

SAYISAL METODLARIN SOĞUTMA DÜNYASINA UYGULANMASI

4. STANDART SOĞUTMA ÇEVİRİMİ

Dr. M. Turhan Çoban
Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü
turhan.coban@ege.edu.tr

1. ÖZET

Sayısal metodları kullanarak standart soğutma çevriminin irdelenmesi detaylarıyla incelenmiş ve bu işlevi yapacak bilgisayar programının hazırlanması ile ilgili detaylar tanımlanmıştır. Bilgisayar programı `sogutmacevrimi.java` ve insan arayüzü programı `sogutmacevrimiTable.java` hazırlanmış ve sunulmuştur.

2. GİRİŞ

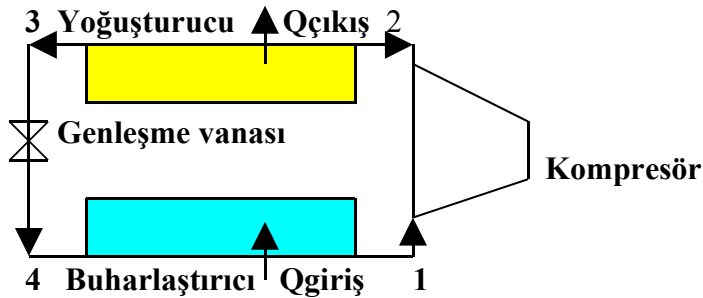
Soğutucu akışkanların termodinamik özelliklerinin nasıl hesaplanacağı konusunda serinin önceki yazılarında bilgi verilmişti. Bu sayımızda bu özellikleri kullanarak soğutma makinalarının büyük bir kısmının temelini oluşturan standart soğutma çevrimini nasıl hesaplayabileceğimizi inceleyeceğiz.

Soğutma makinaları bir bölgeyi çevre sıcaklığının altında tutmak için kullanılan sistemlerdir. Bu tür sistemlerde tek fazlı akışkan kullanılabilir gibi iki fazlı akışkanlar da kullanılabilir. Genelde soğutma uygulamaları, yiyeceklerin saklanması, binaların soğutulması gibi uygulamalar için düşünülür, fakat bir çok farklı uygulaması da mevcuttur. Örneğin uzay araçlarının sıvı yakıtlarının eldesi, demir çelik fabrikalarında kullanılan oksijenin elde edilmesi, doğal gazın taşınması ve depolanması gibi alanları kapsayabilir.

Soğutma makinaları temel olarak güç üretme makinalarının tersi prensiple çalışır. Dışardan iş girerek soğuk enerji elde edilir. Hepimiz elimize dökülen kolonyanın serinlik verdiğini biliriz. Bunun temel nedeni kolonyanın içindeki alkolün buharlaşması sonucu çevresinden (elimizden) ısı enerjisi çekmesidir.

Soğutma makinalarının çoğu genel olarak bir çalışma akışkanının düşük basınçta buharlaştırılması ve yüksek basınçta tekrar sıvılaştırılması prensibine dayanır. Soğutma akışkanlarının sıkıştırılması genelde kompresör dediğimiz aygıtlarla gerçekleşir. Kompresörler genel olarak piston silindir tipi, turbokompresörler, vida tipi kompresörler, ses dalgalarıyla sıkıştırma gibi değişik tiplerde olabilir. Buharlaşma işlemi (prosesi) buharlaştırıcı (evaporatör) ismi verilen ısı değiştiriciler kullanılarak oluşturulur. Buharlaşma işleminde çevre ısı sıvı veya gaz akışıyla çevreden çekilir. Yoğuşma işlemi yoğuşturucu (kondenser) ismini verdiğimiz ısı değiştiricileri kullanılarak gerçekleştirilir.

Soğutma akışkanlarının aynı zamanda genişletilmesi de gerekmektedir. Genleşme ideal olarak bir türbin veya genleşme makinasında yapılabilir, fakat standart soğutma çevriminde bir genleşme vanası veya lüle, kılcal bir boru veya delikli levhalar kullanmaya dayanır. Şekil 1 de Standart soğutma çevrimi bileşenlerini şematik olarak görmekteyiz. Şekil 2 de böyle bir soğutma sisteminin daha ayrıntılı ve gerçekçi bir diyagramını görmekteyiz. Şekillerden de görüldüğü gibi soğutma makinası temel olarak bir buharlaştırıcı (evaporatör), bir Yoğuşturucu (Kondenser), bir kompresör ve bir genleşme vanasından oluşmaktadır.



Şekil 1 Standart soğutma çevrimi

Buharlaştırıcıda (Evaporatör) ortamdan ısı enerjisi çekilir, Yoğuşturucuda (kondenser) ise ısı çevreye verilir. Yoğuşturucu ve buharlaştırıcı ikinci akışkan olarak olarak genelde hava, su, tuzlu su, antrifriz gibi sıvılar kullanılır. Buharlaştırıcıda soğutulan veya yoğuşturucuda ısıtılan ikincil akışkanlar ya doğrudan ya da indirek olarak ikinci bir ısı değiştirgeci kullanılarak ısıtma/soğutma mahaline aktarılır. Kompresör girişine 1, kompresör çıkışı - yoğuşturucu girişine 2, kompresör çıkışına 3 ve buharlaştırıcı girişine 4 dersek, Bu sistemdeki buharlaştırıcının çevreden çektiği ısı :

$Q_{\text{buharlaştırıcı}} = m * (h_1 - h_4)$ formülü ile hesaplanabilir.

Burada m akışkan debisi (kg/s) ve h entalpidir (KJ/kg). Soğutma çevriminde değişik akışkanlar kullanılabilir. Buharlaştırıcı(Evaporatör) giriş ve çıkış şartları bilindiğinde entalpi değerleri önceki haftalarda verdiğimiz denklem ve programlar yardımıyla (örneğin R22 için sogut1.java programını kullanarak) ve toplam ısı akışı bu denklemden hesaplanabilir.

Yoğuşturucuda(Kondenser) dışa atılan ısı ise

$Q_{\text{yoğuşturucu}} = m * (h_2 - h_3)$ formülü ile hesaplanabilir.

Kompresörün çektiği elektrik enerjisi :

$W_{\text{kompresör}} = m (h_2 - h_1) / \eta_{\text{mekani-elektrik}}$ formülü ile hesaplanır. Buradaki $\eta_{\text{mekani-elektrik}}$ kompresör mekanik

ve elektrik verimini ifade eder. Yoğuşturucu(Kondenser) veya Buharlaştırıcı(evaporatör)deki ısı transferinin kompresöre verilen mekanik işe oranına etkinlik katsayısı (COP) adı verilir.

$COP_{\text{buharlaştırıcı}} = Q_{\text{nbuharlaştırıcı}} / W_{\text{kompresör}}$

$COP_{\text{kondenser}} = Q_{\text{yoğuşturucu}} / W_{\text{kompresör}}$

yoğuşturucu

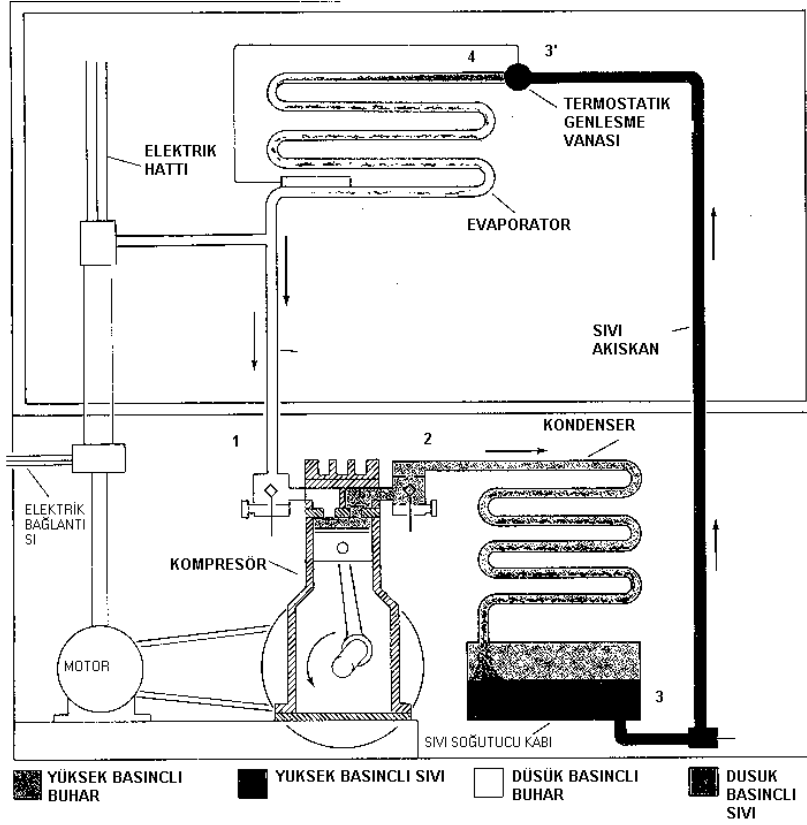
Buharlaştırıcı etkinlik katsayısı soğutma sistemlerinde, Yoğuşturucu etkinlik katsayısı ısıtma sistemlerinde (Isı pompalarında) kullanılır.

3. SİSTEM SİMULASYONU VE PROGRAMLAMA

Sistem simülasyonunu hazırlamak için belli giriş parametrelerinin bilinmesi gerekmektedir. Burada sistemden çektiğimiz ısı yükünün bilindiğini kabul ettik. Bundan başka buharlaştırıcı ve yoğuşturucu tarafındaki işletme basınçlarını ve basınç düşümlerini bildiğimizi kabul edelim. İdeal yoğuşturucu ve buharlaştırıcıda basınç düşümünü ihmal edebiliriz, fakat gerçek çevrimde bu değerler performansı etkilediğinden bilinmesinde yarar vardır. Ayrıca buharlaştırıcı çıkışı belli bir miktar doymuş buharın üzerinde kızgın buhar bölgesine çıkmış olacaktır. Çevrim performansını hesaplamak için kızma miktarını, gaz çıkış sıcaklığının aynı basınçtaki doymuş buhar sıcaklığının kaç derece üstünde olduğunu, bilmemiz gerekmektedir. Yoğunlaştırıcı çıkışında ise soğutucu akışkan çıkış basıncı için doyma sıcaklığının genelde altında, sıvı bölgede yer alır. Yoğuşturucu soğuma sıcaklığını da bilmemiz sistem performansını değerlendirme bakımından önemlidir. Normal olarak genleşme vanasındaki ısı değişimini ihmal edebiliriz. Genleşme vanası ısı transferi göreceli olarak küçük bir değerdir, ancak modelimizde bu değere de girdi olarak yer verilecektir. Buradaki sistem modelini basitleştirmek için buharlaştırıcıdaki kızgın buhar ve yoğuşturucudaki sıvı bölgelerinde basınç düşümü olmadığını kabul edeceğiz. Daha kompleks modellerde basınç düşümünün daha iyi değerlendirmelerini oluşturabiliriz. Kompresör modellemesinde ideal termodinamik kompresörden (ısı transferi ve entropi değişimi olmayan (isentropik proses) Isentropik verim kadar sapma olduğunu kabul edeceğiz. Bu basit çevrim için kompresör modelimizde ısı kaçıışı olmadığı kabulü yapılacaktır. Sırasıyla hesaplama adımlarını şu şekilde oluşturabiliriz :

0. step : soğutucu akışkan, soğutma ısı yükü ve diğer girdi parametrelerini saptama
1. step : Buharlaştırıcı çıkış basıncı = Buharlaştırıcı giriş basıncı – Buharlaştırıcı basınç düşümü
2. step : Buharlaştırıcı çıkış basıncı için buharlaştırıcı çıkış doyma sıcaklığını saptama
3. step :Buharlaştırıcı çıkış sıcaklığını hesapla, buharlaştırıcı çıkış termodinamik özelliklerini hesapla

4. step : Kompresör çıkış (yoğuşturucu giriş) basıncı bilindiği durum için sabit entropi prosesi kullanarak kompresör çıkış isentropik noktasını hesapla
5. step : isentropik verimi kullanarak adyabatik kompresör prosesini hesapla
6. step : Yoğuşturucu çıkış basıncı = Yoğuşturucu giriş basıncı – Yoğuşturucu basınç düşümü
7. step : Yoğuşturucu çıkış basıncı için doyma sıcaklığını hesapla
8. step : Yoğuşturucu çıkış sıcaklığını hesapla, yoğuşturucu çıkış termodinamik özelliklerini hesapla
9. step : Yoğuşturucu çıkış entalpisini ve genleşme vanası entalpi değişimini (veya ısı transferini) ve buharlaştırıcı giriş basıncını kullanarak buharlaştırıcı giriş konumunu sapt
10. step : Buharlaştırıcı entalpi değişimi ve Buharlaştırıcı ısı yükünü kullanarak soğutucu akışkan debisini hesapla
11. step : Yoğuşturucu entalpi değişimi ve akışkan debisi kullanarak yoğuşturucu ısı değişimini hesapla
12. step : Kompresör entalpi değişimi ve akışkan debisini kullanarak kompresör gücünü hesapla. Buradaki hesaplama kompresör mekanik ve elektriksel verimleri eklenerek kompresör elektriksel gücüne geçilebilir.
13. step : Buharlaştırıcı ve yoğuşturucu tarafı etkinlik katsayısı (COP) hesapla
14. step : Yoğuşma eğrisini hesaplayarak logaritma P - entalpi diyagramını oluştur



Şekil 2 Standart soğutma çevriminin ayrıntılı grafik gösterimi

4. BİLGİSAYAR PROGRAMLARININ TANIMLANMASI

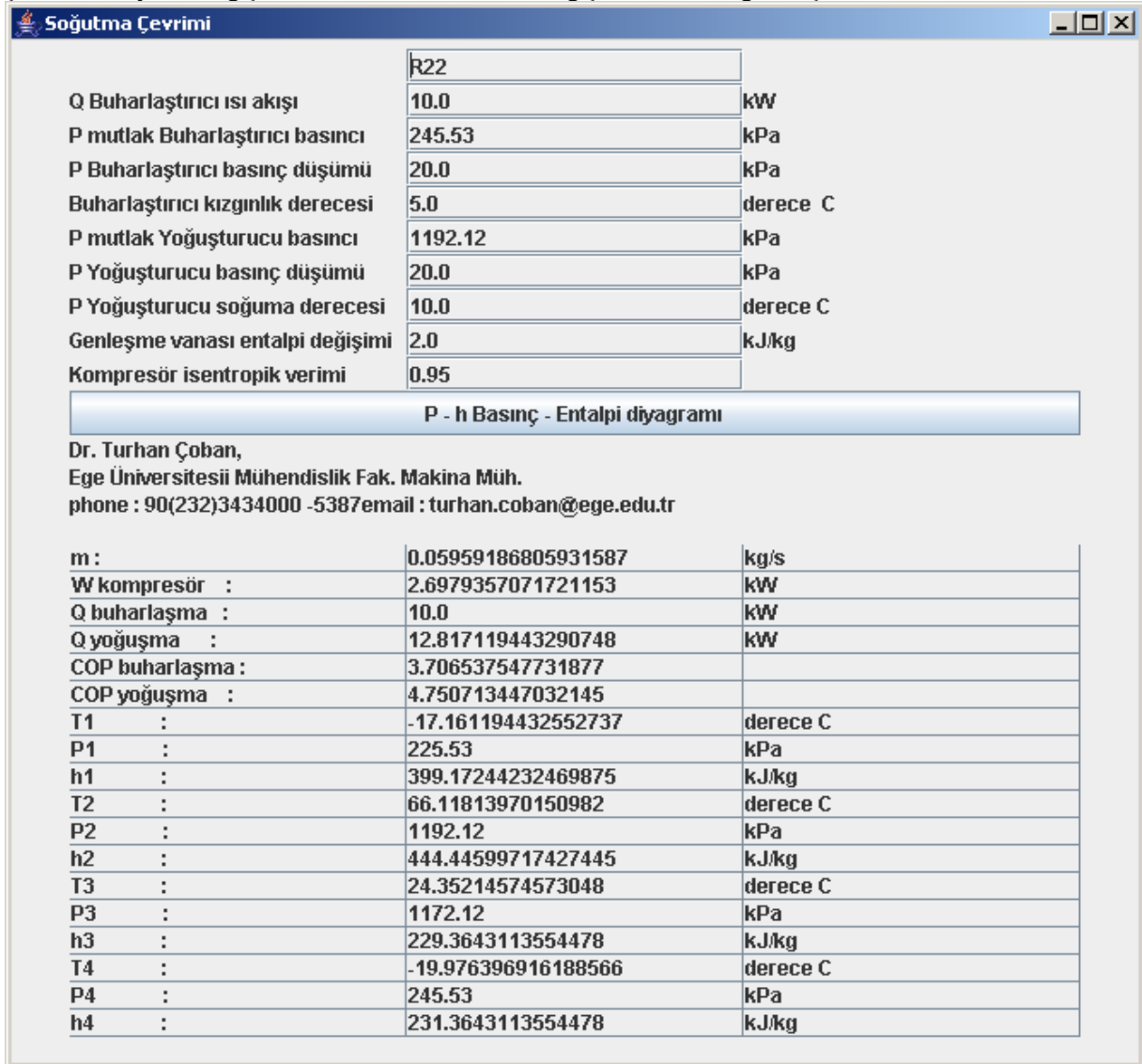
Sistem simülasyonunuzu soğutmacevrimi.java programında yukarıda anlattığımız esasa göre oluşturuldu. Soğutma akışkanı olarak modelde sadece R22 akışkanını tanımlandı, fakat soğutucu akışkan sayısı kolaylıkla her tür soğutucu akışkan için daha önce verilen modeller üzerinden çoğaltılabilir. Modelimizde aynı zamanda grafik ortamda standart soğutma çevriminin normal gösterimi olan basınç - entalpi diyagramını da çizdirecek alt programlara yer verildi.

Aşağıda tanımlanan java program parçasığında soğutmacevrimi sınıfını kendiprogramınızda nasıl kullanılabileceği ile ilgili bir örnek görülmektedir.

```
Q_evap=10.0; //buharlaştırıcı ısı yükü KW
Pevap=245.53; //buharlaştırıcı mutlak basıncı kPa
dPevap=20.0; //buharlaştırıcı basınç düşümü kPa
```

```
dTevap=5.0; //buharlaştırıcı doymuş buhar-kızgın buhar sıcaklık farkı
Pcond=1192.12; //yoğuşturucu mutlak basıncı kPa
dPcond=20.0; // yoğuşturucu basınç düşümü kPa
dTcond=5.0; // yoğuşturucu doymuş buhar-sıvı sıcaklık farkı
dhgenlesme=2.0; // genleşme vanası entalpi farkı
isentropikverim=0.95; // isentropic verim
soğutmacevrimi s1=new soğutmacevrimi(sm.sc.s, Q_evap,Pevap,dPevap,dTevap,Pcond,dPcond,
dTcond,dhgenlesme,isentropikverim);
a[]=s1.cikti();
```

çıktılar a boyutlu değişkenine aktarılmaktadır. a değişkenindeki değerler şunlardır:



Parameter	Value	Unit
Q Buharlaştırıcı ısı akışı	10.0	kW
P mutlak Buharlaştırıcı basıncı	245.53	kPa
P Buharlaştırıcı basınç düşümü	20.0	kPa
Buharlaştırıcı kızgınlık derecesi	5.0	derece C
P mutlak Yoğuşturucu basıncı	1192.12	kPa
P Yoğuşturucu basınç düşümü	20.0	kPa
P Yoğuşturucu soğuma derecesi	10.0	derece C
Genleşme vanası entalpi değişimi	2.0	kJ/kg
Kompresör isentropik verimi	0.95	

P - h Basınç - Entalpi diyagramı

Dr. Turhan Çoban,
Ege Üniversitesi Mühendislik Fak. Makina Müh.
phone : 90(232)3434000 -5387email : turhan.coban@ege.edu.tr

m :	0.05959186805931587	kg/s
W kompresör :	2.6979357071721153	kW
Q buharlaşma :	10.0	kW
Q yoğuşma :	12.817119443290748	kW
COP buharlaşma :	3.706537547731877	
COP yoğuşma :	4.750713447032145	
T1 :	-17.161194432552737	derece C
P1 :	225.53	kPa
h1 :	399.17244232469875	kJ/kg
T2 :	66.11813970150982	derece C
P2 :	1192.12	kPa
h2 :	444.44599717427445	kJ/kg
T3 :	24.35214574573048	derece C
P3 :	1172.12	kPa
h3 :	229.3643113554478	kJ/kg
T4 :	-19.976396916188566	derece C
P4 :	245.53	kPa
h4 :	231.3643113554478	kJ/kg

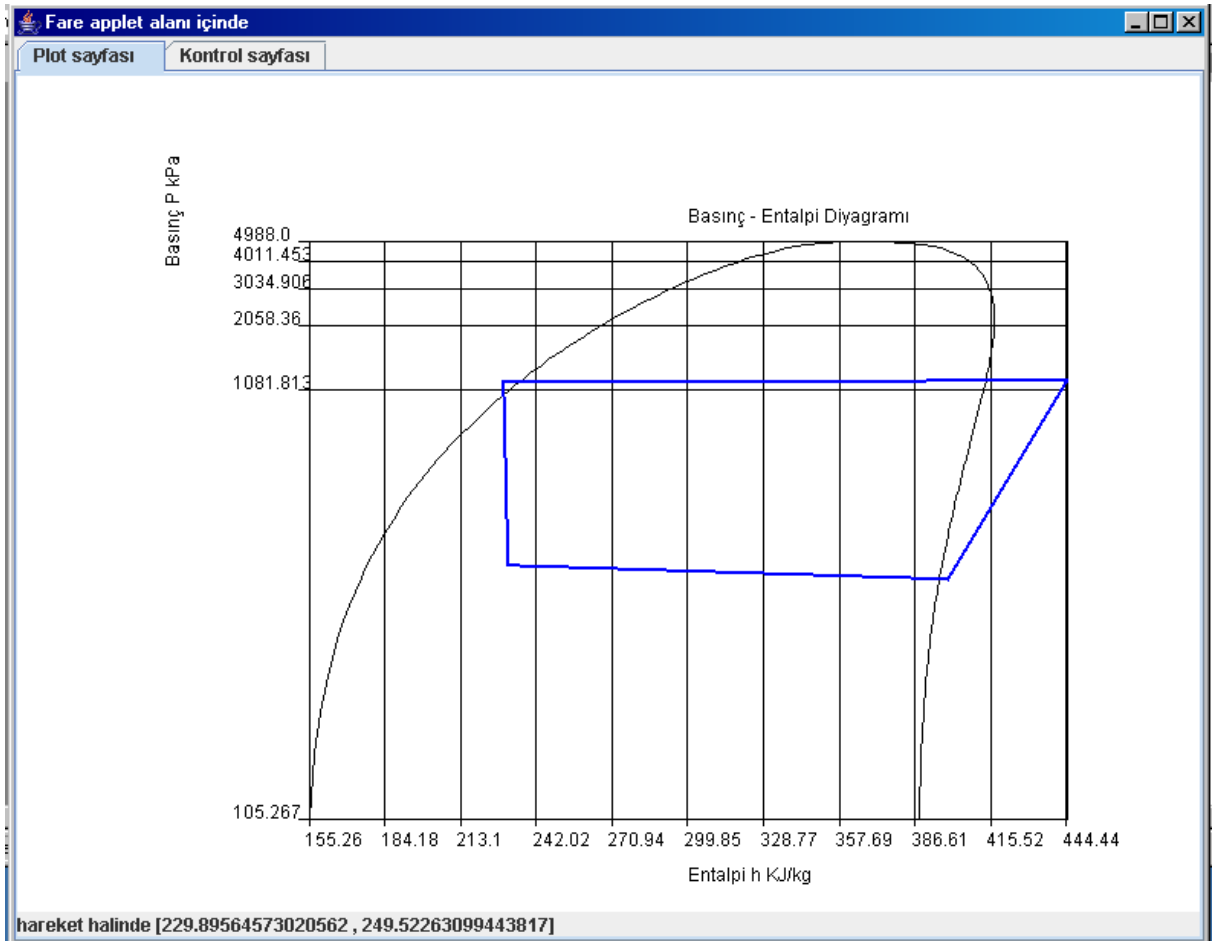
Şekil 3 Standart soğutma çevrimini analiz eden soğutmacevrimi.java programını kullanıcı ara yüzü soğutmacevrimiTable.java programının grafik gösterimi

```

a[0]=m; // debi kg/s
a[1]=W; // kompresör gücü kW
a[2]=Q_evap; //buharlaştırıcı ısı çekişi kW
a[3]=Q_cond; //yoğuşturucu ısı atımı kW
a[4]=COP_evap; // buharlaştırıcı etkinlik katsayısı
a[5]=COP_cond; // yoğuşturucu etkinlik katsayısı
a[6]=T[1];
a[7]=P[1];
a[8]=h[1];
a[9]=T[2];
a[10]=P[2];
a[11]=h[2];
a[12]=T[3];
a[13]=P[3];
a[14]=h[3];
a[15]=T[4];
a[16]=P[4];
a[17]=h[4];

```

T sıcaklık derece C, P basınç kPa ve h entalpi kJ.kg dır.



Şekil 4 Standart soğutma çevrimini analiz eden sogutmacevrimi.java programını kullanıcı ara yüzü sogutmacevrimiTable.java programında hesaplanan p-h (basınç-entalpi) diyagramı grafik gösterimi

Soğutma çevrimini sadece sonuç olarak hesaplamak isteyenler için kullanıcı arayüzü soğutmacevrimiTable.java programı hazırlanmıştır. Bu program çalıştırıldığında üstteki program parçacığındaki tüm sonuçları grafik ekranında yazılı olarak vermektedir. Bu programın çıktısı ve bundan önce bu yazı dizimizde yer alan diğer programların hepsi www.essiad.org.tr/termodinamik adresine yerleştirilmiştir. Ancak herhangi bir nedenle bu adrese ulaşamasanız, ESSİAD'dan veya beni yazının başında yer alan elektronik postamdan arayarak temin edebilirsiniz. Arayüz programı Şekil 3 ve arayüz programının basınç-entalpi diyagramı grafik çıktısı Şekil 4 de gösterilmiştir. Daha detaylı kondenser, evaporatör, genleşme vanası ve kompresör modellerini geliştirmeye devam edeceğiz.

5. SONUÇ

Standart soğutma sisteminin bir modeli hazırlanmıştır. Burada kullandığımız model standart termodinamik modeldir. Soğutucu akışkanların termodinamik özelliklerini hesaplayan soğut.java, soğut1.java, soğutMBWR.java gibi programları geliştirdikten sonra göreceli olarak kolay bir programlamadır. Bu program bilhassa deneysel olarak sistemden ölçülen değerler kullanılarak sistem performansının hesaplanması için kullanılabilir.

6. KULLANILAN SİMGELERİN ANLAMLARI VE BİRİMLERİ

P : Basınç kPa
T : Sıcaklık C
s : Entropi kJ/kg-K
h : Entalpi kJ/kg-K
m : akışkan debisi kg/s

İndisler :

- 1 : buharlaştırıcı çıkışı, kompresör girişi
- 2 : kompresör çıkışı, yoğuşturucu girişi
- 3 : yoğuşturucu çıkışı, genleşme vanası girişi
- 4 : genleşme vanası çıkışı, buharlaştırıcı girişi

6. REFERANSLAR

- 1.Thomas H. Kuehn, Jams W. Ramsey, James L. Threlkeld, Thermal Environmental Engineering, Prentice Hall, 3üncü baskı, 1998, ISBN 0-13-917220-3
- 2.M. Turhan Çoban, Java 2 Programlama Kılavuzu, ALFA yayınevi, ticarethane sok no 41/1 34410 cagaloglu İstanbul, ISBN 975-316-631-1
- 3.Kenneth Wark, Jr. Thermodynamics, Mc-Graw Hill International Editions, 5inci baskı, 1989, ISBN 0-07-068286-0