanlardan biri içteki borudan akarken, diğeri dışarıdaki borudan akar. Bu ısı değıştiriciler, istenen basınç

düşümü ve sıcaklık farkı gereksinimlerini karşılamak için çeşitli seri ve paralel konfigürasyonlar şeklinde düzenlenebilir. İçteki boru tek veya çok borulu olabilir. Eğer halkadaki ısı taşınım katsayısı düşükse aksenel kanatçıklara sahip iç boru (veya borular) kullanılabilir.

#### Özellikleri :

- Maksimum basınç: Gövde tarafında 350 bar (mutlak), boru tarafında 1400 bar (mutlak)
- Sıcaklık aralığı: (-200 °C) ile (600 °C) arasında değişir. Özel malzemeler ile bu sıcaklık aralığı genişleyebilir.
- Tek bir ünite için tipik yüzey alanı 0.25-200 m<sup>2</sup> arasında değişir.
- Maksimum etkinlik :  $e = 0.9$
- Minimum D T=5K
- Genellikle çoklu üniteler kullanılır.
- Mümkün olduğu zaman karbon çeliğinden yapılır.
- Esas kullanım alanı, küçük ısı transfer alanlarının (50 m<sup>2</sup>'ye kadar) gerektiği proses akışkanlarının duyulur ısıtılması ve soğutulması içindir.

#### Avantajları :

- Isıl kapasiteyi ve ısı geçiş yüzey alanını artırmak için seri halde montajları yapılabilir.
- Karşıt akış elde etmek kolaydır.
- Yüksek basınçlara dayanabilir.
- Standart modüler konstrüksiyona sahiptir.
- Bakımı ve tamiri kolaydır.
- Temizlenmesi kolay olduğundan, özellikle kirletici akışkanlar için uygundur.
- Piyasadan kolay şekilde bulunabilir.
- Bir çok metal ile imal edilebildiğinden akışkan sınırlaması çok azdır.

### Dezavantajları :

- Özellikle küçük kapasiteler için uygundur.
- Yüksek ısı kapasiteler (1 MW'dan daha fazla) için pahalıdır.

### **2.3- SPİRAL borulu ısı değiştiricileri (sBİD)**

Bir depo içine yerleştirilen spiral şeklinde sarılmış bir veya daha fazla borulardan oluşmaktadır. Isı transfer katsayısı, spiral bir boruda düz bir borudakinden daha yüksek olduğundan spiral sarım kullanılır. Bu ısı değiştiricileri genellikle havuz ve depolardaki akışkanların sıcaklık kontrolünde kullanılır. Helisel bir şekilde yapılabilen serpantin adımı, sarım çapı ve alanı uygun bir şekilde seçilebilir. Küçük serpantinlerin depo içinde desteğe ihtiyacı olmamasına rağmen, büyük serpantinlerin desteklenmesi gerekir [7].

### Özellikleri :

- Temizleme hemen hemen imkansız olduğundan, temiz akışkanlar için uygundur.
- Soğutma sistemlerinde kullanılan kondenserler ve eř-eksenli evaporatörler olarak dizayn edilirler.

### Avantajları :

- Basit ve ucuz bir şekilde elde edilebilir.
- Isıl genleşmenin oluşturduğu gerilme problemleri yoktur.
- Spiral borunun diş yüzeyi ve depo kolaylıkla mekanik olarak temizlenebilir.

### Dezavantajları :

- Spiral borunun iç yüzeyi mekanik olarak kolay bir şekilde temizlenemez.

### **2.4- Contalı plakalı ısı değiştiricileri (PID)**

Contalı plakalı ısı değiştiricileri, ince metal plakaların bir çerçeve içine sıkıştırılarak paket haline getirilmesi suretiyle yapılırlar. Her bir metal plakanın dört tarafında akışkanların geçebilmesi için delikler vardır. 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 [7]. Rijitlik sağlamak, plakalar arasındaki mesafeyi sabitleştirmek ve ısı transferini iyileştirmek için plakalar dalgalı şekilde yapılırlar.

### Özellikleri :

- Maksimum basınç: Normal olarak 25 bar (mutlak)'dır. Özel dizaynlarla 40 bar (mutlak)'a çıkabilir.
- Sıcaklık aralığı: Normal olarak (-25 °C) ile (+175 °C) arasında değişir. Özel malzemeler ile bu sıcaklık aralığı genişleyerek (-40 °C) ile (+200 °C) olmaktadır.
- Tek bir ünite için tipik yüzey alanı 1 - 1200 m<sup>2</sup> arasında değişir.
- Maksimum etkinlik :  $e = 0.95$
- Minimum  $D T = 1 K$
- Plakalar paslanmaz çelikten veya titanyum, Incoloy veya Hastelloy gibi yüksek dereceli malzemedir.
- Contalar, zayıf noktalardır. Contalar, nitril kauçuk, hypalon, viton veya neoprenden yapılır.
- Akışkan sınırlaması esas olarak conta tarafından olmaktadır.
- Gıda, sentetik lastik, kimya, selüloz ve kağıt endüstrisi, kombi cihazları vs. gibi kullanım alanlarına sahiptir.

### Avantajları :

- Yüksek ısı transfer katsayısına sahiptir.
- Isıl etkinliği yüksektir; 0.90-0.95 değerinde etkinliğe kadar çıkmak mümkündür.
- $D T$  'si düşüktür; 1 K'e kadar düşebilmektedir.
- Gövde borulu ısı değiştiricilerine göre daha kompakttır.
- Plakalar ince olduğundan maliyet düşüktür. Kullanılabildiği yerlerde normal olarak en ekonomiktir.



- Erişilebilirliği iyidir, muayene ve temizleme için kolayca açılabilir.
- Esnektir, ekstra plakalar ilave edilebilir.
- Az akışkan miktarıyla kısa alıkoyma zamanına sahiptir. Bu nedenle sıcaklığa duyarlı veya pahalı akışkanlar (örneğin makyaj ve parfümeri malzemeleri) için uygundur.
- Kirlenmesi azdır, genellikle düşük kirlenme katsayıları mümkündür.
- Modüler konstrüksiyona sahiptir.
- Bakım kolaylığı avantajı vardır. Kolaylıkla sökülüp temizlenebilir.
- Akışkanlar arası karışma olasılığı azdır, kaçaklar dış tarafa doğrudur.
- Titreşim yoktur.
- Isı değiştirici içinde sıcak ve soğuk bölgeler oluşmaz.

#### Dezavantajları :

- Plakaların düzlemsel oluşu, conta malzemeleri ve çerçevenin konstrüksiyonu nedeniyle yüksek basınçlara çıkılamaz.
- Kapasitesi, portların boyutuyla sınırlıdır.
- Özel geniş boşluklu plakalar kullanılmaz ise süspansiyon halindeki katılar tarafından kolayca bloke edilebilir.
- Plakalar, korozyon dikkate alındığında, organik solventler için uygundur fakat contalar uygun olmayabilir.
- Sızıntı riski vardır, contalar daima sızıntı riskini artırır.
- Conta malzemeleri, belli akışkanların kullanımını sınırlayabilir.
- Sıcaklık, conta malzemesi tarafından sınırlandırılır.
- Conta zamanla özelliğini kaybeder, bu nedenle belirli zamanlarda bu contaları değiştirmek gerekebilir.
- Gaz iki-fazlı akış için genellikle uygun değildir.

## 2.5- Spiral PLAKALI ısı değiştircileri (SID)

Isı transfer yüzeylerinin plakalardan oluştuğu, silindirik borulardan oluşmadığı plakalı tip ısı değiştircidir. Spiral plakalı ısı değiştircileri, 150 ila 1800 mm genişliğindeki uzun ince iki metal plakanın her biri bir akışkan için olmak üzere iki spiral, paralel kanal oluşturacak şekilde spiral şeklinde sarılması ile elde edilir. İki plaka arasına konulan saplamalar ile düzgün bir aralık sağlanabilir. Plakaların iki tarafı contalı kapaklar ile kapatılır. Çeşitli akış konfigürasyonları mümkündür ve bu akış konfigürasyonlarına göre değişik tip spiral ısı değiştircisi imal edilmiştir.

### Özellikleri :

- Dizayn basınçları çapa bağlıdır fakat 20 bar civarında değişmektedir.
- Dizayn sıcaklıkları 400 °C'ye kadar çıkabilir.
- Tek bir ünite için tipik yüzey alanı 0.5-350 m<sup>2</sup> arasında değişir.
- Özellikle süspansiyonlar ve fiber akışkanlar için uygundur. Bu nedenle kağıt, selüloz, sülfat ve sülfid fabrikaları ve mineral filizinin işlenmesi sektörlerinde sık kullanılır.
- Belli bir yüzey alanı için maliyetleri genel olarak plakalı ısı değiştircileri ile gövde borulu ısı değiştircileri arasındadır.
- Malzeme paslanmaz çelik, titanyum, monel vs. gibi soğuk olarak işlenebilen herhangi bir kaynak edilebilir malzeme olabilir.
- Akışkan bakımından sadece konstrüksiyon malzemesi sınırlaması vardır.
- Kirli ve tortulu akışkanlar için uygundur fakat temizlenmesi plakalı ısı değiştircileri kadar kolay değildir.

### Avantajları :

- Yüksek ısı verime sahiptir.
- Kirlenme eğilimi düşüktür.
- Bakım kolaylığı vardır.
- Temizlenmeleri kolaydır ve kimyasal temizleme etkin bir şekilde yapılabilir.

- Basınç kayıpları, gövde borulu ve conta plakalı ısı değiştiricilerine göre azdır.
- Montaj maliyeti dūřüktür.
- Proses spesifikasyonuna kolayca uyabilir.
- Orta ve yüksek viskoziteli akışkanlar için son derece verimlidir.
- Akış dağılımı iyi ve yüksek hızlar kullanılabilidiğinden sıcaklığa duyarlı akışkanlar için çok uygundur.
- İstenirse plakalar üzerine oluklar yapılarak ısı transferi iyileştirilebilir.

#### Dezavantajları :

- Bakım genellikle kolaydır fakat hasar görmüş olan spirallere bakım zordur.
- Boyutları sınırlıdır.
- Conta malzemesi nedeniyle sıcaklık ve basınç sınırlamalarına sahiptir.

## **2.6- Lamelli ısı değiştiricileri (LID)**

Bir gövde içine yassılatılmış borulardan (lameller) yapılmış bir demetin yerleştirilmesi ile elde edilir. Lameller genellikle nokta veya elektrikli dikiş kaynağı ile birbirlerine tutturulur. Akışkanlardan birisi lamelli boruların içinden akarken, diğer akışkan lamellerin arasından akar. Gövde içerisinde şaşırtma levhaları yoktur. Akış tek geçişli olup, aynı yönlü veya karşıt akışlı düzenleme kullanılabilir [7].

#### Özellikleri :

- Dizayn basınçları çapa bağlı olarak 35 bar basınca kadar çıkabilir.
- Sıcaklık, teflon conta kullanıldığında 220 °C'ye, asbest conta ve paslanmaz çelik kullanıldığında 500 °C'ye kadar çıkabilir.
- Tek bir ünite için tipik yüzey alanı 1-1000 m<sup>2</sup> arasında değişir.
- Isı transfer katsayıları gövde borulu ısı değiştiricilerinkinden büyük fakat plakalı ısı değiştiricilerinkinden küçüktür.

- Kullanım alanları kağıt, besin ve kimya endüstrileridir.
- Özellikle gaz-gaz görevleri için uygundur.
- Malzemeler karbon, paslanmaz çelik, titanyum, Incoloy ve Hastelloy'dur.
- Akışkan bakımından sadece konstrüksiyon malzemesi sınırlaması vardır.

#### Avantajları :

- Tam karşıt akış elde edildiğinden ısı verimleri yüksektir.
- Hidrolik çap küçük olduğundan büyük ısı taşınım katsayıları elde edilebilir.
- Minimum kirlenme eğilimine sahiptir.
- Bakım kolaylığı vardır.
- Gövde borulu ısı değiştiricilerinden daha kompakttır.
- Kimyasal temizleme etkin bir şekilde yapılabilir.
- Düzgün akış yollarına sahiptir.

#### Dezavantajları :

- Lamellerin iç taraflarını mekanik olarak temizlemek zordur.

### **2.7- Kaynaklı plakalı ısı değiştiricileri (CONTASIZ PLAKALI) (KPİD)**

Contalı plakalı ısı değiştiricileri mükemmel özelliklerine karşın, 30 bar basınç ve 260 °C sıcaklıktan büyük basınç ve sıcaklıklarda kullanılamazlar. Kaynaklı plakalı ısı değiştiricilerinde plakalar çevresel olarak kaynak edilerek, atmosfere olan sızıntı önlenip bu dezavantajlar ortadan kaldırılmış olur. Böylece conta problemi çözülmüş olmasına rağmen ısı değiştirici temizlik ve bakım için sökülemez. Kaynak maliyetini azaltmak için plakalar, contalı plakalı ısı değiştiricilerinin plakalarından daha büyük yapılırlar.

#### Özellikleri :

- Dizayn basınçları 30 bar basınca kadar çıkabilir.

- Dizayn sıcaklıkları 400 °C'nin üstüne çıkabilir.
- Tek bir ünite için tipik yüzey alanı 10000 m<sup>2</sup> 'ye kadar çıkabilir.
- Tümüyle kaynaklı (lazer kullanan) konstrüksiyona sahip konvansiyonel plakalı ısı değıştirici tipleri geliştirilmiştir.
- Kimyasal temizleme mümkün ise, gövde borulu ve contalı plakalı tiplere alternatiftir.
- Akışkan bakımından sadece konstrüksiyon malzemesi sınırlaması vardır.

#### Avantajları :

- Plaka çiftleri kaynak edilebilir ve konvansiyonel bir çerçevede toplanabilir.
- Conta problemi yoktur, dolayısıyla sızıntı riski azdır.

#### Dezavantajları :

- Kirli ve tortulu görevler için uygun değildir.
- Diferansiyel basınç 30 bar'dan küçük olmalıdır.
- Diferansiyel genleşme göz önüne alınmalıdır.

## **2.8- plakalı KANATLI ısı değıştiricileri (PKID)**

Kanatlar, paralel plakalar halindeki yüzeyler arasına mekanik olarak preslenerek, lehimlenerek veya kaynak edilerek tespit edilir. Kanatlar, düz, delikli, tırtıllı, zikzak vs. şekillere sahiptir. İki tarafında da gaz akışkan bulunan ısı değıştiricilerinde ısı geçiş yüzeyinin iki tarafına da kanat, gaz ve sıvı akışkanlar ile çalışan ısı değıştiricilerinde ise genellikle sadece gaz tarafına kanat konulur [7].

#### Özellikleri :

- Maksimum basınç: 80 bar (boyuta bağlı)
- Sıcaklık aralığı: Alüminyumda (-200°C) ile (+150 °C) arasında değışir. Paslanmaz çelikte 600 °C'ye kadar çıkabilir.

- Küçük boyut ve ağırlık için kullanılır. Tipik olarak  $500 \text{ m}^2/\text{m}^3$  hacim kompaktlığına sahiptir fakat  $1800 \text{ m}^2/\text{m}^3$  hacim kompaktlığına kadar ulaşılabilir.
- Kullanım alanları, gaz ve buhar türbinleri, otomobil, kamyon, uçak motorları soğutma sistemleri, ısı pompaları, soğutma ve iklimlendirme tesisleri, elektronik devrelerin soğutma devreleri ile enerji geri kazanım sistemleridir.
- Akışkan sınırlaması, malzeme tarafından olmaktadır.
- Tek fazlı ve çift fazlı akışlarda kullanılabilir.
- Maksimum  $\Delta T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$  tipik.

#### Avantajları :

- Son derece kompakttır.
- 12'ye kadar (normal olarak 7) çok akıma sahip olabilir.
- Yüksek etkinliğe sahiptir. Etkinlik, 0.98'e kadar çıkabilir.
- Düşük  $\Delta T$  ye sahiptir.  $\Delta T$ , tipik olarak  $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$  'ye kadar inebilir.
- Çapraz-akışlı veya karşıt-akışlı akış konfigürasyonuna sahip olabilir.
- Düşük ağırlığa sahiptir.
- Kullanılan kanatlar ısı değiştiricinin rijitliğini artırır ve yüksek basınçlarda çalışmasını sağlar.
- Çoklu akım kullanılabilir.

#### Dezavantajları :

- Sadece temiz akışkanlar ile kullanılır.

## **2.9- BORULU KANATLI ısı değiştiricileri (BKID)**

Bir tarafında gaz, diğer tarafında sıvı akan ısı değiştiricilerinde, sıvı tarafındaki ısı taşınım katsayısı yüksektir, bu nedenle çoğunlukla sıvı akışkan tarafı kanat gerektirmez. Yüksek basınçlı akışkan genellikle boru içinden akıtılır. Pratikte

daireesel veya oval kesitli boru dışındaki kanatlı yüzeyler ile daha çok karşılaşılır. Kanatlar boru ile birlikte imal edilebildiği gibi, sonradan boru üzerine döküm, kaynak, lehim veya sıkı geçme tekniği ile tespit edilebilir [7].

#### Özellikleri :

- Kompakttır, kompaktlığı  $3300 \text{ m}^2/\text{m}^3$  değerine kadar ulaşabilir.
- Kullanım alanları, güç santralleri, pervaneli soğutma grupları, taşıt araçları, iklimlendirme ve soğutma tesisatlarıdır.
- Isı değiştiricinin kullanılabilme sıcaklığı kanatların boruya tespit şekline bağlıdır.

#### Dezavantajları :

- Kanatların oluşturduğu ilave basınç kayıpları göz önüne alınmalıdır.

## **2.10- GRAFIT ISI DEĞİŞTİRİCİLERİ (GİD)**

Grafit, ısı iletim katsayısı yüksek (çeliğin hemen hemen üç katı), korozyona dayanıklı ve işlenmesi kolay bir malzeme olarak ısı transfer cihazlarında konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılır. Grafit gövde borulu, kübik ve dikdörtgen, multi-blok ve kartuş tipi olmak üzere 4 tipte yapılabilir.

#### Özellikleri :

- Maksimum basınç, ısı değiştirici tipine göre değişir:

Gövde borulu tip: 6 bar

Kübik ve dikdörtgen tip: 5.2 bar

Multi-blok tip: 6 bar

Kartuş tip: 6 bar

- Maksimum sıcaklık  $180 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir.

- Tek bir ünite için tipik yüzey alanı, ısı değiştirici tipine göre değişir:

Gövde borulu tip: 1.6-1650  $\text{m}^2$

Kübik ve dikdörtgen tip: 0.65-153 m<sup>2</sup>

Multi-blok tip: 0.22-240 m<sup>2</sup>

Kartuş tip: 0.16-18.6 m<sup>2</sup>

Avantajları :

- Mükemmel korozyon direncine sahiptir.
- Kirlenme eğilimi düşüktür.

Dezavantajları :

- Sıcaklık ve basınç sınırlamalarına sahiptir.
- Grafit gövde-borulu ve multi-blok tipler hariç, diğerlerinin kapasiteleri sınırlıdır.

## 2.11- Hava soğutmalı ısı değiştiricileri (HSID)

Hava soğutmalı ısı değiştiricileri, çevre havasının boruların dışından aktığı, boruların içinden akan akışkanı yoğuşturmak ve/veya soğutmak için kullanılan borusal ısı değiştiricileridir.

Özellikleri :

- Boru (proses) tarafındaki tipik basınç 350 bar 'dır (mutlak), özel dizaynlarla daha yüksek değerler elde etmek mümkündür.
- Maksimum sıcaklık 600 °C'dir.
- Tek bir ünite için tipik yüzey alanı, demet başına 5-350 m<sup>2</sup> arasında değişir (çıplak boruya dayanmaktadır).
- Akışkan bakımından sadece konstrüksiyon malzemesi sınırlaması vardır.
- Isı atma sistemidir.

Avantajları :

- Hava daima mevcuttur.



- Bakım maliyetleri, normal olarak su soğutmalı sistemlerden daha azdır.
- Gücün kesilmesi durumunda, doğal konveksiyon ile bir miktar ısı transfer edebilirler.
- Hava tarafındaki basınç, daima atmosfer basıncına yakın olduğundan, mekanik dizayn normal olarak daha basittir.
- Hava tarafındaki kirlenme normal olarak ihmal edilebilir.
- Oldukça standart dizayn ve kanatçıklara sahiptir.

#### Dezavantajları :

- Gürültü problemi vardır. Az gürültülü fanlar bu problemi azaltır fakat bu, fan verimi ve buna bağlı olarak daha yüksek enerji maliyetleri pahasına gerçekleşir.
- Soğuk havadan korunmak için özel özellikler gerektirebilir.
- Soğutma kulesi kadar düşük sıcaklığa soğutamaz.

## **2.12- Isı borulu ısı değiştircileri (IBID)**

Isı borusu, vakum prosesi uygulanmış, iç yüzeyleri gözenekli kılcal fitil ile kaplanmış kapalı boru veya farklı şekilli odalardır. Isı borusunun temel elemanları; kapalı bir kap, çalışma akışkanı ve gözenekli kılcal fitildir. Isı borusunun bir ucu evaporatör, diğer ucu kondenser olarak işlev görür. Çalışma akışkanı, evaporatörde dış ısı kaynağından alınan ısı vasıtasıyla buharlaşarak kondensere akar. Kondenserde, çalışma akışkanı gizli ısını dış soğuk ortama vererek yoğuşur. Kondensat kılcal hareket yardımıyla fitil boyunca evaporatöre geri döner. Böylece ısı borusu, buharlaşma gizli ısını evaporatör kısmından kondenser kısmına sürekli olarak transfer eden bir ısı değiştircidir.

#### Özellikleri :

- Maksimum basınç: 40 bar.
- Sıcaklık aralığı: (-100<sup>0</sup>C) ile (+400<sup>0</sup>C) arasında değişir. Özel ısı borusu çalışma akışkanları ile daha yüksek sıcaklıklara çıkılabilir.
- Tek bir ünite için tipik yüzey alanı, 100-1000 m<sup>2</sup> arasında değişir.

- Düşük basınçta büyük hacimli gazlar arasındaki ısı alışverişi için ideal olarak uygundur.

- Elektrik-elektronik cihazlardan ısı atılması, köprüler, yollar vs. için buz-giderme üniteleri, güneş kollektörleri, ısıtma-havalandırma-iklimlendirme uygulamaları, kurutma ve ısı geri kazanım sistemlerinde uygulama alanı bulmaktadır.

#### Avantajları :

- Hareketli parçaları yoktur, dolayısıyla sessiz çalışır.
- Her iki gaz tarafında da genişletilmiş yüzeyler kullanılabilir.
- Konstrüksiyonel olarak basittir.
- Son derece iyi esnekliğe sahiptir.
- Son derece düşük sıcaklık düşümüyle önemli mesafeye yüksek miktarda ısı transfer kabiliyetine sahiptir.
- Kontrol edilebilirliği iyidir.
- Dış pompa gücü gerektirmez.

#### Dezavantajları :

- Düşük basınçlı gazlar için uygundur.

### **2.13- rejeneratörler**

Rejeneratörlerde, ısı önce sıcak akışkan tarafından bir ortamda depo edilir, daha sonra soğuk akışkana verilir. Isı geçişi dolaylıdır. Rejeneratör içerisinde ısının depolandığı gözenekli elemanlara "dolgu maddesi" veya "matris" adı verilir. Pratikte, "dönen", "sabit dolgu maddeli" ve "paket yataklı" olmak üzere 3 grup rejeneratör vardır.

#### Özellikleri :

- Basıncı, atmosfer basıncı civarındadır.
- Rotoru, alüminyum, çelik, paslanmaz çelik veya Incoloy'dan yapılabilir.

- Sıcaklık alüminyum rotorlarda 200 °C, çelik rotorlarda 425 °C, paslanmaz çelik veya Incoloy rotorlarda 980 °C'ye çıkabilir.

#### Avantajları :

- Kompaktlık çok büyük değerlere çıkabilir.
- Diğer ısı değiştiricilerine göre ilk yatırım maliyeti daha azdır.
- Sistemin kendi kendini temizleme özelliği vardır.

#### Dezavantajları :

- Sıcak ve soğuk akımlar arasında her zaman bir miktar kaçak vardır.
- Kullanım alanı, yüksek sıcaklıkta olsa bile düşük basınçlı gazlar arasındaki ısı değişimi ile sınırlıdır.
- Akışkanlar birbirine etki edebiliyorsa bu tip ısı değiştiricileri kesinlikle kullanılmaz.

Bu kısımda anlatılan ısı değiştiricileri tüm ısı değiştiricileri tiplerini kapsamamaktadır. Örneğin bunların dışında, kabartmalı panel, cam, teflon, bobinli boru, gaz-gaz ile gaz-sıvı uygulamaları için geliştirilmiş özel ısı değiştiricileri de bulunmaktadır. Bu kısmın amacı, çok sayıda ısı değiştirici tipi olduğunu göstermek, daha yaygın olarak kullanılan ısı değiştirici tipleri ve özellikleri hakkında bilgi verip, ısı değiştirici seçiminin çok önemli ve dikkatle yapılması gereken bir konu olduğunu vurgulamaktır.

### **3- Isı değiştirici tipini seçerken dikkate alınması gereken faktörler**

Bu kısımda, ısı değiştirici tipini seçerken dikkate alınması gereken faktörler ayrıntılı olarak incelenecektir.

#### **3.1- KONSTRÜKSİYON MALZEMELERİ**

Isı değiştirici için kullanılabilir çok çeşitli konstrüksiyon malzemesi seğeneği vardır. Bunlardan bazıları artan maliyet sırasına göre aşağıda verilmiştir [8]:

- a- elik
- b- Paslanmaz elik
- c- Titanyum
- d- Zirkonyum
- e- Nikel alaşımları
- f- TFE ve PVDF plastikleri
- g- Grafit
- h- Kolumbiyum
- i- Tantalyum

Isı değiştirici için malzeme, ekonomi ve performansın birlikte en iyi olması temeline bağlı olarak seçilir. Orijinal cihaz maliyeti, cihazın beklenen ömrü ve bakım maliyetlerine karşın dengelenmelidir. Korozyon dikkate alındığında, kısa süreli prosesler hariç olmak üzere, yumuşak çelik ısı değiştiricilerinden kaçınılmalıdır. Atmosfer ve çözeltilerin koroziif etkilerinin düşük olduğu çoğu sistemlerde 316 paslanmaz çelik tarafından ekstra korunma, normal maliyetle sağlanabilir. 316 paslanmaz çelik ısı değiştiricileri artan ömür ve azalan bakım dolayısıyla ilk maliyetinin daha fazlasını karşılar. Daha koroziif uygulamalarda, malzeme seğimi çok daha önemli olur. Bazı malzeme seğimleri kolay ve açıktır; örneğin kostik maddeler için paslanmaz çelik seçilir. Bazı diğer seğimler daha az açıktır ve genellikle deneyime dayanan tercihi gösterirler. Bu durumda, korozyon tabloları malzeme seçiminde yardımcı olabilir. Gerçek koşullara ait özellikler için bunlar da yeterli olmaz ise ısı değiştirici malzemesi seğimi için kimyasal firmaların hazırladığı kılavuz ölçütler kullanılabilir [8].

Borusal ısı değiştiricileri korozyona dirençli olan herhangi bir malzemeden imal edilebilir. Kompakt ısı değiştiricilerinin (contalı plakalı, spiral ve lamelli ısı değiştiricileri) imalatı ise preslenebilen (plakalı) veya kaynak edilebilen (spiral ve lamelli) malzemeler ile sınırlıdır [1].

Aynı ısıl görevler için borusal ısı değiştiricileri normal olarak kompakt tiplerden daha fazla malzeme gerektirirler. Kaynaklı ısı değiştiricileri (borusal, spiral ve lamelli) plakalı ısı değiştiricilerinden imalat bakımından daha çok işçilik gerektirir, fakat plakalı ısı değiştiricilerinin imalatı için büyük yatırım maliyeti gerekir. Bağlı olarak pahalı konstrüksiyon malzemesi gerektiği zaman, kompakt tipler için özellikle plakalı ısı değiştiriciler için olan ilk maliyetler, borusal tipler için olan maliyetlerden oldukça yüksektir. Kompakt tiplerin birim alanı başına maliyeti borusal tiplerden daha yüksektir, fakat artan verim ve bunun sonucunda oluşan daha küçük alan gereksinimi, bu maliyetten daha fazlasını karşılayabilir [1].

### **3.2- Basınç ve sıcaklık**

Borusal ısı değiştiricileri, pratikte kullanılan hemen hemen her basınç ve sıcaklığa göre dizayn edilirler. Ekstrem durumlarda, malzeme kalınlığı ile ilişkili imalat problemleri ve bitmiş ünitenin ağırlığı bakımından sınırlamalar olabilir [1, 2].

Kompakt ısı değiştiricileri, kesit alanında ani değişim olmayan ince malzemelerden imal edilirler. İnce malzemelerin kullanılması, bu tiplerin çalışma basınç ve sıcaklıklarını sınırlar; fakat mekanik arızaya yol açan titreşim, yorulma ve ısı etkiler yoktur [1].

Çoğu ısı değiştirici tipleri sadece düşük basınçlarda kullanılabilir ve basıncın çok yüksek olduğu özel uygulamalarda bu tipler hemen seçimin dışına atılabilir. Yine çoğu ısı değiştirici tipleri sadece sınırlı sıcaklık aralığında çalışabilir ve bu kural çoğu tiplerin seilmemesini gerektirir. Eğer alışma basıncı 30 bar'ın altında ve çalışma sıcaklığı 200 °C'nin altında ise daima plakalı-tip ısı değiştiricilere, özellikle contalı-plakalı tip ısı değiştiriciye öncelik verilmelidir. Daha yüksek basınç ve sıcaklıklarda ise gövde borulu ısı değiştirici, kaynaklı plakalı ısı değiştirici ve çift borulu ısı değiştirici arasından tercih yapılmalıdır. Küçük kapasiteli, yüksek-basınçlı uygulamalar için özellikle çift-borulu ısı değiştirici uygun olabilir [3].

### 3.3- PERFORMANS PARAMETRELERİ

Performans parametreleri; akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları, debiler ve basınç düşümü gibi parametrelerden oluşmaktadır. Değiştirilecek ısı miktarı, akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları ve müsaade edilen basınç düşümü (veya pompa gücü) oğunlukla genel proses optimizasyonunun sonucu olarak belirlenir. Seçilen herhangi bir ısı değiştirici bu gereksinimleri karşılama kapasitesinde olmalıdır [6].

#### Isıl Uzunluk :

Isıl uzunluk ( $q$ ), veya ısı transfer birim sayısı (HTU), ısı değiştiricinin performansının ls olan yararlı bir kriterdir. Tek fazlı akış ieren bir ısı değiştiricisi için ısı uzunluk, bir akışkandaki sıcaklık değişiminin , akışkanlar arasındaki ortalama sıcaklık farkına oranı olarak tanımlanır [1]; yani:

Su/su akışına sahip borusal bir ısı değiştiricide orta seviyede bir basınç dūřümünde, yaklaşık olarak "0.5 HTU/geçiş" değeri elde edilecektir. Kompakt ısı değiştiricileri, özellikle plakalı tip, "ısı olarak uzun" kanallara sahiptir ve q değerleri "4 HTU/geçiş" değerine kadar yükselmektedir [1].

### Debi :

Debi, ısı değiştirici tipinin seğimini etkileyen önemli bir parametredir. Debinin sınırlanmasını etkileyen parametreler, kanal akış alanı ve müsaade edilen basınç dūřümüdür. Basınç dūřümünün 20 kPa olduğu durumda, ticari olarak mevcut olan bazı ısı değiştiriciler için sınırlayıcı hacimsel sıvı debi değerleri aşağıda verilmiştir [1]:

Borusal ısı değiştiricileri : Sınırsız

Plakalı ısı değiştiricileri : 2000 m<sup>3</sup>/h

Spiral ısı değiştiricileri

1. tip (her 2 tarafta spiral akış) : 400 m<sup>3</sup>/h

2. tip (bir tarafta çapraz akış) : 8000 m<sup>3</sup>/h

Lamelli ısı değiştiricileri : 4000 m<sup>3</sup>/h

Suyun dışındaki diğer akışkanlar veya farklı basınç dūřümleri için, hacimsel debi, bu değerlerden oldukça farklılık gösterir.

### Basınç Dūřümü :

Basınç dūřümü, ısı değiştirici dizaynında önemlidir ve ısı transferi için ödenen bedeldir. Basınç dūřümü sınırlamaları, ekonomik (pompalama maliyetleri) nedenler veya proses sınırlamaları tarafından belirlenir. Ekonomik dizayn için, herhangi belirlenen basınç dūřümü sınırlamalarına tamamıyla uyulmalıdır [1]. Proses dizayn edici tarafından, ısı değiştirici için basınç dūřümü belirlenirken dikkat gösterilmelidir. Bazen belirlenmiş olan basınç dūřümü gerçekten proses gereksinimleri tarafından belirlenirken, fakat daha fazla çoğunlukla, proses dizayn edicinin belirlemesi oldukça keyfi temelde olabilir. Basınç dūřümünün, dizaynın ekonomisi üzerinde kuvvetli etkisi olduğundan, dizayn edici tarafından

belirlenen basınç düşümü sorgulamadan kabul edilmesi gereken değer olarak düşünülmemelidir [6] .

Verimsiz basınç düşümünden kaçınılmalıdır; giriş, çıkış ve dönüş-dirsek kayıpları minimize edilmeli ve küçük boru tarafı geçiş sayısı kullanılmalıdır. Plakalı ısı değiştiricileri geçiş başına diğer tiplerden daha yüksek q değerleri (ısı transfer birim sayısı) geliştirebilirler.

Özgül basınç düşümü ( $J_e$ ) şu şekilde tanımlanır [1]:

$$J_e = \frac{\Delta P}{\ell} \text{ kPa/HTU}$$

Normal işletme-maliyet parametreleri (faiz oranı, amortisman, elektrik maliyetleri) için, optimal genel ekonomi, konstrüksiyon malzemesine bağlı olarak, özgül basınç düşümü ( $J_e$ ), 20-100 kPa/HTU aralığında olduğunda elde edilir. Yukarıdaki değerler su/su görevleri için verilmiştir; diğer akışkanlar için,  $J_e$  için olan optimal değer oldukça yüksektir.

-

#### Sıcaklık Geçişi :

Isı değiştiricisinde sıcaklık geçişinin olması, ısı değiştirici tipinin seçiminde dikkate alınması gereken diğer bir faktördür. Soğuk akışkanın ısı değiştiriciden çıkış sıcaklığı, sıcak akışkanın çıkış sıcaklığından fazla ise, bu ısı değiştiricide "sıcaklık geçişi" vardır denir. Eğer sıcaklık geçişi var ise, karşıt akışlı ısı değiştiricilerini kullanmak gereklidir. Karşıt akış oluşturan üniteler ise, ya tam karşıt akışlı üniteler veya seri bağlı çok geçişli ünitelerdir. Eğer sıcaklık geçişi yok ise, çapraz akışlı veya karışık akışlı üniteler yeterli olur.

### **3.4- Kirlenme EĞİLİMLERİ**

Kirlenme, sıvıların içinde bulunabilen katı cisimler ve kireçlenme ısı değiştirici seçiminde dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir. Bir akışkanın belirli bir yüzey tipine göre kirlenme karakteristiklerine etki eden faktörler şunlardır [1, 2]:



a- Akışkanın hızı: Isı değiştirici kanal sistemindeki en dūřuk hız, en önemli etkendir.

b- Akışkan hızının kayma kuvveti, tūrbūlans ve laminer-tabaka kalınlıęına etkisi

c- Yūzey civarında kalma sūresi

d- Kanallardaki hız veya akım dağılımı: Tūm kanal bōlūmlerinde iyi bir hız veya akım dağılımı olmalıdır. Eęer birden fazla kanal var ise çeşitli kanallar arasındaki akım dağılımının da iyi olması gerekir.

Dięer tip ısı değiştiricilerinin kirlenme faktōrleri gōvde borulu ısı değiştiricilerine gōre daha azdır. Kirli bir gōrevin gereklerinin en iyi karşılandığı ısı değiştirici tipi spiral plakalı ısı değiştiricisidir. Plakalı ısı değiştiricileri ve lamelli ısı değiştiricileri de kanallarda ve kanal aralarında iyi bir akım dağılımı olduğundan ve akımın tūmūnūn tūrbūlanslı olmasından dolayı kirli gōrevlere iyi uyum sağlarlar. Sūspansiyon halinde elyaf iğeren sıvılar ięin genellikle spiral plakalı ısı değiştiricileri en uygun ısı değiştirici tipidir.

### **3.5- Muayene, TEMİZLEME, TAMİR VE İLAVE**

Proses akımlarının karakteristikleri, temizleme (mekanik veya kimyasal) ve ūnitenin tūmūnūn veya bir kısmının periyodik deęiřtirilmesi ięin gereksinimleri karřılayacak řekilde dikkatlice incelenmelidir. Eęer gōvde borulu ısı deęiřtiricisindeki boru demeti, temizleme veya deęiřtirilme ięin sōkūlecek ise, yeterli yer hacmi mevcut olmalı ve gerekli cihazların ısı deęiřtiricisine giriři ve çıkışı gōz ūnūne alınmalıdır. Eęer proses kořullarının deęiřimleri olasıysa, modifikasyon kolaylıęı, ayrıca önemli faktōr olabilir [6].

Gōz ūnūne alınması gereken diğer bir faktōr, arıza sonucu akışkanların birbirine karışması ve/veya sızıntı yapmasıdır. Çok zehirleyici ve tutuşabilir akışkanlar ięin, arıza çok fazla önemli olabilir ve bu, ısı değiştirici tipini seğmeye karar verirken genellikle önemli faktōr olabilir. Lamelli ve spiral ısı değiştiriciler akışkanların birbirine karışma olasılığını minimize eder. Zehirli akışkanların kullanılacağı yerlerde, dış bağlantılara ūzel dikkat gōsterilmelidir, ūnkū bu bağlantıların yūksek būtnlūk sağlaması gerekir.

Tablo 1'de çeşitli ısı değiştiricilerinin muayene, temizleme, tamir ve ilave bakımından uygunluk dereceleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Bu karşılaştırma izafi ve yaklaşıktır; çünkü bazı ısı değiştiricileri dizayn bakımından oldukça esneklik gösterirler. Örneğin, spiral ısı değiştiricileri, kanal genişliği 5-25 mm aralığında ayrıca saplmalı veya sapsız olarak imal edilebilir [1].

**Tablo 1 Çeşitli Isı Değiştiricilerinin Muayene, Temizleme, Tamir ve İlave Bakımından Uygunluk Dereceleri [1]**

ISI DEĞİŞTİRİCİ TİPİ					
PLAKALI	SPIRAL	LAMELLİ	BORUSAL		
Bir tarafta	Çİ	KE	KE	KE	
İki tarafta	Çİ	KE-İMKSZ	ZYF	KE-İMKSZ	
Bir tarafta	KE	Çİ-KE	Çİ	Çİ	
İki tarafta	KE	Çİ-KE	Çİ	Çİ	
Bir tarafta	Çİ	Çİ-ZYF	KE	KE	
İki tarafta	Çİ	KE-İMKSZ	İMKSZ	KE-İMKSZ	
Bir tarafta	Çİ	Çİ	KE	KE	
İki tarafta	Çİ	Çİ	KE	KE-ZYF	
Bir tarafta	Çİ	KE-ZYF	KE	KE	
İki tarafta	Çİ	KE-İMKSZ	İMKSZ	KE-İMKSZ	
İlave		Çİ	İMKSZ	İMKSZ	İMKSZ

Tamir	Çİ	ZYF	ZYF	KE
-------	----	-----	-----	----

Çİ : Çok iyi. KE : Kabul edilebilir. ZYF : Zayıf. İMKSZ : İmkansız.

### 3.6- AkışkanlarIN TIPLERİ VE FAZLARI

Burada esas önemli olan, akışkan ve konstrüksiyon malzemeleri arasındaki uyumdur. Eğer akışkanların korozyon karakteristikleri özellikle önemliyse, grafit, cam veya teflon gibi korozyon direnci yüksek ısı değiştiricilerini tercih etmek düşünülmelidir. Bu ısı değiştiricilerin basınç, sıcaklık ve kapasite sınırlamaları olduğu için yüksek korozyon karakteristikleri nedeniyle bu ısı değiştiricileri seçerken bu sınırlamalara dikkat etmek gereklidir. Örneğin contalı plakalı ısı değiştiricilerinde, akışkanla uyum sağlayacak conta malzemesi bulmak mümkün olmayabilir. Eğer uygun plaka ve conta malzemeleri var ise ayrıca contalı-plakalı tip ısı değiştiricilerini kullanmak da düşünülebilir.

Seçilen ısı değiştiricisinin konstrüksiyon malzemeleri, akışkanlarla aşırı korozyon oluşturmamalıdır. Kirlenmeye olan eğilim oldukça dikkatli bir şekilde değerlendirilmeli ve ısı değiştiricisi kirlenmeyi dikkate alarak, gerekli süre çalışabilecek kapasitede olacak şekilde seçilmelidir. Isı değiştiricisi, akışkan basınç ve sıcaklık farkları (ısı gerilmeler) nedeniyle oluşacak gerilmelere dayanacak şekilde dizayn ve imal edilme kapasitesinde olmalıdır. Tablo 2'de çeşitli uygulamalar için uygun ısı değiştirici tipinin seçimine ait bazı genel noktalar özet olarak verilmiştir [2].

**Tablo 2 Çeşitli Uygulamalar İçin Uygun Isı Değiştirici Tipinin Seçimine Ait Bazı Genel Noktalar [2].**

<b>Isı transfer görevi</b>	<b>Düşünceler</b>
Viskoz olmayan bir sıvı ile viskoz olmayan diğer bir sıvı halinde	En düşük yüzey gerektiren değiştiriciler PID'dir. Korozif sıvılar halinde asbest contentli bir PID veya SID yahut LID tiplerini kullanınız. Çok yüksek hacimsel akım debileri, basınç veya sıcaklıklar halinde gövde borulu tipleri kullanınız.
Viskoz olmayan bir sıvı ile buhar halinde	Karbon çeliği veya bakır alaşımı uygunsa bir gövde borulu tip ekonomik olabilir. Eğer paslanmaz çelik veya yüksek alaşım malzemeler gerekli ise bir SID veya LID kullanınız. Sağlık veya elle temizleme sebeplerinden dolayı bir PID kullanınız.
Viskoz bir sıvı ile su veya buhar halinde	Bir gövde borulu tip kullanıldığında genellikle ilk masraflar azdır, fakat çoğu zaman diğer sebeplerden dolayı bir PID veya SID 'nin daha ekonomik olduğu düşünülebilir.
Viskoz bir sıvı ile diğer viskoz bir sıvı halinde	PID'ler en verimli tiptir; özellikle Newtonien olmayan sıvılar halinde. Viskozite çok büyük ise (100000 cSt) bir SID kullanınız.
Isıya karşı hassas sıvılar halinde	Bu durumda bir PID ihtiyaçları en iyi şekilde karşılar. Fakat uzun bir durma süresi söz konusu ise bir SID en iyi çözümdür.
Havanın ısıtılması veya soğutulması hali	Genellikle havaya açık taraflı basit ısı değiştiricileri kullanılır. Kanatlı borular takılabilir.
Gaz (hava) ile gaz (hava) hali	Çoğu zaman en iyi çözüm bir LID'dir. Bir taraftaki basınç düşüşü diğer taraftakine göre çok fazla olduğu hallerde kanatlı borulu bir gövde borulu tip ısı değiştirici ikinci ve daha iyi bir alternatiftir.
Dondurma uygulamalarında gaz yoğuşumu	Çok düşük sıcaklıklar için genellikle yığma plakalı bir SID veya LID en iyi çözümü verirler. Sağlık açısından ince alüminyum kullanılabilir.
Buhar yoğuşumu	Eğer karbonlu çelik kullanılabilirse gövde borulu tip tercih edilmelidir. Paslanmaz çelik veya yüksek bir alaşım gerekli ise bu durumda çapraz akımlı bir SID veya LID en iyi çözümü verir. Temizleme ve sağlık sebeplerinden dolayı kutu tipi bir PID kullanılabilir.
Gaz-buhar karışımı yoğuşumu	Bilhassa bu durumlar için yapılmış SID'lerin belirli tiplerini kullanınız.
Damıtma, buharlaşma ve sıvı gazını alma tesisleri için ısı değiştiricileri	Damıtma kuleleri için modern ısı değiştiricileri çok uygundur. Kaynatıcılar içi bir SID, LID veya zorlanmış sirkülasyonlu PID düşünülebilir. Normal ısıtma ve soğutma için bir PID en iyi seçimdir, alternatif olarak bir SID kullanılabilir.
Soğutma suyu	Kapalı bir devrede soğutma suyu en iyi bir şekilde paslanmaz çelik PID veya titan plakalar veya hava soğutucuları ile soğutulur.
Yüksek sıcaklıktaki uygulamalar	Özel sipariş ısı değiştiricileri. Seri ısı çevrimi haiz bazı yüksek sıcaklıktaki uygulamalar için KBTID'ler uygundur.

### 3.7- Isı değiştiricinin boyutu

Isı değiştiricinin boyutuyla ilgili temel ilke, "seçilen ısı değiştiricinin boyutu, çok sayıda paralel üniteye sahip olmayacak şekilde gereksinim duyulan görevi karşılayacak uygun boyutta olmalıdır" şeklinde ifade edilebilir. Çünkü çok sayıda paralel ünitenin kullanılması durumunda akış dağılım problemleri oluşma olasılığı olduğu gibi pahalı boru hattı ve vanaların kullanılması gerekebilir.

Yukarıda belirtilen prensiplerin yanında, eğer ısı değiştiricinin kullanılacağı yerde "yer" problemi var ise, ilave montaj maliyetleri oluşturmasına rağmen, çeşitli ısı değiştiricilerini paralel bağlayarak, bu maksimum boyut sınırlaması probleminin üstesinden gelmek daima mümkündür. Boru donanımında ekstra maliyetler oluşturmasının yanında, çoklu ünitenin kullanımı bazen paralel üniteler arasında akış dağılım problemlerine yol açabilir.

### 3.8- Bulunabilirlik

Bulunabilirlik, ısı değiştirici tipinin seçiminde önemli bir parametredir. Özel ısı değiştiricilerini sağlayabilecek firma sayısı azdır, teslim süreleri uzundur ve bu ısı değiştiricileri uzmanlar tarafından tamir edilmelidir. Bu nedenle, eğer özel dizayn gerektiren bir ısı değiştirici seçilecek ise, bu ısı değiştiricinin dizayn ve imalatı için gerekli süre dikkate alınmalıdır. Bu durum, genellikle standart dizaynlara sahip olan ısı değiştirici tipinin seçilmesini zorunlu kılabilir. Bu nedenle ilk seçimde bulunabilirlik faktörü dikkatli bir şekilde göz önünde tutulmalıdır.

### 3.9- Ekonomik faktörler

Eğer yukarıdaki maddelerde belirtilen gereksinimleri, çeşitli tip ısı değiştiricileri karşılıyorsa, son seçim ekonomi temelinde olmalıdır. Isı değiştirici tipinin seçiminde maliyet çok önemli bir faktördür. Isı değiştiricilerin toplam maliyeti, yatırım, montaj ve işletme maliyetinden oluşmaktadır. En düşük yatırım maliyetine sahip olan ısı değiştirici tipi serviste ciddi problemler oluşturabilir ve işletme maliyeti yüksek olabilir. Her bir durum ayrı ayrı irdelenmelidir. Sabit basınç düşümü (pompa gücü) için esas ekonomik faktör, yatırım maliyeti olacaktır. Fakat dizayn parametrelerinin seçiminde geniş bir aralık olduğu durumlarda, pompa gücü ile yatırım maliyeti arasında bir ilişki olduğuna dikkat edilmeli ve bu durum kesinlikle gözden kaçırılmamalıdır. Ayrıca montaj maliyetleri de çok önemli

olabilir [6]. Karar verilmeden önce çeşitli ısı değiştirici tipi ve maliyet alternatiflerini göz önüne almak gerekli olabilir.

#### 4- İLK SEÇİM

İlk seçim; 3. kısımda belirtilen çalışma basıncı ve sıcaklığı, akışkan-malzeme uyumu, kirlenme, bulunabilirlik vs. gibi kriterler (ilk 8 madde) dikkate alınarak uygun olmayan ısı değiştiricilerin belirlenip bunların reddedilmesi anlamına gelir. Bu kriterleri dikkate alarak seçim yaparken, 2. kısımda verilen ısı değiştiricilerin özellikleri, avantajları ve dezavantajları ile ilişkili bilgiler, dikkatli bir şekilde incelenmelidir. İlk seçimde göz önüne alınması gereken genel ilkeler şu şekilde özetlenebilir [5, 12]:

a- Borular ve silindirler plakalardan daha yüksek basınçlara dayanabilirler.

b- Basınç sınırlamaları yaklaşık 30 barın üstündeki ve vakumdaki uygulamalar için plakalı ısı değiştiricilerinin seçilmemesini gerektirir.

c- 200 °C'nin üstündeki sıcaklıklarda, conta malzemesi sınırlaması nedeniyle plakalı ısı değiştiricileri kullanılamaz.

d- Kirlenme ve temizleme açısından plakalı kanatlı ısı değiştiricilerinin kullanılmaması gerekebilir.

e- Düşük basınç sınırları, gövde borulu ve hava soğutmalı ısı değiştiricileri (boru tarafı) hariç çoğu ısı değiştirici tiplerinin seçimin dışına atılmasını gerektirir.

f- Eğer ısı değiştirici birden fazla malzemedен imal edilebiliyorsa, ekstrem sıcaklıklar veya korozif akışkanlarla uyum sağlayacak metali bulabilmek mümkün olmaktadır.

g- Çok özel ısı değiştiricileri sağlayabilecek firma sayısı azdır, teslim süreleri uzundur ve bu ısı değiştiricileri uzmanlar tarafından tamir edilmelidir. Bu nedenle ilk seçimde bulunabilirlik faktörü dikkatli bir şekilde göz önünde tutulmalıdır.

Isı değiştiricinin ilk seçiminde kullanılacak kriterler, Tablo 3'de "Isı Değiştirici Seçim Kriterleri" başlığı altında özet olarak verilmiştir. Bu tabloda, ısı değiştirici tipleri, dayanabilecekleri maksimum sıcaklık ve basınç, tek bir ünite için yüzey alanı ve ısı değiştiricilerin kompaktlığı, bakım kolaylığı, korozyon riski, sızıntı riski vs gibi özellikleri verilmiştir. Bu tablo, en yaygın kullanılan ısı

değiştirici tiplerini kapsamaktadır. Tablo incelendiğinde, en az "1", muhtemelen de "1'den fazla" ısı değiştirici tiplerinin özel bir uygulama için uygun olduğu ortaya çıkar. Yukarıdaki kriterler dikkate alınıp ilk seçim yapılırken tereddüt oluşması durumunda, bu ısı değiştirici seğime dahil edilmeli ve son seçim kriterleri kullanılarak değerlendirme yapılmalıdır.

## 5- FİZİBİL İSİ DEĞİŞTİRİCİ TİPLERİ ARASINDA SEÇİM (SON SEÇİM)

İlk seçim yapıldıktan sonra birden fazla ısı değiştiricinin fizibil olduğu bulunabilir. Son seçim, ilk seçimde uygun olduğu belirlenen ısı değiştirici tipleri arasında maliyetler açısından en uygun olan ısı değiştirici tipinin belirlenmesidir. Bu nedenle, Tablo 3 ve diğer ilgili kaynakları kullanarak özel bir uygulama için "fizibil" olan ısı değiştirici tipleri belirlendikten sonra, yapılacak iç, her bir ısı değiştirici tipinin maliyetlerini incelemektir. Isı değiştiricilerin toplam maliyeti 3 maliyetten oluşmaktadır:

a- Yatırım maliyeti

b- Montaj maliyeti

c- İşletme maliyeti

Seçimde en önemli faktör yatırım maliyetidir. Montaj maliyetleri, kompakt ısı değiştiricileri hariç yatırım maliyetleri kadar yüksek olabilir. Montaj maliyetleri offshore uygulamalarda çok daha önemli olabilir. Isı değiştiricilerin maliyetini belirlemek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler, daha çok sadece yatırım maliyetine dayanmaktadır [3, 6, 10, 11].

İlk seğimden sonra, son değerlendirme yapılarak kullanılacak ısı değiştirici tipi belirlendiğinden, son değerlendirmenin nasıl yapılacağı önemli bir konudur. Isı değiştirici tiplerinin son seğimini yaparken kullanılacak değerlendirme yöntemi özet olarak aşağıda verilmiştir [6]:

1- Isıl dengeden  $Q$  ısı yükü bulunur.

2-  $D T$  ortalama sıcaklık farkı belirlenir.

3- Her bir önerilen konfigürasyon için  $\frac{Q}{\Delta T}$  oranı hesaplanır. Gerekli olan özel ısı yükü için, sıcaklık farkı düzeltme katsayısı (F) değıştiğinden değeri  $\frac{Q}{\Delta T}$  değışecektir.

4- Her bir ısı değıştirici tipi için verilmiş olan tablolardan,  $\frac{Q}{\Delta T}$  kullanılarak, sıcak ve soğuk akışkan tipleri ve basınçlarına göre "C" değeri okunur. "C", W/K başına ısı değıştiricinin maliyetini göstermektedir ve birimi "\$/(W/K)" dir. Gerekirse, C değeri için logaritmik interpolasyon kullanılır. C değeri çeşitli kaynaklarda verilmektedir [3, 6, 10, 11].

5- Her bir konfigürasyonun maliyeti " $\frac{Q}{\Delta T}$ " ve "C" değeri çarpılarak bulunur:

$$\text{Maliyet} = C \cdot \left(\frac{Q}{\Delta T}\right)$$

Montaj ile pompa maliyet farkları da dikkate alınarak maliyetler karşılaştırılır.

6- Eğer bir konfigürasyon diğerlerinden çok daha iyiyse (örneğin 1.5 kat gibi), bu dizayn seçilir ve detaylı hesaplamalar yapılır. Eğer çeşitli dizaynlar yaklaşık olarak aynı maliyetlere sahip iseler, bu durumda, tüm dizaynlar daha ayrıntılı bir şekilde hesaplanmalıdır. Bu ayrıntılı hesaplamalar sonucunda, maliyeti en düşük olan ısı değıştirici tipi seçilir.

**TABLO 3. ISI DEĞİŞTİRİCİ SEÇİM KRİTERLERİ [3, 4, 5, 6]**

Kriter	Isı Değıştirici Tipi							
	HSID	PID	SID	LID	PKID	ÇBID	GID	GBID
Basınç, (bar)	350 <sup>(1)</sup>	30	20	35 <sup>(10)</sup> 10 <sup>(11)</sup>	25 <sup>(13)</sup>	350 <sup>(14)</sup>	6	350 <sup>(17)</sup>
Sıcaklık, (°C)	600	(-40)-(200) <sup>(5)</sup>	400	220 <sup>(10)</sup> 500 <sup>(11)</sup>	(-260)- (650)	(-200)- (600)	180	(-200)-(600)
Tek bir ünite için tipik yüzey alanı, (m <sup>2</sup> )	5-350 <sup>(2)</sup>	1-1200	0.5-350	1-1000	1230 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> e kadar	0.25-200	(16)	10-1000
Kompaktlık	(3) *	****	****	**	*****	*	***	*



Mekanik temizleme	**	*****	****	**	*	***	*	***
Kimyasal temizleme	**	****	****	***	**	***	*****	***
Maliyet/m <sup>2</sup>	**	(6) ****	(8) ***	(12) **	*****	**	*	**
Bakım kolaylığı	**	*****	****	***	*	***	*	**
Korozyon riski	***	****	****	****	***	****	*****	**
Kirlenme riski	**	*****	****	***	**	***	***	*
Kirlenme etkisi	(4) *	****	****	**	*	***	**	**
Sızıntı riski	**	(7) *	(9) *	**	****	(15) ***	*	(18) **
Montajdan sonra görev değişikliği	**	****	*	*	***	*	***	*
Sıcaklık geçişi	*	****	****	***	*****	***	***	**
Viskoz akış	*	****	****	**	*****	**	****	(19) **
Isıya duyarlı akışkanlar	**	****	****	**	***	**	***	*
Katı akışı	*	**	****	**	*	***	*	*
Gazlar	****	*	***	***	****	****	***	****
Faz değişimi	****	*	****	***	****	****	***	****
Çok akışkanlı değişim	***	***	*	**	*****	*	***	**

\* : çok zayıf, \*\* : zayıf, \*\*\* : uygun, \*\*\*\*: iyi, \*\*\*\*\*:çok iyi

NOTLAR:

(1): Tipik üst sınır fakat daha yüksek basınçlar için dizayn mümkün.

(2): Paket tip demetler. Eğer kullanım yerinde inşa edilirse daha büyük boyutlar mümkün.

(3): Sıkça boru raflarının üzerine veya yakınlarına monte edilir.

- (4): Dış taraftaki kirlenme hava akışını azaltabilir ve MTD azalabilir.
- (5): Sıkıştırılmış asbest fiberli contalar için 260 °C.
- (6): Düşük bağıl maliyet demir dışı malzemelere uygulanır.
- (7): Plaka kenarları kaynakla kaplanabilir ancak bu durumda sökölme çok zor olur.
- (8): Tüm metaller için
- (9): Bakınız (7).
- (10): Çap = 300 mm

(11): Çap = 1000 mm

(12): Yalnızca demir dışı metaller için geçerli

(13): Kesit alanına bağlı olarak 80 bar'a kadar mevcut.

(14): Tipik üst sınır fakat daha yüksek basınçlar için dizayn mümkün.

(15): Eğer tümü kaynaklı ise

(16): Gövde borulu tip: 1.6-1650 m<sup>2</sup>

Kübik ve dikdörtgen tip: 0.65-153 m<sup>2</sup>

Multiblok tip: 0.22-240 m<sup>2</sup>

Kartuş tip: 0.16-18.6 m<sup>2</sup>

(17): Tipik üst sınır fakat çapa bağlı olarak daha yüksek basınçlar mümkün.

(18): TEMA tiplerine bağlıdır.

(19): Gövde tarafında ısıtılan viskoz akışkanlara uygulanır.

## KAYNAKLAR

1. Walker, G. (1990). Industrial Heat Exchangers: A basic guide, second edition, Hemisphere Publishing Corporation.

2. Alfa Laval' AB, Isı El Kitabı, Çeviren: Yelman GAZİMİHAL, Makina Mühendisleri Odası, Yayın No :74, 103-119.
3. Saunders, E.A.D. (1988). "Heat Exchangers-Selection, Design & Construction", Longman&Scientific Technical, 1-160.
4. Larowski, A. and Taylor, M. A., Systematic procedure for selection of heat exchangers. Practical Applications of Heat Transfer, I Mech E CONFERENCE PUBLICATIONS 1982-4, 37-62.
5. Butterworth Dave, Heat Exchanger Selection. AEA TECHNOLOGY Engineering Software, HTFS, 2000.
6. Hewitt, G. F., Shires, G.L. and Bott, T.R. Process Heat Transfer.
7. Genceli, O.F. (1999). Isı Değişiricileri, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1-80.
8. Leopold R. E. (2000). Evaluation and Selection of Heat Exchangers. Vulcanium Corporation, Northbrook, Illinois.
9. Fraas, A.P. (1989). "Heat Exchanger Design", John Wiley&Sons.
10. Engineering Science Data Unit (ESDU) (1992). Selection and costing of heat exchangers, ESDU, London.
11. Hewitt, G.F., Guy, A.R., and Marsland, R.H. (1982), Heat transfer equipment, in A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy, Linnhoff, B., Townsend, D.W., Boland, D., Hewitt, G.F., Thomas, B.E.A., Guy, A.R., and Marsland, R.H., The Institution of Chemical Engineers, Rugby, England, Chap.3.
12. Kakaç, S. (1996). Heat exchanger design course, Presented at Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok-Thailand, December 17-19.