

1.5 KADEMELİ AACHEN TÜRBİNİNİNDEKİ AKIŞIN FARKLI AKIŞ ÇÖZÜCÜLER İLE İNCELENMESİ

Alperen ALKAN¹
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,
Eskişehir

Kürşad Melih GÜLEREN²
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,
Eskişehir

Mehmet KILINÇ³
Howden Company,
Ankara

ÖZET

Günümüzde gaz türbinli motorların oldukça önemli parçalarından olan türbinler, uçaklarda genellikle itki üretmek amacıyla kullanılır. Bu itkiyi üretmek için türbinlerin genel mekanik yapısından faydalanılır. Gaz türbinli motorlarda türbinlerin yapısı incelendiğinde stator adı verilen sabit kanatçıklardan ve rotor adı verilen hareketli kanatçıklardan oluştuğu görülür. Türbin kanatçıklarının üzerine gelen akış, sabit ve hareketli kanatçıklar arasında yönlendirilerek bir dönme hareketine sebebiyet verirler. Ortaya çıkan bu dönme hareketi sonucunda akışın enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülerek bahsedilen itki elde edilir. Bu çalışmada 1.5 kademe olan Aachen Türbini referans çalışma olarak seçilmiş, aynı sınır koşulları ve akış şartları altında Ansys/Fluent 2023R2 ve Ansys/CFX 2023R2 çözücülerini ile akış sayısal olarak çözülmüştür. Akışın çözümü yapılmadan önce 2 boyutlu ve 3 boyutlu geometriler oluşturulmuş, bu geometrilerdeki akış için ağ ataması yapılmış, $k-\omega$ SST türbülans modeli kullanılarak çözümlenmeler gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, elde edilen verilerin referans alınan deneysel verilerle karşılaştırması yapıldığında statik basınç değerinde Ansys/CFX 2023R2 çözücüsünün, Mach sayısı değerlerinde ise Ansys/Fluent 2023R2 çözücüsünün deneysel verilere daha yakın olduğu görülmüştür.

GİRİŞ

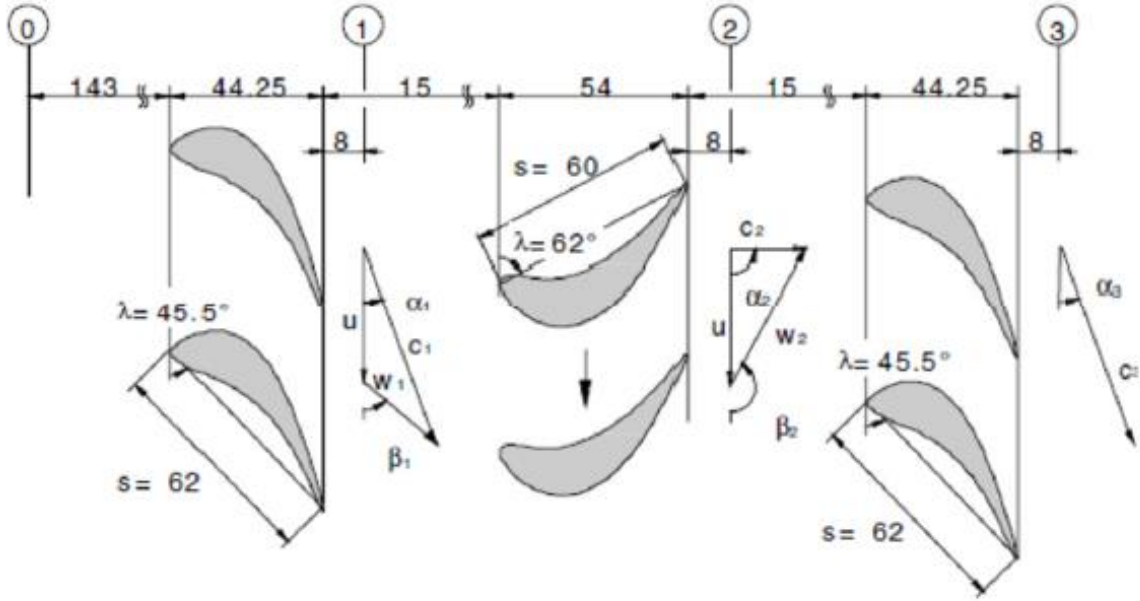
Gaz türbinli motorların gün geçtikçe öneminin artması nedeniyle birçok incelemeye ve deneysel çalışmalara konu olmuştur. Yapılan literatür araştırmasında bu incelemeler ve deneylerin türbinin verimi, yapısı ve tasarımı gibi konularda olduğu görülmüştür. Literatürde türbin kademeleri için en çok referans alınan deneysel çalışmalardan biri ERCOFTAC SIG tarafından yürütülmüş olan 1.5 kademeli türbindir [Gallus ve Walraevens RE,1995]. Bu düzenekteki akış genellikle Navier-Stokes denklemlerinin sayısal yöntemleri ile elde edilen formu ile çözülür [Benetschik, Brouillet, Gallus ve Volmar,2000]. Bu problemdeki türbülanslı yapı için $k-\omega$ türbülans modeli kullanılmıştır [Durbin, Laccarino, Kalitzin ve Medic,2005], [Pascoa,Göttlich ve Xisto,2010]. 1. statorun çıkış kısmı ve rotor giriş kısmı ile rotorun çıkış ve 2. statorun giriş kısmında Fluent yazılımında "interface" (kesişen yüzeyler) tanımlaması [Li, He, Wells, Ning ve Moffat,2005] yapılmış, CFX yazılımında ise "interface" bölgeleri otomatik belirlenmiştir.

1.5 kademedeki oluşan Aachen Türbini'nin 2 boyutlu ve 3 boyutlu profillerinde deneysel bir akış oluşturulmuş ve akış için programa verilen havanın izlediği yol ve çıkardığı sonuçlar izlenmiştir. Aachen Türbini duran stator kanatçıkları ve hareket eden rotor kanatçıklarından oluşmaktadır. Statorlar 36 adet kanatçık, rotorlar 41 adet kanatçıktan oluşmaktadır [Gallus ve Walraevens RE,1996]. Stator'da kullanılan profil "Traupel profili" [Utz,1972], rotor için kullanılan profili ise "Von Karman Enstitüsü" profili VKI kullanılmıştır [Gallus ve Walraevens RE,1996]. Stator ve rotorların konumlandırılmaları Şekil 1'de gösterilmiştir.

¹Lisans Öğrencisi, Uçak Mühendisliği Böl., E-posta: alperennalkann1@gmail.com

²Prof.Dr., Uçak Mühendisliği, E-posta: kursadmeli.guleren@ogu.edu.tr

³Mühendis, Howden Chart Industries Company, E-posta: kilinc.mehmet@outlook.com



Şekil 1. 1.5 kademeli Aachen Türbini ve ölçüleri [Gallus ve Walraevens,1997]

YÖNTEM

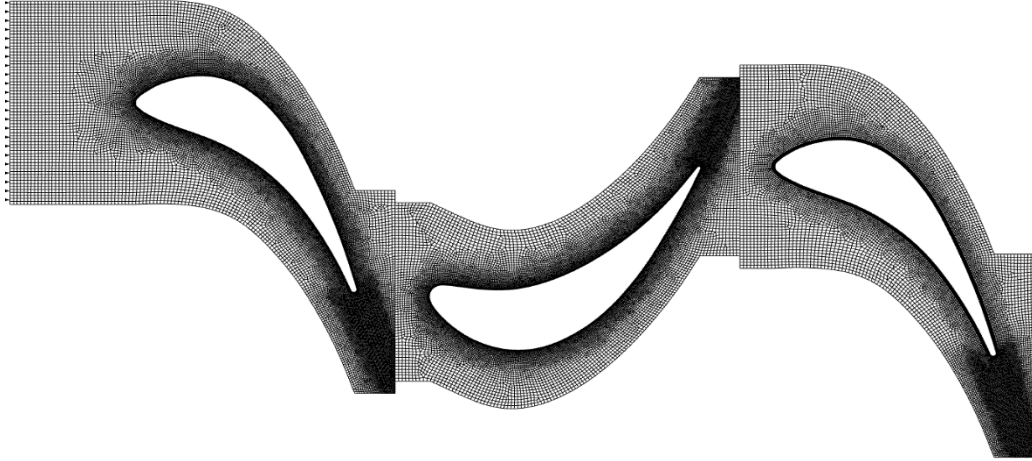
Sayısal Modelleme

Referans kaynaktan alınan rotor ve statorun sayısal ölçüleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. 1.5 kademeli Aachen Türbini için rotor ve stator ölçüleri [Gallus, Nieheus, Stephan,2000]

	Rotor	Statorlar
Kanat Kök Çapı	490	490
Kanat Uç Çapı	600	600
Ortalama Çap	545	545
Kanat Yüksekliği	55	55
Kanat Sayısı	36	41
İki Kanat Arası Uzaklık	47.6	41.8

Şekil 1’deki referanslardan oluşan Aachen Türbini’nin 2 boyutlu geometrisine atanan yaklaşık 2.3 milyon hücreye sahip ağ yapısı Şekil 2’de gösterilmiştir. CFX yazılımında yapılacak analizler için 2 boyutlu geometriyle analiz yapılamamasından kaynaklı olarak oluşturulan geometrinin ağ yapısı Şekil 2’de gösterildiği gibi 3 boyutlu geometride de yapılmıştır.



Şekil 2. ANSYS/Fluent için oluşturulan 2D Stator-Rotor-Stator sıralamasında ağ yapısı

Sınır Koşullarının Belirlenmesi

2 boyutlu ve 3 boyutlu geometride akışın gireceği ve çıkacağı kısımlar, periyodik bölge tanımlamaları yapılmış her iki yazılımda da sınır koşulu olarak giriş basıncı ve akış hızı seçeneği kullanılmıştır.

Aşağıda verilen Tablo 2’de referanstan alınan verilerle hazırlanmıştır. Bu tabloda akışın girişi ve çıkışı sınır koşulları için referans değerleri gösterilmiştir. Bu verilerden elde edilen bilgiyle giriş sıcaklığı 306 K, akışın giriş hızı 45.5 m/s, giriş basıncı 1.653 atm ve çıkış basıncı 1.091 atm olarak kabul edilmiştir.

Tablo 2. Giriş ve çıkış sınır koşulları [Nieheus, Schmidt, Stephan, Reinmöller,2001]

	Giriş	Çıkış
Basınç [atm]	1.653	1.091
Hız [m/s]	45.5	*
Sıcaklık [K]	306	292

UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

Basınç Değerleri Karşılaştırması

2 boyutlu ve 3 boyutlu geometriler üzerinde Fluent ve CFX akış çözücülerinde aynı sınır koşullarında çözümler yapılmıştır. Türbinin çalışma prensibi gereği 1.statora gönderilen akış bu kısımda kinetik enerjisini artırarak rotora ulaşmış ve rotorda kinetik enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürülmüş ve rotorun hareketi sağlanmış ve akış 2.statora doğru yönelmiştir.

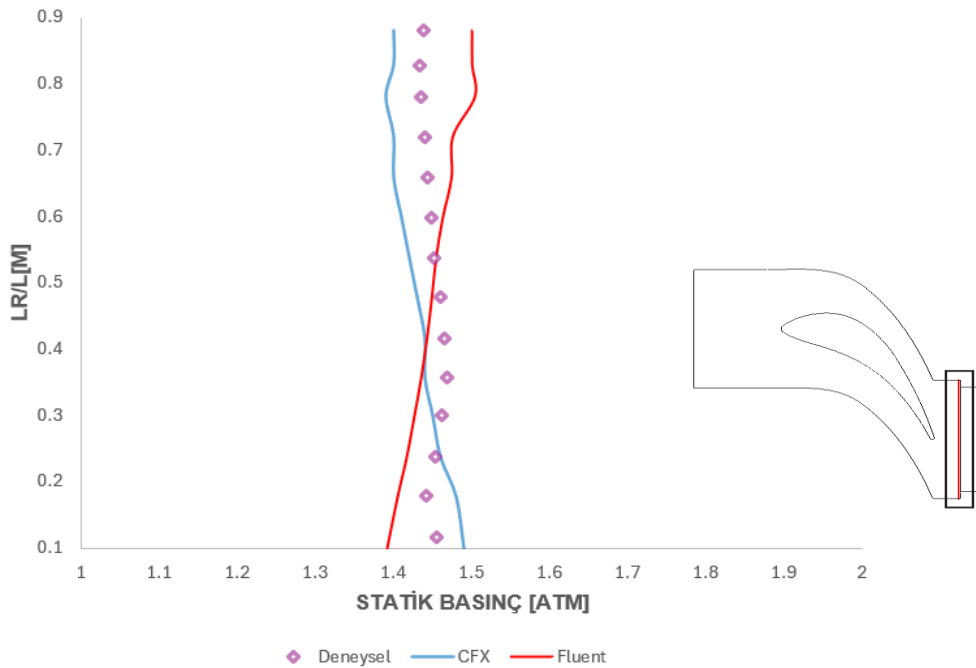
Akış çözücülerinden alınan değerler ve literatürden elde edilen deneysel veriler aralarındaki farklar ve benzerlikleri tespit edilmesi için karşılaştırmalar yapılmıştır.

Şekil 4'te geometrilerin sırasıyla Fluent-2023R2 ve CFX-2023R2 versiyonlarında yapılan akış modellemesi çözümlene işleminden sonra öncelikli olarak 1.Stator çıkışında statorun firar kenarı kısmından 7.5 mm uzaklıktaki noktalarda statik basınç değerlerinin sayısal karşılaştırılması gösterilmiştir. Sayısal değerleri incelendiğinde iki yazılımdan elde edilen değerlerin genel olarak deneysel verilerle eşit olduğu görülmüştür. Değerlerin ortalamaları alındığında ise deneysel verilerin ortalaması 1.44 atm, Fluent'ten elde edilen sayısal değerlerin ortalaması 1.44 atm, CFX değerleri ortalaması ise 1.44 atm olarak hesaplanmıştır.

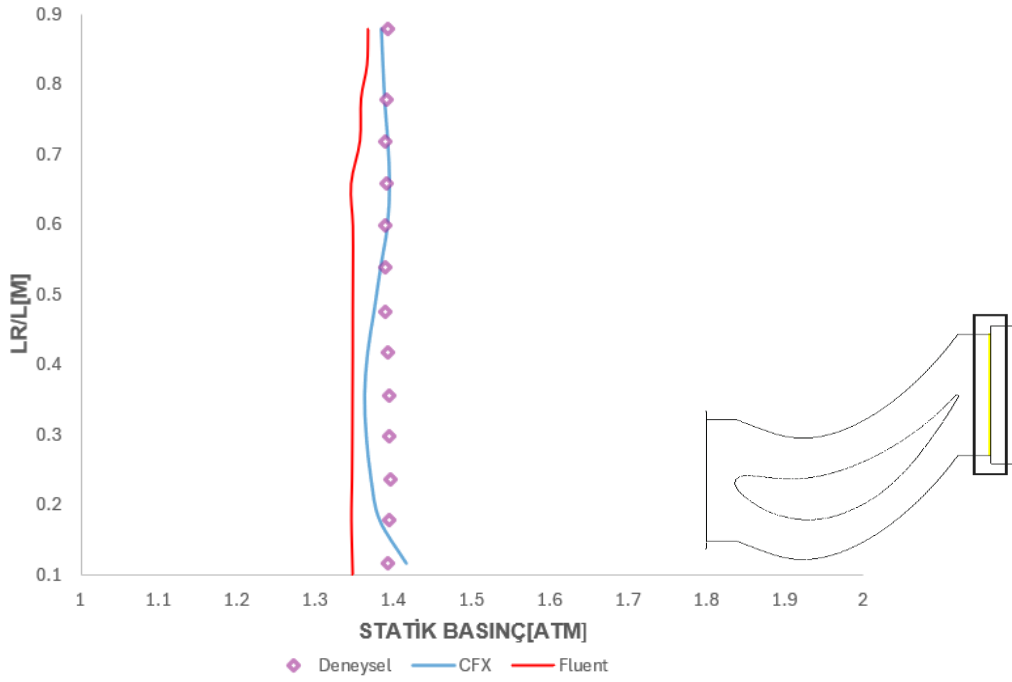
Şekil 5.te rotor çıkışındaki "Statik Basınç" değerlerinin karşılaştırması grafiksel olarak gösterilmiştir. Gösterilen grafik incelendiğinde deneysel verilere CFX verilerinin Fluent verilerinden daha yakın olduğu görülmüştür. Sayısal değerlerin ortalaması ise deneysel veriler için 1.39 atm, Fluent için 1.35 atm son olarak CFX verilerinin ortalaması ise 1.38 atm olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6'da akışın türbini terk etmeden önce son olarak uğradığı 2. stator çıkışındaki statik basınç değerleri gösterilmiştir. İki yazılımdan elde edilen sonuçlara göre her iki yazılımda deneysel verilerin ortalamasına eşit sonuçlar vermiştir. 2.stator çıkışından elde edilen sayısal değerlerin ortalamaları hesaplandığında deneysel verilerin ortalaması 1.08 atm, Fluent verilerinin sayısal ortalaması 1.08 atm ve CFX yazılımından elde edilen sayısal değerlerin ortalaması ise 1.08 atm olarak hesaplanmıştır.

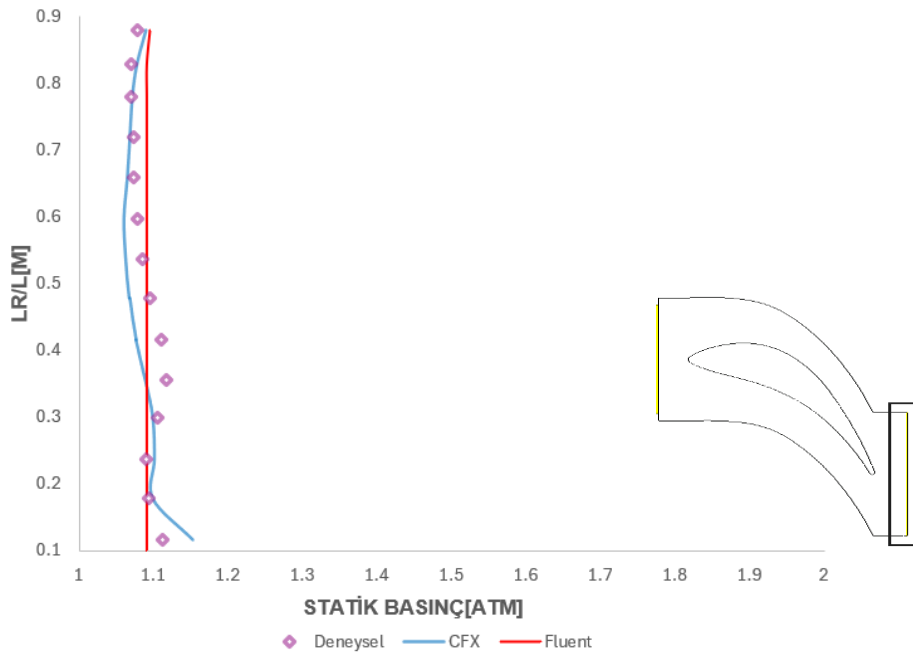
Genel olarak bir değerlendirme yapıldığında, çözücülerden elde edilen statik basınç değerlerinin CFX yazılımında rotor çıkış kısmındaki deneysel verilere daha yakın olduğu görülmüş ancak stator çıkışlarında ise Fluent çözücüsü ve CFX çözücüsünden alınan verilerin ortalaması birbirine eşit çıkmıştır.



Şekil 4. Fluent ve CFX için 1. stator çıkışındaki statik basınç karşılaştırması



Şekil 5. Fluent ve CFX için rotor çıkışındaki statik basınç karşılaştırması



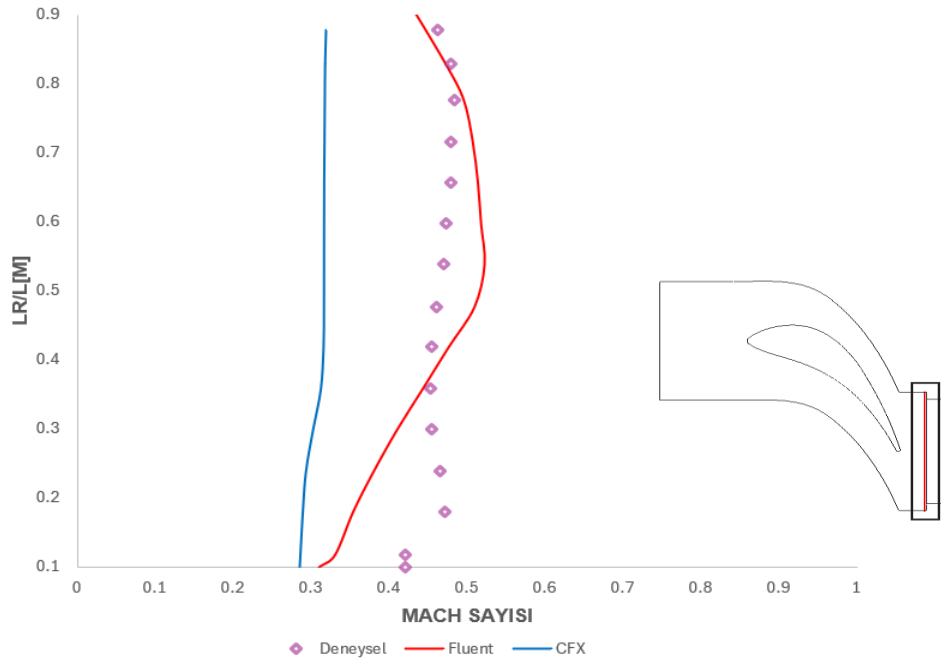
Şekil 6. Fluent ve CFX için 2. stator çıkışındaki statik basınç karşılaştırması

Hız Değerleri Karşılaştırması

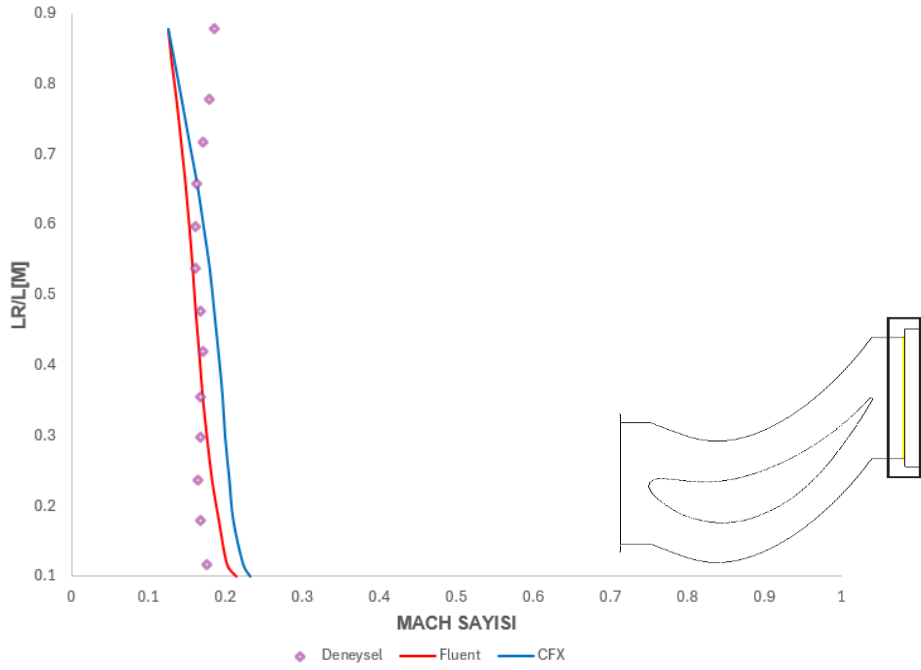
Statik basınç değerlerindeki gibi "*Mach Sayısı*" değerlerinin her bölge için ayrı ayrı incelenmesi yapılmıştır. Bu inceleme sonucunda sayısal grafikler oluşturulmuştur. Şekil 7'de 1.stator çıkışındaki değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Buna göre Fluent çözücüsünden alınan sonuçların CFX çözücüsünden alınan sonuçlara göre deneysel verilere daha yakın olduğu görülmüştür. Verilerin ortalaması alındığında deneysel verilen ortalaması 0.46 Mach, Fluent verilerinin ortalaması 0.45 Mach ve CFX verilerinin ortalaması ise 0.31 Mach olarak bulunmuştur.

Şekil 8'de rotor çıkışındaki veriler karşılaştırılmıştır. Buna göre yine 1.stator çıkışında olduğu gibi deneysel verilere, Fluent çözücüsünden alınan sayısal verilerin CFX çözücüsünden alınan verilerden göre daha yakın olduğu görülmüştür. Ortalama Mach sayılarına gelince deneysel veriler için 0.16 Mach, Fluent verilerinin ortalaması 0.15 Mach, son olarak CFX yazılımından elde edilen sayısal verilerin ortalaması 0.18 Mach olarak hesaplanmıştır. Bunlara ek olarak Fluent yazılımında mach sayısının 0 olduğu yerler görülmüştür fakat buna CFX yazılımında rastlanmamıştır.

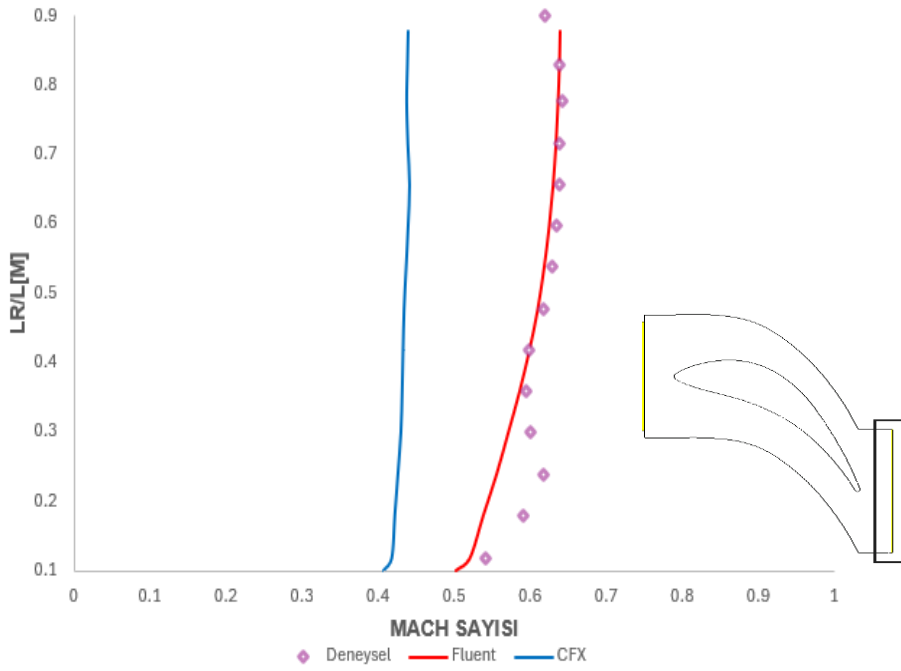
Son olarak 2. Stator çıkışındaki verilerin karşılaştırılması Şekil 9'da sunulmuştur. Diğer bölgelerde olduğu gibi burada da Fluent çözücüsü Mach sayılarının CFX çözücüsü Mach sayılarına kıyasla deneysel Mach sayılarına daha yakın olduğu görülmüştür. Bu sayısal değerlerin ortalaması alındığında deneysel verilerin ortalaması 0.61 Mach, Fluent sonuçları üzerinden alınan değerlerin ortalaması 0.59 Mach çıkarken CFX çözücüsü verilerinin ortalaması 0.38 Mach olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7. Fluent ve CFX için 1.stator çıkışındaki Mach sayısı karşılaştırması



Şekil 8. Fluent ve CFX için rotor çıkışındaki Mach sayısı karşılaştırması



Şekil 9. Fluent ve CFX için 2. stator çıkışındaki Mach sayısı karşılaştırması

Deneyel Verilerden Bağımsız Karşılaştırmalar

Deneyel verilere göre yapılan kıyaslamalarından ardından yapılan deneyel verilerden bağımsız karşılaştırmalardan ilki türbinin devir sayısı azaltılarak tekrardan türbinin her bölgesinin firar kenarından 7.5 mm uzaklığındaki statik basınç ve Mach sayısı değerlerinin karşılaştırılması olmuştur. Bu karşılaştırmada devir sayısı 3855' ten yaklaşık olarak 1928 sayısına indirilmiştir. Devamında yapılan bir diğer çalışma ise türbinin üç bölgesinin giriş kısımlarındaki noktalardan

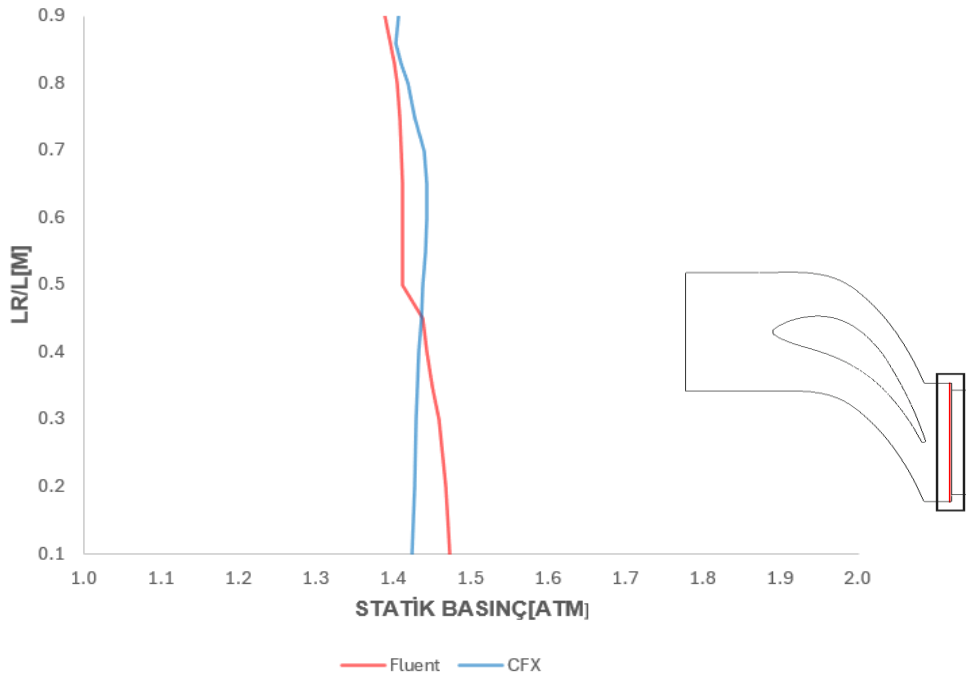
tekrardan statik basınç değerleri ve Mach sayısı değerlerinin karşılaştırması olmuştur. Giriş noktalarındaki kıyaslamalar için yine Tablo.2 ile gösterilen değerler kullanılmıştır.

Düşük Devir Sayısında Basınç Değerleri Karşılaştırması

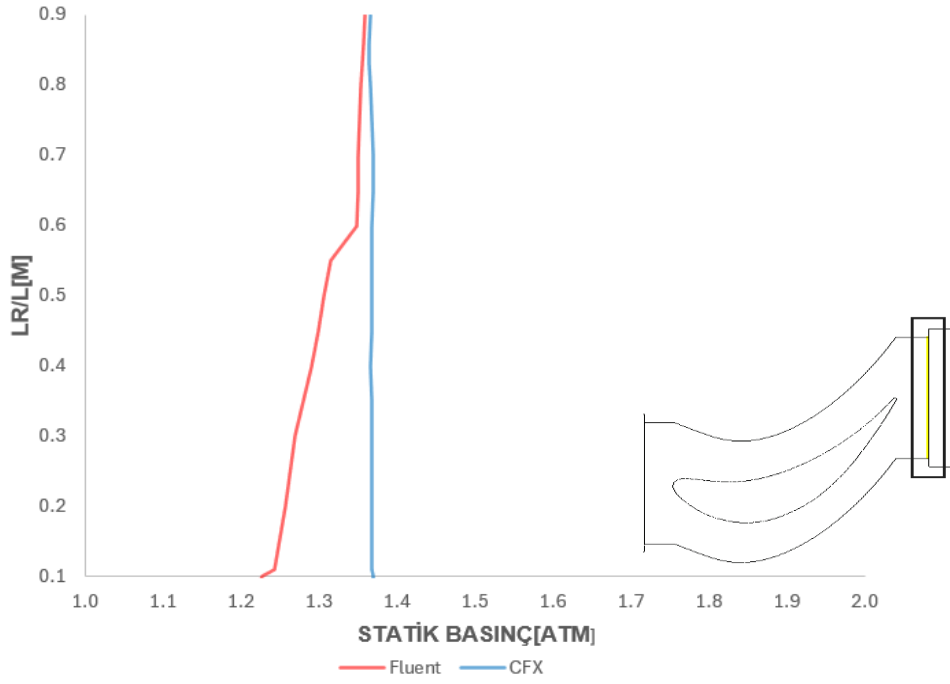
Şekil 10'da geometrilerin sırasıyla Fluent-2023R2 ve CFX-2023R2 versiyonlarında yapılan akış modellemesi çözümlene işleminden sonra öncelikli olarak düşük devir sayısında 1.Stator çıkışında yine statorun firar kenarı kısmından 7.5 mm uzaklıktaki noktalarda Statik Basınç değerlerinin sayısal karşılaştırılması gösterilmiştir. Fluent-2023R2 çözücüsünden elde edilen değerlerin ortalaması 1.43 atm, CFX-2023R2 çözücüsünden elde edilen değerlerin ortalaması 1.43 atm olarak hesaplanmış ve aynı bölge için her iki çözücüde statik basınç değerlerinin ortalamasının eşit olduğu görülmüştür.

Şekil 11'de düşük devir sayısında rotor çıkışındaki statik basınç değerlerinin sayısal karşılaştırması grafiksel olarak gösterilmiştir. Fluent-2023R2 çözücüsü için bu değerlerin ortalaması 1.30 atm, CFX-2023R2 çözücüsü için 1.37 atm olarak hesaplanmıştır.

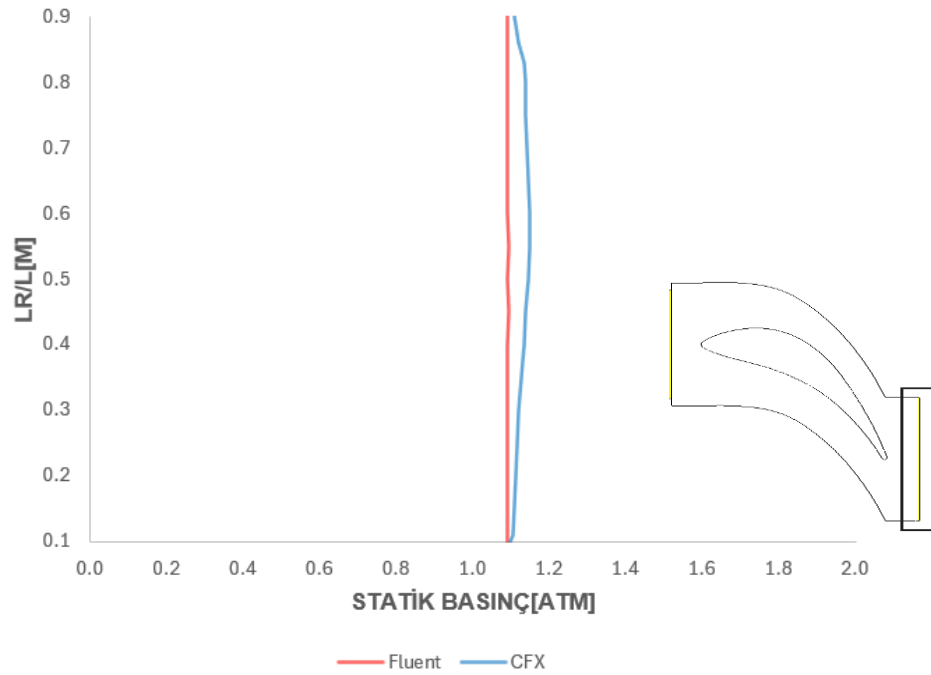
Şekil 12'de düşük devir sayısında 2. stator çıkışındaki statik basınç değerleri gösterilmiştir. Bu kısımdaki basınç değerleri ortalamalarının ise Fluent-2023R2 ve CFX-2023R2 için sırasıyla 1.09 atm ve 1.13 atm olduğu görülmüştür.



Şekil 10. Fluent ve CFX için 1928 devir sayısında 1.stator çıkışındaki statik basınç karşılaştırması



Şekil 11. Fluent ve CFX için 1928 devir sayısında rotor çıkışındaki statik basınç karşılaştırması



Şekil 12. Fluent ve CFX için 1928 devir sayısında 2.stator çıkışındaki statik basınç karşılaştırması

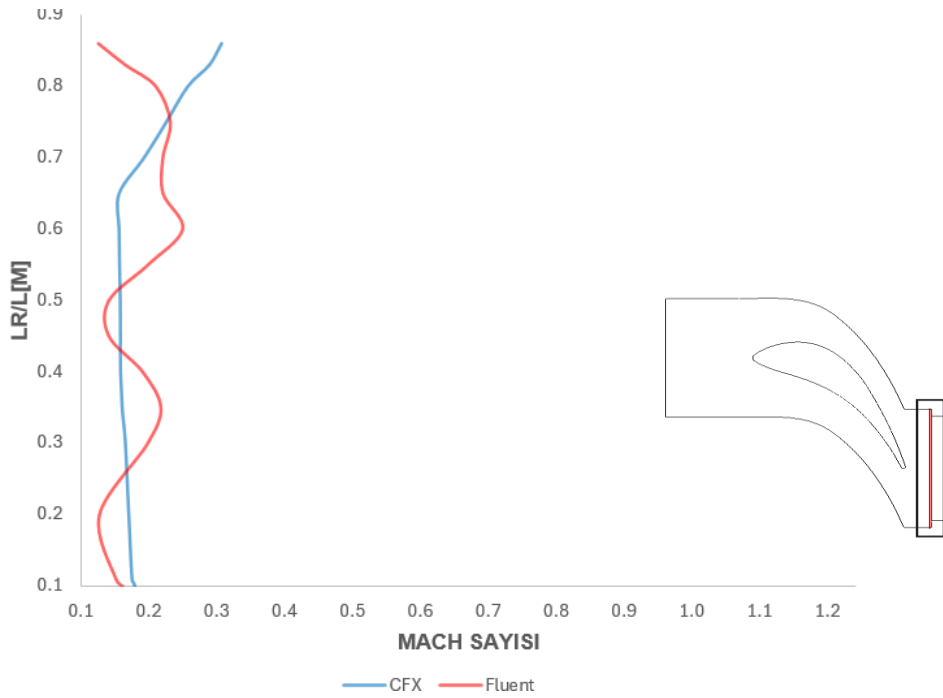
Düşük Devir Sayısında Hız Değerlerinin Karşılaştırması

Yapılan düşük devir sayısı çözümünden elde edilen statik basınç değerlerinin yanında 3855 devir sayısında yapıldığı gibi bu devir sayısında da Mach sayısı değerleri karşılaştırması yapılmıştır.

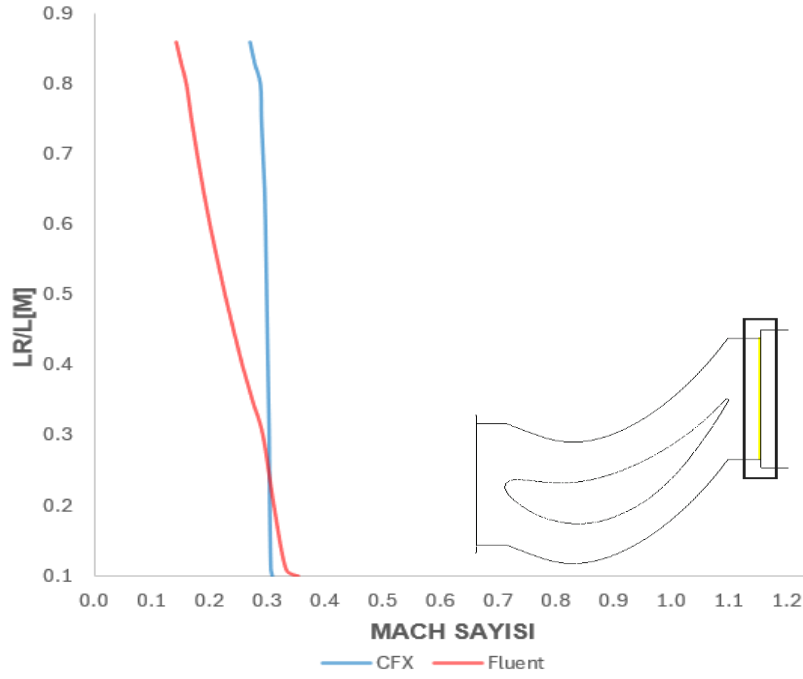
Şekil 13'te akışın 1.statoru terk ettiği çıkış bölgesindeki noktalardan alınan Fluent-2023R2 ve CFX-2023R2 çözümlerinin sonuçlarının kıyaslaması verilmiştir. Değerlerin her iki çözücü için ortalamaları ise şu şekilde Fluent çözücüsü için 0.17, CFX çözücüsü için 0.19 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 14'te rotordaki hız değerlerinin karşılaştırması gösterilmiştir. Her iki çözücü için değerlerin ortalaması Fluent çözücüsü için 0.22 CFX çözücüsü için 0.30 olarak hesaplanmıştır.

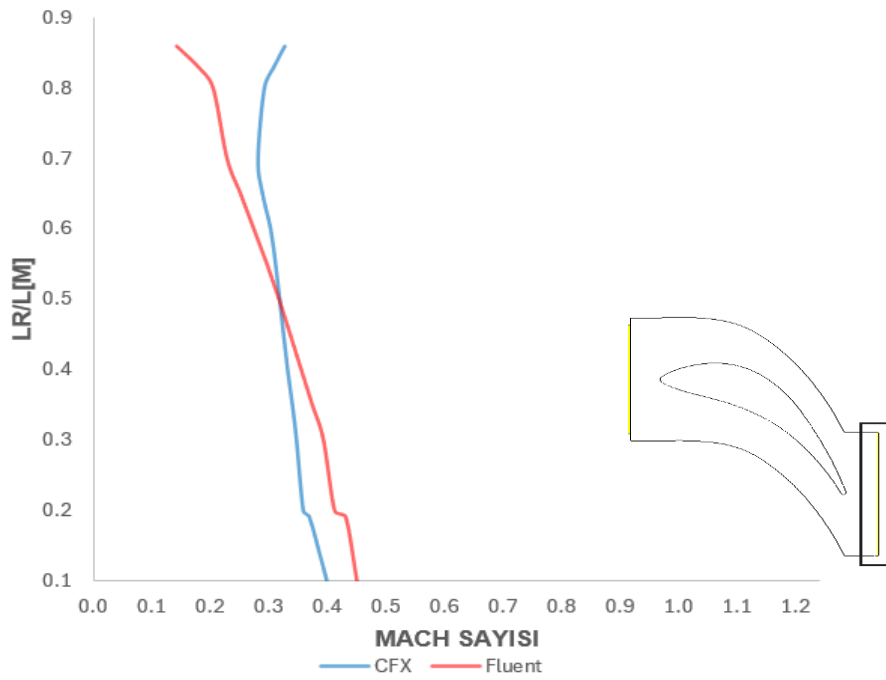
Şekil 15'te ise akışın türbini terk ediş bölgesindeki noktalardan alınan değerlerin Fluent-2023R2 ve CFX-2023R2 için yapılan kıyaslaması gösterilmiştir. Buradaki değerlerin ortalaması sırasıyla 0.31 ve 0.33 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 13. Fluent ve CFX için 1928 devir sayısında 1. stator ve rotor arasındaki Mach sayısı karşılaştırması



Şekil 14. Fluent ve CFX için 1928 devir sayısında rotor çıkışındaki Mach sayısı karşılaştırması



Şekil 15. Fluent ve CFX için 1928 devir sayısında 2. stator çıkışındaki Mach sayısı karşılaştırması

SONUÇLAR

Yapılan bu akış analizi karşılaştırmasında literatürden gelen referans bilgilerin kullanıldığı akış ortamı ve modellemesi oluşturulmak için FLUENT2023R2 ve CFX2023R2 programları kullanılmış ve burada oluşan veri farkları incelenmiştir. 1.5 kademe türbinin her kademe çıkışlarında ayrı olarak veriler değerlendirilmiştir. Deneysel verilerden elde edilen sınır koşulları her iki çözücüye de girilerek ayrı ayrı 2 boyutlu ve 3 boyutlu sayısal analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerde sonucunda statik basınç ve Mach sayısı üzerinde durulmuştur. Elde edilen verilerin referans alınan deneysel verilerle karşılaştırması yapıldığında statik basınç değerinde Ansys/CFX 2023R2 çözücüsünün, Mach sayısı değerlerinde ise Ansys/Fluent 2023R2 çözücüsünün deneysel verilere daha yakın olduğu görülmüştür. Bundan sonraki çalışmalar için bu türbine benzeyen başka türbinlerle ya da 1.5 kademe Aachen Türbinini Ansys BladeGen yazılımında tekrar oluşturularak daha optimize bir analiz yapılması ve deneysel verilere daha yakın değerlere ulaşılması hedeflenmektedir.

Kaynaklar

- Benetschik H., Brouillet B., Gallus H.E., and Volmar T.W., 2000, "Time-accurate three dimensional Navier-Stokes analysis of one-and-one-half stage axial-flow turbine", J Propul Power. 16.2, 327–35.
- Durbin, P., Iaccarino, G., Kalitzin, G. and Medic, G., 2005, "Near-wall behavior of RANS turbulence models and implications for wall functions", Journal of Computational Physics, 204.1, 265-291.
- Emil Göttlich, Carlos Xisto and Páscoa, José C., 2010, "Performance assessment limits in transonic 3D turbine stage blade rows using a mixing-plane approach." Journal of mechanical science and technology 24.10, 2035-2042
- Gallus, H.E. and Walraevens, R.E., 1995, "Testcase 6: 1-1/2 Stage Axial Flow Turbine," ERCOF- TAC SIG on Three-Dimensional Turbomachinery Flow Prediction, Les Arcs, France.
- Gallus, H. E., Niehuis, R. and Stephan, B., 2000, *Experimental Investigations of Tip Clearance Flow and its Influence on Secondary Flows in a 1½-Stage Axial Turbine.*, ASME Turboexpo 2000-GT-613, Munich, Germany.
- Gallus, H.E. and Walraevens, R.E., 1996, *European research community on flow turbulence and combustion*, ERCOFTAC SIG on 3D Turbomachinery flow prediction TESTCASE 6, 1 ½ Axial Flow Turbine.
- Gallus, H.E. and Walraevens, R.E., 1995, *Experimental Investigation of Three-Dimensional Unsteady Flow Downstream the Rotor in a 1-½ Stage Turbine*, 95-Yokohama-IGTC-10.
- He, L., Li, Y., Moffatt, S., Ning, W. and Wells, R. G., 2005. "Blade forced response prediction for industrial gas turbines", Journal of propulsion and power, 21.4, 707-714.
- Niehuis, R., Schmidt, S., Stephan, B. and Reinmüller, U., 2001, "Clocking effects in a 1.5 stage axial turbine - steady and unsteady experimental investigations supported by numerical simulations." Asme Turboexpo 2001-GT-0304, New Orleans, Louisiana, USA.
- Utz, C., 1972, "Experimentelle Untersuchung der Strömungsverluste in einer mehrstufigen Axialturbine", Thesis No. 4894, ETH Zürich, Switzerland.
- Walraevens R.E; Gallus, H. E. European Research Community on Flow Turbulence and Combustion; ERCOFTAC SIG on 3D turbomachinery flow predictions; Test Case 6: 1-1/2 stage axial flow turbine. In: *Seminar and Workshop on 3D Turbomachinery flow prediction*. 1997.
- Utz, C., 1972, "Experimentelle Untersuchung der Strömungsverluste in einer mehrstufigen Axialturbine", Thesis No. 4894, ETH Zürich, Switzerland.