

FDM Takviyeli Bir Kan Taşıma Kabındaki Sıcaklık Değişiminin Taguchi Tekniği ile Optimizasyonu

Nevin ÇELİK

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 23119, ELAZIĞ
E-posta: nevincelik23@gmail.com

(Geliş/Received: 23.03.2018; Kabul/Accepted: 03.09.2018)

Özet

Bu çalışmada içerisinde taze kan taşınması için tasarlanmış olan, faz değiştiren malzeme (FDM) takviyeli yalıtımlı bir kabın tasarım parametrelerinin sıcaklık üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Özellikle sıcak havalarda kanın taşınma esnasında bozulmasına sebebiyet veren kritik sıcaklık değerinin üzerine çıkmaması hedeflenmiştir. Bu hedefi sağlamak üzere tasarlanan kapta sıcaklığı etkileyen parametreler olarak (i) kanın içerisinde tutulduğu zaman, (ii) kabın yalıtım kalınlığı, (iii) kullanılan yalıtım malzemesinin türü ve (iv) FDM nin kalınlığı öngörülmüştür. Taguchi deney tasarımı yöntemi sayısal bir çalışmaya uygulanmış ve böylece sayısal modelleme ile bulunan sıcaklıklara etki eden tasarım parametrelerinin katkı değerleri ANOVA (Değişken Analizi) ile yüzdesel olarak tespit edilmiştir. Sonuçta sıcaklık üzerinde parametrelerin etkisi; %80 ile zaman, %3 ile yalıtım kalınlığı, %2 ile yalıtım malzemesinin türü ve son olarak %14 ile FDM kalınlığı olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kan depolama kabı, Taguchi eniyilemesi, ısı depolama, FDM

Optimization of the Temperature Variation in a PCM Aided Blood Storage Box by Means of Taguchi Technique

Abstract

In present study, the effects of design parameters on the temperature variation of a phase change material (PCM) aided insulated storage box in which blood is transported is analyzed. Especially it is aimed not to increase the temperature over the critic blood temperature which is necessary for keeping blood fresh. In order to reach this target, the design parameters affecting the temperature in the designed box are assumed to be; (i) the time period in which blood is kept, (ii) the thickness of insulator of the box, (iii) type of the insulator material and (iv) thickness of the PCM material. The Taguchi method is applied to a numerical study and hence, the contribution values of each design parameters that affect the temperature which is found by numerical simulation by ANOVA (Analysis of Variance). As a result, the effects of design parameters on temperature are found as; time period with 80%, insulation thickness with 3%, type of insulator material with 2% and thickness of PCM with %14.

Key Words: Blood storage box, Taguchi optimization, thermal storage, PCM

1. Giriş

Son yıllarda özellikle sağlık teknolojisi alanında sanayisi gelişmiş ülkelerde birey ve toplum sağlığı ile ilgili büyük yatırımlar ve geniş çapta araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmaların başında aşı, kan, organ gibi biyolojik maddelerin depolanması ve nakli konusu gelmektedir. Aşı, ilaç, kan ve nakil olacak organların bozulmaması için belirli sıcaklık koşullarında bulundurulması gerekmektedir. Dolayısıyla yürütülen çalışmalarda temel hedef her tür biyolojik ürünün etkinliğini kaybetmemesi, değişime uğrayarak bozulmaması ve kullanım ömrünün kısaltılmamasıdır.

Kan ve kan ürünlerinin taşınması, depolanması, muhafaza edilmesi konularında Resmi Gazetede yayımlanmış Kan ve Kan Ürünleri Yönetmeliği bulunmaktadır [1]. Yasalara göre, çoğunlukla kan arınık şişeler ve plastik kan alma torbaları içine alınır ve kullanılıncaya kadar 4 °C - 6° C da saklanır. Kan, reaksiyonu asit olan ve içinde dekstroz bulunan sitrat solüsyonunda toplanır. Bu solüsyonlarda alyuvarların 21 gün muhafaza edilebilmesi için antikoagülan madde kullanılır. Solüsyonlu kan torbaları içinde çoğunlukla buz jel kasetleri bulunan muhafaza kutularında nakil işlemi görürler. Bu muhafaza kutuları içinde kan yönetmelikte belirtilen torba ya da şişe içerisinde

birakılır. Kutuların kanla doğrudan teması olmadığından kutu malzemelerine dair özel şartlar sıralanmamıştır. Belirtilen en önemli şart içerisinde buz bulunan köpükten yapılmış yalıtımlı kutu olması şartıdır.

Dünyada da geçerli olan bu mevzuatın dışında kanı daha uzun süre bozulmadan tutmak için enerji verimliliği çalışmaları yapılmıştır. Örneğin, kan taşıma kutularında yalıtımın yanı sıra daha uzun süre sıcaklığı düşük tutmak amacıyla faz değiştiren malzeme (FDM) kullanan Amerikan Entropy Solutions firması Greenbox adını verdiği enerji tasarruflu kutunun tasarımını gerçekleştirmiştir [2]. Firmanın ürettiği bu kutular -40 °C ila 70 °C arasında 120 saatin (5 gün) üzerinde sıcaklığı koruyabilmektedir. Böylece FDM'lerin kullanımıyla birlikte %100 organik esaslı, toksik olmayan ve piyasadaki alternatif kutulara göre daha uzun süre sıcaklığı koruyabilen kutular üretilmiştir.

Sanayideki gelişmelerin dışında yapılan akademik araştırmalar da kan muhafaza kutularının daha iyi şartlarda kullanımını amaçlamaktadır. Kruskall ve ark. [3] yeni bir kan ısıtıcı ısı değiştirgeci tasarlamışlardır. Kruskall ve arkadaşları bu tasarımla 10 °C sıcaklıktaki paketlenmiş kan hücrelerini 35 °C in üzerine çıkarmayı amaçlamışlardır. Myhre ve ark. [4] kan torbalarına bağlanan aletler geliştirmişlerdir. Bu aletlerden ikisi gizli ısı depolayarak temas halindeki kan torbasına ısı transferi sağlamaktadırlar. Böylece kanın istenilen sıcaklıkta tutulması amaçlanmıştır.

Kan muhafaza kutuları pasif veya aktif muhafaza yaparlar. Aktif muhafazada kan, çevre sıcaklığı ne olursa olsun istenilen sıcaklıkta muhafaza edilir. Genellikle pahalıdır ve uygulamada teknik problemlerle karşılaşmaktadır. Pasif muhafazada ise 0 °C' de ögütülmüş buz, istenilen iç sıcaklığı sağlamada kullanılır. Sheffer ve ark. [5] tarafından gerçekleştirilen bir araştırmada çok katlı bir pasif muhafaza kutusu tasarlanmıştır. Söz konusu çalışmada farklı çevre şartları dikkate alınmıştır. Tasarlanan modelle, kan 22 saat süreyle tazeliğini korumuştur. Podlasek ve ark. [6] kan nakil kutusu içerisindeki kan torbalarının ısı dayanım süresini arttırıcı çalışmalar yapmışlardır. Hillman ve Williams [7] nakil kutularının daha uzun süre kanı sabit sıcaklıkta tutmasını sağlamışlardır.

Çelik ve Bayazıt [8] bu çalışma konusuna da esin kaynağı olan FDM ile kan muhafaza kutusunun sıcaklık değişimini sonlu elemanlar yöntemini kullanan *ANSYS-Thermal* paket programı yardımıyla zamana bağlı incelemişlerdir. Çelik ve ark. [9] başka bir çalışmada tasarladıkları bu kutuyu FDM olarak parafin ve yalıtım malzemesi olarak polysterin kullanarak imal etmiş ve üzerinde bazı sayısal ve deneysel araştırmalar yapmışlardır. Her iki referans çalışmada [8, 9] görülen önemli bir eksiklik eniyileme çalışması yani optimizasyon analizi olmuştur ve şu an okumakta olduğunuz çalışma bu eksikliği gidermek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada FDM kullanarak ısıyı depolamayı öngören kutu tasarımından ilham alınarak, içerisinde kalsiyum klorür hegzahidrat ($CaCl_2 \cdot 6H_2O$) bulunan dış kısmı yalıtımlı bir kap tasarlanmıştır. Kaptaki sıcaklık değişimleri *ANSYS-Thermal* ticari paket programı yardımıyla bulunmuştur. Tasarlanan kabın yalıtım kalınlığı, yalıtım malzemesinin türü ve kullanılan FDM'nin tabaka kalınlığı sıcaklık değişimini etkileyen tasarım parametreleri olarak ele alınmıştır. Sıcaklık değişimi zamana bağlı olarak değiştiğinden bir diğer parametre olarak ta sıcaklığın kontrol edildiği zaman dilimleri dikkate alınmıştır. Parametrelerin sıcaklık üzerindeki etkisi Taguchi deneysel tasarım tekniği ve ANOVA (değişken analizi) ile tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Taguchi deney tasarım yöntemi bugüne kadar hakkında onlarca kaynakta bilgi verilen, üzerinde çokça konuşulan bir tasarım tekniğidir ve birçok bilimsel çalışmada kullanılarak rüştünü ispatlamıştır. İsmi Japon mühendis Genichi Taguchi'den alan yöntemde, veriler ortogonal dizinler kullanılarak elde edilmektedir [10, 11]. Kurulan ortogonal dizinler sayesinde daha az sayıda ve daha düşük maliyetle deneyler yapılabilir [12]. Taguchi yöntemiyle aslında yanıt değişkenin hem ortalaması hem de değişimi ile ilgili bilgilere ulaşılır. Bu yöntem kullanılarak elde edilen en iyi faktör/seviye kombinasyonu, bir yandan yanıt ortalamasını hedef değerine taşırken; bir yandan da değişkenliğinin azaltılmasını sağlar [13].

Taguchi tekniği genel anlamıyla üç aşamada gerçekleştirilir [14-15]; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı. Taguchi yönteminde elde edilen sonuçlar, sinyal-gürültü (S/N) oranı şeklinde değerlendirilir. S/N oranı, en küçük-en iyi, en büyük-en iyi ve nominal-en iyi olarak, hedeflenen değere göre farklı şekillerde hesaplanır ve incelenir. Bu çalışmada yalıtım ve FDM yardımıyla yüksek sıcaklıklılara çıkmamak başka bir deyişle sıcaklığı düşük tutmak hedeflendiğinden en küçük-en iyi karakteristiğinin kayıp fonksiyonu ele alınmıştır.

$$\eta_j = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \quad (1)$$

burada y_i parametre karakteristiğini, n test sayısını, η_j sinyal gürültü oranını göstermektedir.

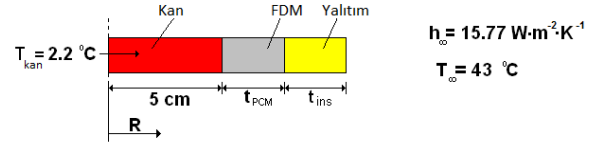
Bu çalışmada başta da belirtildiği gibi, dört tasarım parametresi (faktör) söz konusudur. Bunlar zaman dilimi, yalıtım kalınlığı, yalıtım malzemesi ve FDM kalınlığıdır. Bu parametreler bundan sonra anlatımda ve gösterimde kolaylık olması açısından sırasıyla A, B, C ve D olarak gösterilecektir. Tablo 1’de gösterilen faktörler ve seviyelerde de görüleceği gibi zaman diliminin seviyesi 6 olup diğer üç faktörün seviyeleri 3’tür.

Tablo 1. Faktörler ve Seviyeleri

Parametre	Sembol	Seviye					
Zaman dil.(saat)	A	12	24	30	36	42	48
Yalıtım kal.(cm)	B	0.25	0.5	1			
Yalıtım malz.	C	Po	Cy	St			
FDM kal.(cm)	D	1.5	2	2.5			

3. Sonuçlar

Bu çalışmada daha önce sayısal olarak sıcaklıkları tespit edilmiş olan bir kan taşıma kabının sıcaklık verileri Taguchi analizi yardımıyla yeniden değerlendirilmiş ve tasarım parametrelerinin sonuç üzerindeki etkisi ortaya çıkartılmıştır. Sayısal çalışmanın detayları yazarın [8] nolu çalışmasında sunulmuştur. Çalışmada içinde kan taşınacak olan iç katman, FDM depolanacak olan ara katman ve yalıtım kalınlığı şeklinde üç katmanlı katı model kullanılmıştır. Şekil 1’de ele alınan model sınır şartlarıyla birlikte gösterilmiştir.



Şekil 1. Modellenen kan taşıma kabının asimetrik görüntüsü [8]

Şekilde görülen model ANSYS ticari paket programıyla zamana bağlı olarak çözülmüş ve 48 saatlik zaman süresince iç tabakada yer alan kanın kritik sıcaklığın ($6 \text{ }^\circ\text{C}$) altında tutulup tutulmayacağı kontrol edilmiştir. Problemde dış ortamın $43 \text{ }^\circ\text{C}$ gibi sıcak bir yaz günü olduğu ve kabın dış yüzeylerinde taşınım ile ısı transferi gerçekleştiği varsayılmıştır. FDM’den kaynaklanan ısıl değişiminde kalsiyum klorür hegzahidratın literatürde kabul görmüş termofiziksel değerleri esas alınarak entalpi değerleri hesaplanmıştır.

Kabın tasarımında yalıtım malzemesinin kalınlığı, FDM kalınlığı, yalıtım malzemesinin türü gibi faktörlerin etkili parametreler olacağı düşünülmüş, sayısal çalışmada bu parametrelerin çeşitli değerlerinde sonuç elde edilmiştir. Ancak sonuçların istatistiksel analizi yapılamamıştır. Bu çalışmada yapılan Taguchi yaklaşımıyla her bir parametrenin sonuç üzerindeki etkisi detaylarıyla ortaya çıkartılabilmektedir. Bu nedenle bu çalışma [8] nolu çalışmanın tamamlayıcısı mahiyetindedir.

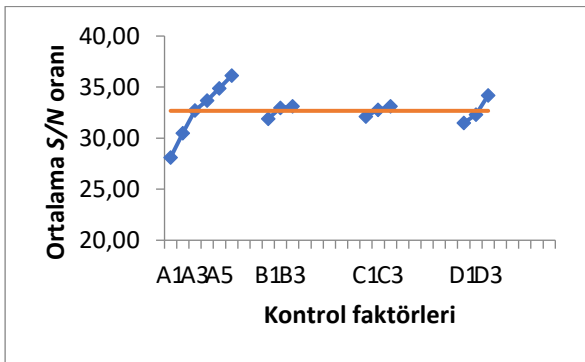
Taguchi yöntemine göre Tablo 1’de verilen faktörler ve seviyelerine en uygun ortogonal dizin $L18$ olarak seçilmiş ve faktör ve seviyeler Tablo 2’de gösterilen ortogonal dizine göre planlanmıştır. Tablo 2’de bu ortogonal dizine göre bulunmuş S/N oranları gösterilmiştir.

Tablo 2 $L18$ Ortogonal dizine göre elde edilmiş S/N oranları

Deney sayısı	Faktörler				S/N oranı
	Zaman dilimi (saat)	Yalıtım kalınlığı (cm)	Yalıtım malzemesi	FDM kalınlığı (cm)	
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	25.80
2	1	2	2	2	28.33
3	1	3	3	3	30.19
4	2	1	1	2	28.35
5	2	2	2	3	32.56
6	2	3	3	1	30.57
7	3	1	2	1	30.89

8	3	2	3	2	33.04
9	3	3	1	3	34.19
10	4	1	3	3	34.99
11	4	2	1	1	32.25
12	4	3	2	2	33.83
13	5	1	2	3	35.74
14	5	2	3	1	34.24
15	5	3	1	2	34.70
16	6	1	3	2	35.66
17	6	2	1	3	37.47
18	6	3	2	1	35.25

Tasarım parametrelerinin her seviyesi için ortalama S/N oranı hesaplanmış ve Şekil 2’de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. Sıcaklık için ortalama S/N grafiği

Bu çalışmada daha önce de belirtildiği gibi, Taguchi deneysel tasarım yaklaşımı kullanılarak kan taşımada kullanılan FDM ilaveli yalıtımlı kutuda kullanılan FDM malzemesinin kalınlığı, yalıtım malzemesinin türü ve kalınlığı, geçen zaman dilimleri gibi sıcaklığı etkileyecek önemli parametrelerin etki dereceleri araştırılmaktadır. Sıcaklığa etki edecek parametreleri belirlemek için değişken analizi uygulanmış olup, parametrelerin etki dereceleri Şekil 2’de gösterilmiştir. Sıcaklığı etkileyen en önemli parametreler, zaman dilimi ve FDM kalınlığı (%80 ve %14) olarak belirlenmiştir. Yalıtım kalınlığının sıcaklık üzerindeki etkisi %3 iken yalıtım malzemesini değiştirmenin sıcaklık üzerindeki etkisi %2 civarında bulunmuştur.

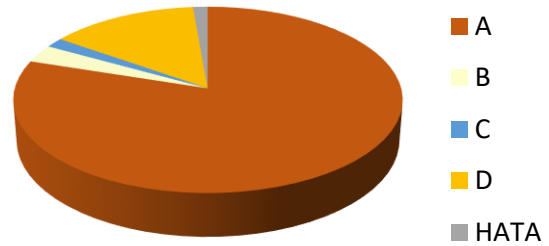
Yapılan ANOVA yani değişken analizi sonucunda Tablo 3’de gösterilen değerler çıkmıştır. Burada ilk sütunda serbestlik derecesi, (kısaca SD), ikinci sütunda kareler toplamı üçüncü sütunda varyans (kısaca V) yani değişkenler, dördüncü sütünde F değeri, beşinci sütunda her bir parametrenin yüzdesel olarak etkisi, son sütunda ise tablo değerlerine göre bulunan F değerleri verilmiştir. Burada dikkat

edilmesi gereken en önemli nokta, % dağılım değerleridir. Bu değerler her bir parametrenin sıcaklık üzerindeki, yüzdesel etkisini göstermektedir. Görüldüğü gibi A faktörü yani zaman dilimi sıcaklık üzerinde %80’e varan bir etkiye sahiptir. Zamanla sıcaklığın düşmesi beklenen bir sonuç olduğundan bu sonucun doğruluğu da kesindir. Diğer 3 faktör ise zamandan daha ziyade tasarımın üretimi ile ilgili önemli tasarım unsurlarıdır. Bu üç faktörde ise D ile gösterilen FDM kalınlığının %14’e varan bir etkiye sahip olduğu aşikârdır. Yalıtım kalınlığını arttırmanın ya da yalıtım malzemesini değiştirmenin ise sonuç üzerindeki etkisi diğer parametrelere göre daha düşüktür.

Tablo 3. ANOVA sonuçları

	Ser. Der.	Kare top.	V	F	%	Tablo F
A	5	130.5	26.10	198.5	79.92	4.3
B	2	5.315	2.657	20.22	3.110	5.1
C	2	3.022	1.511	11.49	1.698	5.1
D	2	22.82	11.41	86.8	13.88	5.1
Hata	6	0.788	0.131	0	1.375	0
Top.		162.4				

Tablo 3’ün de verilen etki oranlarının daha iyi anlaşılabilmesi için Şekil 3 çizilmiştir. Şekil 3’de her bir parametrenin sonuç üzerindeki etkisi yüzdelik dilimlerle gösterilmiştir.



Şekil 3. Tasarım parametrelerinin sıcaklık üzerindeki etki değerleri

4. Tartışma

Bu çalışmada yalıtıma ilaveten FDM tabakasıyla ısı depolama süresi arttırılan bir kan taşıma kutusunun içerisindeki sıcaklık değişiminin kutunun tasarım parametreleri ile ilişkisi araştırılmıştır. Şöyle ki, bu tasarım

parametrelerinin her birinin sıcaklık değişimi üzerindeki etkisi belirlenebilsin diye Taguchi tekniği ve ANOVA yöntemi sayısal olarak elde edilmiş sıcaklık değerlerine uygulanmıştır. Neticede sıcaklığı etkileyen en önemli faktörün zaman olduğu ortaya çıkmıştır. FDM kalınlığının etkisi yalıtım kalınlığından da yalıtım malzemesinin türünden de daha baskın görülmüştür. Yalıtım kalınlığını fazla arttırmanın sıcaklık değişimi üzerinde çok büyük etkisi olmayacağı gibi yalıtım malzemesinin türünün de büyük bir etkiye sahip olmayacağı çıkan sonuçlar arasındadır.

5. Teşekkür

Bu çalışmayı Post doktora çalışmaları yapmak üzere yanında kaldığım 2007-2009 yılları arasında bana araştırma konusu olarak veren ve her aşamasında yardımcı olan Minnesota Üniversitesinden Profesör Ephraim M. SPARROW'a teşekkürü borç bilirim.

6. Kaynaklar

1. URL

http://www.ttb.org.tr/mevzuat/index.php?option=com_content&view=article&id=642:kan-ve-kan-leryetmel&catid=2:ymelik&Itemid=33

2. URL: <http://www.greenboxsystems.com/> (Resimler firma izniyle alınmıştır)

3. Kruskal, M.S., Pacini, D.G., Malynn, E.R. and Button, L.N. (1990). Evaluation of a blood warmer that utilizes a 40 degrees C heat exchanger, *Transfusion*, **30**: 7.

4. Myhre, B.A., Nakasako, Y.Y., Schott, R., Johnson, D., Berkman, R.M. and Cleland, E.L. (1978). An

aseptic fluid transfer system for blood and blood components, *Transfusion*, **18**: 546-552.

5. Sheffer, N., Gefen, N. and Gefen, A. (1998). Blood transport in the field: a multi compartment model, in *Proc. 9th Mediterranean Electro-technical Conf.*, **2**: 1453.

6. Podlasek, S.J., Langberg, A.F. and Sacher, R.A. (1990). Rapid thawing of fresh frozen plasma in two-liter bags, *Am. J. Emerg. Med.* **8**: 475-478.

7. Hillman, A.C. and Williams, P. (2008). United States Patent Publication No. US 7328583 B2.

8. Çelik, N. and Bayazit Y., (2011). Numerical investigation of the transient heat transfer of a blood shipping box, *Int. J. Thermophysics*, **32**(3): 641-651.

9. Çelik, N., Pulatkan, M., Demir, M., Yıldız, O., Kanmaz, M., ve Şahin, H. (2015). FDM içeren yeni tasarlanmış bir kan taşıma kabının ısıl analizi, *3. Anadolu Enerji Sempozyumu*, Muğla.

10. Taguchi, G., (1986). Introduction to Quality Engineering: Designing Quality into Products and Processes, *Asian Productivity Organization*, Tokyo.

11. Ross, P. J., (1988). *Taguchi Techniques for Quality Engineering*. McGraw-Hill.

12. Peace, G.S., (1991). *Taguchi Methods*. Addison-Wesley Publishing Company.

13. Tong, L.I., Wang, C.H., Chen, C.C., Chen, C.T., (2004). Dynamic multiple responses by ideal solution analysis, *European Journal of Operational Research*, **156**: 433-444.

14. Hamzaçebi, C. ve Kutay, F. (2003). Taguchi metodu: bir uygulama, *Teknoloji*, **3**: 7-17.

15. Canıyılmaz, E. ve Kutay, F. (2003). Taguchi metodunda varyans analizine alternatif bir yaklaşım, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* **18**: 51-63.