



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA ÇEVİRİMLERİNİN ADSORPSİYONLU ISI POMPASI KULLANILARAK VERİMİNİN ARTTIRILMASI

**GİZEM ARSLAN
İNDESİT**

**GAMZE GEDİZ ILIS
MOGHTADA MOBEDI
SEMRA ÜLKÜ
İZMİR YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ**

BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA ÇEVİRİMLERİNİN ADSORPSİYONLU ISI POMPASI KULLANILARAK VERİMİNİN ARTTIRILMASI

Gizem ARSLAN
Gamze GEDİZ ILIS
Moghtada MOBEDI
Semra ÜLKÜ

ÖZET

Son yıllarda mekanik ısı pompalarının daha yüksek COP değerlerine ulaşması için hibrit sistemlerin geliştirilmesi üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Bu makalede buhar sıkıştırma ısı pompalarının adsorpsiyonlu ısı pompası veya komponentleri ile nasıl kombine edilebileceği literatürdeki verileri çerçevesinde kıyaslanmıştır. Önerilen sistemler tek çevrimli ve çift çevrimli hibrit sistemler olarak sınıflandırılmıştır. Tek çevrimli sistemlerdeki, buhar sıkıştırma ve adsorpsiyonlu çevrimlerde aynı soğutucu akışkan dolaşmaktadır. Çift çevrimli hibrit sistemlerde ise, iki ayrı çevrim mevcuttur. Bu çevrimler arasında sadece ısı alışverişi gerçekleşmektedir. Önerilen hibrit sistemlerin elde edilen veriler ışığında etkinlik katsayısı ve verim artışı oranı incelenmiş, aralarında mukayese edilmiş, avantaj ve dezavantajları tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyonlu ısı pompası, Mekanik Isı Pompası, Hibrit sistem.

ABSTRACT

Recently considerable researches on the development of hybrid systems are carried out for the improvement of heat pumps by increasing their COP values. In this paper, a review study on combination of an adsorption heat pump or its components with a vapor compression heat pump is performed. The studies reported in the literature are reviewed and the proposed systems are classified as single-cycle and double-cycle hybrid systems. In a single-loop cycle hybrid system, the same refrigerant is circulated in both cycles of vapor compression and adsorption heat pumps. The double-cycle hybrid system has two separate cycles and heat exchange is taken place between these cycles. The enhancement of performance of suggested hybrid systems has been examined in the light of performed literature research and the advantages and disadvantages of the proposed hybrid systems were compared and discussed.

Key Words: Adsorption, Adsorption heat pump, Mechanical Heat Pump, Hybrid system.

1. GİRİŞ

Günümüzde gerek endüstriyel gelişmeler gerekse yaşam alanında konfor şartlarının sağlanabilmesi için enerji tüketimi giderek artmaktadır. Isıtma ve soğutma sistemlerinin enerji ihtiyacını karşılamak, fosil yakıtların rezervlerinin azalmasıyla aynı paralellikte maliyetli hale gelmektedir. Bu durum, ısıtma ve soğutma sistemlerinde yenilenebilir enerji kaynakları veya atık ısı kullanımına yönelmekte ve ısı

pompalı sistemlerinin tercih edilmesine neden olmaktadır. Bilindiği gibi ısı pompaları mekanik ve termal ısı pompaları olarak ikiye gruba ayrılmaktadır. Mekanik ısı pompaları, ısı taşıyan soğutucu akışkanı mekanik yöntemler ile sıkıştırarak ortam sıcaklığını arttırmak yada azaltmak için kullanılmaktadır. Genelde mekanik iş girişi, birincil enerji kaynaklarından (kömür, fuel oil,) yararlanılarak üretilen elektrik enerjisinin mekanik güce dönüştürülmesiyle sağlanmaktadır. Mekanik ısı pompalarının yüksek COP değerlerine sahip olmaları tercih sebebidir ancak mekanik ısı pompalarında kullanılan soğutucu akışkan doğaya zarar vermektedir. Bu zarar ve birincil enerji kaynaklarına olan ihtiyacın azaltılması isteği sektörde alternatif ısı pompaları arayışı başlatmıştır. Bu nedenle çevre dostu ve birincil enerji kaynaklarından daha az enerji tüketen inovatif teknolojilere dayalı yüksek performanslı ısı pompalarının geliştirilmesi üzerine çalışılmaya başlanmıştır. Termal ısı pompaları, atık ısı kaynakları, güneş enerjisi, jeotermal enerji veya herhangi bir ısı kaynağını doğrudan kullanarak soğutma etkisi yaratabilmeleri ve çevre dostu olmaları nedeni ile araştırmacı ve sanayicilerin dikkatini çekmektedir. Termal enerji ile çalışan ısı pompaları da kendi aralarında adsorpsiyonlu, absorpsiyonlu ve kimyasal ısı pompaları olmak üzere üçe ayrılabilir. Enerji krizleri sebebiyle adsorpsiyonlu ısı pompaları üzerine araştırmaların son yıllarda giderek yoğunlaşması ileride yaygın olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Bu tip sistemler, enerjiyi depolayabilme ve daha sonra kesikli olarak kullanabilme imkanı yaratmasından dolayı da uygulama avantajı sağlamaktadır. Adsorpsiyonlu ısı pompası çevrimleri ilk defa Faraday tarafından tanımlanmış, ticari amaçlı soğutucu (veya ısı pompası) girişimi ise 1920'de başlamıştır [1-2]. Türkiye' de ise Ülkü ve grubu tarafından silika jel/su ve doğal zeolit/su çiftlerinin kullanıldığı teorik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır [1-5]. Son yıllarda ise, aynı grup adsorpsiyonlu ısı pompaları üzerine çalışmalarına devam etmekte ve adsorbent yataklardaki ısı ve kütle transferinin simülasyonunu yaparak, verimli ve kompakt adsorbent yatak tasarımları üzerinde çalışmaktadırlar [6-9].

Adsorpsiyonlu ısı pompasının çalışma prensibi tamamen adsorpsiyon ve desorpsiyon olayına dayanmaktadır. Adsorpsiyonlu ısı pompalarında sisteme verilen enerji desorpsiyon işlemi sağlamaktadır. Bu nedenle adsorpsiyonlu ısı pompaları çevriminde desorpsiyon işlemi sağlayabilen her türlü ısı kaynağı ile çalışılabilmektedir. Adsorpsiyonlu ısı pompaları, adsorbent, adsorbent yatağı, kondenser, evaporatör, genleşme vanası ve adsorbattan oluşmaktadır. Soğutma periyodunda buharlaştırıcıda bulunan adsorbat çevreden ısı çekerek buharlaşmakta, adsorbent yatağında kuru durumda bulunan adsorbent tarafından adsorplanmaktadır. Yoğuşma sırasında ise, adsorbent yatağına transfer edilen ısı ile adsorbat desorbe edilip, adsorbent yatağını terk etmekte ve yoğuşturucuda çevreye ısı bırakarak yoğuşmaktadır. Yoğuşturucuda yoğuşan adsorbat daha sonra genleşme vanasından geçirilerek basıncı düşürülmekte ve buharlaştırıcıya aktarılmaktadır [3].

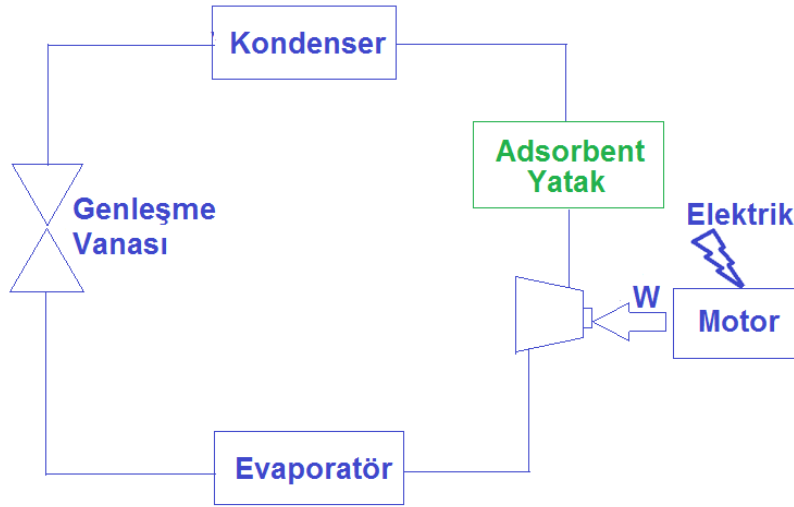
Adsorpsiyonlu ısı pompaları basit bir çalışma prensibine sahip olmalarına rağmen yüksek etkinlik katsayılarında çalışabilmesi için özel tasarımlar gerektirmekte ve bu uygun tasarımlar üzerinde çeşitli ülkelerde değişik adsorbent-adsorbat çiftleriyle çalışılmaktadır. Ancak, diğer bir düşünce ise adsorpsiyonlu ısı sistemlerini veya komponentlerini mekanik ısı pompalarında kullanarak mevcut sistemlerin etkinlik katsayısını arttırmaktır. Bu düşünce, son zamanlarda araştırmacıların ilgisini çekmiş ve bu konuda bilimsel ve teknik yayınların yanısıra patentlerin başvurusunda önemli ölçüde artış olmuştur. Bu çalışmada adsorpsiyonlu ısı pompalarının buhar sıkıştırılmalı ısı pompası ile kombine edilmesi sonucunda oluşan hibrit sistem tasarımları araştırılmıştır.

Hibrit sistemlerde adsorpsiyonlu ısı pompası tercih edilmesinin sebebi düşük sıcaklıklardaki ısı kaynaklarının değerlendirilmesine olanak sağlayarak ek soğutma etkisi getirmesidir. Çevreye zararlı soğutucu akışkanlar ile çalışmayan, sadece atık ısı ile çalışıp mekanik enerjiye gereksinim duymayan adsorpsiyonlu ısı pompaları sayesinde, enerji etkinliği daha yüksek soğutma ve ısıtma sistemlerinin geliştirilmesi mümkün olabilecektir. Kullanım alanı bu kadar geniş olan ısıtma ve soğutma sistemlerinde hibrit sistemlerinin kullanımı enerji tüketiminde ciddi tasarruflara neden olabilecektir.

2. HİBRİT SİSTEMLERİN SINIFLANDIRILMASI

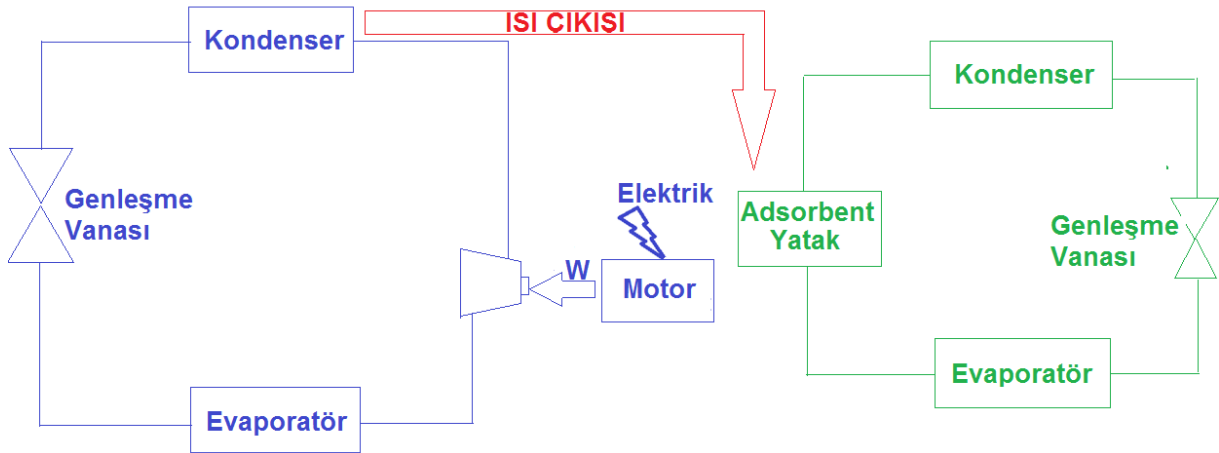
Hibrit sistemler, mevcut buhar sıkıştırımlı soğutucu sistemlerin teknolojisini değerlendirmekte ve mevcut buhar sıkıştırımlı soğutucu üretimi yapan sistemlere adapte edilebilmektedir. Dolayısı ile yüksek yatırımlar gerektirmeden mevcut soğutucu sistemlerde verim artışı sağlayabilirler. Buhar sıkıştırımlı ve adsorpsiyonlu ısı pompalarının kombine edilmesi (hibrit sistem) üzerine yapılan çalışmalar aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

Literatürde buhar sıkıştırımlı ısı pompalarının, adsorpsiyonlu ısı pompaları ile tek çevrimli ve çift çevrimli olarak kombine edilebildiği görülmüştür. Her iki sistemde de amaç, buhar sıkıştırımlı ısı pompasının mevcut COP değerini arttırmaktır. Buhar sıkıştırımlı ve adsorpsiyonlu sistem elemanlarının içiçe yer aldığı tek çevrimli hibrit sistemlerde, buhar sıkıştırımlı çevrimin soğutucu akışkanı adsorbent yatağı tarafından adsorplanmakta/desorplanmakta olup çevrimde ayrıca bir adsorbat yer almamaktadır. Şekil 1'de gösterildiği gibi tek çevrimli hibrit sistemler tek bir soğutucu akışkan ile çalışmaktadır.



Şekil 1. Tek çevrimli hibrit soğutma sistemlerine bir örnek.

Çift çevrimli hibrit sistemlerde, buhar sıkıştırımlı çevrim adsorpsiyonlu ısı pompası çevrimi ile sadece ısı alışverişinde bulunmakta ve buhar sıkıştırımlı çevrimin soğutucu akışkanı ile adsorbent yatak tarafından adsorplanan/desorplanan adsorbat karışmamaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Örnek bir çift çevrimli hibrit soğutma sistemlerine bir örnek.

Bu çalışmada, literatürde bulunan çalışmalar bu sınıflandırmaya göre gruplandırılmış, hibrit sistemlerin verimleri karşılaştırılarak avantaj ve dezavantajları tartışılmıştır.

2.1. TEK ÇEVİRİMLİ HİBRİT SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Literatür taraması sonucu ulaşılabildiğimiz tek çevrimli hibrit soğutma sistemleri Tablo1.de orjinal şekilleriyle verilmektedir. Tablo1.de 3 sütun yer almaktadır. İlk sütunda araştırmacıların isimleri ve alınan referans numarası, 2.sütunda geliştirdikleri sistemin şeması ve 3.sütunda ise hibrit sistemlerden elde edilen verim veya verim artışı yer almaktadır. Yaptığımız araştırmalar, adsorbent yatağının buhar sıkıştırılmalı soğutma çevrimine iki yöntem ile kombine edilebileceğinin göstermiştir. Bu yöntemler aşağıda ayrı ayrı anlatılmaktadır.

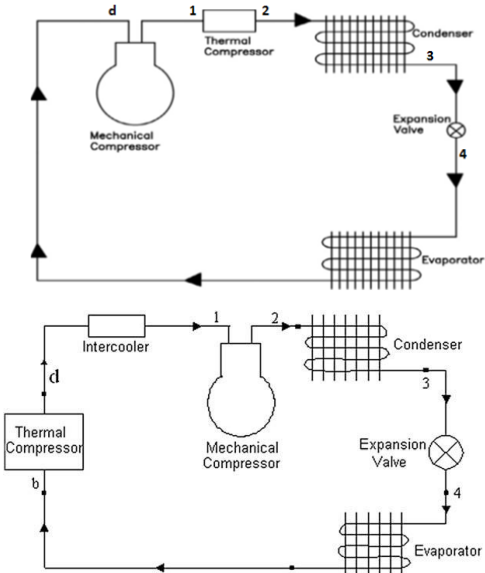
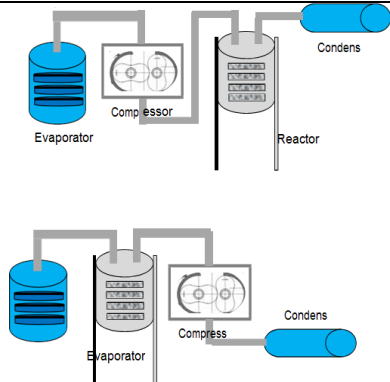
Birinci yöntem: Adsorbent yatağını mekanik kompresörden önce veya sonra yerleştirilerek mekanik kompresörün iş gücünün bir kısmını karşılamaktır. Bu sistemlerde, ilk olarak termal kompresör (adsorbent yatak) ve daha sonra mekanik kompresör kullanılabilir. Bu durumda termal kompresör soğutucu gazın basıncını evaporatör basıncından orta derece bir basınca getirmekte ve daha sonra soğutucu akışkan mekanik kompresöre girerek basıncı kondenser basıncına yükseltilmektedir. Diğer bir yöntem ise, termal kompresörden mekanik kompresörden sonra yerleştirilmesidir. Bu durumda soğutucu akışkanın basıncı orta seviyeye mekanik kompresör tarafından yükseltilmekte, termal kompresör ile kondenser basıncına getirilmektedir. Dışarıdan adsorbent yatağa verilen ısı yardımıyla soğutucu akışkanın desorpsiyonu gerçekleşmekte ve adsorbent yatağın basıncı istenilen basınca ulaşmaktadır. Dikkat edilmesi gereken husus, bu çevrimlerde mekanik kompresörde sıkıştırılan ve termal kompresörlerde adsorplanan/desorplanan soğutucu akışkan aynıdır. Bu yöntemin dezavantajı ise, sistemde desorpsiyon işlemi için gerekli süre nedeni ile sistemin kesintili olarak çalışmasıdır. Bu problemin giderilmesi için, bazı araştırmacılar tarafından iki veya daha fazla adsorbent yatak kullanılmıştır. Bir adsorbent yatağında adsorpsiyon işlemi gerçekleşirken, diğer adsorbent yatakta desorpsiyon işlemi gerçekleşmektedir. Bu tip sistemlerin diğer bir dezavantajı ise ani yük değişimlerine karşı sistemin hızlı bir şekilde davranmamasıdır. Adsorpsiyon ve desorpsiyon işlemi büyük ölçüde süreye bağlı olduğundan, bu tip hibrit sistemler hızlı davranış gösterememektedir. Ayrıca, mekanik kompresörlerde kullanılan yağ, termal kompresör için önemli bir sorun olabilir. Termal kompresörde bulunan adsorbentin gözenekleri yağ buharı tarafından tıkanması durumunda adsorpsiyon kapasitesi düşebilmektedir. Bu nedenle, bu tip sistemlerde soğutucu akışkan adsorbent yatağında girmeden önce yüksek performanslı yağ ayırıcı ünitelerden geçmelidir.

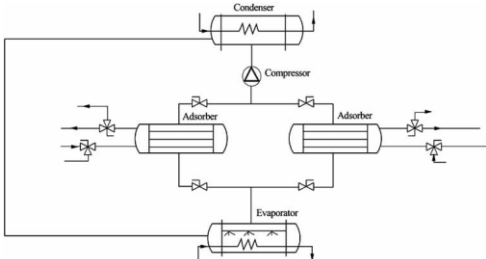
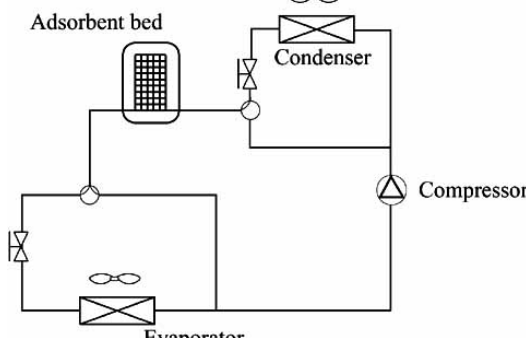
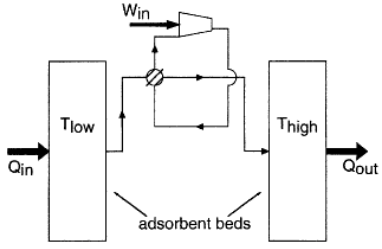
Birinci yöntem bazı araştırmacılar tarafından benimsenmiş ve bu doğrultuda çalışmalar yapılmıştır. Örneğin Tablo1.de gösterildiği gibi Banker ve ark. bu tip bir sistem üzerine teorik bir çalışma yapmışlardır [10]. Önerilen sistemlerde, HFC 134a soğutucu gazı ile çalışan bir hibrit sistem üzerine çalışılmıştır. Termal kompresörde adsorbent olarak aktif karbon tercih edilmiştir. Banker ve ark. iki sistem önermişlerdir, ilk önerilen sistemde termal kompresör, mekanik kompresörden önce yerleştirilmişken, diğerinde termal kompresör mekanik kompresörden sonra yerleştirilmiş olup iki kompresör arasında da intercooler kullanılmıştır. Sonuç olarak hibrit bir sistemin, tamamen mekanik sıkıştırılmalı kompresör ile çalışan bir sisteme göre %40 enerji tasarrufu sağladığı görülmüştür. Bu tip hibrit sistemlerin düşük rejenerasyon sıcaklıklarda bile kullanılabilmesi belirtilmiştir. Michel van der Pala ve ark. tarafından yapılan bir diğer araştırmada aynı yöntem tercih edilmiştir [11]. Çalışma çifti olarak silika-jel ve su çifti kullanılmıştır. Çalışmanın amacı adsorpsiyonlu sistemin verimini mekanik kompresör kullanarak arttırmaktır. Adsorpsiyonlu soğutucunun termal verimi, mekanik kompresör kullanılarak %40'dan %60'a yükseltilmiştir. Aynı yöntemin kullanıldığı bir diğer araştırma Mitsui ve ark. tarafından gerçekleştirilmiştir[12]. Tablo1'de görüldüğü gibi, iki adsorbent yatağı kompresör işinin bir kısmını karşılamak için kullanılmıştır. İki adsorbent yatağın kullanılması soğutma çevriminde süreklilik sağlamaktadır. Inoue ve Honda [12, 13] buhar sıkıştırılmalı bir çevrime bir adsorbent yatak adapte etmiştir. Kompresörden çıkan yüksek sıcaklıktaki soğutucu gaz adsorbent yatağındaki adsorbent rejenerasyonunu sağlamaktadır. Daha sonra, sistem durduğunda adsorbent yatağındaki adsorbent soğutucu akışkanı adsorplamakta ve ek bir soğutma etkisi yaratmaktadır.

Tek çevrimli hibrit sistemlerin geliştirilmesinin ikinci yöntem ise; adsorbent yatağı soğutucu akışkanın basıncını artırmak amacı ile kullanılmaması, onun yerine adsorbent yatakların evaporatör ve kondenser olarak kullanılmasıdır. Başka bir deyişle, mevcut buhar sıkıştırılmalı ısı pompasındaki

yoğuşturucu yerini adsorpsiyon yatağına, buharlaştırıcı da desorpsiyon yatağına bırakarak hibrit sistem oluşturulabilmesi yöntemidir. Buharlaştırıcıda desorpsiyon ısı, düşük sıcaklıktaki ortamdan çekilmekte, yoğuşturucuda ise adsorbent tarafından adsorplanan soğutucu kaışkanın adsorpsiyon ısı yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağına bırakılmaktadır. Sward ve Levan [14] ikinci yöntem ile çalışan bir hibrit sistem üzerinde çalışmışlardır. Bu araştırmacılar geliştirdikleri çift çevrimli hibrit sistemde CO₂/zeolit, CO₂/aktif karbon, ve amonyak/silika jel olmak üzere üç farklı adsorbat/adsorbent ve iki adsorbent yatağı kullanmışlardır. Bu çalışma sonucunda incelenen hibrit sistem en iyi sonuçları amonyak ve silica jel için vermiştir.

Tablo 1. Tek çevrimli çalışma çiftleri geliştiren araştırmacıların geliştirdikleri sistem ve elde edilen verim artış oranları.

Araştırmacı	Önerilen Sistem	Etkinlik Katsayısı veya Verim Artış Oranı
Banker ve ark. (2008) [10].		%40
Michel van der Pala ve ark. (2011) [11].		%60

Mitsui ve ark. (1999) [12].		Belirtilmemiş
Inoue ve Honda (1999) [12, 13].		Belirtilmemiş
Sward ve Levan (1999) [14].		%40

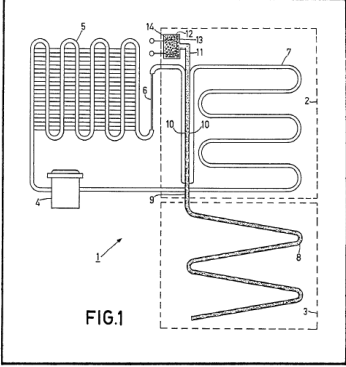
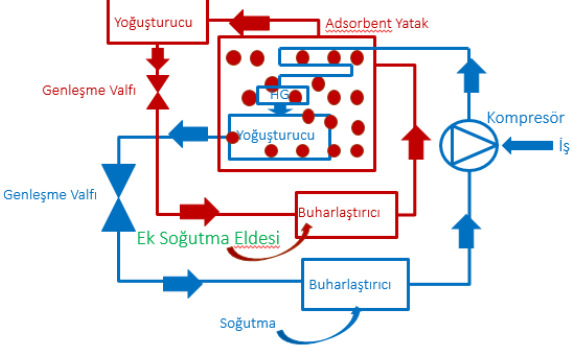
2.2 Çift Çevrimli Hibrit Soğutma Sistemleri

Çift çevrimli hibrit soğutma sistemleri, Tablo 2’de önerilen sistemlerin orjinal şekilleriyle verilmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, çift çevrimli hibrit soğutma sistemlerinde buhar sıkıştırılmalı ve adsorpsiyon çevrimler birbirleri ile sadece ısı alışverişinde bulunmakta ve soğutucu akışkanları karışmamaktadır. Athanansiou [15] tarafından önerilen çift çevrimli hibrit soğutma sistemi, bir buzdolabına uygulanmış ve sistemin şematik şekli Tablo 2’de verilmiştir. Bu hibrit soğutma çevriminde iki soğutma sistemi mevcut olup evaporatör haznesi, hem mekanik hem adsorpsiyonlu sistem vasıtası ile soğutulmaktadır. Görüldüğü gibi, iki çevrimin soğutucu akışkanları birbirleri ile karışmamaktadır. Bu çalışmada kompresör ve kondenser ısısının nasıl desorplama işlemi sağlayabildiği anlatılmamıştır. Diğer bir sistem ise, Sklenak [16] tarafından geliştirilmiştir. Hibrit çevrim bilgisayar odalarının soğutulması için kullanılan bir soğutucu üzerinde uygulanmıştır. Mekanik soğutma sistemindeki kompresör ve çevrim tarafından çevreye atılan ısı bir adsorpsiyonlu soğutucuya aktarılmakta ve adsorpsiyonlu sistemi çalıştırmaktadır. Böylece ek bir soğutma gücü elde edilmekte ve soğutucu sistemin performansı artırılmış olmaktadır. Sklenak tarafından önerilen buhar sıkıştırılmalı çevrimdeki ortama atılan ısısının nasıl adsorpsiyonlu ısı pompasında kullanılabileceği anlatılmamıştır. A.Asselman ve Van Vensvoort [17] tarafından geliştirilmiş sistem bir ev tipi buzdolabı üzerinde uygulanmıştır. Buzdolabı buzluk ve soğutucu olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Buhar sıkıştırılmalı çevrim sıcaklığı oldukça düşük olması istenen buzluk bölümüne hizmet vermektedir. Buzluk buharlaştırıcı bölümünden çıkan soğutucu akışkan, bir ısı değiştirgeci vasıtası ile buhar fazında bulunan adsorbatı yoğunlaştırmakta ve düşük sıcaklıkta sıvı haline gelen adsorbat soğutucu bölümünün

soğutmaktadır. İkinci çevrimdeki adsorbat buhar miktarı, adsorbent yatağında bulunan adsorbent ve bir elektrikli ısıtıcı tarafından ayarlanmaktadır. Silika jel veya zeolit tip adsorbentler bu sistem için önerilmiştir. Diğer bir çalışma ise, Ilis, Mobedi ve Ülkü [18] tarafından geliştirilen bir çift çevrimli hibrit soğutma sistemidir. Kompresörden çıkan gazın sıcaklığı yüksek olup ısı bir ısı değiştirgeci aracılığıyla bir adsorbent yatağına transfer edilmekte ve rejenerasyon işlemi gerçekleşmektedir. Bu transfer özel bir ısı değiştirgeci vasıtası ile yapılmaktadır. Yüksek basınç ve sıcaklıktaki soğutucu akışkan adsorbent ile temas halinde bulunan borular içinden geçmekte ve ısını adsorbente bırakarak desorpsiyon işlemi gerçekleşmektedir. Görüldüğü gibi sistem tek (veya çift) buharlaştırıcı ve çift yoğuşturucudan oluşmaktadır. Adsorpsiyonlu soğutma çevrimi sayesinde ek bir soğutma gücü elde edilmekte ve sistemin toplam COP değerinin yükseltilebileceğini teorik olarak gösterilmektedir. Bu sistem için adsorbent olarak silika jel, zeolit veya aktif karbon önerilmiştir.

Tablo 2. Çift çevrimli çalışma çiftleri geliştiren araştırmacıların geliştirdikleri sistem ve elde edilen etkinlik katsayısı ve verim artış oranları.

Araştırmacı	Önerilen Sistem	Etkinlik Katsayısı veya Verim Artış Oranı
A. Athanasiou (2010) [15].	<p>500 Kältegerät 501 erster Verdampfer 503 Drossel 505 erster Verflüssiger 507 Kompressor 508 zweiter Verdampfer 509 Drossel 511 zweiter Verflüssiger 513 Sorptionsabschnitt 515 Sorptionsmittel 517 Kältemittelabschnitt 518 Verdampferabschnitt 519 Rohrverdampferabschnitt 521 erster Steg 523 zweiter Steg 524 Verdampferabschnitt 525 Steg</p>	Belirtilmemiş
B. Sklenak (2008) [16].	<p>1 Serverraum 2 EDV-Raum 3 Innengerät 4 Umgebung 5 Dach-Raum 6 gestrichelter Pfeil 7 Außengeräte 10 Kühlvorrichtung 11 Elektromotor 12 Kompressionskältemaschine 13 thermisch angetriebene Kältemaschine 14 Kühlturm 15 Verbrennungsmotor</p>	COP=6.7

A.Asselman, Van Vensvoort (1983) [17].		Belirtilmemiş
İlis, Mobedi, Ulku (2014) [18-20].		%30

Yukarıda yapılan literatür araştırması, hibrit sistemler üzerine çalışmaların daha çok özel firmalar tarafından yapıldığını, bu nedenle geliştirilen sistemler ile ilgili araştırma makalelerinden daha fazla patentin mevcut olduğunu göstermiştir. Patentlerde geliştirilen sistem ve teknoloji genel anlamda korunmaya çalışıldığı için, önerilen sistemlerin detaylarına ulaşamamıştır.

SONUÇ

Son yıllarda adsorpsiyonlu ısı pompalarının kullanıldığı hibrit sistemler üzerine birçok araştırma-geliştirme yapılmıştır. Bu makalede buhar sıkıştırımlı çevrimlerin adsorpsiyonlu çevrimlerle birleştirildiği hibrit sistemlerle ilgili ulaşılabilen araştırmalara yer verilmiştir. Bu çalışmaların bir kısmı bilimsel makale olarak yayınlanmış olup bir kısmı ise farklı firmaların patentleri olarak literatürde bulunmaktadır. Önerilen sistemler incelenmiş, bunun sonucunda hibrit sistemler iki grupta; a) tek çevrimli hibrit sistemler, b) çift çevrimli hibrit sistemler olmak üzere sınıflandırılabilirliği gösterilmiştir. Literatürde önerilen hibrit sistemler bu sınıflandırmaya göre açıklanmıştır. Tek çevrimli hibrit sistemlerde tek çalışma akışkanı yer almaktadır. Önerilen hibrit sistemlerin orjinal şematik şekilleri iki tablo halinde sunulmuştur. Sonuç olarak; gerek adsorpsiyonlu çevrim ve mekanik çevrim arasında ısı alışverişi olduğunda gerekse adsorbent yataklar mekanik çevrime dahil edildiğinde hibrit sistemlerin kullanılması, mevcut mekanik sisteme kıyasla verim artışına neden olmaktadır. Bu durum günümüzde yaygın olarak kullanılan buhar sıkıştırımlı ısı pompalarının adsorpsiyonlu ısı pompaları ile birleştirilerek daha yüksek COP değerlerinde çalışabileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Ülkü S., Adsorption Heat Pumps, J. Heat Recovery Systems, 6:4, 277-284, 1986.
- [2] Ülkü S., Mobedi M., Inan C., Adsorpsiyonlu Isı Pompaları, 6, 989-418, Ankara 1987.

- [3] H. Demir, M. Mobedi, S. Ülkü, Adsorption heat pumps, difficulties and solution, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12 (2008) 2381-2403.
- [4] Ülkü S., Mobedi M., "Adsorption in Energy Storage", *Energy Storage* 167, 487-507 Kluwer Academic Pub., 1989.
- [5] Ülkü S., Mobedi M., Zeolites in Heat Recovery, *Studies in Surf-Science and Catalysis*, Vol.49, Zeolites:Facts Figures Future, 511-518, Elsevier Science Pub., 1989.
- [6] G. Gediz Ilis, M. Mobedi, S. Ulku, Comparison of Uniform and Non-uniform Pressure Approaches Used to Analyze an Adsorption Process in a Closed Type Adsorbent Bed, *Transport in Porous Media*, 98 (2013) 81-101.
- [7] G. Gediz Ilis, M. Mobedi, S. Ülkü, A dimensionless analysis of heat and mass transport in an adsorber with thin fins; uniform pressure approach, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 38 (2011) 790–797, 2011.
- [8] Ilis, G. G., Arslan, G., Mobedi, M., Ülkü S., 2013, Study on performance analysis of vapor compression-adsorption hybrid refrigeration cycle, *Climamed'13*, p. 531-539, Istanbul, Türkiye.
- [9] Ilis, G. G., Arslan, G., Mobedi, M., Ülkü S., 2014, Simulation of Heat and Mass Transfer in Adsorbent Bed of Adsorption Heat Pump Operating with Released Heat of a Household Refrigerator, *ISHPC 2014*, Maryland, USA
- [10] Banker, N D, Dutta, P, Prasad, M, and Srinivasan K. 2008. Performance studies on mechanical-adsorption hybrid compression refrigeration cycles with HFC 134a, *International Journal of Refrigeration*. Vol. 31, pp 1398-1406.
- [11] Van der Pal, M., A. Wemmers, S. Smeding, V. Jakobert, 2011, N. Jan-Aiso Lyclama. 2011. Experimental results and model calculations of a hybrid adsorption-compression heat pump based on a roots compressor and silica gel-water sorption. *10th IEA Heat Pump International Heat Pump website Conference, June 27 – August 31, 2011*
- [12] Li Yong and Ruzhu Z. Wang, 2007. Adsorption Refrigeration: A Survey of Novel Technologies, *Recent Patents on Engineering* 2007, 1, 1-21.
- [13] S. Inoue, S. Honda, : JP11211261 (1999).
- [14] Sward, B K and LeVan M D. 1999. Examination of the performance of a compression driven adsorption cooling cycle, *Applied Thermal Engineering*. Vol. 19, pp 21-20.
- [15] BSH Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH, 81739, München, Federal Republic of Germany, DE102010040085 (2010).
- [16] Wolf GmbH, 84048, Mainburg, Federal Republic of Germany DE102008057110 (2008).
- [17] NV Philips' Gloeilampen-fabrieken, (Netherlands), Groenewoudseweg 1, 5621 BA Eindhoven, The Netherlands (1983)
- [18] Ilis, G. G., Mobedi, M., Ülkü S., 2013, Ev tipi buzdolapları için adsorpsiyonlu çevrim sistemi, TPE Patent Başvuru No. 2013/02766.
- [19] Ilis, G. G., Mobedi, M., Ülkü S., 2013, Ev tipi buzdolapları için adsorpsiyonlu çevrim destekli soğutma deposu, TPE Patent Başvuru No. 2013/09419.
- [20] Ilis, G. G., Mobedi, M., Ülkü S., 2014, Adsorption cycle system for household type refrigerators, Patent No: EP2775236A1.

ÖZGEÇMİŞLER

Semra ÜLKÜ

ODTÜ Kimya Mühendisliğinden 1969 yılında mezun olmuş, Aynı üniversitede Yüksek Mühendis(1971) ve Doktor unvanları almıştır.(1975). AZOT işletmelerinde çalışmasını takiben EGE ve Dokuz Eylül Üniversiteleri Makina ve Kimya Mühendislikleri Bölümlerinde Doçent ve Profesör olarak çalışmış;1993 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü kurucu kadrosunda yer almış, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü, Mühendislik Fakültesi Dekanlığı ve 1998-2006 yılları arasında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Rektörlüğü yapmıştır. Enerji ve Adsorpsiyon konularında çeşitli çalışma ve yayınları bulunmaktadır.

**Moghtada MOBEDİ**

1985 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun olmuş, 1988 yılında aynı üniversite ve bölümde master eğitimi ve 1994 yılında ODTÜ, Makine Mühendis bölümünde doktora eğitimini bitirdi. 1995-98 yılları arasında İran'ın Orumieh Üniversitesinde öğretim üyesi olarak ve 1998-2005 TEBA Şirketler grubunda çalıştı. Halen İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsünde, Makine Mühendisliği bölümünde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır.

Gamze GEDİZ İLİŞ

2001 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun olmuş, 2004 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makine Mühendisliği Yüksek Lisans programını, ardından 2006 yılında aynı üniversitenin Mühendislik İşletmeciliği Yüksek Lisans programını bitirmiştir. 2004–2007 yılları arasında Koç Holding'e bağlı DemirDöküm Şirketinde Pazarlama Ürün Sorumlusu olarak görev yapmıştır. 2012 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü'nde Doktora eğitimi tamamlamış, bu tarihten beridir Indesit firması ArGe Merkezi İnovasyon Grubunda çalışmaktadır.

Gizem ARSLAN

2011 yılında Ege Üniversitesi Fizik bölümünde Lisans eğitimini tamamladıktan sonra, 2012 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde başladığı Yüksek Lisans eğitimine Makine Mühendisliği bölümünde devam etmekte ve buhar sıkıştırılmalı-adsorpsiyonlu hibrit sistemler üzerine teorik ve deneysel olarak çalışmaktadır.