

SÜT SOĞUTMA TANKININ BUHAR SIKIŞTIRMALI VE GÜNEŞ ENERJİLİ ABSORPSİYONLU (LiCl-H₂O) SOĞUTMA SİSTEMLERİYLE SOĞUTMA PERFORMANSININ DENEYSEL İNCELENMESİ

Vedat DEMİR¹, Tuncay GÜNHAN¹, Arzu ŞENCAN ŞAHİN², Orhan EKREN³, Hamdi BİLGİN¹, Aytunç EREK⁴

¹Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, İzmir

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Isparta

³Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir

⁴Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir

vedat.demir@ege.edu.tr, tuncav.gunhan@ege.edu.tr, arzusencan@sdu.edu.tr, orhanekren@gmail.com,
hamdi.bilgin@ege.edu.tr, aytuncerek@hotmail.com

(Geliş/Received: 17.12.2013; Kabul/Accepted: 07.01.2016)

ÖZET

Bu çalışmada çiftlik tipi bir süt soğutma tankının, klasik buhar sıkıştırılmış soğutma sistemiyle soğutulmasına alternatif olarak, güneş enerjili bir absorpsiyonlu soğutma sistemiyle soğutulması deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada 1000 litre kapasiteli 2BII sınıfı çiftlik tipi bir süt soğutma tankı kullanılmıştır. Tank tabanı klasik buhar sıkıştırılmış soğutma yapabilecek özellikte olup, tank çevresi ise absorpsiyonlu soğutma sistemine uygun özel ısı değiştirici (rollbond) sistemiyle donatılmış olarak imal edilmiştir. Deneysel çalışmalarda, klasik buhar sıkıştırılmış soğutma sistemi ve hibrit yöntem (içsel enerji depolamalı LiCl-H₂O çiftiyle çalışan absorpsiyonlu soğutma ile ardından klasik buhar sıkıştırılmış soğutma sistemi) kullanılarak, süt soğutma tankının ilk ve son sağım soğutma performansları Uluslararası ve Türk standartlarına göre ortaya konulmuştur. Her iki sistemle yapılan soğutmada, ilk sağım soğutması sınır kabul edilen süre içinde tamamlanmıştır. Son sağım soğutması ise, buhar sıkıştırılmış soğutma sistemi ile zamanında tamamlanırken, hibrit yöntemle sınır kabul edilen süreden daha fazla zaman almıştır. Genel olarak, aynı soğutma kapasitesi için klasik buhar sıkıştırılmış soğutma sisteminin özgül enerji ihtiyacı 21,06 Wh/L olurken absorpsiyonlu soğutma sistemi ilaveli hibrit yöntemin özgül enerji ihtiyacı 18,01Wh/L olarak bulunmuştur. Ülkemizin avantajlı konumda olduğu güneş enerjisi, jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin farklı soğutma uygulamalarında daha fazla yer almasıyla önemli düzeyde enerji tasarrufları sağlamak mümkün olabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Absorpsiyon, süt soğutma, süt tankı, soğutma, güneş enerjisi

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF COOLING PERFORMANCE OF MILK COOLING TANK WITH THE VAPOR COMPRESSED AND SOLAR ABSORPTION (LiCl-H₂O) COOLING SYSTEM

ABSTRACT

In this study, utilization of a solar energy powered absorption cooling system has been investigated instead of conventional cooling systems for milk cooling purpose as an alternative method. In this study, a novel designed milk tank (1000 liter tank capacity and 2BII performance class) with rollbond type heat exchanger around the wall and conventional heat exchanger bottom of the tank for vapor compression cooling system was used. Performance investigation of the tank has been realized while the first and last milking experiments according to International and National Standards for the milk storage tank. Experimental studies have been realized for the hybrid combination of the conventional (vapor compression) cooling and the LiCl-H₂O absorption cooling systems with an internal energy storage ability. According to experiments, the conventional and absorption

cooling method were cooled down the milk at the first milking period in the reasonable time interval. On the other hand, while the conventional method was being completed in the reasonable time interval, hybrid method was not able to complete in accepted time limit. Utilization of the hybrid combination of the LiCl-H₂O absorption and conventional cooling system showed 18.01 Wh/L specific energy consumption, but conventional cooling system showed 21.06 Wh/L specific energy consumption at the same cooling amount. In Turkey, utilization of solar and geothermal energy powered absorption cooling systems to increase energy savings in different cooling application can be significant method since Turkey has advantages about renewable energy sources such as solar and geothermal energy.

Keywords: Absorption, milk cooling, milk tank, refrigeration, solar energy

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sağım işleminden sonra fabrikaya gönderilmeden önce çiğ sütün kalitesinin bozulmaması için, süt üreticilerinin soğutma ve depolama gibi işlemleri yapması gerekmektedir. Yeni sağılan ve vücut sıcaklığında (35-37°C) olan süt, en kısa sürede soğutulmalıdır. Aksi takdirde, mikroorganizmalar hızla çoğalarak sütün bozulmasına neden olurlar. Ülkemiz koşullarında süt sağımının bitmesinden sonraki 2 saat içerisinde 4°C'ye soğutma işleminin tamamlanmış olması gerekmektedir [1].

Sütün soğutulması genel olarak, geleneksel buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemleri kullanılarak yapılmaktadır. Günümüzde absorpsiyonlu soğutma sistemleri de süt soğutma amacıyla alternatif bir metot olabilmektedir. Absorpsiyonlu soğutma sistemleri, klasik buhar sıkıştırılmalı sistemlerde de yer alan kondenser ve evaporatörle birlikte absorber, generatör, eriyik pompası gibi temel kısımlardan oluşmaktadır. Klasik sistemlerde kompresör tarafından gerçekleştirilen mekanik sıkıştırma işi, bu sistemlerde bir termal (buharlaştırma-yoğuşma-absorpsiyon) mekanizma yardımıyla yapılmaktadır. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde gerçekleşen bu çevrim, büyük oranda generatöre sağlanacak güneş enerjisi, jeotermal enerji, atık ısı gibi kaynaklardan elde edilen ısı enerjisi yardımıyla sağlanmaktadır. Çevrime yardımcı olan eriyik pompası, soğutma ve ısıtma suyu dolaşımını sağlayan sirkülasyon pompaları dışında enerji tüketen hareketli ekipmanlar bulunmamaktadır. Bu nedenle sisteme verilecek ısı enerjisinin yenilenebilir enerji kaynağı ya da işletmedeki çeşitli proseslerden çıkan atık ısıdan sağlanması durumunda sistem oldukça ekonomik hale gelmektedir. Güneş enerjisi kaynaklı absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin çalışma prensipleri ve sistem performansları ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır [2-10]. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde yapılan bu çalışmalar; sistemin karmaşıklığı, ilk devreye alma ve işletme sırasında karşılaşılan problemler nedeniyle çoğunlukla teorik düzeyde kalmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda ise, küçük kapasiteli ünitelerde karşılaşılan teknik problemler nedeniyle genel olarak büyük kapasiteli tesis ve sistemler üzerinde yoğunlaşmıştır. Süt soğutma amacıyla absorpsiyonlu soğutma sisteminin kullanımına yönelik yapılan teorik çalışmada, vakum tüplü güneş kolektörleriyle gerekli

ısının sağlandığı ve monometilamin-su akışkan çiftinin kullanıldığı absorpsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik simülasyonu yapılmıştır [11]. Bu tür sistemlerin Meksika'nın kırsal kesimlerinde süt soğutma amacıyla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Harici ve dahili enerji depolama sistemine sahip absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin performanslarının incelendiği bir çalışmada; güneş kolektörleri, absorpsiyonlu ısı pompası sistemi ve bina ısı yüklerini kapsayan bir dinamik simülasyon gerçekleştirilmiştir [12].

Her iki absorpsiyonlu soğutma sisteminin karşılaştırılması sonucu, aynı miktardaki enerjiyi depolayabilmek için harici depolama ünitesine sahip sistemde, dahili depolama sistemine göre daha fazla alan gereksinimine ihtiyaç olduğu görülmüştür. Isı kaynağı olarak yüzme havuzunun kullanıldığı içsel enerji depolamalı LiCl-H₂O akışkan çiftiyle çalışan absorpsiyonlu ısı pompasının ekserji analizinin yapıldığı bir başka çalışmada, absorpsiyonlu ısı pompasının uygulama alanı olan binanın ısıtma ve soğutma ihtiyacı TRNSYS programıyla hesaplanmıştır [13]. Güneş enerjili bu tür sistemlerin küçük yerleşim alanlarında etkili bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Güneş enerjili 10 kW kapasiteli LiCl-H₂O absorpsiyonlu bir sistem, İspanya'da müstakil bir eve kurularak, bir yıl boyunca teorik ve deneysel soğutma performans katsayıları (COP) hesaplanarak karşılaştırılmış ve sistemin ekonomik analizi yapılmıştır [14]. Özellikle güneş enerjisinin yoğun olduğu yaz aylarında bu sistemlerin avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada, çiftlik tipi bir süt soğutma tankı içindeki sütün soğutulması için buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemi kullanılmıştır. Daha sonra bu sisteme, içsel depolama özelliği bulunan LiCl-H₂O akışkan çiftiyle çalışan güneş enerjili bir absorpsiyonlu soğutma sistemi eklenmiştir. Her iki soğutma sisteminin performansları ve enerji tüketimleri karşılaştırılmıştır.

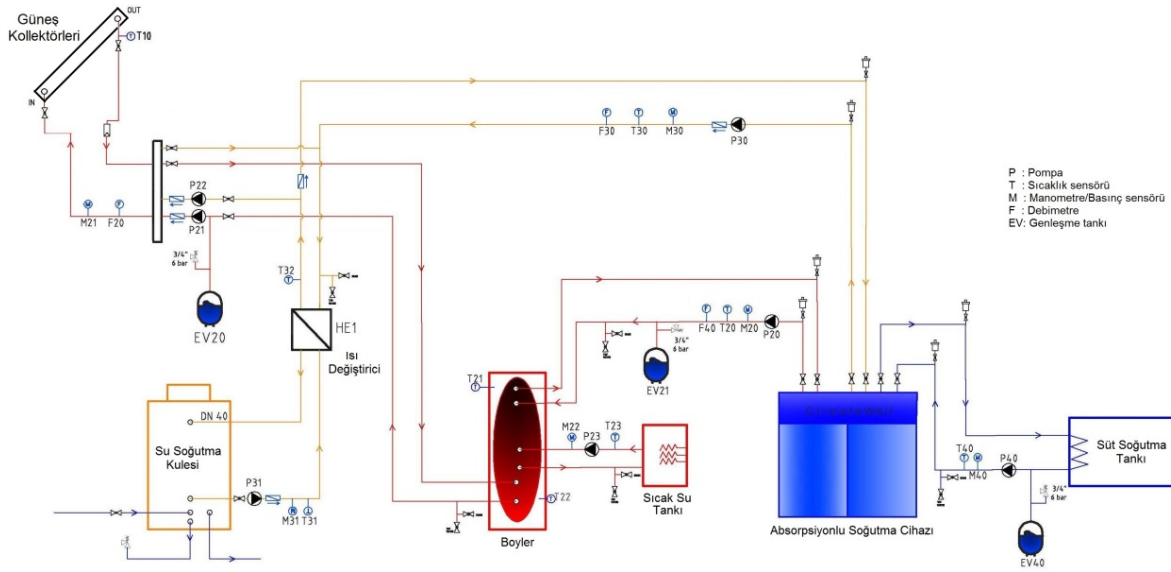
2. DENEYSEL SİSTEM (EXPERIMENTAL SYSTEM)

Absorpsiyonlu soğutma sistemi, klasik buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemine sahip süt soğutma tankı, tank deneme odası ve soğutma performans denemelerini içermektedir.

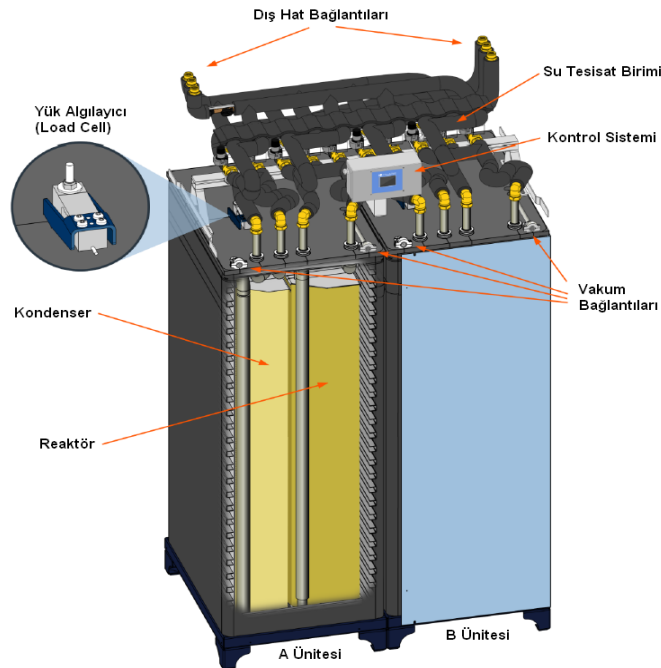
2.1 Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi (Absorption Cooling System)

Absorpsiyonlu soğutma sistemi; güneş kolektörleri ve sıcak su tankı, absorpsiyonlu soğutma cihazı, boyler, ısı değiştirici, soğutma kulesi, pompalar, kontrol vanaları ve iletim hatlarından oluşmuştur (Şekil 1). Gerekli ısı enerjisini elde etmek için kullanılan güneş kolektörleri vakum tüplüdür. Kolektörler paralel iki sıra halinde dizilmiş olup, toplam 340 adet vakumlu tüpün güneş ışınlarını toplama alanı 27,33 m²'dir. Güneşin olmadığı zamanlarda sıcak su ihtiyacının karşılanması için, 1 adet 15 kW ve 2 adet 10 kW olmak üzere 3 adet ısıtıcı rezistansa sahip 1500 litre kapasiteli paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiş

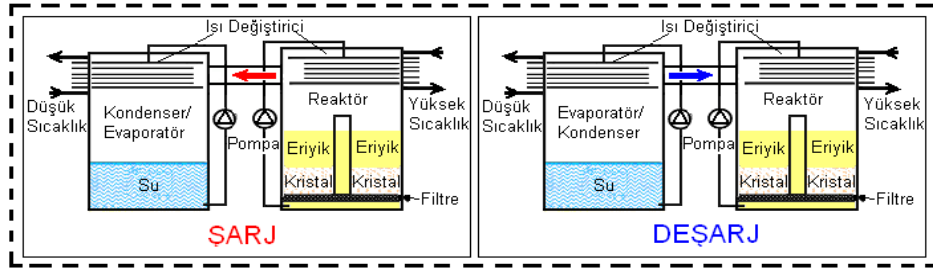
sıcak su tankı kullanılmıştır. Absorpsiyonlu soğutma cihazı, LiCl-H₂O çiftiyle çalışmakta olup, çeşitli enerji kaynaklarından elde edilen ısı enerjisini işsel olarak depolayabilme özelliğine sahiptir. Cihaz, iki ayrı ünite (A ve B ünitesi) ile bu ünitelere sıcak, soğuk, ısı bertaraf su giriş ve çıkış boruları, borular üzerinde yer alan kontrol ve yönlendirme vanaları, veri ölçüm ekipmanları (sıcaklık, debi, yük algılama vb) ile sistem kontrol ünitesi ve yazılımından oluşmuştur (Şekil 2). A ve B ünitelerinin her biri, birer adet kondenser/evaporatör ve generator/absorberden oluşan iki ayrı tanka sahiptir (Şekil 3). Absorpsiyonlu soğutma sisteminin enerji depolama (şarj) işlemi: güneş kolektörlerinden elde edilen yüksek sıcaklıktaki su, generator (reaktör)



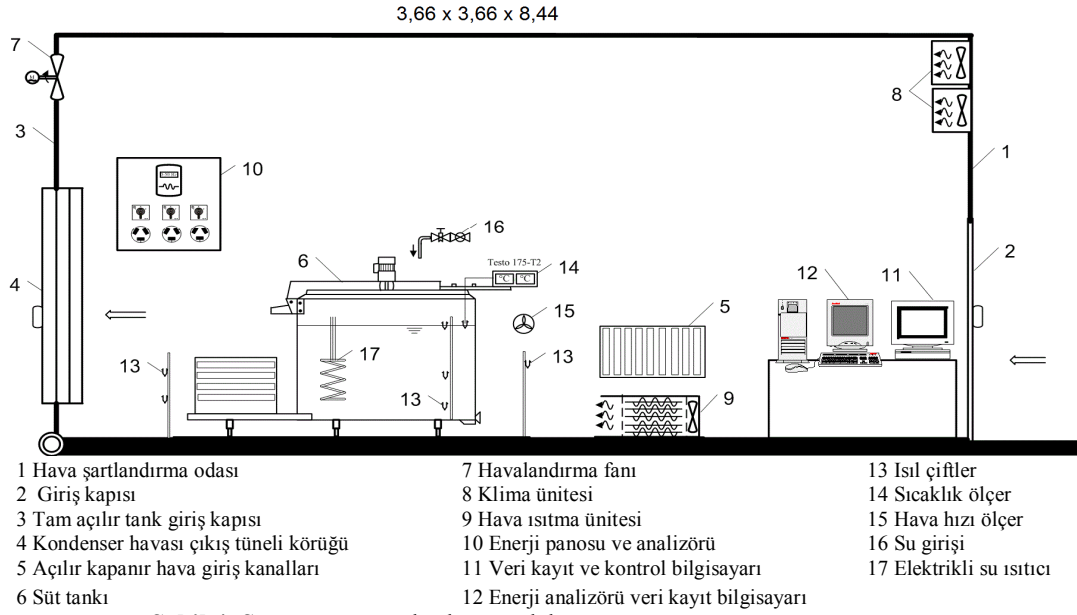
Şekil 1. Absorpsiyonlu soğutma sistemi (Absorption cooling system)



Şekil 2. LiCl-H₂O absorpsiyonlu soğutma cihazı (LiCl-H₂O absorption chiller)



Şekil 3. LiCl-H₂O absorpsiyonlu soğutma sistemi tek ünite çalışma şeması (Schematic of working process of a single unit LiCl-H₂O absorption chiller)



Şekil 4. Süt soğutma tankı deneme laboratuvarı (Test room of milk cooling tank)

çevresine döşenmiş borular içinden geçirilmek suretiyle generatör içinde bulunan LiCl-H₂O eriyiği ısıtılır ve su buharlaştırılarak tuza maksimum higroskopik özellik kazandırılır. Su buharı ise basınç farkından dolayı kondensere geçerek yoğuşur. Yoğuşmayı sağlamak amacıyla, kondenser çevresine döşenmiş borular içinden soğutma kulesi hattından gelen soğuk su (<30°C) geçirilir. Generatör içindeki suyun tamamı buharlaştığında tuz (LiCl) maksimum higroskopik özelliktedir. Bu esnada yönlendirme vanaları kapatıldığında sistem depolayabildiği en yüksek enerjiyi depolamış durumdadır (Şekil 3). Absorpsiyonlu soğutma sisteminin soğutma (deşarj) işlemi: Vakum altındaki generatör ile kondenser arasındaki yönlendirme vanası açıldığında, artık evaporatör olarak görev yapacak olan kondenserden buharlaşan su, absorber olarak görev yapacak olan generatör ünitesindeki maksimum higroskopik özellikteki tuz tarafından hızla çekilerek absorbe edilmeye başlar. Bu esnada buharlaşma etkisiyle evaporatördeki su hızla soğumaya, absorberdeki tuz ise hızla ısınmaya başlar. Bu sırada absorberde açığa çıkan ısı, çevresinden geçen borular içindeki su tarafından alınarak soğutma kulesine yönlendirilir. Evaporatördeki sıcaklık düşüşü sayesinde evaporatör çevresinden geçen borular içindeki suyun sıcaklığı düşürülerek, soğutma suyu elde edilmiş olur (Şekil 3).

2.2 Süt Soğutma Tankı, Deneme Odası ve Performans Deneyleri (Milk Cooling Tank, Test Room and Performance Experiments)

Deneysel sistemde kullanılan çiftlik tipi süt soğutma tankı, 1000 litre hacme sahip olup, paslanmaz çelik malzemeden dikey silindirik yapıda imal edilmiştir. Tank, klasik buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemine sahip olup soğutma, bir kompresör tarafından soğutucu akışkanın tankın alt cidarında dolaştırılması ile sağlanmaktadır. Soğutucu akışkan olarak R404A gazı kullanılmaktadır. Tankın, Avrupa ve Türk standartlarında soğutma sınıfı 2 B II'dir. Süt tankının absorpsiyonlu soğutma sistemiyle kullanılması amacıyla yan cidarlarına, absorpsiyonlu sistemden elde edilen soğuk suyun dolaşımını sağlayacak ikinci ısı değiştirici (rollbond) sistemi, tankın imali esnasında özel olarak ilave edilmiştir. Süt soğutma tankı denemeleri, Avrupa ve Türkiye Standartlarına [15] uygun olarak hazırlanmış ve Şekil 4'de verilen deneme odasında gerçekleştirilmiştir [16]. Deneme odası içerisine ısıtma/soğutma üniteleri yerleştirilmiş ve süt soğutma tankının sınıfına uygun istenen deney odası sıcaklık şartlarında $\pm 1^\circ\text{C}$ sabit kalacak şekilde bilgisayar kontrollü çalışma sağlanmıştır. Çalışmada süt soğutma tankının soğutma testlerine başlamadan önce tankın, kondenserlerin ve soğutma ünitesinin

yerleştirildiği ortam havasının sıcaklığı TS EN13732 +A2 standardında belirtilen şekilde 32°C'ye ayarlanmış ve tankın bu sıcaklıkta 2 saat bekletilmesi sağlanmıştır. Ortam havasının ve tank içerisindeki suyun sıcaklıkları sürekli olarak ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Denemeler sırasında tank etrafındaki hava hızının 1 m/s değerini geçmemesine dikkat edilmiştir. Süt soğutma tankının enerji tüketiminin ölçülmesinde, tankın elektrik enerji hattı üzerine bağlanan bir adet 3 fazlı enerji analizöründen yararlanılmış ve deneme süresince veriler 1 dakika aralıklarla bilgisayara kayıt edilmiştir.

Süt soğutma tankı denemeleri, klasik buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemi ve absorpsiyonlu soğutma sistemi ile ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Absorpsiyonlu soğutma sistemi ile istenen soğutma sıcaklığına tek başına ulaşamadığından, belirli bir dereceye kadar LiCl-H₂O çiftiyle çalışan güneş enerjili absorpsiyonlu soğutma sistemi, ardından klasik buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemi (hibrit yöntem) soğutmada kullanılmıştır. Denemelerde standartta belirtildiği üzere soğutulan sütü temsilen “deneme suyu” kullanılmıştır.

Her iki soğutma yöntemi (klasik ve hibrit) kullanılarak süt soğutma tankı denemeleri, ilk sağım soğutma testi, son sağım soğutma testi olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk sağım soğutma testi için tankın ilk sağım kapasitesi olan 500 litre deneme suyu tanka konulmuş ve tank içerisindeki suyun sıcaklığı standartta belirtilen 35°C'ye ayarlanmıştır. Son sağım soğutma testi için tankın anma hacmi olan 1000 litre deneme suyu ile doldurulan tank içerisindeki suyun sıcaklığı standartta belirtilen 19,5°C sıcaklığa ayarlanmıştır. Her iki

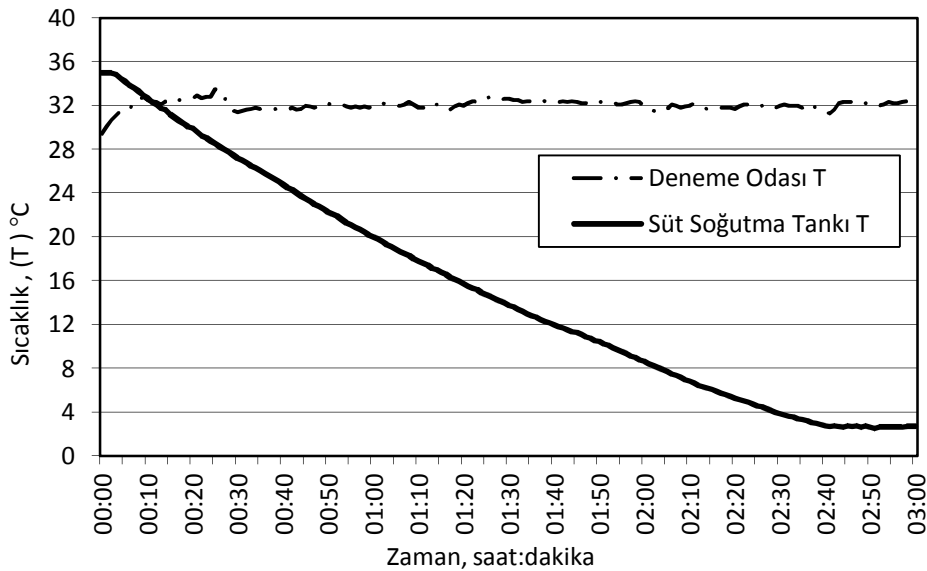
denemede süt soğutma tankının çalışması süresince, ortam sıcaklıkları, tank içerisindeki deneme suyunun sıcaklık değişimi, deneme suyunun +4°C'ye ulaşma süresi, termostatın soğutma cihazını kapatma süresi, kapatma sıcaklığı ve enerji tüketimi değerleri bilgisayara sürekli kayıt edilmiştir. Süt soğutma tankının özgül enerji ihtiyacı Eşitlik (1) yardımıyla hesaplanmıştır [15, 16].

$$E_T = \frac{(E_{ilk} + E_{son}) \cdot n}{(V_a \cdot 2)} \quad (1)$$

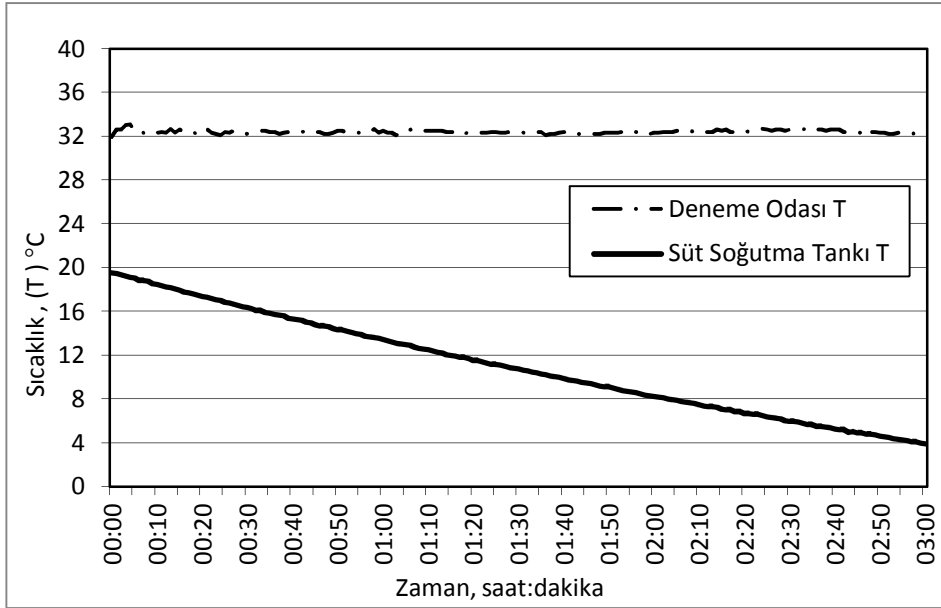
Eşitlik (1) : E_T , özgül enerji ihtiyacı (Wh/L); E_{ilk} , ilk sağım enerji tüketimi (Wh); E_{son} , son sağım enerji tüketimi (Wh); V_a , Tankın beyan hacmi (L); n , tank içine yapılan sağım sayısıdır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Süt soğutma tankı, Avrupa ve Türkiye Standartları'nda çalışma ortamı sıcaklığına ve soğutma süresine göre sınıflandırmada etiket bilgilerine göre B II sınıfı olduğu için ilk ve son sağımdaki sütü 32°C ortam sıcaklığı koşullarında en çok 3 saat içerisinde başlangıç sıcaklığından +4°C'ye soğutabilmelidir. Çalışmada birinci aşamada klasik buhar sıkıştırılmalı soğutma yöntemiyle süt soğutma tankının ilk ve son sağım denemeleri gerçekleştirilmiş, ilk ve son sağım için deneme suyunun sıcaklık değişimleri sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. Süt soğutma tankı ilk sağım denemesinde 35°C'deki 500 litre deneme suyunu, tank içerisine yerleştirilen sıcaklık algılayıcılarının ortalamalarına göre 2 saat 29 dakika içerisinde



Şekil 5. Buhar sıkıştırılmalı soğutma yöntemiyle süt soğutma tankının ilk sağımdaki deneme suyunun sıcaklık değişimi (Variation of test water temperature in first milking of milk cooling tank with vapor compressed)



Şekil 6. Buhar sıkıştırılmalı soğutma yöntemiyle süt soğutma tankının son sağımındaki deneme suyunun sıcaklık değişimi (Variation of test water temperature in second milking of milk cooling tank with vapor compressed)

+4°C'ye soğutmuştur (Şekil 5). Süt soğutma tankı son sağım denemesinde ise 19,5°C'deki 1000 litre deneme suyunu 2 saat 59 dakika içerisinde +4°C'ye soğutmuştur (Şekil 6). Süt soğutma tankının 32°C ortam koşullarında yapılan performans testlerinin ölçümleri Tablo 1'de görülmektedir. Denemeye alınan 2 B II soğutma tankı sınıfı için öngörülen 3 saat'lik soğutma süresi sınırlarının içinde kaldığı görülmektedir. Bu esnada özgül enerji ihtiyacı 21,06 Wh/L olarak hesaplanmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında hibrit yöntemde kullanılacak LiCl-H₂O akışkan çifti ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sisteminin şarj işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem esnasında A ve B ünitelerinin şarj işleminde doluluk oranları, güneş panellerinin (GP) çıkış, kondenser (C) ve generatör (G) giriş-çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimleri Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir.

Şekil 7 ve Şekil 8'den görüleceği gibi şarj işlemi sabah saatlerinde boş konumda başlamış ve gün boyunca doluluk belirli bir seviyeye gelinceye kadar devam etmiştir. Bu esnada, güneş kolektörlerinden gelen ısı bir boylere aktarılarak absorpsiyonlu soğutma cihazının A ve B ünitelerine ait generatörler sürekli beslenmiştir. Besleme sıcaklığının 100 °C'nin üzerinde belirli bir süreden fazla kalması durumunda, sıcaklığın daha fazla artmaması için sistem güvenliği açısından fazla ısı, boylere üzerinden bir sıcak su deposuna aktarılmıştır. Şekilden de görüleceği üzere bu durumlarda besleme sıcaklığında kısa süreli düşüşler meydana gelmiştir. Kondenser çevresindeki ısı sürekli soğutma kulesi aracılığıyla alınarak soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Absorpsiyonlu soğutma cihazının A ve B ünitelerinin gün içindeki

şarj işlemi esnasında geçen süre, doluluk değerleri, debi değerleri, depolama amacıyla güneşten sağlanan enerji ve bunun için pompalar ve soğutma kulesi fanında tüketilen enerji değerlerine ilişkin sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Absorpsiyonlu soğutma cihazının; A ünitesi 8 saat 12 dakika sürede %95,2 ve B ünitesi 8 saat 34 dakika sürede % 91,1 doluluk oranına ulaşmıştır. Her iki ünitenin de yakın süreler çalışmasına karşın depolama amacıyla güneşten sağlanan enerji A ünitesinde 68,2 kWh, B ünitesinde 46,5 kWh olmuştur. İki ünite arasındaki bu farklılık, B ünitesinin sıcak su ve soğutma hattı besleme debilerinin hat bağlantıları nedeniyle oluşan kesit değişimlerinden kaynaklı olarak A ünitesine göre daha düşük olmasından kaynaklanmıştır.

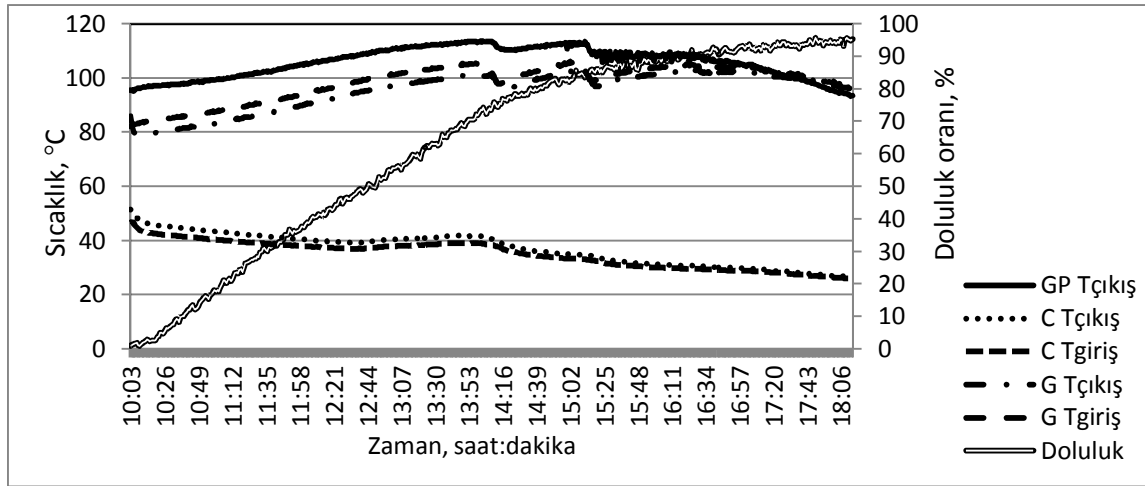
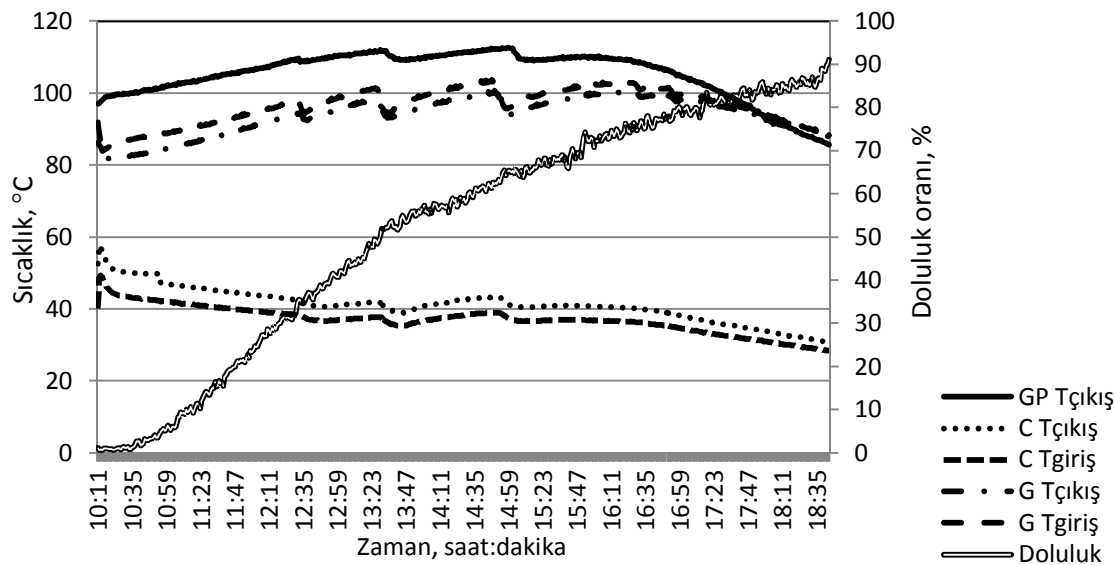
Absorpsiyonlu soğutma sistemi ile süt soğutma tankının sağım denemelerine, ilk sağım akşam ve son sağım ertesi sabah yapılacak ilkesi göz önünde bulundurularak başlanmıştır. Bu kapsamda A ve B üniteleri gün boyunca şarj edilmiş sistem ile o günün akşamında süt soğutma tankı ilk sağım denemesinde 35°C'deki 500 litre deneme suyu ile başlanmış ve süt soğutma tankı sıcaklığı belirli bir değere düştüğünde klasik buhar sıkıştırılmalı yöntemle soğutmaya devam edilmiştir. Son sağım denemesi için ise sistem gece boyunca bekletilmiş ve ertesi sabah son sağım işlemi için süt soğutma tankına 19,5°C'deki 1000 litre deneme suyu konularak başlanmış ve ilk sağıma benzer yol izlenerek denemeler gerçekleştirilmiştir. Absorpsiyonlu soğutma sisteminin ve buhar sıkıştırılmalı sistemin birlikte kullanıldığı hibrit yöntemle süt soğutma tankının 32°C ortam koşullarında yapılan ilk ve son sağım performans testlerinin ölçümlerine ilişkin sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 1. Buhar sıkıştırılmalı soğutma yöntemiyle süt soğutmada performans ölçümleri (Performance measurements of milk cooling with vapor compressed refrigeration method)

	İlk Sağım	Son Sağım
4°C'ye soğutma süresi	2 saat 29 dakika	2 saat 59 dakika
Enerji tüketimi (kWh)	9,84	11,22
Maksimum güç tüketimi (kW)	5,56	5,30
Ortalama güç tüketimi (kW)	4,94	4,85
Özgül enerji ihtiyacı (Wh/L)	21,06	

Tablo 2. Absorpsiyonlu soğutma cihazı A ve B ünitelerinin şarj işleminde geçen süre, doluluk ve debi değerleri, depolama amacıyla güneşten sağlanan enerji ve tüketilen enerji değerleri (The data of charging level and time, and flow rate, charging solar energy and energy consumption in charging duration of A and B barrel of solar absorption chiller)

		A Ünitesi	B Ünitesi
Enerji depolama (şarj) süresi (saat, dakika)		8 saat 12 dakika	8 saat 34 dakika
Doluluk oranı (%)		95,20	91,10
Sıcak su besleme debisi (m ³ /h)		2,45	1,85
Soğutma hattı besleme debisi (m ³ /h)		2,72	2,23
Ünitelere güneşten sağlanan enerji (kWh)		68,20	46,50
Enerji tüketimi (tüm pompalar+kule fanı) (kWh)		21,40	21,50

**Şekil 7.** A ünitesinin şarj sırasındaki doluluk oranı ve sıcaklıklarının zamana göre değişimi (güneş paneli-GP, kondenser-C, generatör-G) (Variation of charging level and temperature with time in charging duration of A barrel) (solar panel-GP, condenser-C, generator-G)**Şekil 8.** B ünitesinin şarj sırasındaki doluluk oranı ve sıcaklıklarının zamana göre değişimi (güneş paneli-GP, kondenser-C, generatör-G) (Variation of charging level and temperature with time in charging duration of B barrel) (solar panel-GP, condenser-C, generator-G)

Tablo 3. Hibrit yöntemle süt soğutmada elde edilen performans değerleri (Performance data in milk cooling with hibrit method)

	İlk Sağım			Son Sağım		
	Absorpsiyonlu sistem	Buhar sıkıştırılmalı sistem	Toplam	Absorpsiyonlu sistem	Buhar sıkıştırılmalı sistem	Toplam
Soğutma sıcaklığı (°C)	35–12,8	12,8–4		19,5–13,6	13,6–4	
Soğutma süresi (saat, dakika)	1 saat 43 dakika	1 saat 5 dakika	2 saat 48 dakika	1 saat 16 dakika	2 saat 14 dakika	3 saat 30 dakika
Enerji kullanımı (deşarj)						
A ünitesi (kWh)	7,84			4,59		
B ünitesi (kWh)	5,14			1,92		
Enerji tüketimi (kWh)	3,98	3,70	7,67	2,84	7,50	10,34
Özgül enerji ihtiyacı (Wh/L)			18,01			

Tablo 4. Buhar sıkıştırılmalı ve hibrit yöntemle süt soğutma performanslarının karşılaştırılması (Comparison of performance data in milk cooling with vapor compression and hibrit method)

	Klasik buhar sıkıştırılmalı soğutma		Hibrit yöntemle soğutma	
	İlk Sağım	Son Sağım	İlk Sağım	Son Sağım
4°C'ye soğutma süresi	2 saat 29 dakika	2 saat 59 dakika	2 saat 48 dakika	3 saat 30 dakika
Enerji tüketimi (kWh)	9,84	11,22	7,67	10,34
Özgül enerji ihtiyacı (Wh/L)		21,06		18,01

Absorpsiyonlu soğutma sisteminin her iki ünitesinde de enerjinin tam olarak depolanmış olduğu koşulda deneme başlatılmıştır. Süt soğutma tankı içine konulan 500 litre deneme suyunun sıcaklığı, absorpsiyonlu soğutma sistemi ile 35°C'den 12,8°C'ye 1 saat 43 dakika sürede düşürülmüştür. Absorpsiyonlu soğutma sisteminin en düşük soğutma sıcaklığı olan 10°C değerine çok yaklaşıldığından soğukluğun alınmasında etkili sıcaklık farkının ortadan kalkması nedeniyle bu sistemle soğutma işlemi durdurulmuştur. Ardından klasik buhar soğutma sistemi devreye alınmış ve 1 saat 05 dakika süre sonunda tank içindeki sıcaklık 4°C'ye düşmüştür. Her iki sistemin birlikte çalışması durumunda toplam süre 2 saat 48 dakika olmuş ve bu esnada toplam enerji tüketimi 7,67 kWh olarak hesaplanmıştır. Soğutma işlemi sonrasında absorpsiyonlu soğutma sistemi akşam 19:15'ten itibaren son sağımın yapılacağı sabah 05:16'e kadar bekletilmiş ve tanka konulan 19,5°C'de sütü temsilen 1000 litre deneme suyunu soğutmak üzere sistem tekrar çalıştırılmıştır. Süt soğutma tankının son sağım denemesinde absorpsiyonlu soğutma sistemi ile deneme suyunun sıcaklığı 19,5°C'den 13,6°C'ye 1 saat 16 dakika sürede düşürülmüştür. Ardından klasik buhar soğutma sistemi devreye alınmış ve 2 saat 14 dakika süre sonunda tank içindeki sıcaklık 4°C'ye düşmüştür. Her iki sistemin birlikte çalışması durumunda toplam süre 3 saat 30 dakika olmuş ve bu esnada toplam enerji tüketimi 10,34 kWh olarak hesaplanmıştır. Her iki soğutma sistemi için süt soğutma tankının ilk ve son sağım deneme sonuçları Tablo 4'de görülmektedir. Toplam özgül enerji ihtiyacı buhar sıkıştırılmalı sistemle yapılan soğutma işleminde 21,06 Wh/L olarak bulunurken hibrit yöntemle yapılan soğutma

işleminde 18,01 Wh/L olarak bulunmuştur. Ancak hibrit yöntemle yapılan soğutmada 3 saat'lik soğutma süresinin ilk sağımı karşıladığı, son sağımda ise aşıldığı görülmüştür.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, çiftlik tipi bir süt soğutma tankının klasik buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemi ve LiCl-H₂O çiftiyle çalışan güneş enerjili absorpsiyonlu soğutma ile ardından klasik buhar sıkıştırılmalı soğutma yöntemi ile soğutulması (hibrit) deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında her iki soğutma sistemi ile 1000 litre kapasiteli 2BII sınıfı çiftlik tipi bir süt soğutma tankının, ilk ve son sağım soğutma performanslarına ilişkin denemeler gerçekleştirilmiştir. Her iki yöntemle yapılan soğutmada ilk sağım denemesi kabul edilen süre içinde tamamlanmıştır. Hibrit yöntemle yapılan soğutma esnasında daha az enerji tüketildiği görülmüştür. Son sağım denemeleri incelendiğinde ise buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemi ile zamanında soğutma işlemi tamamlanırken, hibrit yöntemle bu çalışma koşulu için bunu sağlamak mümkün olmamıştır. Hibrit yöntemde absorpsiyonlu sistem daha önce devreden çıkartılarak soğutma süresi kısaltılabilecektir. Son sağım denemelerinde yine hibrit yöntemle yapılan soğutma esnasında daha az enerji tüketildiği görülmüştür. Buhar sıkıştırılmalı sistemle yapılan soğutma işleminde toplam özgül enerji ihtiyacı 21,06 Wh/L olarak bulunurken hibrit yöntemle yapılan soğutma işleminde toplam özgül enerji ihtiyacı 18,01 Wh/L olarak bulunmuştur. Bunun yanında güneş enerjisi sisteminden elde edilen yüksek sıcaklıktaki suyun belirli bir hacimde

depolanması halinde, işletme için gerekli süt sağım sistemi, süt soğutma tankı, işletme içi alanların temizliği, personel ihtiyaçları gibi sıcak su ihtiyacının da rahatlıkla karşılanabileceği görülmektedir. Bu çalışmada, absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin tarımsal amaçlı süt soğutma uygulamalarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Absorpsiyonlu sistemlerin ilk yatırım maliyetlerinin azalmasıyla birlikte bu tür sistemlerin farklı soğutma uygulamalarında daha yaygın olarak kullanılması beklenmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından desteklenen TOVAG-1100148 nolu “Güneş Enerjisi Kaynaklı Bir Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Süt Soğutma Amacıyla Kullanılabilirliği” başlıklı proje kapsamında yürütülen çalışma çerçevesinde hazırlanmıştır. Projeyi destekleyen TÜBİTAK’a katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Metin, M., **Süt Teknolojisi Sütün Bileşimi ve İşlenmesi**, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 2008.
2. Hilali, İ., Okuyan, C. ve Aktacı, M.A., “Şanlıurfa İlinde Güneş Enerji Destekli Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin İncelenmesi”, **Uluslararası Katılımlı 10. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi**, Gazi Üniversitesi, Ankara, 323-332, 6-8 Eylül 1995.
3. Francisco A., Illanes, R., Torres, J.L., Castillo, M., Blas, M., Prieto, E. ve Garcia, A., “Development and Testing of a Prototype of Low-power Water-ammonia Absorption Equipment for Solar Energy Applications”, **Renewable Energy**, Cilt 25, No 4, 537-544, 2002.
4. Florides, G.A., Kalogirou, S.A., Tassou, S.A. ve Wrobel, L.C., “Modelling, Simulation and Warming Impact Assessment of a Domestic-size Absorption Solar Cooling System”, **Applied Thermal Engineering**, Cilt 22, No 12, 1313-1325, 2002.
5. Florides, G.A., Kalogirou, S.A. Tassou, S.A. ve Wrobel, L.C., “Design and Construction of a LiBr-water Absorption Machine”, **Energy Conversion and Management**, Cilt 44, No 15, 2483-2508, 2003.
6. Sencan, A. ve Kalogirou, S.A., “A New Approach Using Artificial Neural Networks for Determination of Thermodynamic Properties of Fluid Couples”, **Energy Conversion and Management**, Cilt 46, No 15-16, 2405-2418 2005.
7. Mittal, V., Kasana, K.S. ve Thakur, N.S., “Modelling and Simulation of a Solar Absorption Cooling System for India”, **Journal of Energy in Southern Africa**, Cilt 17, No 3, 65-70, 2006.
8. Söylemez, M.S., Büyükalaca, O., Bulut, H. ve Hilali, İ., “Taşıtlarda Egzos Gazı Isısıyla Çalışan LiBr/H₂O Akışkan Çiftli Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Deneysel Olarak İncelenmesi”, **TÜBİTAK Proje No: 104M422**, 2008.
9. Kent, E.F. ve Kaptan, İ.N., “Güneş Enerjisi Destekli Isıtma ve Absorpsiyonlu Soğutma Uygulaması”, **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu-IATS’09**, Karabük, Türkiye, 13-15 Mayıs 2009.
10. Pastakkaya, B., Yamankaradeniz, N. Ve Coşkun, S., “Binaların Soğutulmasında Güneş Enerjisi Kaynaklı Absorpsiyonlu Isı Pompasının Deneysel İncelenmesi”, **TMMOB 5. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi**, Mersin, 7-8 Ekim 2011.
11. Pilatowsky, I., Rivera, W. ve Romero, J.R., “Performance Evaluation of a Monomethylamine-water Solar Absorption Refrigeration System for Milk Cooling Purposes”, **Applied Thermal Engineering**, Cilt 24, No 7, 1103-1115, 2004.
12. Soutullo, S., Juan, C.S. ve Heras, M.R., “Comparative Study of Internal Storage and External Storage Absorption Cooling Systems”, **Renewable Energy**, Cilt 36, No 5, 1645-1651, 2011.
13. Borge, D., Colmenar, A., Castro, M., Martin, S. ve Sancristobal, E., “Exergy Efficiency Analysis in Buildings Climatized with LiCl-H₂O Solar Cooling Systems that use Swimming Pools as Heat Sinks”, **Energy and Buildings**, Cilt 43, No 11, 3161-3172, 2011.
14. Borge-Diez, D., Colmenar-Santos, A., Pérez-Molina, C. ve Castro-Gil, M., “Experimental Validation of a Fully Solar-driven Triple-state Absorption System in Small Residential Buildings”, **Energy and Buildings**, Cilt 55, 227-237, 2012.
15. TS EN 13732, “Gıda İşleme Makinaları-Çiftliklerdeki Dökme Süt Soğutucular-Yapım, Performans, Kullanıma Uygunluk, Güvenlik ve Hijyen Kuralları”, **Türk Standardı**, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2013.
16. Günhan, T., Demir, V. ve Bilgen, H., “Çiftlik Tipi Süt Soğutma Tanklarının Performans Değerlerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi”, **Tarım Makinaları Bilimi Dergisi**, Cilt 2, No 4, 369-379, 2006.

