

# SCROLL VE PİSTONLU TİP SOĞUTMA KOMPRESÖRLERİNİN KAPASİTE VE VERİMLERİNİN ÇALIŞMA ŞARTLARI İLE DEĞİŞİMİ

Emirhan BAYIR  
Serhan KÜÇÜKA

## ÖZET

Bir soğutma sisteminin kapasitesi ve etkinlik katsayısı, seçilen kompresörün kapasite ve verimliliğine doğrudan bağlıdır. Kompresör kataloglarında genel olarak soğutma kapasitesi ve kompresör gücü verilmektedir. Bu değerler kullanılarak farklı çalışma şartlarında kompresörlerin isentropik verimi, emiş hacmi ve soğutma etkinlik katsayısı hesaplanmıştır. Scroll, hermetik pistonlu ve açık pistonlu tip kompresörlerin kapasite ve verimlerinin çalışma şartları ile değişimi incelenmiş ve karşılaştırma yapılmıştır. Soğutma kapasitesi ve etkinlik katsayısının buharlaşma sıcaklığı, yoğuşma sıcaklığı ve basınç oranı ile değişimi grafikler halinde sunulmuş ve değerlendirilmiştir. Bir su soğutma gurubu tesis edilerek kullanılan scroll kompresörün işletme değerleri katalog değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Katalog verilerinin değerlendirilmesi, sıkıştırma basınç oranı arttıkça pistonlu tip kompresörlerin hacimsel verimlerinin ve emiş hacimlerinin azaldığını, scroll kompresörlerin emiş hacmi değişiminin ise daha düşük oranda olduğunu göstermektedir. Bunun tersine olarak, yüksek sıkıştırma oranlarında scroll kompresörlerin isentropik verimleri pistonlu kompresörlerin veriminden daha düşüktür. Sonuç olarak, iklimlendirme uygulamalarında scroll kompresörler daha geniş bir sıcaklık aralığında düşük kapasite değişimi ve yüksek verimle çalışırken, derin soğutma uygulamalarında pistonlu kompresörler daha verimli çalışmaktadırlar. Her iki kompresör tipi için de, en iyi isentropik verim %70 oranının altında kalmakta olup, bu verimin artışı doğrudan soğutma etkinlik katsayısını arttıracaktır.

**Anahtar Sözcükler:** Soğutma etkinlik katsayısı, scroll kompresör, pistonlu kompresör, isentropik verim, hacimsel verim.

## ABSTRACT

In this study, different type and brand compressors' performance graphs are drawn by using catalog data. Among data, refrigeration capacity and power consumption are available but isentropic efficiency, coefficient of performance, volumetric efficiency, suction volume and pressure ratio are achieved with calculation. Performance analysis of scroll and reciprocating compressors are obtained and compared with each other. On acclimatization applications, scroll compressors can stabilize cooling capacity while the temperatures are changing during the summer season. However, reciprocating one has a better performance for deep cooling application. The catalog data of a scroll compressor are compared also with experimental results.

**Key Words:** Coefficient of performance, scroll compressor, reciprocating compressor, isentropic efficiency, volumetric efficiency.

## 1. GİRİŞ

Kompresörler, yoğuşturucu, buharlaştırıcı ve genleşme cihazları ile birlikte soğutma sistemlerinin dört temel elemanından biridir. Kompresörün görevi buhar haldeki soğutucu akışkanın basıncını yoğuşturma sıcaklığının karşılığı olan basınca çıkarmaktır. İki çeşit kompresör tipi mevcuttur: pozitif yer değiştirmeli (pistonlu, vidalı, dönel ve vidalı kompresörler) ve dinamik (santrifüj kompresörler). Pozitif yer değiştirmeli kompresörler, sıkıştırma bölümünün hacmini sürekli azaltarak soğutkanın basıncını artırır. Dinamik kompresörler, açısız momentumun dönel elemanlardan soğutkan buhara sürekli transferi ve bu açısız momentumun basınç artımına dönüşmesi ile soğutkan basıncını yükseltir. Santrifüj kompresörlerin tasarımı bu prensipleri esas almıştır [1].

Soğutma kompresörleri ile ilgili kaynaklarda kompresör performansının çalışma şartları ile değişimi oldukça sınırlı şekilde yer almaktadır. Ayrıca kompresörlerin performans tayini için geliştirilen matematiksel modelleri kullanmak için fazla sayıda parametrenin bilinmesi gerekmektedir. Mevcut katalog değerlerinin kullanılması ile kompresörlerin farklı çalışma şartlarındaki performanslarının incelenmesi ve farklı tip ve modeldeki kompresörlerin grafikler yardımıyla karşılaştırılması bu çalışmanın ana esaslarını oluşturmaktadır.

Duprez ve ark. [2] pistonlu ve scroll tip kompresörlerin termodinamik modelini oluşturarak, soğutucu akışkan kütleli debisi ve kompresör güç tüketimini işletme şartları ve parametrelere bağlı olarak hesaplamışlardır. Pistonlu kompresörler için bu parametreler: kompresör dış yüzey sıcaklığı (sabit 50°C), emme hattı için ısı transferi katsayısının ısı transfer yüzey alanı ile çarpımı ( $U \times A_{suc}$ ), emiş hattı boru çapı, süpürme hacmi, kompresör devri, ölü hacim oranıdır. Scroll kompresörler için belirlenen parametreler: süpürme hacminin egzoz edilen hacme oranı, süpürme hacmi, kompresör devri, kompresör dış yüzey sıcaklığı (sabit 50°C) ve yüzey alanı ile ısı transferi katsayısının çarpımı ( $U \times A_{suc}$ )'dır. Çalışmada elektriksel ve isentropik verimi hesaplamak için polinomik bir denklem kullanılmıştır. Bu çalışma yapılırken gücü 10 kW' ı geçmeyen beş adet pistonlu ve scroll kompresör seçilmiş; buharlaşma sıcaklığı -20 ile 15°C, yoğuşturma sıcaklığı 15°C ile 60°C aralığında seçilmiştir. Model sonuçları ile gerçek değerler arasında pistonlu kompresörlerde %1,1 ile 1,69 aralığında, scroll kompresörlerde %1,04 ile 2,42 aralığında uyumsuzluk tespit edilmiştir.

Rigola ve ark. [3], pistonlu hermetik kompresörler için sayısal simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Kompresör hacmi sabit tutularak, silindirik boy ve çap değerleri değiştikçe performans parametrelerinin nasıl değiştiği araştırılmıştır. Hacimsel verim, soğutma etkinlik katsayısı ve soğutma kapasitesinin silindirik boy/çap oranı ile değişiminde optimum bir değer olduğu görülmektedir. Boy/çap oranı arttıkça söz konusu parametreler başlangıçta artarken, optimum değerden sonra sabit kalmaktadır. Kompresörün güç tüketimi ise artan boy/çap oranı ile hemen sabit kalmaktadır. Aynı şekilde hacimsel verim ve soğutma etkinlik katsayısı, optimum bir emme ve boşaltma ağız çapına kadar artmakta daha sonra sabit kalmaktadır. Kompresör motor torku ve elektriksel verim ise artan devir sayıları ile azalmaktadır.

Chen ve ark. [4], scroll kompresörler için matematiksel bir model geliştirerek boşaltma, sıkıştırma ve emme hacimindeki değişime ve spirallerin açılarına göre kompresörün basınç ve sıcaklık değişimi üzerinde durmuşlardır.

## 2. SCROLL, HERMETİK VE YARI HERMETİK PİSTONLU SOĞUTMA KOMPRESÖRLERİNİN PERFORMANS DEĞİŞİMLERİ

Bu bölümde farklı kapasite ve tipteki (özellikle pistonlu ve scroll) kompresörlerin, katalog değerlerinden faydalanarak çizilen performans grafikleri ve bunların yorumu üzerinde durulacaktır.

Çeşitli kapasitelerdeki pistonlu hermetik, pistonlu yarı hermetik ve scroll tip kompresörlerin kataloglarından elde edilen geometrik yer değiştirme, farklı yoğuşturma ve buharlaşma sıcaklıklarındaki soğutma yükü ve kompresör gücünden faydalanarak; kompresör emiş hacmi, isentropik verim,

hacimsel verim, soğutma etkinlik katsayısı ve basınç oranı hesaplanmış ve bu veriler tablolara aktarılmıştır. Tablolardaki veriler, "Microsoft Excel" programı ile grafiğe dönüştürülmüştür.

Tüm kompresörlerde R-22 soğutucu akışkanı için sağlanan veriler kullanılmıştır. Katalogların tamamında ortam sıcaklığı 35°C olarak verilmiştir. Her bir kompresör tipi için, genel performans eğilimini yansıtan tek bir model bu bölümde ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ayrı ayrı incelenen kompresörlerin performans grafiklerinden bazıları bir arada verilerek, aralarındaki farklılıklara vurgu yapılmıştır.

## 2.1 Pistonlu Hermetik Kompresörün Performans Grafiklerinin İncelenmesi

Pistonlu kompresörün performans eğrilerini oluşturmak için Bristol marka 10,3 kW kapasiteli H20J423DBD model kompresör seçilmiştir. Tablo 1'de seçilen pistonlu hermetik kompresörün temel değerleri verilmiştir. Tablo 2'de, pistonlu hermetik kompresörün farklı çalışma şartlarındaki performans değerleri yer almaktadır.

**Tablo 1.** Bristol H20J423DBD Model Pistonlu Hermetik Kompresör Temel Mekanik ve Elektrik Verileri

Bristol Pistonlu Hermetik Kompresör			
Model	Piston Sayısı (z)	Silindir Yüksekliği (L)	Silindir Çapı (D)
H20J423DBD	2	50.8 mm	17.12 mm
Voltaj	Faz	Frekans	Devir
200/220 V	3	50 Hz	2950 dev/dk

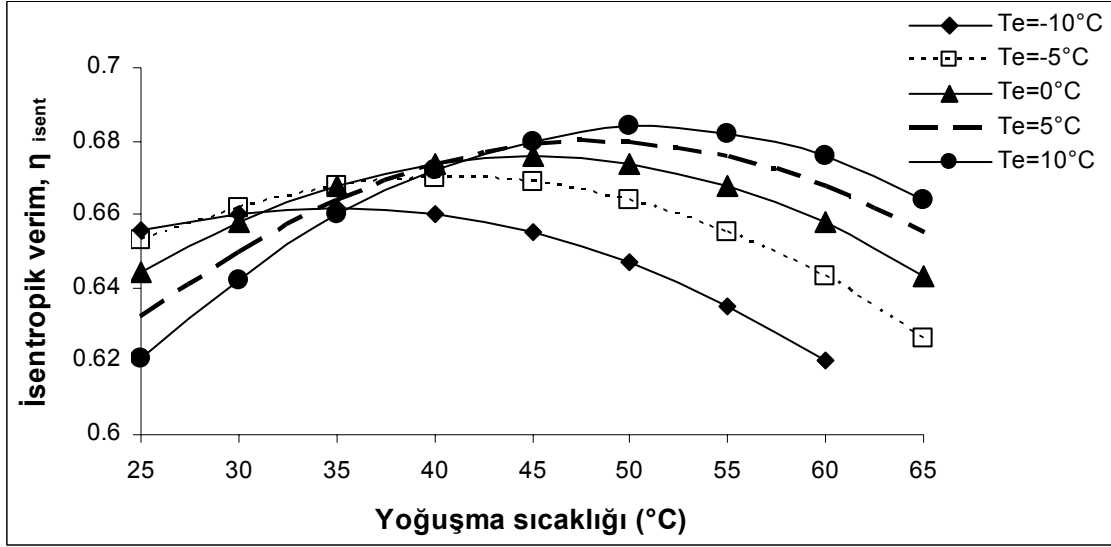
**Tablo 2.** Pistonlu Hermetik Kompresörün Performans Değerleri

R22	Yoğuşma Sıcaklıkları								
	25 °C	30 °C	35 °C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C	65°C
Buharlaşma Sıcaklığı 0°C									
$Q_e$ (Watt)	11781	11036	10310	9599	8897	8200	7501	6797	6081
W (Watt)	1836	2038	2232	2417	2589	2744	2879	2992	3079
$\dot{V}$ (m <sup>3</sup> /h)	10,94	10,59	10,23	9,88	9,51	9,13	8,72	8,26	7,77
COP	6,42	5,42	4,62	3,97	3,44	2,99	2,61	2,27	1,97
$\eta_{isent}$	0,644	0,658	0,668	0,674	0,676	0,674	0,668	0,658	0,643
$P_2/P_1$	2,10	2,40	2,72	3,08	3,47	3,90	4,37	4,88	5,43
$\eta_v$	0,89	0,86	0,83	0,80	0,77	0,74	0,71	0,67	0,63

Tablo 1 ve 2 de verilen değerler ilgili kompresörün kataloglarından oluşturulmuştur. Tablo 2'de verilen değerlerden soğutma yükü ( $Q_e$ ) ve kompresör gücü (W) katalog değeri olarak verilmiştir. Soğutma (evaporatör) yükü ve soğutucu akışkanın evaporatördeki entalpi değişiminden soğutucu akışkan kütleli debisi hesaplanmış ve özgül hacimle çarpılarak emiş özgül hacmi (V) bulunmuştur. Soğutma etkinlik katsayısı (COP) soğutma yükünün kompresör gücüne oranıdır. Akışkanın kompresöre emiş şartları ve çıkış (yoğuşma) basıncından hareketle isentropik güç hesaplanmış ve hesaplanan

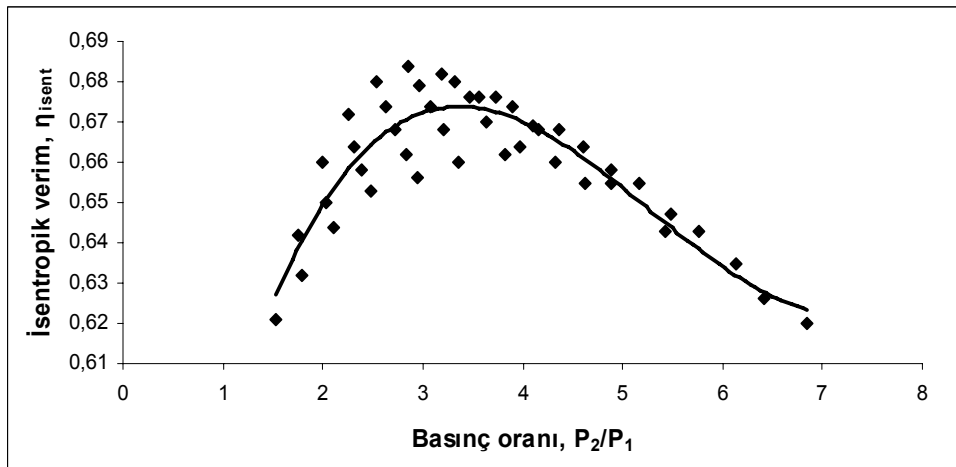
İsentropik kompresör gücü gerçek kompresör gücüne oranlanarak İsentropik verim ( $\eta_{isent}$ ) bulunmuştur. Yoğuşma ve buharlaşma basınçlarının oranı ( $P_2/P_1$ ) hesaplanmıştır. Silindir yüksekliği, çapı ve devir sayısı kullanılarak ve ölü hacim "0" kabul edilerek süpürme hacmi hesaplanmış ve emiş hacminin süpürme hacmine oranı volumetrik verim ( $\eta_v$ ) olarak verilmiştir. Tablo-2 de 0 °C buharlaşma sıcaklığı için verilen hesaplamalar farklı buharlaşma sıcaklıkları için tekrar edilmiş ve takip eden grafikler elde edilmiştir.

Şekil 1' de farklı buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıkları için İsentropik verim noktaları gösterilmiştir. Farklı buharlaşma sıcaklıkları için çizilen eğrilerin tümünde İsentropik verimin belirli bir pik noktaya ulaştıktan sonra inişe geçtiği gözlenir. Bu durum kompresörün optimum bir dizayn noktasının varlığını göstermektedir.



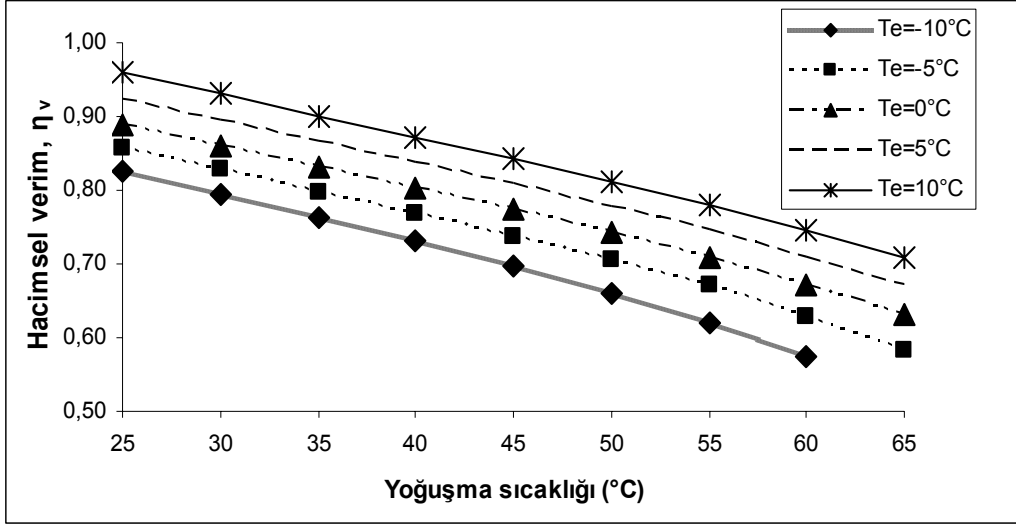
Şekil 1. Pistonlu Hermetik Kompresör İsentropik Veriminin Yoğuşma Sıcaklığına Bağlı Değişimi

Şekil 2' den basınç oranlarına karşılık gelen İsentropik verim değerleri görülmektedir. Belirli bir basınç oranına kadar valf kayıpları ve benzeri sabit basınç kayıplarının görece etkisinin azalması ile birlikte verimin arttığı görülmektedir. Daha yüksek basınç oranlarında verimin tekrar azalmasının nedeni, bu yüksek oranlarda doldurma veriminin (hacimsel verim) azalmasına bağlı olarak her bir sıkıştırmada sevk edilen akışkan miktarının azalmasıdır.



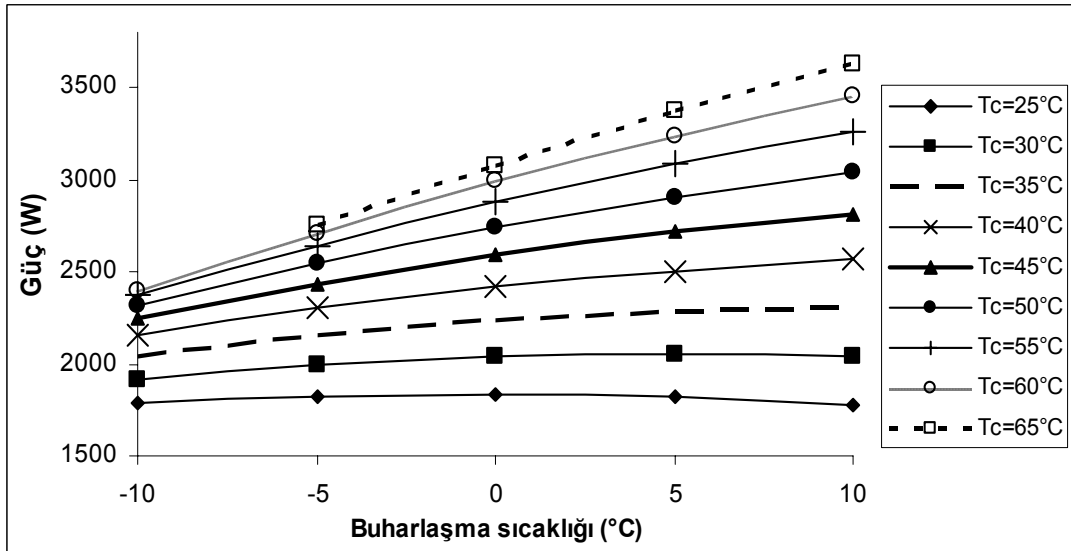
Şekil 2. Pistonlu Hermetik Kompresör İsentropik Veriminin Basınç Oranına Bağlı Değişimi

Pistonlu hermetik kompresörlerde basınç oranının artması ile birlikte hacimsel verimin azalması beklenir. Bu beklentinin nedeni, silindir ölü hacmi içinde bir önceki sıkıştırmadan kalan gaz miktarının basınç oranı ile artmasıdır. Şekil 3' te hacimsel verimin artan yoğuşma sıcaklıklarında beklentiye uygun olarak azaldığı görülmektedir.



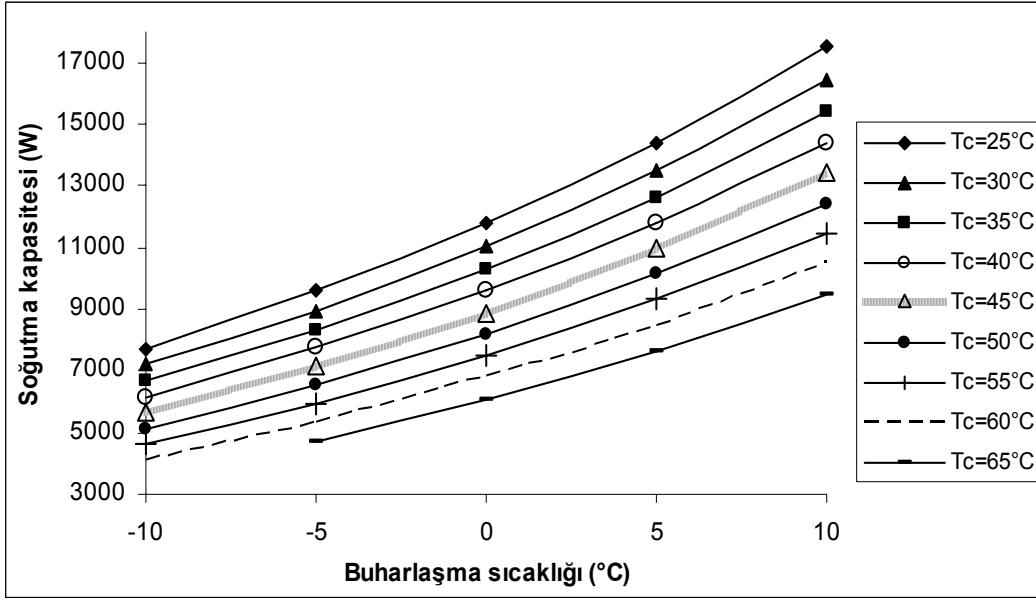
Şekil 3. Pistonlu Hermetik Kompresör Hacimsel Veriminin Yoğuşma Sıcaklığı İle Değişimi

Kompresör tarafından çekilen güç buharlaşma sıcaklığının artışı ile artmaktadır (Şekil 4). Buharlaşma sıcaklığının artması ile birlikte sıkıştırma oranı bir miktar azalmakta, fakat emiş hacmindeki artışın bundan fazla olması nedeni ile kompresör gücü artmakta veya sabit kalmaktadır. Artan yoğuşma sıcaklıklarında ise, çıkış basıncının artması kompresörün çektiği gücün artmasına neden olmaktadır.



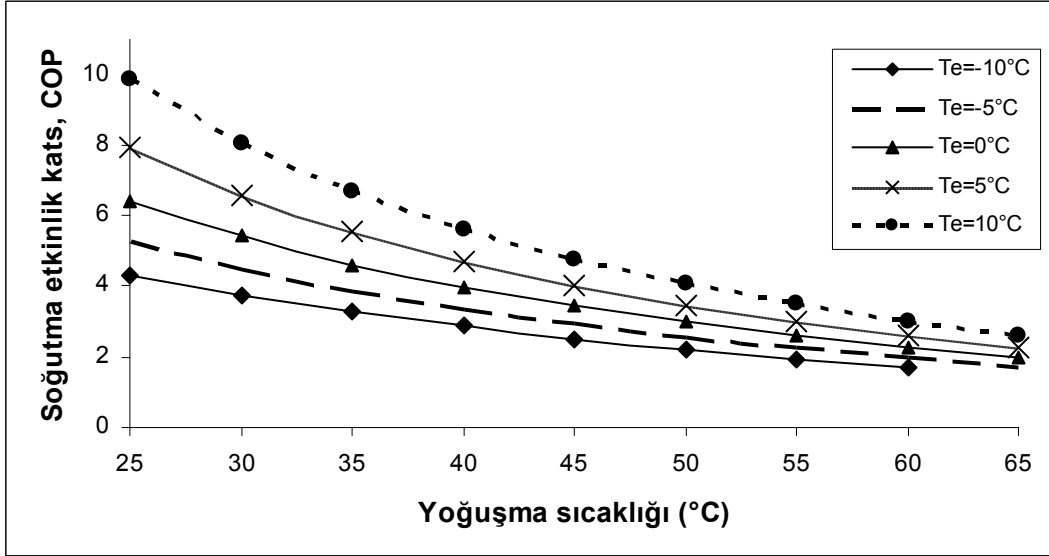
Şekil 4. Pistonlu Hermetik Kompresörün Harcadığı Gücün Buharlaşma Sıcaklığı İle Değişimi

Buharlaşma sıcaklığının yükselmesi ve yoğuşma sıcaklığının düşmesi ile birim soğutucu akışkan kütlelerinin yaptığı soğutma işi artar. Buharlaşma sıcaklığı ve emiş basıncının artması aynı zamanda soğutucu akışkan kütleli dolaşım hızını da arttırmaktadır. Sonuç olarak, artan buharlaşma sıcaklıklarında soğutma kapasitesi hızla artmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Soğutma Kapasitesinin Buharlaşma Sıcaklığı İle Değişimi

Şekil 6' da soğutma etkinlik katsayısının yoğuşma sıcaklığına bağlı değişimi gösterilmiştir. Yoğuşma sıcaklığının artması soğutma kapasitesini düşürüp, kompresör gücünü arttırdığından soğutma etkinlik katsayısının azalmasına neden olur.



Şekil 6. Pistonlu Hermetik Kompresörde Soğutma Etkinlik Katsayısının Yoğuşma Sıcaklığı İle Değişimi

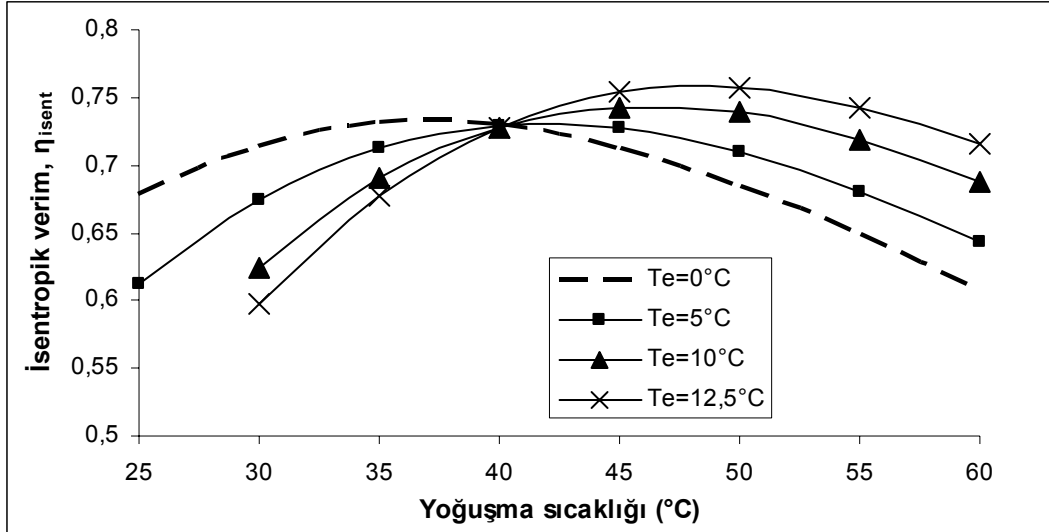
## 2.2 Scroll Kompresörün Performans Eğrilerinin İncelenmesi

Scroll kompresörün performans eğrilerini oluşturmak için Copeland marka ZB26KCE-TF5 model scroll kompresör seçilmiştir. Kompresör devri 2950 devir/dakika, voltajı 200/220 v, frekansı 50 Hz ve fazı 3' tür. Kompresörün 0°C buharlaşma sıcaklığı için performans değerleri tablo 3'te verilmiş, diğer buharlaşma sıcaklıkları için olan değerler grafiklerde kullanılmıştır.

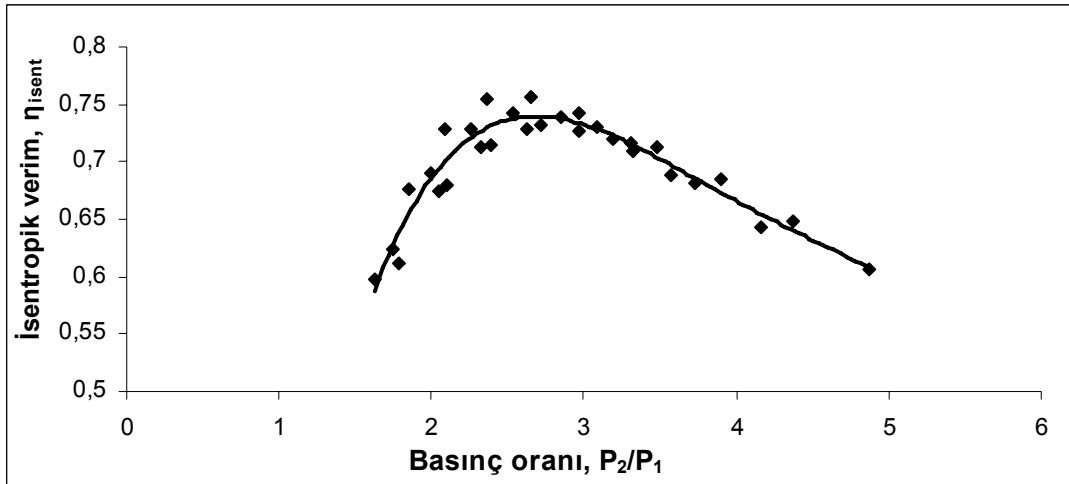
**Tablo 3.** Copeland ZB26KCE-TF 5 Model Scroll Kompresörün Performans Verileri

R-22	Yoğuşma Sıcaklıkları							
	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C
Buharlaştırma Sıcaklığı 0°C								
$Q_e$ (Watt)	10000	9600	9200	8800	8350	7850	7400	6900
W (Watt)	1550	1740	1950	2190	2460	2780	3140	3550
COP	6,45	5,52	4,72	4,02	3,39	2,82	2,36	1,94
$\dot{V}$ (m <sup>3</sup> /h)	9,85	9,81	9,74	9,64	9,51	9,38	9,22	9,03
$\eta_{isent}$	0,679	0,715	0,732	0,73	0,713	0,685	0,649	0,606
$P_{basma}$ (MPa)	1,044	1,192	1,355	1,534	1,729	1,942	2,174	2,427
$P_{emiş}$ (MPa)	0,498	0,498	0,498	0,498	0,498	0,498	0,498	0,498
$P_2/P_1$	2,10	2,40	2,72	3,08	3,47	3,90	4,37	4,88
Kompresör emiş gaz sıcaklığı: 18,3°C    Aşırı soğutma miktarı: 0°C								

İlk olarak isentropik verimin, yoğuşma sıcaklığına bağlı değişimi ele alınmıştır. Tıpkı pistonlu hermetik kompresörde olduğu gibi, scroll kompresörün isentropik verimi, belirli bir pik noktaya kadar artış göstermiş, ardından inişe geçmiştir (Şekil 7).

**Şekil 7.** Scroll Kompresörde İsentropik Verimin Yoğuşma Sıcaklığı İle Değişimi

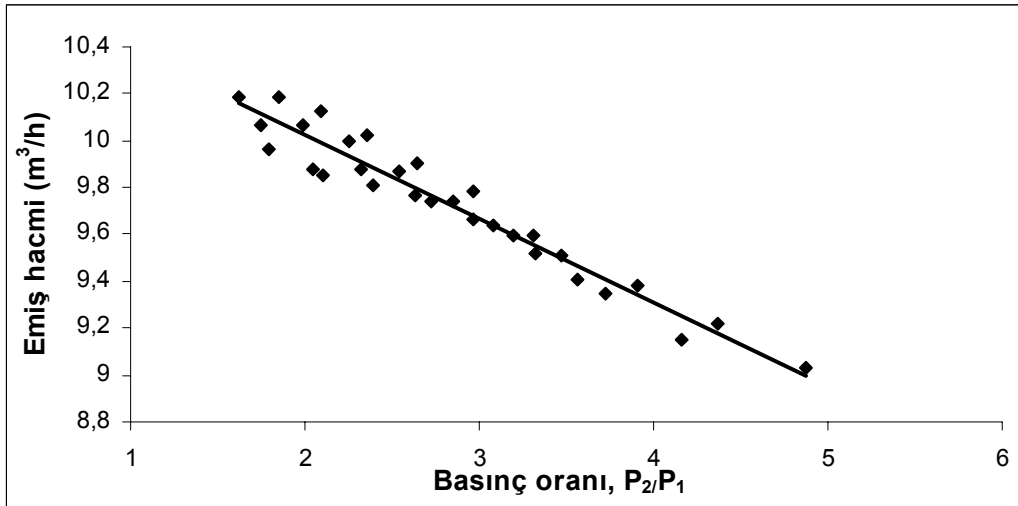
İsentropik verimin basınç oranına bağlı olarak gösterimi Şekil 8' deki gibidir. Scroll kompresörde, emme ve basma klapeleri ve sıkıştırma sonu ölü hacim bulunmamasına rağmen, pistonlu kompresörde olduğundan daha belirgin olarak, basınç oranının artması ile birlikte isentropik verim eğrisi önce artmış, sonra düşüğe geçmiştir.



Şekil 8. Scroll Kompresör İsentropik Veriminin Basınç Oranına Bağlı Değişimi

Göz önüne alınan modeller için pistonlu kompresörün isentropik verimi basınç oranına bağlı olarak %60-70 aralığında değişirken, aynı aralıkta scroll kompresörün verimi %60-75 arasında değişmektedir. Düşük basınç oranlarındaki verim artışı, kompresörde sıkıştırma yapılmaya bile bir takım sabit kayıpların olduğu şeklinde yorumlanabilir. Bu kayıpların hangi sebeplerden ileri geldiği burada araştırılmamıştır.

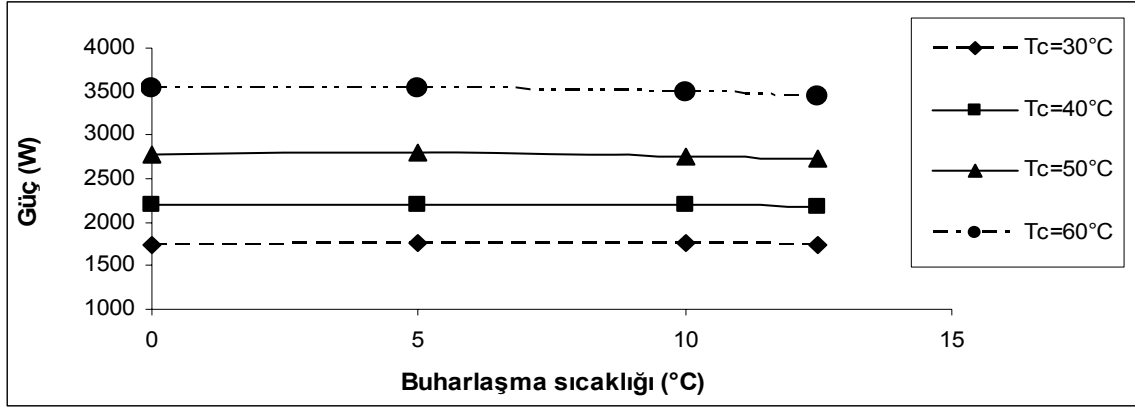
Basınç oranı arttıkça emiş hacmi doğrusal bir şekilde azalmaktadır (Şekil 9). Ele alınan modelde basınç oranının 1,53' ten 5' e artması ile emiş hacmi % 12 azalmıştır. Aynı basınç oranı değişimi için pistonlu kompresörlerde emiş hacmi kaybı ise %30 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 9. Scroll Kompresörde Emiş Hacminin Basınç Oranı İle Değişimi

Şekil 10' da, kompresör gücünün yoğunlaşma ve buharlaşma sıcaklıkları ile değişimi verilmiştir. Pistonlu kompresörlerin tersine olarak kompresörün harcadığı gücün artan buharlaşma sıcaklığı ile artmadığı ve hemen hemen sabit kaldığı görülür. Bu durum, emiş hacmi ve kütleli debinin, pistonlu kompresörlerdeki kadar değişmemesi ile açıklanabilir.





Şekil 10. Scroll Kompresörün Gücünün Buharlaşma Sıcaklığına Bağlı Değişimi

### 2.3 Pistonlu Yarı Hermetik Kompresörün Performans Eğrilerinin İncelenmesi

Pistonlu yarı hermetik kompresörün performans grafiklerini oluşturmak için Copeland Copelametic marka 66 kW kapasiteli 4RJ1-3000-ESL model kompresör seçilmiştir. Kompresörün elektriksel ve mekanik verileri tablo 4' de ve performans değerleri tablo 5'de verilmiştir. Diğer buharlaşma sıcaklıkları için kullanılan performans değerlerine kompresör kataloğundan ulaşılmıştır.

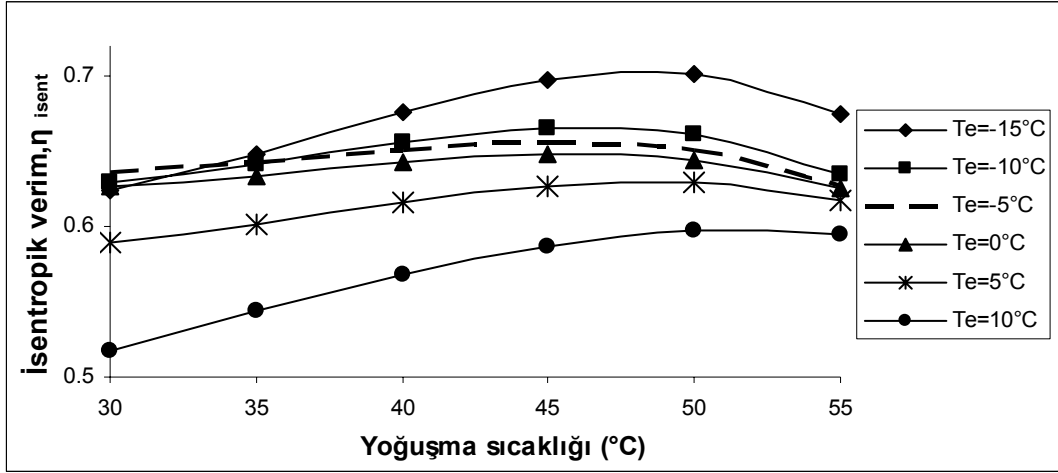
Tablo 4. Pistonlu Yarı Hermetik Kompresörün Mekanik ve Elektriksel Verileri

Copelametic Pistonlu Hermetik Kompresör			
Model	Piston Sayısı	Silindir Boyu	Silindir Çapı
4RJ1-3000-ESL	4	5.55cm	7.46 cm
Voltaj	Faz	Frekans	Devir
200/220v	3	50 Hz	2950 dev/dk
Geometrik Deplasman: 84,588 m <sup>3</sup> /h			

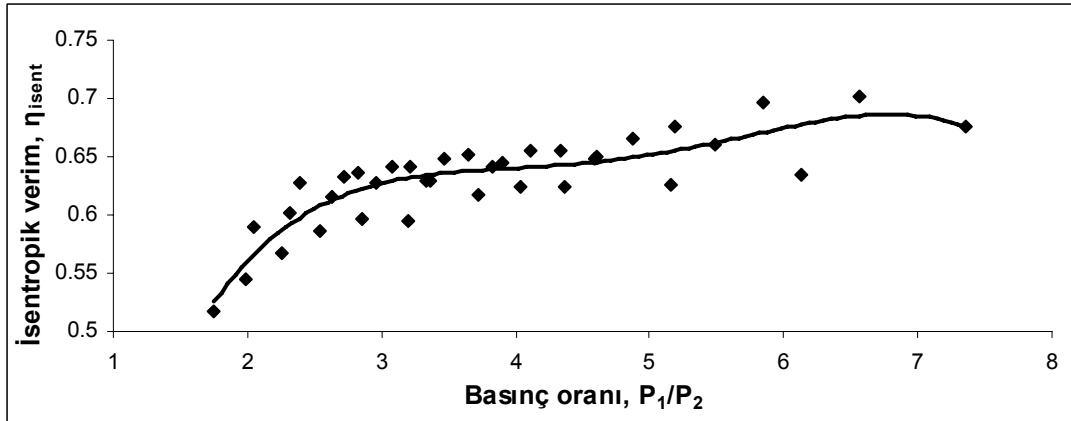
Tablo 5. Copelametic 4RJ1-3000-ESL Yarı Hermetik Kompresörün Performans Değerleri

R-22	Yoğuşma Sıcaklıkları						
	Buharlaşma Sıcaklığı 0°C	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C
Q <sub>e</sub> (kW)		74,5	69,5	64,5	59,5	54,5	49,5
W (kW)		15,4	17	18,2	19,3	20,4	21,8
COP		4,84	4,09	3,54	3,08	2,67	2,27
Ḃ (m <sup>3</sup> /h)		76,2	73,22	70,62	67,83	64,85	61,5
η <sub>isent</sub>		0,627	0,633	0,642	0,648	0,644	0,625
P <sub>2</sub> /P <sub>1</sub>		2,39	2,72	3,08	3,47	3,90	4,37
η <sub>v</sub>		0,90	0,87	0,83	0,80	0,77	0,73
Kompresör emiş gaz sıcaklığı= 18,3°C		Aşırı soğutma= 0°C					

İsentropik verim-yoğuşma sıcaklığı grafiğinden (Şekil 11), bundan önceki iki tip kompresörde olduğu gibiisentropik verimin belirli bir tepe noktasından sonra inişe geçtiği, ancak eğimin daha yatık olduğu görülür. Genel bir ifade olarak, düşük buharlaşma sıcaklıkları ve artan basınç oranları için yarı hermetik kompresörlerin daha uygun olduğu veisentropik verimin yüksek basınç oranlarında yaklaşık sabit kaldığı belirtilebilir (şekil-12).

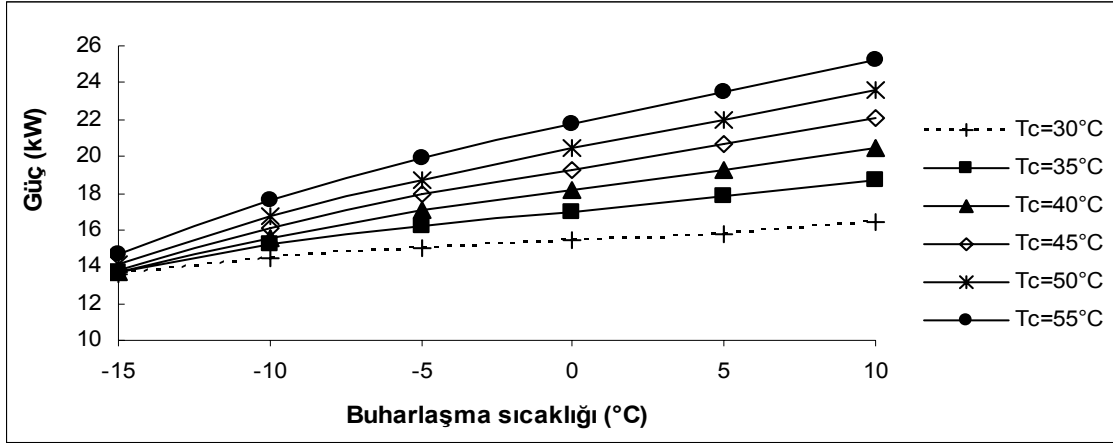


Şekil 11. Pistonlu Yarı Hermetik Kompresörün İsentropik Verim- Yoğuşma Sıcaklığı Değişimi



Şekil 12. Pistonlu Yarı Hermetik Kompresörde İsentropik Verimin Basınç Oranına Bağlı Değişimi

Güç-yoğuşma sıcaklığı grafiği, hermetik pistonlu kompresörün grafiği ile benzer özellik gösterir (Şekil 13). Kompresörün harcadığı güç, buharlaşma sıcaklığı arttıkça artmaktadır. Yoğuşma sıcaklığının yükselmesi de kompresörün harcadığı gücü arttıran diğer bir etkidir.

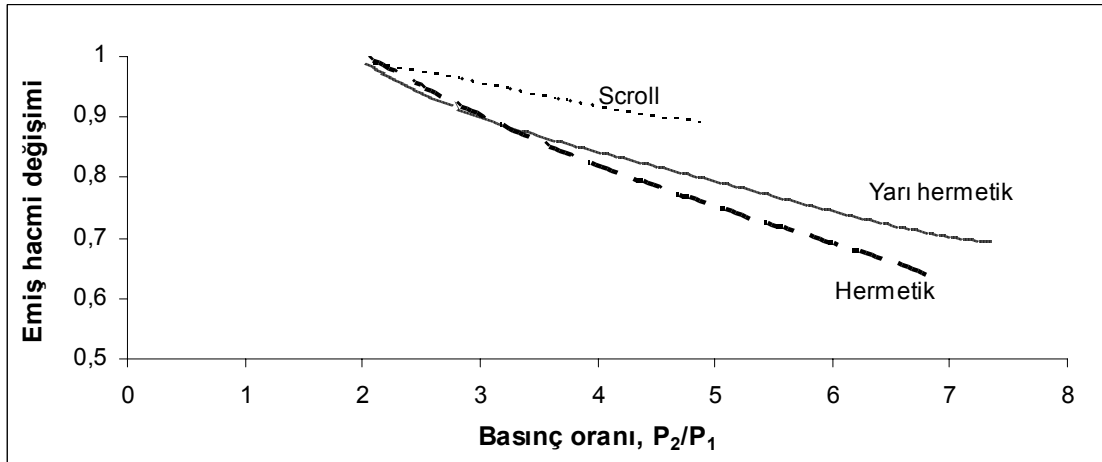


Şekil 13. Yarı Hermetik Kompresör Gücünün Buharlaşma Sıcaklığına Bağlı Değişimi

## 2.4 Scroll, Hermetik ve Yarı Hermetik Pistonlu Kompresörlerin Performanslarının Bir Arada Değerlendirilmesi

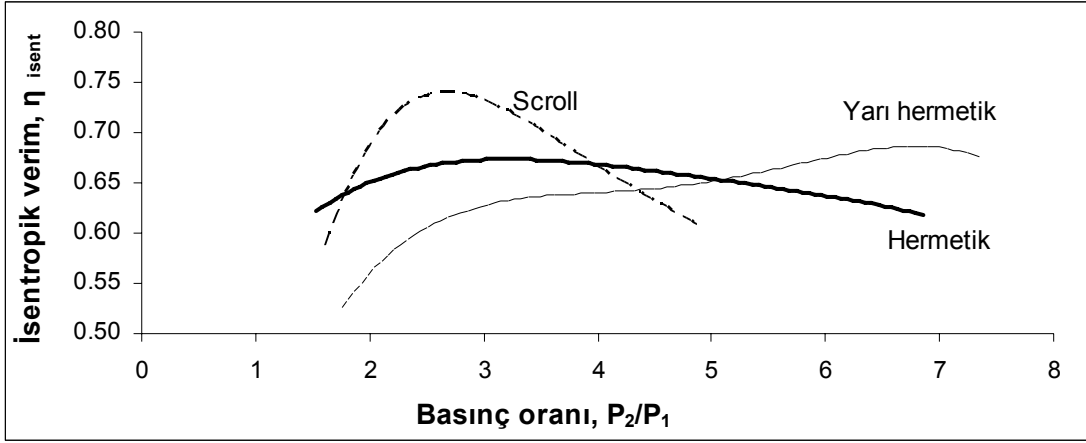
Daha önceki kısımlarda ayrı ayrı gösterilen performans eğrilerinden bazıları burada bir arada verilmiştir. Şimdiye kadar incelenen scroll, hermetik ve yarı hermetik pistonlu kompresörlerin performans değişimi bir arada gösterilerek aralarındaki farklılıklara vurgu yapılmıştır.

Emiş hacminin basınç oranı ile değişimi daha önceki kısımlarda ele alınmıştı. Şekil 14; scroll, hermetik ve yarı hermetik kompresörlerin artan basınç oranları ile oransal olarak emiş hacimdeki değişimi vermektedir. Scroll kompresörün, kendi basınç oranı aralığında diğer iki tip kompresörden çok daha az emiş hacmi kaybına uğradığı görülür. Basınç oranı yükseldikçe hermetik kompresör daha fazla emiş hacmi değişimine maruz kaldığından hermetik - yarı hermetik farkı belirgin hale gelir.



Şekil 14. Farklı Tip Kompresörlerin Emiş Hacimlerinin Basınç Oranı İle Değişimi

Scroll kompresörler, basınç oranının 2 ile 4 aralığında olduğu durumlarda daha yüksek izentropik verime çıkmaktadır (Şekil 15). Buna karşın, basınç oranının artması ile scroll kompresörün verimi düşmekte, basınç oranının beş ve üzerinde olduğu durumlarda, yarı hermetik kompresörler en verimli olmaktadır. Bu nedenle scroll kompresörler düşük buharlaşma sıcaklıklarında tercih edilmemekte ve yarı-hermetik kompresörler avantajlı duruma geçmektedirler.

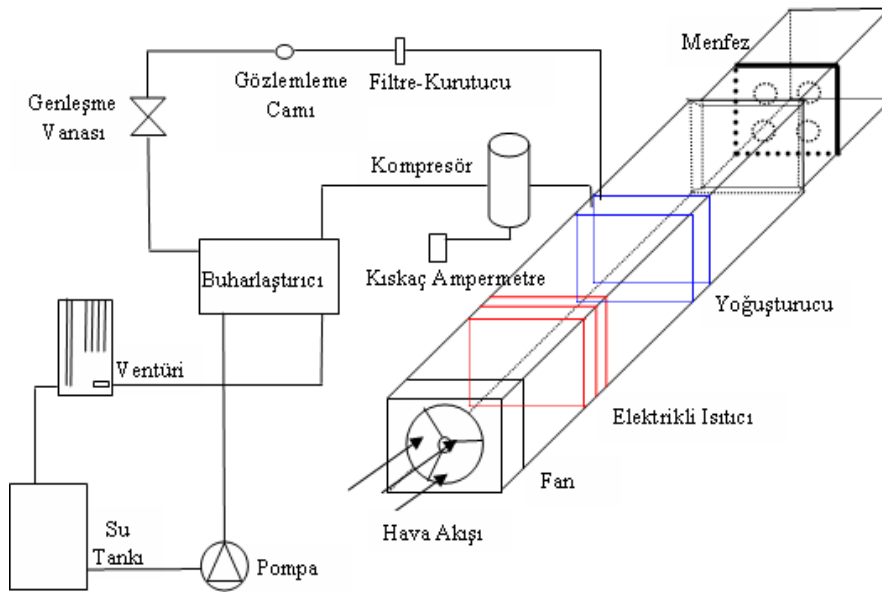


Şekil 15. Farklı Tip Kompresörlerin İsentropik Verimlerinin Basınç Oranı Değişimi

### 3. DENEY SONUÇLARI İLE KATALOGLARDAN ELDE EDİLEN VERİLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde scroll tip soğutma kompresörünün katalog değerleri ile deney sonuçlarının tablolar ve grafikler yardımıyla karşılaştırılması amaçlanmıştır. Kullanılan deney düzeneği Sunu [5] tarafından tez çalışması sırasında geliştirilmiş olup burada da ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Deney düzeneğinde temel olarak, Copeland ZR 28K3-PFJ-522 model scroll kompresör, su soğutmalı buharlaştırıcı, hava soğutmalı yoğuşturucu ve genişleme vanasından oluşan bir su soğutma gurubu kullanılmaktadır. Buharlaştırıcı (evaporatör) üzerinden su dolaşımının sağlandığı bir su tankı, su dolaşım pompası, yoğuşturucu üzerinden hava akışının sağlandığı hava kanalı, hava fanı ve havanın sıcaklığını kontrol etmekte kullanılan ısıtıcılar deney düzeneğini tamamlamaktadır (Şekil 16).



Şekil 16. Deney Düzeneğinin Şematik Gösterimi [6].

Deney düzeneği üzerinde muhtelif noktaların sıcaklıkları veri toplama ünitesine bağlı T-tipi ısı çiftler kullanılarak ölçülmüştür. Kompresörün akımı kısaç ampermetre üzerinden geçilerek gücü ölçülmüştür. Buharlaştırıcı (evaporatör) üzerinden geçen su debisi ventürideki basınç düşümünden hesaplanmış, yoğuşturucu üzerinden geçen hava debisi ise kanal üzerine yerleştirilen debi ölçer nozullardaki basınç düşümünden hesaplanmıştır. Soğutma sisteminde kullanılan soğutkan R-134a'dır. Kompresör çıkışında yağ ayırıcı mevcut olmayıp, yağ soğutma devresinde dolaşmaktadır.

Deneyler dört farklı hava giriş sıcaklığında yapılmıştır. Her bir deney öncesi tanktaki su sıcaklığının 20°C üzerinde bir değere ulaşması beklenmiş, deneyler sırasında su tarafı sıcaklığı değişikçe belirli aralıklarla ölçüm yapılmıştır. Tanktaki su kütlesi yaklaşık 1000 kg olup, sıcaklığın azalma hızı saatte 3°C kadardır. Deneylerde kompresör gücü elektrik akımından ölçülmüş, yoğuşturucu yükü ise yoğuşturucu üzerinden geçen hava debisi ve sıcaklık farkından hesaplanmıştır. Soğutucu akışkan kütleli dolaşım hızı, soğutucu akışkanın yoğuşturucuya giriş ve çıkışındaki entalpi farkından hesaplanmıştır. Buharlaştırıcı yükü yoğuşturucu yükü ile kompresör gücü arasındaki farktan hesaplanmış, su debisinden hesaplanan soğutma yükü karşılaştırma amacı ile kullanılmıştır.

Ölçümün yapıldığı Scroll kompresörün katalog değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Katalogda verilen performans değerleri, 0°C aşırı soğuma ve 10°C kızgınlık durumu için geçerlidir. Farklı hava giriş sıcaklıkları için elde edilen deney sonuçları ise Tablo 7, 8, 9 ve 10'da verilmiştir. Yapılan deneylerde kızgınlık ve aşırı soğuma değerleri 3°C ile 6°C arasında değişmektedir. Deney düzeneğinde standart yöntemin aksine olarak yağ ayırıcı bulunmamaktadır. Tüm bunlara karşın, aynı yoğuşma ve buharlaşma basınçları için kompresörün katalog ve deney performanslarının yakın olması beklenmelidir.

**Tablo 6.** Copeland ZR 28K3-PFJ-522 Model Scroll Kompresör Katalog Verileri

R-134a		Yoğuşma Sıcaklıkları			
Buharlaştırma Sıcaklıkları		30°C	40°C	50°C	70°C
-5°C	$Q_e$ (kW)	3,4	3,05	2,67	
	$W$ (kW)	0,91	1,12	1,37	
	COP	3,74	2,72	1,95	
	$\dot{V}$ (m <sup>3</sup> /h)	6,54	6,44	6,29	
	$\eta_{isent}$	0,579	0,577	0,544	
	$P_2$ (MPa)	0,7702	1,017	1,318	
	$P_1$ (MPa)	0,2433	0,2433	0,2433	
	$P_2/P_1$	3,17	4,18	5,42	
0°C	$Q_e$ (kW)	4,2	3,75	3,35	2,36
	$W$ (kW)	0,9	1,13	1,37	2,21
	COP	4,67	3,32	2,45	1,07
	$\dot{V}$ (m <sup>3</sup> /h)	6,64	6,5	6,46	5,99
	$\eta_{isent}$	0,593	0,6	0,595	0,45
	$P_2$ (MPa)	0,7702	1,017	1,318	2,117
	$P_1$ (MPa)	0,2928	0,2928	0,2928	0,2928
	$P_2/P_1$	2,63	3,47	4,50	7,23
5°C	$Q_e$ (kW)	5,15	4,65	4,1	3
	$W$ (kW)	0,9	1,13	1,38	2,19
	COP	5,72	4,12	2,97	1,37
	$\dot{V}$ (m <sup>3</sup> /h)	6,74	6,66	6,52	6,24
	$\eta_{isent}$	0,586	0,625	0,624	0,509
	$P_2$ (MPa)	0,7702	1,017	1,318	2,117
	$P_1$ (MPa)	0,3497	0,3497	0,3497	0,3497
	$P_2/P_1$	2,20	2,91	3,77	6,05
10°C	$Q_e$ (kW)	6,25	5,65	5,05	3,7
	$W$ (kW)	0,89	1,13	1,38	2,18
	COP	7,02	5,00	3,66	1,70
	$\dot{V}$ (m <sup>3</sup> /h)	6,814	6,73	6,66	6,34
	$\eta_{isent}$	0,551	0,622	0,65	0,552
	$P_2$ (MPa)	0,7702	1,017	1,318	2,117
	$P_1$ (MPa)	0,4146	0,4146	0,4146	0,4146
	$P_2/P_1$	1,86	2,45	3,18	5,11
Kızdırma derecesi= 10°C, Aşırı Soğutma=0°C					

**Tablo 7.** 23°C Hava Giriş Sıcaklığında Deneysel Veriler

Sonuçlar	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Yoğuşturucu Kapasitesi (kW)	5,511	5,449	5,514	5,369	5,296	5,292	5,195	5,320	4,991
Buharlaştırıcı Kapasitesi (Soğutma Kapasitesi) (kW)	4,210	4,122	4,187	4,044	3,990	3,985	3,892	4,038	3,728
Kompresör Gücü (kW)	1,301	1,327	1,327	1,325	1,306	1,307	1,303	1,282	1,263
Soğutkan Kütleli Debi (kg/s)	0,030	0,028	0,028	0,027	0,027	0,027	0,026	0,026	0,024
İsentropik Verim ( $\eta_{isent}$ )	0,658	0,587	0,565	0,536	0,543	0,540	0,542	0,526	0,519
Kompresör Emiş Hacmi ( $m^3/h$ )	6,713	6,597	6,769	6,649	6,658	6,885	6,890	7,221	6,829
Soğutma Etkinlik Katsayısı (COP)	3,236	3,106	3,155	3,052	3,055	3,049	2,987	3,149	2,951
Yoğuşma Sıcaklığı (°C)	44,330	45,000	44,670	44,000	43,660	44,000	42,970	42,270	42,270
Buharlaşma Sıcaklığı (°C)	3,544	2,723	1,882	1,241	0,718	-0,379	-1,053	-2,037	-2,368
Kızdırma Derecesi (°C)	4,878	4,845	5,063	4,813	4,937	4,955	5,574	6,099	5,553
Aşırı Soğutma (°C)	2,231	3,260	3,163	2,866	2,974	3,175	2,799	2,522	2,473
Basınç Oranı ( $P_2/P_1$ )	3,461	3,625	3,703	3,723	3,760	3,947	3,939	4,010	4,060
Hava Kütleli Debi 0,9350 kg/s, Su Kütleli Debi 0,5682 kg/s									

**Tablo 8.** 27 °C Hava Giriş Sıcaklığındaki Deneysel Veriler

Sonuçlar	1	2	3	4	5	6	7
Yoğuşturucu Kapasitesi (kW)	5,851	5,756	5,712	5,500	5,028	4,985	4,976
Buharlaştırıcı Kapasitesi (Soğutma Kapasitesi) (kW)	4,407	4,340	4,307	4,114	3,638	3,571	3,595
Kompresör Gücü (kW)	1,444	1,416	1,405	1,386	1,390	1,414	1,381
Soğutkan kütleli debisi (kg/s)	0,031	0,030	0,029	0,028	0,025	0,025	0,025
İsentropik Verim ( $\eta_{isent}$ )	0,580	0,540	0,543	0,535	0,534	0,517	0,517
Kompresör Emiş Hacmi ( $m^3/h$ )	6,374	6,427	6,686	6,590	6,549	6,599	6,794
Soğutma Etkinlik Katsayısı (COP)	3,052	3,065	3,065	2,968	2,617	2,526	2,603
Yoğuşma Sıcaklığı (°C)	48,840	47,910	47,590	46,960	45,000	44,670	44,000
Buharlaşma Sıcaklığı (°C)	6,543	5,094	3,407	2,477	-0,418	-1,150	-2,247
Kızdırma Derecesi (°C)	4,638	4,832	4,740	4,928	5,153	4,808	4,876
Aşırı Soğutma (°C)	3,130	2,831	3,035	2,916	2,943	2,605	2,611
Basınç Oranı ( $P_2/P_1$ )	3,498	3,592	3,780	3,844	4,057	4,131	4,227
Hava Kütleli Debi 0,9196 kg/s, Su Kütleli Debi 0,5660 kg/s							

**Tablo 9.** 34 °C Hava Giriş Sıcaklığındaki Deneysel Veriler

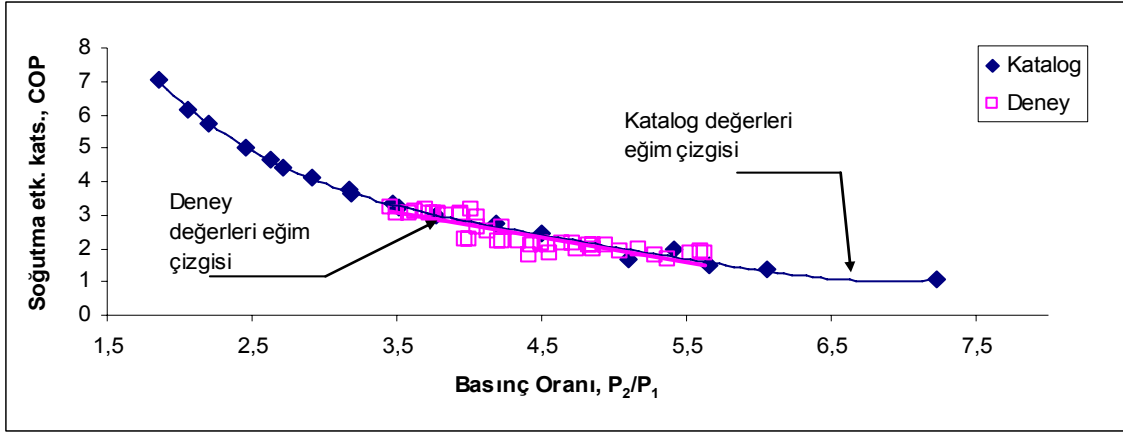
Sonuçlar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Yoğuşturucu Kapasitesi (kW)	5,631	5,758	5,731	5,587	5,569	5,331	5,365	5,147	5,154	5,138	4,907	4,826	4,741
Buharlaştırıcı Kapasitesi (Soğutma Kapasitesi) (kW)	3,904	4,004	3,961	3,838	3,849	3,608	3,673	3,474	3,529	3,499	3,304	3,252	3,214
Kompresör Gücü (kW)	1,727	1,754	1,770	1,749	1,720	1,723	1,692	1,673	1,625	1,639	1,603	1,574	1,527
Soğutkan kütleli debisi (kg/s)	0,031	0,031	0,030	0,029	0,029	0,027	0,027	0,026	0,026	0,026	0,024	0,024	0,023
İsentropik Verim ( $\eta_{isent}$ )	0,602	0,564	0,531	0,510	0,511	0,511	0,506	0,502	0,503	0,498	0,495	0,500	0,493
Kompresör Emiş Hacmi (m <sup>3</sup> /h)	6,181	6,231	6,322	6,164	6,325	6,141	6,338	6,153	6,363	6,413	6,323	6,424	6,313
Soğutma Etkinlik Katsayısı (COP)	2,261	2,283	2,238	2,195	2,238	2,094	2,171	2,076	2,172	2,135	2,061	2,066	2,105
Yoğuşma Sıcaklığı (°C)	54,960	55,230	55,230	54,900	54,490	54,460	53,790	53,280	52,570	52,420	51,700	51,020	50,060
Buharlaşma Sıcaklığı (°C)	7,255	7,270	5,801	5,355	4,306	3,732	2,792	2,221	1,086	0,561	-0,532	-1,640	-1,868
Kızdırma Derecesi (°C)	3,419	3,342	3,809	3,380	3,795	3,570	3,932	3,934	4,175	4,009	4,273	4,184	3,993
Aşırı Soğutma (°C)	3,576	3,520	3,873	4,124	4,053	4,294	4,189	4,046	4,154	4,259	3,946	4,338	4,207
Basınç Oranı ( $P_2/P_1$ )	3,969	3,994	4,200	4,232	4,346	4,429	4,506	4,541	4,647	4,719	4,822	4,937	4,863
Hava Kütleli Debisi 0,8934 kg/s, Su Kütleli Debisi 0,5682 kg/s													

**Tablo 10.** 40 °C Hava Giriş Sıcaklığındaki Deneysel Veriler

Sonuçlar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Yoğuşturucu Kapasitesi (kW)	5,545	5,867	6,145	6,140	5,822	5,841	5,459	5,217	5,330	5,483	5,369
Buharlaştırıcı Kapasitesi (Soğutma Kapasitesi) (kW)	3,572	3,813	4,062	4,092	3,840	3,882	3,512	3,284	3,441	3,590	3,501
Kompresör Gücü (kW)	1,973	2,054	2,083	2,048	1,982	1,959	1,947	1,933	1,889	1,893	1,868
Soğutkan kütleli debisi (kg/s)	0,032	0,032	0,033	0,032	0,030	0,030	0,028	0,026	0,027	0,027	0,026
İsentropik Verim ( $\eta_{isent}$ )	0,584	0,521	0,498	0,490	0,487	0,483	0,480	0,470	0,471	0,468	0,462
Kompresör Emiş Hacmi (m <sup>3</sup> /h)	5,976	6,103	6,511	6,604	6,479	6,698	6,412	6,187	6,535	6,762	6,712
Soğutma Etkinlik Katsayısı (COP)	1,810	1,856	1,950	1,998	1,937	1,982	1,804	1,699	1,821	1,896	1,874
Yoğuşma Sıcaklığı (°C)	61,590	62,820	62,660	62,220	61,620	60,850	60,410	60,080	59,480	59,400	58,680
Buharlaşma Sıcaklığı (°C)	8,767	8,640	7,340	6,376	4,921	3,664	2,714	2,061	0,903	0,496	-0,161
Kızdırma Derecesi (°C)	2,591	1,950	2,416	2,443	2,437	2,601	3,054	2,564	3,010	2,783	2,777
Aşırı Soğutma (°C)	2,746	3,673	3,938	4,215	4,598	4,710	4,525	5,089	4,923	5,170	5,284
Basınç Oranı ( $P_2/P_1$ )	4,414	4,562	4,749	4,860	5,039	5,172	5,293	5,376	5,524	5,595	5,634
Hava Kütleli Debisi 0,8774 kg/s, Su Kütleli Debisi 0,5682 kg/s											

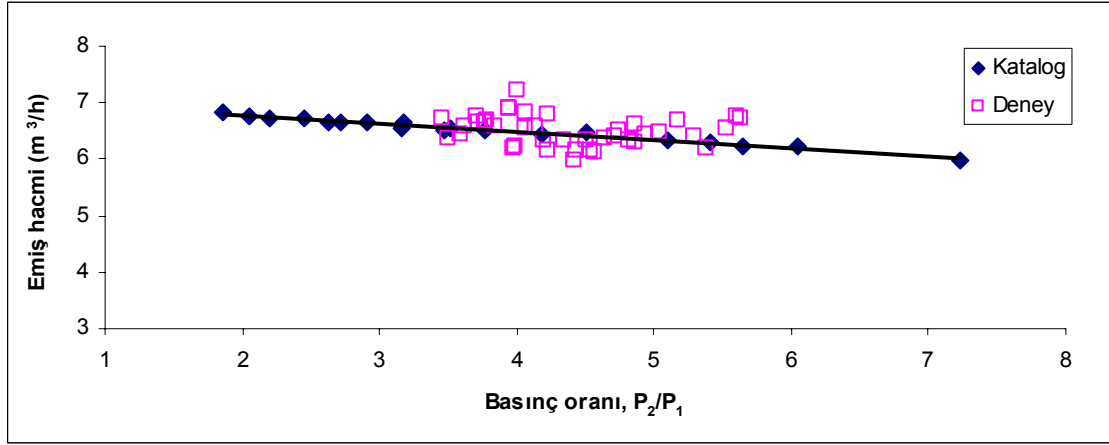
Soğutma etkinlik katsayısının basınç oranı ile değişimi Şekil 17'de verilmiştir. Grafiğe bakıldığında katalog değerlerinin deneylerle bire bir uyumlu olduğu görülmektedir.





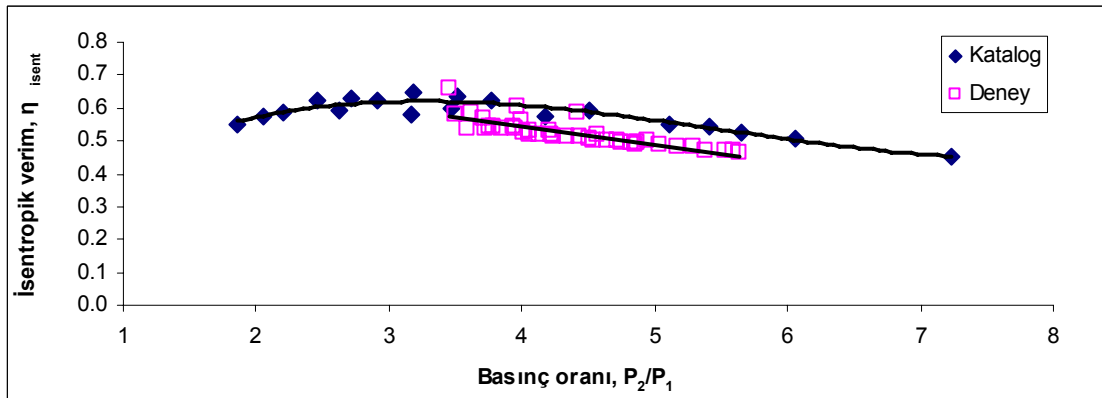
Şekil 17. Soğutma Etkinlik Katsayısının Basınç Oranı İle Değişimi

Emiş hacminin artan basınç oranı ile değişimi için yapılan deney sonuçları yine katalog değerleri ile uyumludur (Şekil 18).



Şekil 18. Emiş Hacminin Basınç Oranı İle Değişimi

Son olarak kompresör gücü ve isentropik verimin değişimi incelenmiştir (Şekil-19). Deney sonuçlarından hesaplanan isentropik verim katalog değerlerinden biraz daha düşüktür.



Şekil 19. İsentropik Verim – Basınç Oranı Değişimi

Deneylerde kondenser çıkışında küçüğe olsa bir aşırı soğuma olması, soğutma kapasitesini artırıcı yönde etki etmiştir. Kızgınlık değerinin katalog değerlerinden küçük olması ise, soğutma kapasitesini azaltmakla birlikte, kompresöre verilmesi gereken gücü de azaltmalıdır. Sonuç olarak, katalog ve deneylerden hesaplanan soğutma kapasiteleri uyumludur. Ancak kompresör gücü, olması gerekenden bir miktar fazla ve isentropik verim bir miktar düşük olarak ölçülmüştür.

## 5. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, farklı marka ve modelde kompresörlerin çalışma şartlarına bağlı olarak performans değişimlerinin araştırılması amaçlanmıştır. Kompresör kataloglarında, farklı çalışma şartlarındaki soğutma kapasitesi ve güç tüketimi verilmiştir. Bu değerlerden hareketle soğutma etkinlik katsayısı, emiş hacmi, isentropik verim, sıkıştırma oranı hesaplanmış ve grafiklere aktarılmıştır.

Sıkıştırma basınç oranının artması ile birlikte kayıplar nedeni ile kompresör emiş hacimleri azalmakta ve soğutma kapasitesi düşmektedir. Scroll kompresörlerde emiş hacmindeki kayıp pistonlu kompresörlere göre daha azdır. Bu durumun nedeni scroll kompresörlerde emme ve basma valflerinin bulunmaması, emme ve boşaltma ağızlarının daha geniş olması, emme ve boşaltma süreçlerinin fiziksel olarak çok iyi ayrılması ve ölü hacmin olmamasıdır. Klima amaçlı soğutma uygulamalarında dış sıcaklığın değişimine bağlı kapasite kaybı scroll kompresörlerde daha az olmaktadır.

İncelenen soğutma kompresörlerinin isentropik verimi, sıkıştırma basınç oranının artması ile belli bir noktaya kadar artış gösterirken, bu noktadan sonra azalmaktadır. Scroll kompresörlerin çalışma aralığında isentropik verim %60 – 75 aralığında değişirken, pistonlu hermetik kompresörlerde %60 – 70 aralığındadır. Artan basınç oranları ile birlikte isentropik verimdeki önce artış sonra düşüş eğilimi scroll kompresörlerde pistonlu kompresörlerden daha belirgin şekilde gerçekleşmektedir. Pistonlu yarı hermetik kompresörlerde ise isentropik verim, belli bir basınç oranından sonra azalmayıp sabit kalabilmektedir. Genel bir ifade olarak scroll kompresörler, düşük basınç oranlarında en yüksek isentropik verime sahip olup, basınç oranı arttıkça verimi düşmektedir. Yüksek sıkıştırma oranlarının gerektiği derin soğutma uygulamalarında ise, karşılaştırılan kompresörler içinde yüksek isentropik verimleri ile yarı hermetik pistonlu kompresörler öne çıkmışlardır.

Farklı markaların yayınladığı kataloglarda, yoğuşma ve buharlaşma basınçları, aşırı soğuma ve kızgınlık değerleri için tam bir uyum yoktur. Her firma farklı aşırı soğutma ve kızdırma değerlerinde kataloglarını hazırlamaktadır. Bu durum, farklı tip ve marka kompresörlerin performanslarını karşılaştırmayı zorlaştırmaktadır. Standart buharlaşma ve yoğuşma basınçlarının, aşırı soğutma ve kızdırma noktalarının tanımlanması bir ihtiyaç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Scroll tip soğutma kompresörünün deney sonuçları katalog değerleri ile karşılaştırılmıştır. Kataloglarda verilen soğutma etkinlik katsayılarına ve emiş hacmi değerlerine deneysel olarak da ulaşılabildiği görülmektedir. İsentropik verimin basınç oranı ile değişiminde ise katalog ve deney değerleri birbirine yakın seyretmektedir. Aradaki fark, katalogda verilen kızdırma ve aşırı soğutma değerlerinin deneyler sırasında sağlanamamasından kaynaklanmaktadır.

## TEŞEKKÜR

Test çalışmalarının yapıldığı deney düzeneği Dokuz Eylül Üniversitesi 2005 yılı KB-FEN-55 numaralı "Buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıklarının değişiminin soğutma çevrimi performansına etkisi" başlıklı proje kapsamında geliştirilmiştir. Yazarlar proje desteğinden ötürü kuruma teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

- [1] ASHRAE Hvac Systems and Equipment, "Compressors", Ashrae Handbook, 2000.
- [2] DUPREZ, M.E., DUMONT, E., FRERE, M., Modelling Of Reciprocating And Scroll Compressors, International Journal Of Refrigeration, 30, s.: 873-886, 2006.
- [3] RIGOLA, J., PEREZ-SEGARRA, C.D., OLIVA, A., Parametric Studies On Hermetic Reciprocating Compressors, International Journal Of Refrigeration, 28, s.:253-266, 2004.
- [4] CHEN, Y., HALM, J.P., GROLL, E.A., BRAUN, J.E., Mathematical Modelling Of Scroll Compressors- Part I: Compression Process Modelling, International Journal Of Refrigeration, 25, s.: 731-750, 2002.

- [5] SUNU, S., “Performance Change Of Cooling System Depending On Evaporation And Condensation Temperature”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.

## ÖZGEÇMİŞ

### Emirhan BAYIR

2006 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünü bitirdi. Aynı bölümden 2008 yılında Yüksek Lisans derecesini aldı. Tezinin konusu scroll ve pistonlu tip soğutma kompresörlerinin kapasite ve verimlerinin çalışma şartlarına bağlı değişimi ile ilgilidir.

### Serhan KÜÇÜKA

1983 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünü bitirdi. Aynı bölümden 1985 yılında Yüksek Lisans, 1993 yılında Doktora derecelerini aldı. 1990-1998 yılları arasında TÜPRAŞ İzmit ve İzmir rafinerilerinde borulama, depolama tanklarının imal ve yenilenmesi, pompa sistemleri, bina ısıtma sistemleri gibi muhtelif konularda proje mühendisi olarak çalıştı. Halen DEÜ Makina Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesidir. TESKON VIII. Ve IX. Kongrelerinde yürütme kurulu üyesi olarak görev almıştır. Çalışma konuları jeotermal ısıtma sistemleri, buhar sıkıştırımlı soğutma sistemleri ve akış ve ısı transferi problemlerinin sayısal çözümleridir.