

Buzdolabı Uygulamasında Kullanılan Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin Termodinamik Analizi

M. Erhan ARSLAN
A. Nilüfer EĞRİCAN*

Özet

Bu çalışmada, buzdolabı uygulamasında kullanılan absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi yapılmıştır. Bu sistemin en önemli özelliği tamamen ısıl güç ile çalışmasıdır. Fakat genel olarak bu sistemlerin performansının düşük olduğu bilinmektedir. Termodinamik analizin yapılmasındaki amaç, sistem üzerindeki ısı kayıplarını belirlemek ve bu kayıpları mümkün olduğunca azaltarak sistem performansını arttırmaktır. Termodinamik analizde, bu çalışmayla birlikte gerçekleştirilen deneysel çalışma için kurulan sistem üzerindeki belirli noktalardan alınan sıcaklık ölçümleri kullanılmıştır. Analizde elde edilen denklemler geliştirilen bir bilgisayar programı yardımıyla çözdürülmüş ve bu programın çıktısında sistem üzerindeki ısı kayıpları sayısal olarak elde edilmiştir. Belirlenen bu ısı kayıplarının bir kısmı, sistemde çevrimin tamamlanabilmesi için, mutlaka dışarı atılmak zorundadır. Fakat bazı bölgelerde gereksiz ısı kayıpları mevcuttur. Bu bölgelerdeki ısı kayıplarının mümkün olduğunca azaltılması sonucunda ise sistemin soğutma etkenlik katsayısında belirgin bir iyileşmenin meydana geleceği yapılan analiz sonucunda ortaya çıkmıştır.

1. GİRİŞ

Absorbsiyonlu soğutma sisteminin buzdolaplarında kullanılmasının geçmişi çok eskilere dayanmaktadır. Elektrik enerjisinin yaygın olarak kullanıldığı dönemlerde, buzdolaplarında soğutma sistemi olarak ısıl güç ile çalışan absorbsiyonlu sistem kullanılmıştır. Hatta bu sistem için buzdolabı uygulamasında kullanılan ilk soğutma sistemi de denilebilir. Fakat elektrik enerjisinin yaygınlaşması ile birlikte yerini klasik kompresörlü sisteme bırakmıştır. Kompresörlü sistemlerin buzdolaplarındaki kullanımının yaygınlaşması, absorbsiyonlu soğutma sistemi üzerinde yapılan çalışmaları da uzun bir süre yavaşlatmıştır. Fakat kompresörlü sistemlerdeki gürültü sorununun çözülemediği olması, sessiz ça-

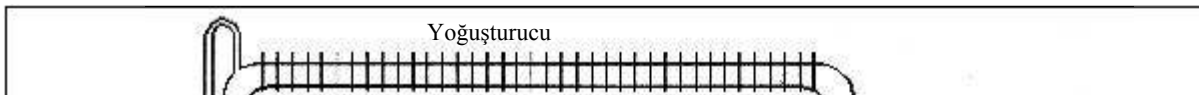
alışma özelliğine sahip olan absorbsiyonlu sistemi kısmen tercih edilir bir hale getirmiştir. Böylelikle absorbsiyonlu sistem üzerinde yapılan çalışmalar son yıllarda tekrar hız kazanmıştır. Absorbsiyonlu soğutma çevrimi ilk olarak von Platen ve Munters tarafından ortaya atılmış ve günümüze kadar buzdolaplarında yaygın olarak kullanılmıştır. Bu çevrimde sistem içerisinde üç akışkan dolaşmaktadır. Soğutucu akışkan olarak amonyak, soğurucu akışkan olarak su, basınç dengeleyici gaz olarak da hidrojen gazı kullanılmıştır. Ayrıca sistemin ısıl güç ile çalışması ve çevrimdeki sirkülasyonun hiçbir mekanik parça içermeyen habbecik pompası (bubble pump) ile sağlanması sisteme sessiz çalışma imkanı vermektedir [1]. Sirkülasyonun habbecik pom-

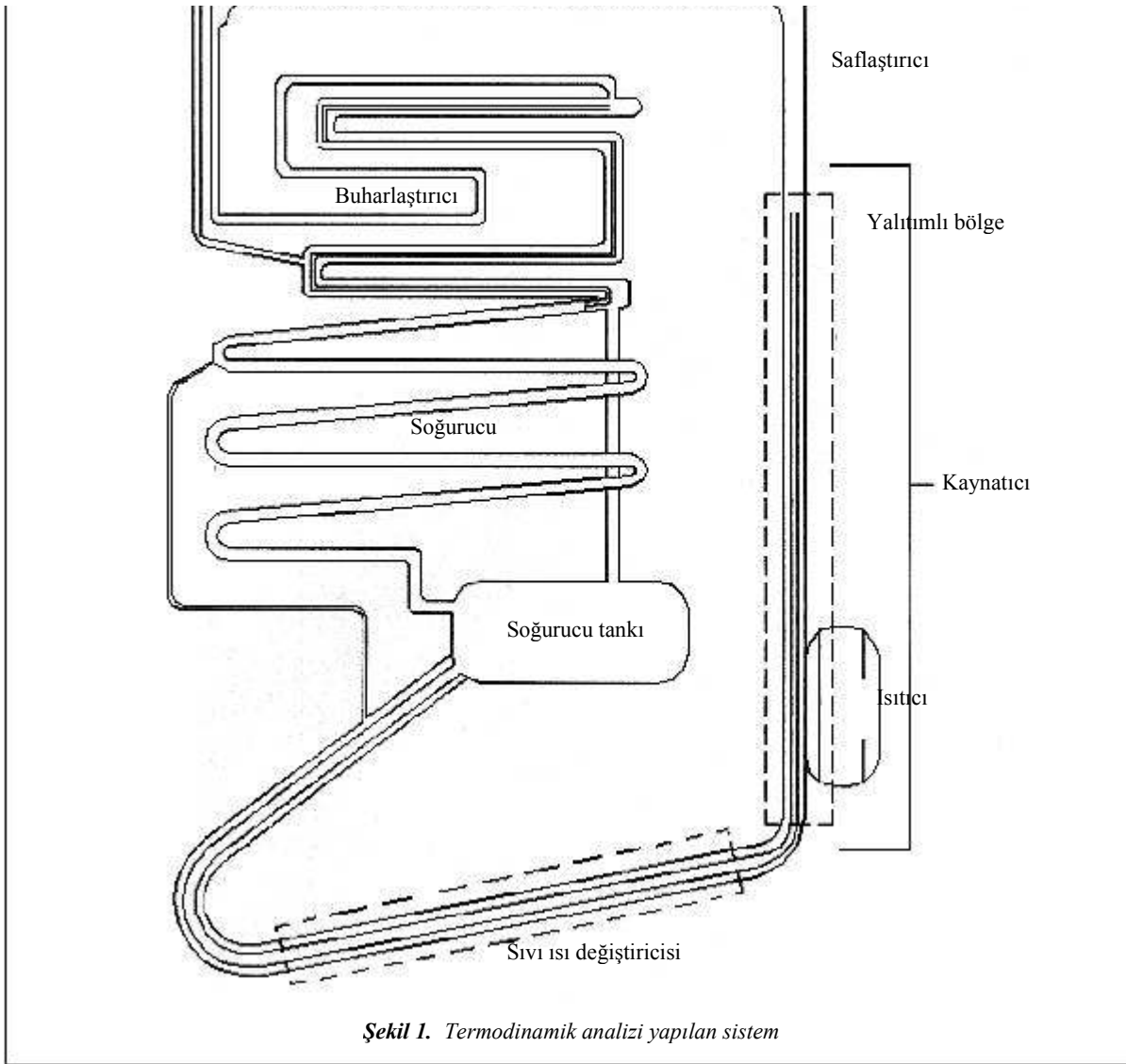
* Yeditepe Üniversitesi

pası ile yapılması aynı zamanda sistemin sabit basınç altında çalışmasını sağlamaktadır. Sistemin bazı bölgelerinde basınç küçük değişiklikler gösterse de toplam basınç göz önüne alındığında bu değişikliklerin ihmal edilebilecek seviyelerde olduğu söylenebilir. Buharlaşmanın sağlanabilmesi için gerekli olan basınç farklılığı ise sistemde basınç dengeleyici gaz olarak görev yapan hidrojenin, soğutucu akışkanın kısmi basıncını düşürmesi suretiyle sağlanmaktadır. Aynı zamanda basınç dengeleyici gaz olarak kullanılan hidrojenin sistem içindeki bir diğer görevi ise sistemin basıncını belirlemektir [2]. Absorbsiyonlu sistemlerde basınç dengeleyici gaz olarak uzun yıllar boyunca hidrojen gazı kullanılmıştır. Buharlaşmanın sağlanabilmesi için, soğutucu akışkanın kısmi basıncının düşürülmesi ve basınç dengeleyici gaz içerisine yayılarak buharlaşabilmesi gerekmektedir. Bu gereklilik düşünüldüğünde sistem için en uygun olan basınç dengeleyici gaz hidrojen gazıdır. Fakat hidrojen gazının yanıcı bir gaz olması alternatif basınç dengeleyici gaz arayışlarını gündeme getirmiştir. Bu bağlamda hidrojene alternatif olarak helyum gazı kullanılmaya başlanmıştır. Helyum gazının hidrojene alternatif olmasında, helyumun diğer alternatif gazlara göre viskozite değerinin düşük, yayılım (difüzyon) katsayısının yüksek olmasının büyük bir etkisi vardır [3]. Bu çalışmada genellikle mini bar buzdolaplarında kullanılan ve amonyak-su-helyum üçlüsünün akışkan olarak kullanıldığı absorbsiyonlu soğutma sistemi ele alınmıştır. Bu sistem üzerinde yapılan termodinamik analiz için öncelikle bu akışkanların oluşturduğu karışımların gerekli olan termodinamik özellikleri bulunmuş ve termodinamiğin 1. kanunu kullanılarak sistem üzerindeki ısı kayıp ve kazançları belirlenmiştir. Yapılan termodinamik analizde kullanılan eşitlikler, geliştirilen bir bilgisayar programında çözdürülerek analiz sonuçları elde edilmiştir. Analizden elde edilen sonuçlar ışığında sistemin soğutma etkenlik katsayısı ve soğutma kapasitesi göz önünde bulundurularak sistem performansı iyileştirilmiştir.

1.1. Sistemin Çalışma Prensipleri

Amonyak-su çifti ve helyum gazının akışkanlarını oluşturduğu absorbsiyonlu soğutma sistemi içerisinde her bir akışkan için üç ayrı çevrim meydana gelmektedir. Bu çevrimler; soğurucu akışkan çevrimi, soğutucu akışkan çevrimi ve basınç dengeleyici gaz çevrimi olarak nitelendirilebilir. Kaynatıcıda amonyağın karışım içinden buharlaşarak ayrışması sonucunda sıvı fazda kalan ve amonyak bakımından fakirleşen karışım, sistemde soğurucu akışkan olarak görev yapmaktadır. Ayrışma sonrasında soğurucu akışkan ve amonyak buharı habbecik pompası içerisinde birlikte yükselirler ve pompa çıkışında amonyak buharı saflaştırıcıya doğrudan girerler, soğurucu akışkan ise geri dönerek soğurucu içerisine girer. Soğurucu içerisine giren fakir karışım (soğurucu akışkan) buharlaştırıcıdan gelen amonyak buharını soğurarak tekrar kaynatıcıya döner ve çevrimini tamamlamış olur. Böylelikle soğurucu akışkan çevrimi kaynatıcı ve soğurucu bölgeleri arasında meydana gelmektedir. Habbecik pompasından çıkan amonyak buharı ise saflaştırıcıda içinde barındırdığı bir miktar su buharından kurtulduktan sonra yoğunlaştırıcıya girer ve burada yoğunlaştıktan sonra sıvı halde buharlaştırıcıya girer. Buharlaştırıcıda helyum gazıyla karşılaşan amonyağın kısmi basıncında belirgin bir düşme meydana gelir ve amonyak buharlaşarak helyum gazı içerisine yayılır. Amonyak buharı ve helyum gazından oluşan karışım soğurucu içerisine düşmesiyle birlikte, amonyak buharı fakir karışım tarafından soğurular ve zengin karışım halinde tekrar kaynatıcı bölgesine gider. Böylece soğutucu akışkan olarak görev yapan amonyak çevrimini tamamlamış olur. Soğurucuda içindeki amonyak buharından kurtulan helyum gazı, yoğunluğunun azalması ile birlikte yükselerek buharlaştırıcı girişine kadar tekrar geri gelir. Basınç dengeleyici gaz çevrimi ise bu sayede tamamlanmış olur (Şekil 1).





Şekil 1. Termodinamik analizi yapılan sistem

2. AMONYAK-SU KARIŞIMININ TERMODİNAMİK ÖZELİKLERİ

Sistemin termodinamik analizinin yapılabilmesi için öncelikle amonyak-su çiftinin oluşturduğu karışımın bazı termodinamik özelliklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Karışımın termodinamik özellikleri ise, karışım bileşenlerinin saf haldeki termodinamik özellikleri kullanılarak bulunabilir. Bu amaçla

ilk olarak amonyak-su karışımına ait kaynama-yoğuşma sıcaklıklarına ihtiyaç vardır. Kaynama-yoğuşma sıcaklıkları elde edildikten sonra karışımın doyma noktasındaki özgül entalpi değerleri elde edilebilecektir. Aynı zamanda karışımın sıkıştırılmış sıvı halindeki entalpi değerlerine de ulaşmak mümkün olacaktır.

Amonyak-su karışımının kaynama-yoğuşma sı

caklıklarına, karışımın sıvı ve buhar fazda dengede olduğu kabulü yapılarak ve bileşenlerin kısmi fugasiteleri eşitlenerek ulaşılabilir. Fakat bu yöntem hesaplama zamanı bakımından uzun bir yoldur. Buna karşılık literatürden elde edilen amonyak-su çiftine ait kaynama-yoğuşma sıcaklıklarını veren analitik bağıntılar kullanılarak zamandan tasarruf

davranışı göstermemesidir. Sıvı fazdaki entalpi değerinin bulunması için karışımın mükemmel çözeltili halinden sapmasının bulunması gerekmektedir. Bir başka deyişle sıvı fazın entalpi değerine, amonyak ve suyun saf haldeki entalpi değerleriyle birlikte karışımın fazla entalpisi olarak nitelenen değerin bulunması ile ulaşılabilir [5]. Fazla

edilebilir [4]. Kaynama-yoğuşma sıcaklıklarına ait literatürden elde edilen analitik bağıntılar sırasıyla aşağıda gösterilmektedir.

$$T_k = T_{kr} - \sum_{i=1}^7 (c_i + \sum_{j=1}^{10} C_{ij} x^j) \left(\ln \left(\frac{P_{kr}}{14.5038 P} \right) \right)^i \quad (1)$$

$$T_y = T_{kr} - \sum_{i=1}^6 (a_i + \sum_{j=1}^{10} A_{ij} (\ln(1.0001 - x))^j) \left(\ln \left(\frac{P_{kr}}{14.5038 P} \right) \right)^i \quad (2)$$

Bu eşitliklerde kullanılan basınç ve sıcaklığa ait kritik değerler ise aşağıda verilmiştir:

$$T_{kr} = (1.8T_{kr,su} + 32) - \sum_{i=1}^4 a_i x^i \quad (3)$$

$$P_{kr} = 14.5038 P_{kr,su} \exp \left(\sum_{i=1}^8 b_i x^i \right) \quad (4)$$

Yukarıdaki eşitliklerde kullanılan katsayılar ise Ek 1’de verilmiştir. Bu eşitliklerde kullanılan basınç değerleri bar cinsinden, sıcaklık değerleri ise °C cinsinden alınmalıdır.

Kaynama-yoğuşma sıcaklıkları kullanılarak amonyak-su karışımının sabit basınç altındaki sıvı ve buhar fazına ait entalpi değerlerine ulaşmak mümkündür. Karışımın buhar fazına ait entalpi değerlerine ulaşmak için amonyak ve suyun saf haldeki entalpi değerlerinin bilinmesi yeterli olacaktır. Karışımın sıvı fazına ait entalpi değerleri için ise bileşenlerin saf haldeki entalpi değerlerinin bilinmesi gereklidir fakat yeterli değildir. Bunun sebebi amonyak-su karışımının buhar fazında mükemmel çözelti gibi davranmasına rağmen sıvı fazında aynı

entalpi değerinin bulunması için Gibbs Fazla Enerji Fonksiyonunun kullanılması yeterli olacaktır.

Gibbs Fazla Enerji Fonksiyonunu veren eşitlik aşağıda gösterilmiştir.

$$G_{i,r} = (F_1 + F_2 (2x - 1) + F_3 (2x - 1)^2) (1 - x) \quad (5)$$

Bu eşitlikte kullanılan sabit katsayıların açılmış hali aşağıda verilmiş ve aşağıdaki eşitliklere ait katsayılar ise Ek 1’de verilmiştir. Aşağıdaki eşitliklerde kullanılan basınç değerleri bar cinsinden sıcaklık değerleri ise K cinsinden alınmalıdır.

$$F_1 = E_2 + E_1 P_i + (E_3 + E_4 P_i) T_i + \frac{E_5}{T_i} + \frac{E_6}{T_i^2} \quad (5a)$$

$$F_2 = E_7 + E_8 P_i + (E_9 + E_{10} P_i) T_i + \frac{E_{11}}{T_i} + \frac{E_{12}}{T_i^2} \quad (5b)$$

$$F_3 = E_{13} + E_{14} P_i + \frac{E_{15}}{T_i} + \frac{E_{16}}{T_i^2} \quad (5c)$$

Basınç ve sıcaklık değerlerinin boyutsuzlaştırılmasında $T_r = 100 \text{ K}$, $P_r = 10 \text{ bar}$ referans değerleri kullanılmıştır. Gibbs Fazla Enerji Fonksiyonu kullanılarak ve Maxwell bağıntılarından yararlanılarak karışımın sıvı fazına ait fazla entalpi değerinin bulunduğu eşitlik ise aşağıda verilmiştir [5].

$$h_f = -RT_r T_r^2 \left[\frac{?(G_{i,f}/T_i)}{?(T_i)} \right]_{P_{i,x}} \quad (6)$$

Fazla entalpi değerini kullanarak karışımın sıvı fazına ait entalpi değerinin bulunduğu ve buhar fazındaki karışımın entalpi değerinin bulunduğu bağıntılar sırasıyla aşağıda gösterilmektedir.

$$h_{kar,s} = x_s h_{a,s} + (1 - x_s) h_{su,sf} + h \quad (7)$$

$$h_{kar,b} = x_b h_{a,b} + (1 - x_b) h_{su,b} \quad (8)$$

3. AMONYAK BUHARI-HELYUM GAZI KARIŞIMININ TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİ

Amonyak buharı-helyum gazı karışımı, su buharı-kuru hava gaz karışımı (nemli hava) gibi düşünülebilir. Bu karışım, su buharı ve havadan oluşan gaz karışımıyla karşılaştırıldığında su buharının yerini amonyak buharı, havanın yerini ise helyum

4. TERMODİNAMİK ANALİZ YÖNTEMİ

Yapılan termodinamik analizde, imal edilmiş bir sistem üzerinden alınan sıcaklık ve basınç ölçümleri kullanılmıştır (Tablo 1). Sistem basıncının sabit olması nedeniyle sistem üzerindeki bir noktadan alınan basınç değeri basıncın ölçülmesi açısından yeterli olmuştur. Ayrıca sistem içindeki amonyak-su karışımının amonyak bakımından kütleleşik derişikliği, karışım sisteme şarj edilmeden önce tespit edilmiştir. Sıcaklık ölçümleri sistem üzerindeki belirli noktalardan üç değişik ısıtıcı gücü için alın

gazı almaktadır. Su buharı-kuru hava gaz karışımının çığ noktası sıcaklığı göz önüne alındığında, havanın taşıyabildiği su buharı belirli bir miktardır. Bu miktarın üzerindeki su buharı ise yoğunlaşarak sıvı hale geçecektir. Bu durum amonyak buharı-helyum gazı karışımında da aynıdır. Helyum gazı doyma noktası sıcaklığında (çığ noktası sıcaklığında) belirli bir miktar amonyak buharı taşıyabilmektedir. Bu miktarın üzerindeki amonyak buharı ise yoğunlaşmaktadır. Karışımın doyma noktası sıcaklığında amonyak karışım içerisindeki kütleli değişikliğini ve entalpi değerini veren ifadeler sırasıyla aşağıda gösterilmektedir [3].

$$x_d = \sum_{i=1}^6 b_i T_i^{-1} \quad (9)$$

$$h_d = \sum_{i=1}^3 a_{1i} T_i^{-1} + x_d \left(\sum_{i=1}^3 a_{2i} \right) + K T_i^{-1} - \sum_{i=1}^4 a_{3i} T_i^{-1} + x_d^3 \left(\sum_{i=1}^4 a_{4i} T_i^{-1} \right) \quad (10)$$

mıştır.

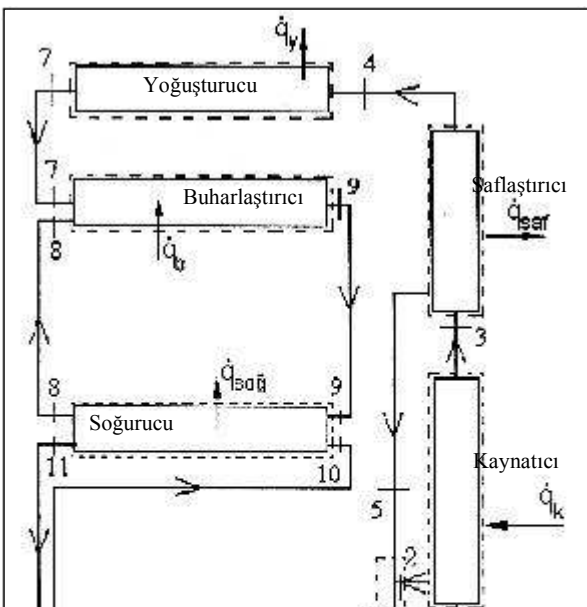
Termodinamik analizde öncelikle sistem elemanlarının her biri için ayrı ayrı kontrol hacimleri seçilmiştir (Şekil 2). Analizde aynı zamanda sistemin sürekli rejimde olduğu kabulü yapılmıştır. Seçilen kontrol hacimlerdeki ısı geçişi ise, gerekli olan bağıntılar yazılarak ve sistem üzerinden alınan sıcaklık ölçümleri kullanılarak belirlenmiştir.

4.1. Kaynatıcı ve Safılaştırıcı Analizi

Sistemin kaynatıcı bölümünde amonyak, suyla oluşturduğu karışımdan ısıtıcıdan sağlanan ısı sayesinde buharlaşarak ayrılmaktadır. Kaynatıcıya verilen ısının tamamen amonyak buharının ayrıştırılmasında kullanılması için ise, kaynatıcı çevresine ısı kaybını engellemek amacıyla yalıtım yapılmıştır. Yapılan termodinamik analizde ise kaynatıcıdan çevreye ısı geçişinin olmadığı kabul edil-

Tablo 1. Termodinamik analizde kullanılmak üzere deneylerden alınan sıcaklık ve basınç ölçümleri

Sistem basıncı (P_{sistem}) [bar]	17		
Isıtıcı gücü (q_k) [W]	60	70	80
Şarj miktarının amonyak bakımından kütleli değişikliği [%]	27	27	27
Ortalama kaynatıcı sıcaklığı [°C]	150	156	164
Kaynatıcı giriş sıcaklığı [°C]	105	110	113
Ortalama saflaştırıcı sıcaklığı [°C]	85	90	96
Buharlaştırıcı giriş sıcaklığı [°C]	-30	-30	-30
Buharlaştırıcı çıkış sıcaklığı [°C]	-5	-5	-5
Ortalama soğurucu sıcaklığı [°C]	48	52	54

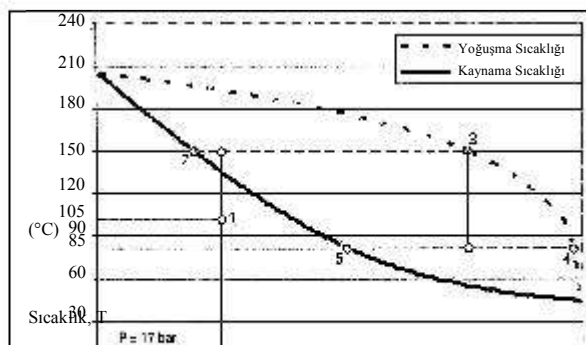


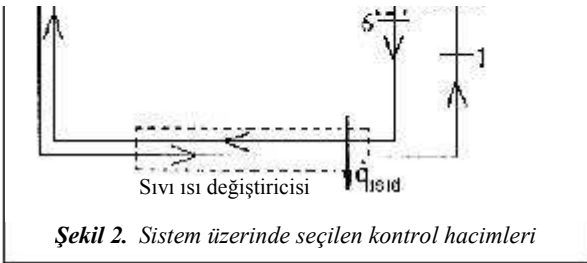
$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 + \dot{m}_5 \quad (14)$$

$$\dot{m}_3 x_3 = \dot{m}_4 x_4 + \dot{m}_5 x_5 \quad (15)$$

$$\dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_5 h_5 + \dot{q}_{\text{saf}} \quad (16)$$

Kaynatıcı ve saflaştırıcı bölgesinde meydana ge-





Şekil 2. Sistem üzerinde seçilen kontrol hacimleri

miştir. Sistemin saflaştırıcı bölümünde ise amonyak buharı içinde barındırdığı bir miktar su buharından ayrılmaktadır. Bu kısımdaki ayrışma ise saflaştırıcıdan çevreye olan ısı geçişiyle birlikte sıcaklığın düşerek su buharının yoğunlaşması şeklinde olur. Sistemin kaynatıcı ve saflaştırıcı bölümleri için yapılan termodinamik analize ait kütle ve enerji korunum denklemleri sırasıyla aşağıda verilmektedir.

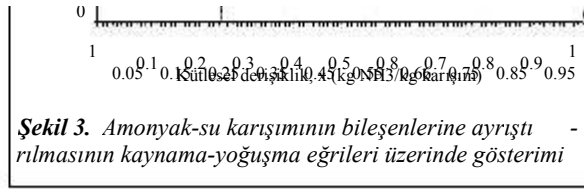
Kaynatıcı bölgesi:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 \quad (11)$$

$$\dot{m}_1 x_1 = \dot{m}_2 x_2 + \dot{m}_3 x_3 \quad (12)$$

$$\dot{m}_1 h_1 + q_k = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3 \quad (13)$$

Saflaştırıcı bölgesi:



Şekil 3. Amonyak-su karışımının bileşenlerine ayrışma eğrileri üzerindeki kaynama-yoğuşma eğrileri gösterimi

len ayrıştırma işlemi amonyak-su karışımına ait kaynama-yoğuşma eğrileri (Şekil 3) üzerinde de gösterilebilir [6].

4.2. Sıvı Isı Değiştiricisi Analizi

Kaynatıcı ve saflaştırıcı bölgesinde, amonyağın buharlaşarak karışımdan ayrışmasından sonra sıvı fazda kalan fakir karışım (soğurucu akışkan) bir ısı değiştiricisinden geçerek soğurucu bölgeye girer. Fakir karışımın bu ısı değiştiricisinden geçirilmesinin amacı kaynatıcıda aldığı ısının bir miktarını ayrışma işlemi için kaynatıcıya giren zengin karışıma vermesidir. Bu kısım için yapılan analizde öncelikle kaynatıcıdan ve saflaştırıcıdan ayrı ayrı gelen fakir karışımın bir noktada adiyabatik olarak birleştiği düşünülmüştür. Daha sonra sıvı ısı değiştiricisinden çevreye atılan ısı miktarı bulunmuştur.

Adiyabatik birleşme için kullanılan bağıntılar:

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_2 + \dot{m}_5 \quad (17)$$

$$\dot{m}_6 x_6 = \dot{m}_2 x_2 + \dot{m}_5 x_5 \quad (18)$$

$$\dot{m}_6 h_6 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_5 h_5 \quad (19)$$

Sıvı ısı değiştiricisinden çevreye atılan ısı miktarının bulunduğu bağıntılar:

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_{10}, \dot{m}_1 = \dot{m}_{11} \quad (20)$$

$$q_{\text{ısıd}} = \dot{m}_6 (h_6 - h_{10}) - \dot{m}_1 (h_{11} - h_1) \quad (21)$$

4.3. Yoğuşturucu ve Buharlaştırıcı Analizi

Saflaştırıcıdan çıkan ve yoğuşturucuya saflık derecesine yakın bir şekilde giren amonyak buharı burada yoğunlaşarak sıvı hale geçmektedir. Yapılan analizde öncelikle amonyağın yoğuşturucuya tamamen saf halde girdiği kabul edilmiştir. Diğer bir kabul ise amonyağın yoğuşturucuda doymuş buhar halinden doymuş sıvı haline geçmesidir. Bu

ilerlerken daima artacak ve amonyak ancak buharlaştırıcı çıkışında tamamen buhar hale geçebilmektedir [7]. Buna paralel olarak buharlaştırıcı üzerindeki sıcaklık dağılımının da giderek artan bir sıcaklık dağılımı olduğunu söylenebilir. Yapılan analizde buharlaştırıcı üzerindeki bir çok noktadan alınan sıcaklık değerlerinden yararlanılmıştır. Buharlaştırıcı üzerinde herhangi bir noktadaki sıcaklık değeri, o noktada amonyak buharı-helyum gazı karışımının sahip olduğu doyma sıcaklığını göstermektedir. Buharlaştırıcı üzerindeki sıcaklık değerlerinden yola çıkılarak amonyağın her bir sıcaklık değeri için sahip olduğu kısmi basıncını bulmak ve kısmi basınçtan yararlanarak diğer özelliklerine ulaşmak mümkündür. Yapılan analizde buharlaştırıcı üzerindeki sıcaklık değerlerinin lineer bir artış gösterdiği göz önüne alınarak buharlaştırıcı bölgesi öncelikle "n" adet noktaya bölünmüştür. Daha sonra, her bir noktaya ait sıcaklık değeri kullanarak amonyağın kısmi basıncı, doymuş sıvı halindeki entalpi değeri ve amonyak buharı-helyum gazı

durumda amonyak sabit basınç altında yani sistem basıncına karşılık gelen basınç değerinde yoğunlaşmaktadır. Yoğuşturucu bölgesi için kütle korunum ve enerji korunum denklemleri yazıldığında yoğunlaşma esnasında dışarı atılan ısı miktarı bulunabilir.

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_7 \quad (22)$$

$$\dot{q}_y = \dot{m}_7 h_{bs} \quad (23)$$

Amonyak, yoğuşturucuda sıvı hale geçtikten sonra buharlaştırıcıya girmekte ve burada helyum gazıyla karşılaşmaktadır. Bu karşılaşma sonrasında kısmi basıncı düşen amonyak, helyum gazı içine yayılarak buharlaşır. Fakat helyum gazıyla karşılaşan amonyağın tamamı ilk anda helyum gazı içine yayılarak buharlaşmamaktadır. Çünkü helyum gazı daha önce de belirtildiği gibi o noktada sahip olduğu sıcaklık değeri için belirli bir miktar amonyak buharını içinde taşıyabilmektedir. Bu bağlamda, amonyağın kısmi basıncı buharlaştırıcı içinde

karışımının doyma noktasındaki entalpi değeri belirlenmiştir. Buharlaştırma için çevreden çekilen toplam ısı miktarı ise, her bir noktada bulunan ısı miktarlarının ortalaması olarak alınmıştır. Bu kısmın analizinde kullanılan kütle ve enerji korunum bağıntıları ise aşağıda verilmektedir.

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_9 \quad (24)$$

$$\dot{q}_y = \dot{m}_7 \frac{\sum_{i=1}^n h_{9i7} - h}{n} \quad (25)$$

4.4. Soğurucu Analizi

Buharlaştırıcıdan çıkan amonyak buharı-helyum gazı karışımı, kaynatıcıdan gelen fakir karışımla soğurucuda birleşmekte ve burada helyum gazı içindeki amonyak buharı fakir karışım tarafından soğurulmaktadır. Soğurucu çıkışında ise helyum gazı saf halde fakir karışım ise amonyak bakımından zenginleştiğinden zengin karışım olarak çık

maktadır. Yapılan analizde helyum gazının soğurma işlemi esnasında bir etkisi olmadığı düşünülerek soğurucu çıkışında sadece zengin karışım göz önüne alınmıştır. Bu kısım için yazılan kütle ve enerji korunum denklemleri ise aşağıda verilmektedir.

$$\dot{m}_{11} = \dot{m}_9 + \dot{m}_{10} \quad (26)$$

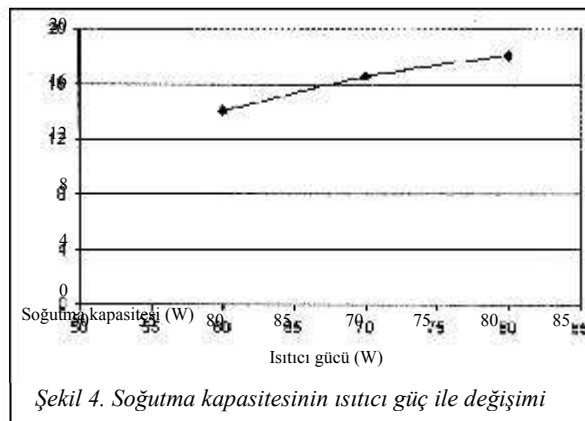
$$\dot{m}_{11} h_{11} = \dot{m}_9 h_9 + \dot{m}_{10} h_{10} + \dot{q}_{soğ} \quad (27)$$

5. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Deneylerden alınan sıcaklık ölçümleri yardımıyla sistem elemanlarının her birisi için yazılan eşitlikler geliştirilen bir bilgisayar programında çözülerek termodinamik analize ait sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 2). Geliştirilen programın girdisinde, deneylerden elde edilen sıcaklık ölçümleri, ısıtıcı aracılığıyla kaynatıcıya verilen güç, sistem basıncı ve sisteme verilen amonyak-su karışımının amonyak bakımından kütleli derişikliği bulunmaktadır. Program çıktısında ise sistem üzerindeki ısı kayıp ve kazançları, sistemin değişik bölgelerinde amonyak buharının sahip olduğu kütleli debiler ve amonyak buharının saflaştırıcı çıkışındaki kütleli derişikliği elde edilmiştir.

absorbsiyonlu sistemin soğutma etkenlik katsayısı, klasik absorbsiyonlu sistemlere göre düşük sayılabilecek bir seviyededir. Bu durumun sebebi, sistem içinde amonyağın (soğutucu akışkan) kütleli derişiminin düşük olmasıdır (Tablo 2).

Yapılan analizde, ele alınan sistem (mini bar buzdolaplarında kullanılan absorbsiyonlu sistem) için gerekli olan kaynatıcı gücünün optimum değerinin 70 W olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır (Şekil 4 ve Şekil 5). 60 W ve 70 W olarak kaynatıcıya verilen ısı miktarları için sistemin soğutma kapasitesi dü



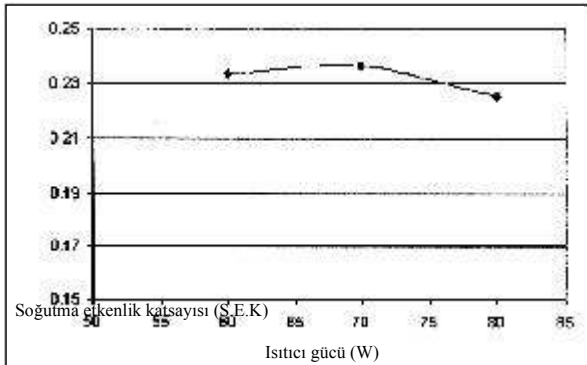
Şekil 4. Soğutma kapasitesinin ısıtıcı güç ile değişimi

Analizden elde edilen sonuçların verildiği tablodan da anlaşılacağı üzere buzdolaplarında kullanılan

şunı olduğunda meydana gelen artış 2.5 W seviyelerindedir. Buna karşılık soğutma etkenlik katsayısında ise çok küçük bir artış meydana gelmektedir.

Tablo 2. 60, 70 ve 80 W kaynatıcı güçleri için elde edilen sonuçlar

Amonyanın karışım içindeki kütleli derişikliği (% 27) Sistem basıncı (P=17 bar)			
Kaynatıcıya verilen ısı miktarı (W)	60	70	80
Saflaştırıcıdan atılan ısı miktarı (W)	-18.006	-26.09	-38.17
Yoğuşturucudan atılan ısı miktarı (W)	-15.024	-17.488	-19.27
Buharlaştırıcıdan çekilen ısı miktarı (W)	14.028	16.55	18.031
Soğurucudan atılan ısı miktarı (W)	-20.09	-23.501	-25.567
Sıvı ısı değiştiricisinden atılan ısı miktarı (W)	-21.01	-19.596	-15.038
Soğutma etkenlik katsayısı	0.2338	0.2364	0.2254
Kaynatıcı çıkışındaki kütleli debi (kg/s)	2.06094×10^{-5}	2.6884×10^{-5}	3.4661×10^{-5}
Saflaştırıcı çıkışındaki kütleli debi (kg/s)	1.1352×10^{-5}	1.3365×10^{-5}	1.4560×10^{-5}
Saflaştırıcı çıkışındaki kütleli derişiklik	0.983	0.977	0.972



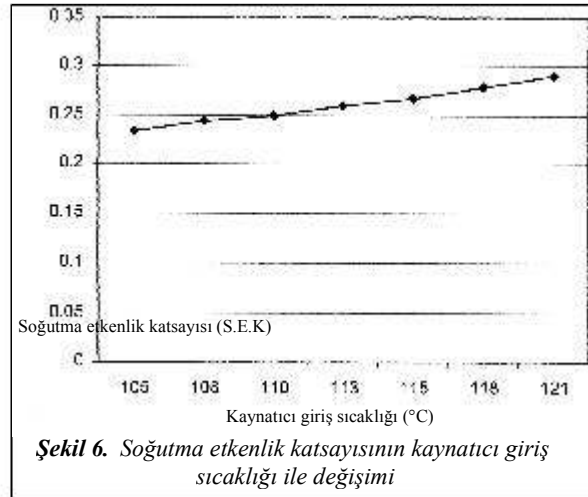
Şekil 5. Soğutma etkenlik katsayısının ısıtıcı güç ile değişimi

Bu iki kıstas göz önüne alındığında 60 W'lık bir kaynatıcı gücünün sistemde kullanılmasının gereksiz enerji sarfiyatı açısından daha uygun olacağı söylenebilir.

Sistem elemanlarından çevreye atılan ısı miktarları irdelendiğinde ise sistemde çevrimin sağlanabilmesi için bu ısıların mutlaka dışarı atılması gerektiği bilinmektedir. Fakat sistemde sıvı ısı değiştiricisi olarak tanımlanan kısımdan çevreye atılan ısının tamamen gereksiz olduğu söylenebilir. Sıvı ısı değiştiricisinde, kaynatıcı bölümünden gelen fakir karışımın sahip olduğu ısının tamamını ters yönde kaynatıcıya giden zengin karışıma vermesi durumunda bu kısımdan atılan ısı, sisteme kazandırılmış olacaktır. Kaynatıcı kısmına giren zengin karışımın sıcaklığındaki en küçük bir artış ise sis-

tem soğutma etkenlik katsayısında önemli bir artışa neden olmaktadır (Tablo 3).

Kaynatıcı giriş sıcaklığının soğutma etkenlik kat-



Şekil 6. Soğutma etkenlik katsayısının kaynatıcı giriş sıcaklığı ile değişimi

sayısına yaptığı etki aşağıdaki şekilde de açıkça görülmektedir. Sistemde sıvı ısı değiştiricisinden çevreye atılan ısının engellenmesi için bu kısma yapılacak bir yalıtım yeterli olacaktır. Fakat yapılacak yalıtımın, ısı değiştiricisinin kaynatıcıya yakın tarafına, soğurucunun da mümkün olduğunca uzak tarafına yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada sistemdeki ısı kayıpları belirlenmiş

Tablo 3. 60 W kaynatıcı gücü ve değişik kaynatıcı giriş sıcaklıkları için elde edilen sonuçlar

Amonyanın karışım içindeki kütleli derişikliği (% 27) Sistem basıncı (P=17 bar)			
Kaynaticıya verilen ısı miktarı (W)	60	60	60
Kaynaticı giriş sıcaklığı (°C)	105	108	110
Safılaştırıcıdan atılan ısı miktarı (W)	-18.006	-18.6996	-19.189
Yoğuşturucudan atılan ısı miktarı (W)	-15.024	-15.603	-16.012
Buharlaştırıcıdan çekilen ısı miktarı (W)	14.028	14.5997	14.982
Soğurucudan atılan ısı miktarı (W)	-20.09	-21.074	-21.626
Sıvı ısı değiştiricisinden atılan ısı miktarı (W)	-21.01	-19.586	-18.529
Soğutma etkenlik katsayısı	0.2338	0.24333	0.24969
Kaynaticı çıkışındaki kütleli debi (kg/s)	2.06094×10^{-5}	2.14037×10^{-5}	2.1964×10^{-5}
Safılaştırıcı çıkışındaki kütleli debi (kg/s)	1.1352×10^{-5}	1.17894×10^{-5}	1.2098×10^{-5}
Safılaştırıcı çıkışındaki kütleli derişiklik	0.983	0.983	0.983

ve sistemin sıvı ısı değiştiricisinden kaynaklanan kayıp ısının sisteme kazandırılması üzerinde durulmuştur. Yapılacak bir sonraki çalışmada ise safılaştırıcı bölgesinden kaybedilen ısının sisteme geri kazandırılması üzerinde durulabilir. Çünkü safılaştırıcıdan atılan ısı miktarı da sistemde gereksiz ısı kaybı olarak bilinmektedir.

SEMBOL LİSTESİ

C_p : Özgöl ısı (kJ/kg.K)

G: Molar Gibbs fazla enerfi fonksiyonu (kJ/kg)

h: Özgöl entalpi (kJ/kg)

\dot{m} : Kütleli akış debisi (kg/s)

P: Basıncı (bar)

\dot{q}_b : Buharlaşma ısısı (W)

$\dot{q}_{sıd}$: Isı değiştiricisinden çevreye atılan ısı miktarı (W)

\dot{q}_k : Kaynaticı bölgesine verilen ısı miktarı (W)

\dot{q}_{saf} : Safılaştırıcıdan atılan ısı miktarı (W)

$\dot{q}_{soğ}$: Soğurma ısısı (W)

\dot{q}_y : Yoğuşma ısısı (W)

R: Evrensel gaz sabiti (kJ/kmol.K)

x: Kütleli derişiklik

Alt İndisler

a: Amonyak

b: Buhar faza ait değer

d: Doyma noktasındaki değer

f: Fazla enerjiye ait değer

i: İndirgenmiş değer

k: Kaynama

kar: Karışıma ait değer

kr: Kritik değer

r: Referans değer

s: Sıvı faza ait değer

su: Su

y: Yoğuşma

KAYNAKLAR

- [1] von Platen, B. C. and Munters, C. G., "Refrigerator", U.S. Patent 1,685,764, 1928.
- [2] Srihirin, P. and Aphornratana, S., "Investigation of a diffusion absorption refrigerator", Applied Thermal Engineering, 22, 1181-1193, 2002.
- [3] Kouremenos, D. A. and Stegou-Sagia, A., "Use of helium instead of hydrogen in inert gas absorption refrigeration", International Journal of Refrigeration, 11, 336-341, 1988.
- [4] El-Sayed, Y. M. and Tribus M., "Thermodynamic properties of water-ammonia mixtures theoretical implementation for use power cycles analysis", ASME Special Publication, AES 1, New York (NY), 89-95, 1985.
- [5] Ziegler, B. and Trepp, C., "Equation of state for ammonia-water mixtures", International Journal of Refrigeration, 7, 101-106, 1984.
- [6] Kuehn, T. H., Ramsey, J. L. and Threlkeld, J. L., "Thermal Environmental Engineering", Prentice-Hall Inc., Eaglewood Cliffs, NJ, 1998.
- [7] Kouremenos, D. A., Stegou-Sagia, A. and Antonopoulos, K. A., "Three-dimensional evaporation process in aqua-ammonia absorption refrigerators using helium as inert gas", International Journal of Refrigeration, 17, 58-67, 1994.

EK 1

Eşitlik (1), (3) ve (4)'te kullanılan sabit katsayılar

a_i	205.8889	280.930556	-317.0138889	263.194444
b_i	0.36810552389 732.99536936	-3.6679548875 -1076.0613489	46.6000470809 797.948078048	-262.921061996 -235.903904222
c_i	153.634521459 -0.0753450148	-13.0305543892 0.004811166627	-1.14845282991 -0.000120433757	0.55035809445
C_{ij}	-462.460321366 -523748.057636 5.92208187 x 10 ⁶ 53051.4495633 -2.230797 x 10 ⁷ 248.783804168 2.82708344 x 10 ⁶ 7.596403597 x 10 ⁶ 1993.17101166 3.69919966 x 10 ⁶ 33.5343446156 51780.666659 238153.698326 541.19105807 -14844.7928004 0.170806170177 -258.750496922 154.375042114	23739.9986309 -2.3282714755 x 10 ⁶ -1.4324055213 x 10 ⁶ 382763.793582 2.289665685 x 10 ⁷ 4807.07241098 -8.469715158 x 10 ⁶ -1.6840026448 x 10 ⁶ 100706.510396 3.688365225 x 10 ⁶ 601.878586689 -209714.899856 -54497.0973336 -1696.60270972 19481.0094551 3.48182859299 311.002585218 -48.5083828701	-194504.35292 7.562418535 x 10 ⁶ 421.443122208 -3.583589869 x 10 ⁶ -1.24833248091 x 10 ⁷ 13565.1003309 1.445958889 x 10 ⁷ 126.965580728 -687388.808612 -1.975122393 x 10 ⁶ -3064.82070658 405011.985355 3.97454953787 1713.45942707 -12107.0794501 -27.7957587743 -123.917993454	639383.528867 -9.66829589 x 10 ⁶ -14560.354925 1.224326538 x 10 ⁷ 2.8133117163 x 10 ⁶ -466407.780832 -1.428108753 x 10 ⁷ -2090.45270574 2.1324124696 x 10 ⁶ 440201.446068 71.7954752052 -428310.461566 -77.026846469 4019.01019872 2966.92804386 113.762064546 -123.480627492

Eşitlik (2)'de kullanılan sabit katsayılar

a_i	153.17055346 0.071995075189	-11.7705687461 0.00285423950786	-1.78126355957	0.647385455059
A_i	194.7939133493 74.3508283362 13.0175447367 -0.90857587517 -0.000718635742 0.0019544170298	74.236124188 -33.2941879809 6.1586564117 -0.356752691147 -0.0251026383533 0.00280533349937	9.84103819552 -4.78866918581 0.789740337141 0.0238067275502 -0.0191664613304 0.0013899436563	0.436843852745 -0.225416733476 0.0321510834958 0.0049559393395 -0.001701425387 0.0001164226116

Eşitlik (5a), (5b) ve (5c)'de kullanılan sabit katsayılar

E_1 : -41.733398	E_9 : 0.387983
E_2 : 0.02414	E_{10} : -0.004772
E_3 : 6.702285	E_{11} : -4.648107
E_4 : -0.011475	E_{12} : 0.836376
E_5 : 63.608967	E_{13} : -3.553627

$E_6: -62.490768$
 $E_7: 1.761064$
 $E_8: 0.008626$

$E_{14}: 0.000904$
 $E_{15}: 24.361723$
 $E_{16}: -20.736547$