

ENERJİ GERİ KAZANIMINDA ETKİN BİR ARAÇ:

DÖNER TİP REJENERATÖRLER

Prof Dr. Tuncay YILMAZ

1945'de Tarsus'ta doğdu. 1968'de Berlin Teknik Üniversitesini bitirdi. 1972 yılında aynı üniversitenin Makina Mühendisliği Bölümü'nde Isı ve Kütle Transferi Bilim Dalında Doçent oldu. 1983'te Çukurova Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalına profesör olarak atandı. Almanya dışında İngiltere'ce Cambridge ve Liverpool Üniversitelerinde, ABD'de Massachusetts Institute of Technology'de misafir öğretim üyesi olarak bulundu. 1986-1989 yılları arasında Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanlık görevim yürüttü. Halen Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölüm Başkanlığı ve Çukurova Üniversitesi Soğutma ve İklimlendirme Teknik Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğü görevlerim sürdürmektedir.

Öğr. Gör. Ertuğrul CİHAN

1966'da Adana'da doğdu. 1987'de Çukurova Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 1991 yılında Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 1992 yılında öğretim görevlisi oldu. Halen aynı bölümde öğretim görevlisi olarak çalışmakta ve doktora öğrenimine devam etmektedir.

1. GİRİŞ:

Rejeneratif tip ısı eşanjörlerinin en önemlilerinden biri döner tip olanlardır. Döner tip rejeneratörler mucidinin adına izafen LJUNGSTRÖM hava ısıtıcısı olarak da adlandırılır. Döner tip ısı eşanjörleri çok çeşitli kullanma alanı bulmaktadırlar. Gaz türbinlerinde uzun zamandan beri başarı ile kullanılmaktadırlar.

Ayrıca termik santrallerde hava ön ısıtıcısı olarak da döner rejeneratörler kullanılarak enerji tasarruf edilmektedir. Son yıllarda döner tip rejeneratörler iklimlendirme tesislerinde ithal malı olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Türkiye'de ilk defa Bölümümüzde bu tip bir eşanjör imal edilmekte ve denenmektedir. Bu makalede döner tip ısı eşanjörlerinin yapısı, imalatı, tasarım esasları ve kullanımı hakkında etraflı bilgi verilecektir. Ancak önce döner tip ısı eşanjörleri hakkında yapılan araştırmalara ve hesaplamalara değinilecektir.

2. DÖNER TİP ISI EŞANJÖRLERİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Rejeneratörler hakkında ilk teorik çalışma Nussell (1927), Hausen (1929) ve Schumann (1929) tarafından yapılmıştır. Bilahare Hausen (1942) rejeneratör teorisini genişletmiştir. Hausen (1976) re jeneratörlerin pratik olarak hesaplanmasına da önemli katkıda bulunmuştur. Döner rejeneratörlerde debilerdeki ani değişmelerin verime etkisi Romie (1990) tarafından incelenmiştir.

Gazlar arasında ısı tasarrufu sağlayan eşanjörler ve bu arada döner ısı eşanjörleri hakkında genel bilgiler Reay (1981) ve Jüttemann (1984) tarafından etraflı olarak verilmiştir. İlk çalışmada ısı enerjisini alıp bilahare veren katı maddenin dönmeyip, gaz giriş çıkışlarının döndüğü Rothemühle tipi döner ısı eşanjörleri de ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Atthey (1988) tarafından döner tip rejeneratörlerde ısı transferi, basit rejeneratör diferansiyel denklemlerinin ısı dengelemesi metodu ile analitik olarak çözülmesiyle hesaplanmış ve daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Döner rejeneratörler Lai, Dudukovic ve Ramachandran (1987) tarafından hücre metodu kullanılarak nümerik olarak incelenmiştir.

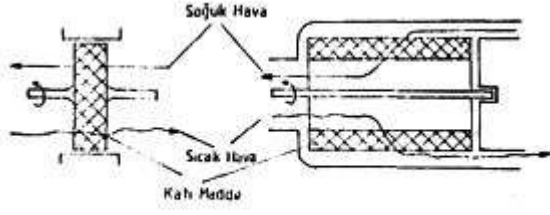
Basil döner rejeneratör diferansiyel denklemleri bazı özel durumlar için Scaricabarozzi (1989) tarafından analitik olarak çözülmüştür. Rejeneratördeki katı maddede akış yönünde ısı iletimini dikkate alan analitik bir çözüm metodu ve ısı iletim katsayısının etkisi Skiepko (1988,1989) tarafından analitik olarak hesaplanmıştır. Diğer ve gayet efektif bir nümerik-analitik metot Hill ve Willmott (1987) tarafından verilmiştir.

Rejeneratörlerin Galerkin metoduyla hesaplanması Baclic (1985) tarafından verilmiştir. Basit rejeneratör diferansiyel denklemlerinin integral metodu ile hesaplanması Willmott ve Duggan (1980) tarafından yapılmıştır. Genel integral metodu Smith (1979) tarafından her türlü rejeneratörlerde uygulanmıştır.

Rejeneratör içindeki gazların verime etkisi sonlu farklar metoduyla Willmot ve Hinchcliffe (1976), tarafından hesaplanmıştır. Romie (1987) rejeneratör hesaplarında kullanılan Anzelius-Schumann fonksiyonları ve bunların özelliklerini vermiştir. Romie ve Baclic (1988) ise bu fonksiyonları kullanarak rejeneratör etkinliklerini hesaplamışlardır. Eş yönlü rejeneratörlerde etkinliğin analitik olarak hesaplanması Romie (1992) tarafından yapılmıştır.

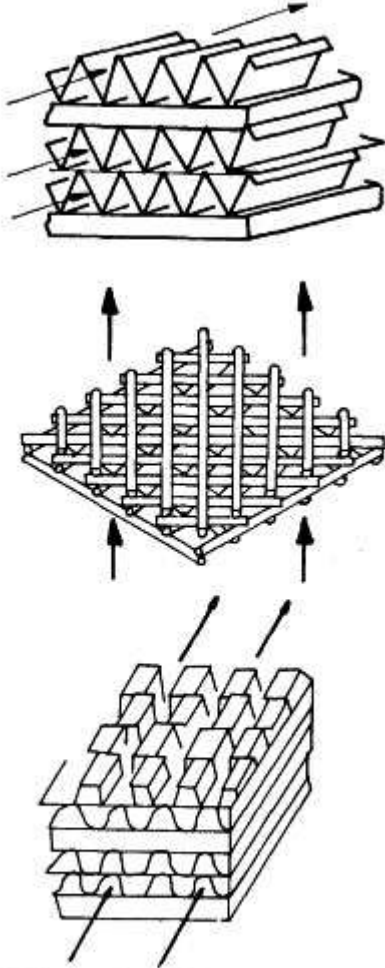
3. DÖNER TİP EŞANJÖRLERİN KONSTRÜKSİYON ESASLARI

Döner tip ısı eşanjörleri Şekil 1'de gösterildiği gibi prensip olarak disk ve tanbur şeklinde imal edilmektedir. Disk şeklinde olanda akış genelde aksel yönde olup, tanbur şeklinde olanda ise genelde radyal doğrultudadır.

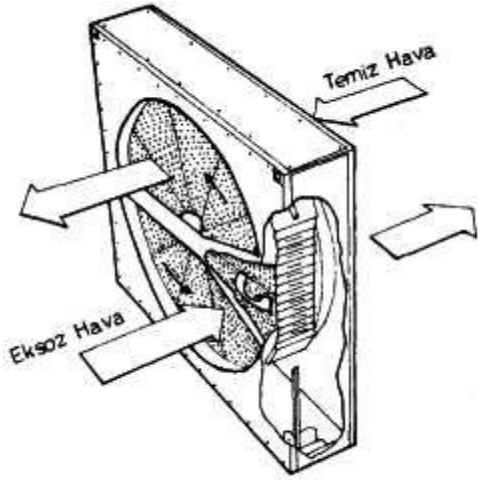


Şekil 1. Döner Tip Rejeneratör Şematik Resmi

Eşanjörlerin içinde matriks adı verilen katı malzemeler ısı depolama görevi yaparlar ve çok çeşitli şekillerde olabilmektedirler. Şekil 2'de bu kanallardan bazı örnekler verilmiştir. Bu özel yapımlar sayesinde bu eşanjörlerde 4000 m³ /m² değerine kadar birim hacimde ısı transferi yüzeyi elde edilebilmektedir. Bu değer de döner tip eşanjörlerin fevkalade kompakt yapılabileceğini göstermektedir.



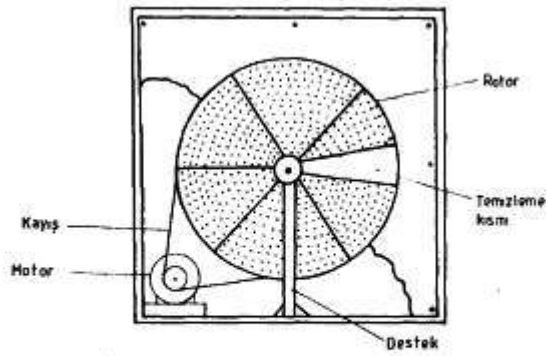
Şekil 2. Rejeneratörlerde Kullanılan Bazı kanal Geometrileri



Şekil 3. Döner Tip Rejeneratörün Dış Görünüşü

Şekil 3'te eşanjörlerin dıştan görünüşü verilmiştir. Eşanjörler normalde karşıt akış olarak çalıştırılırlar. Egzost gazının temiz havaya karışmaması için eşanjörlerin bir kısmı şekilde görüldüğü gibi ısı transfer etmez.

Döner tip ısı eşanjörlerinde ısı değişirme yanında nem alışverişi de yapılabilmektedir. Bundan dolayı kullanılan levha tipi maddelere higroskopik özellikler ilave edilmektedir. Böylece duyulur ısı yerine gizli ısıyı da transfer etmek mümkün olmaktadır Rotor çapı bilhassa 2 metreyi geçtiği zaman rotor tek parça değil çok parça olarak imal edilmektedir. Bu durum Şekil 1'den de anlaşılmaktadır. Şekil 4'te de eşanjörün tahrik mekanizması gösterilmiştir. Ancak varyatörler kullanarak merkezden de tahrik etmek düşünülebilir. Bazı durumlarda devir sayısı kontrol de edilebilmektedir.



Şekil 4. Döner tip rejeneratörün tahrik mekanizması

4. DÖNER REJENERATÖR TASARIM ESASLARI

Bu eşanjörlerin hesaplanmasında bir eşanjör etkinliği ϵ aşağıdaki gibi tarif edilebilir.

Bu eşanjörlerin hesaplanmasında bir eşanjör etkinliği ϵ aşağıdaki gibi tarif edilebilir.

$$\epsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} \quad (1)$$

Burada Q gerçekte transfer edilen ısıyı Q_{\max} da sonsuz yüzey alanlı bir eşanjörde transfer edilebilen ısıyı göstermektedir.

$$Q_{\max} = C_{\min} (T_{1g} - T_{2g}) \quad (2)$$

Burada

$$C = M c_p \quad (3)$$

olarak tarif edilen ısıt kapasitelerdir. Ayrıca

$$Q = C_1 (T_{1g} - T_{1ç}) = C_2 (T_{2ç} - T_{2g}) \quad (4)$$

şeklinde hesaplanabilir. C_{min} sıcak (1 indisli) ve soğuk akışkanın (2 indisli) ısı kapasitelerinin en küçük olanıdır. Eşanjör etkinliği (YILMAZ 1993) karşıt akışlı ısı eşanjörlerinde

$$\epsilon = \frac{1 - \exp[-N(1-C^*)]}{1-C^* \exp[-N(1-C^*)]} \quad (5)$$

eş yönlü eşanjörlerde

$$\epsilon = \frac{1 - \exp[-N(1-C^*)]}{1+C^*} \quad (6)$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Burada

$$C^* = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (7)$$

$$N = \frac{kF}{C_{min}} \quad (8)$$

olarak tarif edilmişlerdir. C_{max} akışkanlardan ısı kapasitesi daha yüksek olanıdır. Burada kF

$$\frac{1}{kF} = \frac{1}{\alpha_1 F_1} + \frac{1}{\alpha_2 F_2} \quad (9)$$

olarak tarif edilmiş olup, sıcak ve soğuk akışkanla duvar arasındaki ısı transfer katsayılarını ve yüzey alanlarını ifade etmektedir. Döner tip ısı eşanjörlerinde etkinlik eş ve karşıt akışlı eşanjörlerde hesaplanan düzeltme katsayıları ile çarpımına eşit olacak şekilde bulunabilir.

$$\epsilon_d = \epsilon U \emptyset \quad (10)$$

Burada düzeltme faktörü U

$$U = 1 - \frac{1}{9 Cr^{*1.93}} \quad (11)$$

olarak hesaplanabilir (Kays, London 1984).

Burada kapasite oranı

$$Cr^* = Cr / C_{min} \quad (12)$$

şeklinde tarif edilmiş olup, Cr döner eşanjördeki maddenin ısı kapasitesidir.

$$Cr = M_k C_{pk} n \quad (13)$$

n de döner rejeneratörün devir sayısıdır. U sayısı için Worsøe Schmidt (1991) tarafından aşağıdaki ifade verilmiştir.

$$U = 1 - \frac{0.114 [1 - \exp(-N)]}{C^{*0.44} Cr^{*1.93}} \quad (14)$$

Eşit. (10) daki \emptyset faktörü de temizleme oranına bağlı olup aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir (Worsøe-Schmidt, 1991).

$$\varnothing = (1-a) \exp(-b a) \quad (15)$$

Burada a

$$a = \frac{M_{ip}}{M_t} \quad (16)$$

M_{ip} temiz havanın temizleme kısmı, M_t de temiz hava debisidir. b değeri de

$$b = 2.45 - 0.4C^* - \frac{0.69}{Cr^* C^{*4.3}} \quad (17)$$

şeklinde hesaplanabilir.

5. KULLANILMA ALANLARI VE BAĞLAMA ŞEKİLLERİ

Döner tip ısı eşanjörleri ile yüksek etkinlikler elde edilebilir. O halde normal olarak gerekli olan etkinlikler prensipte %60-80 oranında olmalıdır. Daha düşük eşanjör etkinlikleri isteniyorsa o zaman diğer tip eşanjörler tercih edilmelidir.

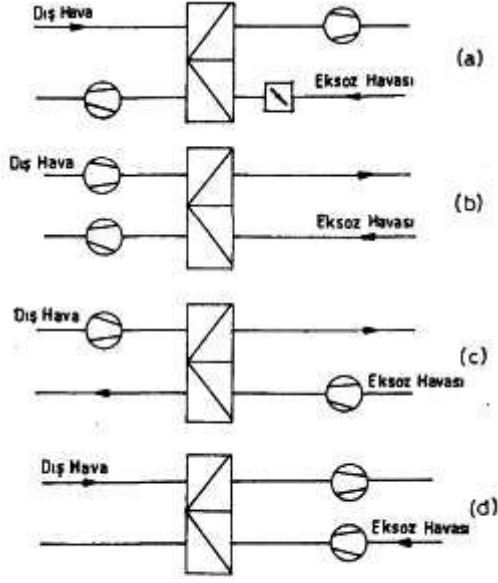
Higroskobik maddeli döner tip ısı eşanjörleri normal olanlara göre %30-40 civarında daha fazla ısı transfer edebilmektedir. Bilhassa nemlendirmeli veya soğutmali iklimlendirme sistemlerinde higroskobik maddeli döner ısı eşanjörleri kullanılması tavsiye edilir.

Yazın sıcak ve nemli bölgelerde kurulan modern otellerde nemli sıcak dış havanın nemini almak için egzost havadan yararlanılır ve %90 'lara varan enerji tasarrufu yapılabilir. Yüksek temiz dış hava ihtiyacı olan hastanelerde de yüksek miktarda enerji döner ısı eşanjörleri ile elde edilebilir.

Çeşitli tesislerde döner eşanjörlerin sisteme bağlama durumları farklı olarak yapılabilir. En önemli olan faktörlerden biri de vantilatörlerin hangi tarafta bulunacağıdır. Şekil 5'te bağlama durumları gösterilmiştir. Şekil 5a'da verilen durum en çok kullanılandır. Gösterilen klape ile gerektiğinde temiz ve egzost havası arasındaki basınç farkı ayarlanabilir. Şekil 5b'deki durum bilhassa en çok soğutma kazanımı sağlanması gereken durumlarda kullanılmaktadır. Bu bağlama durumunda egzost havasının temiz havaya karışması da önlenmektedir.

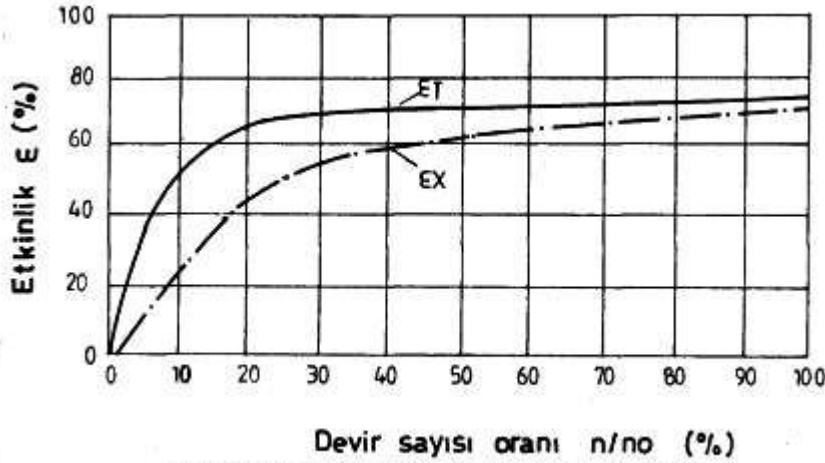
En az kullanılan durum Şekil 5c'de kullanılandır. Şekil 5d'de verilen bağlama şeklinde en yüksek ısıtma geri kazanımı elde etmek mümkündür. Bu durumda vantilatörlerin akışkana verdikleri ısıdan en yüksek oranda faydalanılmaktadır.

Ancak bu durumda egzost gazının temiz havaya karışmasını önlemek mümkün değildir. Döner ısı eşanjörlerinin diğer bir özelliği de motor hızı kontrol edilerek eşanjör veriminin veya çıkış sıcaklıklarının kontrol edilebilmesidir.



Şekil 5. Rejeneratörlerde bağlama şekilleri

Şekil 6'da ısı ve nem verimlerinin devir sayısı n 'nin nominal devir sayısı n_0 'a oranı ile değişimi gösterilmiştir. Bu diyagramda hem ısıl etkinlik ϵ_T hem de nem etkinliği ϵ_X gösterilmiştir.



Şekil 6. Rejeneratörde Etkinliğin Devir Sayısı ile Değişimi

6. SONUÇ

Döner tip ısı eşanjörleri hakkında uzun yıllardan beri araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu eşanjörlerin diğer enerji geri kazanım eşanjörlerine göre daha ucuz ve etkinlikleri daha yüksektir.

Hem duyulur hem gizli ısı transferlerinde başarı ile kullanılmaktadır. Büyük tesislerde (150.000 m³/h ve daha fazla hava ihtiyacı olanlar) döner tip ısı eşanjörlü tesisler ilk yatırım masraflarında dahi çok daha ucuz olmaktadır. Bu eşanjörlerin ülkemizde de ileriki yıllarda çok daha yaygın olarak kullanılacağı aşikardır.

7. KAYNAKLAR

A. Azelius, 1926, Über die Erwärmung vermittels durchströmender Medien, Zeitschrift angewandte Math. Mech. 6/4, 29-40

- D.R. Atthey, 1988, An approximate thermal analysis for a regenerative heat exchangers, Int. J. Heat Mass Transfer, 31, 1431-1441
- B.S. Baclic, 1985 The application of the Galerkin Method to the solution of the symmetric and balanced counterflow regenerator problem, J.Heat Transfer, 107,214-221
- H. Hausen 1929, Über die Theorie des Wärmeaustausches in Regeneratoren, Zeitschrift Angewandte Math. Mech. 9, 173-200.
- H. Hausen, 1942, Verfahrenstechnische Zeitschrift, Verein Deutscher Ingenieure, 2, 31-43.
- H. Hausen, 1976, Wärmeübertragung im Gegenstrom, Gleichstrom und Kreuzstrom, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin.
- H. Hausen, 1931, Näherungsverfahren zur Berechnung des Wärmeaustausches in Regeneratoren, Zeitschrift Angewandte Math. Mech., 2, 105-144.
- A.Hill and A.J. Willmott, 1987, A robust method for regenerative heat exchanger calculations, Int. J. Heat Mass Transfer, 30, 241-249.
- H. Jüttemann, 1984, Waermerückgewinnung in raumluftechischen Anlagen, Verlag C.F. Muller, arlsruhe.
- W.M. Kays, A.L. London, 1984, Compact Heat Exc-hangers, 3. Edition, Mc Graw-Hill, New York.
- S. Lai, M.P. Dudukovic and P.A. Ramachandran. 1987, Cells -in -serien method for simulation of heal regeneration in periodic operation, Numerical Heal Transferli, 125-141.
- W. Nusselt, 1927, Die Theorie des Winderhitzers, Zeitschrift Verein Deutscher Ingenieure, 71, 85-91.
- D.A. Reay, 1981, A Review of gas-gas heat recovery systems, Heat Recovery System, 1,3-41.
- F. E. Romie and B.S. Baclic, 1988, Methods for rapid calculation of the operation of asymmetric counterf-low regenerators, Heat Transfer, 190, 785-788.
- F.E. Romie, 1987, Two functions used in the analysis of crossflow exchangers, regenerators and related equipments, J. Heat Transfer, 109, 518-521.
- F.E. Romie, 1992, A solution for the parallel-flow regenerator, J. Heat Transfer, 114, 278-280
- F.E. romie, 1990, Response of rotary regenerators to step changes in mass rates, J. Heat Transfer, 112,43-48.
- R.Scaricabarozzi, 1989, Simple particular solutions and speed calculation of regenerators, Heat Recovery Systems and CHP, 9/5, 443-446.
- T. E. W. Schumann, 1929, A liquid flovving through a porous prism, Heat Transfer, J. Franklin insi., 405-416.
- T. Skiepkko, 1988, The effect of matrix longitudinal heat conduction on the temperature fields in the rotary heat exchangers, Int J. Heat Mass Tranfer, 31, 2227-2238.
- T. Skiepkko, 1989, Effect of parameter values on gas and matrix temperature fields in the rotary heat cxc-hangers, Int J. Heat Mass Transfer, 32, 1443-1472.
- A. J. Willmott and C. Hinchcliffe, 1976, The effcct oJ gas heat storage upon the performance of the thermal regenerator, Int. J. Heat Mass Transfer 19, 821-826.
- P. Wors0e Schmidt 1991, Effect of fresh air perging on the efficiency of energy Recovery from exhaust air in rotary regenerators, Int. J. refrig. 14, P. 233-239.
- T. Yılmaz, 1993. Konveksiyonla Isı Transferinde Teori ve Uygulama Ç.Ü. Müh.Mim.Fak., Yayın no 19. Adana