

DÖNEN OLUKLU DİSK ÜZERİNDEKİ AKIŞ ALANININ İNCELENMESİ

Musa ÖZKAN¹

¹Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bilecik / Türkiye

Öz: Dönen disk akışları, üç boyutlu sınır tabaka akışlarının güzel bir örneğidir. Durgun bir akışkan içerisine yerleştirilmiş olan diskin dönme hareketi sonrasında, disk yüzeyindeki akışkan da yüzeydeki kaymama koşulundan dolayı, disk ile aynı hızda dönmeye başlamaktadır. Akışkanın bu doğrultudaki hareketine teğetsel hız bileşeni denmektedir. Buna ek olarak, dönme hareketinin yarattığı merkezkaç kuvveti, akışkanı diskin merkezinden dış kenarına doğru harekete geçirmektedir. Bu doğrultudaki akışkan hareketi ise radyal hız bileşeni olarak isimlendirilir. Sistemin kütle korunumunun sağlanması için de diskin üzerinde disk yüzeyine doğru bir akış oluşur. Eksenel hız bileşeni olarak adlandırılan bu bileşen, radyal yöndeki kütle kaybını dengelemektedir. Bu şekilde dönen bir disk üzerinde oluşan üç boyutlu sınır tabaka akışı ile mühendislik uygulamalarında uçak kanatları üzerinde ve rüzgar türbin kanatları üzerinde de karşılaşılır. Bu sebeple, bu tip sınır tabakalarda laminlerden türbülansa geçiş mekanizmasının anlaşılabilmesi büyük önem taşımaktadır ve dolayısıyla pek çok sayısal ve deneysel araştırmalara konu olmaya devam etmektedir. Bu çalışmada da dönen disk üzerinde oluşan üç boyutlu sınır tabaka akışı deneysel olarak incelenmiş ve laminlerden türbülansa geçiş bölgesi tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, öncelikle yüzeyi pürüzsüz bir disk üzerindeki hız alanı grafikleri sıcak tel anemometresi akış görüntüleme yöntemiyle elde edilmiş ve türbülansa geçişin hangi Reynolds sayısı aralığında olduğu saptanmıştır. Daha sonra disk üzerine, disk ile eş merkezli olacak şekilde dairesel bir oluk açılmıştır. Türbülans tetikleyici mekanizma olarak kullanılan bu oluk ile elde edilen hız alanları, pürüzsüz yüzeye sahip disk için elde edilen sonuçlarla kıyaslanarak türbülans mekanizması anlaşılmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akış Görüntüleme, Dönen Disk Akışı, Laminlerden Türbülansa Geçiş

GİRİŞ ve KURAMSAL ÇERÇEVE

Üç boyutlu sınır tabaka akışları ile pek çok önemli mühendislik uygulamasında karşılaşmaktadır. Bu uygulamalardan en önemlileri, rüzgar türbin kanatları ve de yüksek süpürme açısına sahip uçak kanatları üzerinden olan akışlardır (Lingwood, 2015). Her iki tip kanat profili üzerinde de oluşan sınır tabakalar radyal hız bileşenine sahiptirler ve de çapraz akış kararsızlığına maruzdurlar (Rayleigh, 1916). Bu tip sınır tabaka akışlarının laminlerden türbülansa geçiş mekanizması bu kararsızlık kriterine bağlıdır ve yukarıda bahsedilmiş olan oldukça özenli çözümler isteyen mühendislik uygulamalarında kullanıldığı için bu mekanizmaya etki eden faktörlerin hassasiyetle incelenmesi çok önemlidir.

Bu önemden dolayı bu tip üç boyutlu sınır tabakalar sayısal ve deneysel olarak pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Navier-Stokes denklemlerinin benzerlik çözümünün (Kármán, 1921), dönen disk akışı için elde edilmiş olması sayısal incelemelerde özellikle stabilite analizlerinin yürütülmesinde büyük kolaylık sağlamaktadır. Sayısal incelemelerin yanı sıra, üç boyutlu sınır tabaka akışlarının deneysel olarak da çalışılması dönen disk deney düzenekleri ile sağlanmaktadır. Akışkan olarak hava (Imayama, 2012) veya su (Colley, 1999) kullanan dönen disk deney düzenekleri, üç boyutlu sınır tabaka akışlarının tipik temsilidirler ve kullanım kolaylıkları ve tekrarlanabilirlikleri deneysel çalışmalarda büyük avantaj sağlamaktadır (Özkan, 2016).

AMAÇ

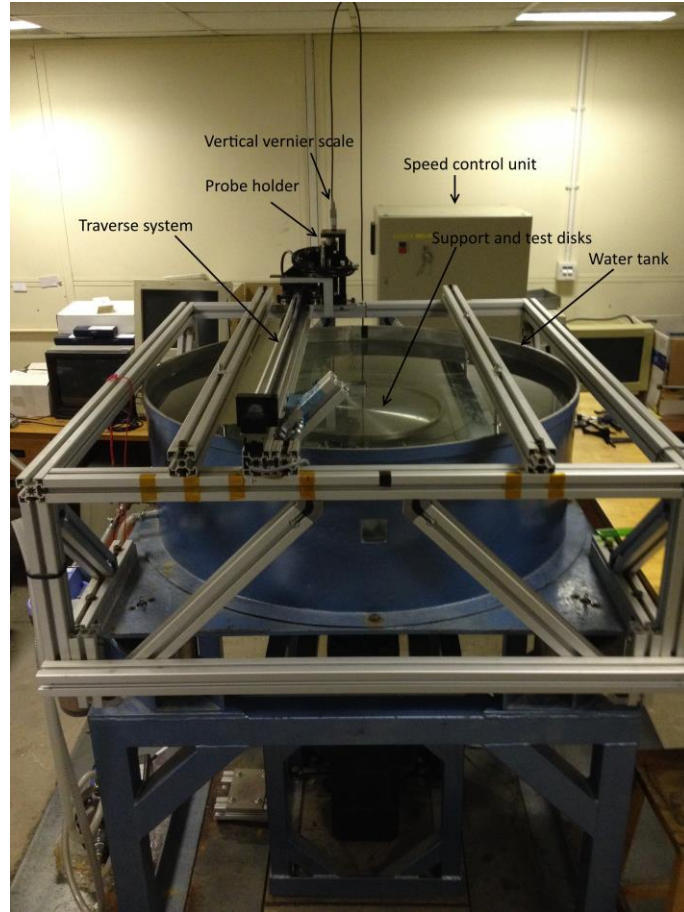
Bu çalışmada, farklı yüzey karakteristiklerine sahip diskler kullanılarak, üç boyutlu sınır tabaka akışı deneysel olarak incelenmiştir. Akış görüntüleme tekniği olarak sıcak tel anemometresi kullanılmıştır. Sıcak tel anemometreleri, özellikle sınır tabakalar için tasarlanmış olanlar, akış içerisindeki türbülans mekanizmalarını tespit etmede oldukça etkilidir. Bu akış görüntüleme yöntemi kullanılarak, disk üzerindeki sınır tabaka içerisinde laminardan türbülansa geçiş bölgesinin, farklı yüzey yapılarında hangi Reynolds sayılarında gerçekleştiğinin bulunması amaçlanmıştır.

KAPSAM

Bu araştırmada elde edilen bulgular ve yorumlar, incelenen dönen disk deney düzeneğinin üç boyutlu sınır tabaka akışlarının tekrarlanabilir bir temsili olduğu için bu tip sınır tabaka akışları ile karşılaşılan her türlü mühendislik uygulamalarını kapsamaktadır.

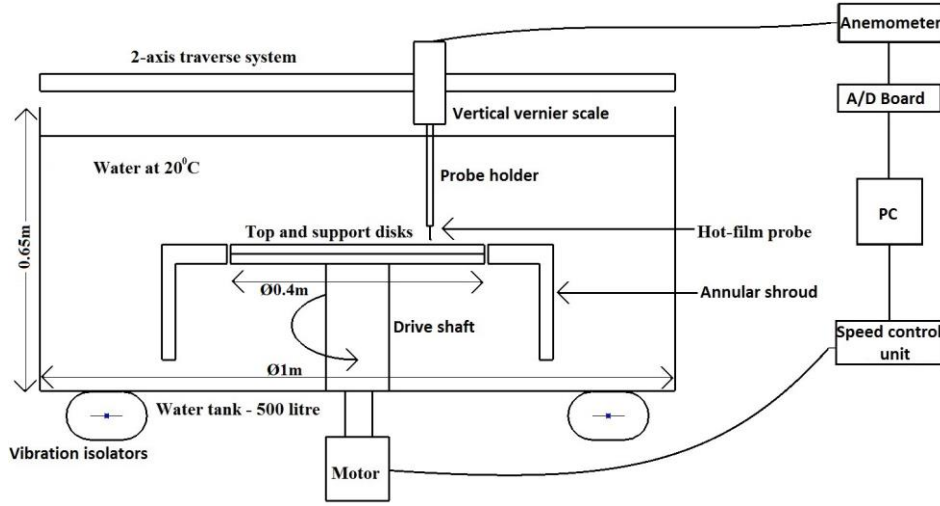
YÖNTEM

Bu çalışmada, Şekil 1’de görülen, akışkan olarak su kullanan dönen disk deney düzeneği kullanılmıştır. Bir su tankı tabanına yerleştirilmiş olan disk bir motor sayesinde istenilen açısız hızda döndürülmekte ve çalışması amaçlanan Reynolds sayısı aralığı sağlanmaktadır. Prob tutucuya bağlanmış olan sıcak tel probu disk üzerinde istenilen yarıçap ve yüksekliğe ayarlanıp, sabitlenebilmektedir.

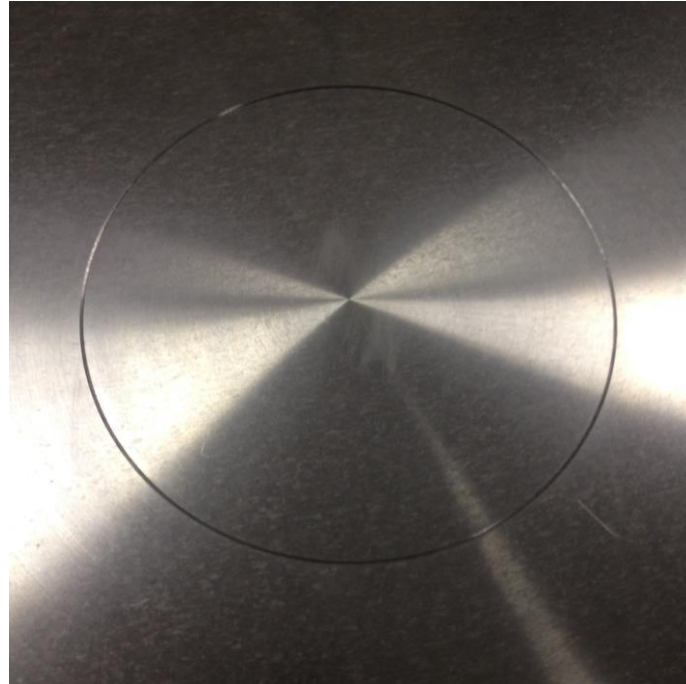


Şekil 1. Döner disk deney düzeneği (Özkan, 2016).

Şekil 2, kullanılan deney düzeneğinin şematik bir gösterimidir. Deneysel ölçümler esnasında suyun sıcaklığı 20°C'de sabit tutulurken, su tankı hava pompaları üzerine oturtularak motordan kaynaklanan titreşimlerin sönümlenmesi ve akışa etki etmemesi sağlanmıştır. Sıcak tel probu, anemometreye ve de analog-dijital dönüştürücü ile bilgisayara bağlanmış, bu sayede anemometrede ölçülen voltaj değişimleri bilgisayara kaydedilmiştir.



Şekil 2. Dönen disk deney düzeneğinin şematik gösterimi (Özkan, 2016).



Şekil 3. Yüzeyine dairesel tek oluk açılmış disk (Özkan, 2016).

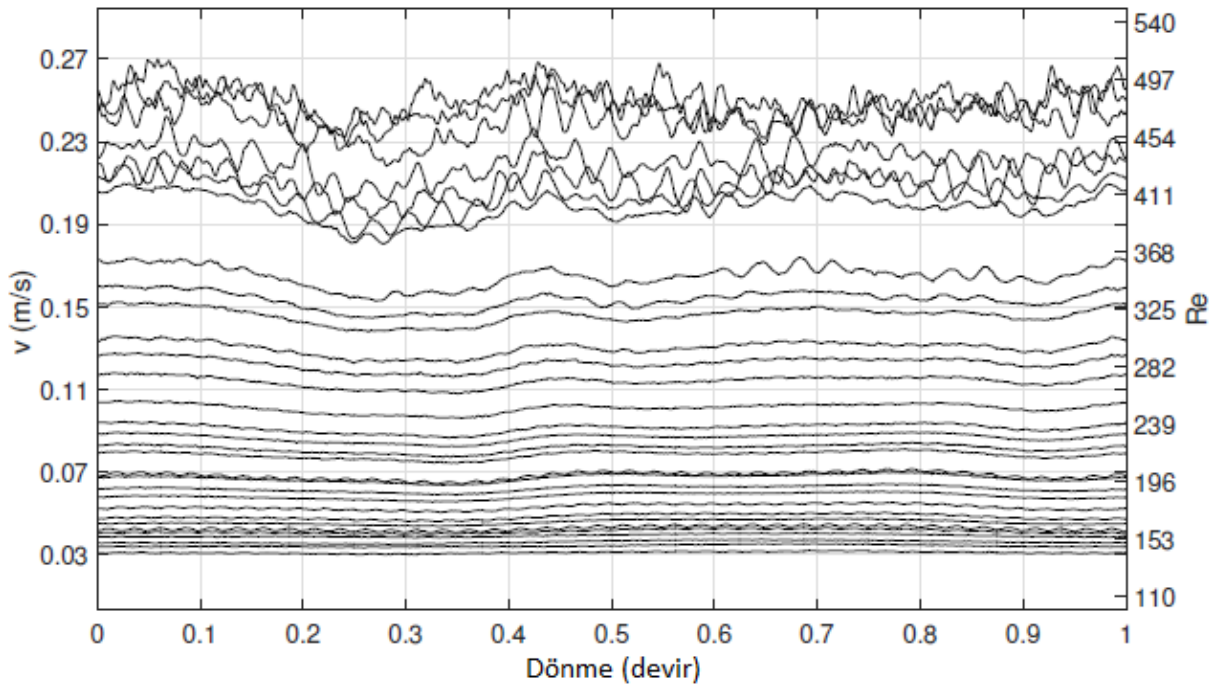
Bu çalışmada farklı yüzeylere sahip iki adet disk kullanılmıştır. Bir tanesi camdan yapılmış ve dolayısıyla pürüzsüz kabul edilebilecek yüzeye sahip olan disk. Diğer disk ise alüminyumdan üretilmiş ve yüzeyine, disk ile eş merkeze sahip bir oluk freze yardımı ile açılmıştır. Bu oluğun çapı 180 mm, derinliği ise 1 mm'dir.

Sıcak tel probu disk üzerinde istenilen yarıçapa ve yüksekliğe hareket ettirilerek istenilen Reynolds sayısı elde edilmiştir. Reynolds sayısı bu akış tipi için aşağıdaki denklemle verilmiştir.

$$Re = \sqrt{\frac{\Omega r^2}{\nu}}$$

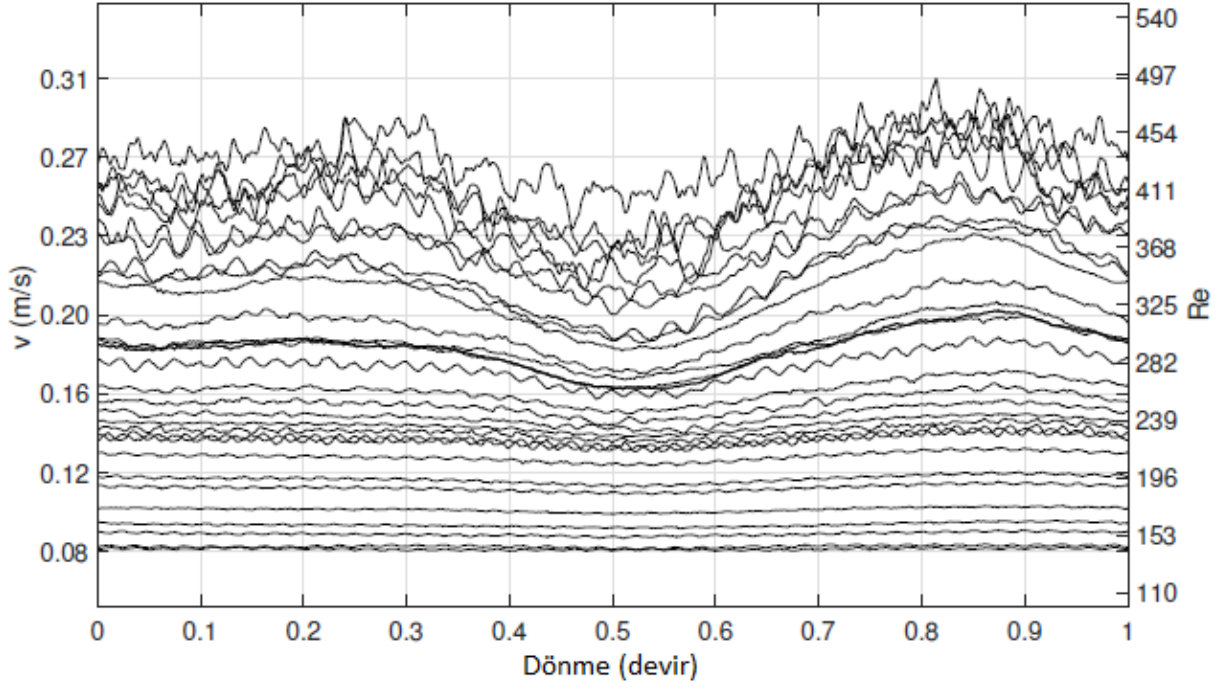
Burada Ω diskin açısal hızını, r probun disk üzerinde bulunduğu yarıçapı ve ν de suyun kinematik viskozitesini temsil etmektedir.

BULGULAR



Şekil 4. Pürüzsüz yüzeye sahip cam disk için elde edilen hız alanı

Şekil 4, pürüzsüz disk üzerinde sıcak tel probunun farklı yarıçaplara yerleştirilerek elde edilmiş olan hız alanını göstermektedir. Bu grafikteki yatay eksen diskin bir tam tur dönüşünü belirtmektedir. Sağ yandaki dikey eksen Reynolds sayısı, sol yandaki dikey eksen de probun bulunduğu konumdaki çizgisel hızın m/s cinsinden ifadesidir. Bu sonuçlar diskin 60 tur dönüşünün topluluk (ensemble) ortalaması alınarak elde edilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde yaklaşık olarak $Re = 280$ değerine kadar probdan alınan ölçümlerde çok fazla dalgalanmalar olmadığı görülmektedir. Bu Re sayısına kadar olan bölgeye laminer bölge denebilir. Daha sonra $Re = 280$ ve $Re = 410$ aralığında hız grafiklerinde, Re sayısı ile birlikte genlikleri artan dalgalanmalar izlenmeye başlamaktadır. Bu bölge de laminerden türbülansa geçişin tetiklenmeye başladığı geçiş bölgesi olarak tanımlanabilir. Yaklaşık olarak $Re = 480$ değerine kadar hız izleri takip edildiğinde 30-31 adet dalga sayılabilmektedir. Bu değer, disk yüzeyine göre sabit olan bu "hareketsiz vorteksler" için literatürde verilmiş olan değer aralığındadır (Gregory, 1955). Tamamen türbülanslı akış $Re = 480$ değerinin üzerine çıktığında görülebilmektedir.



Şekil 5. Tek oluklu yüzeye sahip alüminyum disk için elde edilen hız alanı

Şekil 5 ise yüzeyi oluklu olan disk için elde edilmiş hız alanını içermektedir. Bu veriler alınırken diskin dönme hızı öyle ayarlanmıştır ki oluğun disk üzerindeki pozisyonu $Re = 252$ değerine karşılık gelmektedir. Dolayısıyla akışın laminardan türbülansa geçişi $Re = 252$ 'de bu oluk kullanılarak tetiklenmiştir. Bu etki Şekil 5'te $Re = 252$ ile $Re = 368$ aralığında, geçiş bölgesi olarak görülmektedir. Re sayısı yaklaşık olarak 368 değerinin üzerine çıktığında akışını tamamen türbülanslı olduğu gözlemlenmektedir. Ek olarak, kullanılan oluğun $Re \cong 300$ üzerine çıktığında, hız izlerinde çok büyük salınımlara sebep olduğu belirlenmiştir.

SONUÇ

Sonuç olarak bu çalışmada kullanılan su-tabanlı dönen disk deney düzeneği ve de sıcak tel anemometresi akış görüntüleme yöntemi ile üç boyutlu sınır tabaka akışları içerisindeki hız alanları elde edilmiştir. Tek oluklu yüzey yapısına sahip disk üzerinde oluşan sınır tabaka incelendiğinde oluğun laminardan türbülansa geçişi tetiklediği net şekilde görülmüştür. Bunun yanı sıra pürüzsüz disk üzerinde elde edilen hız alanları incelendiğinde yaklaşık olarak 30-31 adet hareketsiz vorteksler olduğu gözlemlenmiştir ki bu değer daha önce literatürde verilen değer aralığındadır. Bu deneysel çalışma sayesinde üç boyutlu sınır tabaka akışları içerisindeki laminar, geçiş ve türbülanslı bölgeler etkili bir şekilde görselleştirilmiş ve laminardan türbülansa geçiş mekanizmasının kontrol edilebilirliği deneyimlenmiştir.

KAYNAKÇA

- Colley, A.J., Thomas, P.J., Carpenter, P.W., Cooper, A.J., (1999). An Experimental Study of Boundary-Layer Transition over a Rotating, Compliant Disk. *Physics of Fluids*, 11 (11): 3340-3352.
- Gregory, N., Stuart, J.T., Walker, W.S., (1955). On the Stability of Three-Dimensional Boundary Layers with Application to the Flow due to a Rotating Disk. *Philosophical Transactions of the Royal Society A London*, 248 (943): 155-199.
- Imayama, S., Alfredsson, P.H., Lingwood, R.J., (2012). A New Way to Describe the Transition Characteristics of a Rotating-Disk Boundary-Layer Flow. *Physics of Fluids*, 24 (031701).
- Lingwood, R.J., Alfredsson, P.H., (2015). Instabilities of the von Kármán Boundary Layer. *Applied Mechanics Reviews*, 67 (030803).
- Özkan, M., (2016). Boundary Layer Transition over Rotating Disks. PhD Thesis, University of Warwick, Coventry, UK.
- Rayleigh, J.W.S., (1916). On the Dynamics of Revolving Fluids. *Proceedings of the Royal Society A London*, 93 (648): 148-154.
- Von Kármán, T., (1921). Über Laminare und Turbulente Reibung. *ZAMM – Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, 1 (4): 233-252.