

Elektrikli Araçlarda Kullanılan Batarya Soğutma Sistemlerinin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi

Mesut Yenigün *¹

Zafer Utlu ²

ÖZ

Çevreci ve yüksek enerji verimliliğine sahip elektrikli araçların kullanımı günümüzde giderek cazip hale gelmektedir. Sınırlı batarya kapasitesi, uzun şarj süreleri ve düşük batarya ömürleri elektrikli araçlarının yaygınlaşmasındaki en büyük engeller arasında sıralanabilir. Sıcaklığın batarya ömrü üzerindeki olumsuz etkisi araştırmalar sonucunda bulunmuş ve bu da elektrikli araçlarda termal yönetim sisteminin gerekliliğini zorunlu kılmıştır. Bu makalede, elektrikli ve hibrit elektrikli araçlar (HEA)'larda batarya sorunlarına değinilerek batarya yönetim sistemleri açıklanacaktır. Ardından elektrikli ve HEA'larda yaygın olarak kullanılan soğutma sistemleri incelenip değerlendirilecektir. Bu çalışma sonucunda elektrikli araçlarda mutlak suretle termal yönetim sistemi tasarlanması gerektiği belirlenmiştir. Elektrikli araç termal yönetim sisteminde yüksek verimliliğe sahip hava soğutmalı sistem kullanılabilir hatta ısı emicisi, ısı borusu veya zorlamalı hava akışı ile sistem verimliliği daha da artırılabilir fakat yüksek voltajlı bataryaya sahip elektrikli araçlarda hava soğutmalı sistemin yetersiz kalacağı belirlenmiştir. Bu sebeple yüksek voltajlı bataryaya sahip elektrikli araçlarda mutlak suretle sıvı soğutmalı veya gaz sıkıştırılmalı soğutma sistemi tasarlanması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araçlar, soğutma sistemleri, termal yönetim sistemi, batarya sorunları

Investigation and Evaluation of the Battery Cooling Systems Used In Electric Vehicles

ABSTRACT

Environmentally-friendly and high energy efficiency with the use of electric vehicles are becoming increasingly nowadays. Limited battery capacity, long charge times and low battery life the biggest obstacle in the spread of electric vehicles sortable. Negative impact on battery life of temperature was found from research and that's why has necessitated the need for a thermal management system for electric vehicles. In this article, short information will giving about electric vehicle and battery issue in electric vehicles. After that, investigated and evaluated of the cooling systems commonly used in electric vehicles. Results show that, absolutely thermal management system in electric vehicles should be designed. It can use an air cooling system has high efficiency in electric vehicles thermal management system, even can be increased system efficiency using with heatsink, heat pipe or fan but this cooling systems not enough to cool an electric vehicle has high voltage battery pack. Therefore, absolutely should be designed liquid cooling system or vapor compression refrigeration system for high voltage electric vehicles.

Keywords: Electric vehicle, refrigerant system, thermal management system, battery issue

* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 18.08.2017

Kabul/Accepted : 13.04.2018

¹ Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bursa - mesutyenigunn@gmail.com

² Prof. Dr. İstanbul Gedik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İstanbul - zaferutlu@gedik.edu.tr

1. GİRİŞ

Petrol fiyatlarının artması ve çevre kirliliği üzerindeki önemli kaygılar elektrikli araçların gelişmesini motive etmiştir. Günümüzde elektrikli araçlar, konvansiyonel araçlarla rekabet edebilecek konumdadır [1].

Elektrikli araçların sessiz çalışmaları, yüksek verimliliğe sahip olmaları, frenleme ve sürüş sırasında şarj edilebilmeleri, çevreci olmaları, sınırsız enerji kaynağına sahip olmaları ve daha az mekanik aksama sahip olmaları elektrikli araçların avantajları arasında sayılabilir, şarj edilebilecek noktaların az olması nedeniyle uzun menzil kullanımına uygun olmamaları, sürüş menzillerinin kısa olması, uzun sürede şarj olmaları, suya ve neme karşı yalıtım yapma zorunluluklarının olması, bataryaların yüksek ağırlığa sahip olması, bataryaların kısa süreli ömre sahip olması, sınırlı batarya kapasitesine sahip olması ve batarya masrafının fazla olması elektrikli araçların dezavantajları arasında sıralanabilir [2].

Pesaran ve diğ. [3] ortam sıcaklık aralığının batarya paketi üzerindeki etkisini pil modülü içerisinde hava geçirerek federal kentsel sürüş programı (FUDS) çalışma koşulları altında analiz etmiştir. Yazarlar batarya iç sıcaklığının 60°C üzerinde olduğunda, batarya kapasitesinin ve performansının önemli ölçüde düştüğü sonucuna varmışlardır.

Birçok araştırmacı Lityum iyon bataryaların sıcaklığını uygun seviyede tutmak için yeni metotlar bulmak üzerine çalışmaktadır. Lityum-iyon pillerin termal yönetimi için hava soğutmalı, sıvı soğutmalı, ısı boruları kullanımını ve faz değişim malzemelerinin kullanımını içeren farklı yaklaşımlar vardır. Hava soğutmalı sistem sadeliği nedeniyle pek çok araştırmacının ilgisini çekmiştir [4].

Soğutma sisteminin amacı bataryayı optimum sıcaklık aralığında tutmak, performans ve yıpranma arasında en iyi dengeyi sunmaktır. Paket içerisindeki sıcaklık dağılımı her noktada eşit olmalı çünkü sıcaklık gradyanı hücreler arasında farklı seviyede yıpranmaya ve bu nedenle de her bir hücre için farklı şarj-deşarj davranışına sebebiyet verebilir [5,6].

Bir başka çalışmasında Pesaran, batarya termal yönetim sistemlerinin bazı sorunlarını ve bu sorunlara ilişkin çözümleri gözden geçirerek, uygun bir batarya termal yönetim sistemi tasarlamak için gerekli bilgilere ulaşmaya çalışmıştır. Aktif soğutmaya karşı pasif soğutma, sıvı soğutmalı ya karşı hava soğutmalı, ısıtılmalı ve soğutmalı sisteme karşı sadece soğutmalı sistem ve valf ayarlı kurşun-asit, Nikel-metal hidrit ve lityum-iyon batarya yönetim sistemleri için rölatif gereksinimler gibi konuları tartışmaya sunmuştur.



Sonuç olarak, iyi bir termal yönetim sisteminin elektrikli araçlarda batarya paketi sıcaklığını her noktasında eşit olacak şekilde arzulan sıcaklık aralığında tutması gerektiği kanısına varmıştır. Sıcak ve soğuk iklim koşullarında elektrikli araçlarda batarya termal yönetim sisteminin (BTYS) aktif ısıtma ve soğutmaya izin vermesi gerektiğini belirtmiştir. Bir modülün düzgün ısı tasarımı bütün paket termal yönetimi ve davranışları üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu gözlemlemiştir. Termal yönetim sisteminde havanın kullanılması daha az etkili ve daha az karmaşık olmasına karşın sıvı soğutmalı ve ısıtmalı sistemin daha etkili olduğunu savunmuştur. Genel olarak, paralel hibrit elektrikli araçlarda hava kullanımının termal yönetim sistemi için yeterli olduğunu fakat elektrikli araçlar ve seri hibrit elektrikli araçlarda optimum termal performans için sıvı bazlı sistemler gerekli olabileceğini belirtmiştir. Nikel-metal hidrit bataryaların termal yönetim sistemlerinin lityum-iyon ve valf ayarlı kurşun-asit bataryalara göre daha özenli olması gerektiğini tespit etmiştir. Ayrıca lityum-iyon bataryaların güvenlik ve düşük performans kaygısı sebebi ile iyi bir termal yönetime sahip olması gerektiğini belirtmekte. Batarya paketinin konumu da batarya termal yönetim sistemi üzerinde güçlü bir etkiye sahip olabileceğini vurgulamıştır [7].

Bu makalede, elektrikli araçlarda batarya sorunlarına değinilerek batarya yönetim sistemleri açıklanacaktır. Ardından elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılan soğutma sistemleri incelenip değerlendirilecektir.

2. BATARYA SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Elektrikli araçlarda, batarya paketini sıcak ve soğuk iklim koşullarında optimum çalışma sıcaklığı arasında tutmak için batarya termal yönetim sistemi bulunur. BTYS tasarlanırken batarya kapasitesi, batarya ısı üretim katsayısı, batarya kutusu yalıtımı ve bataryanın araç içerisindeki konumunun belirlenmesi gibi hususlara dikkat edilmesi gerekir. Ek olarak BTYS'nin basit bir yapıya sahip olması, bakım masraflarının düşük olması, hafif olması, enerji tüketiminin düşük olması ve batarya sıcaklığını kontrol edebilecek kapasiteye sahip olması gereklidir.

Elektrikli araçlarda BTYS olarak hava soğutmalı ve ısıtmalı aktif-pasif, ısı geri kazanımlı zorlamalı hava soğutmalı, sıvı ısıtmalı ve soğutmalı aktif-pasif ve klima sistemi kullanılabilir. Hatta soğutma sistemi verimliliğini artırmak için BTYS sisteminde faz değişim materyali, termo-elektrik modül, ısı borusu ve ısı emicisi gibi ekipmanlar kullanılabilir. Şekil 1'de bazı firmaların elektrikli ve hibrit elektrikli araçlara ait BTYS ve batarya türleri görülmektedir.

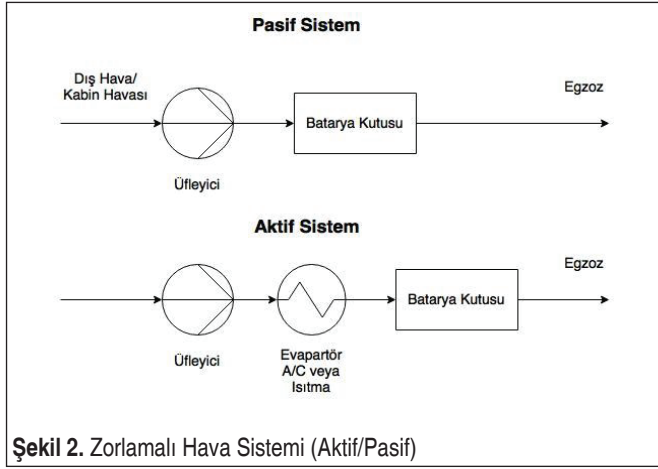
Araç	Model	Batarya Sağlayıcı	Araç Türü	Güç Aktarma	Batarya Kimyası	Batarya Biçimi	Termal Yönetim
Chevy (GM)	Volt	Compact Power/ LG Chem	PHEV	Seri	LMO Spinel Polymer	Prizmatik	SM
Nissan	LEAF	AESC (NEC/ Nissan)	BEV	Seri	LMO	Prizmatik	Hava
Fisker	Karma	A123	PHEV	Seri	LFP (Nanophosphate)	Silindirik (26650)	SM
Mitsubishi	"i"	GS Yuasa	BEV	Seri	LMO-NMC/ Hard Carbon	Prizmatik	Hava
Prius (Toyota)	PHEV	PEVE	PHEV	Paralel Powersplit	NCA	Prizmatik	SM
Smart (Daimler)	fortwo ED	Duetsche ACCUmotive (Daimler & Evonik)	BEV	Seri	*	*	SM
Tesla	Model S	Panasonic Samsung	BEV	Seri	LMO	Silindirik (18650)	SM
Volvo	C30 EV	Enerdel/Ener1	BEV	Seri	LMO-NMC/Hard Carbon	Prizmatik	Hava
BMW	ActiveE	S8 LI Motive (BMW, Bosch, Samsung)	BEV	Seri	NMC	Prizmatik	SM
Toyota	Rav4 EV	PEVE	BEV	Seri	LMO Spinel Polymer	Silindirik (18650)	SM
Scion (Toyota)	IQ-EV	PEVE	BEV	Seri	LMO Spinel Polymer	Prizmatik	SM
Ford	Focus	Compact Power/ LG Chem	BEV	Seri	LMO Spinel Polymer	Prizmatik	SM
Honda	Fit EV	GS Yuasa	BEV	Seri	LMO-NMC/ Hard Carbon	Prizmatik	SM
Coda Automotive	CODA	Lishen/LIO Energy Systems	BEV	Seri	LFP	Prizmatik	SM
Ford	C-Max Energi	Compact Power/ LG Chem	PHEV	Paralel Powersplit	LMO Spinel Polymer	Prizmatik	SM
Fiat	500 EV	*	BEV	Seri	*	*	*
Chevy (GM)	Spark EV	A123	BEV	Seri	LFP	Prizmatik	SM
Fisker	Nina	*	PHEV	Seri	*	*	*
Honda	Accord	GS Yuasa	PHEV	Paralel	LMO-NMC/ Hard Carbon	Prizmatik	SM
Tesla	Model X	Panasonic Samsung	EV	Seri	LMO	Silindirik (18650)	SM
BMW	i3	SB LI Motive (BMW, Bosch, Samsung)	(1) BEV (2) PHEV	Seri	NMC	Prizmatik	SM
BMW	i8	SB LI Motive (BMW, Bosch, Samsung)	PHEV	Seri	NMC	Prizmatik	SM
Ford	Transit Connect	Johnson Controls	BEV	Seri	NCA	Silindirik	SM
Azure	Balance	Johnson Controls	PHEV	Paralel	NCA	Silindirik	SM

* Bilinmiyor veya ulaşılmıyor.
Not: 2012 Subat Verileri

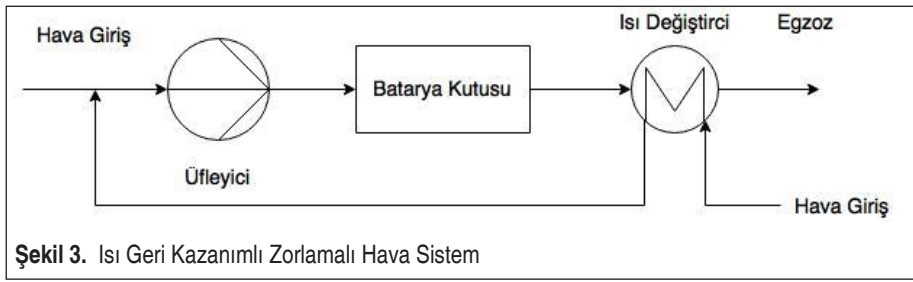
Şekil 1. BTYS ve Batarya Türleri [8].

2.1 Hava Soğutmalı ve Isıtımlı Sistem

BTYS için giriş havası direkt atmosferden veya kabinden alınabileceği gibi klima sisteminin kondenserinden veya evaporatöründen alınabilir. Bunlardan ilki pasif hava soğutmalı sistem, ikincisi ise aktif hava soğutmalı sistem olarak adlandırılır. Bu iki sistemde soğutma veya ısıtma imkânı sunabilir. Her iki sistem de hava bir fan yardımı ile sağlandığı için aktif hava soğutmalı sistemin güç 1 KW ile sınırlı iken pasif hava soğutmalı sistemde ise birkaç 100 watt ile sınırlıdır. Bu sistemler zorlamalı hava sistemi olarak da adlandırılır. Şekil 2'de aktif ve pasif zorlamalı hava sistemi görülmektedir [9].



Şekil 2. Zorlamalı Hava Sistemi (Aktif/Pasif)

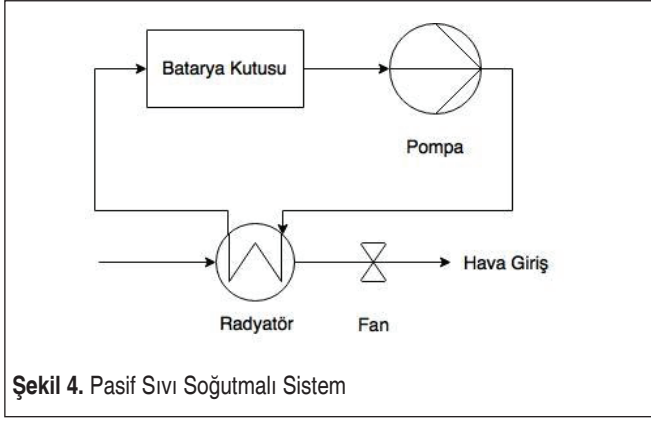


Şekil 3. Isı Geri Kazanımlı Zorlamalı Hava Sistem

Ayrıca bu sistemlerde bataryadan çıkan sıcak havadan ısı geri kazanımı sağlayarak sistem verimliliğini arttırmak için batarya paketinden sonra bir ısı değiştiricisi kullanılabilir. Şekil 3'te ısı geri kazanımlı zorlamalı hava sistemi görülmektedir.

2.2 Sıvı Soğutmalı ve Isıtmalı Sistem

Havanın yanı sıra sıvı, ısı transferi için kullanılan başka bir soğutucu akışkandır. Termal yönetim sistemlerin de kullanılan soğutucu sıvı akışkanlar, pil modülleriyle direkt temas halinde olan dielektrik sıvılar (mineral yağlar) ve pil modüllerine dolaylı yoldan temas eden indirekt sıvılar (etilen glikol su karışımı) olarak iki grup altında toplanabilir. Batarya modülüyle direkt temas halinde olan sıvı soğutmalı sistemde batarya modülü mineral yağa batırılarak, dolaylı yoldan temas halinde olan sıvı soğutmalı sistemde ise soğutma-ısıtma plakaları arasına batarya modülleri yerleştirilerek veya batarya modülü çevresine borulama yapılarak soğutma sistemi uygulanabilir [7]. Bunlarla dolaylı yoldan temas eden sıvı soğutuculu sistem, pil modülü ve çevresi arasında daha iyi izolasyon ve performans sağladığı için daha çok tercih edilir.

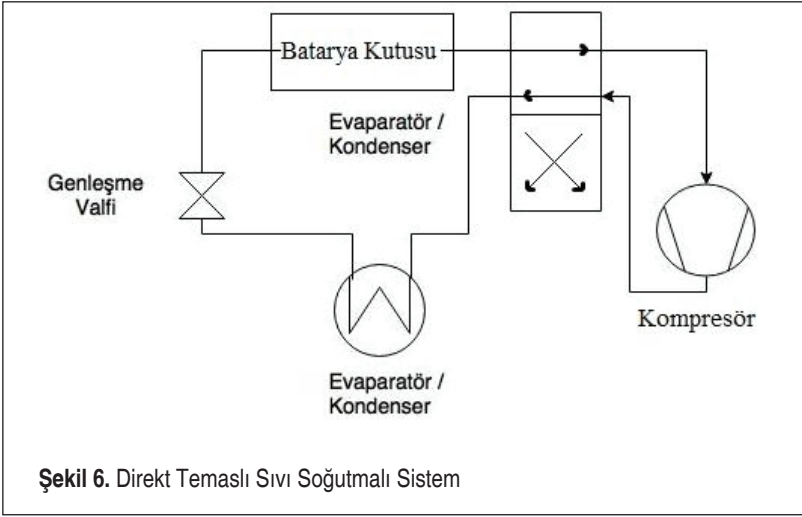
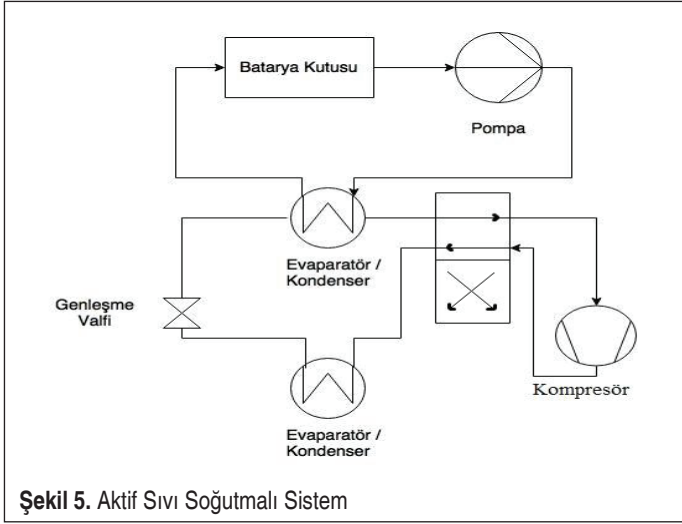


Sıvı soğutmalı sistemler de pasif veya aktif sıvı soğutmalı sistem olarak kategorize edilebilir. Pasif sıvı soğutmalı sistemde radyatör ısı emicisi görevi görür ve bu sistemin ısıtma kabiliyeti yoktur. Şekil 4’te pasif sıvı soğutmalı sistem görülmektedir. Soğutucu akışkan bir pompa vasıtasıyla sirküle edilir. Sistemde dolaşan soğutucu akışkan batarya modülündeki ısıyı absorbe eder ve radyatör yoluyla soğutma gerçekleşir. Soğutma gücü ortam havası ile batarya arasındaki sıcaklıkla direkt etkileşim içindedir. Radyatör arkasına yerleştirilen soğutucu fan soğutma performansını artırabilir, fakat ortam sıcaklığı pil sıcaklığından daha yüksek ya da aralarındaki sıcaklık farkı çok düşük ise pasif sıvı soğutmalı sistem verimsiz hale gelir.

Şekil 5’te aktif sıvı soğutma sistemi görülmektedir. Bu şekilde iki çevrim vardır. Birincil çevrim pasif sıvı soğutmalı sisteme benzer soğutucu akışkan pompa ile sirküle edilir, ikincil çevrim ise klima çevrimidir.

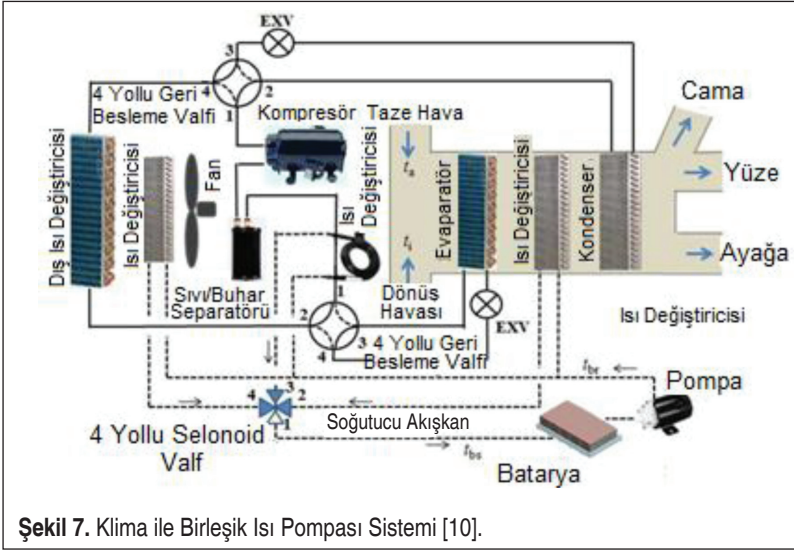
Üstteki ısı eşanjörü soğutma operasyonu için radyatör yerine evaporatör görevi görür ve çevrimleri birbirine bağlar. Isıtma operasyonu sırasında 4 yollu valf açılır. Üstteki ısı eşanjörü kondenser, alttaki ısı eşanjörü ise evaporatör görevi görür.

Direk temaslı sıvı soğutmalı sistem aktif sıvı soğutmalı sistemle benzerlik göstermektedir. Ama direkt sıvı soğutmalı sistemde kullanılan soğutucu akışkan direkt olarak batarya paketi içerisinde dolaştırılır. Şekil 6’da direkt temaslı sıvı soğutmalı soğutma ve ısıtma sistemi görülmektedir.



2.3 Isı Pompalı Soğutma Sistemi

Isı pompalı soğutma sisteminde evaporatör ve kondenser havalandırma kanalına yerleştirilir. Soğutma sıvısı üç farklı ısı eşanjörüne 4 yollu selenoid valf ile taşınır ve kontrol edilir. Şekil 7’de ısı pompası sistemi ile birleşik batarya soğutma sistemi görülmektedir. Isı pompası sistemi kapalı olduğunda, batarya ısısı araç önünde

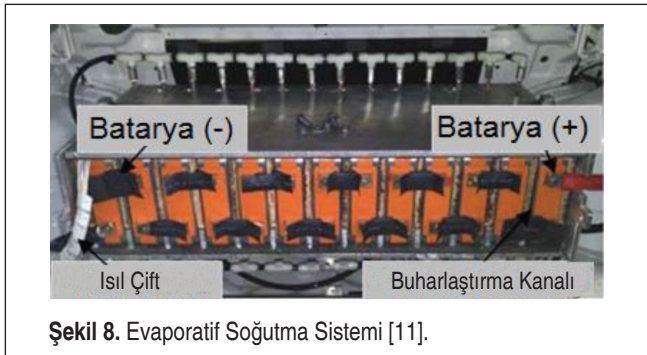


Şekil 7. Klima ile Birleşik Isı Pompası Sistemi [10].

bulunan ısı eşanjörü yoluyla doğal soğutma kaynağından faydalanılarak soğutulur. Isı pompası ısıtma modunda olduğunda, karışım havasını ön ısıtma ve ısı pompası enerji tüketimini düşürmek için batarya ısısı hava kanalı içindeki ısı eşanjörü tarafından soğutulur [10].

2.4 Evaporatif Soğutma Sistemi

Evaporatif kanalı her modül için üstte giriş menfezi ve altta çıkış menfezi ile donatılmıştır. Giriş menfezi, evaporatif kanalının içine düşük basınçlı sıvı soğutucuyu iletmek, çıkış menfezi ise evaporatif kanalından ısıtılmış soğutucuyu emmek için kullanılır. Bu direkt soğutucu tabanlı evaporatif soğutma sistemi batarya paketini soğu-



Şekil 8. Evaporatif Soğutma Sistemi [11].



tur. Bataryada üretilen ısı soğutma kanalı içindeki soğutucu gazın buharlaşmasıyla absorbe edilir ve daha sonra kondenser ısıyı çevredeki havaya dağıtır. Bu proses düşük basınçlı sıvıdan düşük basınçlı buhara soğutucu üzerinden döner. Evaporatör veya soğutma kanalı, ana soğutma sistemine paralel bağlanır [11].

2.5 Alternatif Soğutma Sistemleri ve Soğutma Performansı Arttırıcı Yöntemler

Uygun sıcaklık sınırlarında materyalin faz değiştirmesiyle ortaya çıkan gizli ısının depolanabileceği bilinmektedir. BTYS’de faz değişim materyali (FDM) batarya modülü içerisine yerleştirilerek erime sırasında gizli ısı FDM tarafından emilir ve gizli ısı maksimum düzeye ulaşana kadar absorbe edilir. Böylece, sıcaklık bir süre boyunca erime noktasında tutularak sıcaklık artışı geciktirilir ve sistem etkinliği artırılır.

Termo-elektrik modülü, elektrik voltajını farklı sıcaklıklara dönüştürebilir. Yani, termo-elektrik modül yoluyla ısı transferi doğrudan elektrik tüketimi ile gerçekleşir. Zorlanmış hava akışı ile ısı transferini artırmak için fan kullanılabilir. Pasif hava sistemini termo-elektrik modülü ile birleştirerek, batarya sıcaklığı giriş havasından daha düşük sıcaklıklara düşürülebilir fakat soğutma gücü hâlâ birkaç 100 W ile sınırlı ve 1 KW’den daha azdır [9]. Soğutma ve ısıtma işlemi arasında geçiş yapmak kolaydır. Bu işlemi gerçekleştirmek için elektrotların kutupları tersine çevrilmesi yeterlidir.

Termo-elektrik modüllerinin yanı sıra pasif hava sistemlerinin gücünü artırmak için ısı borulu sistemde kullanılabilir. Isı borusunda soğutucu akışkan olarak su kullanılır. Evaporatör tarafındaki su ısıyı emerek, içeride basınç düşüşü oluşur ve buhar sıcaklığı 100°C’nin altına düşer. Kondenser tarafındaki su, ısıyı yüzeyinden çevreye atarak tekrar sıvı hâle gelir. Çevrim böylelikle gerçekleşir.

Ayrıca ısı borulu sistemde, boru yüzeyine ısı emicisi yerleştirilerek ısının kanat yüzeylerinden yayılması sağlanabilir. Hatta, bir fan yardımı ile absorbe edilen ısı daha hızlı bir şekilde yayılabilir. Isı emiciler çeşitli kanat yapılarında olabilir.

Batarya, ısı kaynağı olarak ısı borusu altına (evaporatör tarafına) oturtulur. Soğutma kanatları, ısı emici olarak ısı borusu (kondenser tarafı) üzerindedir. Bir deney sonucuna göre [12] ısı borulu soğutma sistemi ısı borusu olmayan sisteme kıyasla doğal konveksiyon altında termal direnci %30 azaltabilir. Düşük hava hızlarında konveksiyon altında termal direnç %20 azaltılabilir.

Termo-elektriğe göre ısı borulu sistem daha güvenilirdir, çünkü hiçbir hareketli parça ve hiçbir enerji tüketimi yoktur. Ancak, sabit yapısal düzeni sebebiyle ısı borusu bataryayı ısıtamaz [13].

3. SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yüksek ortam sıcaklarında örneğin 45°C-50°C, batarya paketi içerisindeki sıcaklık çalışma sıcaklığının ötesinde 55°C aştığında termal kaçaklara neden olur. Ayrıca sıcaklık dağılımının homojensizliği bozulma ve çevrim ömrü üzerine önemli ölçüde etki eder. Eğer ortam sıcaklığı göz ardı edilirse, hücreler arasında 2C deşarj hızında 2°C, 6,67C deşarj hızında 4,8°C sıcaklık farkı oluşur. Sıcaklık dağılımının homojenliği aynı zamanda deşarj hızından da etkilenir. Deşarj hızı arttıkça hücreler arasında ki sıcaklık farkı da artar. Artan deşarj hızı ile maksimum hücre sıcaklık farkı 0,4°C üzerinde bile olabilir [14]. Bu bozulmaya ve çevrim ömrü azalmasına sebebiyet verir, çünkü hücreler arasındaki ısı transferi batarya paketi ve hava arasındaki ısı transferinden daha hızlı bir şekilde gerçekleşir. Yani bir hücre bozulursa, termal kaçak tüm batarya paketine yayılır [15].

Termal yönetim bakımından yetersiz olan basit yapılı zorlamalı hava soğutmalı sistem yüksek güvenilirlik ve düşük maliyeti yanı sıra kolay bakım avantajına sahiptir.

Fakat Tablo 1’de görüldüğü üzere havanın ısı transfer katsayısı suyun ısı transfer katsayısından çok daha düşük iken aynı akış hızında hava hacminin su hacminden daha büyük olduğunu göstermektedir. Yani, hava soğutmalı sistemde sıvı soğutmalı sistemdeki kadar ısı dağıtımı için daha fazla hacimsel debi, yani daha fazla alan ve daha fazla güç gerektiği anlamına gelir. Hava soğutmalı sistem, su soğutmalı sistemle karşılaştırıldığında çok daha fazla alan ve çok daha fazla enerji tüketir.

Tablo 1. Aynı Kütleli Debideki (50g/s) Soğutkanların Hacimsel Debisi ve Ortalama Isı Transfer Katsayıları

	Hacimsel Debi Lt/s	Ortalama Isı Transfer Katsayısı (W/m ² *K)
Hava	43	25
Mineral Yağ	0.057	57
Su	0.049	390

Sıvı soğutmalı sistemler incelendiğinde;

Pasif sıvı soğutmalı soğutma sistem; ortam sıcaklığından etkilenir, çünkü ısı dağıtımı radyatöre bağımlıdır ve ısı dağıtımı radyatör sıvısı ve ortam arasındaki sıcaklık farkı ile gerçekleşir. Normal koşullar altında iyi bir şekilde çalışır, fakat yüksek ortam sıcaklıklarında yetersiz kalır.



Aktif sıvı soğutmalı sistem, iyi bir termal performansa sahiptir. Batarya paketini optimum çalışma sıcaklığında tutabilir ve hatta hücreler arasındaki ısı dağıtımını önleyebilir, çünkü bu sistemlerde yüksek ısı transfer katsayısına sahip soğutucu akışkanlar kullanılır. Fakat birçok yardımcı ve hareketli parçadan oluşması sebebiyle karmaşık yapıya sahiptir ve bakımı zordur.

Aktif sıvı soğutma sistem ile karşılaştırıldığında, direkt temaslı sıvı soğutmalı sistem daha verimlidir, çünkü doğrudan sistemi soğutmak yerine soğutucu akışkanı soğutur ve ardından batarya modülünü soğutur. Direkt temaslı soğutma sisteminin zayıf yönü ise karmaşık yapıya sahip olması ve bakım zorluğudur.

FDM kullanan bir soğutma sistemi, iyi bir termal yönetim performansı sunar. 50°C ile 45°C'den yüksek ortam sıcaklıkları altında dahil batarya paketi içerisindeki sıcaklık 55°C altındadır. Çünkü FDM yüksek termal iletkenlik ve gizli ısı depolayabilmektedir [14]. Tablo 2'de FDM'ye ait termal karakteristik görülmektedir. Zorlu koşullar altında örneğin 6,67C deşarj oranında ve 45°C çevre sıcaklıkları arasında hücreler arasında ki maksimum sıcaklık farkı 0.5°C'yi aşmaz ve normal koşullar altında hücreler arasında ki sıcaklık farkı ihmal edilebilir [14].

FDM basit bir yapıdadır, hafif ve az yer kaplamaktadır. Fakat hala FDM tutuşabilme potansiyeline sahiptir ve elektrik iletkenliğinin yanı sıra hacim değişimi FDM grafit karakteristiğine bağlıdır.

Tablo 2. FDM'ye Ait Termal Karakteristik

	Yoğunluk (g/cm ³)	Gizli Isı (J/g)	Isıl İletkenlik (W/(m.K))
FDM (S)	0.79	173.6/266	0.167
FDM (K)	0.916		0.346

Termo-elektrik modülü küçük ve hafif yapıya sahip ayrıca ısıtıcı eleman kutupları ters çevrilerek verimli bir soğutma elemanına dönüşebilir. Termo-elektrik güvenilir, dayanıklı ve düşük bakım maliyeti vardır. Aynı zamanda arıza durumunda değiştirmek kolaydır. Ek olarak sessiz ve titreşimsiz çalışır [16].

Buna istinaden termo-elektrik modülü düşük verimliliğe sahiptir. 0,8 üzerinde verimlilik ısı yayımından daha fazla güç gerektiği anlamına gelmektedir [16]. Performans istenilen sıcaklık farkı ile ilişkilidir. Yani yüksek ortam sıcaklıklarında, sıcaklık farkı büyük ve termo-elektrik performansı kötüdür [16].

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu makalede ilk olarak elektrikli araç termal yönetim sistemleri ve bu sistemler üzerine yapılan çalışmalar araştırıldı ve toplanan bilgiler giriş ve ikinci bölümde verildi. Daha sonra üçüncü bölümde bu sistemlerin değerlendirilmesi yapıldı. Bu araştırma sonucunda;

- Elektrikli araçlarda, sıcak ve soğuk iklim koşullarında batarya paketi sıcaklığını optimum sıcaklık aralığında tutmak için mutlak suretle bir batarya termal yönetim sistemi tasarlanması zorunluğa tespit edildi.
- Elektrikli araç termal yönetim sisteminde hava soğutmalı ve ısıtmalı sistemin kullanılması durumunda yüksek verim elde edilmesine karşın batarya sıcaklığını optimum çalışma sıcaklığı içerisinde tutma konusunda yetersiz kalacağı ve mutlak suretle elektrikli araç termal yönetim sisteminin sıvı soğutmalı-ısıtmalı veya gaz sıkıştırma soğutma çevriminden oluşması gerektiği tespit edildi.
- Elektrikli araç batarya termal yönetim sisteminde yaygın olarak kullanılan klima sistemine entegre batarya soğutma çevriminin enerji verimliliği Faz Değişim Materyali kullanılarak artırılabilirliği tespit edildi.

KAYNAKÇA

1. **Chau KT, Wong YS.** 2002. Overview of Power Management in Hybrid Electric Vehicles. *Energ Convers Manage*, vol. 43, Issue 15, p. 1953-1968.
2. **Utlu Z., Yenigün M.** 2016. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Soğutma Sistemlerinin Enerji Ve Ekserji Verimliliği Açısından İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İ.A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
3. **Pesaran, AA., Swan, D., Olson, J., Guerin, J. T., Burch, S., Rehn, R., Skelenger, G.** 2002. Thermal Analysis and Performance of a Battery Pack for A Hybrid Electric Vehicle. In: *Proceedings of the Electric Vehicle Symposium EVS 15*. Brüksel.
4. **Mohammedian, S. K., Zhang, Y.** 2015. Thermal Management Optimization of an Air-Cooled Li-Ion Battery Module Using Pin-Fin Heat Sinks for Hybrid Electric Vehicles. *Journal of Power Sources* 273, p. 431-439.
5. **Fleckenstein, M., Bohlen, O., Roscher, M. A., Bakerc, Bernard.** 2002. Current Density And State of Charge İnhomogeneities İn Li-Ion Battery Cells With LiFePO₄ as Cathode Material Due to Temperature Gradients. *J. Power Sources*, vol.196, Issue 10, p. 4769-4778.
6. **Troxler, Y., Wu, B., Marinescu, M., Yufit, V., Patel, Y., Marquis, A. J., Brandon, N. P., Offer, G. J.** 2014. The Effect of Thermal Gradients on the Performance of Lithium-Ion Batteries. *J. Power Sources*, vol. 247, p. 1018-1025



7. **Pesaran, A. A.** 2001. Battery Thermal Management in EVs and HEVs : Issues and Solutions. Advanced Automotive Battery Conference, p. 10. Nevada.
8. <http://energyskeptic.com/2015/electric-vehicle-overview/>, son erişim tarihi: 18:06.2015.
9. **Valeo**, 2010. Battery Thermal Management for HEV & EV – Technology overview.
10. **Zou, H., Jiang, B., Wang, Q., Tian, C. and Yan, Y.** 2014. Performance Analysis of a Heat Pump Air Conditioning System Coupling with Battery Cooling for Electric Vehicles. Energy Procedia vol. 61, p. 891-894.
10. **Ataur, R., Helmi, A. and Hwalader**, 2014. Noble Evaporative Battery Thermal Management System for EVs/HEVs. International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Bali.
12. **Tran, T. H., Harmand, S., Desmet, B., Filandi, S.** 2014. Experimental Investigation on the Feasibility of Heat Pipe Cooling for HEV/EV Lithium-Ion Battery. Applied Thermal Engineering, vol. 2, Issue 63, p. 551-558.
13. **Li, J., Zhu, Z.** 2014. Battery Thermal Management Systems of Electric Vehicles. Master's Thesis in Automotive Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg.
14. **Sabbah, R., Kizilel, R., Selman, J. R. & Al-Hallaj, S.** 2008. Active (air-cooled) vs. Passive (phase change material) Thermal Management of High Power Lithium-Ion Packs: Limitation of Temperature Rise and Uniformity of Temperature Distribution. Journal of Power Sources, vol. 182, Issue 2, p. 630-638.
15. **Keyser, M. A., Pesaran, A., Mihalic, M., Yu, J. S., Kim, S.Y., Alagmir, M., Rivers, D.,** 2003. Thermal Characterization of Advanced Lithium-Ion Polymer Cells. Third Advanced Automotive Battery Conference, Nice.
16. **Kizilel, R., Sabbah, R., Selman, J. Robert & Al-hallaj, S.** 2009. An Alternative Cooling System to Enhance The Safety of Li-Ion Battery Packs. Journal of Power Sources, vol. 194, Issue 2, p. 1105-1112.