

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR ENDÜSTRİYEL FAN TASARIMI VE HESAPLANABİLİR  
AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ ANALİZİ**

**Ömer Korcan ATEŞ**

**Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Ramazan SELVER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA - 2019**



© 2019 [Ömer Korcan ATEŞ]

## TEZ ONAYI

**Ömer Korcan ATEŞ** tarafından hazırlanan " **Bir Endüstriyel Fan Tasarımı ve Hesaplanabilir Akışkanlar Dinamiği Analizi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**' nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

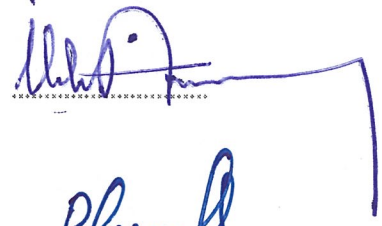
**Danışman**

**Dr. Öğr. Üyesi Ramazan SELVER**  
Süleyman Demirel Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. İbrahim ATMACA**  
Akdeniz Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Dr. Öğr. Üyesi Barış GÜREL**  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



**Enstitü Müdürü**

**Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR**

\*\*\*\*\*

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Ömer Korcan ATEŞ**



## İÇİNDEKİLER

|                                                                  | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------|-------|
| İÇİNDEKİLER.....                                                 | i     |
| ÖZET.....                                                        | iii   |
| ABSTRACT .....                                                   | iv    |
| TEŞEKKÜR.....                                                    | v     |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                            | vi    |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....                                           | viii  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....                              | ix    |
| 1. GİRİŞ.....                                                    | 1     |
| 1.1 GENEL.....                                                   | 1     |
| 1.2 FANLAR.....                                                  | 2     |
| 1.3 FAN ÇEŞİTLERİ.....                                           | 4     |
| 1.3.1 Aksiyal fanlar.....                                        | 5     |
| 1.3.2 Santrifüj fanlar.....                                      | 5     |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ.....                                          | 8     |
| 3. TEORİK HESAPLAR VE METODOLOJİ.....                            | 13    |
| 3.1 HIZ DİYAGRAMLARI .....                                       | 13    |
| 3.2 KAYIPLAR .....                                               | 17    |
| 3.3 TASARIM METODOLOJİSİ.....                                    | 20    |
| 3.3.1 Çark tasarımı .....                                        | 20    |
| 3.3.1.1 Kanat iç taksimat dairesi ve giriş çapı.....             | 20    |
| 3.3.1.2 Kanat giriş parametreleri .....                          | 25    |
| 3.3.1.3 Çark çıkış parametreleri .....                           | 27    |
| 3.3.2 Salyangoz tasarımı .....                                   | 33    |
| 3.3.3 Kayıplar.....                                              | 37    |
| 3.3.3.1 Sızıntı kayıpları .....                                  | 37    |
| 3.3.3.2 Emme basıncı kaybı.....                                  | 37    |
| 3.3.3.3 Çark basıncı kaybı.....                                  | 38    |
| 3.3.3.4 Salyangoz basınç kayıpları.....                          | 38    |
| 3.3.3.5 Disk sürtünme kaybı .....                                | 38    |
| 3.3.4 Verimlilikler .....                                        | 39    |
| 3.3.4.1 Hidrolik verimlilik ( $\eta_{hid}$ ) .....               | 39    |
| 3.3.4.2 Hacimsel verimlilik ( $\eta_{hac}$ ) .....               | 39    |
| 3.3.4.3 Toplam verimlilik ( $\eta_{toplam}$ ) .....              | 39    |
| 3.3.5 Fanı çevirmek için gerekli ideal shaft gücü.....           | 39    |
| 3.3.6 Shaft çapı.....                                            | 39    |
| 4. FANIN TASARIMI .....                                          | 41    |
| 4.1 HESAPLAR .....                                               | 41    |
| 4.1.1 Çark tasarımı .....                                        | 42    |
| 4.1.1.1 Çark giriş parametreleri.....                            | 42    |
| 4.1.1.2 Çark kanat girişi parametreleri.....                     | 43    |
| 4.1.1.3 Çark çıkış parametreleri .....                           | 43    |
| 4.1.2 Salyangoz hesabı.....                                      | 44    |
| 4.1.3 Kayıplar.....                                              | 46    |
| 4.1.4 2. iterasyon hesapları.....                                | 46    |
| 5. TASARLANAN FANIN TEST EDİLMİŞ FAN İLE KARŞILAŞTIRILMASI ..... | 51    |
| 5.1 ÇARK KARŞILAŞTIRMASI .....                                   | 51    |

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.2 SALLYANGOZ KARŞILAŞTIRMASI .....                                      | 54  |
| 6. TASARIMLARIN HESAPLANABİLİR AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD) İLE HESABI ..... | 59  |
| 6.1 TEMEL DENKLEMLER .....                                                | 60  |
| 6.2 TEST EDİLMİŞ FANIN (CBC FANİ) HAD HESABI .....                        | 63  |
| 6.2.1 Test edilmiş fanın (CBC Fanı) model geometrisi .....                | 63  |
| 6.2.2 Test edilmiş fanın (CBC Fanı) ağ yapısı.....                        | 66  |
| 6.2.3 Test edilmiş fanın (CBC fanı) sınır koşulları ve ayarları.....      | 71  |
| 6.2.4 Test edilmiş fanın (CBC fanı) analiz sonuçları ve yorumlar .....    | 72  |
| 6.3 TASARLANAN FANIN (CHURCH FANİ) HAD HESABI .....                       | 74  |
| 6.3.1 Tasarlanan fanın (Church Fanı) model geometrisi .....               | 74  |
| 6.3.2 Tasarlanan fanın (Church fanı) ağ yapısı .....                      | 77  |
| 6.3.3 Tasarlanan fanın (Church Fanı) sınır koşulları ve ayarları .....    | 80  |
| 6.3.4 Tasarlanan fanın (Church Fanı) çözüm sonuçları ve yorumları .....   | 80  |
| 7. TARTIŞMA VE SONUÇLAR .....                                             | 86  |
| 8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....                                                 | 108 |
| KAYNAKLAR .....                                                           | 109 |
| EKLER .....                                                               | 111 |
| EK A. Çizelgeler.....                                                     | 112 |
| EK B. Şekiller .....                                                      | 117 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                            | 118 |

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

## BİR ENDÜSTRİYEL FAN TASARIMI VE HESAPLANABİLİR AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD) ANALİZİ

Ömer Korcan ATEŞ

Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ramazan SELVER

Bu çalışmanın amacı, fan tasarımlarında HAD ile doğru analiz parametrelerinin belirlenmesidir. Bunun için birçok endüstri sahasında sıklıkla kullanılan geriye eğimli dış bükey kanatlı bir santrifüj fan tasarlamak için, farklı analitik yöntemlerden, deney sonuçlarına en yakını bulunarak bir metodoloji seçilmiş ve uygulanmıştır. Bu metodoloji ile, daha önce test edilen bir fanın aynı girdi verileri kullanılarak tasarlanan fan, hem geometrisi hem de performans sonuçları bu test edilmiş fan ile karşılaştırılmıştır.

Daha sonra, önceden test edilmiş fan üzerinde HAD (Hesaplamalı Akışkan Dinamiği,) analizi için, üreticinin vermiş olduğu teknik çizimlere göre Solidworks programı ile 3 boyutlu modellenen fan, Ansys yazılımının CFX modülü içerisine yüklenmiş ve ağ atma işlemi yapılmıştır. Farklı ağ yapılarında zamandan bağımsız çözdürülen analiz sonuçları tablolar halinde sunulmuş, en uygun ve en az kaynak tüketen minimum ağ sayısı tespit edilmiştir. Nümerik analiz sonucu çıkan sonuçlar, test edilmiş fanın deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve düşük bir hata yüzdesi ile tutturulmuştur. Bu da bize, aynı analiz ayarlarında bu sefer yeni tasarlanan fan geometrisine uygulanan HAD yönteminin kabul edilebilir sonuçlar vereceğini kanıtlamış olmaktadır. Sonrasında analitik hesaplardan çıkan çizim değerlerine göre modellenen yeni tasarlanan fan aynı ayarlar ile analiz edilmiş ve tasarım esnasındaki kabuller, bu HAD analizinin sonuçlarına göre revize edilerek deneysel katsayı değerleri olan bir K' faktörü bulunmuştur. Böylece tasarım yöntemi güncellenerek ideal hesaplama yöntemine ulaşılmıştır.

Son olarak bu ulaşılan katsayılara göre yenilenen fan, tekrar aynı nümerik hesaplama işlemlerinden geçirilerek yeni sonuçlar çıkarılmıştır. Nümerik analizle ulaşılan bu sonuçlar yeni tasarlanan fanımızın giriş kısmından başlayarak birçok bölgesindeki veriler alınarak analitik hesaplarla karşılaştırılmış ve kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Endüstriyel Santrifüj Fan, Hesaplanabilir Akışkanlar Dinamiği (HAD), Geriye Eğimli Kanat, Tasarım, Solidworks, Ansys CFX.

2019, 118 sayfa

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **DESIGN AND COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) ANALYSIS OF AN INDUSTRIAL CENTRIFUGAL FAN**

**Ömer Korcan ATEŞ**

**Süleyman Demirel University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering**

**Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ramazan SELVER**

The aim of this thesis is to define the parameters of CFD analysis in a centrifugal fan design. For this purpose a centrifugal fan with backward curved convex blades, which is frequently used in many industrial fields, is designed by a methodology. This methodology was selected and applied from different analytical methods, which was the closest to the experimental results. At the end, both the geometry and performance results of a previously tested fan and designed fan which is designed by using the same input data of this previously tested fan.

Then, for the CFD (Computational Fluid Dynamics) analysis on the pre-tested fan, the 3D modeled fan was loaded into the CFX module of Ansys software according to the technical drawings given by the manufacturer and meshing operation was performed. The results of time-independent analysis in different mesh structures are presented in tables and the optimum results and minimum resource consuming meshing is determined. The results obtained from the numerical analysis were compared with the experimental results of the tested fan and the results were caught with a low percentage. This proved us that the HAD method applied to the newly designed fan geometry at the same analysis settings will give acceptable results. Then, the newly designed fan modeled according to the drawing values obtained from the analytical calculations was analyzed with the same settings and the assumptions during the design were revised according to the results of this CFD analysis and an experimental coefficient value, named  $K'$ , was found.

Finally, the fan which was renewed according to these coefficients was subjected to the same numerical calculations again and new results were obtained. These results from numerical analysis were taken from the entrance part of our newly designed fan to many regions and compared with analytical calculations and found they were within acceptable limits.

**Keywords:** Industrial Centrifugal Fan, Computable Fluid Dynamics (CFD), Ansys CFX, Backward Curved, Backward Inclined Blade, Design, Solidworks.

**2019, 118 pages**

## TEŞEKKÜR

İlk olarak tüm tez süreci boyunca her türlü yardımı ile yol gösterici olan danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ramazan SELVER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca özverileri ve manevi desteği için tüm aileme ve özellikle eşim Havva Ateş'e , dayım ve aynı zamanda patronum Faik Burak Sümbüloğlu'na, son olarak fan endüstrisi alanındaki katkılarından dolayı Mehmet Cem Ergeldi'ye teşekkürlerimi sunarım.

Ömer Korcan ATEŞ  
ISPARTA, 2019



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. U.E.A.'na göre elektrik motorlarının sektörlere göre elektrik kullanım oranları ..... | 3  |
| Şekil 1.2. Aksiyal fan örneği .....                                                              | 5  |
| Şekil 1.3. Santrifüj fan örneği.....                                                             | 6  |
| Şekil 1.4. a) Geriye eğimli kanat, b) Radyal kanat c) İleri eğimli kanat.....                    | 6  |
| Şekil 1.5. Çift Emişli Sentrifuj Fan Montaj Çizimi.....                                          | 7  |
| Şekil 3.1. Farklı tasarım yöntemlerindeki kayıpların deney sonuçları ile karşılaştırılması ..... | 13 |
| Şekil 3.2. Bağlı ve mutlak hızları gösteren vinç şekli .....                                     | 14 |
| Şekil 3.3. Bağlı ve mutlak hızlar.....                                                           | 14 |
| Şekil 3.4. Tek emişli Geriye eğimli kanatlı çarkın giriş ve çıkış hız diyagramları               | 15 |
| Şekil 3.5. Çark bölümleri.....                                                                   | 16 |
| Şekil 3.6. Teorik giriş- çıkış hız diyagramları .....                                            | 17 |
| Şekil 3.7. Dönme Etkisi.....                                                                     | 18 |
| Şekil 3.8. Dönme Akışı, Düz Akış ve Birleşimi .....                                              | 18 |
| Şekil 3.9. Dönme Etkisi İle Değişen Hız Üçgenleri.....                                           | 19 |
| Şekil 3.10. Salyangoz Kesiti .....                                                               | 34 |
| Şekil 3.11. Salyangozdaki Hızlar ve Dil Açısı.....                                               | 35 |
| Şekil 4.2. Church yöntemi ile tasarlanan çark çizimi.....                                        | 50 |
| Şekil 5.1. Test edilmiş fanın (CBC fanı) çark çizimi.....                                        | 51 |
| Şekil 5.2. Tasarlanmış fanın (Church yöntemi) salyangoz çizimi .....                             | 55 |
| Şekil 5.3. Test edilmiş fanın (CBC fanı) salyangoz çizimi .....                                  | 56 |
| Şekil 5.4. Tasarlanan ve test edilmiş fanların salyangozlarının karşılaştırması .                | 57 |
| Şekil 6.1. Ansys Workbench proje şeması.....                                                     | 64 |
| Şekil 6.2. Test edilmiş fanın (CBC Fanı) giriş kanalı .....                                      | 64 |
| Şekil 6.3. Test edilmiş fanın (CBC fanı) çarkı.....                                              | 65 |
| Şekil 6.4. Test edilmiş fanın (CBC fanı) salyangoz gövdesi.....                                  | 65 |
| Şekil 6.5. Test edilmiş fanın (CBC fanı) model geometrisi montajı.....                           | 66 |
| Şekil 6.6. (a). İdeal geometriler (b). Çarpık geometriler .....                                  | 67 |
| Şekil 6.8. Test edilmiş fanın (CBC fanı) çark ağ yapısı .....                                    | 69 |
| Şekil 6.9. Test edilmiş fanın (CBC fanı) salyangoz ağ yapısı.....                                | 69 |
| Şekil 6.10. Test edilmiş fanın (CBC fanı) fan montajı ağ yapısı kesiti .....                     | 70 |
| Şekil 6.11. Kütleli debi ve momentum yakınsama grafiği.....                                      | 73 |
| Şekil 6.12. Türbülans yakınsama grafiği.....                                                     | 73 |
| Şekil 6.13. Kullanıcı tanımlı giriş-çıkış statik basınç farkı yakınsama grafiği .....            | 74 |
| Şekil 6.14. Tasarlanan fanın (Church fanı) giriş kanalı geometrisi.....                          | 75 |
| Şekil 6.15. Tasarlanan fanın (Church fanı) çark geometrisi.....                                  | 75 |
| Şekil 6.16. Tasarlanan fanın (Church fanı) salyangoz gövde geometrisi.....                       | 76 |
| Şekil 6.17. Tasarlanan fanın (Church fanı) model geometrisi montajı.....                         | 77 |
| Şekil 6.18. Tasarlanan fanın (Church fanı) giriş kanalı ağ yapısı.....                           | 77 |
| Şekil 6.19. Tasarlanan fanın (Church fanı) çark ağ yapısı.....                                   | 78 |
| Şekil 6.20. Tasarlanan fanın (Church fanı) salyangoz gövde ağ yapısı.....                        | 78 |
| Şekil 6.21. Tasarlanan fanın (Church fanı) montaj geometrisi ağ yapısı kesidi ..                 | 79 |
| Şekil 6.22. Kütleli debi ve momentum yakınsama grafiği.....                                      | 83 |
| Şekil 6.23. Türbülans yakınsama grafiği.....                                                     | 83 |
| Şekil 6.24. Kullanıcı tanımlı giriş-çıkış statik basınç farkı yakınsama grafiği .....            | 84 |

|                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 6.25. Statik basınç farkı yakınsama grafiği son 500 iterasyon detayı .....                         | 84  |
| Şekil 7.1. Yenilenen Church fanının HAD statik basınç sonuçları.....                                     | 86  |
| Şekil 7.2. Yenilenen Church fanının giriş kesidi hız dağılımı .....                                      | 87  |
| Şekil 7.3. Yenilenen Church fanının giriş kanalı kesidi hız dağılımı .....                               | 88  |
| Şekil 7.4. Yenilenen Church fanının giriş kanalı kesidi hız dağılımı detayı .....                        | 89  |
| Şekil 7.5. Yenilenen Church fanının çark giriş kesit yüzeyi üzerindeki hız dağılımı .....                | 91  |
| Şekil 7.6. Yenilenen Church fanının çark çıkış kesidi hız dağılımı.....                                  | 92  |
| Şekil 7.7 Çark içerisindeki data yerleri açıklamaları.....                                               | 93  |
| Şekil 7.8 Çark göbek giriş bölgesindeki farklı çaplardaki hız değerleri.....                             | 94  |
| Şekil 7.9 Çark göbek giriş bölgesindeki farklı çaplardaki basınç değerleri.....                          | 94  |
| Şekil 7.10 Çark düzlemi noktaları.....                                                                   | 95  |
| Şekil 7.11 Kanatlar üzerindeki "a" noktalarının ortalama hız değerleri (m/s) ...                         | 97  |
| Şekil 7.12 Kanatlar üzerindeki "a" noktalarının ortalama basınç değerleri (Pa)97                         |     |
| Şekil 7.13 Kanatlar üzerindeki "b" noktalarının ortalama hız değerleri (m/s) ...                         | 98  |
| Şekil 7.14 Kanatlar üzerindeki "b" noktalarının ortalama basınç değerleri (Pa)98                         |     |
| Şekil 7.15 Kanatlar üzerindeki "c" noktalarının ortalama hız değerleri (m/s) ...                         | 99  |
| Şekil 7.16 Kanatlar üzerindeki "c" noktalarının ortalama basınç değerleri (Pa) 99                        |     |
| Şekil 7.17 Kanatlar üzerindeki A,B ve C noktalarının ortalama hız değerleri (m/s) .....                  | 100 |
| Şekil 7.18 Kanatlar üzerindeki A,B ve C noktalarının ortalama basınç değerleri (Pa) .....                | 100 |
| Şekil 7.19 Salyangoz düzlemi akış çizgileri ve noktaları .....                                           | 102 |
| Şekil 7.20 Salyangoz noktaları hız değerleri.....                                                        | 103 |
| Şekil 7.21 Salyangoz noktaları basınç değerleri.....                                                     | 103 |
| Şekil 7.22 Salyangoz noktaları ile çark çıkış noktaları hızlarının şekilsel karşılaştırılması.....       | 104 |
| Şekil 7.23 Salyangoz noktaları ile çark çıkış noktalarının basınçlarının şekilsel karşılaştırılması..... | 104 |
| Şekil 7.24. Yenilenen Church fanının salyangoz gövdesi çıkış kesiti hız dağılımı .....                   | 106 |
| Şekil 7.25. Salyangoz Hız Vektörleri.....                                                                | 107 |
| Şekil B.1 Tüm fan düzlem nokta ve bölgeleri .....                                                        | 117 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                 | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 4.1 Tasarlanan Church fanı çark çizim çizelgesi.....                    | 49    |
| Çizelge 5.1 Church ve CBC çark karşılaştırma çizelgesi.....                     | 52    |
| Çizelge 6.1 "Skewness" değeri kalite karşılıkları.....                          | 67    |
| Çizelge 6.2 Test edilmiş fanın (CBC fanı) ağ yapısı özellikleri .....           | 70    |
| Çizelge 6.3 Ağ yapısına göre çıkan zamandan bağımsız sonuçlar .....             | 72    |
| Çizelge 6.4. Tasarlanan fanın (Church fanı) ağ yapısı değerleri.....            | 79    |
| Çizelge 6.5 Tasarlanan fanın (Church fanı) analiz sonuçları .....               | 80    |
| Çizelge 6.6 CBC ve Church fanları HAD sonuçları karşılaştırması.....            | 80    |
| Çizelge 6.7 Yenilenen ve eski K' için Church fanı çark değerleri.....           | 81    |
| Çizelge 6.8 Yenilenen Church Fanı Salyangoz Değerleri Özeti.....                | 82    |
| Çizelge 6.9 Yenilenen Church fanı HAD değerleri .....                           | 85    |
| Çizelge 7.1 Kanatlar üzerindeki noktalardaki hız değerleri.....                 | 96    |
| Çizelge 7.2 Kanatlar üzerindeki noktalardaki basınç değerleri .....             | 96    |
| Çizelge 7.3 Kanatlar üzerindeki noktaların ortalama hız değerleri.....          | 96    |
| Çizelge 7.4 Kanatlar üzerindeki noktaların ortalama basınç değerleri.....       | 96    |
| Çizelge 7.5 HAD sonuçlarının analitik sonuçlarla karşılaştırılması.....         | 105   |
| Çizelge A.1 İlk tasarlanan Church fanı çark tasarım çizelgesi .....             | 112   |
| Çizelge A.2 Yenilenen Church fanı çark tasarım çizelgesi .....                  | 113   |
| Çizelge A.3. İlk tasarlanan Church fanı salyangoz tasarım çizelgesi             |       |
| 1. İterasyon.....                                                               | 114   |
| Çizelge A.4.İlk tasarlanan Church fanı salyangoz tasarım çizelgesi son          |       |
| iterasyon.....                                                                  | 114   |
| Çizelge A.5. Yenilenen Church fanı salyangoz tasarım çizelgesi 1. İterasyon.... | 115   |
| Çizelge A.6.Yenilenen Church fanı salyangoz tasarım çizelgesi son iterasyon ..  | 115   |
| Çizelge A.7 Tüm çark nokta ve bölge hız değerleri .....                         | 116   |
| Çizelge A.8 Tüm çark nokta ve bölge basınç değerleri .....                      | 116   |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|                     |                                                                       |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| A                   | Alan [ $m^2$ ]                                                        |
| $A_1$               | Çark giriş alanı [ $m^2$ ]                                            |
| $D_{kanal}$         | Kanal çapı [m]                                                        |
| $D_1$               | Çark kanat iç çapı (iç taksimat dairesi) [m]                          |
| $D_2$               | Çark kanat dış çapı (dış taksimat dairesi) [m]                        |
| g                   | Yerçekimi sabiti [ $m/s^2$ ]                                          |
| H                   | Basma yüksekliği [m]                                                  |
| $H_{ad}$            | Adyabatik basma yüksekliği [m]                                        |
| $K'$                | Sürtünme ve türbülans düzeltme katsayısı [-]                          |
| $\dot{m}$           | Kütleli debi [ $kg/s$ ]                                               |
| N                   | Devir [d]                                                             |
| P                   | Basınç [Pa]                                                           |
| $P_{atm}$           | Atmosfer basıncı [Pa]                                                 |
| Q                   | Hacimsel debi [ $m^3/s$ ]                                             |
| R                   | Gaz sabiti [ $J/mol/^\circ K$ ]                                       |
| T                   | Sıcaklık [ $^\circ C, ^\circ K$ ]                                     |
| $T_{atm}$           | Atmosfer sıcaklığı [ $^\circ C, ^\circ K$ ]                           |
| u                   | Çarkın teğet hızı [ $m/s$ ]                                           |
| $u_1$               | Kanat girişi teğet hızı [ $m/s$ ]                                     |
| $u_2$               | Kanat çıkışı teğet hızı [ $m/s$ ]                                     |
| v                   | Akışkanın çarka göre bağıl hızı [ $m/s$ ]                             |
| $v_1$               | Akışkanın kanada giriş bağıl hızı [ $m/s$ ]                           |
| $v_2$               | Akışkanın kanattan çıkış bağıl hızı [ $m/s$ ]                         |
| V                   | Bileşke hız [ $m/s$ ]                                                 |
| $V_1$               | Kanat girişindeki bileşke hız [ $m/s$ ]                               |
| $V'_1$              | Kayıplı bileşke giriş hızı [ $m/s$ ]                                  |
| $V_2$               | Kanat çıkışındaki bileşke hız [ $m/s$ ]                               |
| $V'_2$              | Kayıplı bileşke çıkış hızı [ $m/s$ ]                                  |
| $V_{kanal}$         | Kanal hızı [ $m/s$ ]                                                  |
| $V_r$               | Radyal hız [ $m/s$ ]                                                  |
| $V_{r1}$            | Kanat girişi radyal hızı [ $m/s$ ]                                    |
| $V_{r2}$            | Kanat çıkışı radyal hızı [ $m/s$ ]                                    |
| $V_u$               | Bileşke hızın teğet izdüşümü [ $m/s$ ]                                |
| $V_{u1}$            | Kanat giriş bileşke hızın teğet izdüşümü [ $m/s$ ]                    |
| $V'_{u1}$           | Kayıplı kanat giriş teğet hızı [ $m/s$ ]                              |
| $V'_{u2}$           | Kayıplı kanat çıkış teğet hızı [ $m/s$ ]                              |
| $V_{u2}$            | Kanat çıkış bileşke hızın teğet izdüşümü [ $m/s$ ]                    |
| $W_z$               | Dönme etkisinden dolayı $V_{u2}$ hızındaki kayıp [ $m/s$ ]            |
| z                   | Kanat sayısı [adet]                                                   |
| $\alpha_1$          | Giriş bileşke hızın teğetsel hız ile yaptığı açı [ $^\circ$ ]         |
| $\alpha'_1$         | Kayıplı giriş bileşke hızın teğetsel hız ile yaptığı açı [ $^\circ$ ] |
| $\alpha_2$          | Çıkış bileşke hızın teğetsel hız ile yaptığı açı [ $^\circ$ ]         |
| $\alpha'_2$         | Kayıplı çıkış bileşke hızın teğetsel hız ile yaptığı açı [ $^\circ$ ] |
| $\epsilon_p$        | Basınç oranı [-]                                                      |
| $\epsilon_{pgiris}$ | Giriş basıncının atmosfer basıncına oranı [-]                         |
| $\epsilon_{pçark}$  | Çark çıkış basıncının giriş basıncına oranı [-]                       |
| $\epsilon$          | Alanda kanat kalınlığı düzeltme faktörü [-]                           |

|                      |                                                              |
|----------------------|--------------------------------------------------------------|
| $\acute{\epsilon}_1$ | Kanatgiriş alanında kanat kalınlığı düzeltme faktörü [-]     |
| $\acute{\epsilon}_1$ | Kanatçıkış alanında kanat kalınlığı düzeltme faktörü [-]     |
| $\rho$               | Yoğunluk [kg/m <sup>3</sup> ]                                |
| $\rho_a$             | Atmosfer basıncındaki havanın yoğunluğu [kg/m <sup>3</sup> ] |
| $\beta$              | Kanatın teğetsel hız doğrultusu arasındaki açısı [°]         |
| $\beta_1$            | Kanat girişinin teğetsel hız doğrultusu arasındaki açı [°]   |
| $\beta_2$            | Kanat çıkışının teğetsel hız doğrultusu arasındaki açı [°]   |
| $\Delta$             | Fark [-]                                                     |
| $\vec{V}$            | Akışkan hızı [m/s]                                           |
| $\vec{\nabla}$       | Del operatorü [-]                                            |
| $\Phi$               | Salyangoz sırt çizgisinin açısı [°]                          |
| $\phi^\circ$         | Salyangoz sırt çizgisinin açı artışı [°]                     |



# 1. GİRİŞ

## 1.1 Genel

Çevresel sorunların temelinde yatan enerji, yaşam döngüsünün ve kalkınmanın temel öğelerinden biridir. Sanayi, ulaşım ve binalar enerjinin başlıca tüketim (kullanım) alanlarıdır. Günümüzde enerjinin yaklaşık %90'ı fosil kökenli yakıtlardan (kömür, petrol, doğalgaz) elde edilmektedir. Çok önemli teknolojik bir buluş olmazsa bu durum yakın gelecekte de devam edecektir. Fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan emisyonların ( $CO_2$ , CO,  $SO_2$ ,  $NO_x$ ) atmosferde birikmesi ile sera etkisi oluşmakta ve yerkürenin ekolojik dengesi bozulmaktadır. Bir başka deyişle emisyonlar ve diğer atıklar artmakta, doğal kaynaklar azalmakta, hava ve su kirliliği artmaktadır. Ayrıca artan talep dolayısıyla fosil yakıtların bilinen rezervleri azalmakta ve giderek artan talebin daha az oranını karşılayabilmektedir. Bu durum yakıtların fiyatlarının artmasına ve/veya dalgalanmasına sebep olmaktadır. Bütün bu sebeplerle tüm dünyada fosil tabanlı yakıtların tüketimlerinin azaltılması için enerjinin verimli kullanılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla kullanılması yönünde çok yoğun çabalar vardır.

Gereksinim duyulan enerjinin optimum finansman, çevresel ve sosyal maliyetle ve sürekli olarak teminine olanak sağlayan politika, teknoloji ve uygulamalar enerjide sürdürülebilirlik olarak tanımlanır. Bir başka ifade ile enerji üretimi ve kullanımının çevrede meydana getirdiği olumsuz etkilerin azaltılması ve çevre dostu stratejiler geliştirilmesi ve bu stratejilerin aynı zamanda ekonomik olması gerekir. Kaynakların (enerji, su vb.), çevrenin ve ekonominin korunması, sürdürülebilir gelişmenin üç ana bileşenini oluşturmaktadır.

Ülkemizde fosil tabanlı enerji ithalatı ile bu yakıtların yol açtığı ekonomik ve çevresel sorunlar giderek artmaktadır. Ayrıca ülkemizde enerjinin verimli kullanılmadığı da bilinmektedir. Bu bağlamda Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü verilerine göre binalarda %40, sanayide %30 civarında enerji tasarrufu potansiyeli söz konusudur (Bulgurcu, 2015).

## 1.2 Fanlar

Fanlar hava ve benzeri gazları, basınçlandırarak belirli bir akış yolu içinde hareket etmesini (bir yerden başka bir yere naklini) sağlayan turbo makinelerdir. İyi bir fan istenilen performansı yerine getirirken az enerji tüketen (yüksek verimli), mümkün olduğunca az gürültülü ve ömür boyu maliyeti düşük olan fanlardır (Bulgurcu, 2015).

Fanlar; bina HVAC sistemleri, demir çelik, cam, çimento, ahşap sanayi, karayolu ve demir yolu tünel havalandırması, madencilik, elektrik santralleri (soğutma kulelerinde ve kazan besleme havası için vb.), otopark havalandırması, petrokimya (zararlı atıkların filtrelenmesi için), kimya, rüzgar tüneli, taşımacılık (pnomatik sistemlerle taşıma), şeker, kağıt, çevre endüstrisi, endüstriyel havalandırma gibi sektörlerde geniş kullanım alanına sahip cihazlardır.

Fanların bu sektörlerde çoğunlukla yaptıkları işler oksijen oranını sağlamak için havanın bir ortama taşınması veya havanın bir ortamdan uzaklaştırılması (duman, zehirli gaz vb.), herhangi bir ürünün taşınması (un, partikül, hastanelerdeki pnomatik taşıyıcılar) ve filtrasyon sistemlerine negatif basınç sağlamaktır.

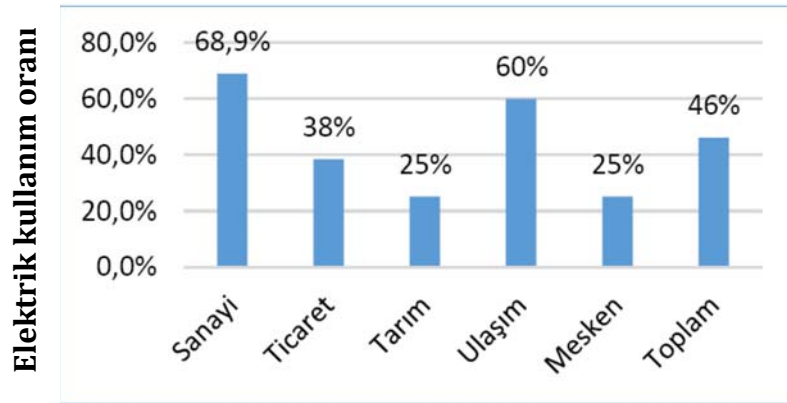
Fanların tahrik sistemlerinde genellikle elektrik motorları kullanılmaktadır. Fanlar sanayide ve ticari binalarda önemli oranda elektrik tüketen cihazlardır. Bu bağlamda halen Türkiye’de sanayide eski teknoloji ürünü ve verimleri yüksek olmayan çok sayıda fan bulunmaktadır. Bu nedenle enerji verimliliğinin artırılmasında fanların ve fan sistemlerinin verimliliklerinin artırılmasının katkısı olacaktır.

Fan ve fan sistemlerinde enerjinin verimli kullanılması fan seçimi, imalat ve işletme süreçlerinin optimum olması ile sağlanabilir. Çünkü fanlar ömürleri boyunca ilk yatırım maliyetlerinin yüzlerce katı enerji tüketmektedirler. O yüzden üreticiler fan satın alırken fiyatı ile tüketeceği enerjiyi de hesaba katmalıdırlar. Bunun anlamı; bir işletme için en iyi fanın ilk yatırım maliyeti en

düşük fan olmadığıdır. Fan satın alırken ve fanın çalıştırılacağı sistem projelendirilirken bu gibi hususlara çok dikkat edilmelidir. Burada yapılması gereken, fanların ömür boyu maliyet esasına göre seçilmesidir, yani ilk yatırım maliyetleri belirlenirken işletme maliyetlerinin de düşüklüğü dikkate alınmalıdır. (Bulgurcu, 2015).

TÜİK'nun açıkladığı 2016 yılı istatistiklerine göre toplam elektrik tüketimi 231.204GWh olmuştur ve bu tüketimin %46,9 u sanayide gerçekleşmiştir (TÜİK, 2016). Ne yazık ki Türkiye'deki elektrik tüketiminde fanların tüketimdeki oranı ile ilgili bir veri bulunmadığından, Dünya ve AB verilerinden hareketle, Türkiye'nin toplam enerji tüketimini bu ülkelerdeki sektör oranlarına uygulayarak bulmaya çalışacağız.

Uluslararası Enerji Ajansı (U.E.A.) için Waide ve Brunner (2011) tarafından yayımlanan ve 29 ülke üzerinde yapılan çalışma neticesinde elektrik motorları, sanayi sektöründe tüketilen enerjinin %68,9'unu kapsamaktadır (Şekil 1.1), (Esen, 2015).



Şekil 1.1. U.E.A.'na göre elektrik motorlarının sektörlere göre elektrik kullanım oranları (Esen, 2015)

Ayrıca Avrupa Birliği (AB)'ndeki 6 ülkenin (Danimarka, Fransa, Almanya, İtalya, Portekiz ve İngiltere) 2015 verilerine göre elektrik motoruyla çalışan sistemlerin endüstrideki enerji tüketim oranı da %69 dur ve bunun da %16' sını

fanlar, %21'ini pompalar ve %18' ini kompresörler oluşturmaktadır (Almeida vd., 2002)

2016 TÜİK rakamlarına göre ise yukarıda değinilen 231.204 GWh lik toplam elektrik tüketiminin %46,9 u olan Türkiye’de imalat sanayindeki tüketimi 108.435 GWh’dır. Ülkemizdeki sanayide enerji tüketiminde de, dünya ve AB ortalamasındaki oranların gerçekleştiği varsayılırsa, elektrik motoruyla çalışan sistemlerin sanayideki payı %68,9 ile 74.711 GWh’dır. Son olarak da AB'nin 2015 verilerine göre endüstrideki enerji tüketiminin %16'sını oluşturan fanları Türkiye’nin imalat sanayisi tüketimine uygularsak, fanların 2016 yılında tükettiği toplam enerji 11.954 GWh olarak tahmin edilebilir.

Yeni üretilcek fanların ve kullanılmakta olanların çarklarının yeniden tasarlanmasıyla (retrofit) % 1 lik küçük bir verim artışında bile 1.195 GWh lik bir tasarruf oluşturulabilir. Bu rakamın 2016 yılı TL karşılığı ise TEİAŞ’ın yıllara göre satışlar çizelgesine göre; 2,12 Kr/kWh'dan 25.3 milyon TL dir.

### **1.3 Fan Çeşitleri**

Fanlar değişik şekillerde sınıflandırılabilir. Burada aşağıdaki sınıflandırma esas alınmıştır.

Aksiyal fanlar,

Santrifüj fanlar,

Aksiyal-santrifüj fanlar,

Çatı tipi fanlar,

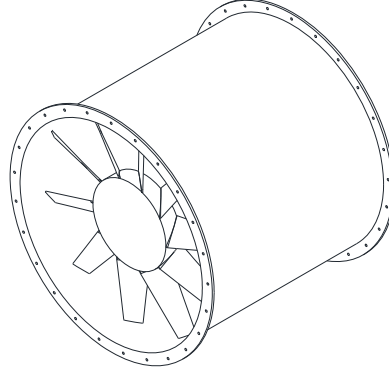
Çapraz akışlı blowerlar,

Vorteks veya rejeneratif fanlar.

Bunlardan en sık kullanılan, Aksiyal ve Santrifüj Fanlar, aşağıda detaylı açıklanmıştır.

### 1.3.1 Aksiyal fanlar

Bunlar (Şekil 1.2) dört ana grupta toplanabilir.



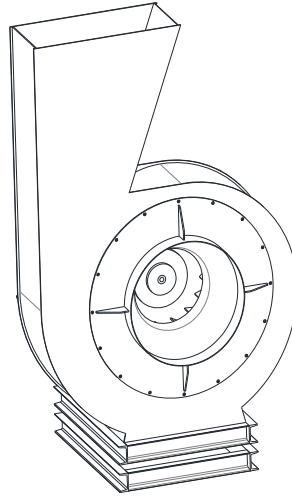
Şekil 1.2. Aksiyal fan örneği

- Kanat tipi aksiyal fanlar
- Tüp aksiyal fanlar
- Kanatlı tüp tipi aksiyal fanlar
- İki kademeli aksiyal fanlar

Endüstride aksiyal fanlar karayolu, metro vb. tünellerinde havalandırma ve duman kontrol fanları şeklinde (jet fanlar), soğutma kulelerinde ve diğer soğutma sistemlerinde kullanılırlar. Ayrıca son yıllarda otoparklarda havalandırma ve yangın fanları olarak da kullanılmaktadır.

### 1.3.2 Santrifüj fanlar

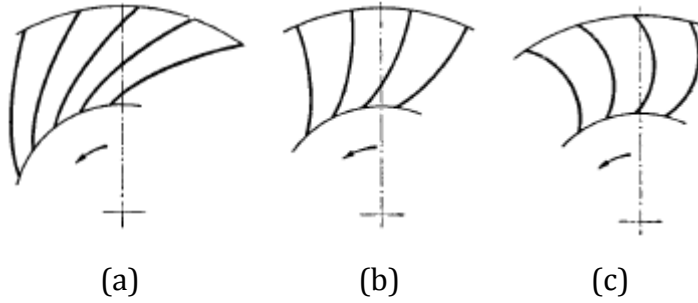
Bu fanlar havayı mil ekseninde emip radyal yönde basınçlandırarak çıkış ağzına gönderen fanlardır (Şekil 1.3). Bu işlem fan çarkının dönmesi sonucu ortaya çıkan santrifüj hızlar ve kuvvetler yardımı ile olmaktadır. Endüstride genellikle yüksek basınçlara çıkabilmeleri sebebiyle bu tür fanlar kullanılmaktadır.



Şekil 1.3. Santrifüj fan örneği

Santrifüj fanların ana parçaları aşağıdaki gibidir.

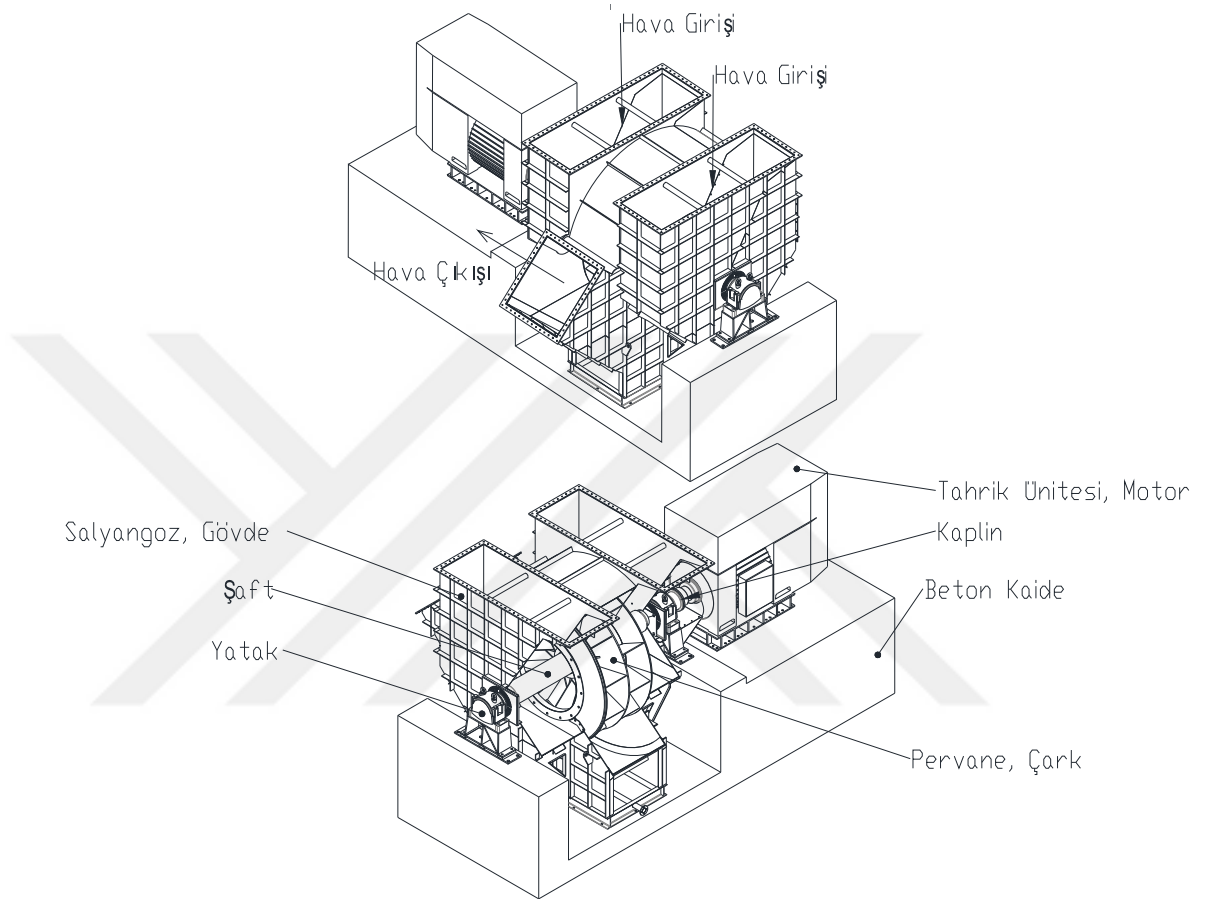
- a) Gövde: Fan çarkını içine alan yan ve dairesel saclardan oluşan yapıdır.
- b) Çark: Kanatların kaynaklandığı ve fan çarkını teşkil eden yapıdır.
- c) Kanatlar: Havaya kılavuzluk eden elemanlardır. Ayrıca kanatlar, geriye eğimli, radyal ve ileri eğimli olmak üzere 3'e ayrılır.



Şekil 1.4. a) Geriye eğimli kanat, b) Radyal kanat c) İleri eğimli kanat (Bruno, 1972)

- d) Kaide: Fan gövdesini, tahrik ünitelerini taşıyan yapı grubudur.
- e) Şaft veya mil, yataklar.
- f) Kaplin, kayış-kasnak: güç aktarımını sağlayan elemanlardır.
- g) Tahrik ünitesi: Genellikle bir elektrik motorudur. Ancak elektriğin olmadığı yerlerde veya başka sebeplerle seyrek de olsa içten yanmalı motor, buhar veya gaz türbini de kullanılabilir.

Santrifüj fanlar tek emişli veya çift emişli olarak seçilebilirler. Çift emişli fanlar paralel bağlı iki fan gibi düşünülebilir ve debiyi artırmak için kullanılırlar (Şekil 1.5). Ancak atmosferden serbest emiş yapılan uygulamalar için daha uygundur.



Şekil 1.5. Çift Emişli Santrifuj Fan Montaj Çizimi

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kovatz ve Desmur (Kovatz ve Desmur, 1958) kanallardaki sürtünme kayıplarının viskozitenin bir fonksiyonu olduğunu ve bunun da Reynolds sayısı ile doğru orantılı olduğunu açıklamıştır. Akışkan türbülanslı bir yapıya ulaştığında duvar pürüzlülüğün de kayıplar arasına alınması gerektiğini söylemiştir. Ayrıca çark ve salyangoz arasında dönen akışkan disk sürtünmesinden ve türbülanslı dolay normal kanal sürtünme kayıplarından yaklaşık %50 daha fazla sürtünme kaybına maruz kalmaktadır. Salyangozdaki diğer kayıplar da yüzey pürüzlülüğü ve akışkanın duvarlarına yaklaşımından kaynaklandığını ve bununda salyangozun verimini belirlediğini ortaya koymuştur.

Stodola (Stodola, 1945) çarkın dönüşünün kanatlar arasındaki akışa etkisi demek olan kayma etkisini (slip factor) tanımlayıcı ilk yöntemi geliştirmiştir. Kanat sayıları ile kayma etkisi arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur. Yaptığı deneylerle bulduğu sonuçları doğrulayabilmiştir. Kayma etkisi ile ilgili diğer çalışmalar Balje (Balje, 1981), Stanitz (Vibhakar, 2012) ve Eck Bruno (Bruno, 1972) tarafından yapılmıştır. Tüm bu araştırmacılara göre kayma etkisinin kaynağı kanatlar arasındaki girdaplardır. Araştırmaları kayma etkisinin sadece kanat geometrisine bağlı olduğunu göstermiş ve belirli fan çeşitlerinde sabit olduğunu ortaya koymuştur.

A.J. Stepanoff (Stepanoff, 1957) hidrolik kayıpların tüm kayıplar içinde en çok paya sahip olduğunu söylemiştir. Hidrolik kayıpların yüzey sürtünmeleri ve girdaplardan kaynaklandığını ve akışkandaki hız vektörü değişimlerinden dolayı yüzey ayrılmalarının da hidrolik kayıplara yol açtığını ortaya koymuştur. Hidrolik kayıplardan başka şok kayıplarının ve difüzör kayıplarının bu ikinci gruba girdiğini söylemiştir.

Austin H. Church (Church, 1947) pompalar ve körüklerin tasarım metodunu ilk derleyenlerden sayılabilir. Pompa veya fanlarda akışın Reynolds sayısının her zaman belli bir kritik rakamın üzerinde çıktığını yani akışın türbülanslı olduğunu; bu yüzden akış ciddi anlamda bir basınç kaybı yaşandığını söylemiştir.

Tasarımına sıkıştırılabilirlik etkisini, basınç oranını ve enerji transferini de dahil etmiştir. Ayrıca fanın belli bölümlerinde sıcaklık ve basınç farklarından dolayı akışkanın yoğunluğunun değişkenliğini de hesaba katmıştır. Bu da hacimsel debi oranlarının sürekli değişmesine yol açtığını ileri sürmüştür. Akışkan geçişlerinin kesitleri belirlenirken bu hacimsel debi değişimi göz önüne almıştır. Toplam oluşturulan düşü formülünde çark içerisindeki türbülanslar ve sürtünmeden dolayı oluşan basınç kaybı için bir “toplam basınç katsayısı”,  $K'$  tanımlamış ve bunun deneylerle 0,5 ila 0,65 arasında çıktığını bulmuştur. Daha sonra Eck Bruno (Bruno, 1972) , ve Osborne (Osborne, 1977) gibi araştırmacılar Church'ün bu yöntemlerini geliştirici çalışmalar ortaya koymuşlardır.

D. J. Myles (Myles, 1969) kanat ve difüzördeki kayıpların akışkanın çıkış basınçlarına bağlı olduğunu vurgulamıştır. Bu kayıpları bir genişleme faktörüne bağlamıştır. Düşük debili akışları ayrıca incelemiştir.

Eck Bruno (Bruno, 1972) çark sürtünmesi veya disk sürtünmesi kayıplarını ilk deneysel olarak inceleyen kişidir. Bu kayıpları, çark giriş kayıpları ve çark içindeki sürtünmeler olarak ikiye ayırarak kategorilendirmiştir. Çark içindeki sürtünmeler de akışta gecikme ve basınç kaybı olarak sonuçlandırmıştır. Kanat sayılarının enerji transferine etkisini açıklayan Bruno, optimum kanat sayısını veren bir formül de çıkartmıştır.

Balje (Balje, 1981), santrifüj fanlarda optimum verimin biraz geriye eğimli çarklarla elde edilebildiğini ispatlamıştır. Ayrıca kayma etkisi (slip factor) konusunda da literatüre girmiş önemli tespitleri ortaya koymuştur.

William C. Osborne (Osborne, 1977) fanın tasarım noktasındaki asıl performansının, ideal fan gücünden farklı olduğunu ve bunun Euler denklemleri ile hesaplanabileceğini söylemiştir. Bu farkın sebebi kanatların iç yüzeylerindeki girdaplardan kaynaklanmakta ve çarkın yaptığı işte kayıplara sebep olmaktadır. Bunun dışında iç kaçaklar, basınç kayıpları ve mekanik kayıplar da fanın yapacağı iş için gerekli gücü arttıran faktörler olduğunu ortaya koymuştur.

Banies ve Whitfield (Whitfield ve Banies, 1990) bir akışkan bölgesinin davranışını tahmin edebilmek için süreklilik, momentum ve enerji denklemlerini tüm akış ortamında kısmi diferansiyel denklemler oluşturmak gerektiğini belirtmişlerdir. Böylelikle turbo makinelerinin içerisindeki akışları nümerik olarak analiz etmişlerdir.

J. D. Denton (Denton, 1993) fan kaybı “Bir turbo makinenin verimini düşüren tüm akış olayları” olarak tanımlamıştır. Bunun yanında kayıpları “profil kaybı”, “ikincil kayıp” (duvar sonu kaybı) ve “sızıntı kayıpları” gibi bölümlere ayırmıştır.

P. J. Roache (Roache, 1997) Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği belirsizliklerini ölçmüştür. Hesaplanabilir Akışkanlar Dinamiği (HAD) işlemini doğrulama, onaylama ve tasdik yöntemleri ile hata tespiti, tahmini ve yakınsama oranlarını ortaya koymuştur.

Frank P. Bleier (Bleier, 1998) hangi tasarım yöntemi kullanılırsa kullanılsın, gerçek fan eğrisi bilgilerine ulaşmak için standart testlerin uygulanması gerektiğini öne çıkarmıştır. İmalat sanayinde de birçok firma ile çalışan araştırmacı tasarlanan prototipin test sonuçları alındıktan sonra fan yasaları ile ihtiyaca göre dönüştürölüp bir ürün gamı oluşturmayı tavsiye etmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılacak Chicago Blower firması ürünü olan fan da bu yöntemlerle oluşturulmuştur.

Hsin-HuaTsuei, Kerry Oliphant ve David Japikse (Tsuei vd., 1999) turbo makineler için hızlı Hesaplanabilir Akışkanlar Dinamiği (HAD) modelleme yöntemlerini geliştirmişlerdir. Bu sayede mühendislere Hesaplanabilir Akışkanlar Dinamiği (HAD) materyallerini daha verimli ve etkin kullanma fırsatı vermiş olmakla beraber günümüzdeki gelişmiş tasarım tekniklerinin önünü açmışlardır.

Vibhakar (Vibhakar, 2012) ise Church (Church, 1947), Eck Bruno (Bruno, 1972) ve Osborne (Osborne, 1977) ‘un fan tasarım yöntemlerini uygulayarak, araştırmacıların her bir tasarım adımlarını, bulunan değerlerle kıyaslamış, ayrıca

hazırladığı prototipleri deneylerle test ederek, çıkan sonuçları yine her araştırmacının tasarım yöntemi ile karşılaştırmıştır. Bunlar arasında Church'ün yönteminin deney sonuçlarına en yakın olduğunu göstermiştir. Son olarak da HAD sonuçlarını kullanarak deneylerle görülemeyen verilere ulaşmıştır.

Yukarıdaki çalışmalar incelendikten sonra görülmüştür ki, verimli bir fan tasarımında kayma etkisi (slip factor), çark kayıpları, salyangoz kayıpları gibi kayıplar büyük önem taşımaktadır. Bunların hesaplanması ve tahmininde birçok araştırmacının ulaştığı sonuçlar ne yazık ki yeterli oranda birbirlerini ve deney sonuçlarını tutmamaktadır. Bu durum da bizi, tasarım yaptıktan sonra bir deney düzeneği ile test etmeye mecbur bırakmaktadır. Her tasarlanan fanın test edilerek revize edilmesi ise tahmin edileceği gibi altından kalkılamaz maliyetlerle karşılaşma sonucunu doğurmaktadır. Gelişen bilgisayar teknolojileri ve yazılımlar sayesinde HAD (Hesaplanabilir Akışkanlar Dinamiği) yöntemi, neredeyse deney düzeneklerinin yerini almaya başlamış ve bu çalışmada da yalnızca deneyle tespit edilebilen ve çark kayıplarını temsil eden  $K'$  faktörü tespit edilebilmiştir. Bunların da ötesinde deney sırasında kullanılan ölçme aparatları ile ölçülemeyecek yerlerdeki değerlere de HAD ile ulaşılabilir.

Tez çalışmasında, uluslararası profesyonel bir firmanın ürettiği fan (CBC fanı) örnek seçilmiştir. Bu fanın tasarım değerleri (statik basınç, debi, akışkan tipi ve sıcaklığı vb.) kullanılarak yeni bir fan tasarlanmış ve hem çark hem de gövde geometrileri karşılaştırılmıştır. Farkların çok az olması durumunda, sonraki fan hesaplarında bu tasarım yöntemi HAD sonucu  $K'$  faktörü tespit edilerek yüksek verimlilikle kullanılabilir.

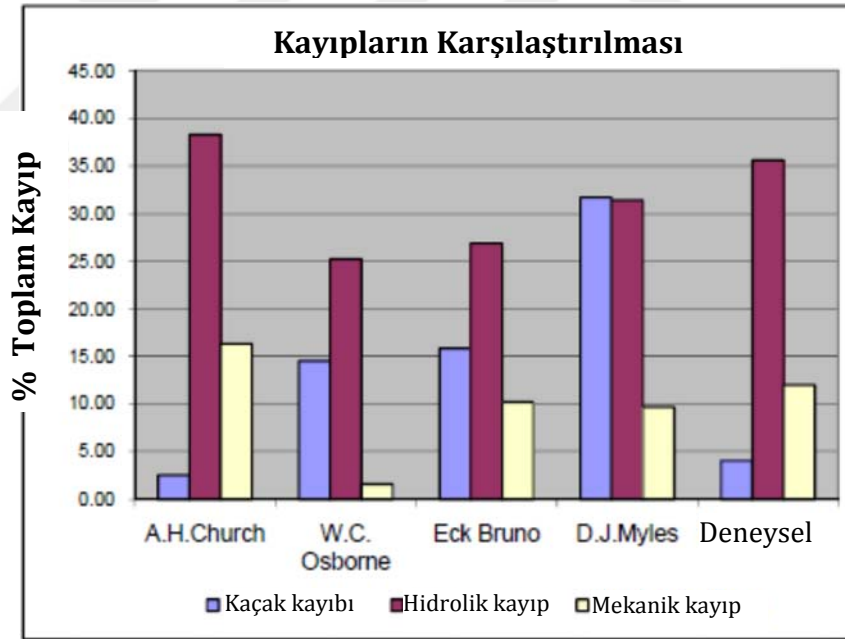
Tasarım girdileri olarak bu fanın (CBC fanı) seçilmesinin sebebi, bu fanın deney sonuçlarına göre karakteristik eğrisinin çıkarılmış olmasıdır. Yani tasarım girdilerinin sonuçları deneylerle sağlanmış olduğu için kendini kanıtlamış bir fanıdır. Bu fanın HAD sonucu ile Church'ün hesap yöntemi ile tasarlanan fanın HAD sonucu karşılaştırılıp tasarım güncellenerek ideal hesaplama yöntemine ulaşılmıştır.

Tasarlanan fanın her revizyonu sonucunda test etme zorunluluğu sorununu aşmak için HAD yöntemi kullanılarak, bunun sonuçlarının test edilmiş bir fanda sağlaması yapılmıştır. Zamandan bağımsız (steady state) olarak yapılan analizde sınır koşulları olarak girişte 5,24 kg/s kütleli debi, çıkışta atmosfer basıncı ve çark için de 2970 d/d lık bir dönüş girilmiş, geometriler 1.050.771 ağ eleman sayısı, 366.216 ağ düğüm sayısı ve ortalama 0,278 "skewness" değeri ile işlenmiş ve türbülans modeli olarak da k-omega/SST seçilerek test edilen fanın oluşturduğu statik basınç % 5 lik bir hata payı ile tutturulmuştur. Bu sayede kendini kanıtlayan HAD yöntemi ayarları ile yeni tasarladığımız fanın farklı parametrelerde nasıl sonuçlar verdiği incelenmiş, Church'ün analitik ve sayısal olarak çözmüş olduğu tüm parametreler kavramlar ve sayısal değerler, yapmış olduğumuz tasarım içerisine konularak çözdürülmüştür. Sonuç olarak çıkan statik basınç değerlerine göre tasarım yöntemindeki çarkın dönmesinden dolayı oluşan kayma etkisini (slip factor) temsil eden K' katsayısı ortalama değeri olan 0,60 dan 0,57 ye güncellenmiş ve tekrar yapılan analizde hedeflenen %4 hata payına ulaşılmıştır.

### 3. TEORİK HESAPLAR VE METODOLOJİ

Fan tasarım metodolojilerinde Austin Church ilk önemli yol gösterici çalışmaları yapmıştır (Church, 1947). Bunlar içerisine sıkıştırılabilirlik, sıcaklık ve basınç altındaki yoğunluk değişikliklerinin hesaplanmalarını dahil etmiştir.

Vibhakar'ın tezinde kullandığı deney setinde Church ile birlikte W. C. Osborne, Eck Bruno ve D. J. Myles'in tasarım yöntemlerini kullanmış ve bunları deney sonuçlarını Şekil 3.1 de karşılaştırarak göstermiştir. Şekil 3.1 de gösterilen sonuçlar incelendiğinde basınç ve kaçak kayıpları varsayımlarında Church' ün yönteminin deney sonuçlarına en yakın değerleri verdiğiinden bu metodoloji ile tasarım tercih edilmiştir ve ileride detayları ile açıklanacaktır. Ayrıca yine Church'ün metodu mekanik kayıplar açısından karşılaştırıldığında yeterli oranda tuttuğu görülmüştür.

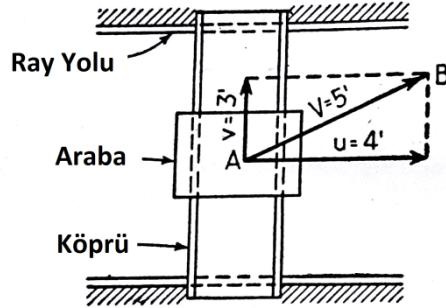


Şekil 3.1. Farklı tasarım yöntemlerindeki kayıpların deney sonuçları ile karşılaştırılması (Vibhakar, 2012)

#### 3.1 Hız Diyagramları

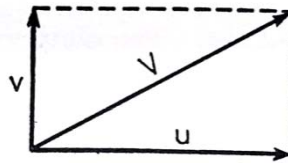
Çark içerisindeki akışı anlayabilmek için hareketli cisimlerin hızları arasındaki ilişkiyi iyi anlamak gerekmektedir. Burada iki kavramın iyi bilinmesi lazım,

"bağıl" ve "mutlak" hız. Bu ilişkiyi anlayabilmek için aşağıdaki Şekil 3.2 deki temsili vinç çizimini inceleyebiliriz.



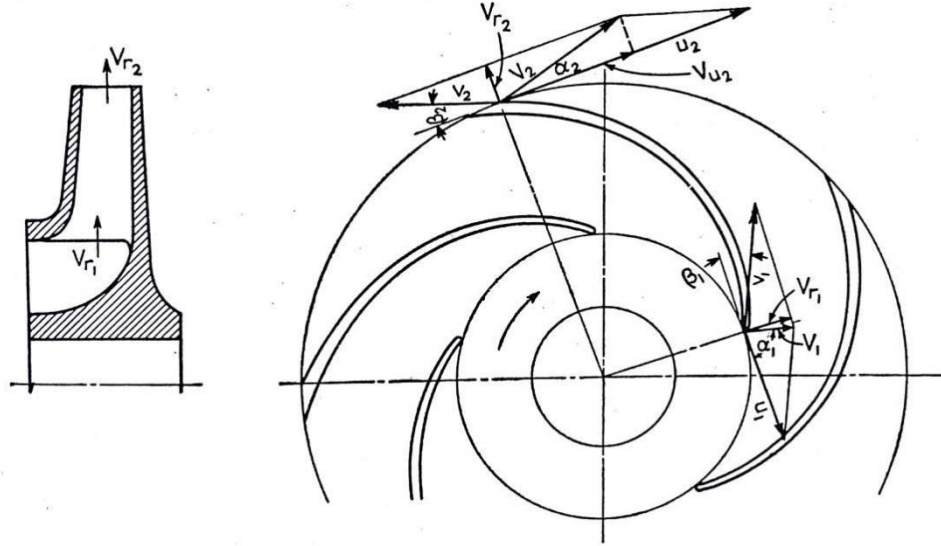
Şekil 3.2. Bağıl ve mutlak hızları gösteren vinç şekli (Church, 1947)

Burada vincimiz raylar üzerinde 4 birim hızla ilerlerken, vinç arabası yukarı doğru 3 birimle hareket etmektedir. Aşağıdaki sabit bir gözlemci bu arabanın hızını 5 birim hızla şekildeki A-B vektörü yönünde hareket ettiğini görür. Bu hızları temsil eden vektör grafiği de Şekil 3.3de gösterilmiştir.



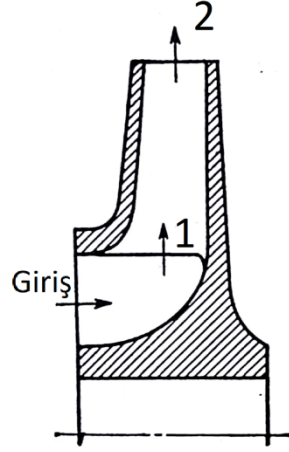
Şekil 3.3. Bağıl ve mutlak hızlar (Church, 1947)

Dönen çark için ise  $u$ , çark üzerindeki noktanın yere göre hızı  $v$ , akışkanın çarka göre bağıl hızı  $V$  ise akışkanın mutlak hızını temsil etmektedir. Benzer şekilde hız üçgenlerini geriye eğimli kanat yapısına sahip çark için çizersek Şekil 3.4 teki durum karşımıza çıkar. Burada farklı olarak sadece radyal hızlar  $V_r$  ile gösterilmiştir. Şekil 3.4 te soldaki resim sağdaki çarkın kesitini göstermektedir. Çarka dönme eksenine paralel giren akışkan  $90^\circ$  döndükten sonra dönme eksenine dik  $V_{r1}$  hızı ile çark kanadına girer. Daha sonra dönme eksenine dik (sağdaki resimde merkezden dışarıya doğru) devam eden akışkan, merkezkaç kuvvetinin etkisiyle birlikte kanat çıkışında  $V_{r2}$  hızına ulaşır.



Şekil 3.4. Tek emişli Geriye eğimli kanatlı çarkın giriş ve çıkış hız diyagramları (Church, 1947)

Sağdaki resimdeki akışı merkezden dışarıya doğru takip edersek, geriye eğimli kanata ilk ulaştığımız yere 1 noktası, kanattan ayrıldığı noktaya da 2 noktası diyelim. Önce çarkın şekil ve hızından dolayı oluşan akışkan hareketini inceleyelim ve bunlara küçük harfler verelim. İlk olarak dönüş hızından gelen teğetsel hıza " $u_1$ " ve çarkın şeklinden dolayı teğetle " $\beta_1$ " açısı yapan ve akışkana yön verecek kanada teğet hıza " $v_1$ " diyelim. Bu iki vektörel hızların bileşkesi ise " $V_1$ " olur. Şekil 3.4 te görüldüğü gibi " $V_1$ " hızının " $u_1$ " vektörü ile yaptığı açı da " $\alpha_1$ " dir. Aynı yöntemi 2 noktasına uygularsak 2 noktasındaki hız üçgeni de Şekil 3-4 teki gibi olur. Son olarak merkezkaç kuvvetinden dolayı oluşacak " $V_r$ " hızlarını da, dönme eksenine dik ve dışarı doğru olacak şekilde üçgenlere yerleştirirsek hız üçgenlerini tamamlamış oluruz. Yukarıda dönen çark üzerindeki akışkan partikülünün hareketi esnasındaki oluşan hız üçgenlerinin yerleri aşağıda görülen çark kesiti içerisinde Şekil.3.5'te gösterilmiştir.

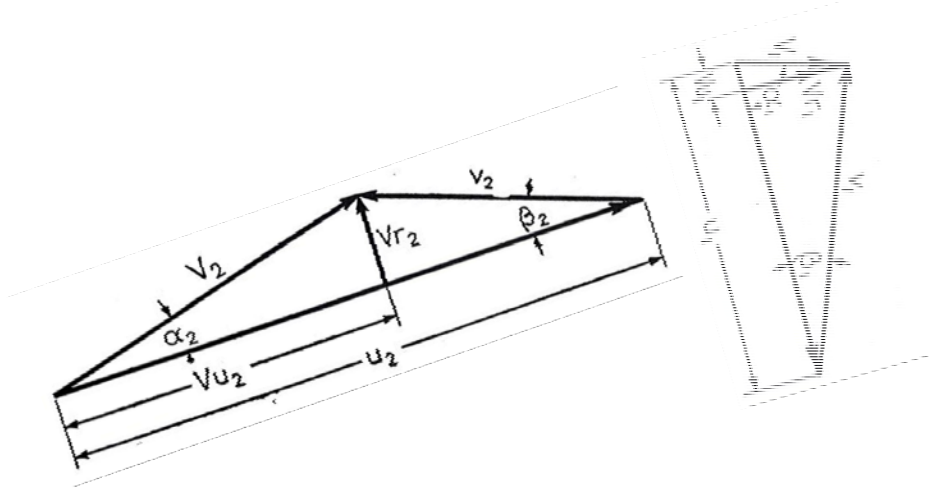


Şekil 3.5. Çark bölümleri (Church, 1947)

Şekil 3.4 teki harflerin açıklamaları ise şu şekildedir;

- $u_1$  : Çarkın kanat girişindeki noktanın yere göre teğet hızı
- $v_1$  : Çarkın kanat girişindeki akışkan noktasının çarka göre bağıl hızı
- $\beta_1$  :  $u_1$  doğrultusu ile  $v_1$  arasındaki dar açı
- $V_1$  : Akışkan noktasının yere göre mutlak hızı
- $\alpha_1$  :  $V_1$  ile  $u_1$  arasındaki açı
- $V_{r1}$  :  $V_1$  hızının radyal bileşeni
- $V_{u1}$  :  $V_1$  hızının eksenel bileşeni
- $u_2$  : Çarkın kanat çıkışındaki noktanın yere göre teğet hızı
- $v_2$  : Çarkın kanat çıkışındaki akışkan noktasının çarka göre bağıl hızı
- $\beta_2$  :  $u_2$  doğrultusu ile  $v_2$  arasındaki dar açı
- $V_2$  : Akışkan noktasının yere göre mutlak hızı
- $\alpha_2$  :  $V_2$  ile  $u_2$  arasındaki açı
- $V_{r2}$  :  $V_2$  hızının radyal bileşeni
- $V_{u2}$  :  $V_2$  hızının eksenel bileşenidir.

Şekil 3.4'teki dönen bir çark üzerinde oluşan hız üçgen diyagramlarını Şekil 3.6'da ayrıca gösterelim. Bu üçgenlerin yukarıdakilerden biraz farklı görünmesinin sebebi toplamının daha iyi görülebilmesi için vektörlerin uc uca eklenmesidir. Burada  $V_{u2}$ , " $V_2$ "nin  $U_2$  üzerinde düşen iz düşümüdür.

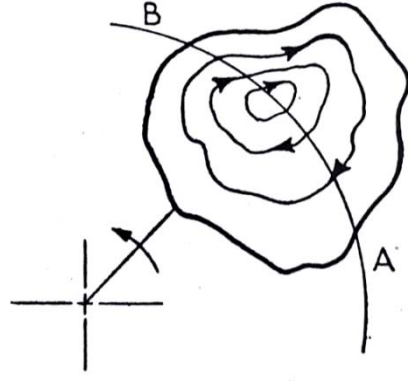


Şekil 3.6. Teorik giriş- çıkış hız diyagramları (açıları aynı kalacak şekilde)(Church, 1947)

### 3.2 Kayıplar

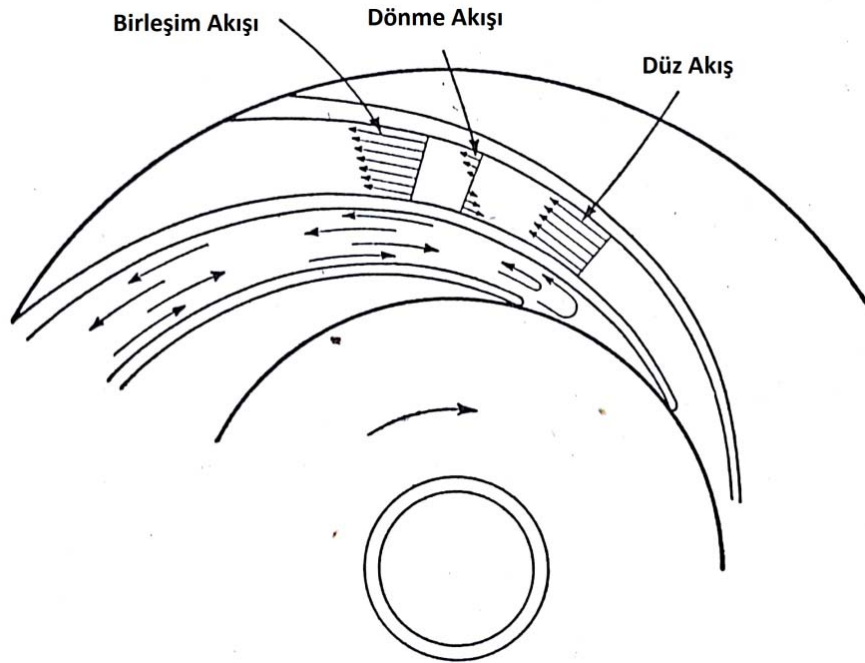
Teorik formüller uygulanırken sürtünmezlik, türbülanssızlık ve akışkanın tamamen kanatlara uyarak hareket ettiği kabulü (sonsuz sayıda kanat) gibi bazı kabuller yapılmaktadır. Ama gerçekte fan içerisinde bu sayılan etkilerden dolayı sürtünme, türbülans, disk sürtünmesi, kaçak, mekanik kayıplar gibi kayıplar olmaktadır. Bu kayıpların tespit edilip formülize edilmesinde ve katsayılarla sabitlenmesinde birçok araştırmacının etkisi olmuştur. Bunlardan Stodola (Stodola, 1945) çarkın dönüşünün kanatlar arasındaki akışa etkisini ilk formüle döken kişidir.

İçi sıvı dolu dört tarafı kapalı bir kabı, merkezi kabın dışında olan bir nokta etrafında çevirirsek, kap içindeki sıvı, ataletinden dolayı, Şekil 3.7deki gibi dönüş yönünün tersi istikamette bir hareket alır. Bu dönme etkisi (circulation effect) eylemsizliği olarak tanımlanır.



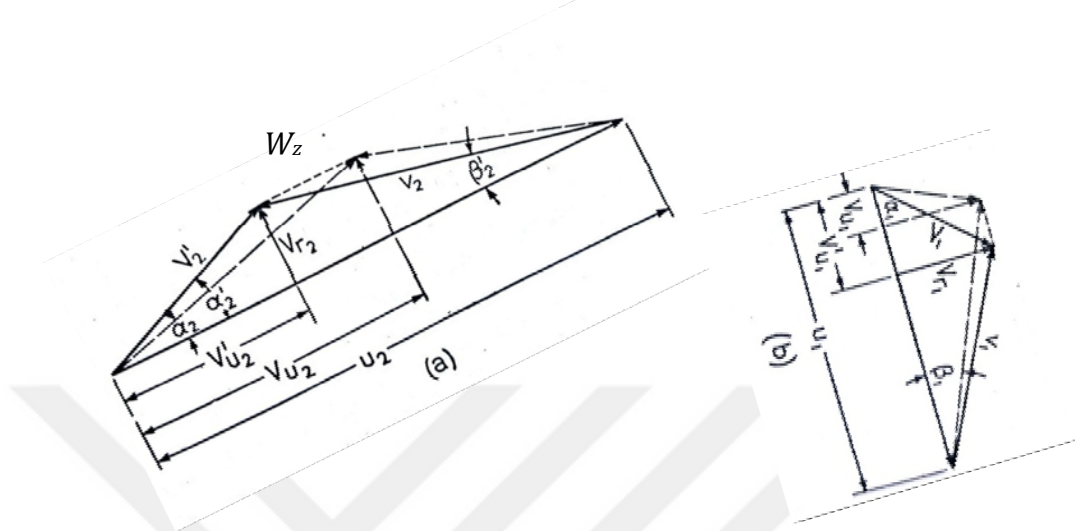
Şekil 3.7. Dönme Etkisi (Church, 1947)

Şekil 3,8 deki üstteki iki kanat arasındaki bölgedeki “Düz Akış” ile gösterilen vektörler akışkanın bu kanatlar arasındaki dönme etkisi olmayan hareketini göstermektedir. “Dönme Akışı” ile gösterilen vektör ise alttaki iki kanat arasında kalan bölgedeki dönme etkisini açıklayan vektördür. Birleşim akışı ise düz akış ve dönme akışının bileşke vektörleridir.



Şekil 3.8. Dönme Akışı, Düz Akış ve Birleşimi (Church, 1947)

Çark giriş ve çıkış bölgelerinde meydana gelen hız üçgenleri Şekil 3.8’de gösterilen dönme etkisi ile değişime uğrayacaklardır. Değişikliğe uğrayan hız üçgenleri Şekil 3,9 ’da gösterilmiştir



Şekil 3.9. Dönme Etkisi İle Değişen Hız Üçgenleri (Church, 1947)

Burada  $u_2$  ifadesi ile temsil edilen düz çizgiler (kesikli olmayan çizgiler), dönme etkisinden dolayı oluşan kayma ile değişen gerçek hızları göstermektedir. Stodola'ya göre hız üçgeninde  $V_{u2}$  teğet çıkış hız vektörü, bahsettiğimiz dönme etkisinden dolayı  $W_z$  kadar azalır. Bu miktar ise aşağıdaki formülle bulunur (Stodola, 1945).

$$W_z = \frac{\pi u_2 \sin \beta_2}{z} \quad (3.1)$$

Burada  $u_2$  çark çıkışındaki teğet hızı,  $z$  kanat sayısını ve  $\beta_2$  de kanat çıkış açısını göstermektedir.

Bu formül daha sonra Kearton'ın (Kearton, 1942) deneyleri ile de (çarkın dönme etkisi ile hız üçgenlerinde değişimin var olduğu) doğrulanmıştır. Bu ve bunlar gibi diğer kayıplar (sürtünme, türbülans, disk sürtünmesi, kaçak kayıpları, mekanik kayıplar vb.), tasarım metodoloji sırasında hesaba katılacaktır.

### 3.3 Tasarım Metodolojisi

Tasarım metodolojisi 6 adımdan oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla; çark tasarımı, salyangoz tasarımı, kayıplar (hidrolik kaybı, sızıntı kaybı ve güç kayıpları) , verimlilikler, fanı çevirmek için gerekli ideal şaft gücü ve şaft çapı hesabından oluşmaktadır (Church, 1947).

#### 3.3.1 Çark tasarımı

Hacimsel debi sabitken sıcaklık ve basınca bağlı olarak yoğunluk değişeceği için kütsel debi de buna bağlı olarak değişir. Yoğunluğu hesaplamak için termodinamiğin 1. yasasındaki ideal gaz denklemi kullanılarak havanın yoğunluğu,

$$\rho_{atm} = \frac{P_{atm}}{RT_{atm}} \quad (3.2)$$

formülü ile hesaplanır. Burada;

$P_{atm}$  : Atmosfer basıncı [Pa]

$R$  : Evrensel gaz sabiti [ J/K/mol]

$T_{atm}$  : Atmosfer basıncındaki akışkanın Kelvin cinsinden sıcaklığıdır. [K]

Daha sonra havanın fana giriş şartlarındaki ve çıkış şartlarındaki hal durumlarına göre akışkanın sıkıştırılabilirlik etkisi hesaplanacaktır.

##### 3.3.1.1 Kanat iç taksimat dairesi ve giriş çapı

Akışkan çark içerisinde içten dışarıya doğru giderken kanata ilk değdiği noktanın çark merkezinden olan uzaklığına sahip daireye iç taksimat dairesi, akışkanın kanattan ayrıldığı noktanın merkeze uzaklığına da dış taksimat dairesi denir.

Emiş tarafındaki akış hızına dik kanal kesit hızı ( $V_{kanal}$ ) için bir öngörü yapılır ve fanın istenilen debideki süreklilik denklemi kullanılarak emiş kanal kesitinin çapı şu şekilde hesaplanır.

$$Q = \frac{\pi D_{\text{kanal}}^2}{4} V_{\text{kanal}} (3.3)$$

Burada;

$D_{\text{kanal}}$  : Kanal giriş çapını [m]

$V_{\text{kanal}}$  : Akışkanın kanal girişindeki hızını [m/s]

$Q$  : Akışkanın giriş debisini [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] göstermektedir. Emiş kesit çapı ise buradan

$$D_{\text{kanal}} = \sqrt{\frac{4 Q}{\pi V_{\text{kanal}}}} (3.4)$$

şeklinde bulunur. Çark girişindeki basma yüksekliğini bulmak için havanın bu bölgedeki toplam enerji içerisindeki kinetik enerjisini kullanırız. Bunun için Bernouilli denkleminde basınç ve yükseklik farklarını çıkartırsak

$$H = \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2g} + z \Rightarrow H = \frac{V^2}{2g} (3.5)$$

hız yükü kalır. Pratikte genellikle çark giriş çapı (Şekil 3.5) kanal giriş çapına eşittir ve dolayısıyla kanal hızı ( $V_{\text{kanal}}$ ) ile çark giriş hızları ( $V_{\text{giriş}}$ ) aynı olur.

$$V_{\text{giriş}} = V_{\text{kanal}}$$

Şimdi çark girişindeki havanın metre su sütunu birimi şeklindeki enerjisi;

$$H_{\text{giriş}} = \frac{V_{\text{giriş}}^2}{2g} (3.6)$$

olarak bulunur. Çark girişindeki Mutlak Statik Basınç:

$$P_{\text{giriş}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{statik}} (3.7)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada

$P_{atm}$ : atmosfer basıncını

$P_{statik}$  : statik basıncı göstermektedir. Basınç oranlarını  $\epsilon_p$  ile tanımlarsak çark giriş basıncının atmosfer basıncına oranı şu şekilde olur,

$$\epsilon_{pgiriş} = \frac{P_{giriş}}{P_{atm}} \quad (3.8)$$

Karakteristik gaz formülü;

$$PV = WRT(3.9)$$

Burada

P: Mutlak basınç [Pa]

V: Hacim [m<sup>3</sup>]

W: Gazın ağırlığı [g]

R: Gazın içeriğine göre sabit [ J/K/mol]

T : Mutlak sıcaklıktır. [K]

R değeri, %36 nem ve 68<sup>0</sup> F sıcaklık için genellikle 53,34 alınmaktadır (Church, 1947).

Fanda yapılacak iş (w), sabit hacimde sıkıştırılarak arttırılan basınç ile olacağından şu eşitlikle gösterilir;

$$w = - \int_a^b v dP \quad (3.10)$$

İzantropik (sabit entropi, ısı transferi yok) hal değişimi için

$$Pv^k = C = \text{sabit}(3.11)$$

formülü kullanılır. Burada

$$k = \frac{c_p}{c_v} \quad (3.12)$$

$c_p$  , sabit basınçtaki özgül ısı [J/g/K]

$c_v$  , sabit hacimdeki özgül ısıyı [J/g/K]

$P$  , statik basıncı, [Pa]

$v$  , akışkan hızını [m/s]

$C$  , herhangi bir sabit sayıyı gösterir. [-]

Amerika Makine Mühendisliği Birliği santrifüj kompresörler standardında %36 nemli ve 68° F de hava için

$$k=1,3947 \quad (3.13)$$

alınmıştır (Church, 1947). a ilk hal durumu ve b ikinci hal durumu olmak üzere iki durumu eşitlersek formül (3.11) uyarlanırsa

$$P_b V_b^k = P_a V_a^k \quad (3.14)$$

halini alır. Eşitlik (3.9) ve (3.14) den;

$$P_b = P_a \left( \frac{V_a}{V_b} \right)^k = \frac{WRT_b}{V_b} \quad (3.15)$$

$$V_b = V_a \left( \frac{P_a}{P_b} \right)^{\frac{1}{k}} = \frac{WRT_b}{P_b} \quad (3.16)$$

formülleri bulunur. Yine eşitlik (3.9) dan;

$$\frac{P_a V_a}{P_b V_b} = \frac{T_a}{T_b} \Rightarrow T_b = \frac{T_a P_b V_b}{P_a V_a}$$

çıkartılır. Şimdi  $V_b$  yerine eşitlik (3.16) konursa;

$$T_b = \frac{T_a P_b V_a \left(\frac{P_a}{P_b}\right)^{\frac{1}{k}}}{P_a V_a} = T_a \left(\frac{P_b}{P_a}\right) \left(\frac{P_a}{P_b}\right)^{\frac{1}{k}} = T_a \left(\frac{P_b}{P_a}\right) \left(\frac{P_b}{P_a}\right)^{-\frac{1}{k}} = T_a \left(\frac{P_b}{P_a}\right)^{1-\frac{1}{k}}$$
$$T_b = T_a \left(\frac{P_b}{P_a}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (3.17)$$

bulunur. Eşitlik (3.13) ile;

$$\frac{k-1}{k} = 0,283 \quad (3.18)$$

hesaplanır ve böylelikle (3.17) eşitliği aşağıdaki hali alır;

$$T_b = T_a \left(\frac{P_b}{P_a}\right)^{0,283}$$

Şimdi a halini atmosfer basıncındaki durum ve b halini de çark girişindeki durum olarak kabul edersek (Şekil 3.5.);

$$T_{giriş} = T_{atm} \left(\frac{P_{giriş}}{P_{atm}}\right)^{0,283} \quad (3.19)$$

yazılır ve (3.8) numaralı eşitlik yerine yazılırsa çark giriş sıcaklığımız (3.19) denkleminde şu şekilde bulunur;

$$T_{giriş} = T_{atm} (\epsilon_{pgiriş})^{0,283} (^\circ K) \quad (3.20)$$

Şimdi çark girişindeki (Şekil 3.5) havanın yoğunluğu aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$\rho_{\text{giriş}} = \frac{P_{\text{giriş}}}{R T_{\text{giriş}}} \text{ (Kg/m}^3 \text{ )} \quad (3.21)$$

Yukarıdaki denklemleri kullanarak çark girişindeki hacimsel debiyi bulalım;

$$\dot{m} = Q_{\text{giriş}} \cdot \rho_{\text{giriş}} \text{ (kg/s)}$$

$$Q_{\text{giriş}} = \dot{m} / \rho_{\text{giriş}} \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (3.22)$$

burada  $\dot{m}$  kütleli debidir. Çark giriş çapı için ise;

$$Q_{\text{giriş}} = V_{\text{giriş}} \frac{\pi D^2}{4}$$

formülünden

$$D_{\text{giriş}} = \sqrt{\frac{4}{\pi}} \times \sqrt{\frac{Q_{\text{giriş}}}{V_{\text{giriş}}}} \quad (3.23)$$

bulunur.

### 3.3.1.2 Kanat giriş parametreleri

Kanat giriş çapı, (Şekil 3.5 teki 1 sayısı ile gösterilen çap) ( $D_1$ ), giriş dairesinden bir miktar fazla seçilir (Church, 1947);

$$D_1 = 1.02 D_{\text{giriş}} \quad (3.24)$$

Kanat girişindeki çevresel teğetsel hız

$$u_1 = \frac{\pi D_1 N}{60} \quad (3.25)$$

dır. Burada  $u_1$  kanat girişindeki çevresel teğetsel hız,  $D_1$  kanat giriş çapı,  $N$  çark devrini göstermektedir. Şimdi kanat radyal giriş hızı  $V_1$ ,  $V_{giriş}$  den % 5 fazla alınarak hesaplanır (Church, 1947).

$$V_1 = V_{r_1} = 1.05 * V_{giriş} \quad (3.26)$$

Çarkın girişine dik girdiği varsayılan akışkan yine kanata da 90' lik bir açıyla girdiği varsayıldığında yani  $\alpha_1$  açısı 90' kabul edildiğinde kanat girişindeki hız üçgeninden;

$$\tan \beta_1 = \frac{V_{r_1}}{u_1} \quad (3.27)$$

yazılır ve  $\beta_1$  açısı dik üçgenden hesaplanır. Daha sonra bu değer, girişteki akış kırılmalarını göz önüne almak için 3% arttırılarak hesaplarda kullanılır (Church, 1947). Şimdi  $\alpha_1 = 90'$  kabulüyle kanat giriş bağıl hızı Şekil 3.6 daki üçgene göre şu formülle hesaplanır;

$$v_1^2 = u_1^2 + V_1^2$$

$$v_1 = (u_1^2 + V_1^2)^{\frac{1}{2}} \quad (3.28)$$

Kanat giriş alanı ( $A_1$ ) hesaplanırken, sızıntı kayıpları yüzünden hacimsel debi ( $Q_{giriş}$ ) 3% arttırılır (Church, 1947). Böylelikle çark kanat alanı şu şekilde hesaplanır;

$$A_1 = \frac{1.03 \times Q_{giriş}}{V_1} \quad (3.29)$$

Kanat giriş alanındaki kanat kalınlıklarını düşünerek bir kalınlık düzeltme faktörü ( $\xi_1$ ) tanımlamak için kanat giriş alanından kanat kalınlıklarının alanlarını çıkarırsak:

$$A_1 \acute{\epsilon}_1 = A_1 - \frac{t}{\sin \beta_1} b_1 Z \quad (3.30)$$

Burada

$\acute{\epsilon}_1$ : Kanat giriş alanı kalınlık düzeltme faktörü

$D_1$ : Kanat giriş çapı [m]

$b_1$ : Kanat giriş genişliği [m]

$t$ : Kanat kalınlığı [mm]

$\beta_1$ : Kanat giriş açısı [°]

$Z$ : Kanat adedidir.

Şimdi eşitlik (3.30) dan  $\acute{\epsilon}_1$ 'i çekersek;

$$\acute{\epsilon}_1 = \frac{A_1}{A_1} - \frac{tb_1 Z}{\sin \beta_1 A_1} = 1 - \frac{tb_1 Z}{\sin \beta_1 (\pi D_1 b_1)} = 1 - \frac{t Z}{\sin \beta_1 \pi D_1} \quad (3.31)$$

Yeni tasarımlarda genellikle ilk iterasyon için tahmini olarak bir kanat kalınlığı seçilir ve diğer iterasyonlarda bu rakam güncellenir. Biz ise burada mevcut bir fana göre tasarım yaptığımız için kanat kalınlığını (6 mm olarak) bir kez sabit seçeriz. Kanat adedi, "Z" de, CBC fanı ile aynı seçilecektir (10 adet).

Şimdi  $\acute{\epsilon}_1$  kullanarak net alanımızı ( $A_1$ ) hesaplayalım;

$$A_1 = b_1 \pi D_1 \acute{\epsilon}_1$$

formülünden

$$b_1 = \frac{A_1}{\pi D_1 \acute{\epsilon}_1} \quad (3.32)$$

çekilerek bulunur.

### 3.3.1.3 Çark çıkış parametreleri

Çarkın girişi ve çıkışı (Şekil 3.5 de "Giriş" ve "2") arasında yapılan işten yola çıkarsak, eşitlik (3.9), (3.10) ve (3.11) dikkate alınır ve eşitlik (3.10) daki a ve b sırasıyla "giriş" ve "2" durumları olarak kabul edilip integrali çözülürse (Çengel ve Boles, 1996);

$$w = \frac{kR(T_{giriş} - T_2)}{k - 1} = \frac{kRT_{giriş}}{k - 1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_{giriş}} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right] \quad (3.33)$$

bulunur. Bu işi giriş hacmine bölersek çark boyunca oluşturulan adyabatik basma yüksekliğini ( $H_{ad}$ ) buluruz.

$$\frac{w}{v_{giriş}} = H_{ad} \quad (3.34)$$

Eşitlik (3.9) dan "v" yi çekerek eşitlik (3.33) ve (3.34) de yerine koyarsak;

$$\begin{aligned} \frac{w}{v_{giriş}} = H_{ad} &= \frac{\frac{kRT_{giriş}}{k - 1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_{giriş}} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right]}{\frac{RT_{giriş}}{P_{giriş}}} \\ &= \frac{P_{giriş}}{k - 1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_{giriş}} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right] \end{aligned} \quad (3.35)$$

bulunur. Basınç oranları

$$\epsilon_{p_{çark}} = \frac{P_2}{P_{giriş}} \quad (3.36)$$

olarak tanımlanır ve eşitlik (3.18), (3.34) ve (3.35) ile formül aşağıdaki hali alır;

$$H_{ad} = \frac{RT_{giriş}}{0,283} \left[ \epsilon_{p_{çark}}^{0,283} - 1 \right] \quad (3.37)$$

Enerji transferi ile çarkta oluşturulan toplam basınç yüksekliği:

$$H_{ad} = \frac{K' u_2^2}{g} \quad (3.38)$$

dir (Church, 1947). Burada

$$u_2 = \frac{\pi D_2 N}{60} \quad (3.39)$$

olarak yazılır. Eşitlik (3.38) ve (3.39) da

$H_{ad}$ : çarkta oluşturulan adyabatik basma yüksekliği [m]

$u_2$ : çarkın kanat çıkıştaki hızı [m/s]

$D_2$ : çarkın dış çapı [m]

$N$ : devir sayısını göstermektedir.  $K'$  katsayısı ise çark içerisinde oluşan sürtünme ve türbülansları hesaba katmak için kullanılmıştır. Church bu değeri deneylerle 0,5 ile 0,65 sayıları arasında bulmuştur. Biz ise çarkın çıkış çapını hesaplarken  $K'$  değerini başlangıçta 0,6 kabul ederek kullanacağız.

Enerji transferi ile çarkta oluşturulan toplam adyabatik basınç yüksekliği ( $H_{ad}$ ) değerinden çarkın çıkış çapını hesaplamaya çalışalım. Çıkış bölgesindeki teğetsel hız ( $u_2$ ) değerini ( $H_{ad}$ ) formülü içerisine koyalım ve buradaki  $K'$  faktörünü de 0,6 kabul ederek çarkın çıkış çapı  $D_2$  değerini bulalım;

$$H_{ad} = \frac{K'}{g} \left( \frac{\pi D_2 N}{60} \right)^2$$
$$D_2 = \frac{60}{\pi N} \sqrt{\frac{g(H_{ad})}{K'}} \quad (3.40)$$

Böylelikle de  $u_2$  'yi şu şekilde buluruz;

$$u_2 = \frac{\pi D_2 N}{60} \quad (3.41)$$

Radyal çıkış hızı ( $V_{r2}$ ), çark boyunca ani hız değişimlerinden dolayı giriş hızından ( $V_{r1}$ ) 15% küçük alınacaktır (Church, 1947). ( $V_{r2} = 0.85 V_{r1}$ )

Şimdi  $V_{u2}$  yi bulmak için;

$$V_{u2} = u_2 - \frac{V_{r2}}{\tan \beta_2} \quad (3.42)$$

eşitliğini kullanırız. Dönüş etkisinin kaybını da hesaba katarak (slip:kayma) Stodola'nın kayıp formülünü  $V_{u2}$  den çıkartırsak kayıplı teğet çıkış hızı;

$$V'_{u2} = V_{u2} - W_z$$

$$V'_{u2} = V_{u2} - \frac{\pi u_2 \sin \beta_2}{z} \quad (3.43)$$

bulunur. Şimdi Şekil 3.9 daki hız üçgeninde düz çizgilerin dönme etkisi ile değişen vektörler olduğu hatırlanırsa (kayıplı hızlar, üs işareti olan harflerle temsil edilenler), çıkıştaki mutlak hızlar ( $V'_2, v_2$ ) ve açılar ( $\alpha'_2$ ) sırasıyla,

$$V'^2_2 = V_{r2}^2 + V'^2_{u2}$$

kayıplı bağıl çıkış hızı (relative velocity with slip )  $V'_2$  ;

$$V'_2 = \sqrt{V_{r2}^2 + V'^2_{u2}} \quad (3.44)$$

ve

$$v_2^2 = V_{r2}^2 + (u_2 - V_{u2})^2$$

$$v_2 = \sqrt{V_{r_2}^2 + (u_2 - V_{u_2})^2} \quad (3.45)$$

son olarak da

$$\tan \alpha'_2 = \frac{V_{r_2}}{V_{u_2}} \quad (3.46)$$

formüllerinden bulunur. Daha sonra da çark tarafından oluşturulan ve sürtünme, dönme etkisi ve türbülansın arındırılmış teorik basma yüksekliği

$$H_{\text{teorik}} = \frac{1}{2g} (u_2^2 - u_1^2 + v_1^2 - v_2^2) \quad (3.47)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada

$$\frac{u_2^2 - u_1^2}{2}$$

merkezkaç etkiden doğan basma yüksekliği

$$\frac{v_1^2 - v_2^2}{2}$$

bağıl hız etkisinden dolayı doğan basma yüksekliğidir. Teorik basıncın %15 ini çark içerisindeki dönme etkisi, sürtünme ve türbülansın etkisiyle kaybeder (Church, 1947). Böylelikle

$$H_{\text{etkin}} = 0,85 H_{\text{teorik}} \quad (3.48)$$

formülüyle etkin basma yüksekliği bulunur. Çark çıkış basıncı bu etkin basma yüksekliğine bağlı olduğu için eşitlik (3.37) kanat giriş ve çıkışı için (Şekil 3.5 , "Giriş" ve "2" ) tekrar düzenlenir;

$$\left( \epsilon_{P_{\text{çark}}}^{0.283} - 1 \right) = \frac{0.283 \text{ g}(H_{\text{etkin}})}{RT_{\text{giriş}}} \quad (3.49)$$

Burada  $\epsilon_{P_{\text{çark}}}$  çark girişi ve çark çıkışı arasındaki etkin basınç oranıdır. Bu orandan  $P_2$  aşağıdaki gibi bulunur;

$$\epsilon_{p_{\text{çark}}} = \frac{P_2}{P_{\text{giriş}}} \Rightarrow P_2 = \epsilon_{p_{\text{çark}}} \times P_{\text{giriş}} \quad (3.50)$$

Şimdi akışkanın çark çıkışındaki yoğunluğunu oradan da kanat çıkış yüksekliğini bulmaya çalışalım.

Sürtünme ve türbülans kayıpları ısıya çevrildiği içi bu, akışkanın sıcaklığını bir miktar arttırır. Kayıpları ihmal edersek, çark çıkış sıcaklığı, çarktaki adyabatik basınç oranında artar. Eşitlik (3.48) ye adyabatik basma yüksekliğini uyguluyoruz ve  $\epsilon_{P_{\text{çark}}}^{0.283}$  değerini hesaplarız:

$$\left( \epsilon_{P_{\text{çark}}}^{0.283} - 1 \right) = \frac{0.283 \text{ g}(H_{\text{ad}})}{RT_{\text{giriş}}} \quad (3.51)$$

Çıkış sıcaklığını bulmak için de formül (3.20) den  $T_2$  hesaplanır:

$$T_2 = \epsilon_{P_{\text{çark}}}^{0.283} \times T_{\text{giriş}} \quad (3.52)$$

Akışkanın çark çıkışındaki yoğunluğu ise,

$$\rho_2 = \frac{P_2}{RT_2} \quad (3.53)$$

formülü ile bulunur. Çarka giren debi  $Q_{giriş}$ , ve çıkan  $Q_{çıkış}$  olmak üzere, %3 kaçak kayıplarını hesaba katarak çark çıkışındaki akışı %3 arttırırsak (Church, 1947) çıkıştaki hacimsel debiyi,

$$Q_{çıkış} = 1.03 \times Q_{giriş} / \rho_2 \quad (3.54)$$

şeklinde buluruz. Çark çıkış alanı ise buradan ,

$$A_2 = \frac{Q_{çıkış}}{V_{r_2}} \quad (3.55)$$

olarak hesaplanır. Çıkış kanat kalınlık faktörü ise eşitlik (3.30) dan

$$\acute{e}_2 = 1 - \frac{tZ}{\sin \beta_2 \pi D_2} \quad (3.56)$$

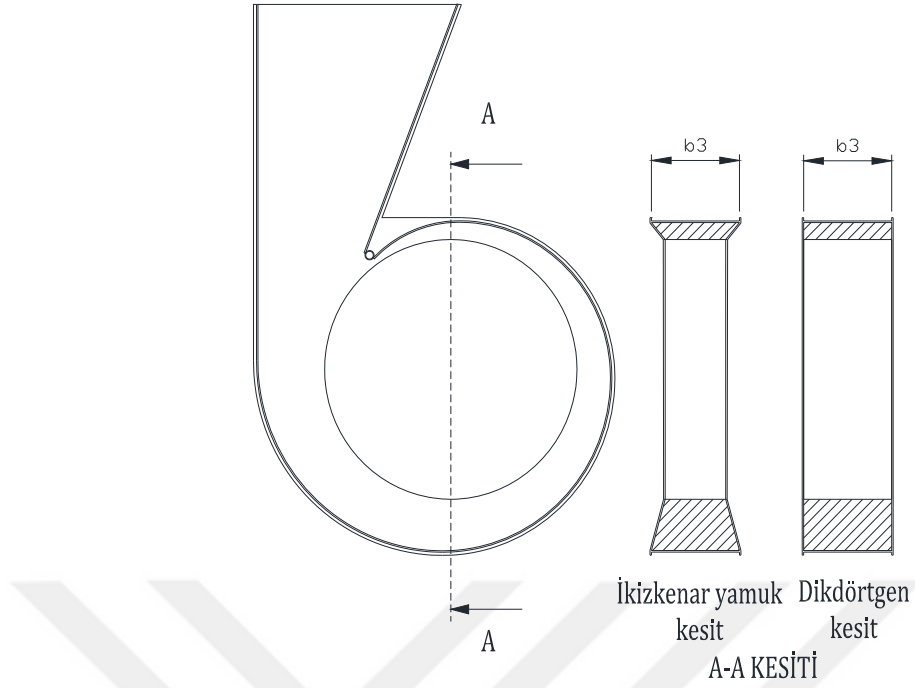
ile bulunur. Son olarak buradan kanat çıkış yüksekliği  $b_2$

$$b_2 = \frac{A_2}{\pi D_2 \acute{e}_2} \quad (3.57)$$

formülü ile hesaplanır.

### 3.3.2 Salyangoz tasarımı

Church, ikizkenar yamuk (Trapezoidal) şeklinde bir salyangoz şekli önermiştir. Yalnız imalat ve hesap kolaylığı açısından burada dikdörtgen keside sahip bir salyangoz tasarımı tercih edilmiştir (Şekil 3.10).

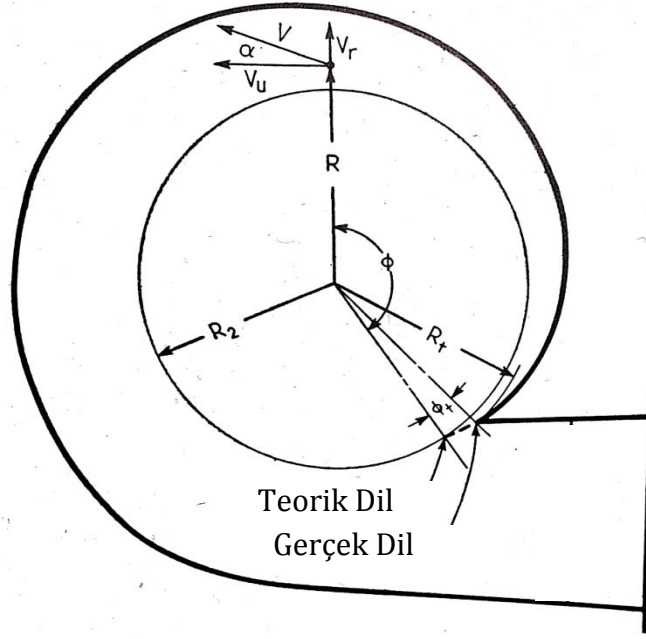


Şekil 3.10. Salyangoz Kesiti

$b_3$  ü salyangoz sırt eni olarak alır ve tüm kesit boyunca sabit kabul edersek  $b_3$  'ü

$$b_3 = 3 \times b_2 \quad (3.58)$$

formülü ile buluruz (IS 4894, 1987). Buradaki  $b_2$  kanatın çıkış genişliğini göstermektedir. Tasarım gereği salyangozun kesit alanı salyangozu çevreleyen çevre açığa bağlı olarak değişmektedir. Şekil 3.11 de gösterilen salyangoz içerisinde geçen akışkanın hacimsel debi değerinin sabit olduğunu düşünerek herhangi bir  $\phi$  açısında salyangoz kesit alanı aşağıdaki şekilde hesaplanır.



Şekil 3.11. Salyangozdaki Hızlar ve Dil Açısı (Church, 1947)

Pervane çıkış yarıçapı  $R_2$  ile yine pervane çıkışındaki dönme etkisi dahil edilen  $V'_{u2}$  teğet hızı çarpımını bir  $C$  katsayısı ile sabit tutarak (Church, 1947)

$$V'_{u2} R_2 = C \quad (3.59)$$

olarak gösterilir.

$$V_u \times R = C \quad (3.60)$$

formülü ile de salyangozun herhangi bir yarıçaptaki hız değeri bulunur. Ayrıca  $\phi$  açısında salyangoz içerisinden geçen hacimsel debiye  $Q_\phi$  dersek;

$$Q_\phi = Q \times \left( \frac{\phi}{360} \right) \quad (3.61)$$

bulunur.  $Q_\phi$  debisinden geçen hız için

$$V_u = C/R \quad (3.62)$$

formülünü kullanırız.

Salyangoz içerisinde ilerleyen akışkanın kesit alanı değiştiğinden dolayı akışkanlar mekaniğinden bilinen kavrama göre, değişken kesit alanına oranla hacimsel debi formülü aşağıdaki gibi yazacak olursak;

$$dQ_{\phi} = dA V_u (3.63)$$

$$dQ_{\phi} = b_3 dR \left(\frac{c}{R}\right) (3.64)$$

$b_3$  salyangoz eni olmak üzere bu formülün integralini alalım.

$$Q_{\phi} = \int_{R_2}^{R_{\phi}} dQ = C \int_{R_2}^{R_{\phi}} \frac{b_3 dR}{R} \quad (3.65)$$

İntegral sınır değerindeki  $R_{\phi}$ ,  $\phi^{\circ}$  açısındaki salyangoz kesitimizin dış yarıçapını göstermektedir. Şimdi  $Q_{\phi}$  yerine  $Q \times (\phi/360)$  yazıldığında ve formülde  $\phi$  çekildiğinde konum açısı formülü şu şekilde olur;

$$\phi^{\circ} = \frac{360 C}{Q} \int_{R_2}^{R_{\phi}} \frac{b_3 dR}{R_i} = \frac{360 R_2 V'_{u_2}}{Q} \int_{R_2}^{R_{\phi}} \frac{b_3 dR}{R_i} \quad (3.66)$$

Formül çizelge halinde çözüm için aşağıdaki şekli alır ve adım adım excel tablosuna yazılarak hesaplanacaktır.

$$\phi^{\circ} = \frac{360 R_2 V'_{u_2}}{Q} \sum_{R_2}^{R_{\phi}} \frac{b_3 \Delta R}{R_i} \quad (3.67)$$

$\phi^{\circ} = 360$  e kadar bulunan kesit alanı ortalama hızları,

$$V_{ort} = Q_{\phi} / A (3.68)$$

formülü ile, seçilen açı aralığındaki ortalama yarıçaplar da iki iterasyonun ortalaması alınarak

$$R_{ort} = (R_{\phi} + R_{\phi+\Delta\phi})/2 \quad (3.69)$$

formülü yardımı ile çizelgede hesaplanmış olur. Son olarak salyangoz boğaz yarıçapı ve açısı (salyangozun çarka en yakın bölgesi) da sırasıyla (Church, 1947);

$$R_t = 1.075 R_2 \quad (3.70)$$

$$Q_t = 132 \log \left( \frac{R_t}{R_2} \right) / \tan \alpha_2 \quad (3.71)$$

formülleri ile bulunur.

### 3.3.3 Kayıplar

#### 3.3.3.1 Sızıntı kayıpları

Çark ve salyangoz gövdesi arasında kalan boşluklarda oluşan sızıntılar bir miktar kayba sebep olur ve %3 lük bir kayıp aşağıdaki gibi hesaplanır (Church, 1947).

$$Q_S = 0,03 \times Q_{giriş} \quad (3.72)$$

#### 3.3.3.2 Emme basıncı kaybı

Çark girişindeki sürtünme ve türbülansa bağlı kayıplar;

$$dP_{emiş} = \frac{1}{2} \times k_i \times \rho_{giriş} \times V_{giriş}^2 \quad (\text{Osborne, 1977}) \quad (3.73)$$

Burada  $k_i$  kayıp katsayısı 0,5 ile 0,8 arasında seçilir (Osborne, 1977). Bu çalışmada 0,8 alınacaktır.

### 3.3.3.3 Çark basıncı kaybı

$$dP_{\text{çark}} = k_{ii} \times \frac{1}{2} \times \rho_{\text{giriş}} \times (W_1 - W_2')^2 \quad (\text{Osborne, 1977})(3.74)$$

Burada da tasarımda kullanılan kanatlar sacdan olduğu için  $k_{ii}$  0,2-0,3 arası seçilir (Osborne, 1977).

### 3.3.3.4 Salyangoz basınç kayıpları

$k_{iii}$  ise tasarım koşullarına göre değişmekle beraber 0,4 alınabilir (Osborne, 1977).

$$dP_{\text{saly}} = k_{iii} \times \frac{1}{2} \times \rho_2 \times (V_2' - V_4)^2 \quad (3.75)$$

### 3.3.3.5 Disk sürtünme kaybı

$$T_{df} = \pi f \rho \omega_2^2 \frac{R_2^5}{5} = \pi f \rho_2 (U_2/R_2)^2 \frac{R_2^5}{5} \quad (\text{Osborne, 1977}) (3.76)$$

Burada  $f$  : sürtünme katsayısı [-]

$\rho$  : akışkan yoğunluğu [ $\text{kg/m}^3$ ]

$\omega_2$  : çarkın açısal hızı [ $\text{rad/s}$ ]

$R_2$  : Çarkın dış yarıçapı [ $\text{m}$ ]

$U_2$  : çarkın çıkış tepetsel hızıdır [ $\text{m/s}$ ]

Malzeme sürtünme katsayısı  $f$ , çelik saclar için 0,005 alınır. Böylelikle disk sürtünme dolayısıyla oluşan güç kaybı;

$$P_{df} = \frac{2\pi N(T_{df})}{60} \quad (3.77)$$

olarak bulunur (Osborne, 1977).

### 3.3.4 Verimlilikler

#### 3.3.4.1 Hidrolik verimlilik ( $\eta_{hid}$ )

$$\eta_{hid} = \frac{\Delta P}{\Delta P + dp_{emiş} + dp_{perv} + dp_{saly}} \text{ (Church, 1947)} \quad (3.78)$$

#### 3.3.4.2 Hacimsel verimlilik ( $\eta_{hac}$ )

$$\eta_{hac} = \frac{Q}{Q + Q_L} \text{ (Church, 1947)} \quad (3.79)$$

#### 3.3.4.3 Toplam verimlilik ( $\eta_{toplam}$ )

$$\eta_{toplam} = \eta_{hid} \times \eta_{hac} \text{ (Church, 1947)} \quad (3.80)$$

### 3.3.5 Fanı çevirmek için gerekli ideal şaft gücü

$$G = \frac{(\Delta P + dp_{emiş} + dp_{perv} + dp_{saly})(Q_{giriş} + Q_L)}{\eta_{toplam}} + P_{df} \text{ (Church, 1947)} \quad (3.81)$$

Burada

$$\Delta P = p_{çıkış} - p_{giriş}$$

olarak ifade edilebilir. Şimdi tork (N.m) hesaplanmak istenirse;

$$\tau_{df} = \frac{G \times 60}{2\pi \times 2800} \text{ (Church, 1947)} \quad (3.82)$$

### 3.3.6 Şaft çapı

$$D_{\text{şaft}} = \sqrt[3]{\frac{16(T_{\text{df}}) \times \text{Güvenlik Katsayısı}}{\pi \tau}} \quad (\text{Church, 1947}) \quad (3.83)$$



#### 4. FANIN TASARIMI

CBC fanının müşteri tarafından talep edilen değerleri ve aynı zamanda tasarlanacak fanın girdileri aşağıdaki gibidir;

Çıkış Hacimsel Debisi  $Q = 5,14 \text{ m}^3/\text{s}$

Statik Emme Basıncı =  $P_{\text{emiş}} = -13435 \text{ Pa}$

Statik Basma Basıncı =  $P_{\text{basma}} = 0 \text{ Pa}$

Çark Dönüş Hızı =  $2970 \text{ d/d}$

Akışkan (hava) Yoğunluğu =  $1,02 \text{ Kg/m}^3$

Kanat Sayısı = 10

Kanat Çıkış Açısı =  $56,59^\circ$

Giriş Sıcaklığı =  $25 \text{ C}^\circ$

##### 4.1 Hesaplar

Bu bölümde Bölüm 3 deki formüller ve fanın girdi ve değerleri kullanılarak çıkarılan rakamlar, bir "Excel" çalışma sayfasına eklenecektir. Daha sonra kayıpların toplam değeri tasarım basıncına eklenerek yeni iterasyon değerleri bulunacaktır. Aynı şekilde diğer değişkenler de bir sonraki iterasyona yansıtılarak aradaki fark %1 in altına inene kadar iterasyona devam edilecektir. Sonuç olarak çıkan değerler istenilen tasarım değerlerimiz olacaktır.

Tasarlanacak fan, Chicago Blower Corporation (CBC) firmasının AMCA standartlarına göre test edilmiş ve oluşturulmuş ürün gamından seçilmiştir ve yurtdışında (Litvanya) bir un fabrikasında kullanılmak üzere imal edilmiştir. Halen sorunsuz çalışmaya devam etmektedir.

Tasarım girdileri olarak bu fanın seçilmesinin sebebi, bu fanın deney sonuçlarına göre karakteristik eğrisinin çıkarılmış olmasıdır. Yani tasarım girdilerinin sonuçları deneylerle sağlanmış olduğu için kendini kanıtlamış bir fanıdır. Bu fanın HAD sonucu ile Church'ün hesap yöntemi ile tasarlanan fanın HAD sonucu karşılaştırılıp tasarım güncellenerek ideal hesaplama yöntemine ulaşılabilecektir.

Sağlıklı bir karşılaştırma yapabilmek için, buradaki tasarım yönteminin de bize izin verdiği bazı kabuller yapılmıştır. Bunlar

1. Kanat çıkış açısı  $\beta_2$  ( 56,59 °)
2. Akışkanın çark giriş hızı  $V_{giriş}$  (31,6 m/s).

Bu hız, geometrileri daha rahat karşılaştırabilmek için CBC ile aynı giriş çapını sağlayacak şekilde hesaplanmıştır; CBC çarkı giriş çapı 455 mm için giriş hızı;

$$V_{giriş} = Q / (\pi D^2/4) \quad (4.1)$$

formülünden 31,6 m/s çıkar.

Bu değerlere göre kütleli debi,  $\dot{m}$  ise aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$\dot{m} = Q \times \rho_{atm} \quad (4.2)$$

Bölüm 3.2 Kayıplar, Bölüm 3.3 Tasarım metodolojisi ve bu bölümde açıklanan tasarım girdileri, formüller ve varsayılan rakamlarla hesaplanıp, tez sonunda verilen eklerdeki Çizelge A.1 ve A.2 ye işlenmiştir.

#### **4.1.1 Çark tasarımı**

Yukarıdaki kabul edilen verilerle tasarımıımıza Bölüm 3.3.1 Çark tasarımının ilgili alt bölümlerindeki eşitliklerle çarkın girişinden başlayacağız.

##### **4.1.1.1 Çark giriş parametreleri**

Bölüm 3.3.1.1 deki çark girişindeki hızın emme yüksekliği,  $H_{emiş}$  eşitlik (3.6) dan

$$V_{giriş} = 31,6 \text{ m/s}$$

için 50,90 m bulunur.

Çark girişindeki mutlak statik basınç,  $P_{giriş}$ , eşitlik (3.7) den

$$P_{atm} = 101325 \text{ Pa}$$

ve

$$P_{emiş} = 13435 \text{ Pa}$$

ile 87.890 Pa bulunur.

Çark girişindeki basıncın atmosfer basıncına oranı,  $\epsilon_{pgiriş}$  eşitlik (3.8) den, çark girişindeki sıcaklık,  $(T_{giriş})$  eşitlik (3.20) den, buradan da çark girişindeki havanın yoğunluğu,  $\rho_{giriş}$  eşitlik (3.21) den bulunur. Son olarak çark girişindeki hacimsel debi eşitlik (3.22) ile bulunup Ek A daki Çizelge A.1 de verilmiştir.

#### **4.1.1.2 Çark kanat girişi parametreleri**

Artık Bölüm 3.3.1.2 deki çarkın kanat giriş çapından ( $D_1$ ) başlayarak sırasıyla kanat giriş parametrelerimizi hesaplarız (Şekil 3.5). İlk olarak eşitlik (3.24) den  $D_1$  bulunur (0,464 m) ve eşitlik (3.25) den  $u_1$  72,17 m/s olarak Ek A, Çizelge A.1 e yazılmıştır. Daha sonra sırasıyla eşitlik (3.26), (3.27), (3.28), (3.29) ve (3.32) deki değerler Çizelge A.1 de verilmiştir.

#### **4.1.1.3 Çark çıkış parametreleri**

Çarkın çıkış basıncı  $P_{çıkış}$ , atmosfer basıncı olan  $P_{atm}$  ye eşit kabul edilirse ve eşitlik (3.36) kullanılırsa,  $\epsilon_p = 1,1529$  olarak bulunur. Daha sonra çark boyunca oluşturulan adyabatik basma yüksekliğini bulmak için eşitlik (3.37) kullanılır ve bu değer de 1.216,1 m olarak Çizelge A.1 e yazılır.

Çark çıkış çapı olan  $D_2$  ise eşitlik (3.40) ta önceden bulunan  $(H_{ad})$ , tasarım değeri olarak bilinen N devir sayısı ve Bölüm 3.3.1.3 de 0,60 olarak kabul edileceği

açıklanan  $K'$  değeri yerlerine yazılarak 0,90676 m olarak bulunur. Daha sonra eşitlik (3.41) ile  $u_2 = 141,01$  m/s hesaplandıktan sonra

$$V_{r2} = 0,85 V_{r1}$$

formülü ile  $V_{r2} = 28,2$  m/s bulunur.  $V_{u2}$  ise formül (3.42) de tasarım değeri olan 56,59 derecelik kanat çıkış açısı tanjantı ile 122,41 m/s çıkar.

Tasarıma başlamadan önceki kabullerimizden olan kanat çıkış açısı ( $56,59^\circ$ ) ve kanat sayısı (10 adet) Stodola'nın (Stodola, 1945) formülü olan formül (3.1) de yerine konursa  $W_z = 36,98$  m/s bulunur. Şimdi dönüş etkisinden dolayı oluşan kaymayı ( $W_z$ ) mutlak çıkış hızının ( $V_2$ ) teğet izdüşümünden ( $V_{u2}$ ) çıkartarak gerçek mutlak hızın izdüşümünü ( $V'_{u2}$ ) eşitlik (3.43) den 85,43 m/s buluruz.

Mutlak çıkış hızımız  $V'_2$  ise eşitlik (3.44) den 89,96 m/s çıkar. Şimdi sırasıyla eşitlik (3.45), (3.46), (3.47), ve (3.48) ile  $v_2$ ,  $\alpha'_2$ ,  $H_{teorik}$ , ve  $H_{etkin}$  bulunur. Daha sonra eşitlik (3.49) ile 1,0912 hesaplanan  $\epsilon_{P_{\text{çark}}}$  ile eşitlik (3.50) den  $P_2$  95.910,66 Pa bulunur.

Çarkın girişinden çıkışına kadarki bölümde sürtünme ve türbülansların ısıya dönüştürülmesi de hesaba katılırsa, eşitlik (3.51) den  $\epsilon_{P_{\text{çark}}}^{0.283} = 1,041$  bulunur ve bu rakam daha sonra eşitlik (3.52) de yerine konarak  $T_2 = 298,15$  K olarak hesaplanmış olur. Buradan da çark çıkış yoğunluğu,  $\rho_2$ , eşitlik (3.53) den 1,121 kg/m<sup>3</sup> çıkar. Bu yoğunluğa bağlı olarak çıkış debisi  $Q_{\text{çıkış}}$  ise eşitlik (3.54) den 4,818 m<sup>3</sup>/s bulunur. Daha sonra sırasıyla eşitlik (3.55), (3.56), ve (3.57) ile  $A_2$ , kanat kalınlığı 6mm kabul edilerek  $\epsilon_2$ , ve  $b_2$  hesaplanıp Ek A, Çizelge A.1 e, 1. iterasyon kolonuna yazılır.

#### 4.1.2 Salyangoz hesabı

Salyangoz tasarımında ilk olarak sırt enini eşitlik (3.58) ile 184,6 mm buluruz. Daha sonra  $R_2$  den başlayarak  $\Delta R$  kadar arttıracağımız yarıçapa denk gelen açığı bulmak için (3.67) numaralı formül kullanılır;

$$\phi^\circ = \frac{360R_2V'_{u_2}}{Q} \sum_{R_2}^{R_\phi} \frac{b_3 \Delta R}{R_i}$$

$\Delta R$  ın ilk seçimini sezgisel olarak yaparız. Seçeceğimiz bu aralık çok geniş olursa,  $\phi^\circ$  açısının artışı çok olacağı için 360 dereceyi yakaladığında salyangozu daha az aralığa bölmek zorunda kalırız. Eğer  $\Delta R$  çok küçük seçilirse de,  $\phi^\circ$  açısı 360 derecesi çok fazla adımda yakalayacağı için gereğinden fazla zaman harcamış oluruz. O yüzden burada 8 adımlı bir optimum aralığı yakalayacak  $\Delta R$  seçilecektir, bu da yaklaşık olarak 0,038 m dir. Daha sonra bu  $\Delta R$ ,  $R_i$  ye eklenecek ve 8 adım bu şekilde tamamlanacaktır. Şimdi ilk hesapladığımız yarıçap olan ( $R_2$ ) **0,4534 m** den başlarsak ilk adımımız aşağıdaki formülle 0,038 m yi 0,4534 m ye eklemek olur;

$$R_i = R_2 + \Delta R \quad (4.3)$$

Buradan çıkan sonuç ise 0,4914 m dir. Daha sonra formül (3.67) nin paydasındaki  $R_i$  değeri için  $\Delta R$  kadar artan yarıçapların ortalaması denklem (3.69) ile hesaplanır.;

$$R_3 = R_{ort} = (R_i + R_2)/2 \quad (4.4)$$

$R_3$  için çıkan sonuç 0,4724 m olur.  $b_3$  enimiz 184,6 mm ile sabit olduğu için aynen kalır.  $\Delta R$  artışı ile artacak  $\phi^\circ$  açısına da  $\Delta\phi^\circ$  dersek formül (3.67) den;

$$\phi^\circ = \Delta\phi^\circ = \frac{360R_2V'_{u_2}}{Q} \times \frac{b_3 \Delta R}{R_4} \quad (4.5)$$

$\Delta\phi^\circ = 42,97^\circ$  bulunur. Artan kesit alanına;

$$\Delta A = \Delta R \times B_{ort} \quad (4.6)$$

(0,0070 m<sup>2</sup>) karşılık gelen debinin ( $Q \times \phi^\circ/360$ ) bu alana bölünmesi ile de bu aralıktaki ortalama hızı (87,4738 m/s) buluruz;

$$V_{ort} = (Q \times \phi^\circ/360)/\Delta A \quad (4.7)$$

Bu verilerle Ek A, Çizelge A.3 in ilk satırını oluştururuz. Daha sonra adım adım her  $\Delta R$  artışı için işlemler tekrarlanarak ilk iterasyon çizelgemiz Ek A, Çizelge A.3 deki gibi oluşturulmuştur.

Son olarak salyangoz boğaz yarıçapı  $R_t$  ve boğaz açısı  $Q_t$  de sırasıyla formül (3.70) ve (3.71) den hesaplanır ve ilgili çizelgenin 1. iterasyonundaki yerine yazılır.

#### 4.1.3 Kayıplar

Bölüm 3 te tanımlanan tüm kayıplar, verimlilikler, shaft gücü ve shaft çapı ilgili eşitliklerle hesaplanarak Ek A, Çizelge A.1 e yazılmıştır.

#### 4.1.4 2. iterasyon hesapları

Şimdi debi kayıplarını tasarım değerlerine ekleyerek 2. iterasyonumuza devam ederiz ve çıkan sonuçları Çizelge A.1 de iterasyon 2 kolonuna yazarız. İlk olarak 1. iterasyondaki debiye sızıntı kayıpları eklenerek yeni debi aşağıdaki formül ile 5,2942 m<sup>3</sup>/s olarak bulunur.

$$Q_{2.iterasyon} = Q + Q_L \quad (4.8)$$

Kayıplar bölümünde hesapladığımız emiş, çark ve salyangoz basınç kayıplarını toplarız ve önceki statik basınca ekleyerek yenisini buluruz (14.059,8 Pa) ;

$$P_{kayıp} = dp_{emiş} + dp_{çark} + dp_{saly} \quad (4.9)$$

$$\Delta P_{2.iterasyon} = \Delta P + P_{kayıp} \quad (4.10)$$

Artan hacimsel debi için kütleli debi havanın yoğunluğu ile çarpılarak aşağıdaki denklemle tekrar bulunur.

$$\dot{m}_{2.iterasyon} = Q_{2.iterasyon} \times \rho \quad (4.11)$$

Şimdi emiş kanal çapı, değişen debi ile değişeceği için yeni koşullar için şu şekilde hesaplanır:

$$Q_{2.iterasyon} = V_{kanal} (\pi D_{2.kanal.iterasyon}^2 / 4) \quad (4.12)$$

Buradan D çekilirse,

$$D_{2.kanal.iterasyon}^2 = 4 \times Q_{2.iterasyon} / (\pi V_{kanal}) \quad (4.13)$$

Kanal giriş debisi arttığı ve bu da çark kanat giriş debisini arttıracığı için;

$$Q_{giriş,2.iterasyon} = \frac{\dot{m}_{2.iterasyon}}{\rho_{giriş}} \quad (4.14)$$

ile bulunur. Buradan da kanat giriş çapı (4.13) formülü ile güncellenir.

Diğer kanat giriş değişkenleri ise 2. iterasyon için eşitlik (3.26), (3.27), (3.28), (3.29), (3.32), ile bulunur.

Kanat çıkışına geldiğimizde buradaki  $P_{çıkış}$  basıncı aşağıdaki denklemle bulunur;

$$P_{çıkış} = P_{atm} + P_{kayıp} \quad (4.15)$$

Daha sonra sırasıyla Bölüm 4.1.1.3 deki adımlar takip edilerek 2. iterasyon hesapları bitirilir. Bu adımda 1. Ve 2. iterasyon arasındaki farka bakılıp, %1 in

üzerinde çıkması durumunda iterasyona devam edilir. 4. iterasyon sonunda %1 in altında değerlere ulaşılmıştır ve değerler EK A daki Çizelge A.1 deki gibi çıkmıştır. Salyangoz hesabı için de hazırlanan çizelgelerin son iterasyonu (4) ise Ek A, Çizelge A.4 de verilmiştir.

Şimdiye kadar yapılan iterasyon alma işlemini özetlemek gerekirse Bölüm 3.3.1.1, Bölüm 3.3.1.2 ve Bölüm 3.3.1.3 deki ilk yapılan hesaplarda çıkan değerler Çizelge A.1 in iterasyon 1 kolonuna girilmiştir. Bölüm 3.3.1.1 de çark parametreleri yukarıdan aşağıya hesaplama sırasına göre yazılmış, daha sonra Bölüm 3.3.2 deki salyangoz hesaplarının sonuçları girilmiş ve son olarak da Bölüm 3.3.3 de kayıplar ve bunların verimlere etkisi, daha sonra da shaft gücü ve çapı hesaplanmıştır. Salyangoz hesabının ilk iterasyonundan sonra çıkan rakamlar da Ek A, Çizelge A.3 e yazılmıştır.

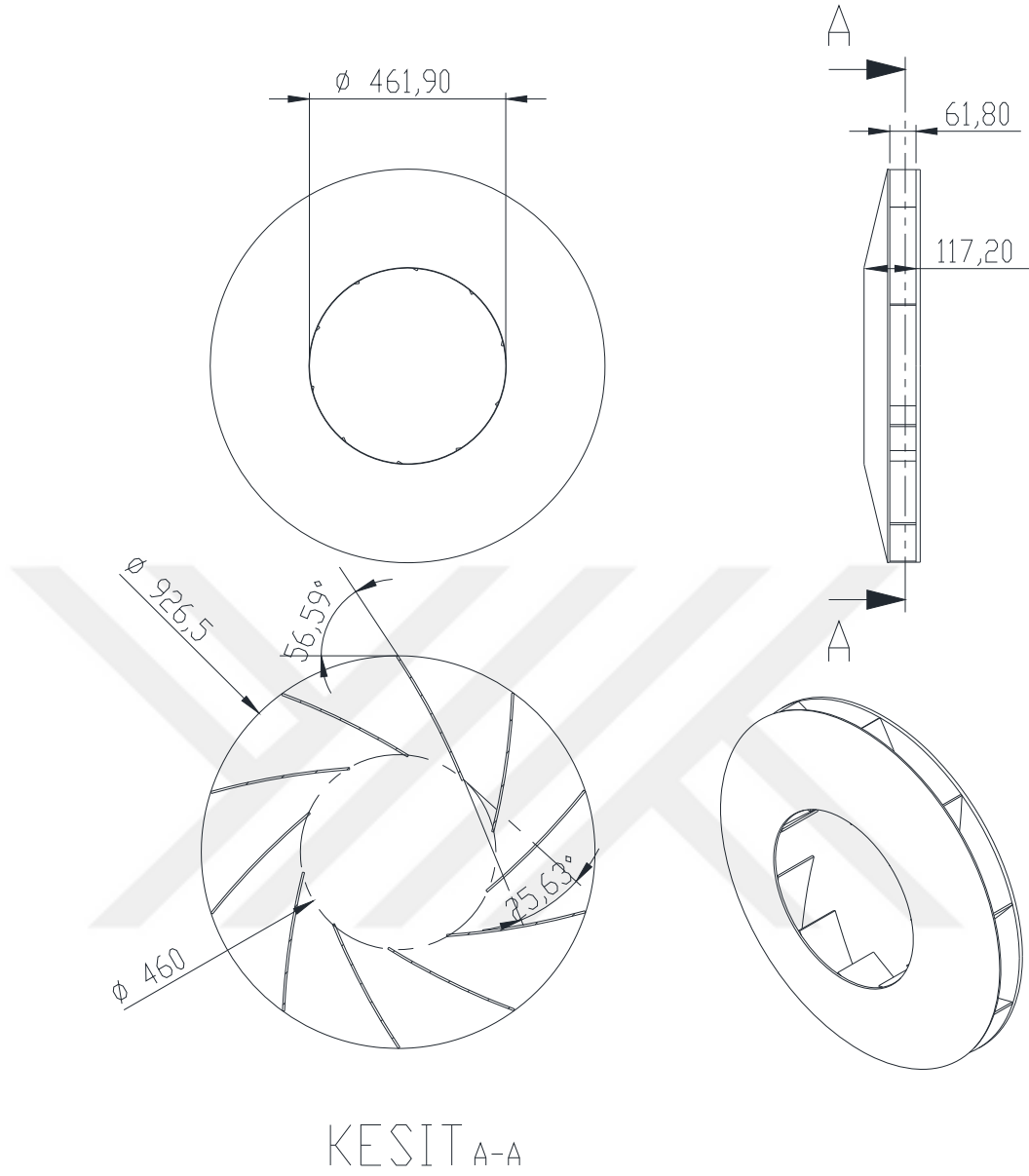
Bölüm 3.3.3 de, tasarım başlangıcında bilinmeyen kayıplar, ikinci iterasyonda tekrar başlangıçtaki değerlere eklenerek hesaplar yeniden tekrarlanmıştır. İkinci iterasyon hesaplarında da ilk olarak hacimsel debi kaybı ( $0,1542 \text{ m}^3/\text{s}$ ) tasarım değerine ( $5,14 \text{ m}^3/\text{s}$ ) eklenmiş ( $5,2942 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ve iterasyon 2 kolonuna yazılmıştır. Daha sonra Bölüm 3.3.3 de hesaplanan kayıplar toplamı ( $625 \text{ Pa}$ ) , başlangıç tasarım statik basıncına ( $13.435 \text{ Pa}$ ) eklenmiş ( $14.060 \text{ Pa}$ ) ve iterasyon 2 kolonunda ilgili yere yazılmıştır. İterasyon 2 kolonundaki diğer tüm hesaplar tekrarlandıktan ve bitirildikten sonra iterasyon 1 ve 2 değerleri arasındaki farka bakılmış, %1 den fazla fark görüldüğü için iterasyon 3 hesaplarına geçilmiştir. Burada da tüm değerlerde %1 den az fark bulunamadığı için aynı işlemler sonraki iterasyon olan iterasyon 4 için de yapıldıktan sonra tüm çıkan rakamların önceki iterasyonla arasındaki farkın % 1 in altına düştüğü görülmüş ve iterasyon 4 sonuçlarına göre salyangoz için olanlar Çizelge A.4 e, tasarım çizimi için olanlar da Çizelge A.1 e geçirilmiştir.

Çizelge A.1 den ortaya çıkan çark çizim değerlerinin özeti ise Çizelge 4.1 de verilmiştir. Başlangıç tasarım değeri olan kanat çıkış açısı ilk satıra yazılmıştır.

Çizelge 4.1 Tasarlanan Church fanı çark çizim çizelgesi

|                        | SEMBOL             | BİRİM |       |
|------------------------|--------------------|-------|-------|
| Kanat Çıkış Açısı      | $\beta_2$          | °     | 56,59 |
| Kanat Giriş Açısı      | $\beta_1$          | °     | 25,63 |
| Giriş Çapı             | $D_{\text{giriş}}$ | mm    | 461,9 |
| Kanat Giriş Çapı       | $D_1$              | mm    | 460   |
| Kanat Çıkış Çapı       | $D_2$              | mm    | 926,5 |
| Kanat Giriş Yüksekliği | $b_1$              | mm    | 117,2 |
| Kanat Çıkış Yüksekliği | $b_2$              | mm    | 61,8  |

Yukarıdaki çizelgede gösterilen değerlere göre çizilen çark kesiti Şekil 4.1 de gösterilmiştir;

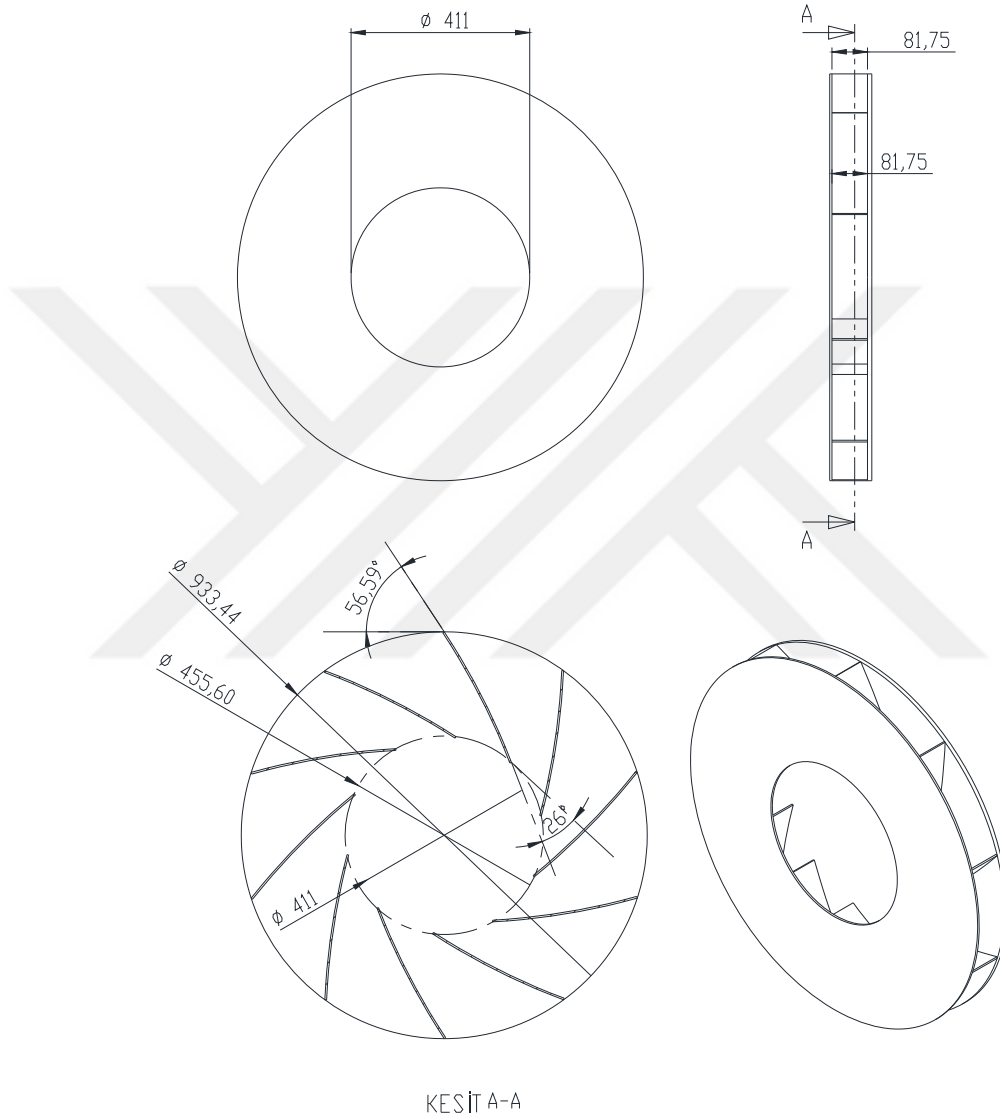


Şekil 4.1. Church yöntemi ile tasarlanan çark çizimi

## 5. TASARLANAN FANIN TEST EDİLMİŞ FAN İLE KARŞILAŞTIRILMASI

### 5.1 Çark Karşılaştırması

Test edilmiş fan (CBC Fanı) çarkının teknik çizimi çarkı Şekil 5.1de verilmiştir.



Şekil 5.1. Test edilmiş fanın (CBC fanı) çark çizimi

Church yöntemi ile tasarlanan Şekil 4.1 deki çark değerleri ile CBC'nın tasarımı olan Şekil 5.1 deki çark değerleri karşılaştırması Çizelge 5.1 de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Church ve CBC çark karşılaştırma çizelgesi

|                        | SEMBOL             | BİRİM | CHURCH | CBC   |
|------------------------|--------------------|-------|--------|-------|
| Kanat Çıkış Açısı      | $\beta_2$          | °     | 56,59  | 56,59 |
| Kanat Giriş Açısı      | $\beta_1$          | °     | 25,63  | 26,0  |
| Giriş Çapı             | $D_{\text{giriş}}$ | mm    | 461,9  | 411,0 |
| Kanat Giriş Çapı       | $D_1$              | mm    | 460,0  | 455,6 |
| Kanat Çıkış Çapı       | $D_2$              | mm    | 926,5  | 933,4 |
| Kanat Giriş Yüksekliği | $b_1$              | mm    | 117,2  | 81,75 |
| Kanat Çıkış Yüksekliği | $b_2$              | mm    | 61,8   | 81,75 |

Kanatların çıkış açıları tasarım başında eşit girildikten sonra kanat iç açıları (iç taksimat dairesindeki açı) neredeyse aynı (26 derece) çıkmıştır. Çark dış çapları Church yönteminde 926,5 mm hesaplanırken, CBC tasarımında 933,44 mm kullanmıştır.

Church yöntemi ile tasarlanan çarkın kanatlarının genişliği çıkış kesitine doğru daralmasına karşın, CBC imalat kolaylığı sağlaması açısından sabit kesiti tercih etmiştir. Kesitleri karşılaştıracak olursak Church tasarımında ortalama,  $(61,8 + 117,2) / 2 = 89,5$  mm iken CBC'de buna karşılık gelen sabit değer 81,75 mm'dir. Dikkat edilirse daralan kesitli çarkın ortalama eni sabite göre %9,5 daha geniştir.

İlk satırdaki kanat çıkış açısı, bir tasarım değeri olduğu için her iki tasarımda da aynı yazılmıştır. Giriş çapları, Şekil 4.2 ve 5.1 de görüldüğü gibi farklı yöntemlerle tasarlandığı için farklı çıkmıştır. Church yönteminde doğrudan aynı çapta bir boru çarka girecek şekilde tasarlanmış, CBC fanında ise daha geniş çaptan çark girişine doğru konik bir kanal tercih edilerek çap daraltılmıştır. CBC tasarımı akışı yönlendirdiği için daha az kayıplı bir tasarımdır. Kanat giriş çaplarında 4,4 mm lik bir fark çıkmıştır ve bu çapa oranla ihmal edilebilir bir farktır.

Kanat çıkış çapları arasında ise 6,9 mm fark görünmektedir. Fan yasası formüllerinden (Bleier, 1998) yararlanarak çark çıkış çaplarının fan performansını nasıl etkilediğini görmek için aşağıdaki hesaplar yapılmıştır.

Çark dış çap değişikliğinin hacimsel debiyle ilişkisi,

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3 \quad (5.1)$$

formülü ile, çark dış çap değişikliğinin statik basınçla ilişkisi,

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \quad (5.2)$$

formülü ile ve çark dış çap değişikliğinin güçle ilişkisi,

$$\frac{W_2}{W_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^5 \quad (5.3)$$

formülü ile hesaplanır. Şimdi bu fan yasaları ile Church fanı çark dış çapının CBC fanı çark dış çapı arasındaki farkın sırasıyla debiyi, basıncı ve gücü nasıl etkilemesi gerektiğine bakalım. Eşitlik (5.1), den;

$$\frac{Q_{\text{Church}}}{Q_{\text{CBC}}} = \left(\frac{D_{\text{Church}}}{D_{\text{CBC}}}\right)^3 \Rightarrow Q_{\text{Church}} = Q_{\text{CBC}} \times \left(\frac{D_{\text{Church}}}{D_{\text{CBC}}}\right)^3$$

5,027 m<sup>3</sup>/s , eşitlik (5.2) den;

$$\frac{P_{\text{Church}}}{P_{\text{CBC}}} = \left(\frac{D_{\text{Church}}}{D_{\text{CBC}}}\right)^2 \Rightarrow P_{\text{Church}} = P_{\text{CBC}} \times \left(\frac{D_{\text{Church}}}{D_{\text{CBC}}}\right)^2$$

13.237 Pa ve CBC fanı gücü olan 87,2 kW yerine konularak eşitlik (5.3) den

$$\frac{W_{\text{Church}}}{W_{\text{CBC}}} = \left(\frac{D_{\text{Church}}}{D_{\text{CBC}}}\right)^5 \Rightarrow W_{\text{Church}} = W_{\text{CBC}} \times \left(\frac{D_{\text{Church}}}{D_{\text{CBC}}}\right)^5$$

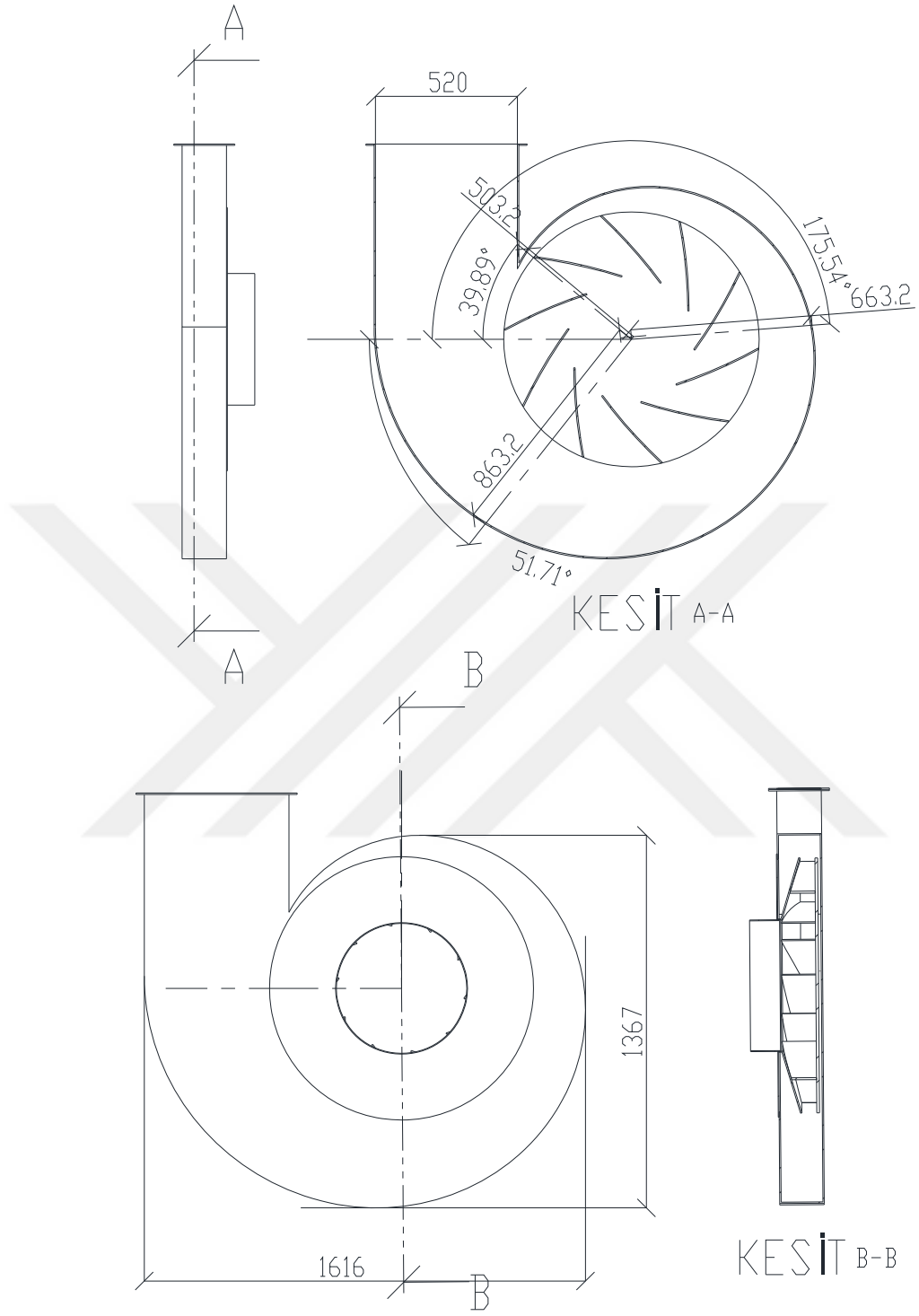
84,02 kW bulunur.

Sonuçları karşılaştırmak istersek % 0,74 lük bir çap azalmasında, fan yasalarına göre hacimsel debinin % 2,2, statik basıncın %1,5, ve gücün ise % 3,6 oranında azalması beklenebilir. Yalnız çark girişinden önce, çark içerisinde, çark çıkışından sonra ve salyangozdaki kayıpların her iki fanda da eşit kabul edilmesi durumunda bu rakamların geçerli olduğu da unutulmamalıdır. O yüzden bu rakamlar HAD analizleri sonuçları ile değerlendirilmelidir.

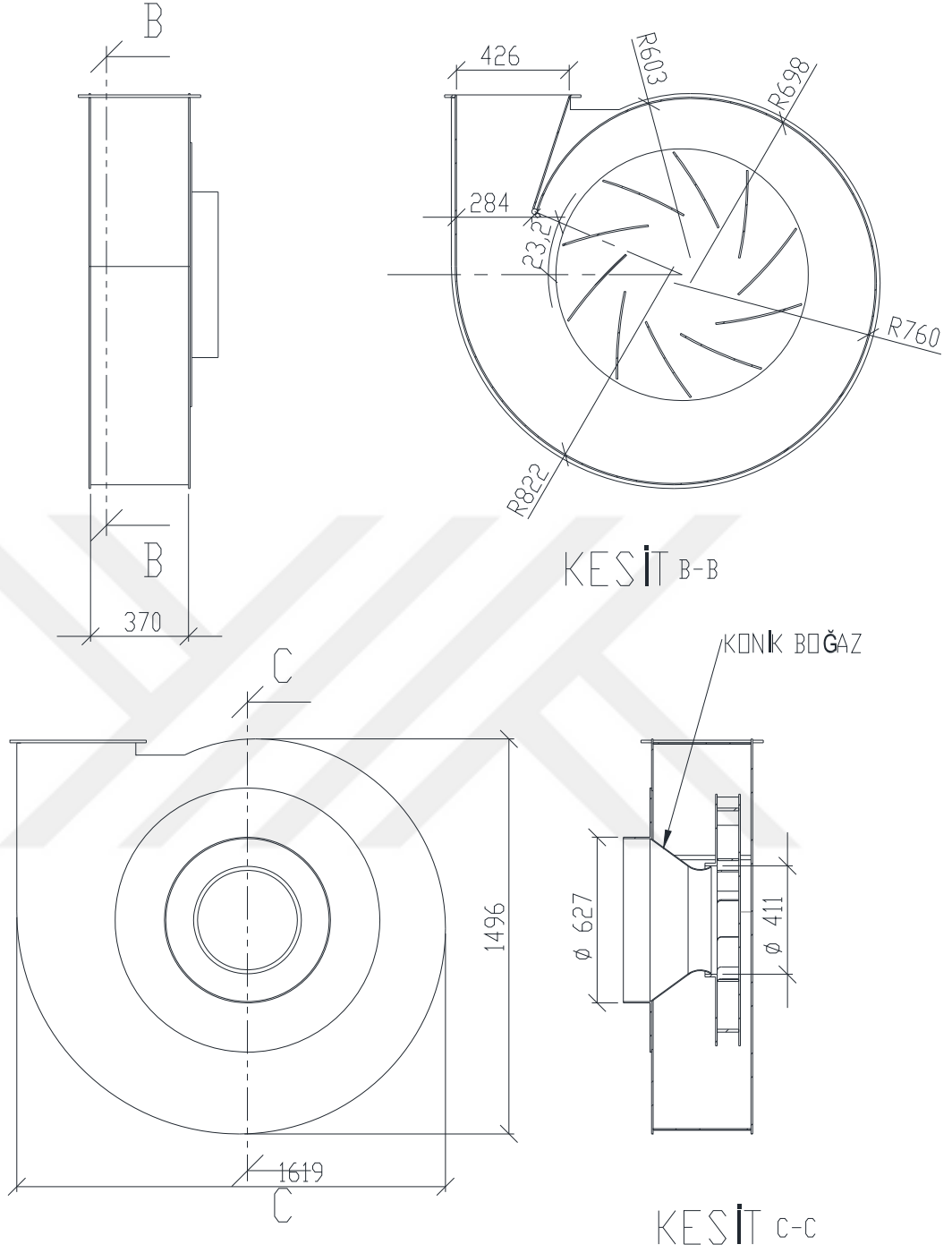
Yukarıdaki ölçüler karşılaştırıldığında çark geometrilerinde çok büyük bir fark görülmemektedir.

## **5.2 Salyangoz Karşılaştırması**

Ek A, Çizelge A.4 teki değerlere göre çizilen yani yeni tasarlanan salyangoz teknik resmi Şekil 5.2 de verilmiştir. CBC fanı salyangoz teknik resmi ise Şekil 5.3 de görülmektedir. Salyangoz tasarımlarını karşılaştırmak istersek: CBC daha geniş ve çark etrafındaki hacmi daha fazla tutmayı tercih etmekle beraber, Church'ün önerdiği hesap yöntemi ile daha kompakt ve dar bir salyangoz geometrisi ortaya çıkmaktadır. Ayrıca geniş salyangoz eni nedeniyle CBC gövdesinin giriş kısmında konik bir boğaz kullanılmıştır (Şekil 5.3, Kesit C-C). Bu boğaz sayesinde gövde girişinde, çark girişine göre daha geniş çaplı bir kesit oluşturulmuş, çarka girerken ise hafif bir genişleme ile akışkanın çarka bir miktar radyal hıza sahip olarak girmesi sağlanmıştır. Church'ün salyangoz gövdesi ise dar olduğu için çark giriş kesiti ile aynı kesitte bir kanal oluşturulmuştur. Bu sebepten dolayı CBC'nın gövde girişindeki kanalda daha düşük hava hızları oluşacaktır.

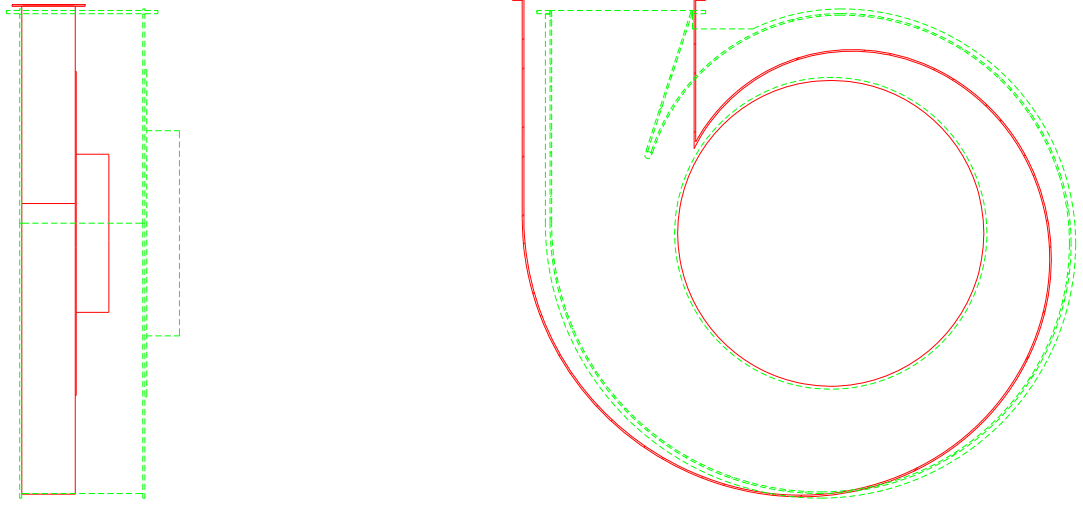


Şekil 5.2. Tasarlanmış fanın (Church yöntemi) salyangoz çizimi



Şekil 5.3. Test edilmiş fanın (CBC fanı) salyangoz çizimi

Fanların gövde tasarım farklarının daha iyi anlaşılması için, çark çaplarını da içeren farklı renkle ve çizgilerle karşılaştırılması ise Şekil 5.4 te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Tasarlanan ve test edilmiş fanların salyangozlarının karşılaştırması  
(Kırmızı-Düz Çizgi: Tasarlanan, Yeşil-Kesikli Çizgi: Test edilmiş )

Şekil 5.4 ten de açıkça görülebileceği üzere, çarklarda olduğu gibi salyangozların kesitleri için de giriş ve çıkış bölgeleri birbirine oldukça yakındır. Genel olarak baktığımızda hem çark için hem de salyangoz gövde için hesapladığımız fanın geometrisi, CBC geometrisiyle neredeyse aynı olduğu için, bundan sonraki fan tasarım hesaplarında bu formüller bazı ufak revizyonlarla yüksek verimlilikle kullanılabilir.

Şekil 5.4 te görünen en büyük fark salyangozların enleridir. Yeni tasarlanan fanda fan eni IS 4894 standardına (IS 4894, 1987) göre hesaplanmıştır ve Church'ün (Church, 1947) yöntemi ile, akışkanın takip ettiği yol boyunca ve salyangozun değişen açısına göre debi sabit kabul edildiği için, bu ene göre salyangozun şekli hesaplanmıştır. Şekil 5.4 de soldaki çizimden de görüleceği üzere Church fanı salyangozu olan kırmızı çizgiler, çıkışa yaklaştıkça CBC fanına göre biraz daha geniş çıkmıştır. Sonuç olarak Church fanındaki salyangoz enindeki fark, performans olarak iki salyangoz geometrisi karşılaştırıldığında olumsuz bir etki yaratmayacaktır.

İki fan salyangozu arasındaki önemli farklardan diğeri de salyangoz boğaz yarıçapı ve açısıdır. Şekil 5.4 deki sağdaki çizim incelenirse, salyangozun, çark çapını temsil eden ortadaki daireye en yakın nokta olan boğaz, tasarlanan Church fanında çarka daha yakındır. Çark çıkışında, fan boyunca ulaştığı en yüksek hıza

sahip olan akışkan, buradaki boğaz kısmında ikiye ayrılarak ya doğrudan salyangoz çıkışına, veya salyangozun spiral şeklinin yönlendirmesiyle tüm salyangozu takip ederek çıkışa ulaşmaktadır. Boğazın çarktan uzak olması durumunda bu uzun yolu daha çok tercih eden akışkan, tekrar boğaza ulaştığında, çarkla arasında yüksek hızlar sebebiyle oluşan düşük basınçtan dolayı yeniden uzun yola girecektir ve bu da daha fazla sürtünme etkisiyle fazladan bir basınç kaybına sebep olacaktır. Ayrıca boğazın çarka yakın olması, yüksek hızdaki akışkanın yönünü daha kolay bulmasına sebep olduğu için buradaki kayıpları en aza indireceği için daha verimlidir.



## **6. TASARIMLARIN HESAPLANABİLİR AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD) İLE HESABI**

Bu bölümde önce test edilmiş CBC Fanı'nın geometrisi HAD ile çözümlenmiş ve sonuçları çizelgeler halinde sunulmuştur. Daha sonra aynı ayarlarla, Church yöntemi ile tasarlanan fan geometrisinin HAD ile analizi yapılmış ve sonuçları kaydedilmiştir. Çıkan sonuçlara göre tasarım yöntemindeki bazı katsayılar güncellenmiştir.

İlk olarak fanlarımızın HAD hesaplarının hangi materyal ve yöntemle yapılacağı anlatılacaktır.

Analitik olarak hesaplanarak ölçüleri çıkarılan Church Fanı ve ölçüleri daha önceden belli olan CBC Fanlarının 3 boyutlu modelleri Solidworks tasarım programı kullanılarak oluşturulmuştur. Daha sonra yine aynı program yardımıyla fan içerisindeki akışkan ayrıca modellenmiş ve HAD analizi için hazır hale getirilmiştir.

HAD için ise Ansys'in, 3 boyutlu tek fazlı akışlar için en uygun program olarak kendini kanıtlamış olan ve sonlu hacimler yöntemi kullanan CFX modülü kullanılmıştır.

Akışkan modeli Solidworks ile hazırlanmış ve fanın sınır koşulları tanımlanarak Ansys'in CFX modülü ile akış sümule edilmiştir. Tüm "Sonlu Hacim Yöntemi" kullanan programlarda olduğu gibi Ansys CFX de Navier-Stokes denklemlerini kullanmaktadır.

Momentum, ısı ve kütle transferi işlemlerini tanımlamak için kullanılan denklemler Navier-Stokes denklemleri olarak bilinmektedir. Bu kısmi diferansiyel denklemlerinin analitik olarak çözülmesi neredeyse mümkün değildir. Ancak bu denklemler, günümüzde geliştirilen yazılımlar ve paket programlar yardımıyla sayısal olarak yapılabilmektedir.

HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) kodları içinde bu denklemlerin çözümüne sonlu hacimler, sonlu farklar veya sonlu elemanlar yöntemleri gibi farklı yöntemlerle ulaşılabilir.

ANSYS-CFX sonlu hacimler yöntemine göre çözüm üretir. Bu teknikte çözüm alanı, kontrol hacmi olarak adlandırılan küçük bölümlere ayrılır. Denklemler her bir kontrol hacmi için ayrıştırılarak iteratif olarak çözülür. Sonuç olarak her kontrol hacmindeki değişkenler tüm akış alanı içinde baştan sona tespit edilir. Böylece akışın davranışı tespit edilmiş olur. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, hız, ısı transferi ve bunlarla ilişkili diğer fiziksel durumların bilgisayar tabanlı benzetim yöntemidir. Akışkanlar mekaniği altında bilinen korunum denklemlerinin, bilgisayar yardımıyla sayısal olarak çözülmesini temel almaktadır.

## 6.1 Temel Denklemler

Sürtünmeli, sıkıştırılamaz, kararlı, laminar ve Newton tipi akışlarda, hareket denklemleri iki türdür;

Süreklilik denklemi

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0 \quad (6.1)$$

ve Navier-Stokes denklemi

$$(\vec{\nabla} \cdot \vec{V})\vec{V} = -\frac{1}{\rho}\vec{\nabla}P + \nu \vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla} \vec{V} \quad (6.2)$$

Eşitlik (6.1) korunum denklemi, (6.2) ise akışkan ortamındaki doğrusal momentumun iletilmesini temsil eden taşıma denklemdir. Burada  $\vec{V}$  akışkanın hızını,  $\rho$  özkütleyi,  $\nu$  kinematik viskoziteyi göstermektedir. Bu denklemler yalnızca sıkıştırılamaz akışlar için geçerlidir, bu yüzden de  $\rho$  ve  $\nu$  sabit kabul edilir. 3 boyutlu akış için Kartezyen koordinat sisteminde 4 bilinmeyenli ( $u, v, w$

ve P) 4 denklem oluşur (Çengel ve Cimbala, 2014). Yukarıda ifade edilen vektörel formdaki denklemler akışkanın cinsine ve fiziksel özelliklerine göre açık formda yazacak olursak;

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (6.3)$$

x-momentum denklemi:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (6.4)$$

y-momentum denklemi:

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (6.5)$$

z-momentum denklemi:

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (6.6)$$

Akışkanı sıkıştırılabilir gaz kabul edersek denklemler, akışkanın yoğunluğunun değişimini de içerişine alacak şekilde güncellenmesi gerekecektir. Bu durumda artık ideal gaz olarak davranacak olan akışkanın yoğunluk değişimi ile birlikte sıcaklığı da değişecektir. Bu durumda diğer eşitliklerle birlikte enerji denklemi de çözülecektir;

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (6.7)$$

İdeal gaz yasası;

$$P = \rho RT \quad (6.8)$$

x-momentum denklemi:

$$\begin{aligned} \rho \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) \\ = \rho g_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] \end{aligned} \quad (6.9)$$

y-momentum denklemi:

$$\begin{aligned} \rho \left( u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) \\ = \rho g_y - \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left( 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2\mu}{3} \vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla} \right) \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] \end{aligned} \quad (6.10)$$

z-momentum denklemi:

$$\begin{aligned} \rho \left( u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) \\ = \rho g_z - \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left( 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{2\mu}{3} \vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla} \right) \end{aligned} \quad (6.11)$$

Enerji denklemi:

$$\rho c_p \left( u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \beta T \left( u \frac{\partial P}{\partial x} + v \frac{\partial P}{\partial y} + w \frac{\partial P}{\partial z} \right) + \vec{\nabla} \cdot (k \vec{\nabla} T) + \phi \quad (6.12)$$

Burada  $\phi$  "dissipation function" olmak üzere bu fonksiyonun açılımı şöyledir;

$$\begin{aligned} \phi = & 2\mu \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2\mu \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + 2\mu \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 + \mu \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \mu \left( \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \\ & + \mu \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 - \frac{2\mu}{3} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \end{aligned} \quad (6.13)$$

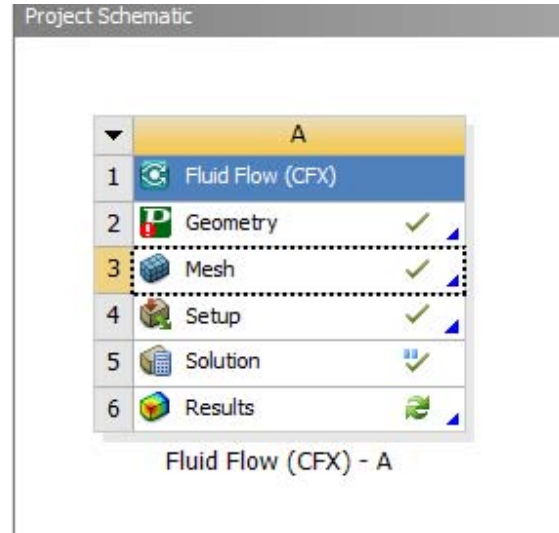
Aslında laminar kabul edilen akışkan gerçekte yüksek hızlara çıkacağı için türbülanslı bir akış sergileyecektir ve böylelikle eşitliklerimiz bir türbülans modeli içerecek şekilde geliştirilmesi gerekmektedir. Bu değişiklikler uzun ve karmaşık olacağı için HAD yönteminde kullandığımız türbülans modelinin teorik formüllerinin detayları burada yazılmamıştır. (Çengel ve Cimbala, 2014)

## 6.2 Test Edilmiş Fanın (CBC Fanı) HAD Hesabı

### 6.2.1 Test edilmiş fanın (CBC Fanı) model geometrisi

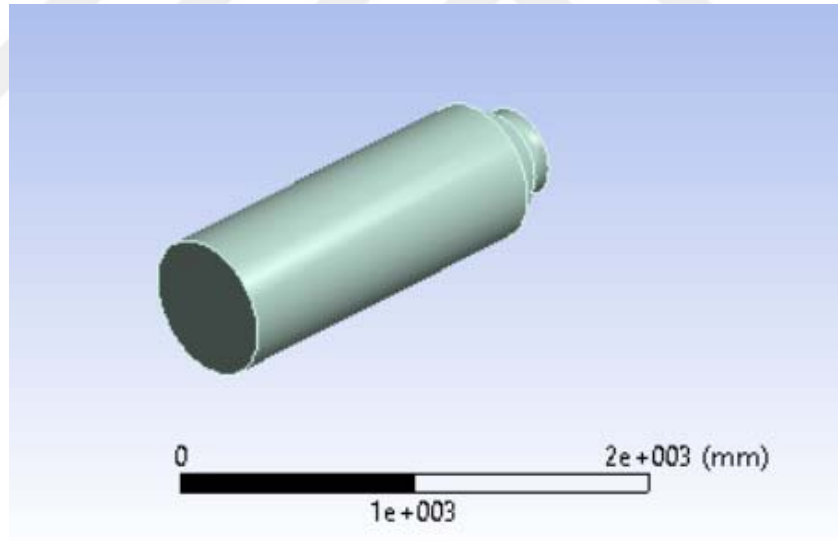
4. bölümdeki teknik çizimler 3 boyutlu çizilerek Solidworks 2018 programı kullanılarak modellenmiştir. Fan içerisindeki akışkan da yine Solidworks araçları ile çizilmiş ve fan konstrüksiyonu silinerek nihai model oluşturulmuştur. Son olarak giriş kanalı ve salyangoz çıkışı, akışın tam gelişmiş akışa ulaşabilmesi için 1 er metre kadar uzatılarak Ansys'e yüklemeye hazır hale getirilmiştir.

Sonraki aşamada Ansys Workbench'in kullanıcı ara yüzünde CFX modülü oluşturulduktan sonra "Proje Şeması"nın 2. satırındaki geometri kısmından (Şekil 6.1 ) yeni bir pencerede açılarak buradan model yüklenir.

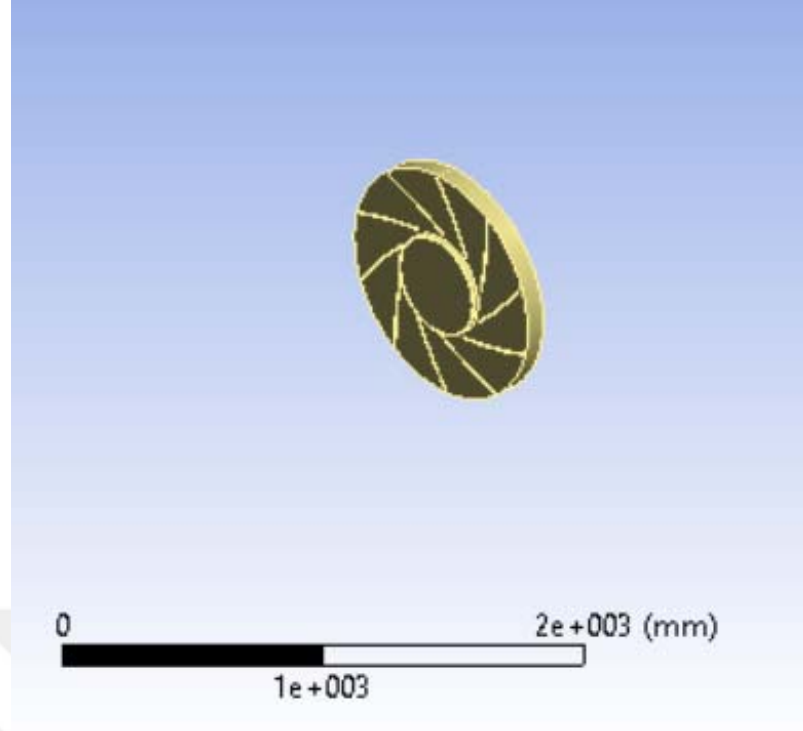


Şekil 6.1. Ansys Workbench proje şeması

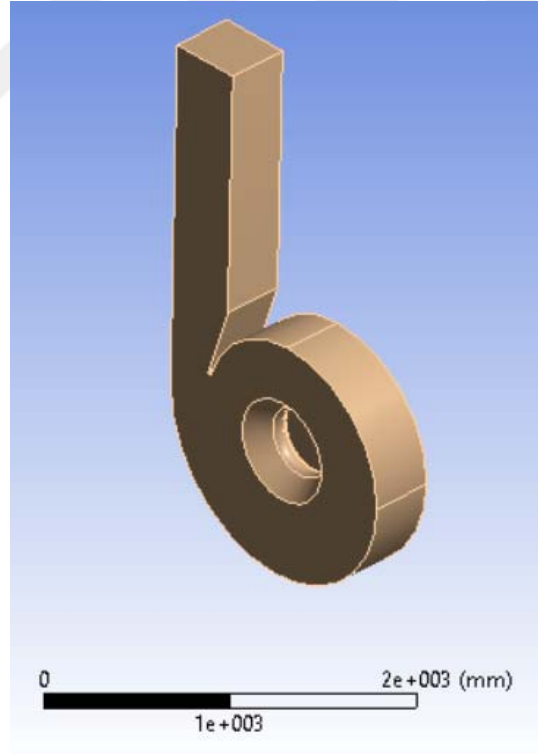
Model geometrisi 3 bölümden oluşmaktadır. Birincisi giriş kanalı, ikincisi çark ve üçüncüsü salyangoz gövde kısmı olup sırasıyla Şekil 6.2, 6.3, 6.4 ve 6.5 de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Test edilmiş fanın (CBC Fanı) giriş kanalı

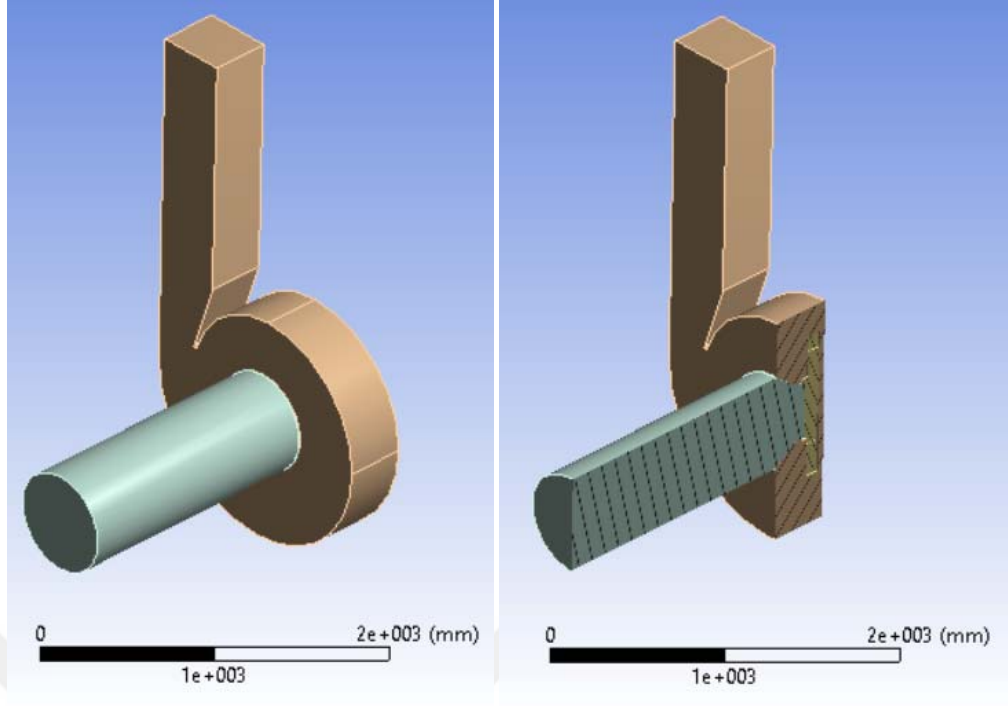


Şekil 6.3. Test edilmiş fanın (CBC fanı) çarkı



Şekil 6.4. Test edilmiş fanın (CBC fanı) salyangoz gövdesi

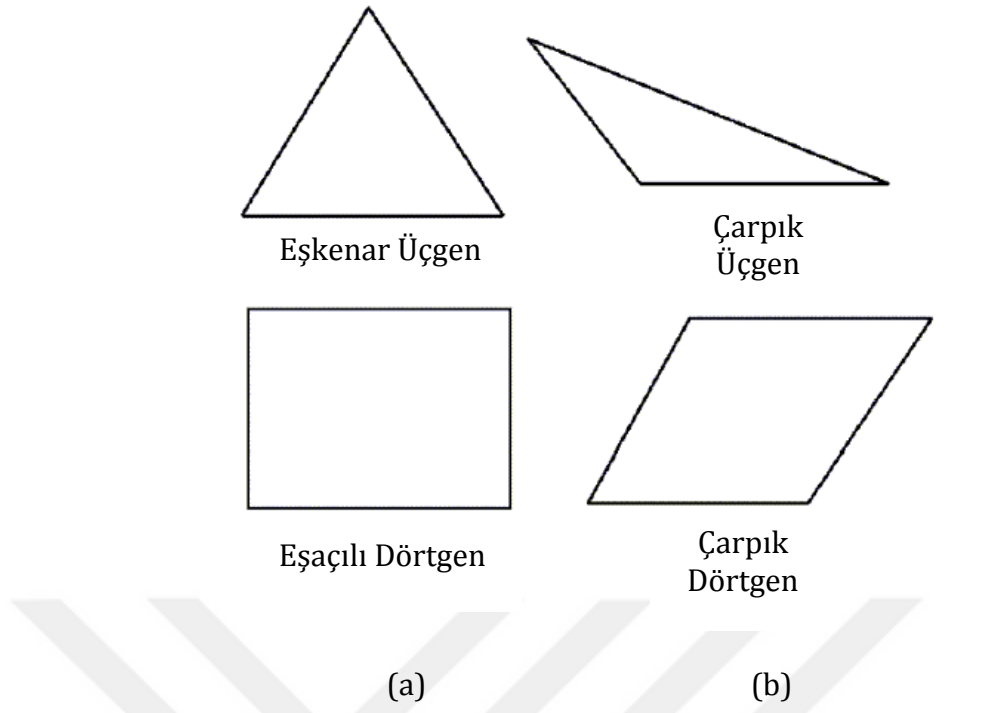
Geometrilerin birleştirilmiş son hali ise Şekil 6.5 de görülmektedir.



Şekil 6.5. Test edilmiş fanın (CBC fanı) model geometrisi montajı

### 6.2.2 Test edilmiş fanın (CBC Fanı) ağ yapısı

Ansys CFX Proje Şemasının (Şekil 6.1) 2. satırındaki geometri kısmından modelimizi yükledikten sonra 3. satırdaki ağ (mesh) işlemlerine geçeriz. İşlem sonrası ağın kalitesinin ölçülmesi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılanı ise "skewness" değeridir. Kelime anlamı çarpıklık olan "skewness" eşkenar veya eşaçılı mükemmel yüzey veya hücreye yakınlık olarak tanımlanabilir (ANSYS Inc., 2009). Yani "skewness" ne kadar düşükse, mükemmel geometriye o kadar yakınız demektir. (Şekil 6.6)



Şekil 6.6. (a). İdeal geometriler  
(ANSYS Inc., 2009)

(b). Çarpık geometriler

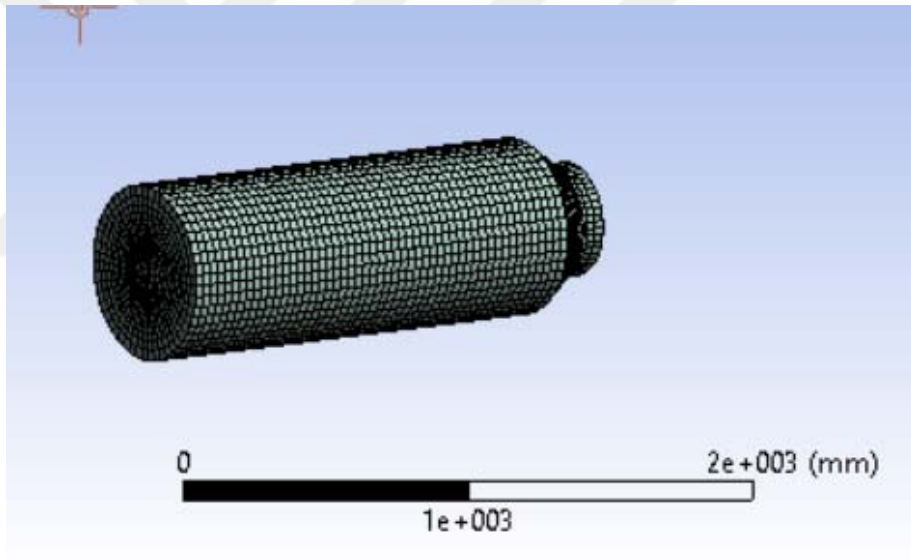
"Skewness" 0 ile 1 değeri arasında değişir ve bu aralıktaki rakamların anlamları Çizelge 6.1 de verilmiştir.

Çizelge 6.1 "Skewness" değeri kalite karşılıkları (ANSYS Inc., 2009)

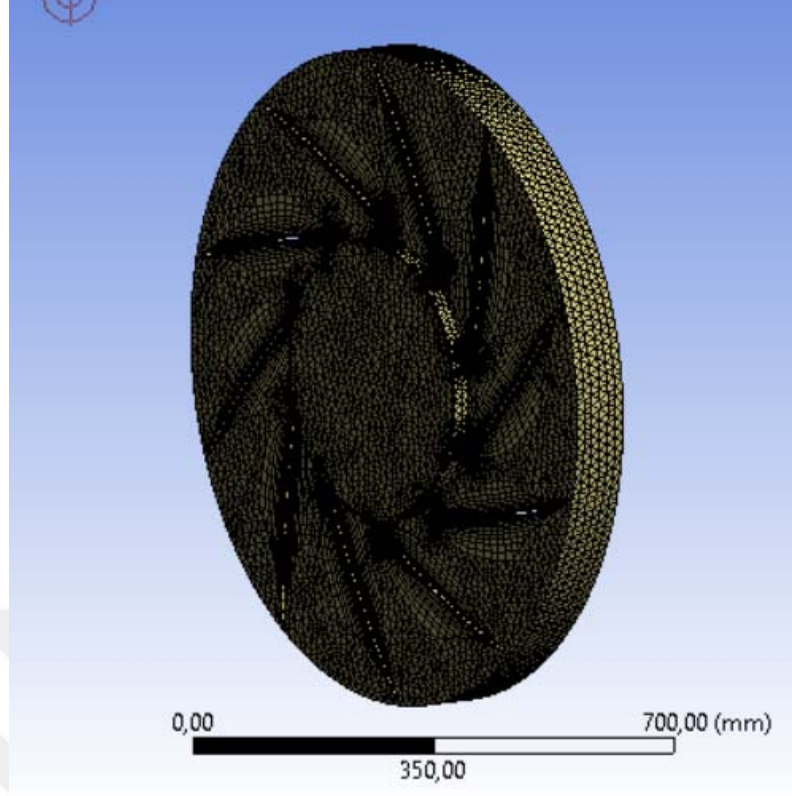
| "Skewness"<br>Değeri | Hücre Kalitesi       |
|----------------------|----------------------|
| 1                    | Çok kötü             |
| 0,9-<1               | Kötü                 |
| 0,75-0,9             | Zayıf                |
| 0,5-0,75             | Orta                 |
| 0,25-0,5             | İyi                  |
| <0-0,25              | Çok iyi              |
| 0                    | Eşkenar veya Eşaçılı |

Dönen bir ortam olması ve içerisinde çalkantıların fazla olması sebebiyle çark geometrisinde ağ büyüklükleri küçük tutulmuş ve kanat yüzeylerinde daha hassas ağ yapımı için tabakalar oluşturulmuştur. Diğer geometrilerde ağ büyüklüğü kısmen daha kaba seçilmiştir.

Tüm konfigürasyon için otomatik metot yöntemi kullanılmıştır. Yani geometrinin şekline göre “tetrahedral” mi, “sweep” mi yoksa “hekzahedral” bir ağ yapısını kullanılacağına Ansys programının karar vermesi istenmiştir. Sonuç olarak da daha basit bir geometriye sahip giriş kanalı için “sweep” metodunu tercih eden yazılım, salyangoz ve çark gibi karmaşık geometriler için tetrahedral ağırlıklı bir ağ yapısı seçmiştir. Hesaplamalar sonucunda optimum ağ yapısı detayları Şekil 6.7, Şekil 6.8, Şekil 6.9, ve Şekil 6.10 da gösterilmiştir.



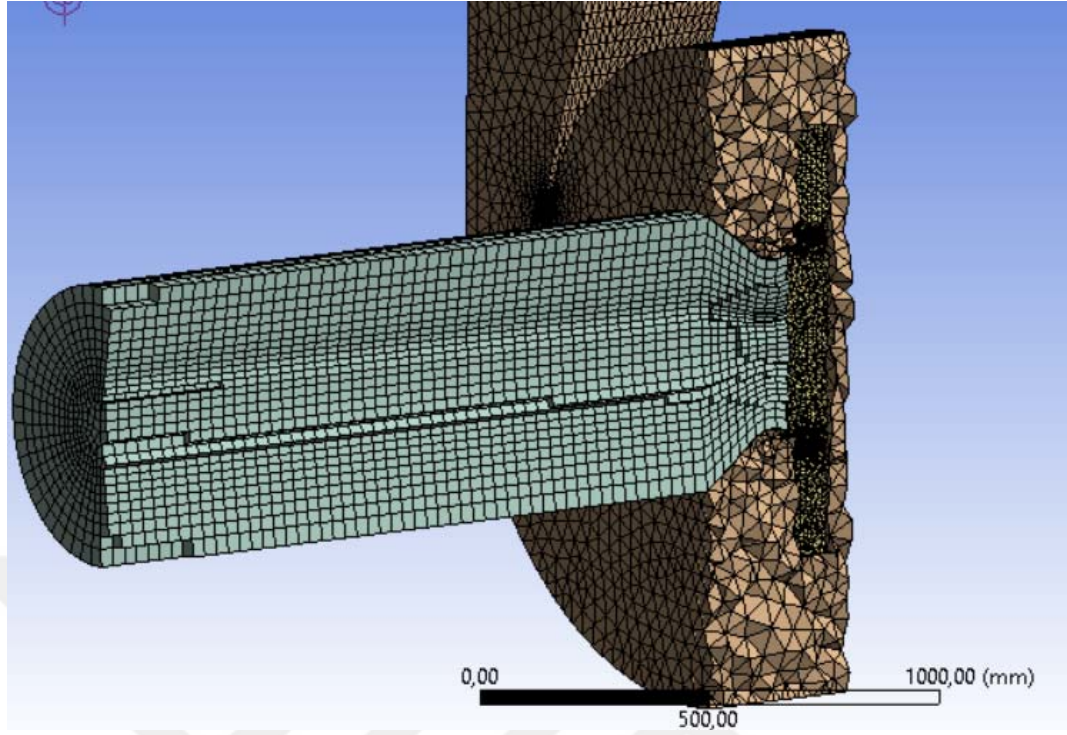
Şekil 6.7. Test edilmiş fanın (CBC fanı) giriş kanalı ağ yapısı



Şekil 6.8. Test edilmiş fanın (CBC fanı) çark ağ yapısı



Şekil 6.9. Test edilmiş fanın (CBC fanı) salyangoz ağ yapısı



Şekil 6.10. Test edilmiş fanın (CBC fanı) fan montajı ağ yapısı kesiti

Optimum ağ yapısına ulaşmak için düşük kaliteli ve az sayıda eleman sayısı ile hesaplamalara başlanmış ve sonuçların fazla değişmediği ağ durumu tespit edilene kadar analizlere devam edilmiştir. Buna göre ilk önce toplam 782.821 adet ağ eleman sayısı ve ortalama 0,295 Skewness değeri denenmiştir. Daha sonra Çizelge 6.2 de gösterilen değerlerdeki 4 farklı grid sayılarında ağ yapıları çözdürülmüştür.

Çizelge 6.2 Test edilmiş fanın (CBC fanı) ağ yapısı özellikleri

| Ağ Yapısı Numarası | Eleman Sayısı | Düğüm Sayısı | En Büyük Skewness Değeri | Ortalama Skewness Değeri |
|--------------------|---------------|--------------|--------------------------|--------------------------|
| 1                  | 782.821       | 237.812      | 0,972                    | 0,295                    |
| 2                  | 856.572       | 252.736      | 0,967                    | 0,270                    |
| 3                  | 1.050.771     | 366.216      | 0,969                    | 0,278                    |
| 4                  | 1.357.216     | 441.538      | 0,933                    | 0,255                    |

### 6.2.3 Test edilmiş fanın (CBC fanı) sınır koşulları ve ayarları

Ağ yapım işleminden sonra Şekil 6.1 deki pencerenin 4. sırasındaki ayarlar (setup) kısmına geçilir. Burada yapılacak simülasyon işleminde kullanılacak türbülans modelinden akışkan tipine ve sınır koşullarına kadar tüm girdiler girilir.

Daha önce de belirtildiği gibi Ansys CFX Sonlu Hacimler Yöntemini ve eşitlik olarak da Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) eşitliklerini türbülanslı akışı en iyi hesaplayan model olan “k-omega/Shear Stres Transport (SST) türbülans modelini (ANSYS,Inc., 2006) ve akışkan olarak da atmosfer basıncında ve 25 C° de mükemmel gaz (ideal gaz) seçilmiştir. Türbülans modelini ve akışkan modelini Siwek, Gorski, Stanislaw (Siwek vd., 2014) da araştırmalarında aynı şekilde kullanmış ve başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Sınır koşulları için girişte kütleli debi 5,24 kg/sn, çıkışta ise atmosfer basıncı olan 101.325 Pa tanımlanmıştır. Ayrıca diğer tüm ortamlar durağan (stationary), çarka 2970 d/d lık bir dönme hareketi (rotation) uygulanmıştır.

Analiz çeşidi zamandan bağımsız (steady) olarak çözülmüştür. Ayrıca çözüm kısmında yakınsamanın tespiti ve sonuçları bilgisayar hesap yaparken görebilmek için kullanıcı tanımlı izlemler (user defined monitors) oluşturulur. Burada giriş ve çıkışta ortalama statik basınçları ve fanın oluşturacağı statik basıncı görmek için de bunların farkı tanımlanmıştır.

Tüm modelin Ansys'e tanıtılması, ağ yapısı oluşturulması ve ayar basamakları bitirildiğinde son olarak sıra çözüme (Şekil 6.1, Solution) gelir. Çözüm i7-3630QM @ 2.40 GHz işlemcili ve 32 GB lık bir bilgisayarda kullanılarak ve çekirdek sayısı da 4 olarak ayarlanarak başlatılmıştır. Giriş statik basıncı ve çıkış statik basıncı farkı, artan iterasyonlarla %0,5 den fazla değişmemeye başladığında, yani yakınsadığında işlem durdurulmuştur.

#### 6.2.4 Test edilmiş fanın (CBC fanı) analiz sonuçları ve yorumlar

Daha önce tanımlanan giriş ve çıkış yüzeylerinin aritmetik ortalaması olan statik basınç değerleri ve sonuçlarının ağ yapısı numarasına göre sıralaması Çizelge 6.3 de verilmiştir.

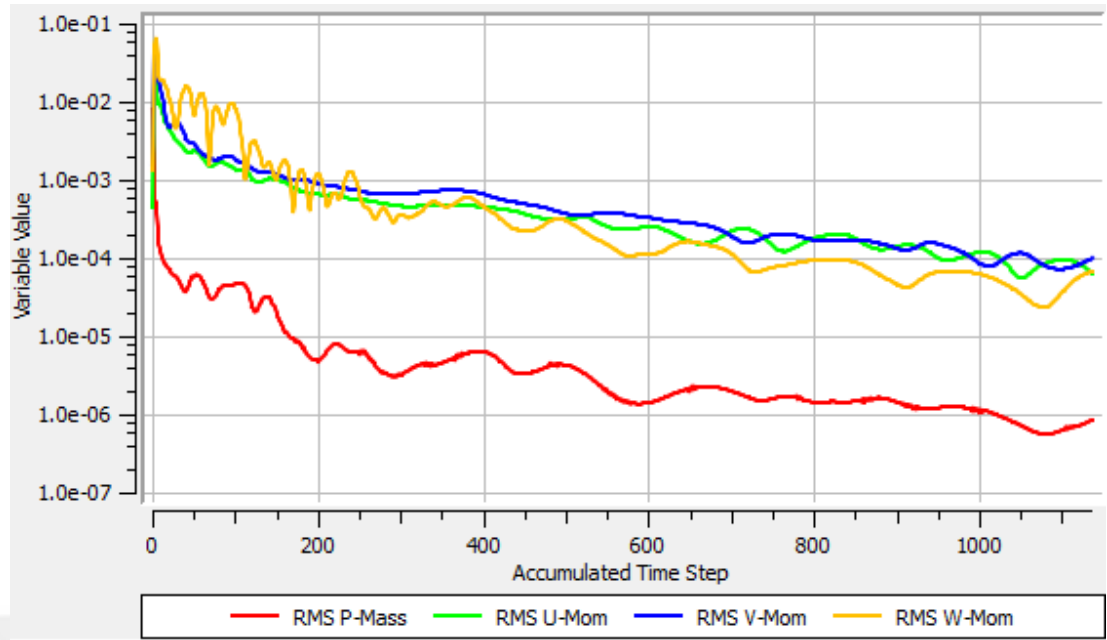
Çizelge 6.3 Ağ yapısına göre çıkan zamandan bağımsız sonuçlar

| Ağ Yapısı Numarası | Giriş-Çıkış Statik Basınç Farkı (Pa) | Tasarım Statik Basıncı (Pa) | Hata Oranı (%) | İterasyon Sayısı |
|--------------------|--------------------------------------|-----------------------------|----------------|------------------|
| 1                  | 12.441                               | 13.435                      | 7,39           | 1393             |
| 2                  | 12.689                               | 13.435                      | 5,55           | 1045             |
| 3                  | 12.741                               | 13.435                      | 5,16           | 1026             |
| 4                  | 12.697                               | 13.435                      | 5,49           | 1577             |

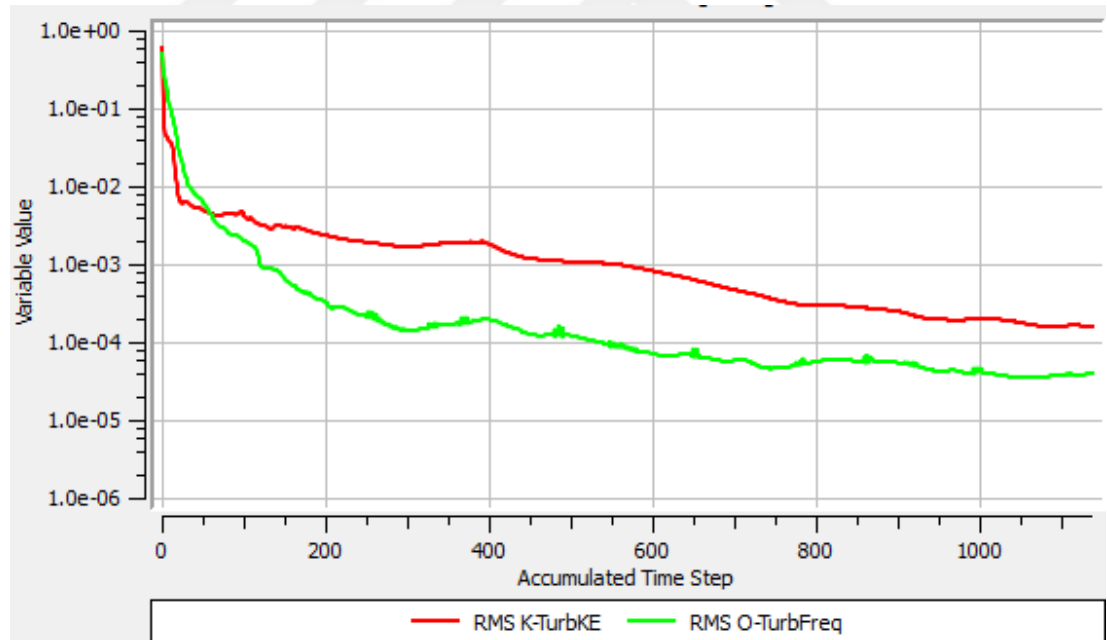
3 numaralı ağ yapısından sonra sonuçların fazla değişmediği görülmüş ve daha ince bir ağ yapısına bilgisayar kaynaklarının verimli kullanılması açısından gerekli olmadığına karar verilmiştir. 3 numaralı ağ yapıları Şekil 6.10 da gösterilmiştir.

Çizelge 6.3 den anlaşıldığı gibi geçerli HAD ayarlarında fanın oluşturduğu statik basınç %5 lik bir hassasiyetle tutturulmuştur.

Yakınsama kriteri (Convergence Criteria) olarak artık tipi (Residual Type) RMS (Root Mean Square) seçilmiş ve hedef de  $10^{-4}$  olarak ayarlanmıştır. Bu değerlere göre yakınsama 1026 iterasyonda otomatik olarak sonlanmıştır. Yakınsama grafikleri Şekil 6.11-6.12 de gösterilmiştir.

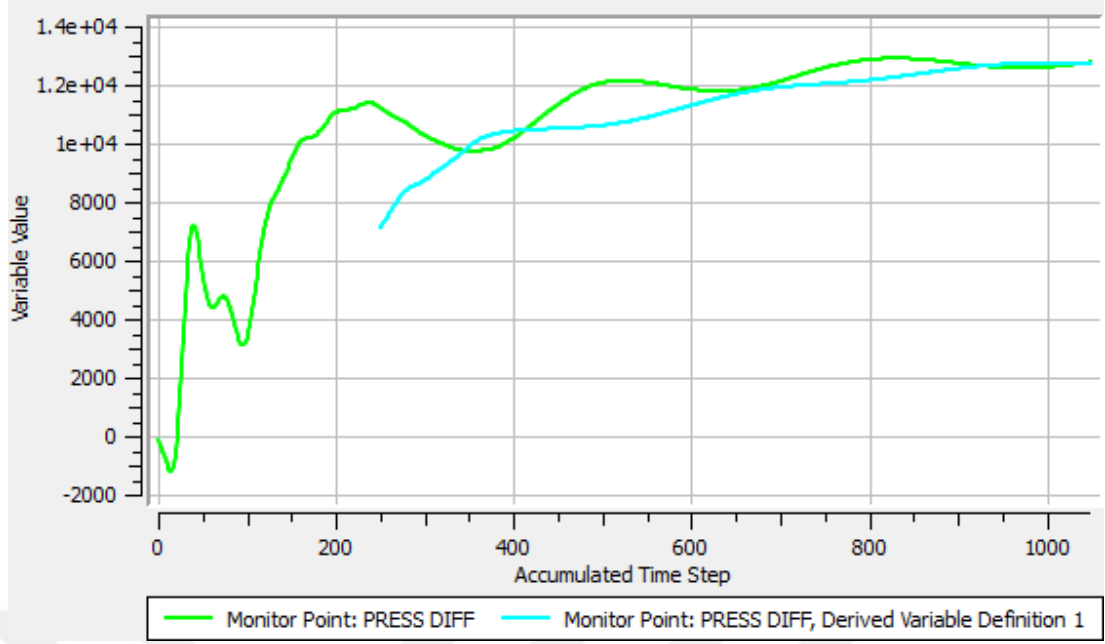


Şekil 6.11. Kütlesel debi ve momentum yakınsama grafiği



Şekil 6.12. Türbülans yakınsama grafiği

Şekil 6.13 de ise CEL (CFX Expression Language) ile oluşturulan çıkış ve giriş yüzeyleri ortalama statik basınç farklarının yakınsama grafiği gösterilmiştir.



Şekil 6.13. Kullanıcı tanımlı giriş-çıkış statik basınç farkı yakınsama grafiği

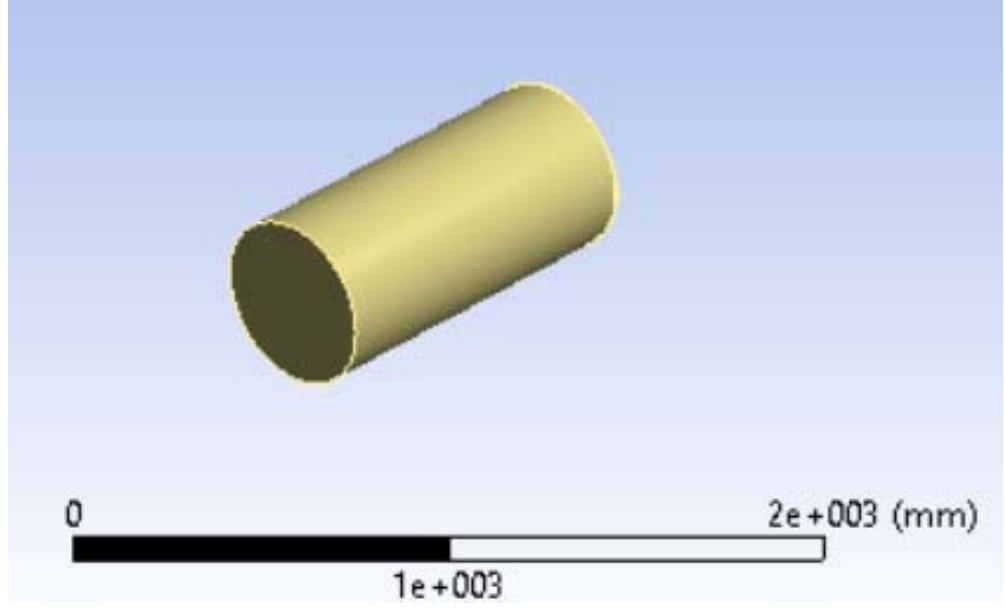
Burada yeşil çizgi ile gösterilen ortalama basınç farkı, turkuaz renk ile gösterilen ise 250 iterasyon sonuçların aritmetik ortalamasını göstermektedir. Aritmetik ortalama ile yakınsama dalgalanmasının ortalaması alınarak kesin rakamlara daha rahat ulaşılabilir.

Artık HAD ayarlarının kalibrasyonu yapıldığına göre aynı parametrelerde Church tasarım yöntemi ile (Church, 1947) yeni tasarlanan Church fan geometrisi için de analiz başlatılabilir.

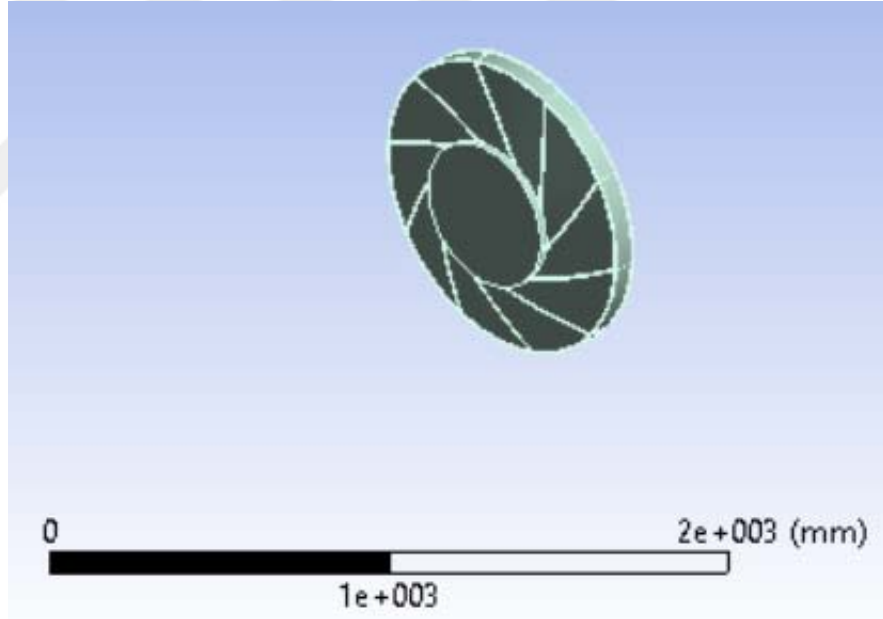
### 6.3 Tasarlanan Fanın (Church Fanı) HAD Hesabı

#### 6.3.1 Tasarlanan fanın (Church Fanı) model geometrisi

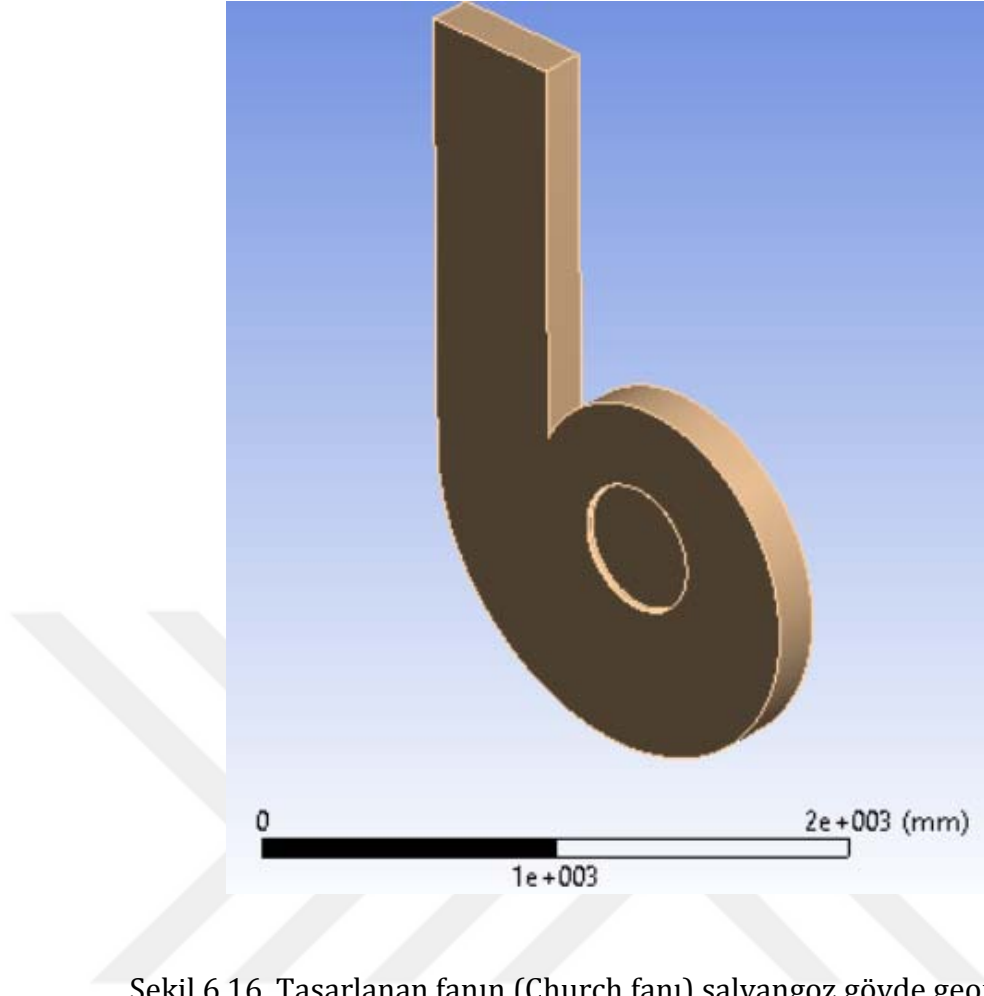
Bölüm 3 deki eşitliklerle hesaplanarak tasarlanan ve Şekil 4.2 ve Şekil 5.2 de ölçülere göre modellenen Church fanı için, Bölüm 6.4 teki CBC fanı için uygulanan adımlar aynen uygulanarak geometriler Ansys Workbench'e yüklenmiştir. Yüklenen geometriler Şekil 6.14, Şekil 6.15, Şekil 6.16 ve Şekil 6.17 de gösterilmiştir.



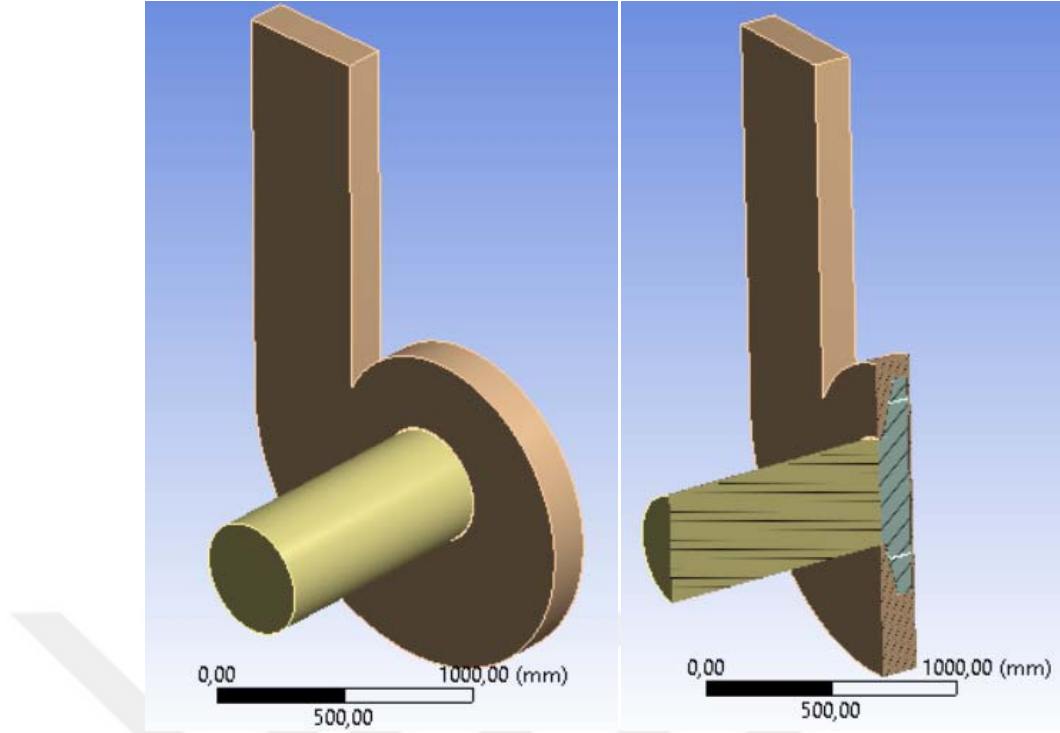
Şekil 6.14. Tasarlanan fanın (Church fanı) giriş kanalı geometrisi



Şekil 6.15. Tasarlanan fanın (Church fanı) çark geometrisi



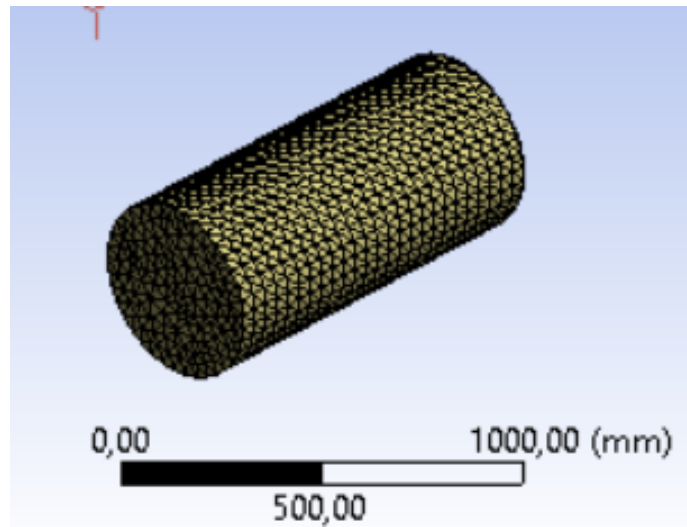
Şekil 6.16. Tasarlanan fanın (Church fanı) salyangoz gövde geometrisi



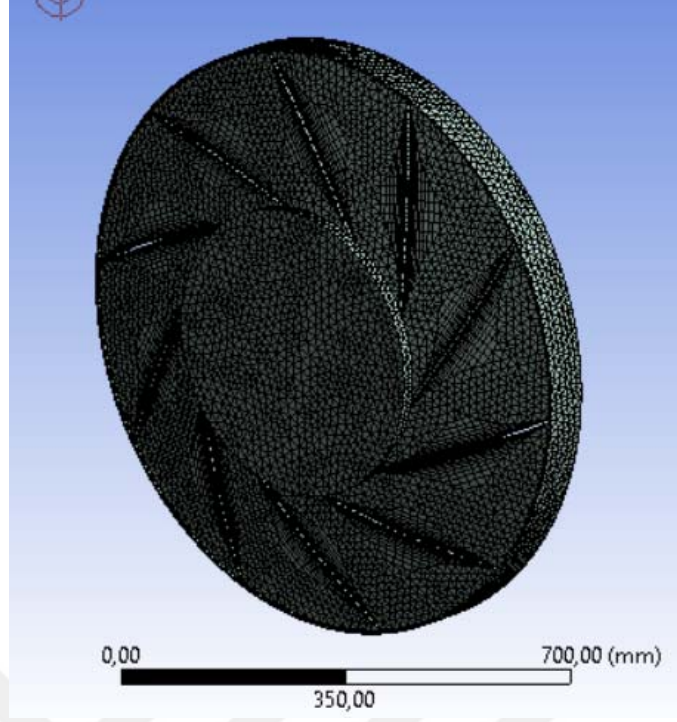
Şekil 6.17. Tasarlanan fanın (Church fanı) model geometrisi montajı

### 6.3.2 Tasarlanan fanın (Church fanı) ağ yapısı

Bölüm 6.4 teki ağ ayarları tekrarlanarak yeni tasarım için ağ yapısı aşağıdaki şekillerdeki ( Şekil 6.18-21) gibi oluşturulmuştur.



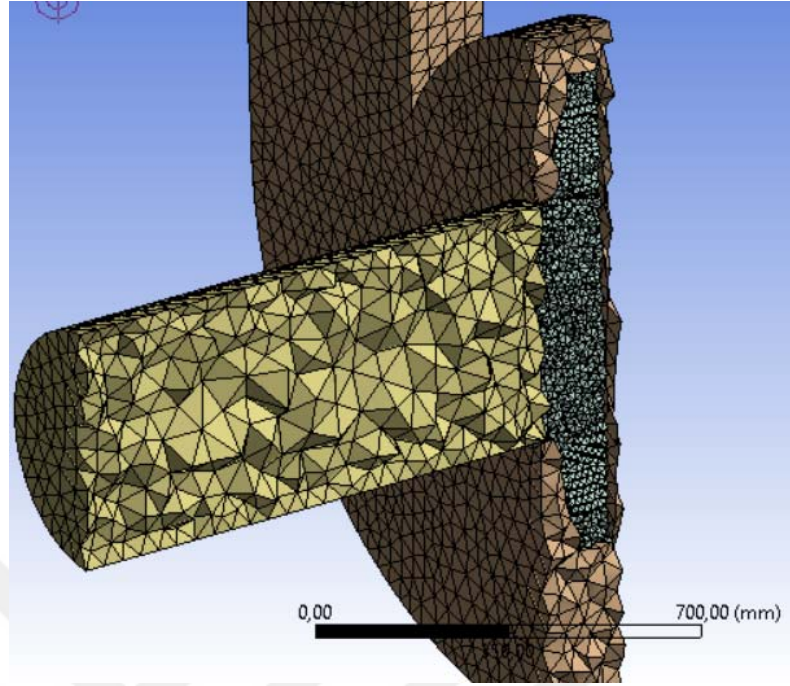
Şekil 6.18. Tasarlanan fanın (Church fanı) giriş kanalı ağ yapısı



Şekil 6.19. Tasarlanan fanın (Church fanı) çark ağ yapısı



Şekil 6.20. Tasarlanan fanın (Church fanı) salyangoz gövde ağ yapısı



Şekil 6.21. Tasarlanan fanın (Church fanı) montaj geometrisi ağ yapısı kesidi

Şekil 6.21 deki ağ yapısının rakamsal değerleri Çizelge 6.4 de gösterilmiştir.

Çizelge 6.3 deki 3 numaralı ağ yapısı değerleri ile, Çizelge 6.4 deki rakamlar incelendiğinde görülmektedir ki Church fanının geometri hacmi CBC fanından küçük olduğu için eleman ve düğüm sayısı daha azdır, ancak ortalama “skewness” değeri biraz daha düşük, yani bir miktar daha kalitelidir.

Çizelge 6.4. Tasarlanan fanın (Church fanı) ağ yapısı değerleri

| Eleman Sayısı | Düğüm Sayısı | En Büyük Skewness Değeri | Ortalama Skewness Değeri |
|---------------|--------------|--------------------------|--------------------------|
| 228.877       | 63.483       | 0,998                    | 0,248                    |

### 6.3.3 Tasarlanan fanın (Church Fanı) sınır koşulları ve ayarları

Bölüm 6.4.3 deki aynı sınır koşulları ve çizim metodları kullanılarak ve aynı bilgisayarla hesaplamalar tekrarlanmıştır.

### 6.3.4 Tasarlanan fanın (Church Fanı) çözüm sonuçları ve yorumları

Fanın giriş ve çıkış yüzeylerindeki statik basınç farkları değerinin yakınsaması sonunda durdurulan analizin sonuçları Çizelge 6.5 deki gibi çıkmıştır.

Çizelge 6.5 Tasarlanan fanın (Church fanı) analiz sonuçları

| Giriş-Çıkış<br>Statik Basınç<br>Farkı<br>(Pa) | Tasarım<br>Statik<br>Basıncı<br>(Pa) | Hata<br>Oranı<br>(%) | İterasyon<br>Sayısı |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|---------------------|
| 12.011                                        | 13.435                               | 11                   | 1080                |

Yukarıdaki Church fanı değerlerini CBC de çıkanlarla karşılaştırmak için Çizelge 6.6 aşağıda verilmiştir.

Çizelge 6.6 CBC ve Church fanları HAD sonuçları karşılaştırması

|             | Giriş-Çıkış<br>Statik Basınç<br>Farkı<br>(Pa) | Tasarım<br>Statik<br>Basıncı<br>(Pa) | Hata<br>Oranı<br>(%) | İterasyon<br>Sayısı |
|-------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|---------------------|
| Church Fanı | 12.011                                        | 13.435                               | 11                   | 1080                |
| CBC Fanı    | 12.741                                        | 13.435                               | 5                    | 1026                |

Çizelge 6.65 dan da anlaşılacağı gibi analiz sonucu CBC fanı değerlerindeki hata oranını yakalayamamıştır. CBC fanında %5 ile tutturulan statik basınç farkı,

burada % 11 çıkmıştır. Bu da, tasarım değerlerindeki bazı varsayımlarımızı gözden geçirmemiz gerektiğini göstermektedir.

Church tasarımında, tasarım sonuçlarını etkileyen en büyük varsayım eşitlik (3.38) de olan ve çark içerisindeki türbülans ve sürtünmeleri hesaba katmak için kullanılan  $K'$  katsayısının tahminidir. Bu değer tamamen fan tipine bağlı olduğu gibi yapılan deneyler sonucu belirlenebilen bir katsayıdır. Church'ün deney tecrübelerine göre bu değer 5 ile 6,5 arasındadır (Church, 1947). İlk adımda bizim kabul ettiğimiz  $K'$  değeri 0,60 iken, HAD analizi sonucunda bu kabul istenilen basıncı vermediği için tekrar güncelleyerek 0,57 değeri için hesaplamalar tekrar yapılır. Bölüm 3.1 deki eşitlikler tekrar uygulanarak yeni bir geometri oluşturulmuştur ve tüm adımlar ve sonuçları Ek A, Çizelge A.2 de verilmiştir. Yenilenen son tasarımın çark değerleri Çizelge 6.7 de ve salyangoz değerleri özeti ise Çizelge 6.8 de verilmiştir.

Çizelge 6.7 Yenilenen ve eski  $K'$  için Church fanı çark değerleri

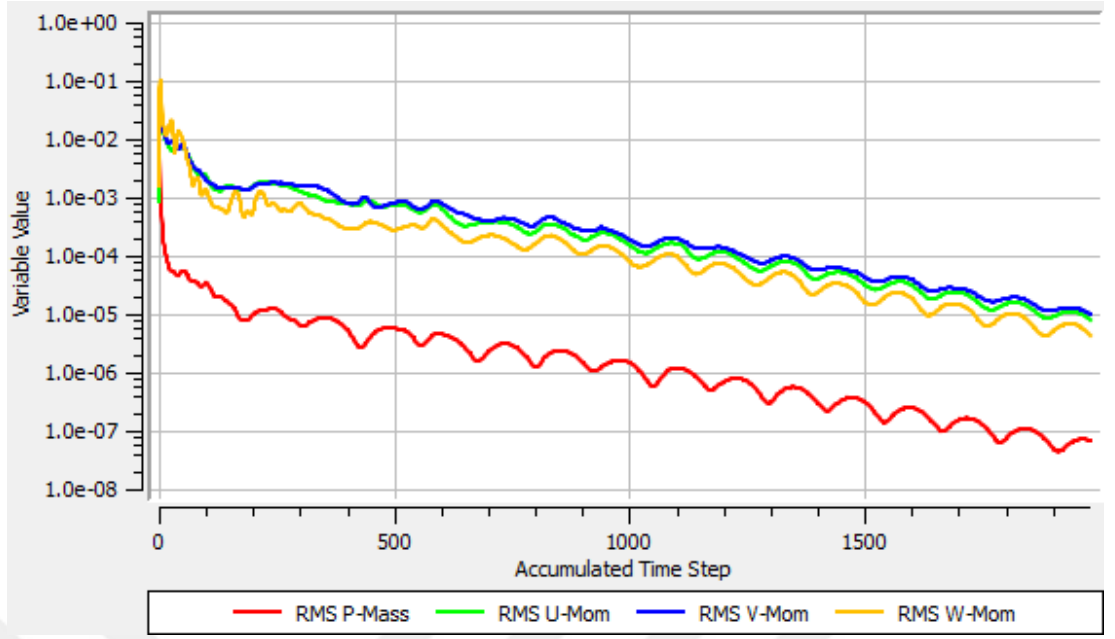
|                   | SEMBOL      | BİRİM | $K':0,60$ | $K':0,57$ |
|-------------------|-------------|-------|-----------|-----------|
| Kanat Çıkış Açısı | $\beta_2$   | °     | 56,59     | 56,59     |
| Kanat Giriş Açısı | $\beta_1$   | °     | 25,63     | 25,63     |
| Giriş Çapı        | $D_{giriş}$ | mm    | 461,9     | 461,9     |
| Kanat Giriş Çapı  | $D_1$       | mm    | 460,0     | 460,0     |
| Kanat Çıkış Çapı  | $D_2$       | mm    | 926,5     | 950,4     |
| Kanat Giriş       | $b_1$       | mm    | 117,2     | 111,2     |
| Kanat Çıkış       | $b_2$       | mm    | 61,8      | 60,0      |

Çizelge 6.8 Yenilenen Church Fanı Salyangoz Değerleri Özeti

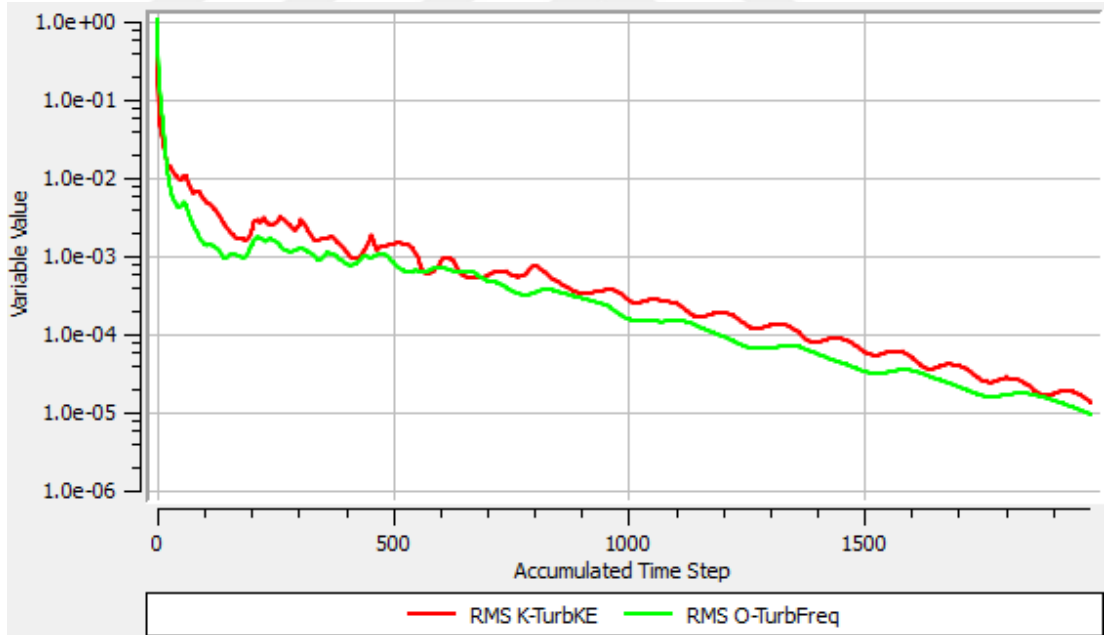
| R (m)  | $\Delta\phi^\circ$ | $\phi^\circ$ | V <sub>ort</sub> (m/s) |
|--------|--------------------|--------------|------------------------|
| 0,4752 |                    | 0,00         | 0                      |
|        | 40,12              |              |                        |
| 0,5152 |                    | 40,12        | 79,0529                |
|        | 37,46              |              |                        |
| 0,5552 |                    | 77,58        | 74,1460                |
|        | 35,13              |              |                        |
| 0,5952 |                    | 112,70       | 71,7624                |
|        | 33,07              |              |                        |
| 0,6352 |                    | 145,77       | 69,5698                |
|        | 31,24              |              |                        |
| 0,6752 |                    | 177,01       | 67,5438                |
|        | 29,60              |              |                        |
| 0,7152 |                    | 206,62       | 65,6644                |
|        | 28,13              |              |                        |
| 0,7552 |                    | 234,75       | 63,9147                |
|        | 26,79              |              |                        |
| 0,7952 |                    | 261,54       | 62,2804                |
|        | 25,58              |              |                        |
| 0,8352 |                    | 287,12       | 60,7494                |
|        | 24,47              |              |                        |
| 0,8752 |                    | 311,59       | 59,3112                |
|        | 23,46              |              |                        |
| 0,9152 |                    | 335,05       | 57,9569                |
|        | 31,90              |              |                        |
| 0,9552 |                    | 366,95       | 58,1573                |

Çizelge 6.7 ve 6.8 deki değerlerle yeniden çizilen geometriler tekrar Ansys'e yüklenerek HAD hesaplamaları tekrarlanmış ve çözüm yakınsadıktan sonra sonuçlar kaydedilmiştir. Yakınsama grafikleri Şekil 6.22-6.25 de gösterilmiştir.

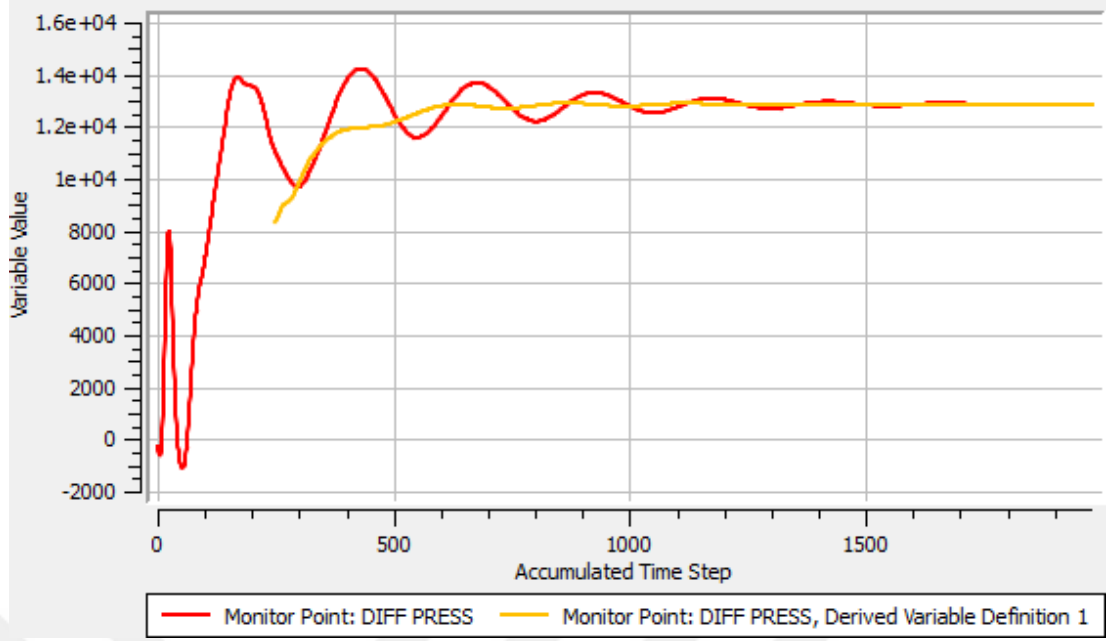
Şekil 6.22 de kütleli debinin ortalamasının  $10^{-7}$  değerinin de altına indiği, momentumun ise  $10^{-4}$  e ulaşıncı işlemin durduğu görülmektedir. Şekil 6.23 de de türbülans değerleri  $10^{-5}$  e ulaşmıştır.



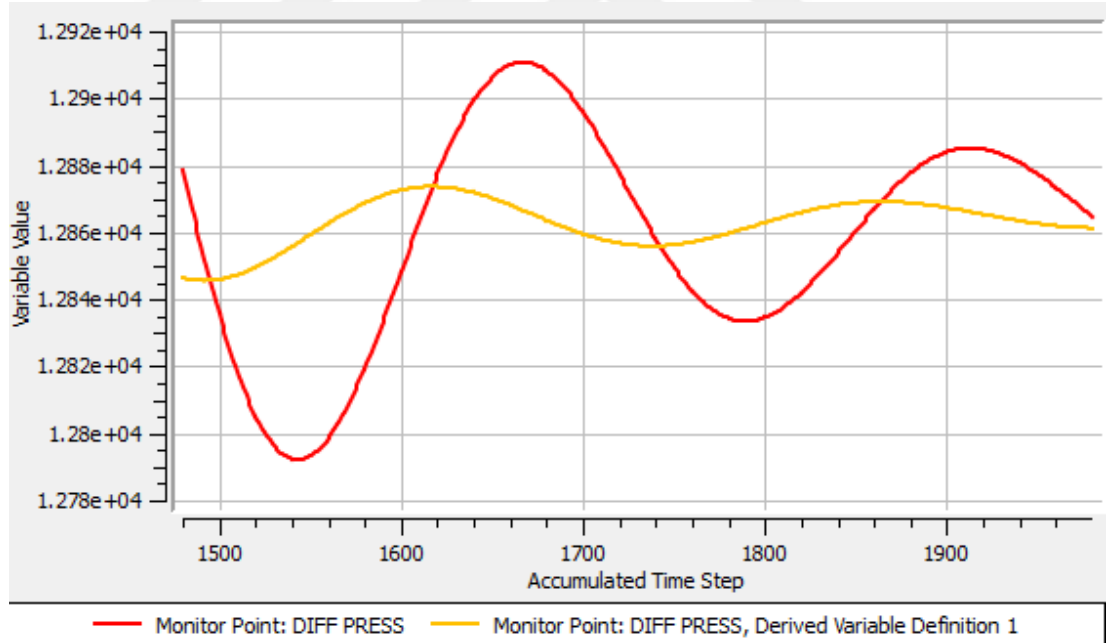
Şekil 6.22. Kütleli debi ve momentum yakınsama grafiği



Şekil 6.23. Türbülans yakınsama grafiği



Şekil 6.24. Kullanıcı tanımlı giriş-çıkış statik basınç farkı yakınsama grafiği



Şekil 6.25. Statik basınç farkı yakınsama grafiği son 500 iterasyon detayı

Şekil 6.24 de giriş ve çıkış yüzey basınç farkı ortalamaları yakınsama grafiği gösterilmiştir. Burada kırmızı renkli çizgi ortalama basınç farkını, sarı renk ise 250 iterasyonun aritmetik ortalamasını göstermektedir. Yakınsama ayarı

olarak girilen  $10^{-5}$  RMS değeri yakalandığında analiz otomatik olarak durmuştur. Şekil 6.25 de ise yakınsamayı daha hassas gösterebilmek için son 500 iterasyonun grafiği gösterilmiştir.

Analiz sonucu çıkan değerler Çizelge 6.9 de verilmiştir.

Çizelge 6.9 Yenilenen Church fanı HAD değerleri

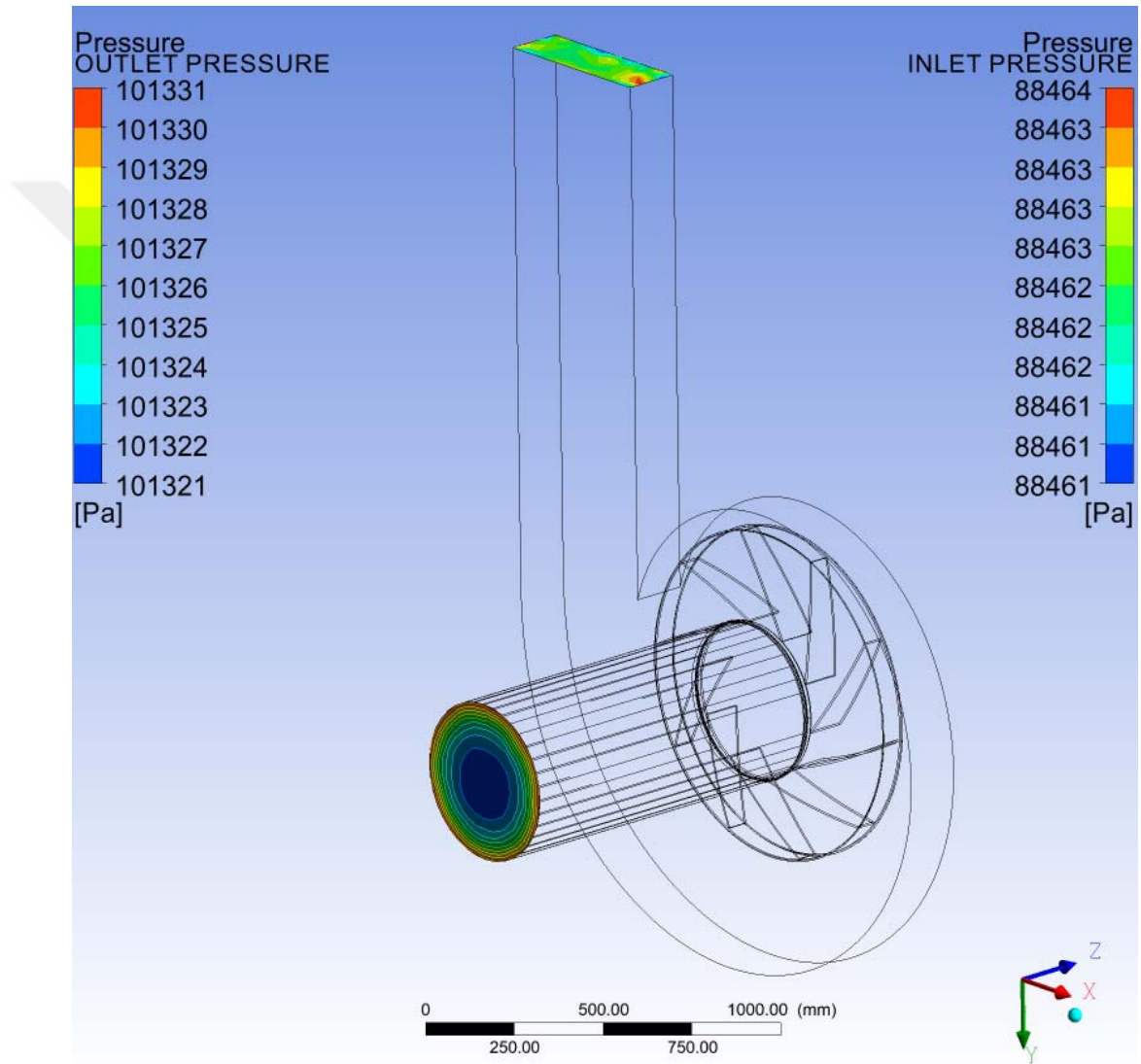
| Giriş-Çıkış<br>Statik<br>Basınç<br>Farkı (Pa) | Tasarım<br>Statik<br>Basıncı (Pa) | Hata<br>Oranı<br>(%) | İterasyon<br>Sayısı |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|---------------------|
| 12.861                                        | 13.435                            | 4,27                 | 1980                |

K' katsayısının 0,57 seçilmesi ile birlikte HAD analizi sonucu %4 lük bir hata oranıyla tutturulmuştur. Yani bu yapıdaki bir geriye eğimli kanatlı santrifüj fan, tasarım koşullarında, K' katsayısı 0,57 değerinde seçilerek oluşturacağı statik basınç, %4 oranında bir hassasiyetle tasarlanabilmiştir.

Bölüm 5.1 deki CBC fanı ile Church fanını fan yasalarına göre karşılaştırmıştık. Şimdi yenilenen Church fanı için aynı işlemleri tekrarlayalım. Çizelge 6.7 deki K' : 0,57 için olan D<sub>2</sub> dış çapı (950,4 mm) ve Çizelge 5.1 deki CBC çarkının dış çapı (933,4 mm) için formül (5.2) uygulanırsa, Çizelge 6.3 deki CBC fanının 12.741 Pa lık statik basınç değerini, yenilenen Church fanının bu çapta 13.212 Pa vermesi beklenmektedir. Halbuki Çizelge 6.9 da yenilenen Church fanının HAD sonucu 12.861 Pa görülmektedir. Buna rağmen, fan çıkışındaki hızları karşılaştırsak CBC fanı 31,7 m/s iken, Church fanında bu değer dar kesitli salyangozdan dolayı yani küçük çıkış kesit alanından dolayı 60,68 m/s dir. Bu değerlerden anlaşılan Church fanının oluşturması gereken çıkıştaki statik basıncın bir kısmı dinamik basınç olarak kaybedilmektedir. O yüzden yukarıdaki çap değişikliğinden dolayı oluşması beklenen statik basınç daha düşük görünmektedir.

## 7. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Austin Church (Church, 1947)'ün hesap yöntemi kullanılarak tasarlanan fanın HAD analizi sonunda K' katsayısının değiştirilmesi ile kalibre edilen tasarımın nihai HAD analiz sonuçları çıkarılmıştır. Bu sonuçlardan en önemlisi olan fanın oluşturmasını istediğimiz basınç farkının HAD analiz sonucu Şekil 7.1 de verilmiştir

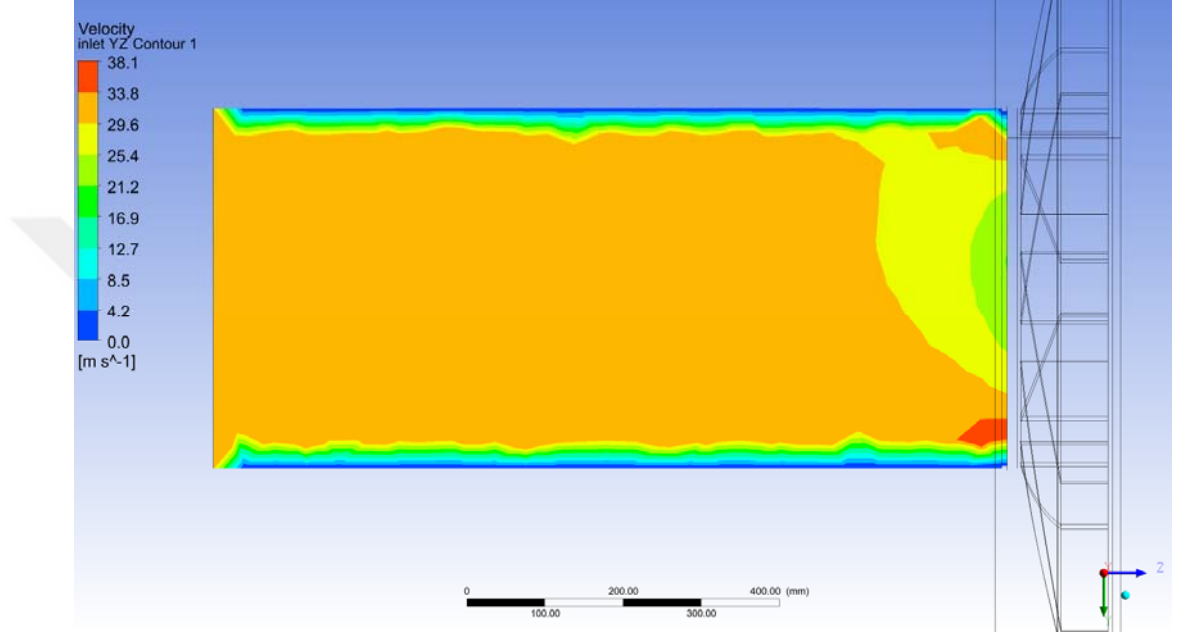


Şekil 7.1. Yenilenen Church fanının HAD statik basınç sonuçları

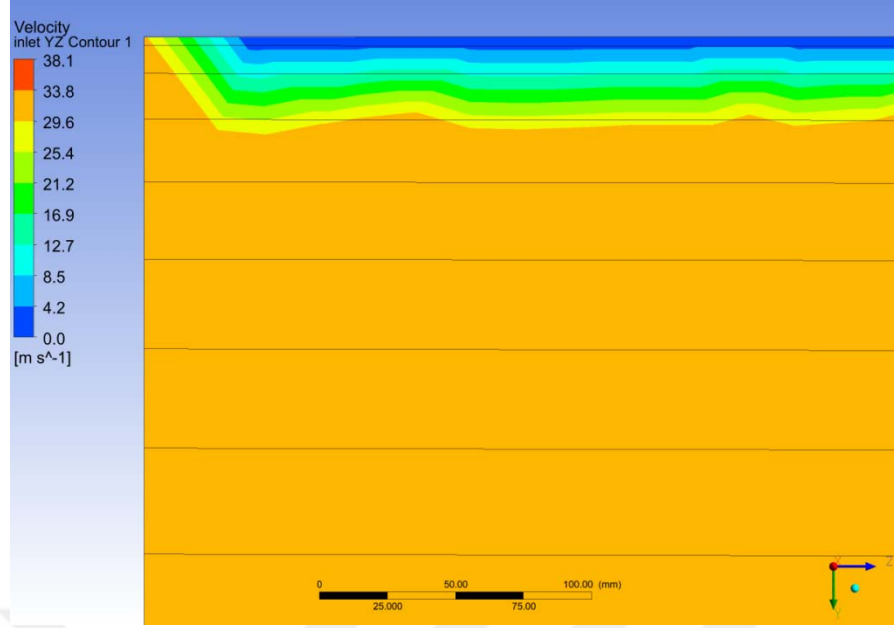
Şekil 7.1 de fanın çıkış kesitinde atmosfer basıncının sabit olduğu görülmektedir. Giriş kesitinde ise 88.464 Pa ile 88.461 Pa arasında değişen bir skalada basınç dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 7.3 ve Şekil 7.4 te ise kanal boyunca alınan kesitteki hız dağılımı gösterilmiştir. Dikkat edilirse tüm giriş kesitinde aynı hızla hareket eden hava kısa bir mesafe sonra sürtünmeden dolayı duvar çeperlerinde sıfıra düşmüştür. Çark girişine yaklaşılmaya başladıktan sonra ise kararlı akışı bozulmaya başlamıştır.



Şekil 7.3. Yenilenen Church fanının giriş kanalı kesidi hız dağılımı



Şekil 7.4. Yenilenen Church fanının giriş kanalı kesidi hız dağılımı detayı

Girişte kesit boyunca eşit hızlarla kanala girmeye başlayan hava Şekil 7.4 de daha yakından görüleceği üzere alttaki skala ile resim karşılaştırıldığında yaklaşık 25 mm sonra kademeli olarak gelişmiş hale gelmiştir. Daha sonrasında ise boru çeperinde akış hızı 0 m/sn ve ortalarda 30,4 m/sn ile akışına devam etmektedir.

Tam gelişmiş durumu analitik olarak tespit edelim. (Çengel ve Cimbala, 2014) ya göre akışkanın tam gelişmiş duruma geldiği uzunluk formülü laminar akış için;

$$L_{h,lamainer} = 0,05 \times Re \times D \quad (7.3)$$

ve türbülanslı akış için

$$L_{h,türbülanslı} = 1,359 \times Re^{1/4} \times D \quad (7.4)$$

şeklindedir. Burada

Re: Reynolds sayısı

D: Boru çapıdır.

Ayrıca Re sayısı formülü ise aşağıdaki gibidir;

$$Re = \frac{\rho V_{ort} D}{\mu} \quad (7.5)$$

Burada

$V_{ort}$ : Ortalama akışkan hızı

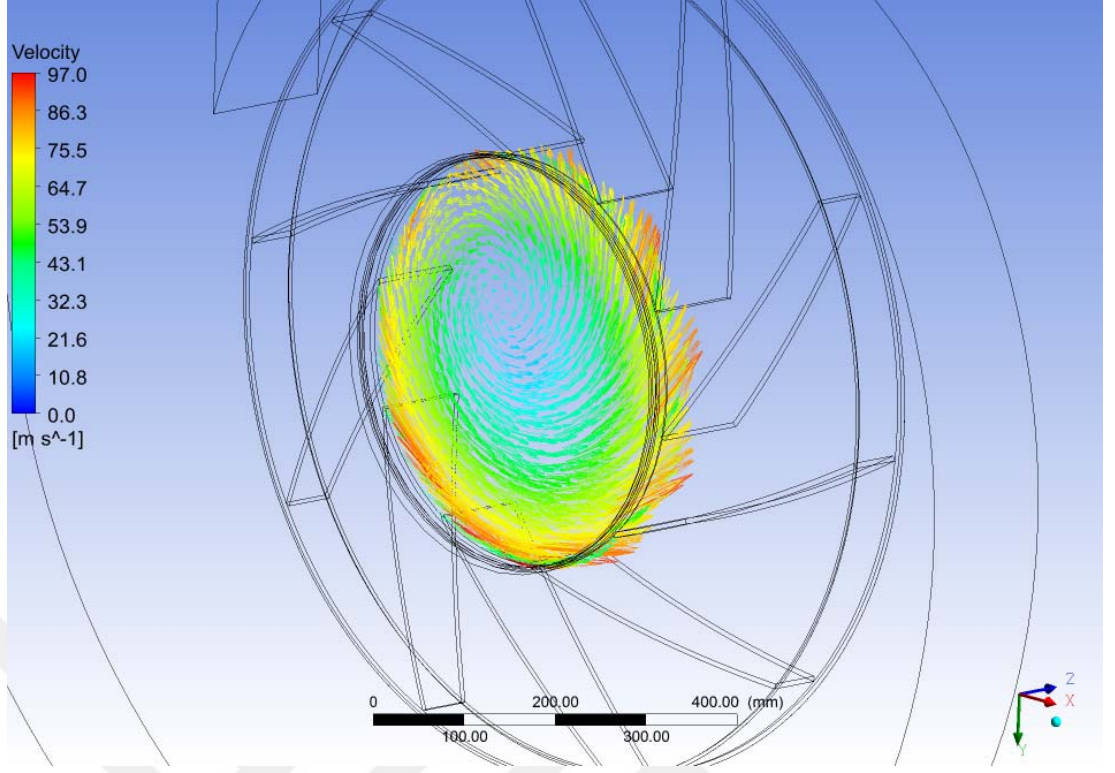
$\rho$ : Akışkan yoğunluğu

$\mu$ : Dinamik viskozitedir.

Hava yoğunluğu  $\rho$ : 1,02 kg/m<sup>3</sup>, Akışkan hızı  $V_{ort}$ : 30,4 m/s, boru çapı D: 0,462 mm, ve dinamik viskozite  $\mu$ : 1,849 10<sup>-5</sup> kg/m.s için Re sayısı 774.781 bulunur. Re sayısı 4000 den büyük olduğu için akış türbülanslıdır. Eşitlik (7.4) ten  $L_{h,türbülanslı}$  uzunluğu 18,63 m bulunur. Tasarladığımız fanın giriş boru uzunluğu ise yalnızca 1 metredir.

Fan vakumlu akış hareketi oluşturduğu için emme borusu içerisinde akışkanın tam gelişmişlik noktasının uzunluğu belirsiz halde hareket ettiği, nümerik çözüm sonucunda da elde edilmiştir. Hesaplarda cebri olarak akış hareketindeki tam gelişmişlik 18,63 m hesaplanmış olmasına rağmen nümerik olarak, fanlı akışın vakum etkisinden dolayı tam gelişmişlik noktası görülememektedir. Fanın giriş borusunun uzunluğu 30 metre olarak ayarladığımız ve aynı koşulları uyguladığımız deneme analizinde bile tam gelişmişliğe ulaşamamıştır.

Fanın boru girişinden çarka doğru ilerlediğimizde bir sonraki durağımız havanın çarka giriş kesitidir. Çark yüzeyinden yaklaşık 30 mm mesafedeki yüzey üzerinde akışkan partiküllerinin hızları Şekil 7.5 de görülmektedir.



Şekil 7.5. Yenilenen Church fanının çark giriş kesit yüzeyi üzerindeki hız dağılımı

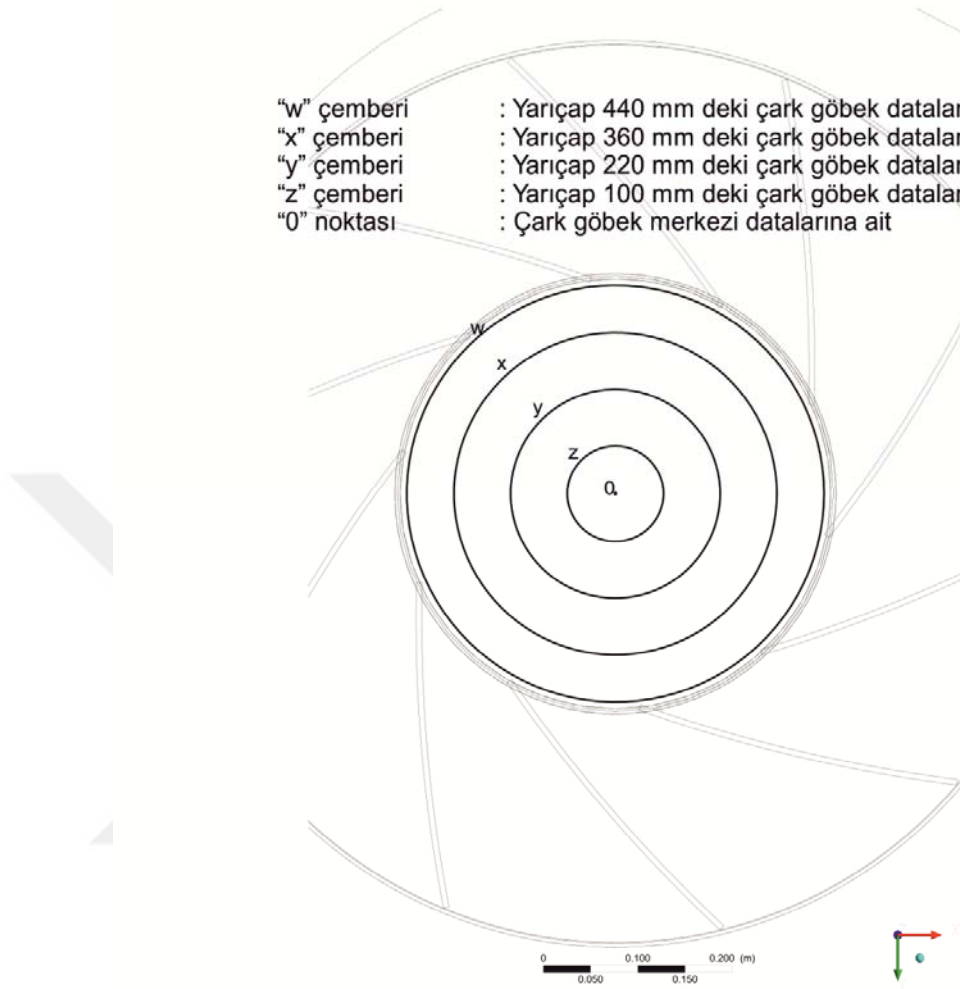
Bu yüzeydeki akışkan hızının ortalaması HAD sonuçlarından hesaplatıldığında 59,67 m/s bulunmuştur. Fanın vakum etkisinden dolayı 30,4 m/s civarındaki giriş hızı fana girerken ortalama 59,67 m/s ile hızlı hareket etmektedir.

Şekil 7.5 te emme borusundan giren akışkanın çark yüzeyine yaklaştığı düzlem üzerindeki akışkan partiküllerinin hareketindeki hızları kanat girişindeki çeper üzerinde dalgalanmalar görülmektedir. Bu dalgalanma akışkan partikülünün Bernoulli denklemine göre sahip olduğu enerji ile salyangoz boşluğunun çeperindeki akışkan partikülünün Bernoulli denklemine göre sahip olunan enerji değerleri arasındaki eşlenik (kinetik enerji eşleniği farkı) farkından meydana gelmektedir.

Çark çıkışındaki hızlar incelenmek istenirse Şekil 7.6 karşımıza çıkmaktadır. Burada 135,3 m/sn ile 0 m/sn arasında hızlar değişmektedir. 0 m/s lik akışkan partikül hız değeri çark yüzeyi ile kanat yüzeyinin kesiştiği ara düzlem çizgisi üzerindeki nümerik olarak durgunluk noktasının bulunduğu bölgelerde hızın 0

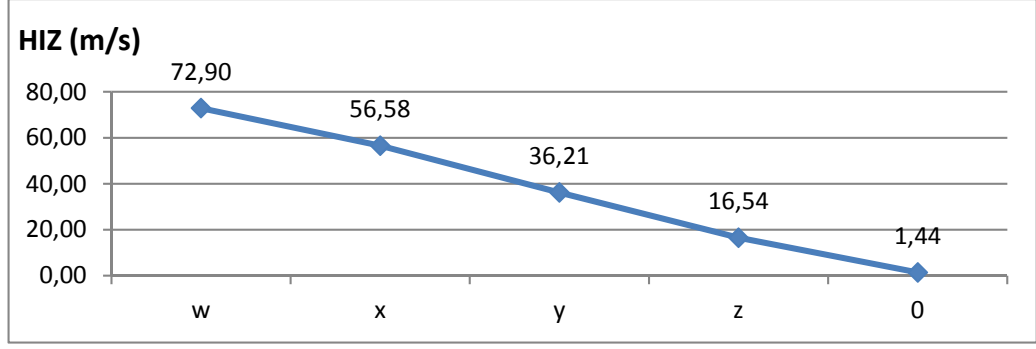


akışkanın w, x, y, z ve 0 noktalarındaki (Şekil 7.7) basınç ve hız değerlerini inceleyelim.

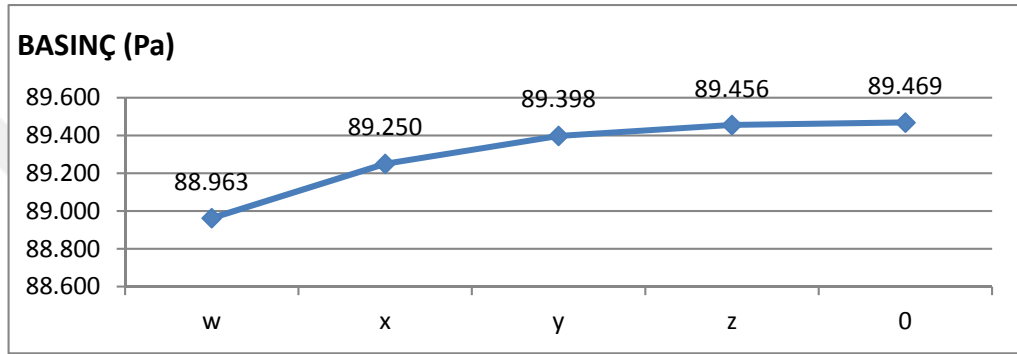


Şekil 7.7 Çark içerisindeki data yerleri açıklamaları

Çarkın göbek giriş çemberi olan w dan itibaren çark giriş göbek merkezi "0" noktasına kadarki değişik çaplardaki (w=440 mm, x=360mm, y=220mm, z=100mm, 0=0mm) çevresel hız ve basınç değerlerinde Bernouilli denkleminin eşitliğini sağlayacak şekilde değişim gösterdiği Şekil 7.8 ve Şekil 7.9 da gösterilmiştir. Bu Bernouilli denklemine göre göbek giriş noktasındaki akışkan partikülünün sahip olduğu enerji eşitliği basınç enerjisi ve kinetik enerji değişimleri birbirlerine uyarlı bir vaziyette hareket etmektedir. w dairesel göbek çapından merkeze doğru basıncın arttığı görülmektedir. Bu artış emme borusundan gelen akışkanın çark göbek merkezine doğru durgunluk noktasını oluşturduğu konuma göre artış göstermektedir. Bu basınç artışına karşılık kinetik enerji düşümü de Şekil 7.8 de görülmektedir.

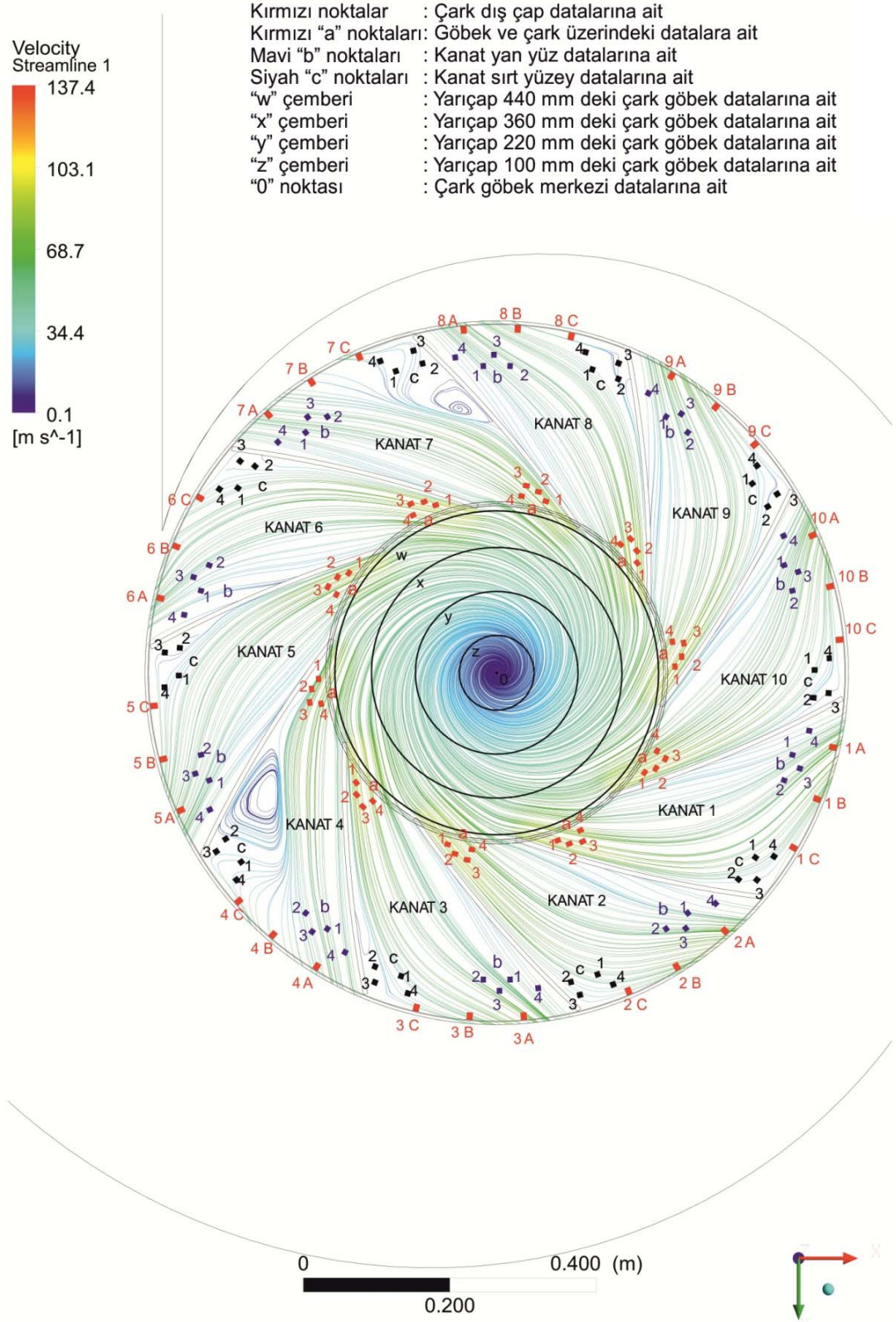


Şekil 7.8 Çark göbek giriş bölgesindeki farklı çaplardaki hız değerleri



Şekil 7.9 Çark göbek giriş bölgesindeki farklı çaplardaki basınç değerleri

w dairesel çember üzerindeki akışkanın radyal yönde çark yüzeyine yayılmış haldeki hareketini izleyebilmek için  $w=440$  mm den daha büyük olan çaplarda bulunan akışkan partiküllerinin basınç ve hız değerlerini inceleyelim. Şekil 7.10 da çark üzerinde bulunan 10 kanat ile 10 eşit parçaya bölünmüş kanat bölgelerindeki basınç ve hız değerlerinin alındığı noktalar görülmektedir. Bu bölgeleri kanat giriş noktalarındaki her kanat aralığı üzerinde rastgele 4 farklı nokta "a" harfi ile gösterilmiş olup bu noktalardaki basınç ve hız değerleri Çizelge 7.1 ve 7.2 de gösterilmiştir. Kanat giriş bölgesindeki noktalar her kanat için ayrı ayrı değerlendirildiğinde çarkın salyangoz konumuna göre basınç ve hızlarında değişiklikler meydana gelmektedir. Salyangoz boğaz kısmına yakın kanat 6 daki "a" grubundaki basınç değerlerinin saat yönünü takip eden doğrultudaki Kanat 7 de arttığı, daha sonraki takip eden kanatlarda düştüğünü oluşturmuş olduğu akışkan ağırlığının (body kuvveti) maksimum olduğu Kanat 3 te minimum basınç değeri meydana gelmektedir.



Şekil 7.10 Çark düzlemi noktaları

Çizelge 7.1 Kanatlar üzerindeki noktalardaki hız değerleri

|     | HIZ (m/s) |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
|-----|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
|     | Kanat 1   | Kanat 2 | Kanat 3 | Kanat 4 | Kanat 5 | Kanat 6 | Kanat 7 | Kanat 8 | Kanat 9 | Kanat 10 |
| a 1 | 84,34     | 84,56   | 84,54   | 68,29   | 80,02   | 83,01   | 78,15   | 81,87   | 83,95   | 83,82    |
| a 2 | 83,21     | 83,37   | 82,20   | 65,32   | 77,14   | 80,73   | 75,97   | 79,73   | 81,78   | 81,47    |
| a 3 | 79,63     | 80,10   | 79,93   | 67,68   | 74,02   | 78,15   | 73,02   | 77,13   | 79,00   | 78,55    |
| a 4 | 74,45     | 75,76   | 76,24   | 71,53   | 69,52   | 74,13   | 70,80   | 72,58   | 74,13   | 73,62    |

Çizelge 7.2 Kanatlar üzerindeki noktalardaki basınç değerleri

|     | BASINÇ (Pa) |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
|-----|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
|     | Kanat 1     | Kanat 2 | Kanat 3 | Kanat 4 | Kanat 5 | Kanat 6 | Kanat 7 | Kanat 8 | Kanat 9 | Kanat 10 |
| a 1 | 88.343      | 88.202  | 88.087  | 88.531  | 88.695  | 88.295  | 88.835  | 88.515  | 88.404  | 88.393   |
| a 2 | 88.653      | 88.511  | 88.582  | 89.110  | 89.210  | 88.777  | 89.282  | 88.974  | 88.865  | 88.878   |
| a 3 | 89.213      | 89.109  | 89.027  | 89.494  | 89.640  | 89.210  | 89.756  | 89.394  | 89.283  | 89.306   |
| a 4 | 89.421      | 89.312  | 89.221  | 89.528  | 89.770  | 89.404  | 89.686  | 89.569  | 89.472  | 89.482   |

Bu noktalardaki değerlerin ortalamaları ise Çizelge 7.3 ve 7.4 verilmiştir.

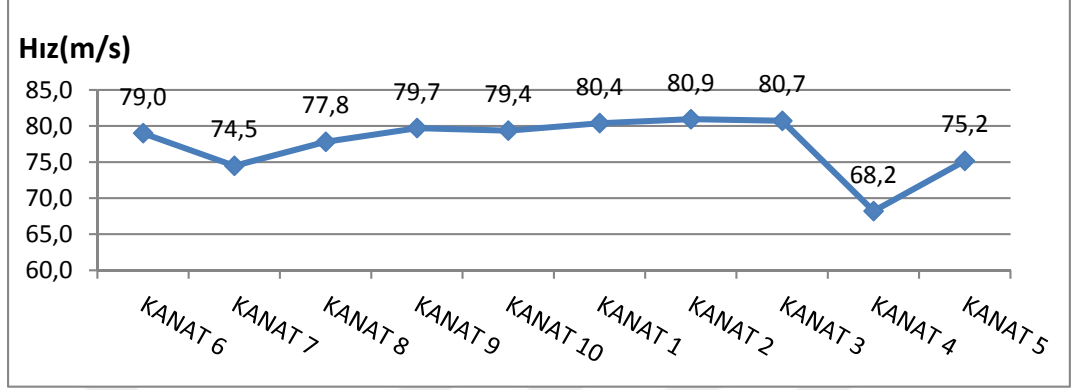
Çizelge 7.3 Kanatlar üzerindeki noktaların ortalama hız değerleri

|     | HIZ (m/s) |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
|-----|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
|     | Kanat 1   | Kanat 2 | Kanat 3 | Kanat 4 | Kanat 5 | Kanat 6 | Kanat 7 | Kanat 8 | Kanat 9 | Kanat 10 |
| a 1 | 80,41     | 80,95   | 80,73   | 68,21   | 75,18   | 79,01   | 74,49   | 77,82   | 79,71   | 79,36    |
| a 2 |           |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
| a 3 |           |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
| a 4 |           |         |         |         |         |         |         |         |         |          |

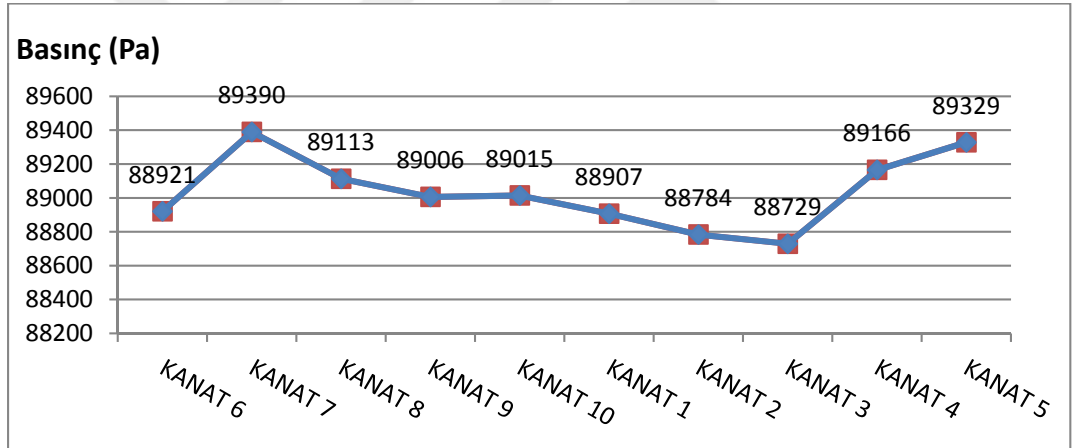
Çizelge 7.4 Kanatlar üzerindeki noktaların ortalama basınç değerleri

|     | BASINÇ (Pa) |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
|-----|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
|     | Kanat 1     | Kanat 2 | Kanat 3 | Kanat 4 | Kanat 5 | Kanat 6 | Kanat 7 | Kanat 8 | Kanat 9 | Kanat 10 |
| a 1 | 88.907      | 88.784  | 88.729  | 89.166  | 89.329  | 88.921  | 89.390  | 89.113  | 89.006  | 89.015   |
| a 2 |             |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
| a 3 |             |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
| a 4 |             |         |         |         |         |         |         |         |         |          |

Çizelge 7.3 ve 7.4 deki kanatlar üzerindeki "a" noktalarının ortalama hız ve basınç değerlerinin grafikleri Şekil 7.11 Şekil 7.12 de gösterilmiştir.



Şekil 7.11 Kanatlar üzerindeki "a" noktalarının ortalama hız değerleri (m/s)

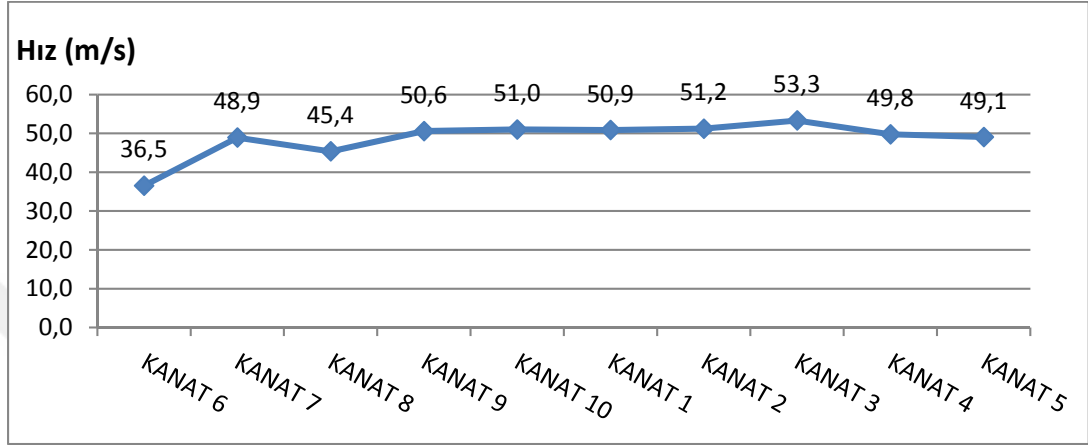


Şekil 7.12 Kanatlar üzerindeki "a" noktalarının ortalama basınç değerleri (Pa)

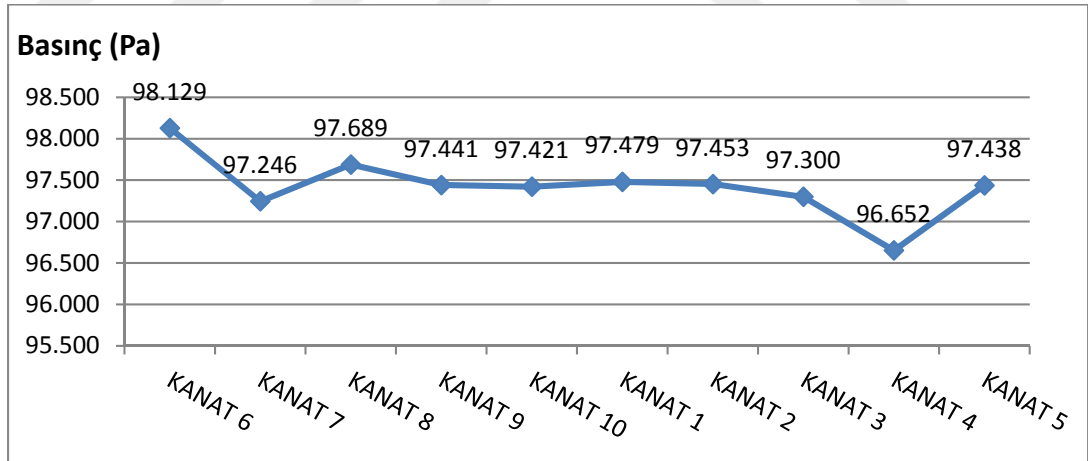
Fanın salyangoz boğazına gelen Kanat 6 bölgesinin orta noktasına gelen değer başlangıç noktası olmak üzere 10 kanat üzerindeki ortalama hız ve basınç değerlerinin grafikleri Şekil 7.11 ve 7.12 de görüldüğü gibi salyangoz boğazında ilerlerken hızın düştüğünü sonra takip eden kanat aralıklarında arttığını sonra en alt noktada olan kanat 3 de ise akışkan ağırlığının (body kuvveti) maksimum olduğu yerde hızın düşmeye başladığını daha sonra da akışkanın çıkış noktasına yakın yerlerde ise merkezkaç kuvvetinin etkisiyle

hızlandığı görülmektedir. Bu durumda hız değerlerine karşılık gelen basınç değerleri Bernoulli denklemine uygunluk göstermiştir.

Ek A, Çizelge A.7 ve A 8 deki kanatlar üzerindeki "b" noktalarının ortalama hız ve basınç değerlerinin grafikleri ise Şekil 7.13 Şekil 7.14 de gösterilmiştir.



Şekil 7.13 Kanatlar üzerindeki "b" noktalarının ortalama hız değerleri (m/s)

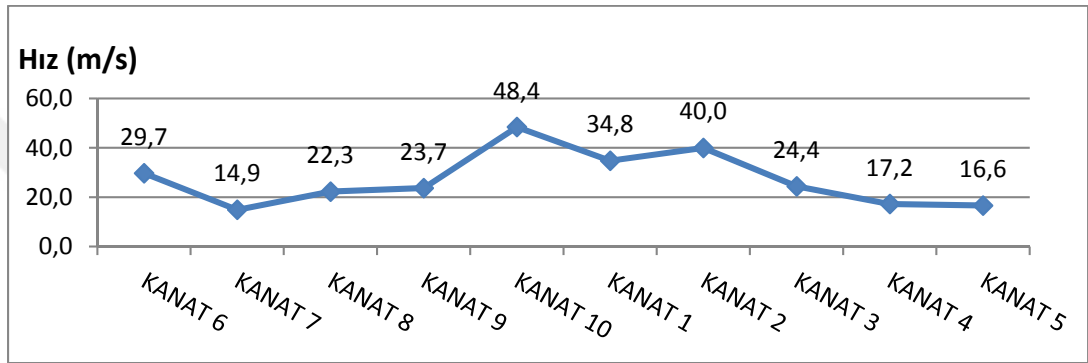


Şekil 7.14 Kanatlar üzerindeki "b" noktalarının ortalama basınç değerleri (Pa)

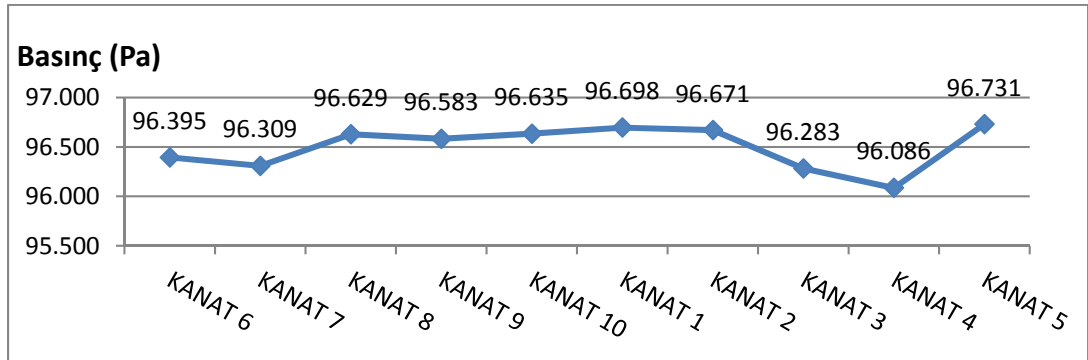
Fanın salyangoz boğazına gelen Kanat 6 bölgesinin orta noktasına gelen değer başlangıç noktası olmak üzere 10 kanat üzerindeki ortalama hız ve basınç değerlerinin grafikleri Şekil 7.13 ve 7.14 de görüldüğü gibi: salyangoz boğazında ilerlerken hızın düştüğünü sonra takip eden kanat aralıklarında

arttığını sonra en alt noktada olan kanat 3 de ise akışkan ağırlığının (body kuvveti) maksimum olduğu yerde hızın düşmeye başladığını daha sonra da akışkanın çıkış noktasına yakın yerlerde ise merkezkaç kuvvetinin etkisiyle hızlandığı görülmektedir. Bu durumda hız değerlerine karşılık gelen basınç değerleri Bernoulli denkleminde uygunluk göstermiştir.

Ek A, Çizelge A.7 ve A 8 daki kanatlar üzerindeki "c" noktalarının ortalama hız ve basınç değerlerinin grafikleri ise Şekil 7.15 Şekil 7.16 da gösterilmiştir.



Şekil 7.15 Kanatlar üzerindeki "c" noktalarının ortalama hız değerleri (m/s)

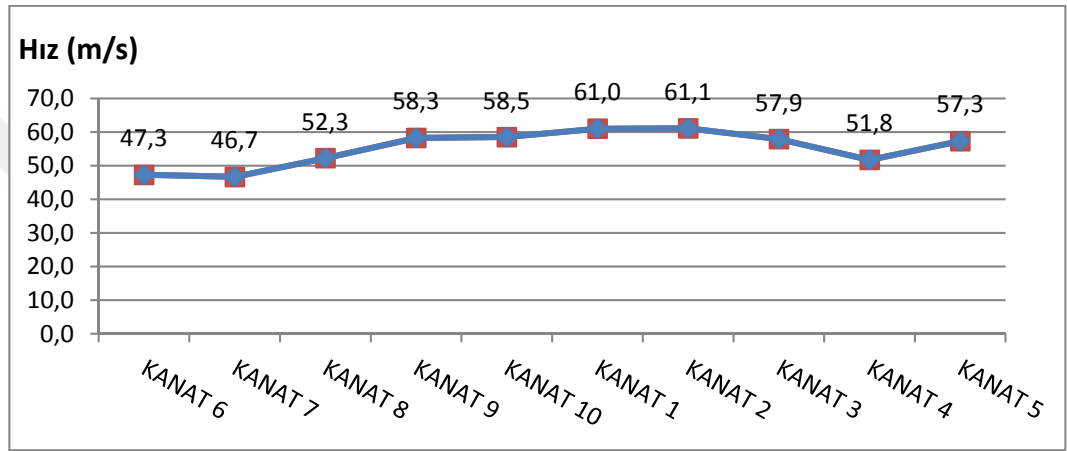


Şekil 7.16 Kanatlar üzerindeki "c" noktalarının ortalama basınç değerleri (Pa)

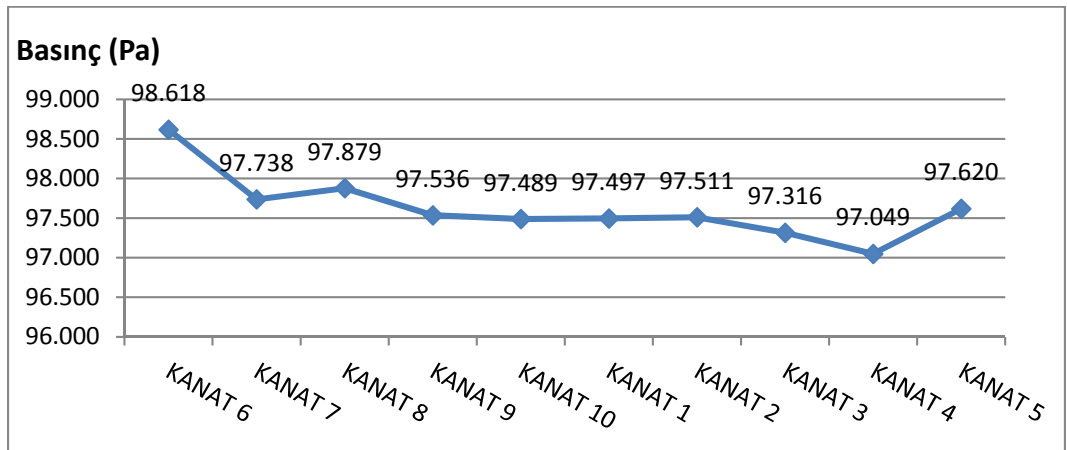
Salyangoz boğazı hariç tutulmak şartıyla saat yönündeki kanatlar boyunca hız değerinin yavaş yavaş arttığını ve kanat 10 da ise maksimum değere ulaştığı görülmektedir. Kanat 6 dan sonraki bölgelerde yerçekimi vektörünün tersi istikametinde akışkan çark boyunca ilerlemesinden kaynaklanan ağırlık kuvvetinin etkisi görülmektedir. Kanat 10 dan sonra ise salyangoz

boşluğundaki akışkanın salyangoz çıkış bölgesinde ilerlemesini sağlayan çıkış basıncının artması ile hızında azalma görülmektedir. Bu azalma kanat 4 ün "c" bölgesinde salyangoz içerisindeki akışkan basıncından dolayı bir girdap meydana getirmektedir. Bu da Şekil 7.10 da ve Ek B Şekil B.1 de açıkça görülmektedir.

Çark üzerindeki 10 farklı kanadın çark çıkış bölgesindeki 3 nokta olan A B ve C deki hız basınç ortalamalarının grafikleri Şekil 7.17 ve 7.18 de gösterilmiştir.



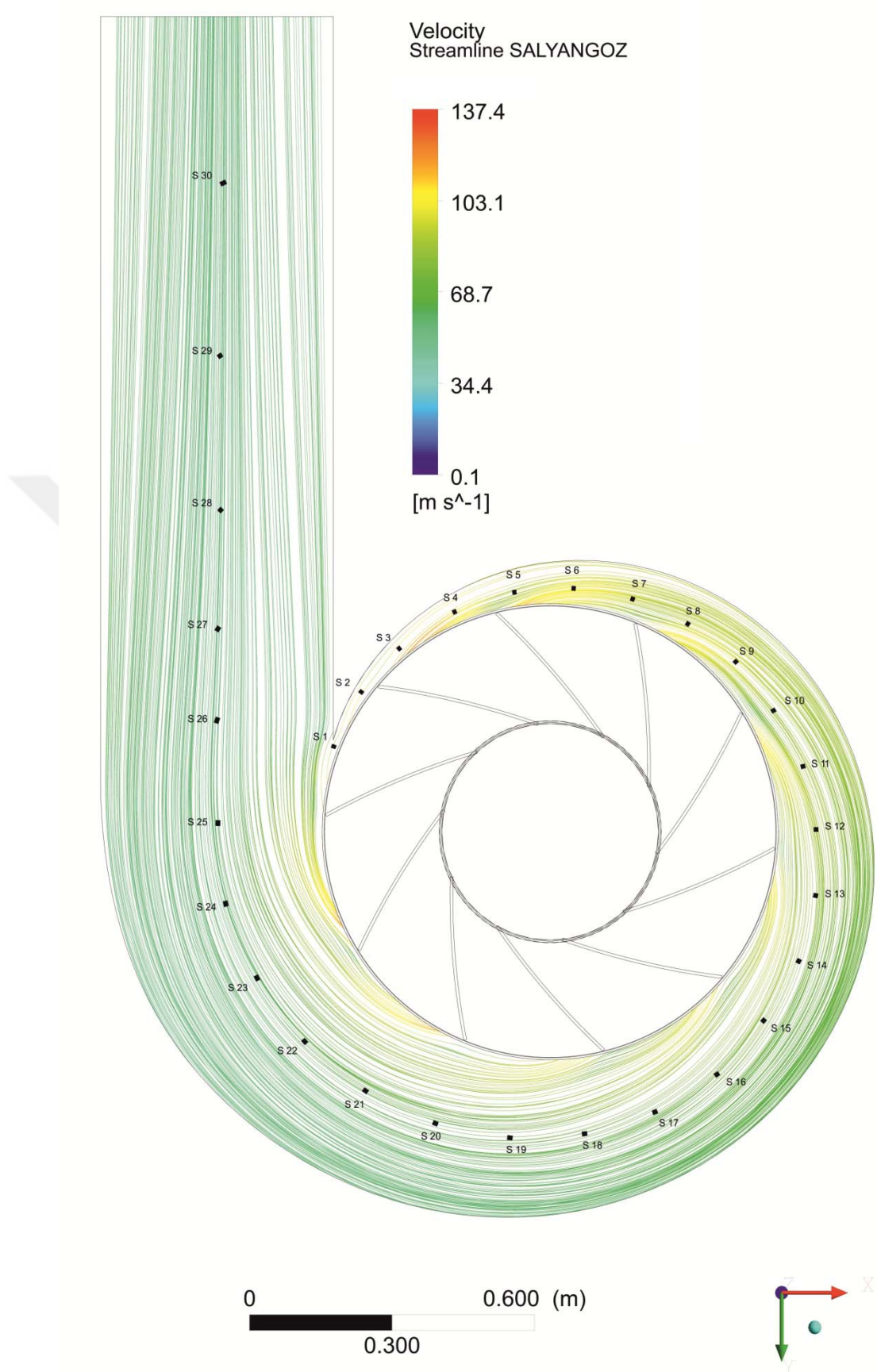
Şekil 7.17 Kanatlar üzerindeki A,B ve C noktalarının ortalama hız değerleri (m/s)



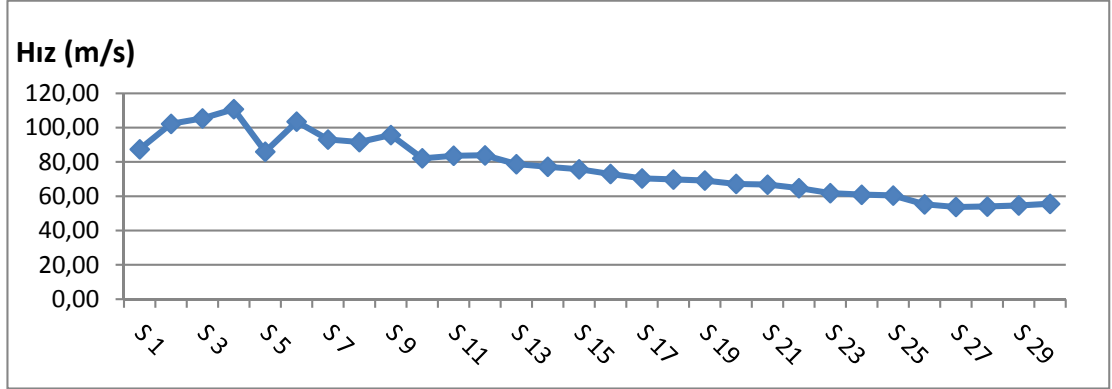
Şekil 7.18 Kanatlar üzerindeki A,B ve C noktalarının ortalama basınç değerleri (Pa)

Girdap bölgesi olan kanat 4 hariç olmak üzere diğer kanat bölgelerindeki basınç ve hız değerleri Bernoulli denklemine uyarak hareket ettiği görülmektedir. Kanat 4 te ise salyangoz içerisindeki ve çıkışa yönelmiş akışkanın sahip olmuş olduğu basınç ile bu kanat bölgesinde bulunan akışkanın merkezkaç kuvvetinin meydana getirmiş olduğu basınç ile dengede olabilmesi için kanadın içerisinde küçük sel halinde girdap oluştuğu görülmektedir. Bu girdap çarkın emerek almış olduğu akışkanı çıkış noktasına bastığını gösteren bir semboldür.

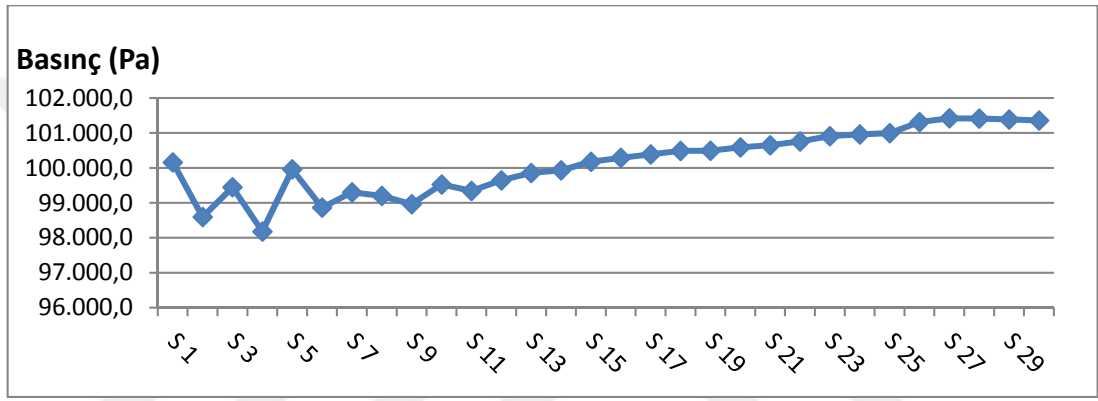
Çark yüzeyindeki hız ve basınç değerlerinden başka çark ile salyangoz arasındaki boşluğun ortalama çizgisi üzerindeki Şekil 7.19 da gösterilen S 1- S 30 noktalarındaki hız ve basınç değerleri Şekil 7. 20 ve 7.21 de gösterilmiştir.



Şekil 7.19 Salyangoz düzlemi akış çizgileri ve noktaları



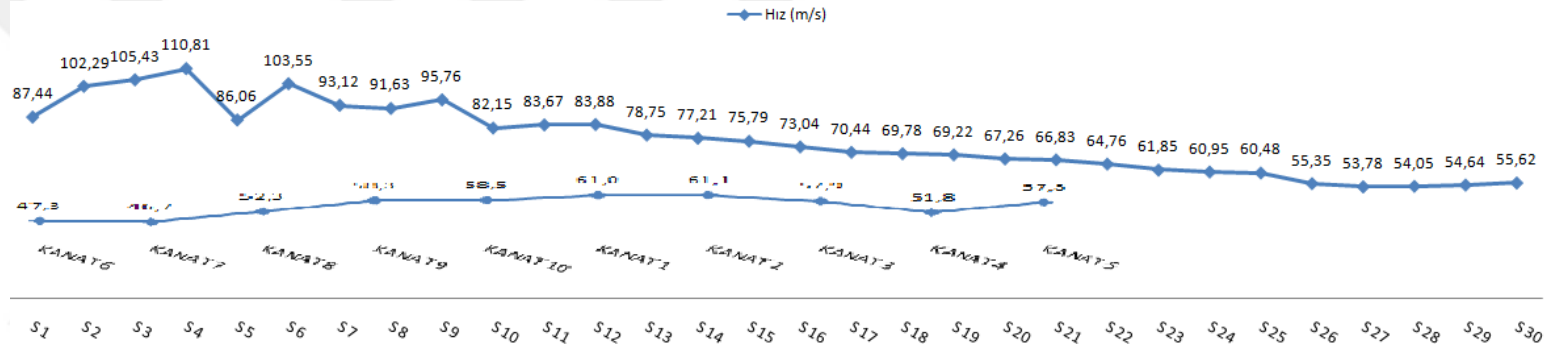
Şekil 7.20 Salyangoz noktaları hız değerleri



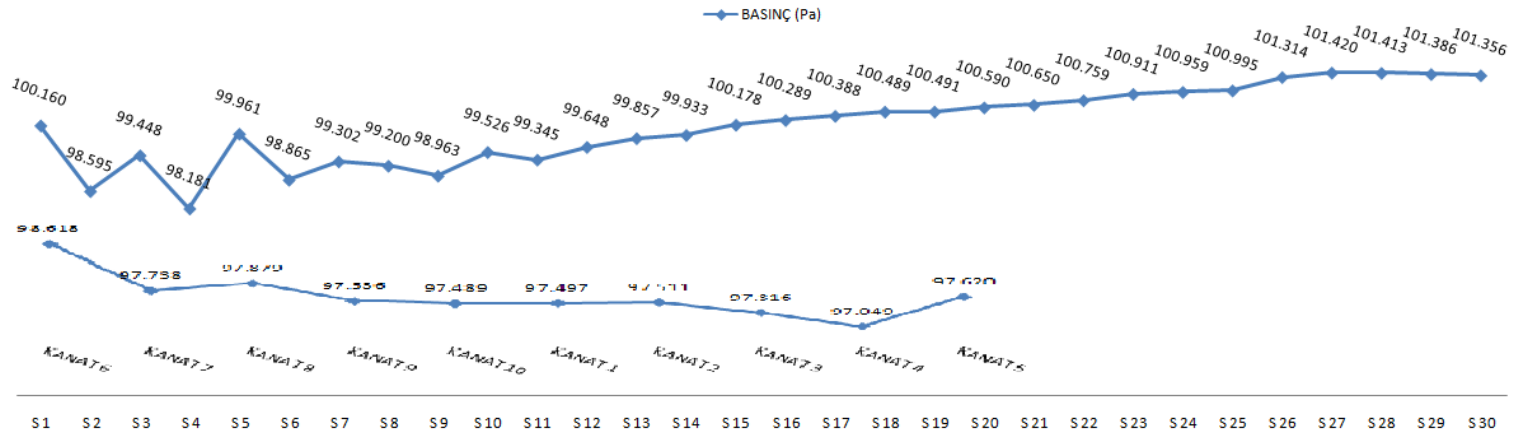
Şekil 7.21 Salyangoz noktaları basınç değerleri

Salyangoz boğazından başlayıp salyangoz çıkışına kadarki boşluğun orta çizgisi üzerinde hız ve basınç değerlerinin Bernoulli denkleminin tam uyarlanması görülmektedir. Salyangoz boğaz bölgesinde akışkanın ağırlık kuvveti  $G$  vektörü ile aynı olmasından dolayı basınç ve hızlarda zigzaglar görülmektedir. S 3 den itibaren Bernoulli denklemine uygunluğu görülmüştür.

Yine salyangoz boşluğu üzerindeki S 1 den S 30 a kadarki noktaların hız ve basınç grafikleri ile çarkın üzerindeki kanatların dış çapları üzerindeki noktaların ortalama hız ve basınç değerlerinin şekilsel olarak karşılaştırılması Şekil 7.22 de hız, Şekil 7.23 de ise basınç değerleri için görülmektedir.



Şekil 7.22 Salyangoz noktaları ile çark çıkış noktaları hızlarının şekilsel karşılaştırılması



Şekil 7.23 Salyangoz noktaları ile çark çıkış noktalarının basınçlarının şekilsel karşılaştırılması

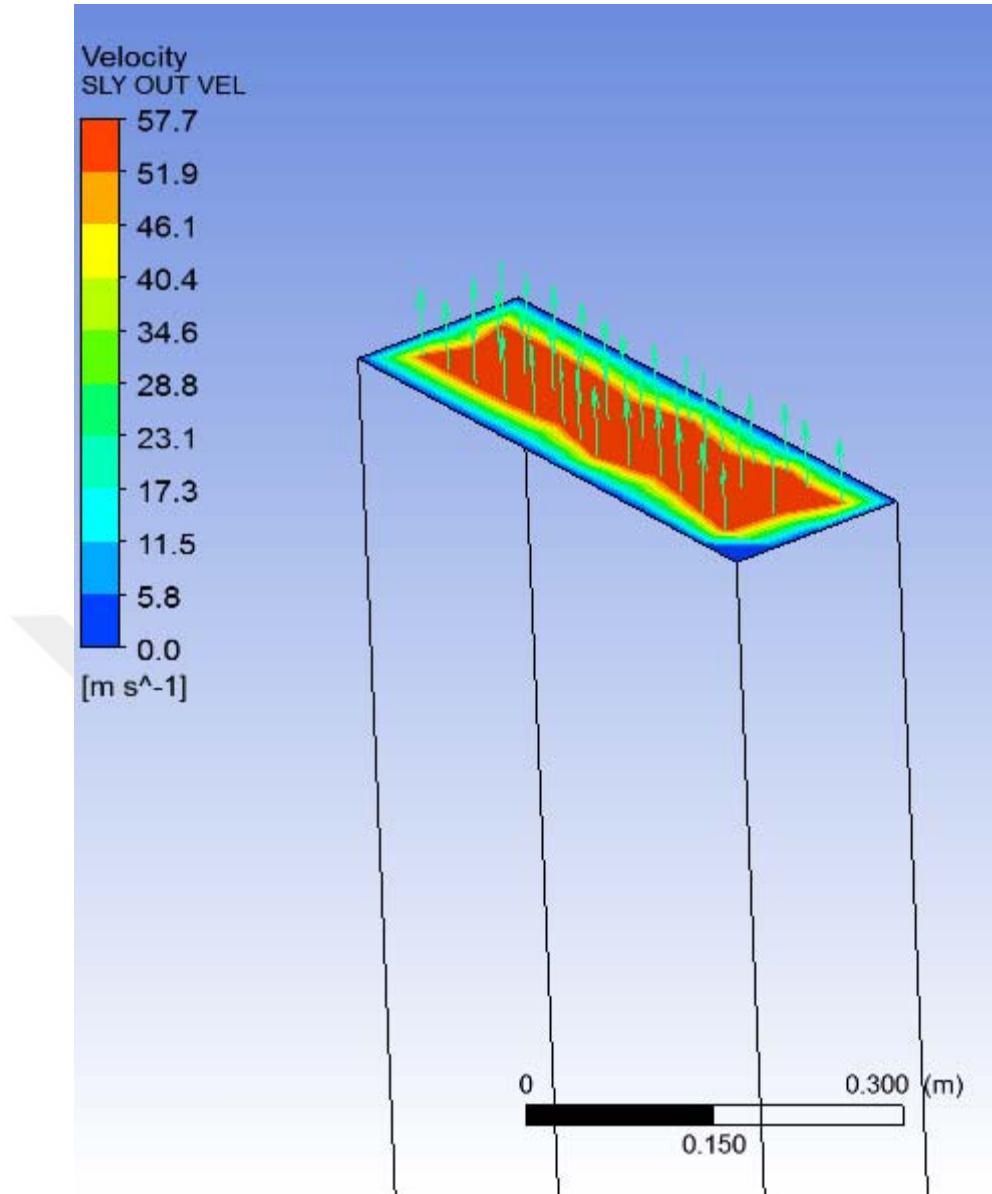
Çark çıkış çeperindeki noktalar ile salyangoz boşlukları arasındaki noktaların şekilsel hız değerlerinin karşılaştırılması Şekil 7.22 de, basınçların karşılaştırılması ise Şekil 7.23 de gösterilmiş olup: bu iki bölgenin hız ve basınç değerlerinde bir orantı olduğu görülmektedir. Bu da çark içerisindeki akışkan hareketi ile salyangoz içerisindeki akışkan hareketinin birbiri ile uyumlu hareket ettiğini göstermektedir.

Son olarak salyangoz çıkışını inceleyelim. Fanın çıkış kesitinin hız dağılımı Şekil 7.24 de 57,7 ile 0 m/sn arasında değişmektedir. Çıkış kesidi dikdörtgen kesit olmasından dolayı kenarlarda ve nümerik çözümde belirtilen sınır şartlarında akışkan ile çeper arasında kaymazlık etkisinden dolayı hız 0 görülmektedir. Yenilenen Church fanının analitik çözümündeki salyangoz tasarımında hesaplanan ortalama hız ise Ek A, Çizelge A.6 nın son satırındaki salyangoz çıkışına en yakın ( $V_{ort}$ ) 60,68 m/sn bulunmuştur. Aradaki fark %4,91 olup bu değer nümerik akışkanlar mekaniği çözümünün kabul kriteri olan %7 den küçük olduğu görülmektedir.

Sayfa 92 deki Şekil 7.6 da gösterilen çark çıkış hızının ve salyangoz çıkış hızının HAD yöntemi sonucu ve analitik çözüm sonuçlarının karşılaştırılması Çizelge.7.5 de verilmiştir.

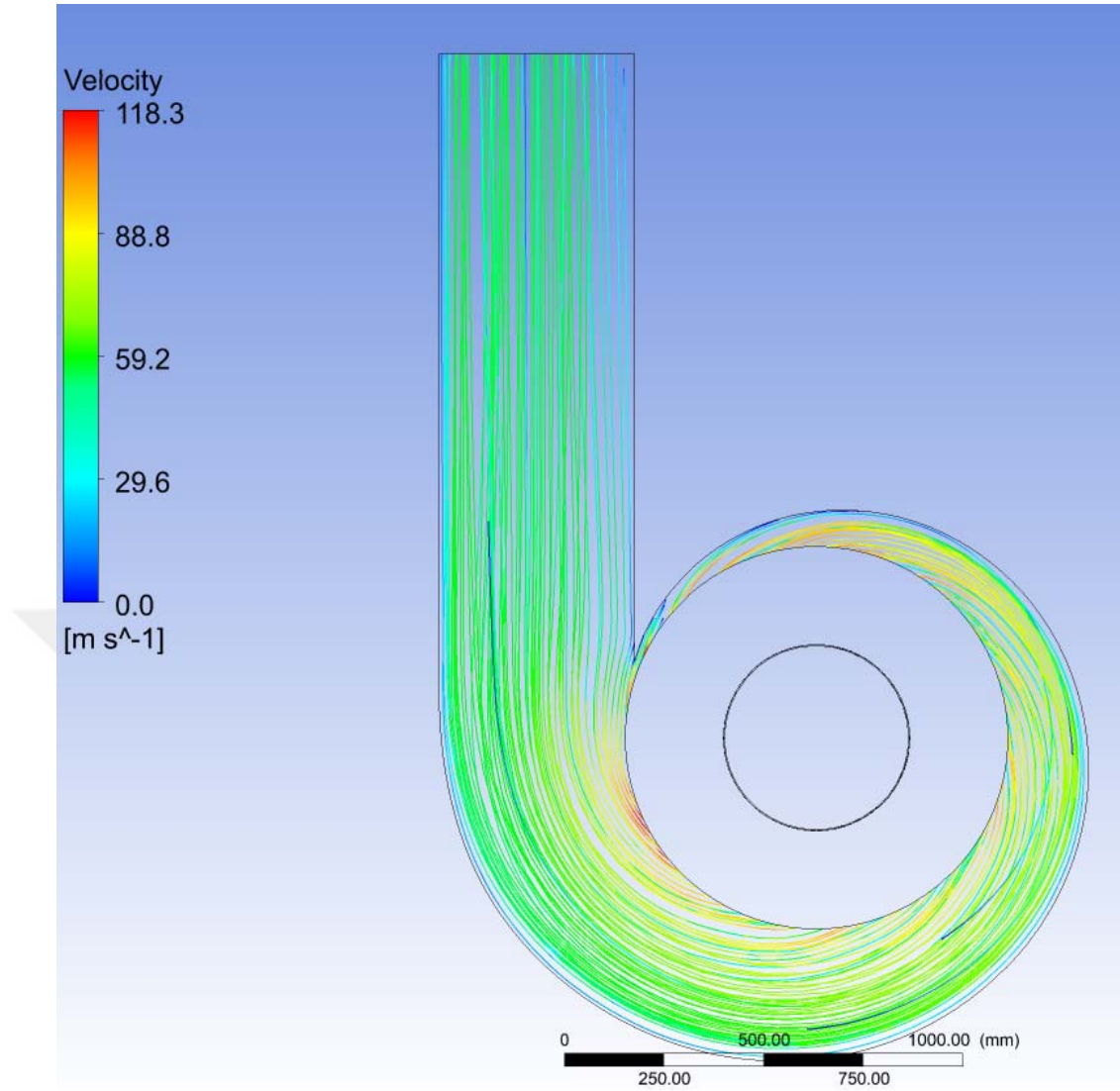
Çizelge 7.5 HAD sonuçlarının analitik sonuçlarla karşılaştırılması

|                      | HAD<br>(m/s) | Analitik<br>(m/s) | Fark<br>(%) |
|----------------------|--------------|-------------------|-------------|
| Çark çıkış hızı      | 96,98        | 94,72             | 2,40        |
| Salyangoz çıkış hızı | 57,70        | 60,68             | 4,91        |



Şekil 7.24. Yenilenen Church fanının salyangoz gövdesi çıkış kesiti hız dağılımı

Çark üzerinde bulunan 4 numaralı kanat bölgesi (Şekil 7.10) içerisinde meydana gelen girdabın etkisini (Kanat 4 üzerindeki "c" bölgesinin ortalama basınç değerinin düşük değerlerde olması) salyangoz içerisinde bu kanat bölgesine sınır olan alandaki akışkan hızının en yüksek değerde çıkması ile Bernoulli denklemine göre uyumlu olduğu Şekil 7.25 de görülmektedir.



Şekil 7.25. Salyangoz Hız Vektörleri

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmamızda seçilen bir tasarım metodu ile sıfırdan bir fan tasarlanmış ve HAD yöntemi sonucuna göre güncellenmiştir. HAD yönteminin doğruluğunu ve hassasiyetini tespit edebilmek için ise önceden test edilmiş fan eğrilerine sahip olan CBC firmasının ürün gamından bir fan seçilerek HAD yöntemi ayarları ile çıkan sonuç bu eğrinin tasarım noktasındaki statik basınç ile karşılaştırılmıştır. Farklı ağ ayarları ve kaliteleri ile ağ yapısı oluşturulmuş geometri analiz edilmiş ve en uygun ağ ayarları tespit edilmiştir. Sonuçta çıkan statik basınç farkı CBC fan eğrisinin tasarım noktasındaki statik basınç ile karşılaştırılmış ve %5 lik bir hata payı ile sonuç tutturulmuştur. Daha sonra %5 hassasiyet ile kalibre edilen bu HAD ayarları ile Church yöntemi ile yeniden tasarlanan fan geometrisi analiz edilmiş ve ilk olarak %11 civarında çıkan hata payı, K' katsayısının güncellenmesi ile %4 e düşürülmüştür. Bu sayede bu tip fanın bu tasarım koşullarında istenen performansı verebilmesi için kullanılması gereken ve çark içindeki sürtünme ve türbülans kayıplarının Church yöntemindeki karşılığı olan K' katsayısı HAD yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir. Church'e (Church, 1947) göre bu katsayı yalnızca deney sonuçları ile tespit edilebilirken gelişen HAD yöntemleri sayesinde deney düzeneğine gerek kalmadan hem zaman kaybını hem de deney masraflarını ortadan kaldırarak %4 hassasiyetle tespit edilebilmiştir.

Daha sonra fan girişinde itibaren HAD sonuçları analitik hesap sonuçları ile karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. Fan girişindeki emiş borusundaki akışkanın gelişmişlik düzeyi incelenmiş, tam gelişmişlik durumuna ulaşamamasının sebebinin fanın vakum etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çarka girdikten sonra merkezden dışarıya doğru çarktaki bir düzlem üzerindeki nokta ve bölümler teker teker incelenmiş ve sonuçları tartışılmıştır. Son olarak ise salyangoz üzerindeki noktaların hız ve basınç değerleri çıkarılarak çark çıkışı ile ilişkisi gösterilmiştir. Ayrıca tasarım aşamasında tespit edilen basınç ve hızlardan bazıları HAD sonuçları ile karşılaştırılmış ve bu değerlerin hepsinin akışkanlar mekaniği nümerik çözümlerinin kabul sınır değeri olan %7 nin altında çıktığı görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- Almeida, Fonseca, Bertoldi, 2002, Energy-efficient motor systems in the industrial and in the services sectors in the European Union: characterisation, potentials, barriers and policies, Science Direct, Energy 28 (2003) 673-690
- ANSYS Inc., 2009, Meshing Help Document. Release 12.1, page 102 .
- ANSYS Inc., 2006, Innovative Turbulence Modeling: SST Model in ANSYS CFX.
- Balje O. E., 1981 Turbomachines, John Wiley & Sons, 514, New York.
- Bleier F. P., 1998, Fan Handbook. McGrawHill, 397p, Chicago.
- Bruno E., 1972, Fans, Design and Operation of Centrifugal, Axial-Flow and Cross Flow Fans, Pergamon Press, 611p, Oxford.
- Bulgurcu H. (Ed.), 2015. Havalandırma Tesisatı (94-141), MMO İstanbul Şube 31. Dönem Havalandırma Tesisatı Kitap Komisyonu, 620s, İstanbul.
- Church A. H., 1947, Centrifugal Pumps and Blowers. John Wiley & Sons, 308 p, New York.
- Çengel Y. A., Boles M. A., 1996, Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik. Çev. Taner Derbentli, McGraw-Hill- Literatür, 867s, İstanbul.
- Çengel Y. A., Cimbala J. M., 2014, Fluid Mechanics Fundamentals and Applications, 3rd Addition. McGraw-Hill, 1006 p, New York.
- Denton J. D., 1993, Loss Mechanisms in Turbo Machines., Journal of Turbomachinery, Transactions of the ASME, Volume 115, 40, England
- IS 4894, 1987, Indian Standards Specification for Centrifugal Fans, Reaffirmed in 1994. IS, India. Aktaran: Vibhakar N. N., 2012, Studies on Radial Tipped Centrifugal Fan. Veer Narmad South Gujarat University, Faculty of Engineering Including Technology, Phd, Thesis, 350p, Surat.
- Kearton W. J., 1942, Influence of Number of Impeller Blades on the Pressure Generated in a Centrifugal Compressor and on its General Performance. Proceedings of Institute of Mechanical Engineers, pp. 481-568, 88p, England.
- Kovatz A., Desmur G., 1958. Pumps, Fans and Compressors, Blackie & Son Ltd, 327p New York,
- Krepper E., Willschütz H. G., and F. P. Weiss, 1999, Solution of a Mixed Convection Flow Benchmark Using Computational Fluid Dynamic Codes. Japan Society of Mechanical Engineers, 9 p, Tokyo.
- Myles D. J., 1969, An Analysis of Impeller and Volute Losses in Centrifugal Fans, National Engineering Laboratory, 253-277p, Glasgow.
- Osborne William C., 1977, Fans Pergamon Press, 228p, New York. Aktaran: Vibhakar N. N., 2012, Studies on Radial Tipped Centrifugal Fan. Veer Narmad South Gujarat University, Faculty of Engineering Including Technology, Phd, Thesis, 350p, Surat
- Roache P. J., 1997, Quantification of Uncertainty in Computational Fluid Dynamics. Annual Review of Fluid Mechanics, Volume 29, pp. 123-160, 36p, New Mexico.
- Siwek T., Gorski J., Fortuna S., 2014, Numerical and Experimental Study of Centrifugal Fan Flow Structures and Their Relationship with Machine Efficiency. AGH University of Science and Technology, Pol. J. Environ. Stud. Vol. 23 N. 6 (2014), 2359-2364, Poland.
- Stepanoff A. J., Haltmeier A., 1957, Radial und Axialpumpen. Springer, 401p, Berlin

- Stodola A. 1945, Steam and Gas Turbines. Peter Smith Publications, 1356p New York,
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2016. Net Elektrik Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı. Erişim Tarihi: 05.07.2019. [http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do%3FistatistikTablo\\_id%3D1579&ved=2ahUKEwiSqrBN\\_Z3jAhWDwsQBHehSAOQQFjABegQIARAB&usg=AOvVaw1PtkHOWQD2HVGyX4klDvpj](http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do%3FistatistikTablo_id%3D1579&ved=2ahUKEwiSqrBN_Z3jAhWDwsQBHehSAOQQFjABegQIARAB&usg=AOvVaw1PtkHOWQD2HVGyX4klDvpj)
- Tsuei H., Oliphant K., Japikse D., 1999, The Validation of Rapid CFD Modeling for Turbomachinery. Institution of Mechanical Engineers, England, 22p, England.
- Vibhakar N. N., 2012, Studies on Radial Tipped Centrifugal Fan. Veer Narmad South Gujarat University, Faculty of Engineering Including Technology, Phd, Thesis, 350p, Surat.
- Waide P., Brunner, C.U., 2011. Energy Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems. Internationale energy agency. Aktaran: Esen, 2015. Türkiye ve Dünyada Elektrik Motorları Enerji Tüketimi ve İlgili Teknik Mevzuat. Türk Standartları Enstitüsü Elektroteknik Laboratuvarları Gebze Müdürlüğü, Kocaeli, (3), 6s.
- Whitfield A., Baines N. C., 1990, Design of Radial Turbomachines. Longman Scientific & Technical Publications, 414p, England,.

## **EKLER**

**EK A.** Çizelgeler

**EK B.** Şekiller



**EK A. Çizelgeler**

Çizelge A.1 İlk tasarlanan Church fanı çark tasarım çizelgesi

| BÖLÜM   |                             |                                  |                   | İTERASYON |         |         |         |        |
|---------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------|-----------|---------|---------|---------|--------|
|         |                             | SİMGE                            | BİRİM             | 1         | 2       | 3       | 4       | FARK   |
| 4       | Hacimsel Debi               | Q                                | m <sup>3</sup> /s | 5,140     | 5,294   | 5,294   | 5,294   | 0,0000 |
|         | Statik Emiş Basıncı         | P <sub>emiş</sub>                | Pa                | -13.435   | -13.435 | -13.435 | -13.435 | 0,0000 |
|         | Statik Basma Basıncı        | P <sub>basma</sub>               | Pa                | 0         | 625,0   | 625,0   | 625,0   | 0,0000 |
|         | Statik Basıncı Gradyantı    | ΔP <sub>s</sub>                  | Pa                | 13.435    | 14.060  | 14.060  | 14.060  | 0,0000 |
|         | Rotor Dönüş Hızı            | N                                | d/d               | 2.970     | 2.970   | 2.970   | 2.970   | 0,0000 |
|         | Akışkan Yoğunluğu           | ρ <sub>hava</sub>                | kg/m <sup>3</sup> | 1,02      | 1,02    | 1,02    | 1,02    | 0,0000 |
|         | Kanat Sayısı                | z                                | adet              | 10        | 10      | 10      | 10      | 0,0000 |
|         | Kanat Çıkış Açısı           | β <sub>2</sub>                   | derece            | 56,59     | 56,59   | 56,59   | 56,59   | 0,0000 |
|         | Emiş Sıcaklığı              | T <sub>s</sub>                   | °C                | 25,00     | 25,00   | 25,00   | 25,00   | 0,0000 |
|         | Emiş Sıcaklığı              | T <sub>s</sub>                   | °K                | 298,15    | 298,15  | 298,15  | 298,15  | 0,0000 |
|         | Atmosfer Basıncı            | P <sub>atm</sub>                 | Pa                | 101.325   | 101.325 | 101.325 | 101.325 | 0,0000 |
|         | Atmosfer Sıcaklığı          | T <sub>atm</sub>                 | °C                | 25,00     | 25,00   | 25,00   | 25,00   | 0,0000 |
|         | Atmosfer Sıcaklığı          | T <sub>atm</sub>                 | °K                | 298,15    | 298,15  | 298,15  | 298,15  | 0,0000 |
|         |                             |                                  |                   |           |         |         |         |        |
| 4.1     | Havanın Atm. Yoğunluğu      | ρ <sub>a</sub>                   | kg/m <sup>3</sup> | 1,020     | 1,020   | 1,020   | 1,020   | 0,0000 |
|         | Kütleli Debi                | ṁ                               | kg/s              | 5,2428    | 5,40    | 5,40    | 5,40    | 0,0000 |
| 4.1.1.1 | Kanal Giriş Hızı            | V <sub>kanal</sub>               | m/s               | 31,60     | 31,60   | 31,60   | 31,60   | 0,0000 |
|         | Emiş Kanal Çapı             | D <sub>kanal</sub>               | m                 | 0,455     | 0,462   | 0,462   | 0,462   | 0,0000 |
|         | Giriş Hızı                  | V <sub>1</sub>                   | m/s"              | 31,60     | 31,60   | 31,60   | 31,60   | 0,0000 |
|         | Emiş Basma Yüksekliği       | H <sub>emiş</sub>                | m                 | 50,90     | 50,90   | 50,90   | 50,90   | 0,0000 |
|         | Kanat Girişi Mutlak Basıncı | P <sub>giriş</sub>               | m/s               | 87.890    | 87.890  | 87.890  | 87.890  | 0,0000 |
|         | Kanat Giriş Basıncı Oranı   | ε p <sub>giriş</sub>             |                   | 0,867     | 0,867   | 0,867   | 0,867   | 0,0000 |
|         | Kanat Giriş Sıcaklığı       | T <sub>0</sub>                   | °K                | 286,26    | 286,39  | 286,39  | 286,39  | 0,0000 |
|         | Kanat Giriş Yoğunluğu       | ρ <sub>giriş</sub>               | kg/m <sup>3</sup> | 1,069     | 1,069   | 1,069   | 1,069   | 0,0000 |
|         | Kanat Giriş Hacimsel Debi   | Q <sub>giriş</sub>               | m <sup>3</sup> /s | 4,90      | 5,05    | 5,05    | 5,05    | 0,0000 |
|         |                             |                                  |                   |           |         |         |         |        |
|         |                             |                                  |                   |           |         |         |         |        |
| 4.1.1.2 | Kanat Giriş Çapı            | D <sub>giriş</sub>               | m                 | 0,455     | 0,451   | 0,451   | 0,451   | 0,0000 |
|         | Giriş Çapı                  | D <sub>1</sub>                   | m                 | 0,4641    | 0,4600  | 0,4600  | 0,4600  | 0,0000 |
|         | Giriş Çevresel Hızı         | U <sub>1</sub>                   | m/s               | 72,17     | 71,55   | 71,55   | 71,55   | 0,0000 |
|         | Kanat Giriş Radyal Hızı     | V <sub>1</sub> = V <sub>r1</sub> | m/s               | 33,18     | 33,18   | 33,18   | 33,18   | 0,0000 |
|         | Kanat Giriş Açısı Tanjantı  | tanβ <sub>1</sub>                |                   | 0,4597    | 0,4637  | 0,4637  | 0,4637  | 0,0000 |
|         | Kanat Giriş Açısı           | β <sub>1</sub>                   | derece            | 25,43     | 25,62   | 25,62   | 25,62   | 0,0000 |
|         | Kanat Giriş Bağlı Hızı      | v <sub>1</sub>                   | m/s               | 79,43     | 78,87   | 78,87   | 78,87   | 0,0000 |
|         | Giriş Kesit Alanı           | A <sub>1</sub>                   | m <sup>2</sup>    | 0,152     | 0,157   | 0,157   | 0,157   | 0,0000 |
|         | Kalınlık Düzeltme Oranı     | é                                |                   | 0,925     | 0,925   | 0,925   | 0,925   | 0,0000 |
|         | Kanat Giriş Yüksekliği      | b <sub>1</sub>                   | mm                | 112,85    | 117,25  | 117,25  | 117,25  | 0,0000 |
|         |                             |                                  |                   |           |         |         |         |        |
| 4.1.1.3 | Çıkış Basıncı               | P <sub>çıkış</sub>               | Pa                | 101.325   | 101.950 | 101.950 | 101.950 | 0,0000 |
|         | Kanat Basıncı Oranı         | ε p                              |                   | 1,1529    | 1,1600  | 1,1600  | 1,1600  | 0,0000 |
|         | Adyabatik Basma Yüksekliği  | H <sub>ad</sub>                  | m                 | 1.216     | 1.269,8 | 1.269,8 | 1.269,8 | 0,0000 |
|         | Sürtünme ve Türbülans       | K'                               |                   | 0,60      | 0,60    | 0,60    | 0,60    | 0,0000 |
|         | Çıkış Çapı                  | D <sub>2</sub>                   | m                 | 0,9067    | 0,9266  | 0,9266  | 0,9266  | 0,0000 |
|         | Çıkış Hızı                  | u <sub>2</sub>                   | m/s               | 141       | 144,09  | 144,09  | 144,09  | 0,0000 |
|         | Çıkış Radyal Hızı           | V <sub>r2</sub>                  | m/s               | 28,20     | 28,20   | 28,20   | 28,20   | 0,0000 |
|         | Çıkış Teğet Hızı            | Vu <sub>2</sub>                  | m/s               | 122,41    | 125,48  | 125,48  | 125,48  | 0,0000 |
|         | Dönme Etkisi Kaybı          | W <sub>z</sub>                   | m/s               | 36,98     | 37,79   | 37,79   | 37,79   | 0,0000 |
|         | Gerçek Mutlak Teğet Hızı    | Vu' <sub>2</sub>                 | m/s               | 85,43     | 87,70   | 87,70   | 87,70   | 0,0000 |
|         | Gerçek Mutlak Çıkış Hızı    | V' <sub>2</sub>                  | m/s               | 89,96     | 92,12   | 92,12   | 92,12   | 0,0000 |
|         | Tan α <sub>2</sub> '        | tan α <sub>2</sub> '             |                   | 0,330     | 0,322   | 0,322   | 0,322   | 0,0000 |
|         | α <sub>2</sub> '            | α <sub>2</sub> '                 |                   | 18,27     | 17,83   | 17,83   | 17,83   | 0,0000 |
|         | Gerçek Çıkış Bağlı Hızı     | v <sub>2</sub>                   |                   | 62,33     | 63,05   | 63,05   | 63,05   | 0,0000 |
|         | Teorik Basma Yüksekliği     | H <sub>teorik</sub>              | m                 | 871,5     | 911,7   | 911,7   | 911,7   | 0,0000 |
|         | %15 kayıp                   | H <sub>etkin</sub>               | m                 | 740,8     | 774,9   | 774,9   | 774,9   | 0,0000 |
|         | Çark Basıncı Oranı          | ε <sub>çark</sub>                |                   | 1,0912    | 1,0956  | 1,0956  | 1,0956  | 0,0000 |
|         | Kanat Çıkış Basıncı         | P <sub>2</sub>                   | Pa                | 95.911    | 96.292  | 96.292  | 96.292  | 0,0000 |
|         | Kanat Çıkış Yoğunluğu       | ρ <sub>2</sub>                   | Kg/m <sup>3</sup> | 1,1209    | 1,1234  | 1,1234  | 1,1234  | 0,0000 |
|         | %3 Sızıntı ile Debi         | Q <sub>çıkış</sub>               | m <sup>3</sup> /s | 4,818     | 4,951   | 4,951   | 4,951   | 0,0000 |
|         | Kanat Çıkış Alanı           | A <sub>2</sub>                   | m <sup>2</sup>    | 0,1708    | 0,176   | 0,176   | 0,176   | 0,0000 |
|         | Kanat Kalınlığı             | t                                | mm                | 6,00      | 6,00    | 6,00    | 6,00    | 0,0000 |
|         | Çıkış Kanat Faktörü         | é <sub>2</sub>                   |                   | 0,9748    | 0,9753  | 0,9753  | 0,9753  | 0,0000 |
|         | Giriş Kanat Faktörü         | é <sub>1</sub>                   |                   | 0,9042    | 0,9040  | 0,9040  | 0,9040  | 0,0000 |
|         | Çıkış Kanat Yüksekliği      | b <sub>2</sub>                   | mm                | 61,52     | 61,84   | 61,84   | 61,84   |        |
|         |                             |                                  |                   |           |         |         |         |        |
| 4.1.2   | Salyangoz Genişliği         | b <sub>3</sub> = bv              | mm                | 184,56    | 185,52  | 185,52  | 185,52  | 0,0000 |
|         | Salyangoz Merkez Yarıçapı   | R <sub>2</sub>                   | mm                | 453,38    | 463,28  | 463,28  | 463,28  | 0,0000 |
|         | 360' deki Yarıçapı          | R <sub>3</sub>                   | mm                | 886,38    | 892,28  | 892,28  | 892,28  | 0,0000 |
|         | 360' deki Çapı              | D <sub>3</sub>                   | mm                | 1.773     | 1.785   | 1.785   | 1.785   | 0,0000 |
|         | Salyangoz İçerisindeki Hız  | V <sub>3</sub>                   | m/s               | 63,36     | 65,90   | 63,98   | 63,98   | 0,0000 |
|         | Salyangoz Dili Yarıçapı     | r <sub>t</sub>                   | mm                | 487,38    | 498,02  | 498,02  | 498,02  | 0,0000 |
|         | Dil Açısı                   | θ <sub>t</sub>                   |                   | 12,56     | 12,89   | 12,89   | 12,89   | 0,0000 |
|         |                             |                                  |                   |           |         |         |         |        |
| 4.1.3   | Kaçaklar                    | Q <sub>L</sub>                   | m <sup>3</sup> /s | 0,1542    | 0,1588  | 0,1588  | 0,1588  | 0,0000 |
| 4.1.3   | Kayıp katsayısı (0,5 - 0,8) | k <sub>i</sub>                   |                   | 0,80      | 0,80    | 0,80    | 0,80    | 0,0000 |
|         |                             | dP <sub>emiş</sub>               | Pa                | 427,11    | 427,11  | 427,11  | 427,11  | 0,0000 |
| 4.1.3   | Çelik Saclar İçin Katsayı   | k <sub>ii</sub>                  |                   | 0,25      | 0,25    | 0,25    | 0,25    | 0,0000 |
|         |                             | dP <sub>perv</sub>               | Pa                | 39,11     | 33,45   | 33,45   | 33,45   | 0,0000 |
| 4.1.3   |                             | k <sub>iii</sub>                 |                   | 0,40      | 0,40    | 0,40    | 0,40    | 0,0000 |
|         |                             | dP <sub>salv</sub>               |                   | 158,6     | 154,43  | 177,87  | 177,87  | 0,0000 |
| 4.1.3   | Çelik Sürtünme Katsayısı    | f                                |                   | 0,005     | 0,005   | 0,005   | 0,005   | 0,0000 |
|         |                             | T <sub>df</sub>                  | Nm                | 6,52      | 7,29    | 7,29    | 7,29    | 0,0000 |
|         | Disk Sürtünme Kaybı         | P <sub>df</sub>                  | W                 | 2.029     | 2.266   | 2.266   | 2.266   | 0,0000 |
| 4.1.3   | Hidrolik Verim              | Dp <sub>perv</sub>               | Pa                |           |         |         |         |        |
|         |                             | η <sub>hid</sub>                 |                   | 0,956     | 0,958   | 0,957   | 0,957   | 0,0000 |
|         | Hacimsel Verim              | η <sub>hacim</sub>               |                   | 0,971     | 0,971   | 0,971   | 0,971   | 0,0000 |
|         | Toplam Verim                | H <sub>top</sub>                 |                   | 0,928     | 0,930   | 0,929   | 0,929   | 0,0000 |
| 4.1.3   | Güç                         |                                  | W                 | 82.239    | 88.294  | 89.569  | 89.569  | 0,0000 |
|         | Tork                        |                                  | Nm                | 280       | 283,89  | 284,77  | 284,77  | 0,0000 |
| 4.1.3   | Güvenlik Katsayısı          |                                  |                   | 4,00      | 4,00    | 4,00    | 4,00    | 0,0000 |
|         | Şaft Çapı                   | D <sub>s</sub>                   | mm                | 55        | 55,25   | 55,30   | 55,30   | 0,0000 |

Çizelge A.2 Yenilenen Church fanı çark tasarım çizelgesi

| BÖLÜM   |                             |                                  |                   | İTERASYON |         |         |         |        |
|---------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------|-----------|---------|---------|---------|--------|
|         |                             | SİMGE                            | BİRİM             | 1         | 2       | 3       | 4       | FARK   |
| 4       | Hacimsel Debi               | Q                                | m <sup>3</sup> /s | 5,140     | 5,294   | 5,294   | 5,294   | 0,0000 |
|         | Statik Emiş Basıncı         | P <sub>emiş</sub>                | Pa                | -13.435   | -13.435 | -13.435 | -13.435 | 0,0000 |
|         | Statik Basma Basıncı        | P <sub>basma</sub>               | Pa                | 0         | 625,0   | 625,0   | 625,0   | 0,0000 |
|         | Statik Basıncı Gradyantı    | ΔP <sub>s</sub>                  | Pa                | 13.435    | 14.060  | 14.060  | 14.060  | 0,0000 |
|         | Rotor Dönüş Hızı            | N                                | d/d               | 2.970     | 2.970   | 2.970   | 2.970   | 0,0000 |
|         | Akışkan Yoğunluğu           | ρ <sub>hava</sub>                | kg/m <sup>3</sup> | 1,02      | 1,02    | 1,02    | 1,02    | 0,0000 |
|         | Kanat Sayısı                | z                                | adet              | 10        | 10      | 10      | 10      | 0,0000 |
|         | Kanat Çıkış Açısı           | β <sub>2</sub>                   | derece            | 56,59     | 56,59   | 56,59   | 56,59   | 0,0000 |
|         | Emiş Sıcaklığı              | T <sub>s</sub>                   | °C                | 25,00     | 25,00   | 25,00   | 25,00   | 0,0000 |
|         | Emiş Sıcaklığı              | T <sub>s</sub>                   | °K                | 298,15    | 298,15  | 298,15  | 298,15  | 0,0000 |
|         | Atmosfer Basıncı            | P <sub>atm</sub>                 | Pa                | 101.325   | 101.325 | 101.325 | 101.325 | 0,0000 |
|         | Atmosfer Sıcaklığı          | T <sub>atm</sub>                 | °C                | 25,00     | 25,00   | 25,00   | 25,00   | 0,0000 |
|         | Atmosfer Sıcaklığı          | T <sub>atm</sub>                 | °K                | 298,15    | 298,15  | 298,15  | 298,15  | 0,0000 |
| 4.1     | Havanın Atm. Yoğunluğu      | ρ <sub>a</sub>                   | kg/m <sup>3</sup> | 1,020     | 1,020   | 1,020   | 1,020   | 0,0000 |
|         | Kütleli Debi                | m                                | kg/s              | 5,2428    | 5,40    | 5,40    | 5,40    | 0,0000 |
| 4.1.1.1 | Kanal Giriş Hızı            | V <sub>kanal</sub>               | m/s               | 31,60     | 31,60   | 31,60   | 31,60   | 0,0000 |
|         | Emiş Kanal Çapı             | D <sub>kanal</sub>               | m                 | 0,455     | 0,462   | 0,462   | 0,462   | 0,0000 |
|         | Giriş Hızı                  | V <sub>1</sub>                   | m/s"              | 31,60     | 31,60   | 31,60   | 31,60   | 0,0000 |
|         | Emiş Basma Yüksekliği       | H <sub>emiş</sub>                | m                 | 50,90     | 50,90   | 50,90   | 50,90   | 0,0000 |
|         | Kanat Girişi Mutlak Basıncı | P <sub>giriş</sub>               | m/s               | 87.890    | 87.890  | 87.890  | 87.890  | 0,0000 |
|         | Kanat Giriş Basıncı Oranı   | ε <sub>p<sub>giriş</sub></sub>   |                   | 0,867     | 0,867   | 0,867   | 0,867   | 0,0000 |
|         | Kanat Giriş Sıcaklığı       | T <sub>0</sub>                   | °K                | 286,26    | 286,39  | 286,39  | 286,39  | 0,0000 |
|         | Kanat Giriş Yoğunluğu       | ρ <sub>giriş</sub>               | kg/m <sup>3</sup> | 1,070     | 1,070   | 1,070   | 1,070   | 0,0000 |
|         | Kanat Giriş Hacimsel Debi   | Q <sub>giriş</sub>               | m <sup>3</sup> /s | 4,90      | 5,05    | 5,05    | 5,05    | 0,0000 |
| 4.1.1.2 | Kanat Giriş Çapı            | D <sub>giriş</sub>               | m                 | 0,455     | 0,451   | 0,451   | 0,451   | 0,0000 |
|         | Giriş Çapı                  | D <sub>1</sub>                   | m                 | 0,4641    | 0,4600  | 0,4600  | 0,4600  | 0,0000 |
|         | Giriş Çevresel Hızı         | U <sub>1</sub>                   | m/s               | 72,17     | 71,55   | 71,55   | 71,55   | 0,0000 |
|         | Kanat Giriş Radyal Hızı     | V <sub>1</sub> = Vr <sub>1</sub> | m/s               | 33,18     | 33,18   | 33,18   | 33,18   | 0,0000 |
|         | Kanat Giriş Açısı Tanjantı  | tanβ <sub>1</sub>                |                   | 0,4597    | 0,4637  | 0,4637  | 0,4637  | 0,0000 |
|         | Kanat Giriş Açısı           | β <sub>1</sub>                   | derece            | 25,43     | 25,62   | 25,62   | 25,62   | 0,0000 |
|         | Kanat Giriş Bağlı Hızı      | v <sub>1</sub>                   | m/s               | 79,43     | 78,87   | 78,87   | 78,87   | 0,0000 |
|         | Giriş Kesit Alanı           | A <sub>1</sub>                   | m <sup>2</sup>    | 0,152     | 0,157   | 0,157   | 0,157   | 0,0000 |
|         | Kalınlık Düzeltme Oranı     | é                                |                   | 0,925     | 0,925   | 0,925   | 0,925   | 0,0000 |
|         | Kanat Giriş Yüksekliği      | b <sub>1</sub>                   | mm                | 112,81    | 111,21  | 111,21  | 111,21  | 0,0000 |
| 4.1.1.3 | Çıkış Basıncı               | P <sub>çıkış</sub>               | Pa                | 101.325   | 101.950 | 101.950 | 101.950 | 0,0000 |
|         | Kanat Basıncı Oranı         | ε <sub>p</sub>                   |                   | 1,1529    | 1,1600  | 1,1600  | 1,1600  | 0,0000 |
|         | Adyabatik Basma Yüksekliği  | H <sub>ad</sub>                  | m                 | 1.216     | 1.269,8 | 1.269,8 | 1.269,8 | 0,0000 |
|         | Sürtünme ve Türbülans       | K'                               |                   | 0,57      | 0,57    | 0,57    | 0,57    | 0,0000 |
|         | Çıkış Çapı                  | D <sub>2</sub>                   | m                 | 0,9302    | 0,9504  | 0,9504  | 0,9504  | 0,0000 |
|         | Çıkış Hızı                  | u <sub>2</sub>                   | m/s               | 144,66    | 147,79  | 147,79  | 147,79  | 0,0000 |
|         | Çıkış Radyal Hızı           | Vr <sub>2</sub>                  | m/s               | 28,20     | 28,20   | 28,20   | 28,20   | 0,0000 |
|         | Çıkış Teğet Hızı            | Vu <sub>2</sub>                  | m/s               | 126,05    | 129,19  | 129,19  | 129,19  | 0,0000 |
|         | Dönme Etkisi Kaybı          | Wz                               | m/s               | 37,94     | 38,76   | 38,76   | 38,76   | 0,0000 |
|         | Gerçek Mutlak Teğet Hızı    | Vu' <sub>2</sub>                 | m/s               | 88,12     | 90,43   | 90,43   | 90,43   | 0,0000 |
|         | Gerçek Mutlak Çıkış Hızı    | V <sub>2</sub> '                 | m/s               | 92,52     | 94,72   | 94,72   | 94,72   | 0,0000 |
|         | Tan α <sub>2</sub> '        | tan α <sub>2</sub> '             |                   | 0,320     | 0,312   | 0,312   | 0,312   | 0,0000 |
|         | α <sub>2</sub> '            | α <sub>2</sub> '                 |                   | 17,75     | 17,32   | 17,32   | 17,32   | 0,0000 |
|         | Gerçek Çıkış Bağlı Hızı     | v <sub>2</sub>                   |                   | 63,18     | 63,92   | 63,92   | 63,92   | 0,0000 |
|         | Teorik Basma Yüksekliği     | H <sub>teorik</sub>              | m                 | 919,2     | 961,1   | 961,1   | 961,1   | 0,0000 |
|         | %15 kayıp                   | H <sub>etkin</sub>               | m                 | 781,3     | 816,9   | 816,9   | 816,9   | 0,0000 |
|         | Çark Basıncı Oranı          | ε <sub>çark</sub>                |                   | 1,096     | 1,101   | 1,101   | 1,101   | 0,0000 |
|         | Kanat Çıkış Basıncı         | P <sub>2</sub>                   | Pa                | 96.366    | 96.766  | 96.766  | 96.766  | 0,0000 |
|         | Kanat Çıkış Yoğunluğu       | ρ <sub>2</sub>                   | Kg/m <sup>3</sup> | 1,1262    | 1,1289  | 1,1289  | 1,1289  | 0,0000 |
|         | %3 Sızıntı ile Debi         | Q <sub>çıkış</sub>               | m <sup>3</sup> /s | 4,795     | 4,927   | 4,927   | 4,927   | 0,0000 |
|         | Kanat Çıkış Alanı           | A <sub>2</sub>                   | m <sup>2</sup>    | 0,170     | 0,175   | 0,175   | 0,175   | 0,0000 |
|         | Kanat Kalınlığı             | t                                | mm                | 6,00      | 6,00    | 6,00    | 6,00    | 0,0000 |
|         | Çıkış Kanat Faktörü         | é <sub>2</sub>                   |                   | 0,9754    | 0,9759  | 0,9759  | 0,9759  | 0,0000 |
|         | Giriş Kanat Faktörü         | é <sub>1</sub>                   |                   | 0,9042    | 0,9040  | 0,9040  | 0,9040  | 0,0000 |
|         | Çıkış Kanat Yüksekliği      | b <sub>2</sub>                   | mm                | 59,65     | 59,96   | 59,96   | 59,96   |        |
| 4.1.2   | Salyangoz Genişliği         | b <sub>3</sub> = bv              | mm                | 178,94    | 179,87  | 179,87  | 179,87  | 0,0000 |
|         | Salyangoz Merkez Yarıçapı   | R <sub>2</sub>                   | mm                | 453,38    | 463,28  | 463,28  | 463,28  | 0,0000 |
|         | 360' deki Yarıçapı          | R <sub>3</sub>                   | mm                | 898,11    | 885,18  | 885,18  | 885,18  | 0,0000 |
|         | 360' deki Çapı              | D <sub>3</sub>                   | mm                | 1.796     | 1.770   | 1.770   | 1.770   | 0,0000 |
|         | Salyangoz İçerisindeki Hız  | V <sub>3</sub>                   | m/s               | 66,13     | 68,97   | 68,97   | 68,97   | 0,0000 |
|         | Salyangoz Dili Yarıçapı     | r <sub>t</sub>                   | mm                | 499,99    | 510,82  | 510,82  | 510,82  | 0,0000 |
|         | Dil Açısı                   | θ <sub>t</sub>                   |                   | 12,95     | 13,29   | 13,29   | 13,29   | 0,0000 |
| 4.1.3   | Kaçaklar                    | Q <sub>L</sub>                   | m <sup>3</sup> /s | 0,1542    | 0,1588  | 0,1588  | 0,1588  | 0,0000 |
| 4.1.3   | Kayıp katsayısı (0,5 - 0,8) | k <sub>i</sub>                   |                   | 0,80      | 0,80    | 0,80    | 0,80    | 0,0000 |
|         |                             | dP <sub>emiş</sub>               | Pa                | 427,29    | 427,29  | 427,29  | 427,29  | 0,0000 |
| 4.1.3   | Çelik Saclar İçin Katsayı   | k <sub>ij</sub>                  |                   | 0,25      | 0,25    | 0,25    | 0,25    | 0,0000 |
|         |                             | dP <sub>perv</sub>               | Pa                | 35,31     | 29,83   | 29,83   | 29,83   | 0,0000 |
| 4.1.3   |                             | k <sub>iii</sub>                 |                   | 0,40      | 0,40    | 0,40    | 0,40    | 0,0000 |
|         |                             | dP <sub>saly</sub>               |                   | 156,84    | 149,78  | 149,78  | 149,78  | 0,0000 |
| 4.1.3   | Çelik Sürtünme Katsayısı    | f                                |                   | 0,005     | 0,005   | 0,005   | 0,005   | 0,0000 |
|         |                             | T <sub>df</sub>                  | Nm                | 7,45      | 8,31    | 8,31    | 8,31    | 0,0000 |
|         | Disk Sürtünme Kaybı         | P <sub>df</sub>                  | W                 | 2.317     | 2.585   | 2.585   | 2.585   | 0,0000 |
| 4.1.3   | Hidrolik Verim              | Dp <sub>perv</sub>               | Pa                |           |         |         |         |        |
|         |                             | η <sub>hid</sub>                 |                   | 0,956     | 0,959   | 0,951   | 0,951   | 0,0000 |
|         | Hacimsel Verim              | η <sub>hacim</sub>               |                   | 0,971     | 0,971   | 0,971   | 0,971   | 0,0000 |
|         | Toplam Verim                | H <sub>top</sub>                 |                   | 0,928     | 0,931   | 0,924   | 0,924   | 0,0000 |
| 4.1.3   | Güç                         |                                  | W                 | 82.490    | 88.488  | 89.804  | 89.804  | 0,0000 |
|         | Tork                        |                                  | Nm                | 265,22    | 284,51  | 288,74  | 288,74  | 0,0000 |
| 4.1.3   | Güvenlik Katsayısı          |                                  |                   | 4,00      | 4,00    | 4,00    | 4,00    | 0,0000 |
|         | Şaft Çapı                   | D <sub>s</sub>                   | mm                | 54,01     | 55,29   | 55,56   | 55,56   | 0,0000 |

Çizelge A.3. İlk tasarlanan Church fanı salyangoz tasarım çizelgesi 1. iterasyon

| $R_i$<br>m | $\Delta R$<br>m | $R_{ort}=R_3$<br>m | $B_{ort}=3*b_2$<br>m | $B \Delta R/R_{ort}$ | $\Delta \Phi^\circ$ | $\Phi^\circ$ | $\Delta A$<br>m <sup>2</sup> | $A$<br>m <sup>2</sup> | $O \times \Phi^\circ/360$<br>m <sup>3</sup> /s | $V_{ort}$<br>m/s |
|------------|-----------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|--------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------|------------------|
| 0.4534     |                 |                    |                      |                      |                     | 0.00         |                              | 0                     | 0                                              | 0                |
|            | 0.038           | 0.4724             | 0.1846               | 0.0148               | 42.97               |              | 0.0070                       |                       |                                                |                  |
| 0.4914     |                 |                    |                      |                      |                     | 42.967       |                              | 0.00701               | 0.6135                                         | 87.4738          |
|            | 0.038           | 0.5104             | 0.1846               | 0.0137               | 39.77               |              | 0.0070                       |                       |                                                |                  |
| 0.5294     |                 |                    |                      |                      |                     | 82.73        |                              | 0.01403               | 1.1813                                         | 84.2174          |
|            | 0.038           | 0.5484             | 0.1846               | 0.0128               | 37.01               |              | 0.0070                       |                       |                                                |                  |
| 0.5674     |                 |                    |                      |                      |                     | 119.75       |                              | 0.0210                | 1.7097                                         | 81.2619          |
|            | 0.038           | 0.5864             | 0.1846               | 0.0120               | 34.61               |              | 0.0070                       |                       |                                                |                  |
| 0.6054     |                 |                    |                      |                      |                     | 154.36       |                              | 0.0281                | 2.2039                                         | 78.5633          |
|            | 0.038           | 0.6244             | 0.1846               | 0.0112               | 32.51               |              | 0.0070                       |                       |                                                |                  |
| 0.6434     |                 |                    |                      |                      |                     | 186.87       |                              | 0.0351                | 2.6680                                         | 76.0865          |
|            | 0.038           | 0.6624             | 0.1846               | 0.0106               | 30.64               |              | 0.0070                       |                       |                                                |                  |
| 0.6814     |                 |                    |                      |                      |                     | 217.51       |                              | 0.0421                | 3.1055                                         | 73.8025          |
|            | 0.038           | 0.7004             | 0.1846               | 0.0100               | 28.98               |              | 0.0070                       |                       |                                                |                  |
| 0.7194     |                 |                    |                      |                      |                     | 246.49       |                              | 0.0491                | 3.5193                                         | 71.6875          |
|            | 0.038           | 0.7384             | 0.1846               | 0.0095               | 27.49               |              | 0.0070                       |                       |                                                |                  |
| 0.7574     |                 |                    |                      |                      |                     | 273.98       |                              | 0.0561                | 3.9118                                         | 69.7218          |
|            | 0.038           | 0.7764             | 0.1846               | 0.0090               | 26.14               |              | 0.0070                       |                       |                                                |                  |
| 0.7954     |                 |                    |                      |                      |                     | 300.12       |                              | 0.0631                | 4.2850                                         | 67.8885          |
|            | 0.038           | 0.8144             | 0.1846               | 0.0086               | 24.92               |              | 0.0070                       |                       |                                                |                  |
| 0.8334     |                 |                    |                      |                      |                     | 325.04       |                              | 0.0701                | 4.6409                                         | 66.1736          |
|            | 0.038           | 0.8524             | 0.1846               | 0.0082               | 23.81               |              | 0.0070                       |                       |                                                |                  |
| 0.8714     |                 |                    |                      |                      |                     | 348.85       |                              | 0.0771                | 4.9809                                         | 64.5648          |
|            | 0.038           | 0.8864             | 0.1846               | 0.0062               | 18.08               |              | 0.0055                       |                       |                                                |                  |
| 0.9014     |                 |                    |                      |                      |                     | 366.93       |                              | 0.0827                | 5.2390                                         | 63.3630          |

Çizelge A.4. İlk tasarlanan Church fanı salyangoz tasarım çizelgesi son iterasyon

| $R_i$<br>m | $\Delta R$<br>m | $R_{ort}=R_3$<br>m | $B_{ort}=3*b_2$<br>m | $B \Delta R/R_{ort}$ | $\Delta \Phi^\circ$ | $\Phi^\circ$ | $\Delta A$<br>m <sup>2</sup> | $A$<br>m <sup>2</sup> | $O \times \Phi^\circ/360$<br>m <sup>3</sup> /s | $V_{ort}$<br>m/s |
|------------|-----------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|--------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------|------------------|
| 0.4633     |                 |                    |                      |                      |                     | 0.00         |                              | 0                     | 0                                              | 0                |
|            | 0.0380          | 0.4823             | 0.1855               | 0.0146               | 43.18               |              | 0.0070                       |                       |                                                |                  |
| 0.5013     |                 |                    |                      |                      |                     | 43.18        |                              | 0.0070                | 0.6350                                         | 90.0767          |
|            | 0.0380          | 0.5203             | 0.1855               | 0.0135               | 40.03               |              | 0.0070                       |                       |                                                |                  |
| 0.5393     |                 |                    |                      |                      |                     | 83.21        |                              | 0.0141                | 1.1880                                         | 84.2594          |
|            | 0.0380          | 0.5583             | 0.1855               | 0.0126               | 37.30               |              | 0.0070                       |                       |                                                |                  |
| 0.5773     |                 |                    |                      |                      |                     | 120.51       |                              | 0.0211                | 1.7206                                         | 81.3555          |
|            | 0.0380          | 0.5963             | 0.1855               | 0.0118               | 34.92               |              | 0.0070                       |                       |                                                |                  |
| 0.6153     |                 |                    |                      |                      |                     | 155.43       |                              | 0.0282                | 2.2192                                         | 78.7000          |
|            | 0.0380          | 0.6343             | 0.1855               | 0.0111               | 32.83               |              | 0.0070                       |                       |                                                |                  |
| 0.6533     |                 |                    |                      |                      |                     | 188.26       |                              | 0.0352                | 2.6880                                         | 76.2591          |
|            | 0.0380          | 0.6723             | 0.1855               | 0.0105               | 30.98               |              | 0.0070                       |                       |                                                |                  |
| 0.6913     |                 |                    |                      |                      |                     | 219.24       |                              | 0.0423                | 3.1303                                         | 74.0054          |
|            | 0.0380          | 0.7103             | 0.1855               | 0.0099               | 29.32               |              | 0.0070                       |                       |                                                |                  |
| 0.7293     |                 |                    |                      |                      |                     | 248.56       |                              | 0.0493                | 3.5489                                         | 71.9161          |
|            | 0.0380          | 0.7483             | 0.1855               | 0.0094               | 27.83               |              | 0.0070                       |                       |                                                |                  |
| 0.7673     |                 |                    |                      |                      |                     | 276.39       |                              | 0.0564                | 3.9462                                         | 69.9722          |
|            | 0.0380          | 0.7863             | 0.1855               | 0.0090               | 26.49               |              | 0.0070                       |                       |                                                |                  |
| 0.8053     |                 |                    |                      |                      |                     | 302.88       |                              | 0.0634                | 4.3244                                         | 68.1576          |
|            | 0.0380          | 0.8243             | 0.1855               | 0.0086               | 25.26               |              | 0.0070                       |                       |                                                |                  |
| 0.8433     |                 |                    |                      |                      |                     | 328.14       |                              | 0.0705                | 4.6851                                         | 66.4587          |
|            | 0.0380          | 0.8623             | 0.1855               | 0.0082               | 24.15               |              | 0.0070                       |                       |                                                |                  |
| 0.8813     |                 |                    |                      |                      |                     | 352.29       |                              | 0.0775                | 5.0299                                         | 64.8636          |
|            | 0.0220          | 0.8923             | 0.1855               | 0.0046               | 13.51               |              | 0.0041                       |                       |                                                |                  |
| 0.9033     |                 |                    |                      |                      |                     | 365.80       |                              | 0.0816                | 5.2228                                         | 63.9839          |

Çizelge A.5. Yenilenen Church fanı salyangoz tasarım çizelgesi 1. iterasyon

| $R_i$<br>m | $\Delta R$<br>m | $R_{ort}=R_3$<br>m | $B_{ort}=3*b_2$<br>m | $B \Delta R/R_{ort}$ | $\Delta \Phi^\circ$ | $\Phi^\circ$ | $\Delta A$<br>m <sup>2</sup> | $A$<br>m <sup>2</sup> | $Q \times \Phi^\circ/360$<br>m <sup>3</sup> /s | $V_{ort}$<br>m/s |
|------------|-----------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|--------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------|------------------|
| 0.4651     |                 |                    |                      |                      |                     | 0.00         |                              | 0                     | 0                                              | 0                |
|            | 0.0380          | 0.4841             | 0.1789               | 0.0140               | 43.22               |              | 0.0068                       |                       |                                                |                  |
| 0.5031     |                 |                    |                      |                      |                     | 43.218       |                              | 0.00680               | 0.6171                                         | 90.7502          |
|            | 0.0380          | 0.5221             | 0.1789               | 0.0130               | 40.07               |              | 0.0068                       |                       |                                                |                  |
| 0.5411     |                 |                    |                      |                      |                     | 83.29        |                              | 0.01360               | 1.1892                                         | 87.4477          |
|            | 0.0380          | 0.5601             | 0.1789               | 0.0121               | 37.35               |              | 0.0068                       |                       |                                                |                  |
| 0.5791     |                 |                    |                      |                      |                     | 120.65       |                              | 0.0204                | 1.7225                                         | 84.4439          |
|            | 0.0380          | 0.5981             | 0.1789               | 0.0114               | 34.98               |              | 0.0068                       |                       |                                                |                  |
| 0.6171     |                 |                    |                      |                      |                     | 155.63       |                              | 0.0272                | 2.2220                                         | 81.6962          |
|            | 0.0380          | 0.6361             | 0.1789               | 0.0107               | 32.89               |              | 0.0068                       |                       |                                                |                  |
| 0.6551     |                 |                    |                      |                      |                     | 188.52       |                              | 0.0340                | 2.6916                                         | 79.1700          |
|            | 0.0380          | 0.6741             | 0.1789               | 0.0101               | 31.04               |              | 0.0068                       |                       |                                                |                  |
| 0.6931     |                 |                    |                      |                      |                     | 219.55       |                              | 0.0408                | 3.1348                                         | 76.8370          |
|            | 0.0380          | 0.7121             | 0.1789               | 0.0095               | 29.38               |              | 0.0068                       |                       |                                                |                  |
| 0.7311     |                 |                    |                      |                      |                     | 248.94       |                              | 0.0476                | 3.5542                                         | 74.6737          |
|            | 0.0380          | 0.7501             | 0.1789               | 0.0091               | 27.89               |              | 0.0068                       |                       |                                                |                  |
| 0.7691     |                 |                    |                      |                      |                     | 276.83       |                              | 0.0544                | 3.9525                                         | 72.6606          |
|            | 0.0380          | 0.7881             | 0.1789               | 0.0086               | 26.55               |              | 0.0068                       |                       |                                                |                  |
| 0.8071     |                 |                    |                      |                      |                     | 303.38       |                              | 0.0612                | 4.3315                                         | 70.7811          |
|            | 0.0380          | 0.8261             | 0.1789               | 0.0082               | 25.33               |              | 0.0068                       |                       |                                                |                  |
| 0.8451     |                 |                    |                      |                      |                     | 328.70       |                              | 0.0680                | 4.6931                                         | 69.0210          |
|            | 0.0380          | 0.8641             | 0.1789               | 0.0079               | 24.21               |              | 0.0068                       |                       |                                                |                  |
| 0.8831     |                 |                    |                      |                      |                     | 352.91       |                              | 0.0748                | 5.0388                                         | 67.3684          |
|            | 0.0300          | 0.8981             | 0.1789               | 0.0060               | 18.39               |              | 0.0054                       |                       |                                                |                  |
| 0.9131     |                 |                    |                      |                      |                     | 371.31       |                              | 0.0802                | 5.3014                                         | 66.1328          |

Çizelge A.6. Yenilenen Church fanı salyangoz tasarım çizelgesi son iterasyon

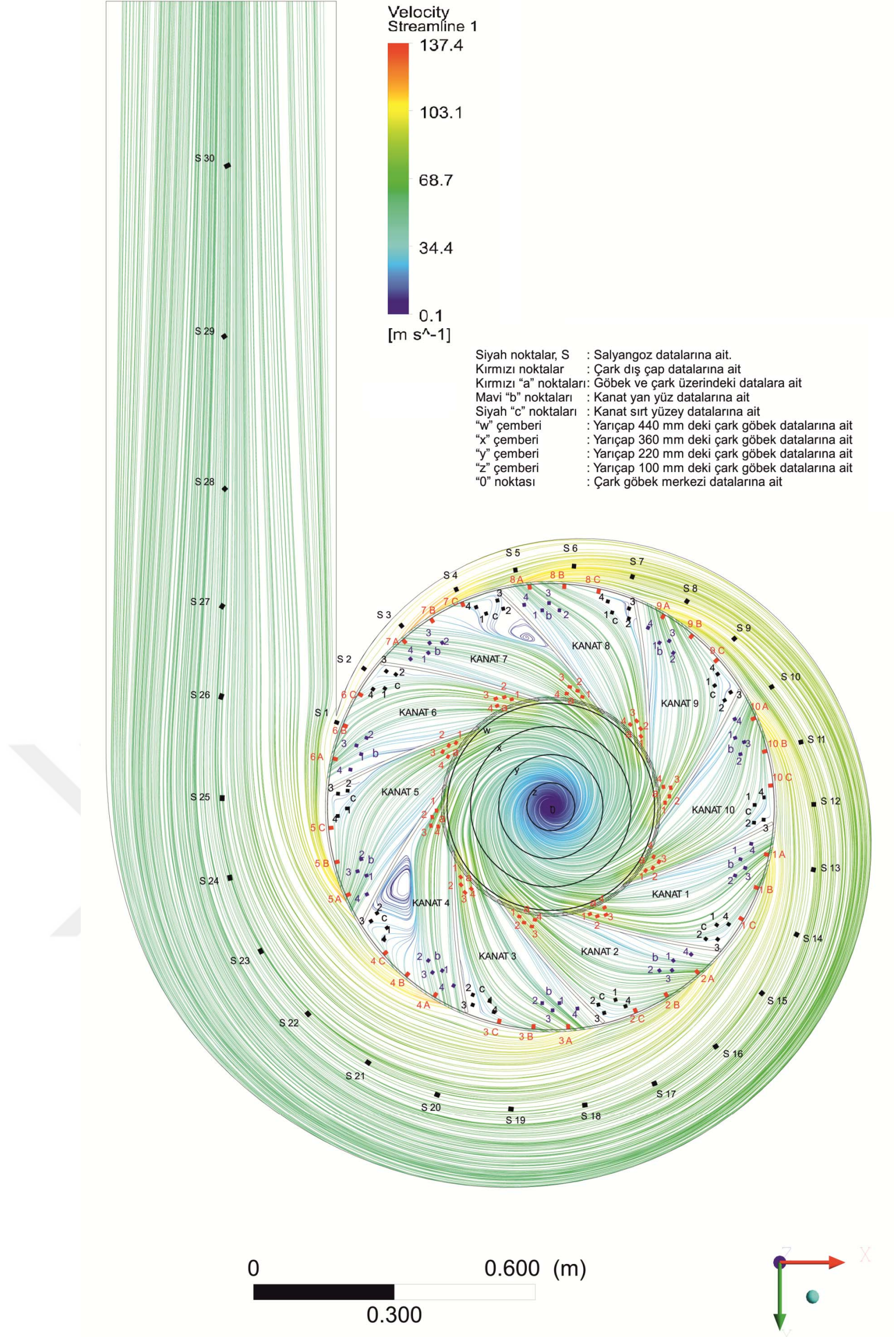
| $R_i$<br>m | $\Delta R$<br>m | $R_{ort}=R_3$<br>m | $B_{ort}=3*b_2$<br>m | $B \Delta R/R_{ort}$ | $\Delta \Phi^\circ$ | $\Phi^\circ$ | $\Delta A$<br>m <sup>2</sup> | $A$<br>m <sup>2</sup> | $Q \times$<br>m <sup>3</sup> /s | $V_{ort}$<br>m/s |
|------------|-----------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|--------------|------------------------------|-----------------------|---------------------------------|------------------|
| 0.4752     |                 |                    |                      |                      |                     | 0.00         |                              | 0                     | 0                               | 0                |
|            | 0.0400          | 0.4952             | 0.1799               | 0.0145               | 40.12               |              | 0.0072                       |                       |                                 |                  |
| 0.5152     |                 |                    |                      |                      |                     | 40.12        |                              | 0.0072                | 0.5900                          | 82.0007          |
|            | 0.0400          | 0.5352             | 0.1799               | 0.0134               | 37.46               |              | 0.0072                       |                       |                                 |                  |
| 0.5552     |                 |                    |                      |                      |                     | 77.58        |                              | 0.0144                | 1.1076                          | 76.9720          |
|            | 0.0400          | 0.5752             | 0.1799               | 0.0125               | 35.13               |              | 0.0072                       |                       |                                 |                  |
| 0.5952     |                 |                    |                      |                      |                     | 112.70       |                              | 0.0216                | 1.6091                          | 74.5507          |
|            | 0.0400          | 0.6152             | 0.1799               | 0.0117               | 33.07               |              | 0.0072                       |                       |                                 |                  |
| 0.6352     |                 |                    |                      |                      |                     | 145.77       |                              | 0.0288                | 2.0813                          | 72.3195          |
|            | 0.0400          | 0.6552             | 0.1799               | 0.0110               | 31.24               |              | 0.0072                       |                       |                                 |                  |
| 0.6752     |                 |                    |                      |                      |                     | 177.01       |                              | 0.0360                | 2.5274                          | 70.2547          |
|            | 0.0400          | 0.6952             | 0.1799               | 0.0103               | 29.60               |              | 0.0072                       |                       |                                 |                  |
| 0.7152     |                 |                    |                      |                      |                     | 206.62       |                              | 0.0432                | 2.9500                          | 68.3366          |
|            | 0.0400          | 0.7352             | 0.1799               | 0.0098               | 28.13               |              | 0.0072                       |                       |                                 |                  |
| 0.7552     |                 |                    |                      |                      |                     | 234.75       |                              | 0.0504                | 3.3516                          | 66.5484          |
|            | 0.0400          | 0.7752             | 0.1799               | 0.0093               | 26.79               |              | 0.0072                       |                       |                                 |                  |
| 0.7952     |                 |                    |                      |                      |                     | 261.54       |                              | 0.0576                | 3.7342                          | 64.8763          |
|            | 0.0400          | 0.8152             | 0.1799               | 0.0088               | 25.58               |              | 0.0072                       |                       |                                 |                  |
| 0.8352     |                 |                    |                      |                      |                     | 287.12       |                              | 0.0648                | 4.0994                          | 63.3081          |
|            | 0.0400          | 0.8552             | 0.1799               | 0.0084               | 24.47               |              | 0.0072                       |                       |                                 |                  |
| 0.8752     |                 |                    |                      |                      |                     | 311.59       |                              | 0.0719                | 4.4488                          | 61.8336          |
|            | 0.0400          | 0.8952             | 0.1799               | 0.0080               | 23.46               |              | 0.0072                       |                       |                                 |                  |
| 0.9152     |                 |                    |                      |                      |                     | 335.05       |                              | 0.0791                | 4.7837                          | 60.4438          |
|            | 0.0400          | 0.9352             | 0.1799               | 0.0077               | 31.90               |              | 0.0072                       |                       |                                 |                  |
| 0.9552     |                 |                    |                      |                      |                     | 366.95       |                              | 0.0863                | 5.2392                          | 60.6819          |

Çizelge A.7 Tüm çark nokta ve bölge hız değerleri

|     | HIZ (m/s) |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
|-----|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
|     | KANAT 1   | KANAT 2 | KANAT 3 | KANAT 4 | KANAT 5 | KANAT 6 | KANAT 7 | KANAT 8 | KANAT 9 | KANAT 10 |
| a 1 | 84,34     | 84,56   | 84,54   | 68,29   | 80,02   | 83,01   | 78,15   | 81,87   | 83,95   | 83,82    |
| a 2 | 83,21     | 83,37   | 82,20   | 65,32   | 77,14   | 80,73   | 75,97   | 79,73   | 81,78   | 81,47    |
| a 3 | 79,63     | 80,10   | 79,93   | 67,68   | 74,02   | 78,15   | 73,02   | 77,13   | 79,00   | 78,55    |
| a 4 | 74,45     | 75,76   | 76,24   | 71,53   | 69,52   | 74,13   | 70,80   | 72,58   | 74,13   | 73,62    |
| b 1 | 45,73     | 46,03   | 48,32   | 55,34   | 45,16   | 32,23   | 48,70   | 40,60   | 45,92   | 46,23    |
| b 2 | 54,83     | 54,79   | 57,31   | 42,37   | 53,23   | 39,86   | 52,18   | 51,40   | 54,81   | 55,12    |
| b 3 | 58,67     | 58,63   | 60,88   | 48,20   | 55,65   | 42,04   | 52,94   | 53,23   | 57,83   | 58,53    |
| b 4 | 44,25     | 45,38   | 46,87   | 53,15   | 42,20   | 32,06   | 41,92   | 36,32   | 43,86   | 44,15    |
| c 1 | 49,73     | 54,01   | 40,96   | 21,88   | 26,26   | 46,78   | 13,58   | 36,23   | 39,64   | 42,83    |
| c 2 | 32,96     | 38,26   | 14,71   | 14,13   | 8,28    | 20,88   | 12,08   | 17,30   | 18,10   | 24,84    |
| c 3 | 18,14     | 22,62   | 10,46   | 14,16   | 8,52    | 12,21   | 15,36   | 8,34    | 8,73    | 94,75    |
| c 4 | 38,34     | 45,01   | 31,54   | 18,81   | 23,42   | 38,99   | 18,58   | 27,26   | 28,30   | 31,31    |
| A   | 68,40     | 69,84   | 70,90   | 56,14   | 62,80   | 56,32   | 53,18   | 58,74   | 66,30   | 67,47    |
| B   | 64,75     | 66,36   | 61,15   | 47,13   | 57,00   | 42,67   | 40,97   | 54,30   | 59,68   | 60,44    |
| C   | 49,94     | 47,18   | 41,73   | 51,99   | 52,23   | 42,91   | 45,86   | 43,74   | 48,83   | 47,67    |

Çizelge A.8 Tüm çark nokta ve bölge basınç değerleri

|     | BASINÇ (Pa) |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
|-----|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
|     | KANAT 1     | KANAT 2 | KANAT 3 | KANAT 4 | KANAT 5 | KANAT 6 | KANAT 7 | KANAT 8 | KANAT 9 | KANAT 10 |
| a 1 | 88.343      | 88.202  | 88.087  | 88.531  | 88.695  | 88.295  | 88.835  | 88.515  | 88.404  | 88.393   |
| a 2 | 88.653      | 88.511  | 88.582  | 89.110  | 89.210  | 88.777  | 89.282  | 88.974  | 88.865  | 88.878   |
| a 3 | 89.213      | 89.109  | 89.027  | 89.494  | 89.640  | 89.210  | 89.756  | 89.394  | 89.283  | 89.306   |
| a 4 | 89.421      | 89.312  | 89.221  | 89.528  | 89.770  | 89.404  | 89.686  | 89.569  | 89.472  | 89.482   |
| b 1 | 97.412      | 97.379  | 97.239  | 96.545  | 97.372  | 97.957  | 97.169  | 97.598  | 97.378  | 97.364   |
| b 2 | 96.916      | 96.904  | 96.691  | 95.957  | 96.817  | 97.623  | 96.452  | 97.043  | 96.858  | 96.853   |
| b 3 | 97.349      | 97.339  | 97.160  | 96.509  | 97.282  | 98.215  | 97.109  | 97.586  | 97.305  | 97.272   |
| b 4 | 98.239      | 98.191  | 98.109  | 97.599  | 98.279  | 98.721  | 98.253  | 98.529  | 98.224  | 98.195   |
| c 1 | 96.507      | 96.511  | 96.119  | 95.648  | 96.509  | 96.276  | 95.988  | 96.430  | 96.409  | 96.465   |
| c 2 | 95.999      | 96.011  | 95.543  | 95.449  | 96.062  | 95.622  | 95.679  | 95.965  | 95.876  | 95.957   |
| c 3 | 97.095      | 97.006  | 96.567  | 96.582  | 97.055  | 96.661  | 96.702  | 96.945  | 96.868  | 96.906   |
| c 4 | 97.189      | 97.157  | 96.903  | 96.664  | 97.297  | 97.019  | 96.867  | 97.176  | 97.179  | 97.212   |
| A   | 98.196      | 98.165  | 97.815  | 97.394  | 98.358  | 99.093  | 98.772  | 98.905  | 98.237  | 98.119   |
| B   | 96.880      | 96.900  | 96.815  | 96.804  | 97.038  | 99.208  | 97.347  | 97.261  | 96.947  | 96.913   |
| C   | 97.414      | 97.468  | 97.319  | 96.949  | 97.464  | 97.553  | 97.095  | 97.471  | 97.424  | 97.434   |



Şekil B.1 Tüm fan düzlem nokta ve bölgeleri

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ömer Korcan Ateş

Doğum Yeri ve Yılı: Sivas, 1979

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : [yl1430102002@stud.sdu.edu.tr](mailto:yl1430102002@stud.sdu.edu.tr) ,  
[korcanates@gmail.com](mailto:korcanates@gmail.com)



## Eğitim Durumu

Lise : Antalya Lisesi, 1996

Lisans : Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği, 2002

Yüksek Lisans (MBA) : Akdeniz Üniversitesi, İşletme Bölümü Tezsiz Y.L., 2004

Kaynak Mühendisliği :GSI-SLV TR, 2011

## Mesleki Deneyim

Sümbüloğlu Mühendislik2003-..... (halen)