

HAVA ARAÇLARINDAKİ ELEKTRONİK EKİPMANLARIN SOĞUTULMASINDA KULLANILAN SOĞUTMA SIVILARININ PERFORMANSA BAĞLI SEÇİM KRİTERLERİ

Samet AKÇAY¹
Tübitak UZAY, ANKARA

ÖZET

Günümüzde gelişen elektronik ekipmanlar ve bu ekipmanların ihtiyaç duyduğu güç gereksinimlerinin yükselmesi açığa çıkan ısı yükünün de artmasını beraberinde getirmiştir. Artan ısı yükü elektronik cihazların performanslarının düşmesine hatta tamamen çalışamaz duruma gelmelerine sebep olabilmektedir. Bu nedenle soğutma sistemlerine ihtiyaç doğmaktadır. Hava araçları ve pod (harici yük) sistemlerinde kullanılan elektronik ekipmanların soğutulmasında genel olarak üç tip yöntem uygulanmaktadır. Bunlar hava çevrimli soğutma, sıvı soğutma ve her iki sistemin birarada olduğu hibrid sistemlerdir. Sistemin toplam ısı yükü ve operasyon şartlarına göre bu üç tip soğutmadan uygun olan seçilmektedir. Hava soğutmalı sistemler güç kısıtı ve artan ısı yük koşullarından dolayı daha verimsiz duruma düşmektedir. Sıvı soğutma sistemleri yüksek ısı yüklerde çalışan gelişmiş hava araçları ve pod sistemlerinin soğutulmasında daha verimli olmaktadır. Bu çalışmada sıvı soğutmalı sistemler için soğutma sıvısı seçiminin farklı performans kriterleri uygulanarak nasıl yapılacağı ve farklı soğutma sıvılarının nasıl davranış gösterdikleri analitik yöntemlerle gösterilmiştir. Yapılan analizlerde termal özellikler, basınç kayıpları ve literatürde geçen kriterler referans alınmakta, elde edilen sonuçlar bu özellikler dikkate alınarak ilgili eğriler oluşturulmaktadır. Sonuç olarak bu makalede, ısı yüküne maruz kalan hava araçları ve pod sistemlerinde kullanılan elektronik ekipmanların soğutulmasında kullanılan dielektrik üç farklı soğutma sıvısı özelinde, performansa bağlı seçim kriterleri ve ilgili analitik analizler sunulmuştur.

GİRİŞ

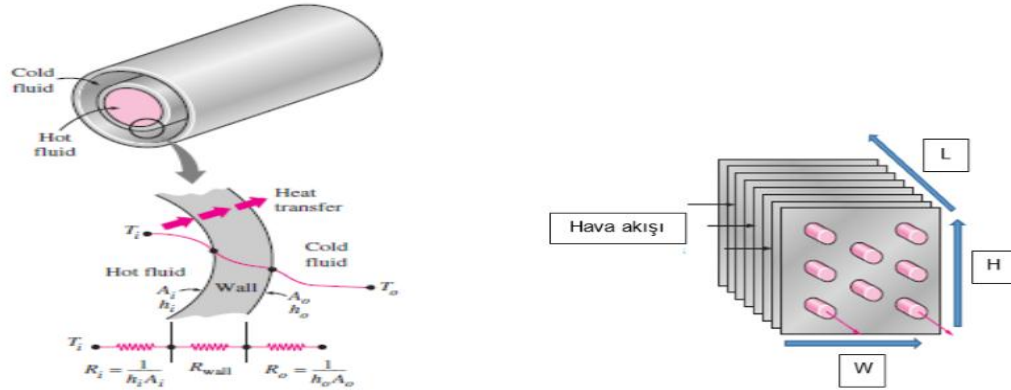
Pod sistemleri dikkate alındığında, 5 kW ve daha üstündeki bir ısı yükü hava soğutmalı bir sistemle etkili bir biçimde sistemden atılamamaktadır. Yüksek ısı yükü pod sistemlerinde sıvı soğutma sistemleri tercih edilmektedir. Bu çalışmada yaygın olarak kullanılan üç farklı soğutma sıvısı (PAO, FC-770 ve Novec 7600) için performans kriteri uygulanmıştır. Bu kriterler sırasıyla, ısı değiştirici içindeki performans, elektronik kartların dizildiği ATR (Avionic Transport Rack) kasalar içindeki performans, Mouromtseff parametresi ve η [MIL-HDBK-251] boyutsuz parametre sayısıdır.

YÖNTEM

Isı Değiştirici Performansı

Burada iki farklı ısı değiştirici için performans analizleri yapılmıştır. Bunlar sıvıdan sıvıya ve gazdan sıvıya ısı değiştiriciler içi içe geçmiş iki boru ve finli yapılardan geçen borular [Çengel, 2003] şeklinde tanımlanmıştır. İç içe geçmiş boru şeklindeki ısı değiştiricide, sıcak akışkan su ve soğuk akışkan olarak soğutma sıvısı seçilmiştir. Şekil 1' de finli yapıdaki ısı değiştiricide ise soğuk akışkan olarak hava, sıcak akışkan olarak soğutma sıvısı seçilmiştir.

¹ Araştırmacı, E-posta: samet.akcay@tubitak.gov.tr

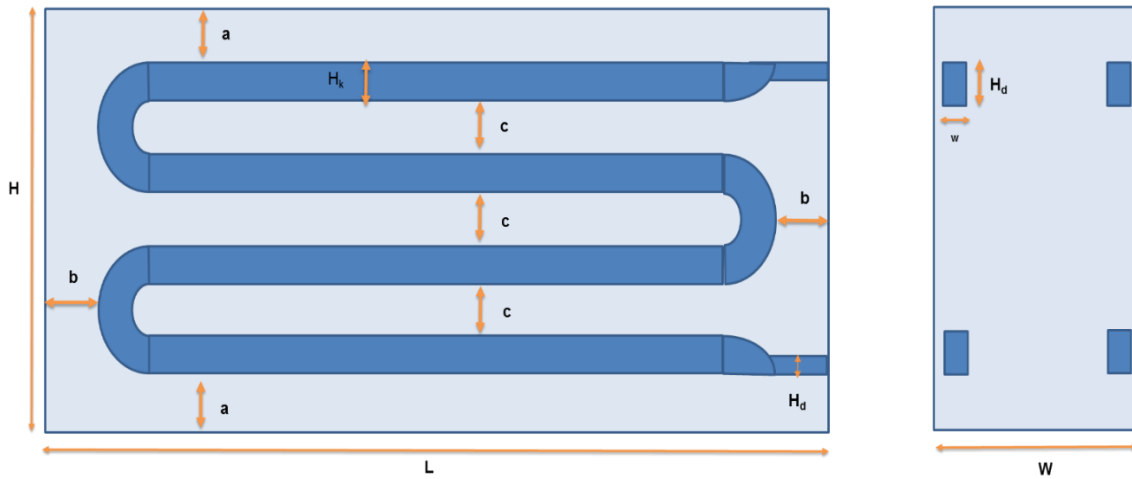


Şekil 1 : Solda İç İçe Boru Akışlı ve Sağda Finli Yapılı Isı Değiştirici Modelleri [Çengel, 2003]

Sonuçlar ısı değiştiriciden geçen akışkanın hangi akış rejiminde olduğuna göre farklılıklar göstermektedir. Isı transfer katsayısının yüksek olması akışkanın termal açıdan iyi olması ile doğru orantılıdır.

ATR Kasa Performansı

Bu kısımda Şekil 2' de gösterilen, boyutları belirli olan bir ATR kasanın tek yüzeyi için soğuk plaka içinden geçen soğutma sıvısının performansı hesaplanmıştır. Akışkan debisi zamana bağlı değildir. Sonuçlar farklı debilerde akışkan verilerek elde edilmiştir.



Şekil 2 : Analizde Kullanılan ATR Kasanın Örnek Gösterimi

ATR kasa performans hesapları aşağıdaki denklemler kullanılarak yapılmıştır. Eğer Reynolds sayısı 2300' den küçük ise sürtünme katsayısı ve Nusselt sayısı denklem 1 ve denklem 2 kullanılmakta, 2300' den daha büyük ise denklem 3 ve denklem 4 kullanılmaktadır.

$$f = \left[\frac{64}{Re} \right] \quad (1)$$

$$Nu = 4,36 \quad (2)$$

$$f = [0,790 * \ln(Re) - 1,64]^{-2} \quad (3)$$

$$Nu = \left[0,023 * Re^{\frac{4}{5}} * Pr^{0,3} \right] \quad (4)$$

$$R_{Toplam} = R_{iletim} + R_{taşınım} \quad [^{\circ}C/W] \quad \text{Toplam ısı direnç} \quad (5)$$

$$\Delta T_{\text{SIV1}} = \frac{Q_{\text{IS11}}}{\dot{m}_{\text{IS11}} * c_p} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad \text{Soğutma sıvısı sıcaklık farkı} \quad (6)$$

$$h_L = \left[f * \frac{L_k}{D_h} \right] * \frac{U_k^2}{2 * g} + K_K * \frac{U_k^2}{2 * g} + K_L * \frac{U_d^2}{2 * g} \quad (7)$$

$$\Delta P = h_L * g * \rho \quad [\text{kPa}] \quad \text{Basınç kaybı} \quad (8)$$

$$\Delta T = T_s - T_{\text{SIV1}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad \text{Sıcaklık farkı} \quad (9)$$

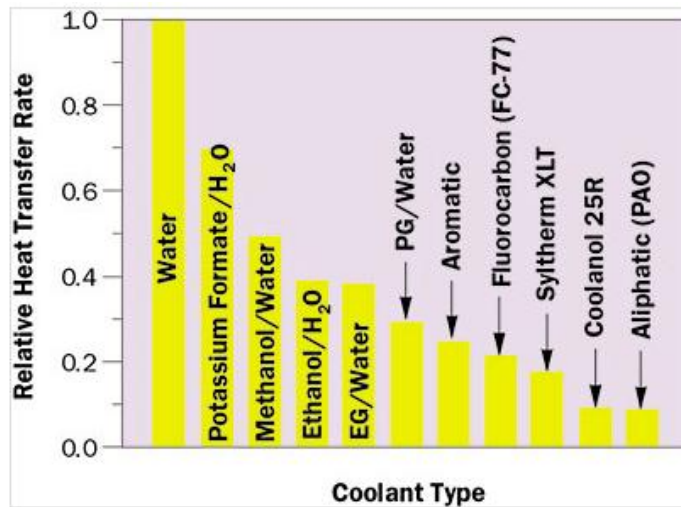
$$\theta = \frac{\Delta T}{Q_{\text{IS11}}} \quad [^{\circ}\text{C/W}] \quad \text{Isıl yük başına sıcaklık farkı} \quad (10)$$

Mouromtseff Parametresi İçin Performans Karşılaştırması

$$Mo = \frac{\rho^x * k^y * c_p^z}{\mu^i}$$

Isıl iletkenlik, yoğunluk ve özgül ısınin yüksek olması; dinamik viskozitenin düşük olması yüksek Mouromtseff sayısını [Bergles, 2003] temsil etmektedir. Yüksek Mouromtseff sayısı ısı tranferinin de yüksek olduğunu göstermektedir. Üç farklı akış rejimi için denklemdaki x,y,z ve i üstel katsayıları farklılık göstermektedir. Türbülanslı akış için aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$Mo = \frac{\rho^{0,8} * k^{0,67} * c_p^{0,33}}{\mu^{0,47}} \quad (11)$$



Şekil 3 : Soğutma sıvılarının ısı tranfer değerlerinin suya göre oranları [Simons, 2006].

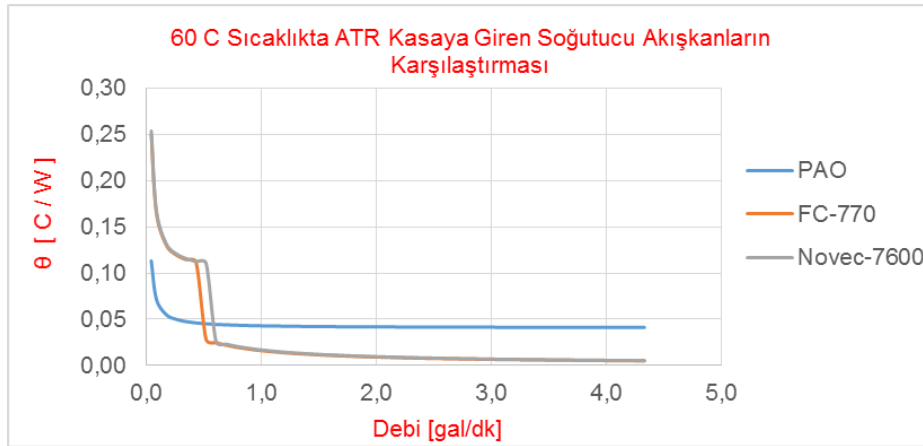
Şekil 3' te gösterilen sıvı karşılaştırması yapılan analitik hesaplamalarla örtüşmektedir.

Boyutsuz Parametre η Sayısı İçin Performans Karşılaştırması

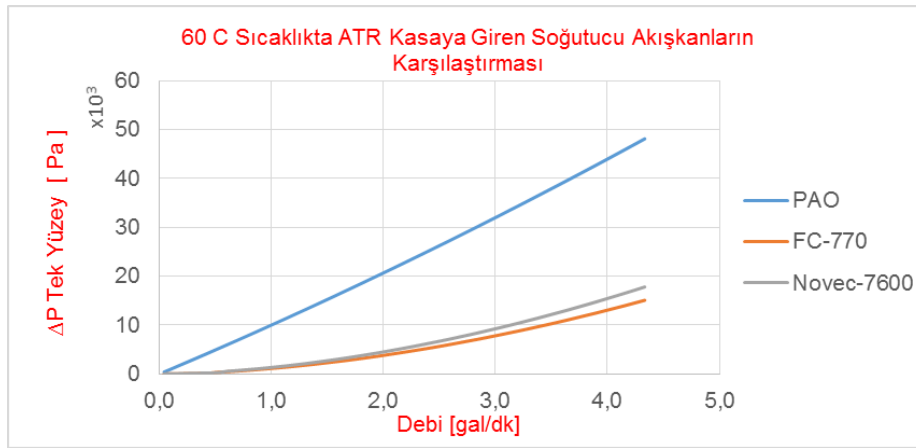
Bu parametre zorlanmış ısı taşınımı olan, türbülanslı ve düşük Reynolds sayıları için iki farklı korelasyon [MIL-HDBK-251] olarak uygulanmaktadır. Türbülanslı akış için denklem 12 kullanılmıştır.

$$\eta = \frac{Pr^{0,4} * k}{\mu^{1,1}} \quad (12)$$

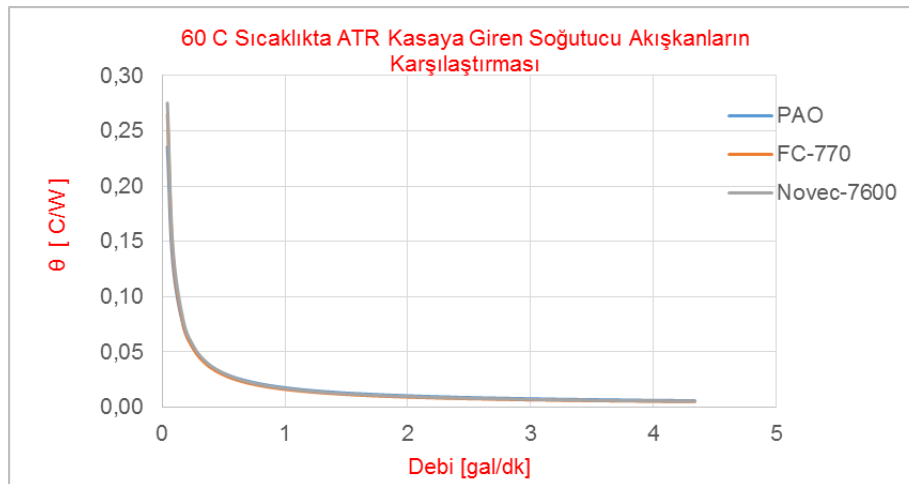
UYGULAMALAR



Şekil 3 : ATR Kasa İçindeki Soğutma Sıvılarının Termal Direnç Eğrileri



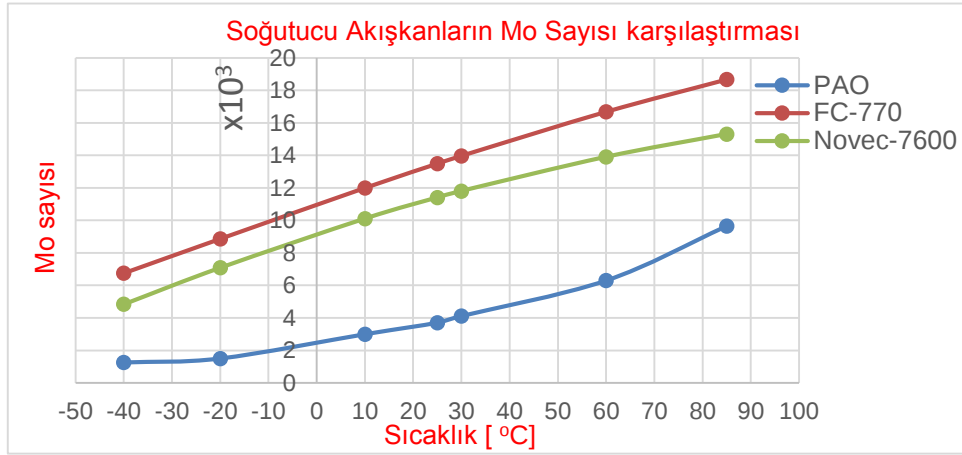
Şekil 4 : ATR Kasa İçindeki Soğutma Sıvılarının Basınç Kaybı Eğrileri



Şekil 5 : Türbülanslı akış için soğutucu sıvıların ısı yük başına sıcaklık farkı değişimi

Geometrik özellikleri sabit olan bir ATR kasanın soğutulması için soğuk plakalar yerleştirilmiştir. Hesaplamalarda ATR kasanın simetrik olmasından dolayı tek yüzeyindeki soğuk plakaya göre hesaplamalar yapılmıştır. Şekil 3'de soğuk plakadan geçen soğutma sıvılarının termal dirençlerinin debiyle değişim eğrileri verilmiştir. Şekil 4' de ise bu tek yüzeydeki soğuk plakadan geçen sıvıların

boru içi akışta uğradıkları basınç kaybı eğrileri verilmiştir. Görüldüğü üzere PAO sıvısı tübülanslı akışa geçemediği için diğer sıvılardan fazla termal direnç göstermekte ve basınç kayıpları daha fazla olmaktadır. Şekil 5 dikkate alındığında tüm sıvılar için tübülanslı akış kabulü yapıldığında termal dirençleri birbirlerine çok yakın çıkmaktadır.



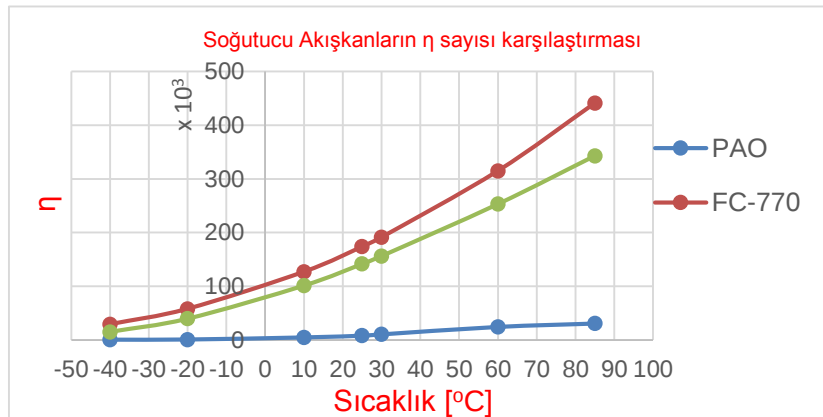
Şekil 5 : Soğutma Sıvılarının Sıcaklığa Bağlı Mouromtseff Sayısı Eğrileri

Şekil 5' de soğutma sıvılarının Mouromtseff (Mo) sayılarının sıcaklıkla değişim eğrileri verilmiştir. Mo sayısının fazla olması termal açıdan iyi olmayı göstermektedir. tüm sıvıların tübülanslı olması varsayımı yapıldığında PAO sıvısı düşük termal özellik göstermektedir. FC-770 sıvısı yüksek performans göstermektedir.

Çizelge 1 : İç İç Geçmiş Boru İçin Soğutucu Sıvıların Direnç Ve Isı Transfer Katsayısı Sonuçları

	PAO	FC-770	Novec 7600	
R_{Toplam} [C/W]	0,1359	0,014	0,0145	Toplam direnç
U_o [W / m².C]	78	755	729	Tüm ısı transfer katsayısı

Çizelge 1' de iç içe boru şeklindeki bir ısı değiştiriciden geçen soğutma sıvılarının performans hesapları verilmiştir. Burada toplam direnç ve ısı transfer katsayısı değerleri görülmektedir. Termal direncin düşük, toplam ısı transfer katsayısının yüksek olması termal performans açısından iyi olmayı göstermektedir. Bu konfigürasyonda PAO sıvısı laminar rejimde kaldığından diğer sıvılardan daha düşük performans göstermiştir.



Şekil 6 : Soğutma Sıvılarının Farklı Sıcaklıklar İçin η Değerleri

Şekil 6' da [MIL-HDBK-251] dökümanında soğutma sıvısı seçimi için kullanılan performans parametresi η' nın sıcaklığa bağlı değişim eğrileri verilmiştir. İlgili performans kriteri uygulandığında soğutma sıvıların türbülanslı olmaları dikkate alındığında PAO sıvısı düşük diğer iki sıvı yüksek termal performans göstermektedir.

SONUÇ

Yapılan performans analizleri sonucunda akış rejiminin soğutma sıvılarının termal performanslarıyla yakından ilişkili olduğu görülmüştür. Laminer akış rejiminde PAO sıvısı üstün özellikler gösterirken, türbülanslı rejimde FC-770 ve Novec-7600 sıvıları daha üstün özellikler göstermiştir. Fakat tüm soğutma sıvıları türbülanslı akış rejiminde kabul edildiğinde ATR kasa için termal dirençleri birbirlerine yakın çıkmaktadır. Bu durum yapılan CFD analizleriyle de görülmüştür. Sıvıların madde özelliklerinin de termal performanslarını etkilediği saptanmıştır.

Kaynaklar

- Bergles, A. E., 2003, *Evolution of Cooling Technology for Electrical, Electronic, and Microelectronic Equipment*, IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, Vol. 26, No. 1, pp. 6-15.
- Çengel, Y. A., 2003, *Heat Transfer : A Practical Approach*, 2nd ed., s.667-716.
- MIL-HDBK-251, *Reliability/Design Thermal Applications*, s.304-310.
- Simons, R.E., 2006, *Comparing Heat Transfer Rates of Liquid Coolants Using the Mouromtseff Number*, 1 Mayıs, <http://www.electronics-cooling.com/2006/05/comparing-heat-transfer-rates-of-liquid-coolants-using-the-mouromtseff-number/>
- Tuma, P., Hesselroth, D., Brodbeck, T., 2009, *Next-Generation Dielectric Heat Transfer Fluids For Cooling Military Electronics*, Military embedded systems, 9 Temmuz.