

SIVI KRİSTALİN ISI TRANSFERİ UYGULAMALARINDA KULLANILMASI

Yrd.Doç.Dr.Hv.Müh.Yb. İbrahim KOÇ

HHO Dekanlığı,
Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü,
34149, Yeşilyurt, İstanbul
i.koc@hho.edu.tr

Geliş Tarihi: 30 Haziran 2011, Kabul Tarihi: 24 Ocak 2012

ÖZET

Bu makale, sıvı kristalin kullanım yerleri, sıvı kristal tekniğinin açıklanması ve ısı transferi uygulamalarında sıvı kristal tekniğinin kullanılması ile ilgilidir. Isı transferi uygulamalarında sıcaklık ve ısı transfer karakteristiklerinin tespiti sıvı kristal kullanımı ile yapılabilmektedir. Çalışmada, uygulama olarak, gaz türbinlerinde kanat soğutma metotlarından biri olan film soğutmada sıcaklık bölgesini tespiti sıvı kristal ile yapılarak, film soğutma etkenliği hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sıvı Kristal, Film Soğutma, Film Soğutma Etkenliği.

USING LIQUID CRYSTALS IN HEAT TRANSFER APPLICATIONS

ABSTRACT

This paper deals with the application areas of liquid crystals, their functional principles and the utilization of the liquid crystal technique in heat transfer applications. The temperature and the characteristics of heat transfer are determined by using liquid crystals. In this study, the temperature region for film cooling, which is a method of gas turbine blade and vane cooling, was developed by using liquid crystals as an application and the film cooling effectiveness was calculated.

Key Words: Liquid Crystal, Film Cooling, Film Cooling Effectiveness.

1. GİRİŞ

Sıvı kristaller, son yıllarda televizyon, bilgisayar, saat, hesap makinesi gibi elektronik cihazların ekranlarında çok yaygın olarak kullanılır. Sıvı kristaller bu cihazlardaki görüntünün kaynağıdır. Yapıları sıvı faz ile kristalimsi katı faz arasındadır. Boruya benzer moleküller içerirler Moleküllerin düzeninin tipine bağlı olarak birkaç farklı çeşit sıvı kristal fazı mevcuttur. Sıvı kristal ekranlarda “nematik faz” dediğimiz sıvı kristal faz kullanılır. Bu faza yanıl yüzeyden baktığımızda, moleküller (kibrit kutusundaki kibritler gibi) aynı doğrultuda yerleşmiş görülür. Moleküller arasındaki çekim kuvvetinin zayıf olmasından dolayı sıvı kristaller akışkandır. Bu yüzden sıvı nematik fazda moleküler düzen kolayca değiştirilebilir ve yeniden düzenlenebilir (biraz fazla bastırdığımızda ekrandaki değişikliğe şahit

olmuşsunuzdur). Ekranda bizim seçtiğimiz komutlara göre, sıvı kristal fazın hareketi değişir. Işıklı ve karanlık bölgeler sayesinde ekranda farklı görüntüler elde ederiz.[1]. Bazı nematik sıvı kristallerin termodinamik ve akustik parametreleri incelemede faz geçiş sıcaklıklarında sıvı kristaller kullanılmıştır[2]. Sıvı kristal hücre dağılımlı bir polimerin ölçüm direnci ve geçirgenliği polimerizasyonun ve sıvı kristal dağılımlı polimer oluşum süreci boyunca faz ayrımının takip edilmesine olanak sağlar[3]

Sıcaklık ölçmelerinde kullanılan sıvı kristaller mekanik açıdan katı, optik açıdan ise kristal gibi davranan organik maddelerdir.

Isı transferi uygulamalarında, yüzeyden olan ısı transferini ölçmek bazı noktalarda oldukça önemli bir sorundur. Isı transferi yüzeyi engebeli ve hareketli

veya karışan iki akış durumunda ise yüzeyden oluşan ısı transferini ölçmek daha da karmaşık bir hale gelmektedir. Kimi durumlarda da ortalama ısı taşınım katsayısını hesaplamak gerekebilir. İşte bu gibi durumlarda yüzeydeki ısı transferini veya ısı taşınım katsayısı ölçmek için etkili bir metot olan sıvı kristal tekniği kullanılabilir. Sıvı kristaller geçen 30-40 yıldır yüzey üzerindeki sıcaklıkların ölçülmesinde ve görselleştirilmesinde oldukça pahalı olmayan bir yöntem olarak kullanılmıştır [4]. Hava jetleri, düz bir levha üzerine dik açıda çarptırılarak, levha üzerinde oluşan ısı transferi, görsel olarak sıvı kristal renkleriyle tespit edilmiştir [5].

Uçak motorları gaz türbinlerinde türbin soğutmada kullanılan film soğutma uygulamalarının modellenerek, model deneylerinde yüzey sıcaklıklarının ölçülmesinde sıvı kristaller kullanılmaktadır. Örneğin Sargison ve arkadaşları [6] silindirik, silindirik şekillendirilmiş ve yarık delikler için ısı taşınım katsayısı ve film soğutma etkinliğini ısıtılmış düz bir plakada deneysel olarak incelemiştir. Silindirik delikler karşılaştırıldığında şekillendirilmiş silindirik deliklerin şekillendirilmemiş silindirik deliklere göre etkinlikleri daha iyi bulunmuştur.

Ekkad ve Han [7] geçici sıvı kristal tekniğini kullanarak ısı taşınımını ölçmeye çalışmışlardır. Wagner ve arkadaşları[8] film soğutma performansı için yeni bir ölçüm tekniği sunmuşlardır. Basınca duyarlı boya (PSP(Pressure Sensitive Paint)) tekniğiyle geçici sıvı kristal (TLC(Transient Liquid Crystal)) tekniğini birlikte kullanmışlardır. Deneyler düz bir plaka üzerinde yapılmıştır. Sonuçlar klasik TLC tekniği ile karşılaştırılmıştır. Ashforth-Frost ve Rüdell yaptığı su jeti çarptırma deneyinde akışı görselleştirmede sıvı kristal kullanmışlardır[9]

Koç ve arkadaşları düz bir levha üzerinde iki sıralı dikdörtgensel delikler için ısı taşınım katsayısının üfleme oranına göre değişimlerini deneysel olarak incelemiş, ısı taşınım katsayısının üfleme oranından etkilendiğini ve düşük üfleme oranlarında ısı taşınımının daha etkili olduğu sonuçlarını bulmuşlardır[10].

Bu makalede de film soğutması deneyinde sıcaklık ölçümünde sıvı kristal kullanılmıştır. Sıcaklık ölçmelerinde kullanılan sıvı kristaller mekanik açıdan katı, optik açıdan ise kristal gibi davranan organik maddelerdir. Molekül dizilişlerine göre smektik, nematik ve kolesterik olmak üzere üçe ayrılırlar [11].

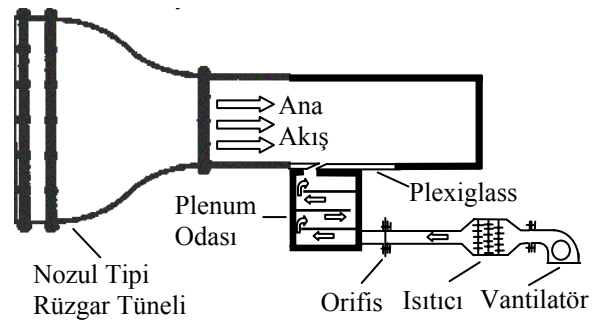
Bu çalışmada kolesterik sıvı kristal film kullanılmıştır. Isıtılan veya soğutulan kolesterik sıvı kristaller, moleküler yapıları sıcaklıkla değiştiğinden, belirli bir sıcaklık aralığından geçerken görülebilir dalga boyu aralığındaki tüm renkleri sergilerler. Dolayısıyla bir renk/sıcaklık kalibrasyonu yapılarak nitel bir sıcaklık ölçüm yöntemi geliştirilebilir. Sıvı kristaller -30°C ile

250°C arasında çalışabilir ve 1°C 'den 50°C 'ye kadar olan sıcaklık aralıklarında renk sergileyebilirler. Kristal yapılarındaki değişim geriye dönüşlü olduğundan renk/sıcaklık kalibrasyonu zaman zaman yenilendiği takdirde teorik olarak sonsuz sayıda sıcaklık ölçümü yapılabilirler.[11]

2. DENEY TESİSATI

Deneyler ana akış ve jet karışımının gözlemlendiği rüzgar tüneline, vantilatör, ısıtıcı, orifis, plenum odası, plexiglass levha ve sıvı kristal levhanın kullanılması ile yapılmıştır(Şekil 1.).

Deneyler $0.46\text{ m} \times 0.57\text{ m} \times 0.46\text{ m}$ test odası boyutlarına sahip, maksimum 30.5 m/s hıza ulaşılabilen subsonik rüzgar tüneline yapılmıştır.

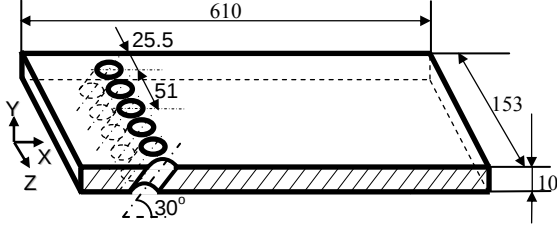


Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik görünümü.

Deneylerde düz levha olarak ısı iletim katsayısı küçük değerlerde olan plexiglass şeffaf levha, ısıtıcıda ısıtılan havanın ana akışa enjekte edilmeden önce düzgün ve kararlı bir enjeksiyonu için plenum odası, enjekte edilen hava debisini ölçmek için TS 1423[12]'e uygun olarak plexiglass malzemeden tasarlanmış orifis, vantilatör tarafından gönderilen çevre havasını 57°C 'de düz levha üzerine enjekte etmek için 2 adet 1000 Watt 'lık ısıtıcı ve ısıtıcının gücünü kontrol etmek için reosta, havayı enjekte etmek için merkezkaç vantilatör, orifiste basınç farkından, enjekte edilen hava debisini hesaplayabilmek için eğik manometre, plexiglass yüzeyinden dış çevreye ısı kayıplarını önlemek için 5 mm kalınlığında strafor, sıcaklık ölçümleri için sıvı kristal levha, sıcaklık değişimleri incelemek için dijital fotoğraf makinası, bağlantı yerlerinde hava kaçaklarının olmaması için sızdırmazlık elemanları, değişik debilerde hava enjeksiyonu sağlamak için vantilatör kapağı üzerinde değişik delik çaplarında karton şablonlar kullanılmıştır.

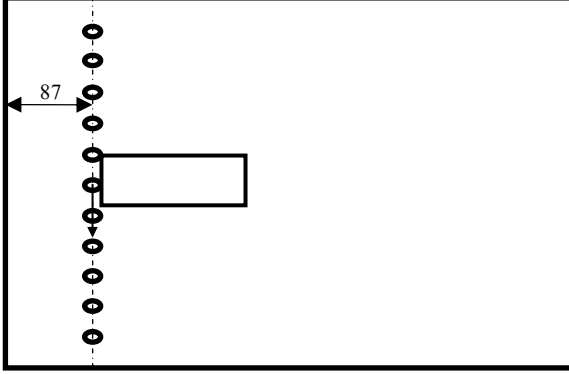
2.1. Model ve Enjeksiyon Delikleri

Film soğutma incelemesi için düz plexiglass levha üzerine 8.5 mm delik kesit çapında 11 enjeksiyon deliği açılmıştır. Enjeksiyon açıları ana akış doğrultusu ile 30° açı yapacak şekildedir (Şekil 2.).



Şekil 2. Silindirik deliklerin şematik görünümü.

Sıvı kristal levha Şekil 3'de gösterildiği gibi altıncı delik çıkışına yerleştirilmiştir.



Şekil 3. Sıvı kristalin plexiglass üzerindeki görünümü.

2.2. Üfleme Oranı

Ana akış hava hızı ve enjekte edilen soğutucu hava hızı üfleme oranına göre tanımlanır.

$$M = (\rho_j V_j) / (\rho_\infty V_\infty) \quad (1)$$

Burada M üfleme oranı, ρ_j enjekte edilen akışkan yoğunluğu, V_j enjekte edilen akışkan hızı, ρ_∞ ana akış yoğunluğu, V_∞ ana akış hızıdır. M üfleme oranları 0.5; 0.75; 1.0; 1.25; 1.5; 1.75 olarak alınmıştır. V_∞ hızı 10.7 m/s alınarak V_j hızı denklem 1' den hesaplanmıştır. Deneylerimizde enjekte edilen akışkan sıcaklığı 330 K olarak alınmıştır.

3. DENEYLERİN YAPILIŞI

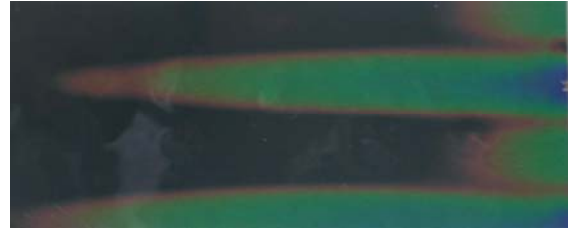
Çevre havası ısıtıcıda ısıtılarak plenum odasına gönderilmiş, plenum odasında sıcak hava basınçlandırılarak ana akış yönü ile 30° açı yapan deliklerden ana akışa enjekte edilmiştir.

Deneylerde deliklerden enjekte edilen hava ve ana akış sıcaklıklarının bilinmesi film soğutma etkenliği hesaplamaları için gereklidir. Bu nedenle plexiglass girişi ve rüzgar tüneli içine birer adet termoeleman yerleştirilmiştir. Ana akış hızı hem 55P11 sıcak tel probu hemde pitot tüpü kullanılarak ölçülmüştür.

Sıcaklık ölçümleri yapılmadan önce deliklerden enjekte edilen akışkanın hızlarının bilinmesi

gerekmektedir. Bu hızlar orifis ile debi ölçümü ile hesaplanmıştır.

Deneylerde rüzgar tüneli içinde belirli bir hızla akmakta olan havaya belirli hızda, belirli açı ve belirli debide daha sıcak havanın enjeksiyonu ile levha yüzeyinde sıcaklıklar sıvı kristal kullanılarak ölçülmüş ve ölçülen sıcaklık değerleri kullanılarak film soğutma etkenlikleri hesaplanmıştır. Levha üzerine yapıştırılan sıvı kristal levhanın deney sırasında fotoğrafları çekilmiştir. Çekilen fotoğraflar fotoshop programında ve Matlab de program yazılarak işlenmiştir. Deney sırasında fotoğraflanmış sıvı kristalin fotoğraflarının bir örneği Şekil 4 de gösterilmiştir.



Şekil 4. Sıvı kristal görünümü.

Film Soğutma Etkenliği

Deneylerde, yukarıda belirtilen üfleme oranları için film soğutma etkenliği değişimleri incelenmiştir. Sıvı kristal ile ölçülen sıcaklıklar ile film soğutma etkenlikleri hesaplanmıştır. Sonuçlar 6 ncı delik için belirlenmiştir. Film soğutma etkenliği [13] aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\eta = \frac{T_{\text{adyabatik}} - T_\infty}{T_j - T_\infty} \quad (2)$$

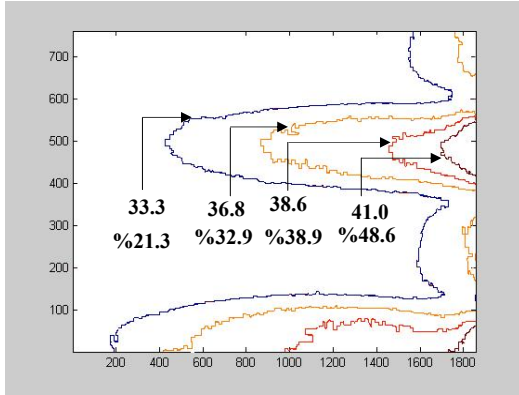
Bu eşitlikte η film soğutma etkenliği, $T_{\text{adyabatik}}$ adyabatik duvar sıcaklığı (plexiglass malzeme yüzeyinde termoeleman ile ölçülen sıcaklık), T_∞ ana akış sıcaklığı, T_j enjekte edilen akışkan sıcaklığıdır.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

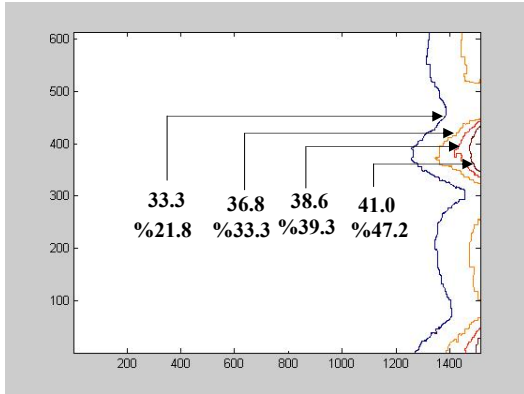
Bu çalışmada sıvı kristal kullanımı ile yüzey üzerinde meydana gelen sıcaklık değişimlerinin gözlemlemek mümkün olmuştur. Özellikle yapılacak olan eğrisel veya karmaşık yüzeylerde noktasal termoeleman kullanımı yerine sıvı kristal kullanımı ile tüm geometri üzerindeki sıcaklık etkileri görülebilir.

Enjeksiyon sıcaklığı 57 °C ve ana akış sıcaklığı ortam sıcaklığı olmak üzere yapılan deneyler üfleme oranlarına göre karşılaştırılmıştır (Şekil 5-10). Deliğin çıkışında ve ana akış doğrultusunda aynı üfleme sıcaklıklarında düşük üfleme oranlarında etkenlik daha iyidir. Örneğin Şekil 5 de üfleme oranı 0.5 de, deliğin çok uzağında etkenlik değeri %33 iken Şekil 9 da, üfleme oranı 1.75 de, deliğe çok yakın bölgede aynı değerde olmuştur. Bu durum yüksek üfleme oranlarında eğik jetin ana akış içine giriminin daha iyi olduğunu gösterir. Eğik jetin uyguladığı

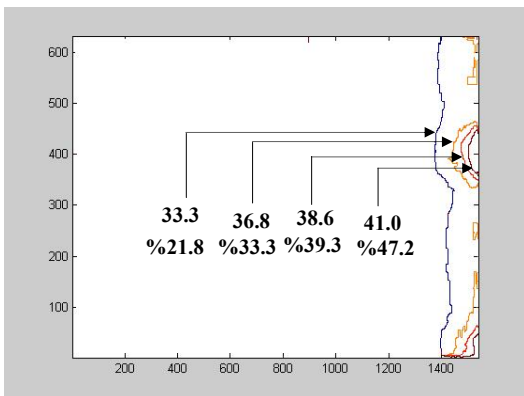
momentum değeri büyük oldukça ana akışın uyguladığı momentum jeti bükülmekte zorlanacaktır. Düşük üfleme oranlarında eğik jet daha kolay bükülerek yüzeye yapışmaktadır.



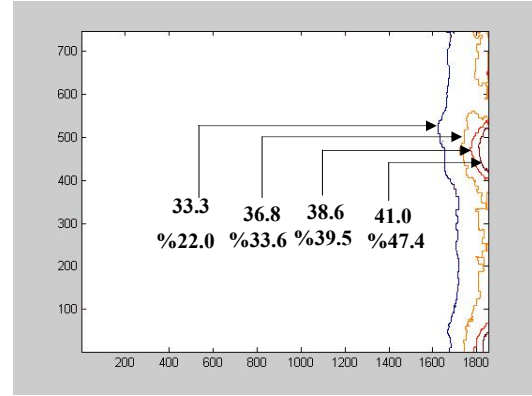
Şekil 5. 0.5 üfleme oranı için film soğutma etkenliği alanları.



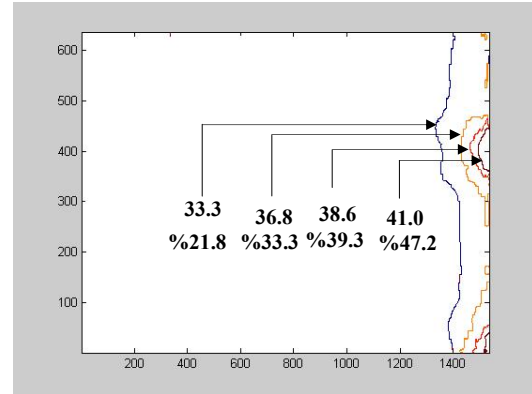
Şekil 6. 0.75 üfleme oranı için film soğutma etkenliği alanları.



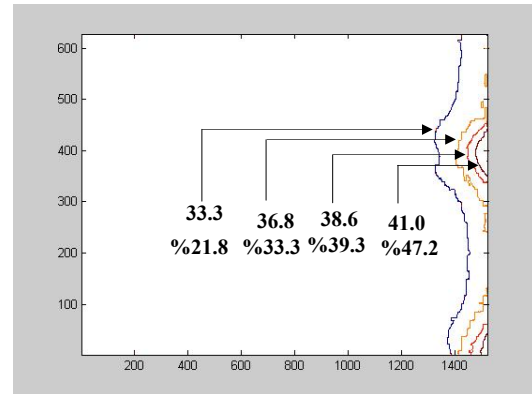
Şekil 7. 1.0 üfleme oranı için film soğutma etkenliği alanları.



Şekil 8. 1.25 üfleme oranı için film soğutma etkenliği alanları.



Şekil 9. 1.5 üfleme oranı için film soğutma etkenliği alanları.



Şekil 10. 1.75 üfleme oranı için film soğutma etkenliği alanları.

5. SONUÇ

Bu çalışmada silindirik deliğin ve üfleme oranlarının film soğutma etkenliğine etkileri deneysel olarak incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

- Delik geometrisi ve üfleme oranı film soğutma etkenliğini etkiler.
- Ana akış ve z yönlerinde en iyi üfleme oranı 0.5 dir.
- Genellikle üfleme oranı artırıldığında, film soğutma etkenliği ana akış ve z yönünde azalır.

6. KAYNAKLAR

- [1] <http://www.baybul.com/bilim-genel/69363-sivi-kristal-ekranlar-nasil-goruntu-uretiyor-ve-nerelerde-kullaniliyor.html?langid=3>
- [2] Ayachit, N.H., Vasan, S.T., Sannaningannavar, F.M. and. Deshpande, D.K., “Thermodynamic and acoustical parameters of some nematic liquid crystals”, *Journal of Molecular Liquids*, Vol.133 pp.134–138, 2007.
- [3] Park, S., Kim H-K, Hong, J.W., “Investigation of the photopolymerization-induced phase separation process in polymer dispersed liquid crystal” *Polymer Testing*, Vol.29, pp.886–893, 2010.
- [4] Farino, D. J., “Making Surface Temperature Measurements Using Liquid Crystal Thermography”, *Electronics Cooling*, vol.1, no.2, pp.10-15, 1995.
- [5] Bakırcı, K., “Sıvı Kristal Metoduyla Isı Transferi Hesabı” *Termodinamik*, Sayı 132, Ağustos 2003.
- [6] Sargison, J.E., Guo, S.M., Olfield, M.L.G. and Rawlinson, A.J., “The Variation of Heat Transfer Coefficient, Adiabatic Effectiveness and Aerodynamic Loss With Film Cooling Hole Shape”, *Heat Transfer In Gas Turbine Systems*, *Annals of The New York Academy Of Sciences* 934, 2001, pp. 361-369.
- [7] Ekkad, S.V. and Han, J.C., “A Transient Liquid Crystal Thermography Technique for Gas Turbine Heat Transfer Measurements” *Measurement Science and Technology*, Recived: February 2000.
- [8] Wagner, G., Vogel, G., Chanteloup, D. and Bolcs, A., “Pressure Sensitive Paint (PSP) and Transient Liquid Crystal Technique (TLC) for Measurements of Film Cooling Performances”, *The 16th Symposium on Measuring Techniques in Transonic and Supersonic Flow in Cascade and Turbomachines*, Cambridge, UK, September 2002.
- [9] Ashforth-Frost, S. and Rüdel, U. W. “Thermal and Hydrodynamic Visualisation of a Water Jet Impinging on a Flat Surface using Microencapsulated Liquid Crystals, *International Journal of Fluid Dynamics*, Vol.7, Article 1, 2003.
- [10] Koç, İ., Islamoglu, Y and Akdag, U., “Investigation of film cooling effectiveness and heat transfer coefficient for rectangular holes with two rows”, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, Vol.81/2, pp.106–117, 2009.
- [11] Gerçek, E. ve Panayır, O., “Binek Taşıtlarda Ön Cam Buzlanmasının Önlenmesinde Yeni Bir Yaklaşım”, *Bitirme Tasarım Projesi*, Mayıs, 2002.
- [12] TS-1423, 1975. Akışkan Verdisinin Orifis Plakalar ve Lüleler(Nozul) ile Ölçülmesi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [13] Goldstein, R.J. and Eckert, E.R.G “Effect of hole geometry and density on three dimensional film cooling”, *Int. J. Heat Transfer*, Vol.17, pp. 595-607, 1974.

ÖZGEÇMİŞ

Yrdc.Doç.Dr.Hv.Müh.Yb. İbrahim KOÇ

1991-1994 yılları arasında İTÜ Makina Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisan eğitimini tamamladı. 1993-2000 yılları arasında Kayseri 2.HİBM K.lığında görev yaptı. İTÜ Makina Mühendisliği Bölümü’nde 1999-2006 yılları arasında doktora eğitimini tamamladı. 2008 yılında Yardımcı Doçent kadrosuna atandı. Gaz Türbin Motorları, Türbin Soğutma, Isı Transferi ve Termodinamik Uygulamaları konuları ile ilgilenmektedir. Halen Binbaşı rütbesinde olup Hava Harp Okulu Dekanlığı, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü’nde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.