

Termoelektrik Soğutucuların Aşı Soğuk Zincir Sürecinde Kullanılması

Using the Thermoelectric Coolers in the Vaccine Cold Chain Process

Kadir Özbek¹, Kadir Geliş², Ömer Özyurt³

Geliş Tarihi (Received): 17.12.2021

Kabul Tarihi (Accepted): 21.12.2021

Yayın Tarihi (Published): 25.06.2022

Öz: Aşıların etkinliğini koruması ve zararlı sonuçlar doğurmaması için belli koşullar altında depolanması ve taşınması gerekmektedir. Aşının etkin bir şekilde uygulanması için geçen bu süreçte soğuk zincir yönetimi çok önemlidir. Soğuk zincirin uygun bir şekilde uygulanmadığı aşıların kullanılabilirliği azaldığı için hem hastaya uygulanamamakta hem de maddi kayıplara sebebiyet vermektedir. Aşının üretim aşamasından son kullanıcıya varıncaya kadar belirli bir ısıda (+2°C- +8°C) tutulması gerekmektedir. Aşının son kullanıcıya ulaşma sürecinde soğuk zincir yönetiminin doğru bir şekilde uygulanması, ürünün korunması açısından önem arz etmektedir. Yapılan bu çalışmada aşı nakil kabı ismi verilen ekipmanların daha teknolojik ve daha güvenilir hale getirilmek üzere termoelektrik soğutucular ile sıcaklık kontrolünün yapılması önerilmektedir. Önerilen bu yeni tasarım ile iklimlendirme için farklı uygulama yerlerinde kullanılan termoelektrik soğutucular ile soğuk zincirin son halkalarından birisi olan aşı nakil kaplarının birlikte kullanımı üzerinde durulmuştur. Bu sayede; tıp alanında uygulaması bulunan bir ekipmana farklı bir disiplinde sıklıkla kullanılan termoelektrik jeneratörler entegre edilerek özgün bir yaklaşım ve tasarım elde edilmiştir. Bu çalışmanın en önemli bilimsel farklılığı mevcut durumda ticari olarak birçok yerde kullanılmakta olan bir ürünün tıp alanındaki bir ekipmana entegre edilmesi suretiyle bu alanda var olan birtakım problemlerin giderilmesine çözüm geliştirmek ve ilgili ekipmanın teknolojik altyapısına katkı sağlamak, her aile sağlığı merkezinde bulunması zorunlu olan bir ekipmanın pratik kullanımına katkı sunmak, ekipmanın kullanım yöntemine teknolojinin geliştirilmesine katkı sağlamaktır.

Anahtar Kelimeler: Aşı Nakil Kabı, Soğuk Zincir, Termoelektrik Jeneratör, Termoelektrik Soğutma.

&

Abstract: Vaccines must be stored and transported under certain conditions to maintain their effectiveness and avoid harmful consequences. Cold chain management is very important in this process for the effective application of the vaccine. Since the usability of the vaccines in which the cold chain is not applied properly decreases, they cannot be applied to the patient and cause financial losses. The vaccine must be kept at a certain temperature (+2°C- +8°C) from the production stage to the end user. The protection of the product is ensured by the correct application of cold chain management from the production site to the end user. In this study, it is recommended to control the temperature with thermoelectric coolers to make the equipment called vaccine transport container more technological and more reliable. With this proposed new design, the use of thermoelectric coolers used in different application areas for air conditioning and vaccine transport containers, which is one of the last links of the cold chain, are emphasized. In this way; an original approach and design has been achieved by integrating thermoelectric generators, which are frequently used in a different discipline, into an equipment that has applications in the field of medicine. The most important scientific difference of this study is to develop a solution to the elimination of some problems existing in this field by integrating a product that is currently used in many places commercially with an equipment in the field of medicine and to contribute to the technological infrastructure of the relevant equipment, to contribute to the use of equipment which mandatory in every family health center, to contribute to the development of the technology and the method of use of the equipment.

Keywords: Cold Chain, Thermoelectric Generator, Thermoelectric Cooling, Vaccine Transport Container.

Atıf/Cite as: Özbek K, Geliş K, Özyurt Ö. Termoelektrik soğutucuların aşı soğuk zincir sürecinde kullanılması. Abant Sağlık Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi, 2022;2(1):10-7.

İntihal-Plagiarizm/Etik-Ethic: Bu makale, en az iki hakem tarafından incelenmiş ve intihal içermediği, araştırma ve yayın etiğine uyulduğu teyit edilmiştir. / This article has been reviewed by at least two referees and it has been confirmed that it is plagiarism-free and complies with research and publication ethics. <https://dergipark.org.tr/pub/sabited/policy>

Copyright © Published by Bolu Abant İzzet Baysal University, Since 2000 – Bolu

¹ Araş. Gör. Kadir Özbek, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, kadir.ozbek@ibu.edu.tr (Sorumlu yazar).

² Prof. Dr. Kadir Geliş, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, kadrigelis@ibu.edu.tr.

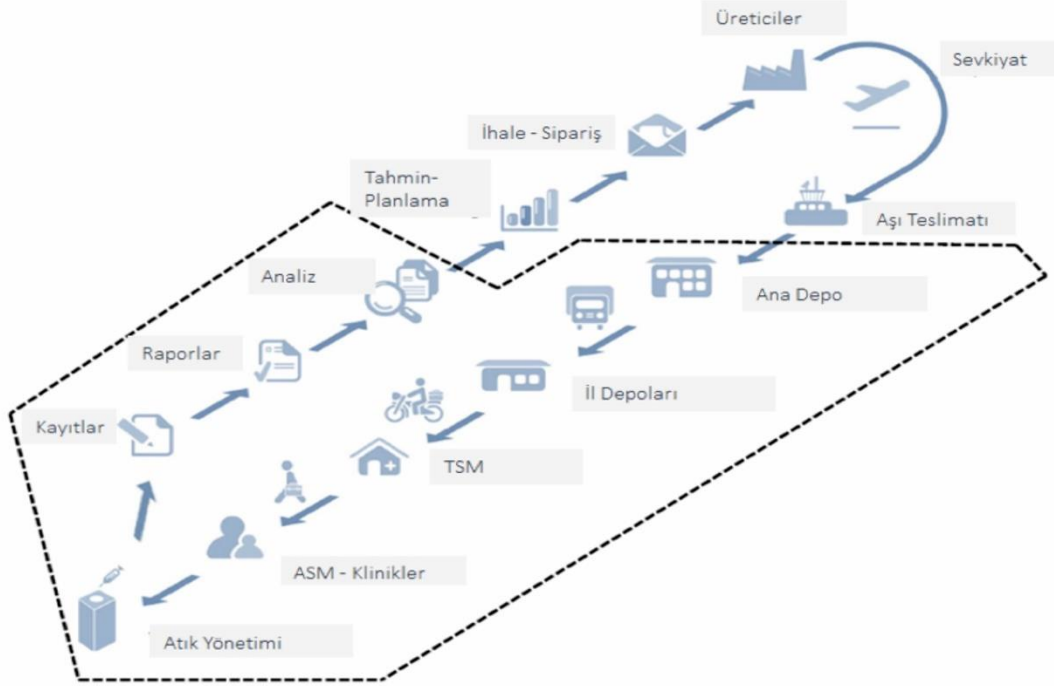
³ Prof. Dr. Ömer Özyurt, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, omerozyurt@ibu.edu.tr.

Giriş

Aşıların etkinliğini koruması ve zararlı sonuçlar doğurmaması için belli koşullar altında depolanması ve taşınması gerekmektedir. Aşının etkin bir şekilde uygulanması için geçen bu süreçte soğuk zincir yönetimi çok önemlidir. Küçüktürkmen ve Bozkir, (2018) soğuk zinciri “sıcaklığa hassas bir tıbbi ürünün hammaddenin aşamasından ambalajlı nihai ürüne dönüşüp kullanıcıya ulaşıncaya kadar geçen sürede ruhsat sahibinin öngördüğü onaylanmış sıcaklık aralıkları içerisinde kalmasını sağlayan depolama, taşıma ve dağıtımında uygulanan özel saklama koşulu” olarak tanımlamışlardır (1). Soğuk zincirin uygun bir şekilde uygulanmadığı aşıların kullanılabilirliği azaldığı için hem hastaya uygulanamamakta hem de maddi kayıplara sebebiyet vermektedir (2). Biyoteknolojik ürünler çabuk bozulabilir yapıda ve pahalı teknoloji gerektiren ürünlerdir. Bu nedenle üretim sürecinden son kullanıcıya varıncaya kadar hassas bir süreç yönetimi yapılmalıdır (3). Kimyasal yapıları sıcaklık, pH, çevresel koşullar ve imalat koşullarına karşı hassastır. Bu nedenle üretimi, depolanması ve dağıtımını son derece dikkat gerektirir (4). Soğuk zincir sistemini oluşturan üç ana element Şekil 1’de verilmiştir. Soğuk zincirin korunabilmesi için bu üç ana bileşenin organize ve uyum içerisinde çalışması gereklidir. Soğuk zincirin sürekliliğinin sağlanması aşıların korunabilmesi adına önemlidir. Farklı aşı türlerine göre sıcaklık değişikliğinin bozulma üzerindeki etkileri farklıdır. Ayrıca bazı aşılarının ise güneş ışığı ve ultraviyole ışınlarından korunması gereklidir (2). Aşının üretim aşamasından son kullanıcıya varıncaya kadar belirli bir ısıda (+2°C- +8°C) tutulması gerekmektedir. Belirlenen sıcaklık aralığında tutulamayan aşıların etkinlikleri azalmaktadır. Bunun olmasını engellemek adına T.C. Sağlık bakanlığının uyguladığı soğuk zincir aşamaları Şekil 2’de sunulmuştur. Soğuk zincirin her aşamada korunması ve son kullanıcıya etkin bir şekilde ulaştırılması önem arz etmektedir (5). Pezzuto et al. (1993), güvenilir bir soğuk zincirin tamamlanması için tıbbi ürünlerin her aşamada belirli bir sıcaklık aralığında saklanması, paketlenmesinin ve taşınmasının uygun koşullarda olması ve tıbbi ürünün bütün sürecinde soğuk zincir kurallarına uygun bir şekilde yönetilmesi gerektiği belirtmişlerdir (6).



Şekil 1. Soğuk zincir sistemini oluşturan üç ana element.



Şekil 2. Soğuk Zincir Aşamaları (5).

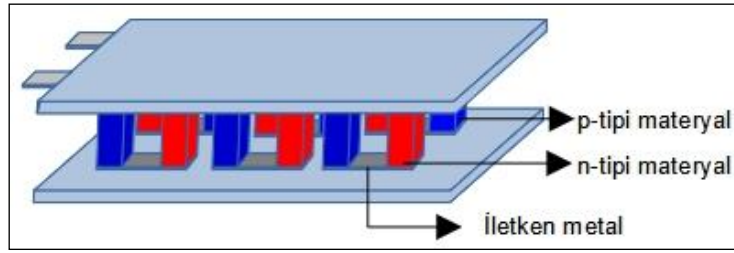
FDA (Amerikan Halk Sağlığı) tarafından yapılan incelemelerde aşılama hatalarının %23'ü aşının ve hazırlama aşamalarından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Aşılama hatalarına neden olan en büyük etkenin stabil saklama sıcaklığının sağlanamadığı olarak belirtilmiştir (7). Dünya sağlık örgütü ise aşının etkinliğinin korunması için sıcaklığın belirlenen sınırlarda korunmasının önemli olduğunu ve bu etkinliğin kaybedilmesi ile tekrar kazanılamayacağını belirtmiştir. Aşıların gereken sıcaklık aralıklarında taşınması soğuk odalar, buzdolapları, soğuk kutular ve soğuk hava düzeneklerine sahip kamyonlar kullanılarak sağlanmaktadır. Ayrıca tıbbi merkezlerde sürekli sıcaklık kontrolünün yapılması zorunlu tutulmaktadır (8). Aşıların nakillerinde ise soğuk kap ve aşı nakil kapları kullanılmaktadır. Polisitiren köpükten yapılan bu kaplar aşığı sıcaktan ve soğuktan koruyacak şekilde buz aküleri yardımıyla kullanılmaktadır. Bu kaplar ile aşının aynı gün içerisinde naklinde kullanılmaktadır (2). Buz akülerinin buzluktan çıkarıldığı anda aşı nakil kabına konulmaması gerekir, konulduğu takdirde aşılarla temas ederek ani donmalara ve aşının etkinliğinin bozulmasına sebebiyet verebilmektedir. Aşı taşıyıcısı sağlık kurumunda her bir soğuk kutu için en az iki takım su aküsü bulundurmak zorundadır. Elinde ek bir set bulunmayan ya da o anda su aküsü tedarik edemeyen sağlık personeli aşının etkinliğini kaybetme riski ile karşı karşıya kalmaktadır (9). Soğuk zincir ile korumamız gereken tıbbi ürün imalatı pahalı karmaşık ve zordur. Ürün birçok işlem sonrasında uygulama safhasına getirilir. Ürünün üretim yerinden sağlıklı bir şekilde çıkmış olması tek başına yeterli değildir. Sıcaklığa duyarlı olan bu tıbbi ürünün bozulmadan kararlı bir yapıda taşınması, dağıtılması ve saklanması gerekir. Ürünün üretim yerinden çıktığı hali ile stabil şekilde kalmamasının en önemli gerekçesi soğuk zincir yönetiminin doğru bir şekilde tatbik edilmemiş olmasıdır. Yenidoğan her bebeğin rutin aşı takvimine göre aşılmasının zorunlu olduğu ülkemizde aşıların daha etkin yapılabilmesi, il ve ilçelere uzak mecralara biyoteknolojik ürünlerin daha güvenilir bir şekilde ulaştırılması ancak güvenilir teknolojiler ile mümkündür. Aşılamanın etkin bir şekilde yapılabilmesi için aşıların soğuk zincir yönetiminin önemi yapılan birçok çalışma ve hazırlanan raporlar ile ortaya konulmuştur (10).

Yapılan bu çalışmada aşı nakil kabı ismi verilen ekipmanların daha teknolojik ve daha güvenilir hale getirilmek üzere termoelektrik soğutucular ile sıcaklık kontrolünün yapılmasını önermektedir. Öngörülen bu çalışma ile iklimlendirme için farklı uygulama yerlerinde kullanılan termoelektrik soğutucular ile soğuk zincirin son halkalarından birisi olan aşı nakil kapları birlikte kullanımı üzerinde durulacaktır. Bu sayede; tıp alanında uygulaması bulunan bir ekipmana farklı bir disiplinde sıklıkla kullanılan termoelektrik jeneratörler entegre edilerek özgün bir yaklaşım ve tasarım elde edilecektir. Bu çalışmanın en önemli bilimsel farklılığı mevcut durumda ticari olarak birçok yerde kullanılmakta olan bir ürünün tıp alanındaki bir ekipmana entegre edilmesi suretiyle bu alanda var olan birtakım problemlerin giderilmesine çözüm

geliştirmek ve ilgili ekipmanın teknolojik altyapısına katkı sağlamak, her aile sağlığı merkezinde bulunması zorunlu olan bir ekipmanın pratik kullanımına katkı sunmak, ekipmanın kullanım yöntemine teknolojisini geliştirerek katkı sağlamaktır.

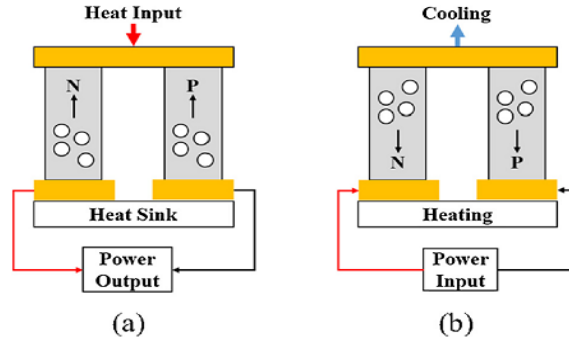
Gereç ve Yöntem

Termoelektrik elemanlar düşük sıcaklık derecelerinde ısının geri kazanımı için umut vaat eden teknolojilerdir (11). Termoelektrik elemanlar hareketli parça, modülerlik, güvenilirlik, sağlamlık ve bakım gerektirmeme gibi önemli özellikler sunarlar. Soğutma uygulamalarını gerçekleştirmek için Peltier etkisini kullanan termoelektrik soğutucular (TEC) kompakt boyutları, doğru ve etkin sıcaklık kontrol edebilmeleri, titreşimsiz ve gürültüsüz çalışmaları sebebiyle tercih sebebidirler. TEC'ler geleneksel soğutma cihazlarına göre düşük verimliliğe sahip olmalarına rağmen ev tipi soğutma, elektronik soğutma, bilimsel uygulama ve otomobil iklimlendirmesi açısından halen çekici bir soğutma yöntemi olarak kabul edilmektedir (12). Bu nedenle birçok termoelektrik modül için halen yeni materyal geliştirilmesi, modül tasarımı, üretim optimizasyonu ve sistem analizi çalışmaları devam etmektedir (13). Termoelektrik soğutucular soğutucu akışkan olmadan çalışır ve iklimlendirme sistemlerine kıyasla hiçbir hareketli parçaları yoktur (14). TEG üzerinden akım geçtiğinde ısıyı bir taraftan diğer tarafa pompalayan bir ısı motoru olacaktır. Pompalanan bu ısının büyüklüğü ve yönü TEG üzerinden geçen akıma bağlıdır (15). Termoelektrik jeneratör kesiti Şekil 3'te sunulmuştur. Termoelektrik elemanlar genel olarak bakır gibi iyi bir elektrik iletken şeritleri ile seri olarak bağlanan alümina veya berilyum gibi elektriksel olarak yalıtkan ancak termal olarak iletken plakalar arasına sıkıştırılan bizmut, tellür, selenyum ve antimonun ağır katkılı alaşımlarından oluşurlar (16). Geleneksel tek aşamalı peltier modülü (Şekil 3) genellikle bir dizi n ve p yarı iletken termoelemanndan oluşmaktadır.



Şekil 3. Termoelektrik jeneratör yapısı.

Termoelektrik cihazlar elektrik girişini ısıya, ısı girişini elektrige doğrudan çevirebilen enerji dönüşüm cihazlarıdır (17). Termoelektrik jeneratörlerin üretim maliyetlerinin yüksek olması ve buna karşılık performans katsayılarının düşük olması gelişimini kısıtlayan sebepler arasında yer almaktadır (18). Termoelektrik jeneratörlerin performanslarını arttırmaya yönelik birçok çalışma yürütülmüş ve farklı parametrelerin değiştirilmesi ile etkinliklerinin arttığı sonucuna ulaşılmıştır (19). Chen et al. (2005), termoelektrik soğutucuların sıcak taraflarına bir ısı alıcı yerleştirilerek sıcaklıklarının düşürülmesinin termoelektrik soğutucuların performanslarının iyileşmesinde katkı sunduğunu belirtmişlerdir (20). Chein & Huang (2004), termoelektrik soğutucuların sıcak ve soğuk tarafları arasındaki sıcaklık farkı azaldığında soğutma kapasitesinin arttığını belirtmişlerdir (21). TEG'lerin çıkış performansları farklı sınır şartları ve seçilen TEG jeneratörü için değişiklik göstermektedir. Bu sebeple bu farklı durumların TEG'in çıktı performansı üzerine olan etkilerini araştırmak doğru tasarımlar yapabilmek için önemlidir. Termoelektrik cihazlar incelenmesi için iki ana etkinin tanımlanması gereklidir. Bunlar Seebeck etkisi, Peltier etkisidir. Seebeck etkisi, bir termoelektrik ekipmanın her iki yüzeyine farklı sıcaklıkların uygulanması elektriksel bir çıktının oluşacağını belirtmektedir. T.J Seebeck tarafından 1821 yılında keşfedilmiştir. Bu etkiye göre, iki bağlantı farklı sıcaklıklarda tutulduğunda iki farklı malzemedan oluşan bir devrede bir voltaj üretilir. Peltier etkisi ise termoelektrik elemana doğrudan bir akım verildiğinde bir yüzeyinin ısınacağını, bir yüzeyinin ise soğuyacağını belirtmektedir. Peltier etkisi 1844 yılında Fransız fizikçi J.C.A Peltier tarafından keşfedilmiştir. Bu etki Seebeck etkisinin tersini ifade etmektedir. Ayrıca akımın yönünün değişmesi ile sıcak ve soğuk yüzeyin yerlerinin değişeceğini belirtmiştir. Cihazın seebeck ve peltier etkisindeki çalışma şeması Şekil 4'te sunulmuştur.

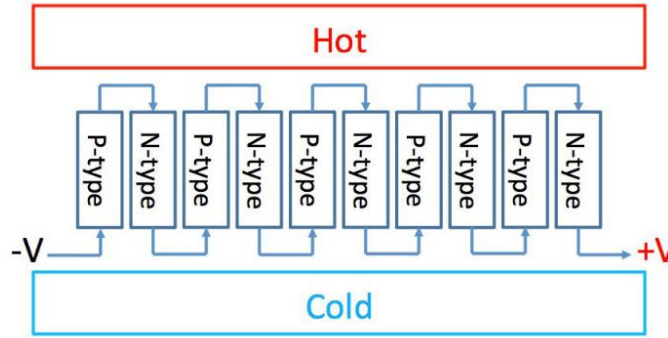


Şekil 4. (a) Cihazın seebeck etkisinde çalışması, (b) Cihazın peltier etkisinde çalışması (22).

Peltier etkisi Denklem 1 ile açıklanmaktadır (23):

$$\pi = \frac{P_p}{I} \quad (1)$$

Burada, P_p bağlantı noktası ısı transfer oranını, I doğru akımı, π ise Peltier katsayısını ifade etmektedir. Termoelektrik ekipmanlar elektriksel olarak seri, termal olarak paralel bağlıdır (Şekil 5).



Şekil 5. Termoelektrik cihazların bağlantıları (23).

Termoelektrik cihazlarda termal ve elektriksel iletkenlik ısı akışını ve akımı kontrol etmeye yarayan önemli parametrelerdir. Çevrimin çalışmasında ısınmayı engelleyebilmek adına iç direncin düşük olması gereklidir. Termoelektrik ekipmanların termal iletkenlikleri Denklem 2 kullanılarak hesaplanmaktadır (23):

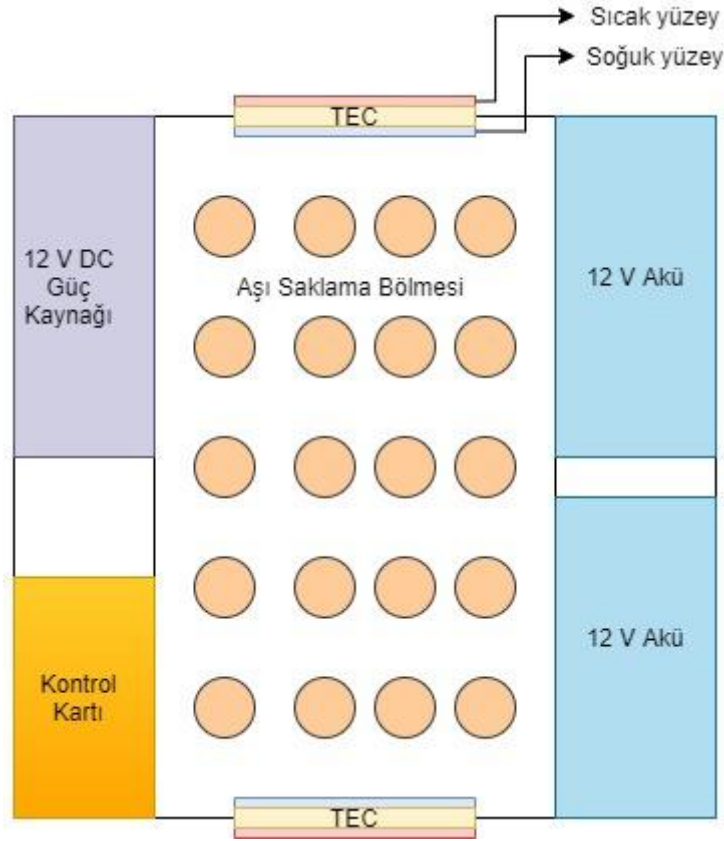
$$k = \left(\kappa_p \frac{A}{L} + \kappa_n \frac{A}{L} \right) \quad (2)$$

Burada L yarı iletken termoeleman uzunluğunu, A termoeleman kesit alanını, K ise termal iletkenliği ifade etmektedir. Bir termoelektrik soğutucunun sıcaklığa bağlı olarak güç çıkışı ise Denklem 3 kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$Q_c = \frac{kA\Delta T}{L} + \alpha T_H I - \frac{1}{2} R_{int} I^2 \quad (3)$$

Burada k , termal iletkenlik katsayısını, A toplam ısı transfer alanını, L TEG kalınlığını, ΔT sıcaklık farkını, α Seebeck katsayısını, I akımı ve R_{int} ise iç direnci ifade etmektedir.

Bu bilgilerden yola çıkılarak, aşırı nakil kabı ismi verilen ekipmanların daha teknolojik ve daha güvenilir hale getirilmek üzere termoelektrik jeneratörler ile sıcaklık kontrolünün yapılabilmesinin mümkün olabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmada sunulan aşırı nakil kabı için önerilen tasarım Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 6. Örnek aşı nakil kabı tasarımı.

Aşı nakil kabının sıcaklık kontrol sistemi kontrol kartı ile sağlanacaktır. Aşı nakil kabının sıcaklığının farklı noktalardan ölçülmesi ile ortalama bir sıcaklık değeri belirlenecek ve bu bilgi kontrol kartına iletilecektir. Kontrol kartına tanımlanacak olan program yardımıyla sıcaklığın belirlenen aralıklarda kalmadığı durumlarda termoelektrik jeneratörler sistemi ısıtacak ya da soğutacaktır. Örnek olarak istenilen aşı sıcaklığının 2 °C ile 8 °C kalması gerektiği durumunda, 8 derecenin üzeri sıcaklığa ulaştığında termoelektrik jeneratör bir soğutucu olarak, 2 derecenin altına düştüğünde ise bir ısıtıcı olarak çalışacaktır. Sıcaklık ölçümlerinin sürekli yapılması ile aşının istenilen sıcaklık aralığında kalması sağlanacaktır. Aşı kabı iç oda sıcaklık değerinin belirlenen sınırlar içerisinde kalmasını sağlayacak on/off tipi çalışan bir algoritma kurularak kontrol yapısı oluşturulmalıdır. Sistemin mobil olarak taşınabilir olması için ağırlıklar her iki tarafa dağıtılması öngörülmüştür. Ayrıca akülerin yetersiz geldiği durumlar için 220 V şebeke elektriği ve 12 V DC araç şarj girişinin entegre edilmesi sistemin sürekliliğini sağlamak açısından önemlidir. Ayrıca termoelektrik soğutucuların verimlerini arttırmak adına kanat kullanımı tercih edilebilir. Bu tasarımı yaparken Dünya Sağlık Örgütü'nün aşı nakil kabı tasarımına ilişkin kriterler dikkate alınmalıdır (24).

Sonuç ve Öneriler

Sıcaklığa duyarlı olan tıbbi ürünlerin bozulmadan kararlı bir yapıda taşınması, dağıtılması ve saklanması gerekmektedir. Ürünün üretim yerinden son kullanıcıya varıncaya soğuk zincir yönetiminin doğru bir şekilde tatbik edilmesiyle ürünün korunması sağlanmaktadır. Yapılan bu çalışmada aşı nakil kabı ismi verilen ekipmanların daha teknolojik ve daha güvenilir hale getirilmek üzere termoelektrik soğutucular ile sıcaklık kontrolünün yapılmasını önermektedir. Öngörülen bu çalışma ile iklimlendirme için farklı uygulama yerlerinde kullanılan termoelektrik jeneratörler ile soğuk zincirin son halkalarından birisi olan aşı nakil kapları birlikte kullanımı üzerinde durulmuştur. Bu sayede; tıp alanında uygulaması bulunan bir ekipmana farklı bir disiplinde sıklıkla kullanılan termoelektrik jeneratörler entegre edilerek özgün bir yaklaşım ve tasarım elde edilmiştir. Bu çalışmanın en önemli bilimsel farklılığı mevcut durumda ticari olarak birçok yerde kullanılmakta olan bir ürünün tıp alanındaki bir ekipmana entegre edilmesi suretiyle bu alanda var olan birtakım problemlerin giderilmesine çözüm geliştirmek ve ilgili ekipmanın teknolojik

altyapısına katkı sağlamak, her aile sağlığı merkezinde bulunması zorunlu olan bir ekipmanın pratik kullanımına katkı sunmak, ekipmanın kullanım yöntemine teknolojisinin geliştirilmesine katkı sağlamaktır. Çalışma alanı ile ilgili bazı öneriler aşağıda sunulmuştur.

- Uygulama safhasında homojen olmayan bir sıcaklık dağılımının olmasının engellenmesi ancak termoelektrik soğutucuların optimum konum ve sayılarının belirlenmesi ile mümkün olacaktır.
- Bu tür bir uygulama ile İnsan sağlığını yakından ilgilendiren aşılama çalışmalarında optimum fiziksel koşulların sağlanarak aşının uygulama safhasına kadar etkinliğini kaybetmeden ulaşması sağlanacaktır.
- Mevcut koruyucu ve takip edici sistemlerin geliştirilmesi ve güvenilirliğinin artması sağlanacaktır.
- Bu çalışma, tıp ve mühendislik formasyonlarının ortak bir paydada buluşması ile kayda değer nitelikte akademik yayınlar yapılabilmesi mümkündür.
- Buz aküleri ile soğutulan geleneksel soğutma sistemleri yerine kullanılacak olan bu modelin kullanılması durumunda hem ulusal hem de uluslararası pazara yeni iş imkanları sunulacağı düşünülmektedir.
- Yeni bir üretim alanı oluşabileceği için yeni istihdamlara da olanak sağlanacaktır.

Kısaltmalar

A	Alan
I	Akım
k	Isı iletkenlik katsayısı
L	Uzunluk
Pp	Bağlantı noktasının ısı transfer oranı
Rint	İç Direnç
Th	Sıcak yüzey sıcaklığı
ΔT	Sıcaklık Farkı
TEC	Termoelektrik Soğutucu
TEG	Termoelektrik Jeneratör
α	Seebeck Katsayısı
π	Peltier Katsayısı

Kaynaklar

1. Küçüktürkmen B, Bozkir A. Drugs subject to special storage conditions or cold chain and evaluation in terms of applications. Turk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi. 2018;15:305–22.
2. Şensoy G, Belet N. Vaccine Cold Chain and Vaccination Records. J Pediatr Inf, 2008;2:36–55.
3. Yardımcı A. Biyoteknoloji. Ekon Forum, 2012.
4. Akers M. Special Challenges in Production of Biopharmaceutical Dosage Forms. Bioprocess Int [Internet]. 2006 [cited 2021 Dec 15];4(11):36–43. Available from: <https://bioprocessintl.com/manufacturing/formulation/special-challenges-in-production-of-biopharmaceutical-dosage-forms-121920065/>
5. T.C. Sağlık Bakanlığı. Aşının Yolculuğu [Internet]. 2021 [cited 2021 Dec 15]. Available from: <https://asi.saglik.gov.tr/asinin-yolculugu>
6. Pezzuto JM, Johnson ME, LastNameManasseJr. HR. Biotechnology and Pharmacy. Biotechnology and Pharmacy. Springer, Dordrecht; 1993.
7. Hibbs BF, Moro PL, Lewis P, Miller ER, Shimabukuro TT. Vaccination errors reported to the Vaccine Adverse Event Reporting System, (VAERS) United States, 2000-2013. Vaccine, 2015;33(28):3171–8.

8. WHO. Safe vaccine handling, cold chain and immunizations : a manual for the Newly Independent States [Internet]. 1998 [cited 2021 Dec 15]. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/64776>
9. Kurt A. Mersin ilindeki sağlık ocaklarında soğuk zincir donanımı ve uygulamalarının değerlendirilmesi. Mersin Üniversitesi, 2005.
10. Özdemir H, Özer AY. Investigating cold-chain system and efficacy of vaccines reaching the end user in Turkey and related regulations. *Fabad J Pharm Sci*, 2010;35(2):93–104.
11. Qiu K, Hayden ACS. Development of thermoelectric self-powered heating equipment. In: *Journal of Electronic Materials*, 2011;40:606–10.
12. Zhao D, Tan G. A review of thermoelectric cooling: Materials, modeling and applications. Vol. 66, *Applied Thermal Engineering*, 2014;66:15–24.
13. Sharma S, Dwivedi VK, Pandit SN. Exergy analysis of single-stage and multi stage thermoelectric cooler. *Int J Energy Res*, 2014;38(2):213–22.
14. Selvam C, Manikandan S, Kaushik S., Lamba R, Harish S. Transient performance of a Peltier super cooler under varied electric pulse conditions with phase change material. *Energy Convers Manag*, 2019;198:111822.
15. Astrain D, Vián JG, Albizua J. Computational model for refrigerators based on Peltier effect application. *Appl Therm Eng*, 2005 Dec 1;25(17–18):3149–62.
16. Faraji AY, Goldsmid HJ, Akbarzadeh A. Experimental study of a thermoelectrically-driven liquid chiller in terms of COP and cooling down period. *Energy Convers Manag*, 2014;77:340–8.
17. Min G, Rowe DM. Improved model for calculating the coefficient of performance of a Peltier module. *Energy Convers Manag*, 2000;41(2):163–71.
18. Selvam C, Manikandan S, Kaushik SC, Lamba R, Harish S. Transient performance of a Peltier super cooler under varied electric pulse conditions with phase change material. *Energy Convers Manag*, 2019;198:111822.
19. Enescu D, Virjoghe EO. A review on thermoelectric cooling parameters and performance. *Renew Sustain Energy Rev*, 2014;38:903–16.
20. Chen L, Li J, Sun F, Wu C. Effect of heat transfer on the performance of two-stage semiconductor thermoelectric refrigerators. *J Appl Phys*. 2005;98(3). <https://doi.org/10.1063/1.2001156>
21. Chein R, Huang G. Thermoelectric cooler application in electronic cooling. *Appl Therm Eng*, 2004;24(14–15):2207–17.
22. Elghool A, Basrawi F, Ibrahim TK, Habib K, Ibrahim H, Idris DMND. A review on heat sink for thermo-electric power generation: Classifications and parameters affecting performance. *Energy Convers Manag*, 2017;134:260–77.
23. Montecucco A. Efficiently maximising power generation from thermoelectric generators [Internet]. University of Glasgow; 2014. Available from: <http://theses.gla.ac.uk/5213/>
24. WHO. Ultra-low temperature (ULT) storage and transport for vaccines. 2021.