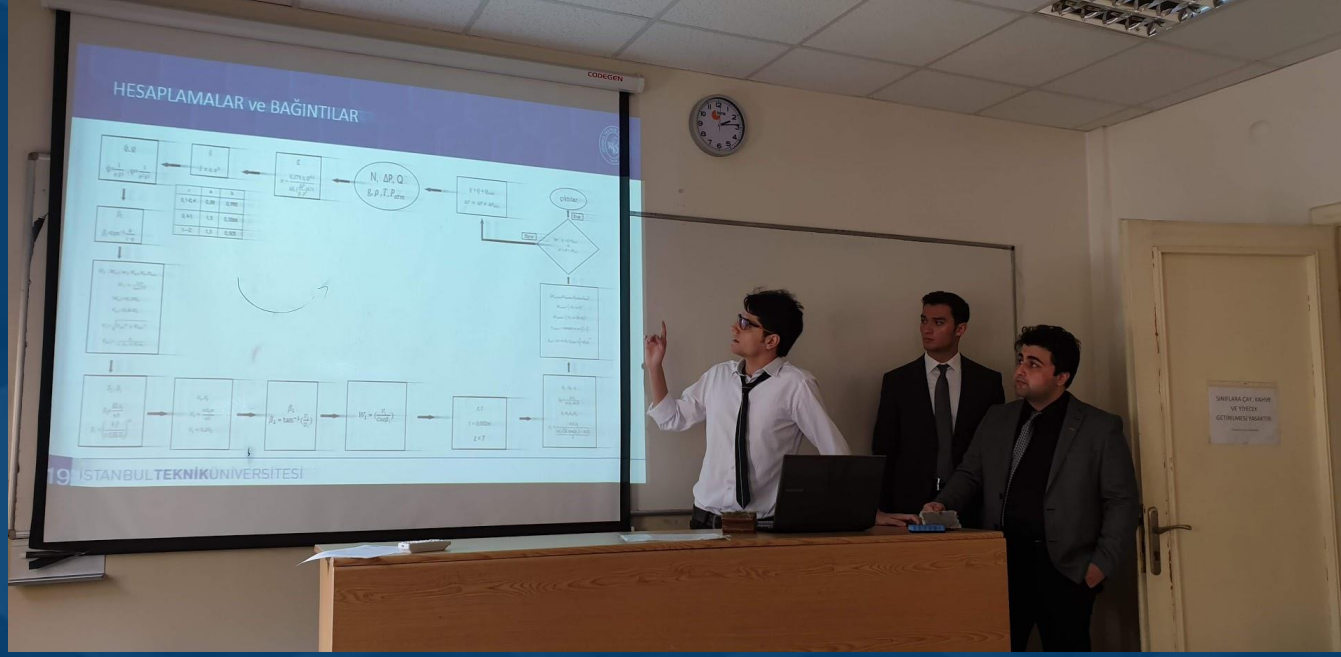




İSTANBUL **TEKNİK** ÜNİVERSİTESİ

Radyal Fan Tasarımı ve Optimizasyonu

HAZIRLAYANLAR: Ata Varol KOÇMAN, Mustafa Selim KASAMAN, Okan SOLAK

DANIŞMAN: Prof.Dr. Erkan AYDER

11 Haziran 2019

PROJENİN AMACI

- İnsanların zamanla kapalı ortamlarda çalışma sürelerinin artması sebebiyle minimum enerji kullanılarak insanların verimli çalışabilmesi için gereken atmosferik şartların sağlanması konusunun önemi git gide artmaktadır.
- Yapılan projenin temel amacı kapalı ortamların havalandırılmasında da sıkça kullanılan radyal fanların tasarım ve geliştirme sürecinin hızlandırılması, kolaylaştırılması ve uygulamalara daha yakın sonuçlar ortaya çıkarabilecek bir tasarım sistematığı belirlenmesidir.



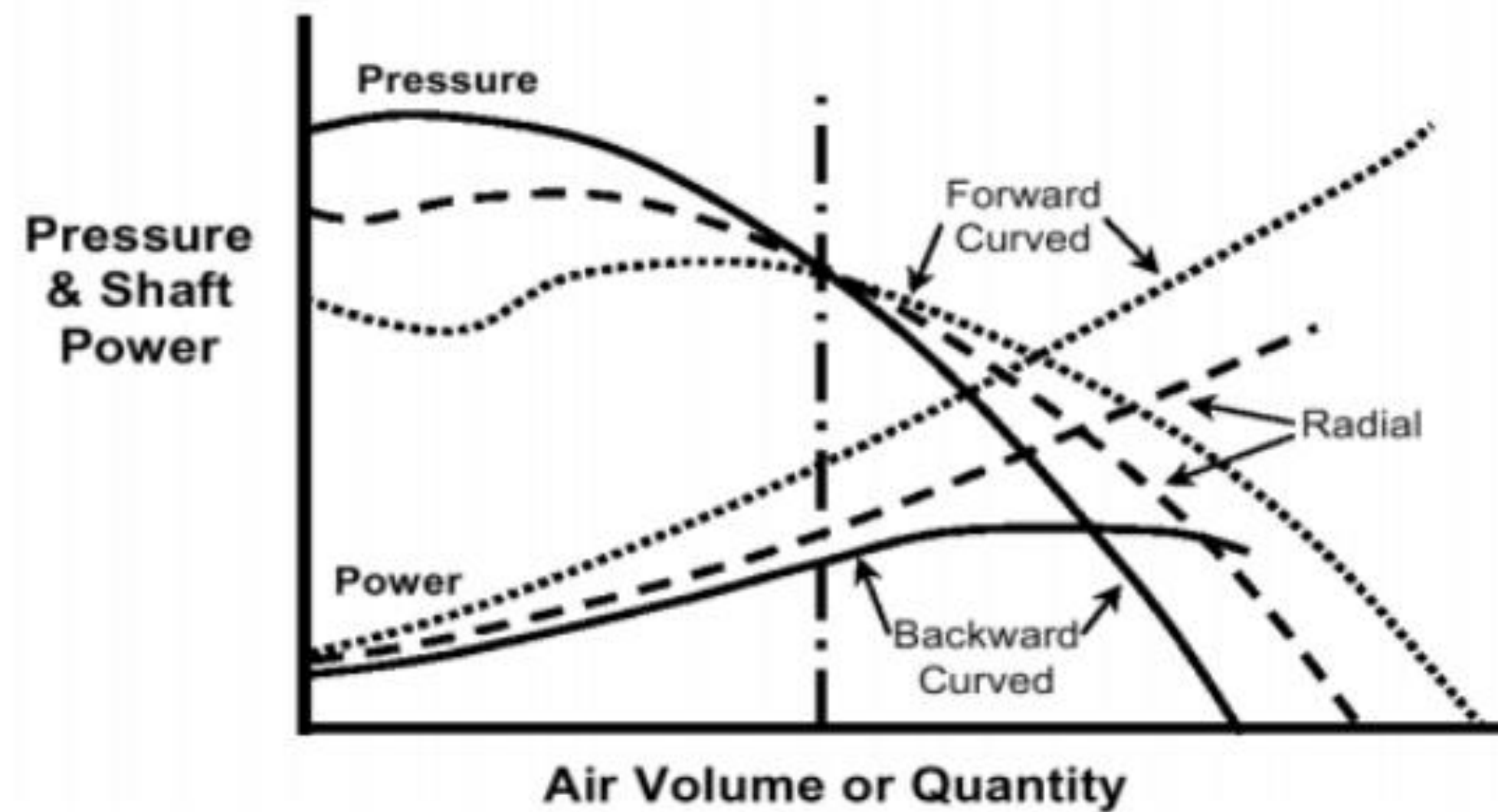
- Radyal fanlar geçmişten günümüze havalandırma, soğutma, kurutma gibi birçok alanda kendini göstermektedir.
- Özellikle insan sağlığını korumak amacıyla kapalı ortamların havalandırmasının en iyi şekilde sağlanması gerekmektedir. Bu sebeple radyal fanların performanslarının iyileştirilmesi konusundaki çalışmalar çok büyük önem arz etmektedir.



FAN SEÇİM KRİTERLERİ

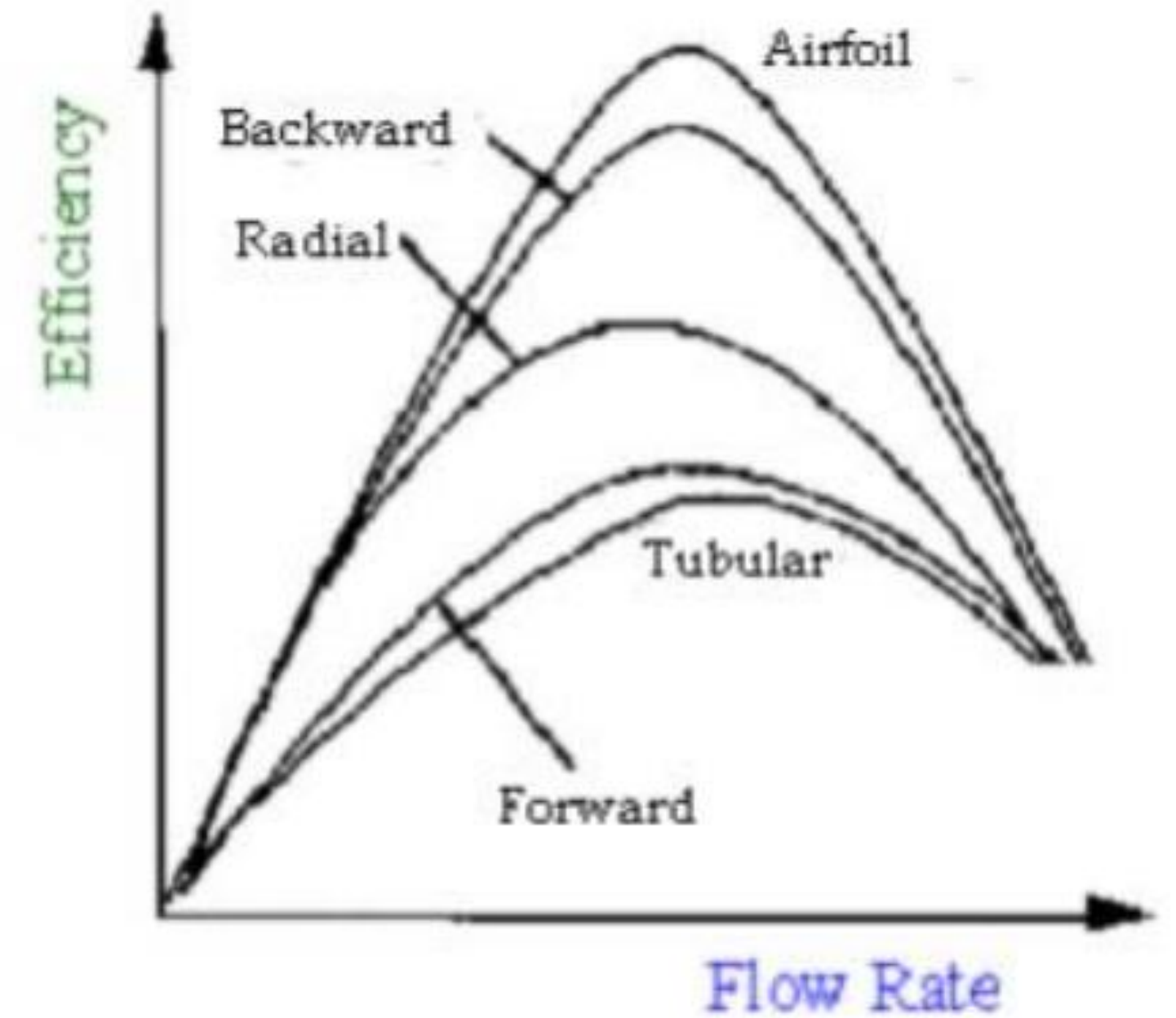
- Belirli bir uygulama için fan tipi seçimi, gerekli hacimsel debinin büyüklüğüne ve sağlanacak statik basınca bağlıdır. Belirlenen fan tipi için uygun kanat tipi seçimi dönme hızıyla ilişkilidir. İşlem hızı uygulamaya göre değişir.

- Q
- ΔP
- N



KANAT TİPİ SEÇİMİ

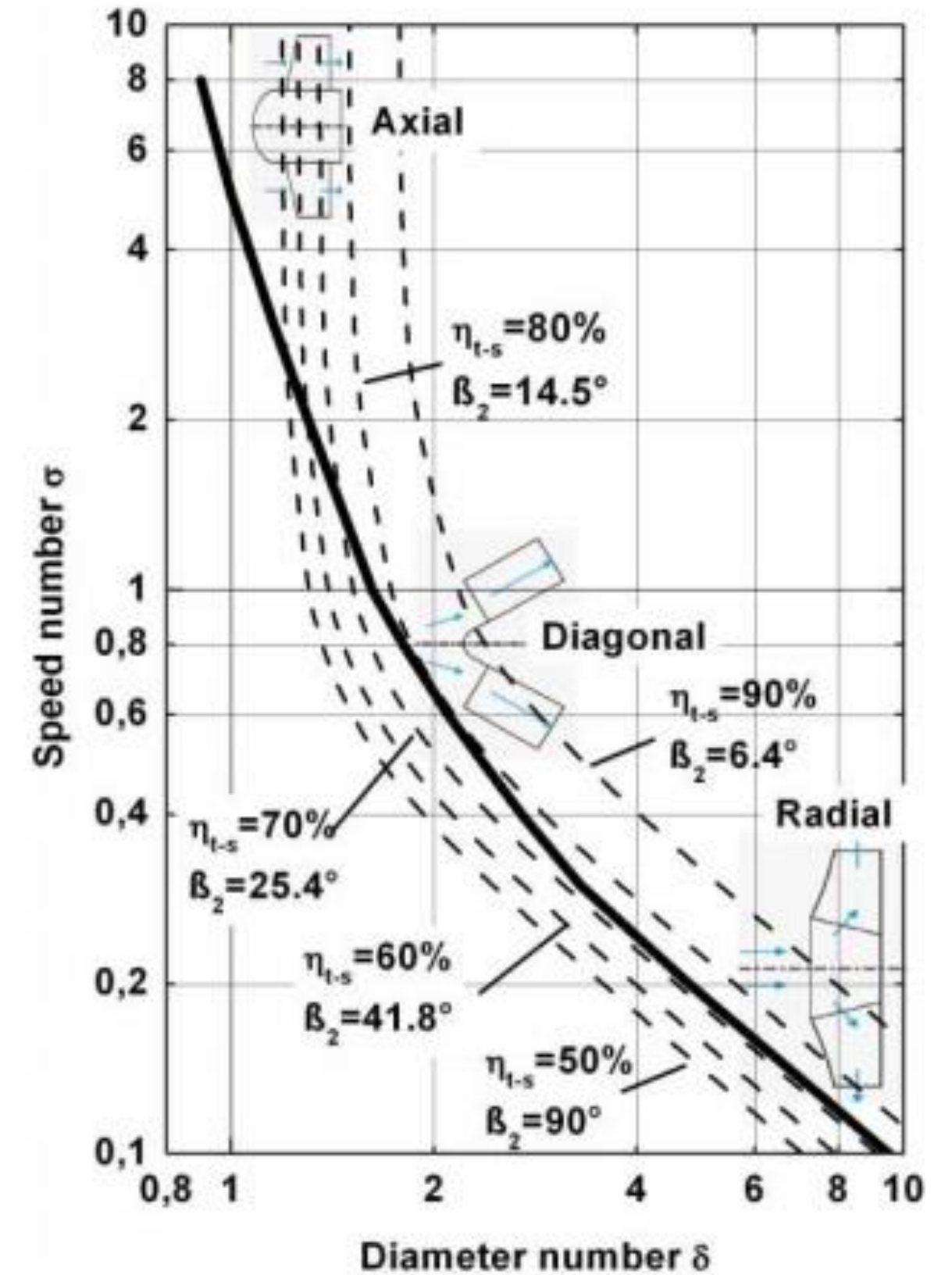
- Radyal fanlar yapım açısından basittir ve yüksek basınçlı uygulamalar için tercih edilir. Bununla birlikte, öne eğimli fanlar, geri eğimli fanlardan daha az verimlidir ve hacimsel debinin artmasıyla güç sürekli artar. Bu nedenle, daha düşük ilk maliyetlerine rağmen, uzun süreli kullanımlarda daha maliyetli olurlar. Radyal fan tasarımları arasında airfoil tasarımları en yüksek verimi sağlar, ancak kullanımları temiz, tozsuz hava ile sınırlıdır.
- Yukarıdaki koşullar göz önüne alındığında uzun vadede verimli ve ekonomik olması açısından tasarlanacak fanda geri eğimli kanat kullanılmasına karar verilmiştir.



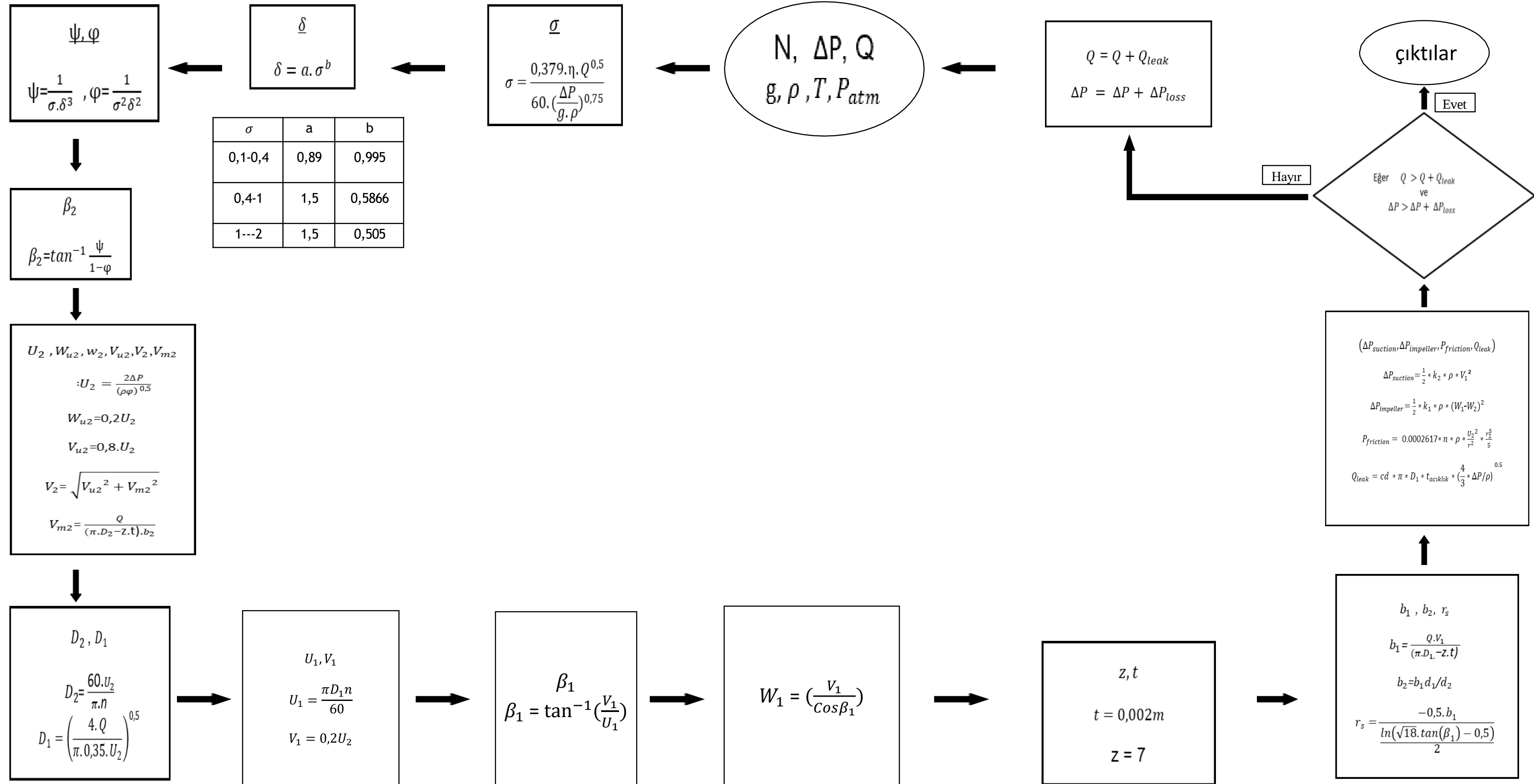
HESAPLAMALAR ve BAĞINTILAR

Mühendislik Hesaplamaları

- Literatür araştırması ve sonrasında bulunan tüm kaynaklardaki bağıntılar listelendi. Böylece kullanılması planlanan değerler ile tasarım sistematığı için gerekli olan parametrelerin elde edilmesinde kolaylık sağlanması amaçlandı.
- Başlangıç olarak turbomakinelere hacimsel debi, devir sayısı, basınç ve çıkış çapı arasındaki ilişkiyi gösteren Cordier Eğrilerinden yararlanılması kararlaştırıldı. Cordier Eğrileri kullanılarak bir çıkış çapı, çıkış çapı yardımıyla çevresel hız ve çevresel hıza bağlı olan bir çok parametrenin hesaplanması amaçlandı.
- Kullanılacak bağıntılar hali hazırda üretilmiş olan fanların bilinen değerleriyle sınılandı. Böylece bağıntılar arasında seçim ve eleme yapılmasına yardımcı olması adına, teorik değerler ile gerçek değerler karşılaştırılmış oldu.



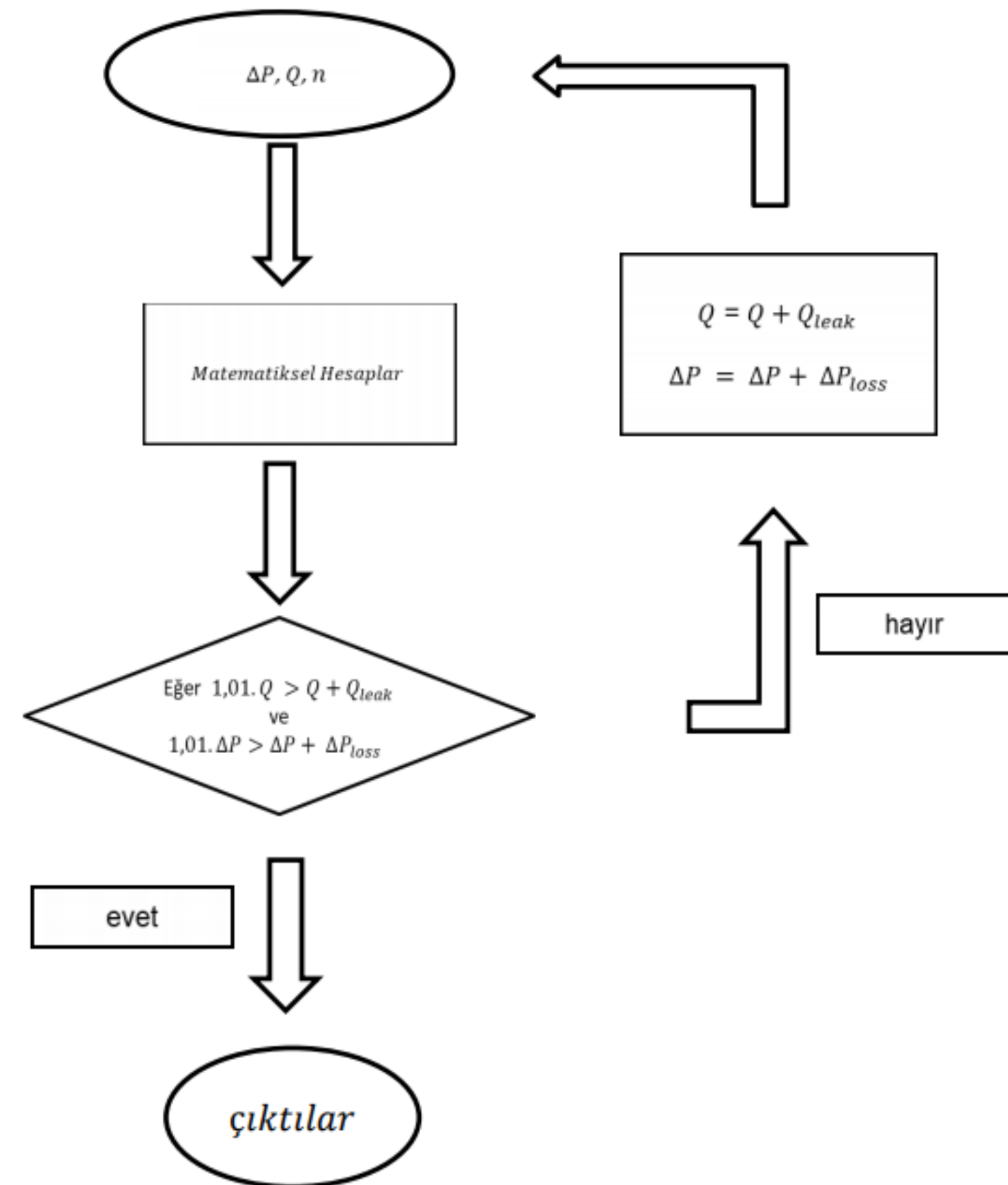
HESAPLAMALAR ve BAĞINTILAR



HESAPLAMALAR ve BAĞINTILAR

Hesaplama Zinciri

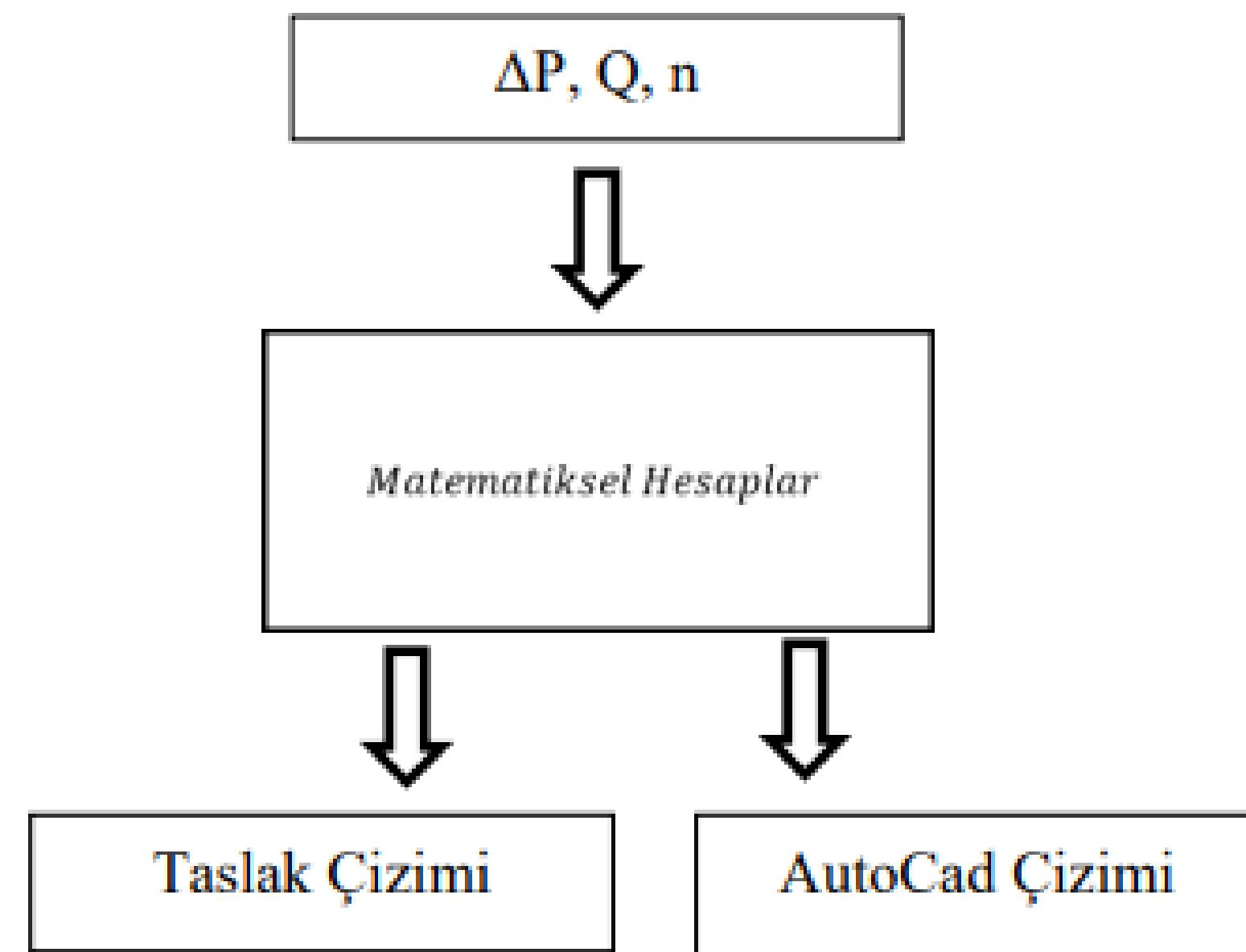
- Listelenmiş olan tüm bağıntılardan uygun görülen bağıntılar seçilerek tasarım için gerekli bütün geometrik büyüklükler, hızlar ve kayıplar hesaplanabileceği bir hesaplama zinciri oluşturuldu. Ancak bu hesaplama zinciri oluşan kayıpları son işlem olarak hesaplayabildiği için kayıpların etkisini göz önünde bulundurarak istenilen statik basınca ve debiye ulaşabilmek adına bu zincir bir döngü haline getirildi.
- Tasarım sistematığının amaçladığı gibi istenilen çalışma noktasında yüksek verimli radyal fan tasarımı elde edilmesinin kolaylaştırılması için elde edilen bu döngü python kodu haline getirilmesi planlandı.



KODLAMA ve ÇIKTILAR

Programın Çalışma Sistematiği

- Python ile üç temel fonksiyon altında kodlama yapıldı.
- ✓ İstenilen çalışma noktasındaki dakikadaki devir sayısı, hacimsel debi, basınç farkı değerleri ile geometrik çıktıları elde eden fonksiyon.
- ✓ Geometrik çıktıları kullanarak modelleme için gerekli meridyenel ve eksenel görüntüleri AutoCAD çizimi olarak elde eden fonksiyon.
- ✓ Geometrik çıktıları kullanarak AutoCAD kullanılmadan görüntülenebilecek taslak çizim elde eden fonksiyon.



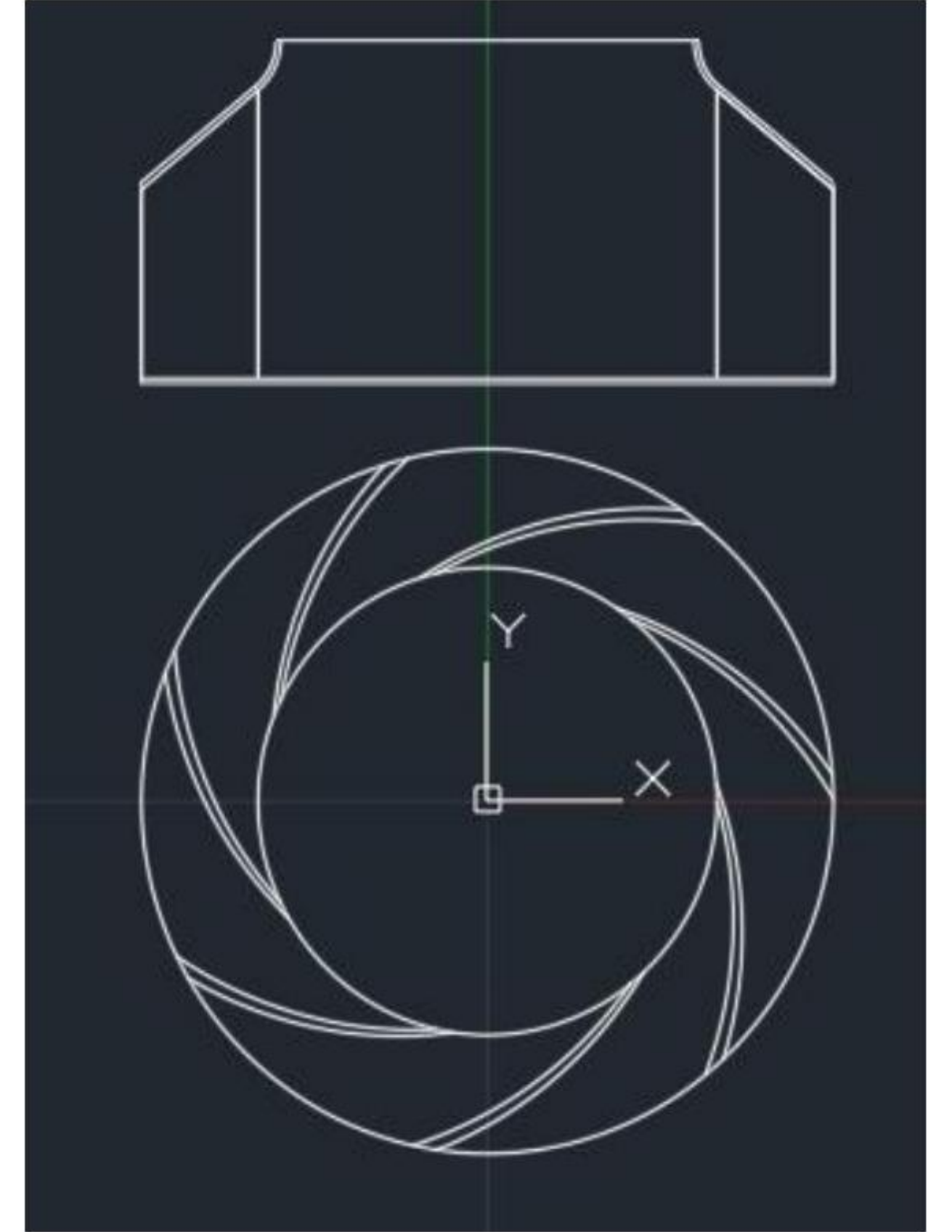
KODLAMA ve ÇIKTILAR

- Matematiksel hesaplamamalar daha önce akış şeması olarak verilen hâlde, Python 3.7 içerisinde hazır olarak bulunan kütüphaneler yardımıyla yapıldı. Kullanılan bağıntılar, katsayılar ve elde edilen değerler tek tek fonksiyon içine gömüldü ve her bir sonuç daha önce de yapıldığı gibi firmalar tarafından üretilmiş radyal fanlar ile karşılaştırılıp sınandı. Çıktıların fonksiyon dışına aktarılabilmesi için elde edilen tüm değerler boş bir kitaplığa aktarıldı ve adlandırıldı. Böylece daha sonra bu değerler kullanılmak ya da görüntülenmek istendiğinde, değerleri kullanacak olan fonksiyona girdi olarak bu kitaplığın okutulması amaçlandı.

```
İlk işlem olarak AutoCAD'in kurulu olan sürümünü açmaya çalışır, gireceğiniz değerleri tamamlamadan AutoCAD'in tamamen hazır durumda olduğundan emin olun.  
Devir sayısı (dev/dk) = 4780  
Hacimsel debi (m3/s) =1  
Statik basınc (Pa) =1800  
Geometrik Ciktilar  
d1 = 0.193 m  
d2 = 0.291 m  
β1 = 16 °  
β2 = 30 °  
b1 = 0.119 m  
b2 = 0.078 m
```

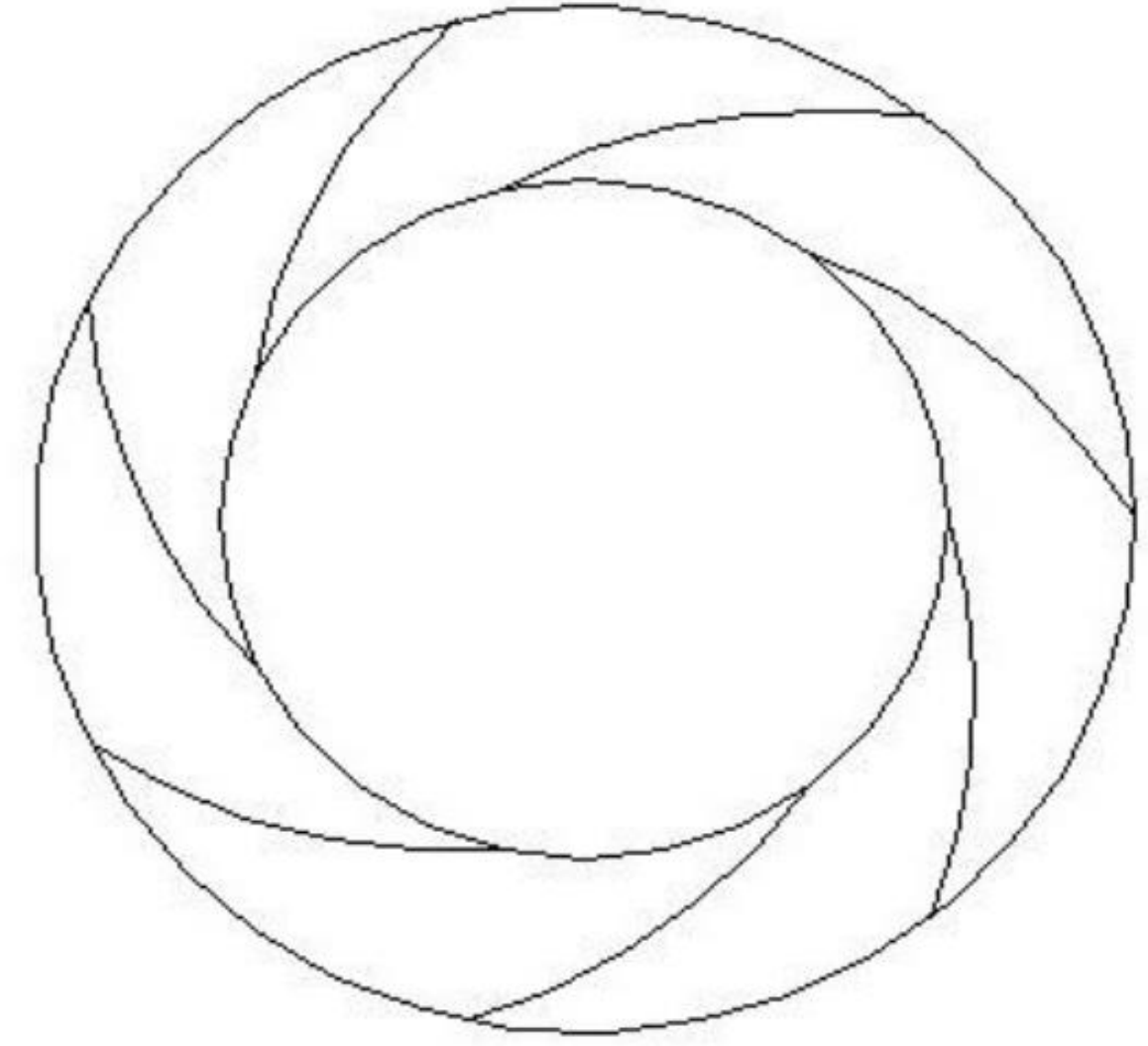
KODLAMA ve ÇIKTILAR

- AutoCAD çıktısı elde edecek olan fonksiyon için bir çok çizim ve modelleme programında da var olan ActiveX'den, programın kendi arayüzü haricinde farklı programlardan girdi, işlem ya da eklenti yapılabilmesine ve bu programların entegre olmasına izin veren sistem, yararlanılarak yapıldı. ActiveX hâli hazırda Visual Basic, C# gibi program çıktılarını doğrudan kullanmasına izin verdiği için, Python kodlarını ActiveX formatına dönüştürmesini sağlayacak olan 'pyautocad' kütüphanesi kullanıldı.
- AutoCAD ortogonal koordinat üzerinde çalıştığı için çizilmesi planlanan her geometri bu sisteme uygun olacak şekilde düzenlendi. Özetle tüm doğru parçalarının başlangıç ve bitiş noktaları; çemberlerin ve çembersel yayların merkez noktası, yarıçapı, başlangıç ve bitiş açıları; vektörlerin başlangıç noktaları ve açıları; görünümler arası mesafenin parametrik büyüklüğü daha sonra katı model elde edilirken düzeltme yapmaya gerek kalmayacak şekilde çizilebilecek şekilde formata uygun hale getirildi.

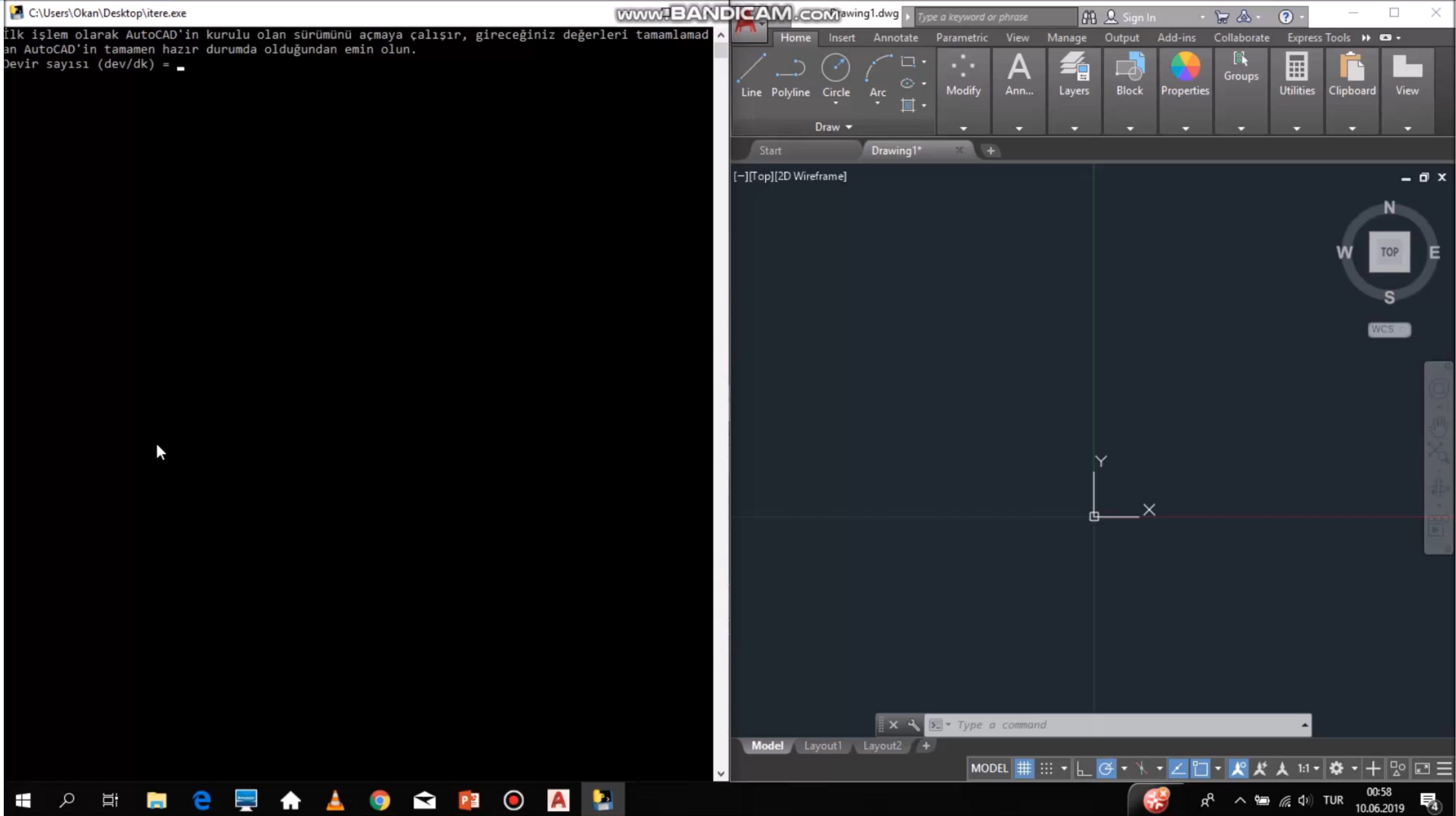


KODLAMA ve ÇIKTILAR

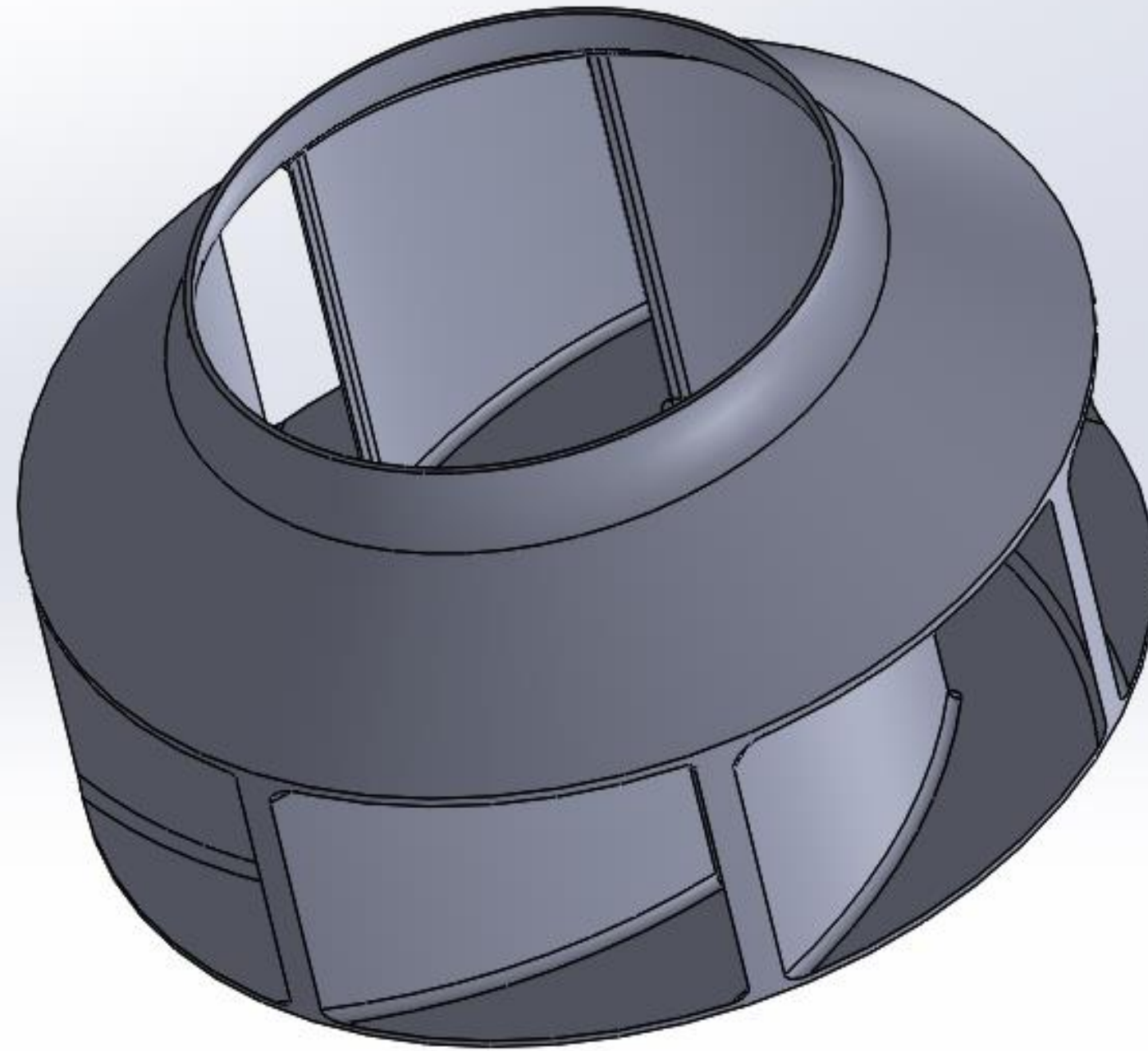
- Taslak çizim için Python 3.7 içerisinde bulunan 'turtle' kütüphanesi kullanıldı. Böylece programın kullanılmak istenilen her bilgisayarda bir taslak çizim elde edilebilmesi amaçlandı. AutoCAD'in aksine taslak çizim koordinat sistemini bilgisayar ekranındaki piksellerin her birini bir nokta olarak kullandığı için farklı çözünürlükteki ekranlarda da erişilebilir görüntü alabilmek adına, geometrik değerler kendi aralarında oranlanıp çarkın dış çapı her durumda sabit piksel sayısında olacak şekilde çizilmesi sağlandı.
- Çıktılar AutoCAD fonksiyonunda olduğu gibi bu kütüphanede kullanıma uygun formatta düzenlendi. Her çizim ve eğriyi tek tek çizebilecek halde kodlandı.



TASARIM PROGRAMININ UYGULAMASI

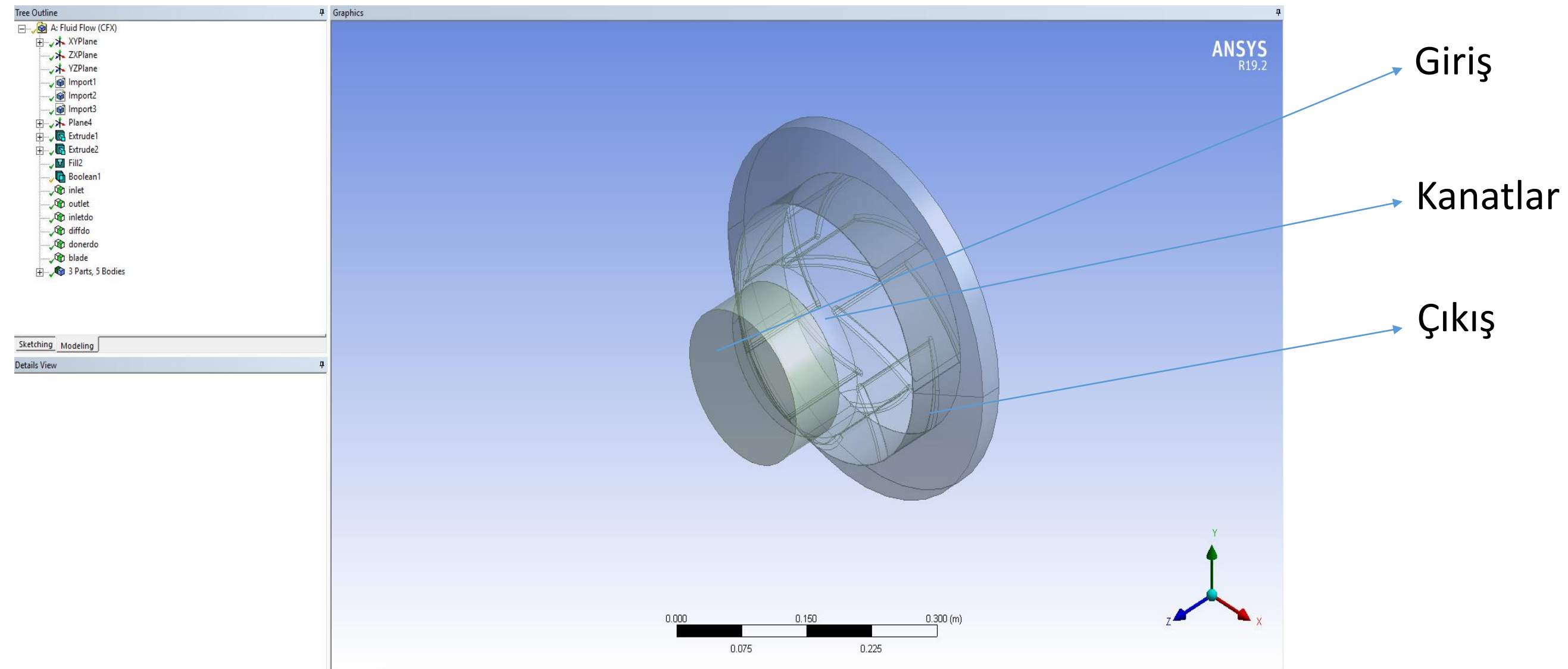


TASARIM PROGRAMI YARDIMI İLE OLUŞTURULAN KATI MODEL



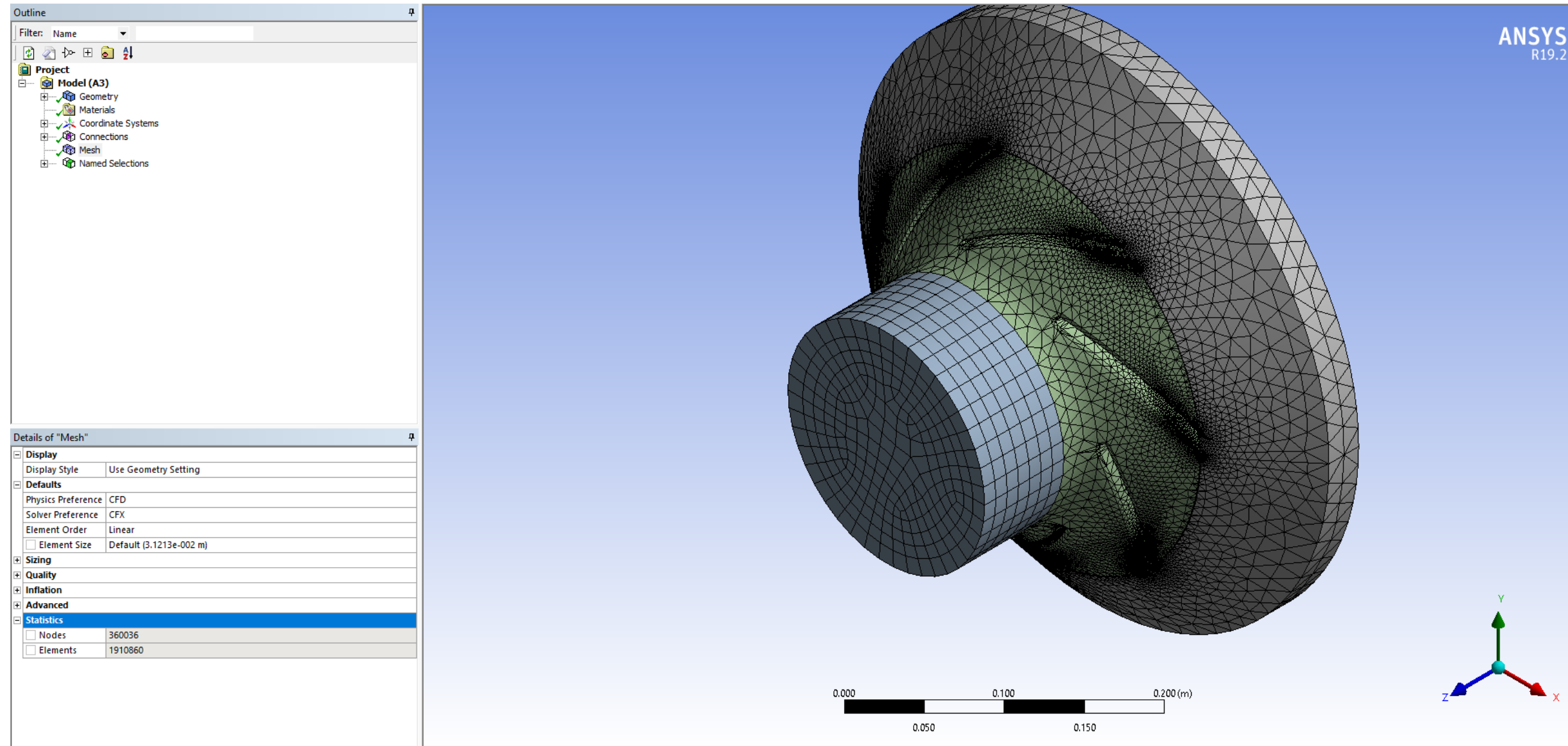
- Gerçekleştirilen tasarım SolidWorks katı modelleme programı yardımıyla üç boyutlu hale getirildikten sonra Ansys analiz programı altında CFX platformunda akış analizine tabi tutulmuştur.
- Analizde sorgulananlar:
 - ✓ Tasarımın istenen çalışma noktasındaki çıktılarının belirlenmesi
 - ✓ Tasarımın veriminin saptanması
 - ✓ Basınç Alanları ve Akım Çizgilerinin takibinin yapılabilmesi

- Öncelikle SolidWorks'ten elde edilen katı model Ansys-CFX programına girdisi yapıldıktan sonra akış bölgelerinin tanımlanması gerekmektedir.



KATI MODELE MESH ATANMASI

- Giriş ve çıkış hacimleri ile oluşturulan katı model arasında mesh yoğunluğu farkı bulunmaktadır. Katı yüzeylerde daha sık mesh atılmasına dikkat edilmiştir. Toplamda 360036 node, 1910860 element sayısına ulaşılmıştır.



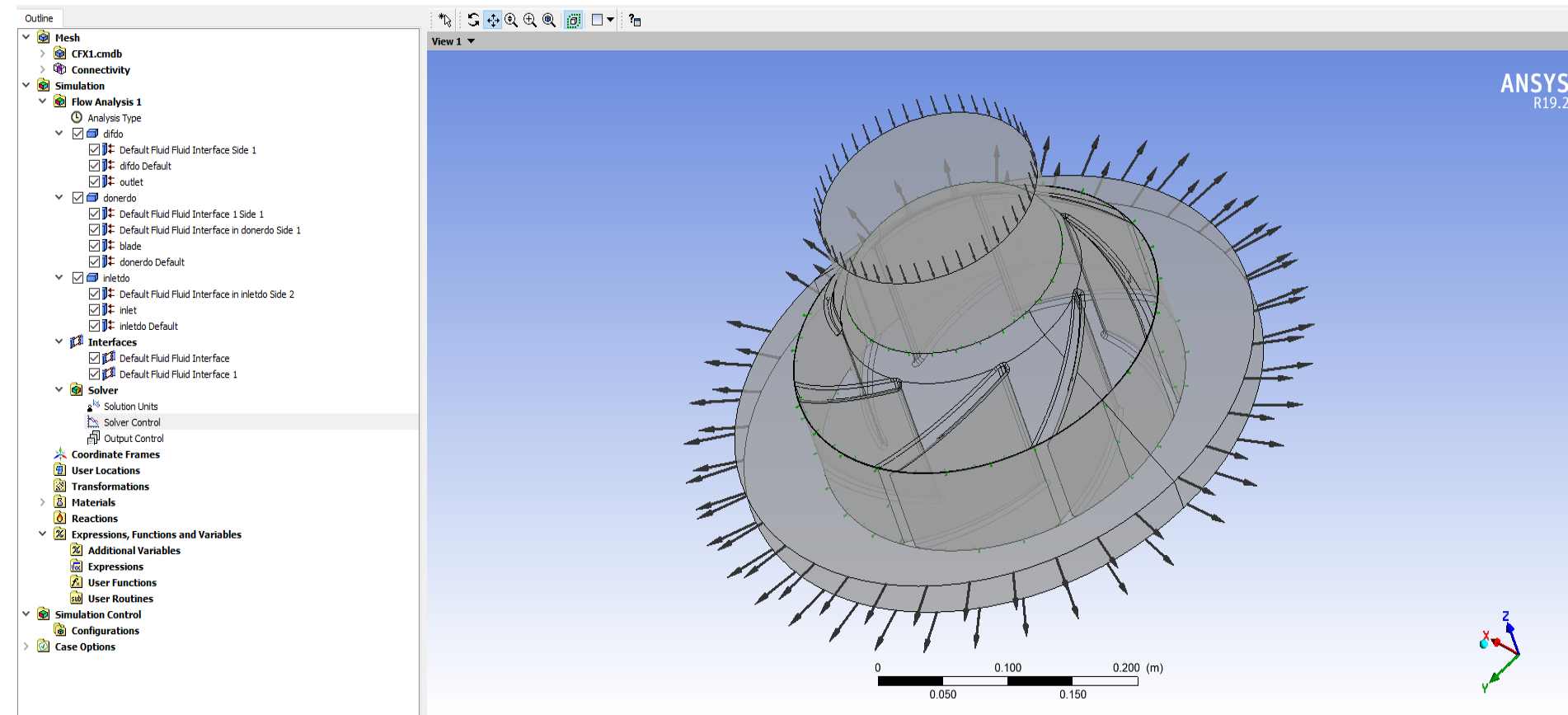
ANALİZ İÇİN YAPILAN KURULUM AYARLARI

- Önceden tanımlanmış hacimler aşağıdaki şekilde belirlenir:

Akış Hacmi → Dinamik Akışkan

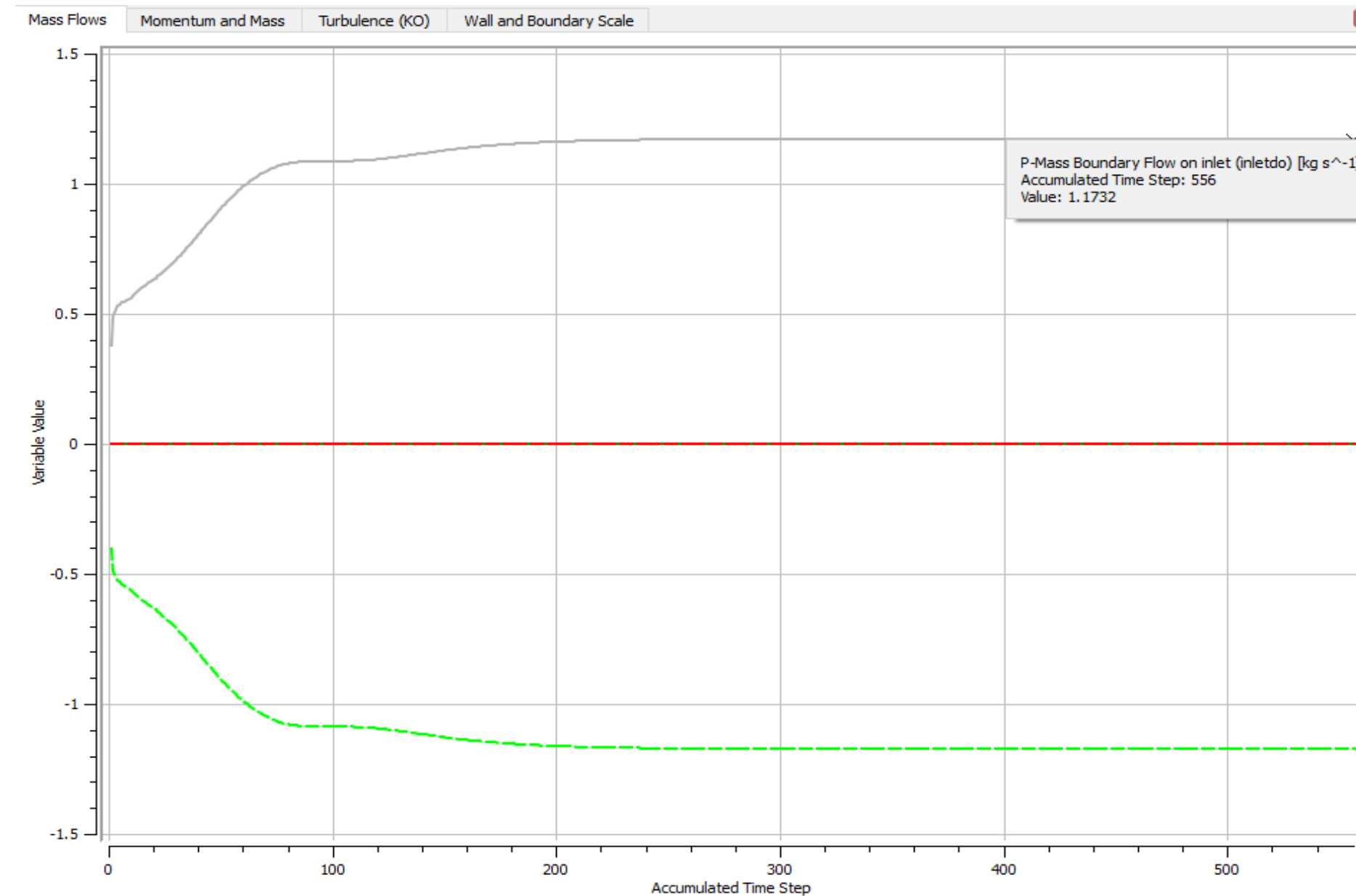
Giriş ve Çıkış Hacmi → Durağan Akışkan

- Yapılacak iterasyonun, Yüzey Gerilimi Taşıma Yöntemi(Shear Stress Transport) ile çözdürülmesi istenmiştir.
- Sınır şartları :
Giriş statik basıncı 0 Pa, çıkış basıncı ise istenen çalışma noktasındaki 1800 Pa olarak girilmiştir.
- Yapılacak analiz 1000 iterasyon ile sınırlandırılmıştır.



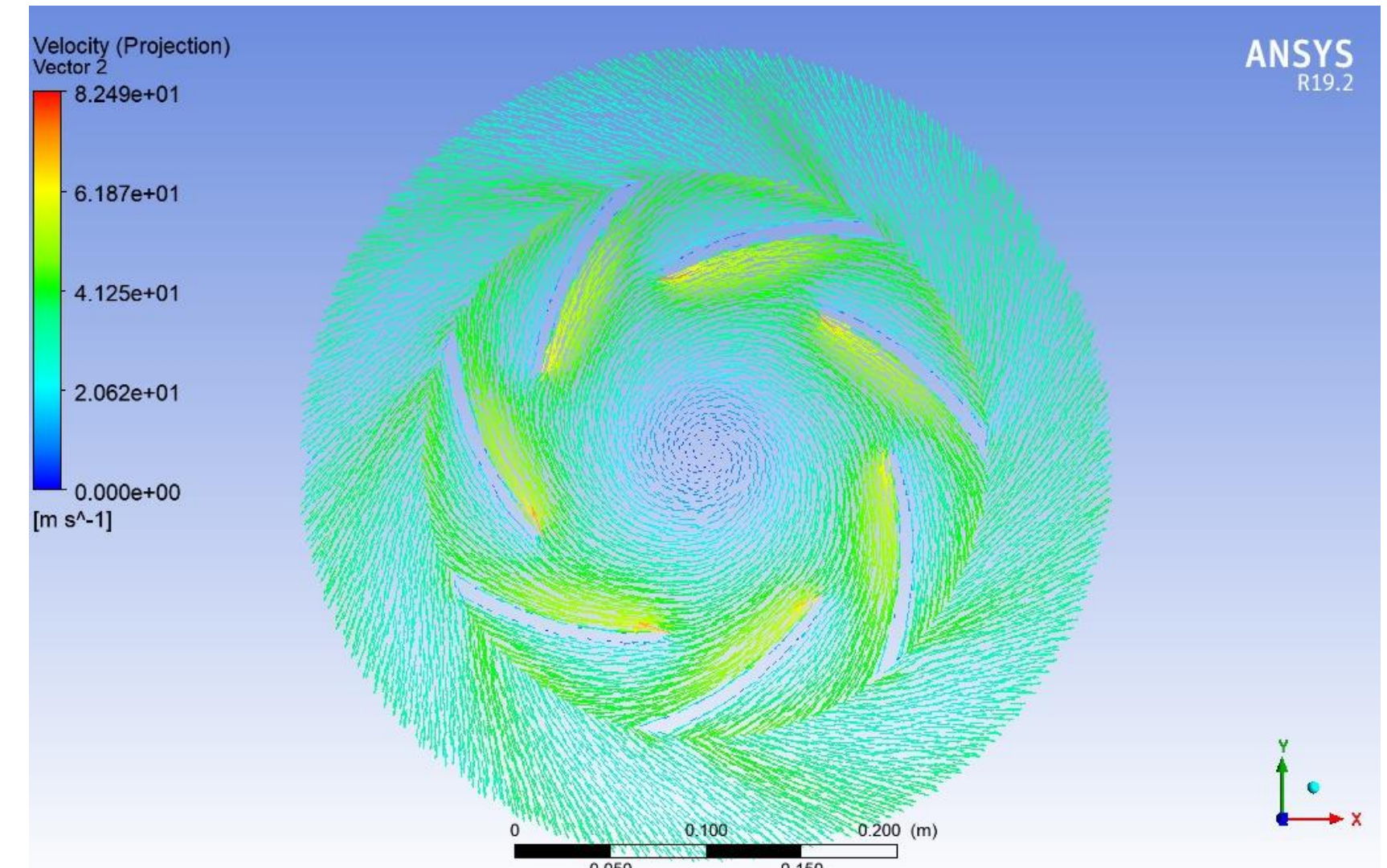
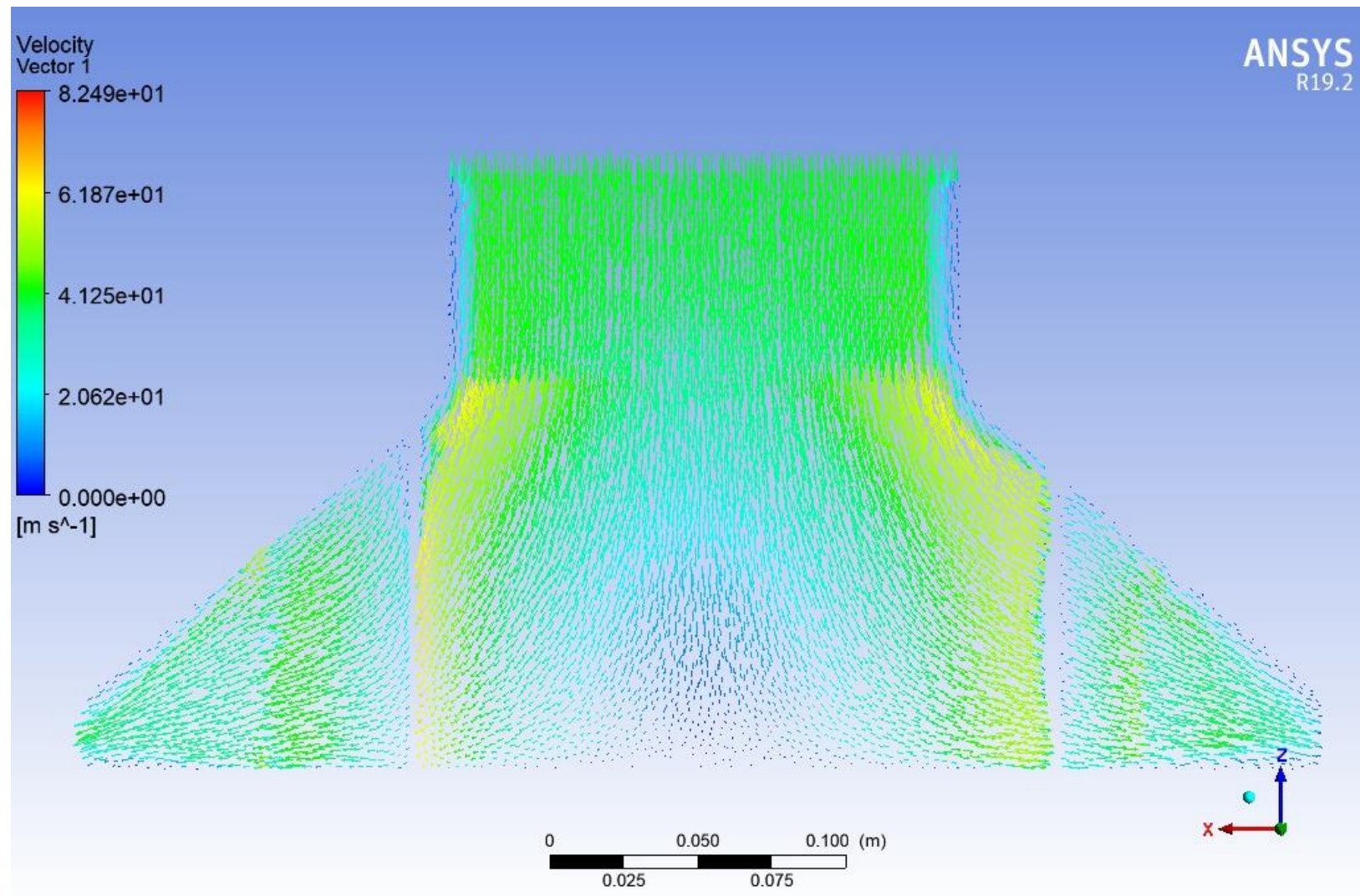
Hacimsel Debi Kontrolü

- İterasyonların son bulması ile elde edilen kütleli debi $\dot{m} = 1,1742 \text{ kg.s}^{-1}$ ($Q = 0,99 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) olarak görüldü, buradan da anlaşılacak sonuç ise çalışma noktasında istenen $1 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ debiye çok yakın bir değer elde edildiğidir.



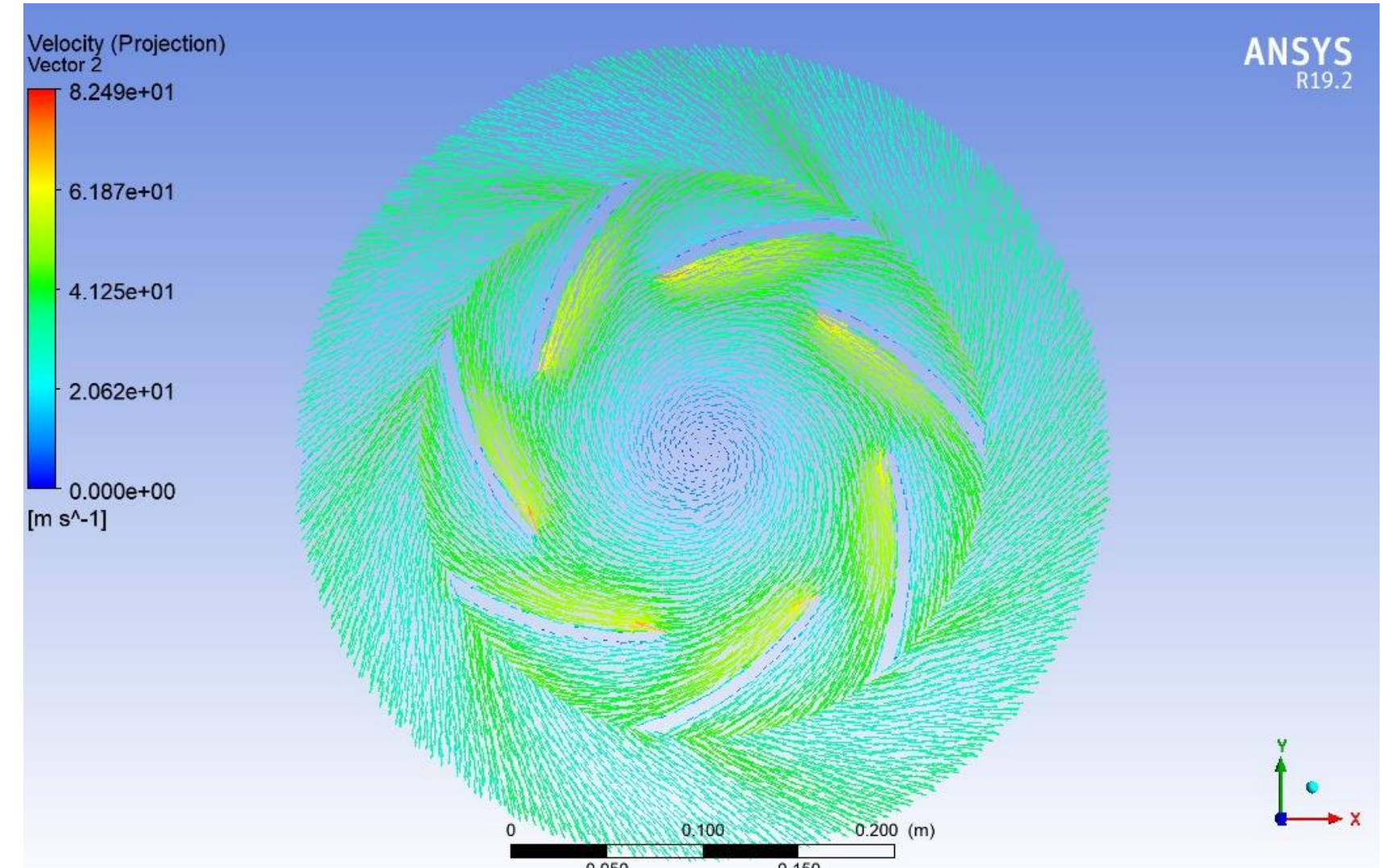
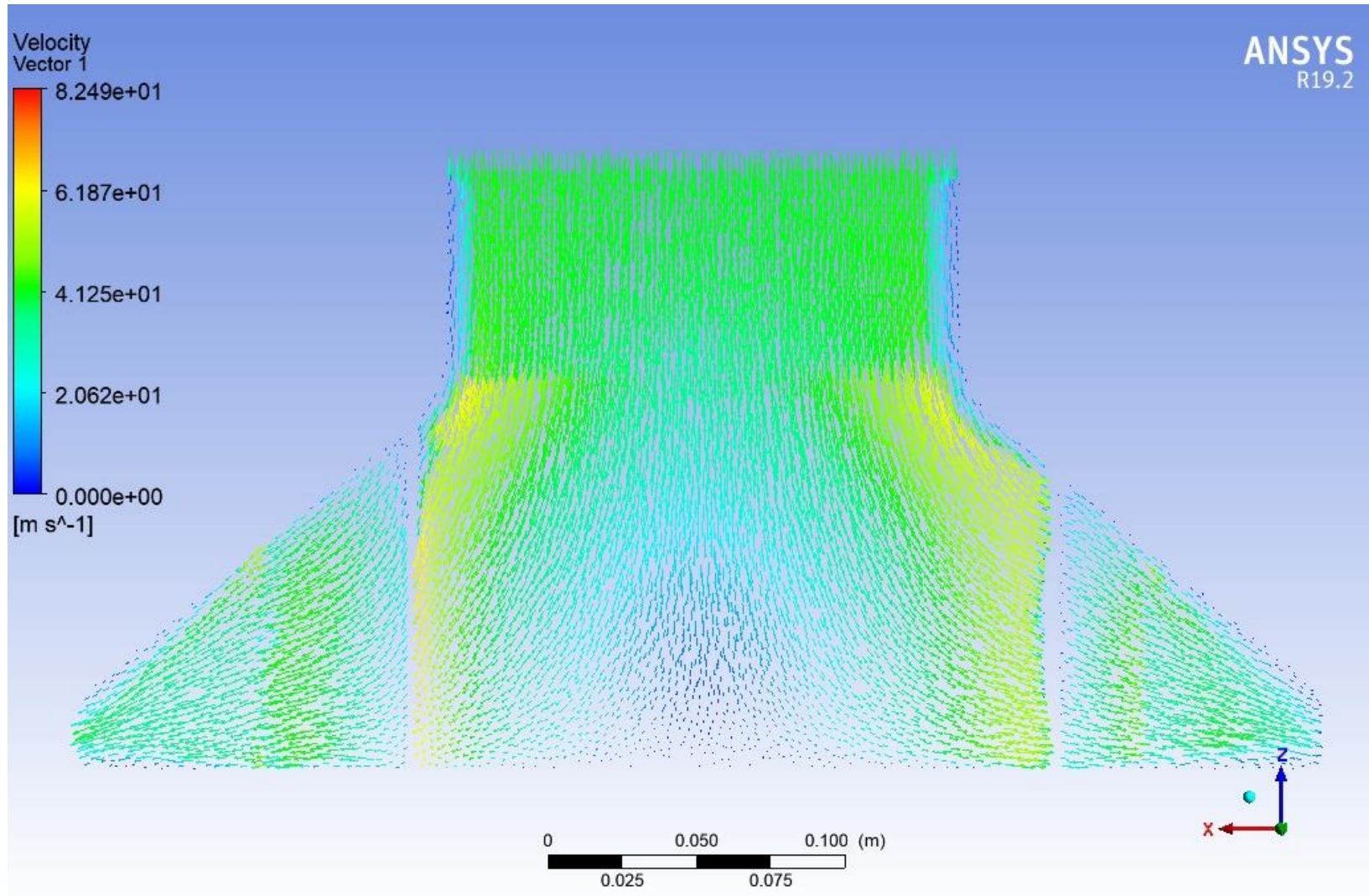
Akış Ayrılması Kontrolü

- Akış ayrılmasının minimum seviyede tutulması, yüksek verim elde edebilmek için önemli bir faktördür. Radyal fanlarda akış ayrılmaları özellikle üç bölgede görülmesi muhtemeldir. Bu bölgeler çark girişi, kanat yüzeyleri ve çark çıkışıdır.
- Görsellerde yapılan incelemeyle bir akış ayrılması durumu tespit edilmemiştir.

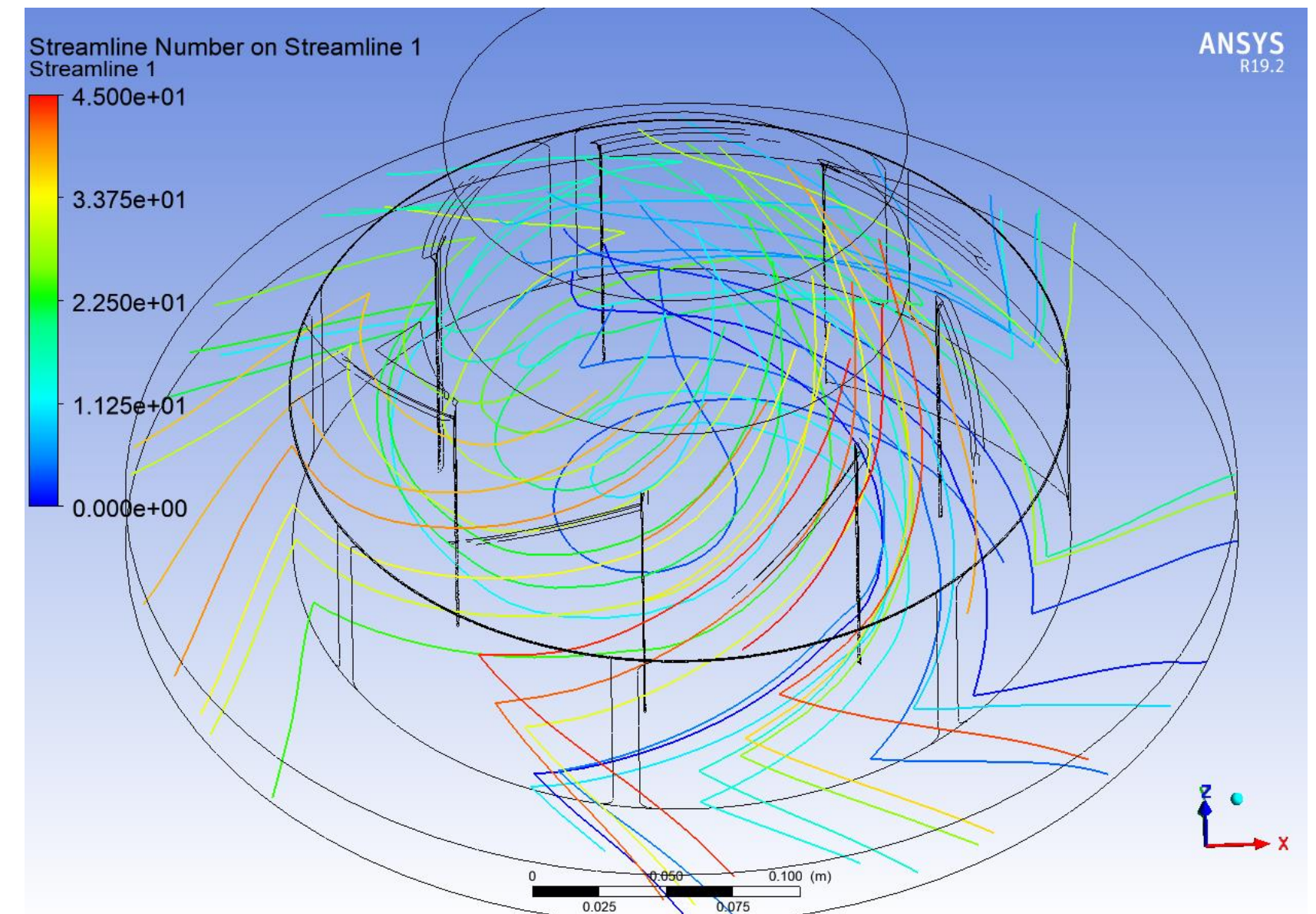
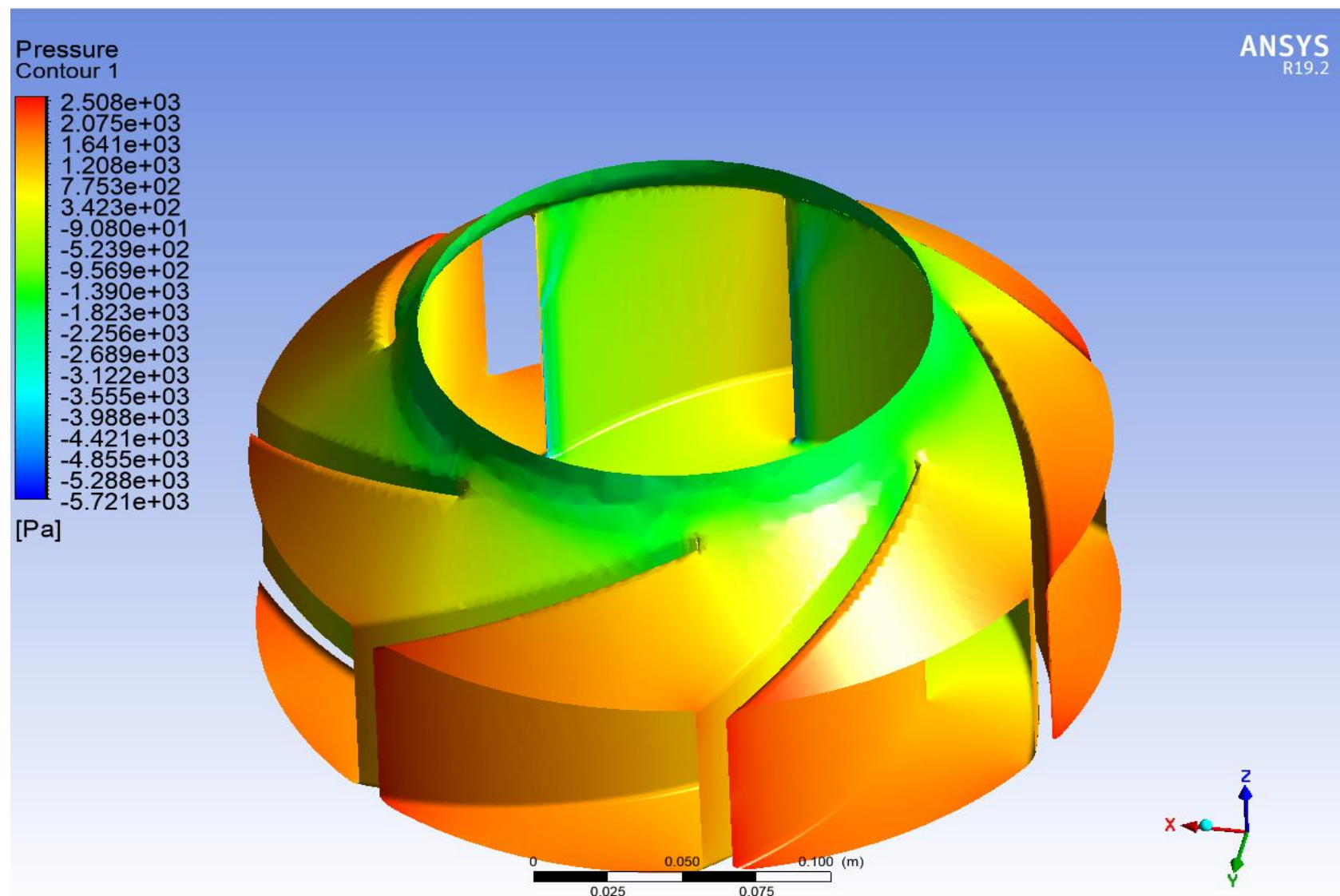


Çarpma (Şok) Kontrolü

- Çark içerisinde hızla hareket eden hava kanadın giriş kesitine çarpar. Çarpma engellenemez ancak gerekli düzeltmeler yapılırsa azaltılabilir. Bu çarpmanın yarattığı düzensizlik ne kadar yüksek olursa, tasarım o kadar verimsiz olur. Bu çalışmada kanat uçları uygun radyuslarla birleştirilmiştir. Böylece çarpma etkisinin azaltılması amaçlanmıştır. Ancak ayrofoil kanatlar kullanılsaydı, daha düşük bir çarpma etkisinin olacağı aşikârdır.

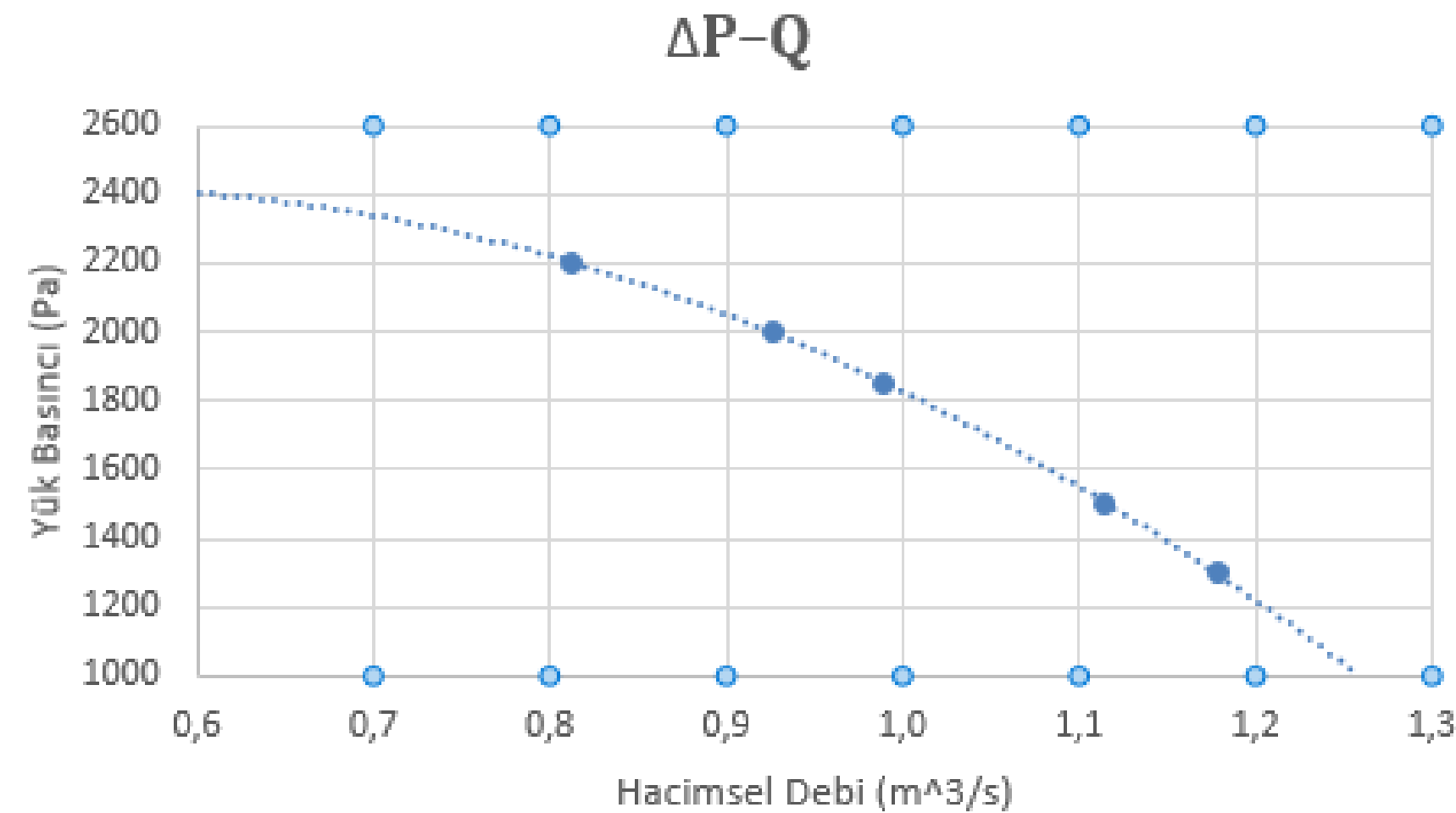


Basınç Alanları ve Akım Çizgileri



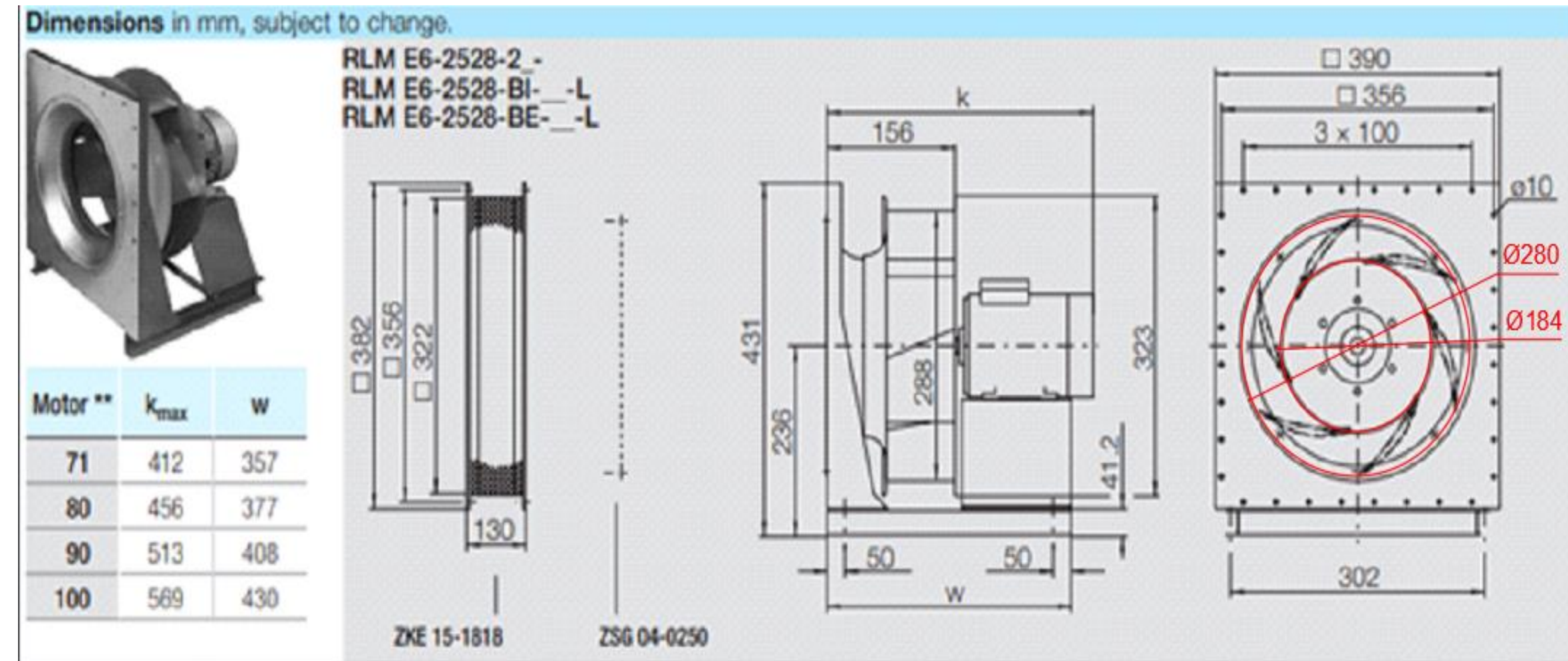
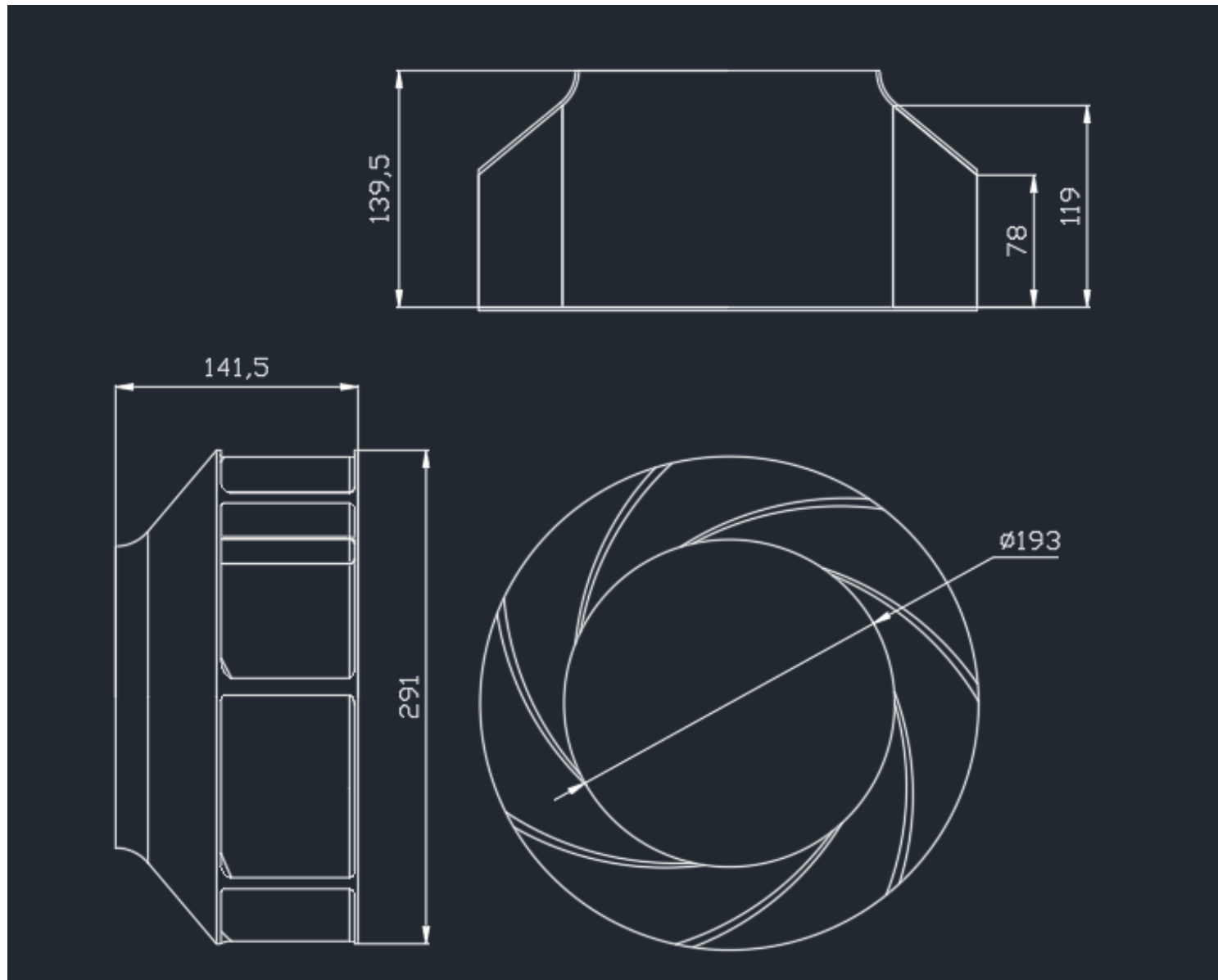
Performans Eğrisi ve Verim

- Verimin hesaplanabilmesi için mil gücünün hesaplanması gerekiyordu, bunun için kanatlar üzerinden havaya aktarılan toplam moment hesaplatıldı. Buna göre uygulanan toplam moment $T = 5,11 \text{ Nm}$ olduğu görüldü.
- Elde edilen verim : $\eta_t = Q.\Delta P / T.\omega = (0,99 \cdot 1800 \cdot 60) / (5,11 \cdot 4780 \cdot 2 \cdot \pi) = 0,726$ (%72.6)

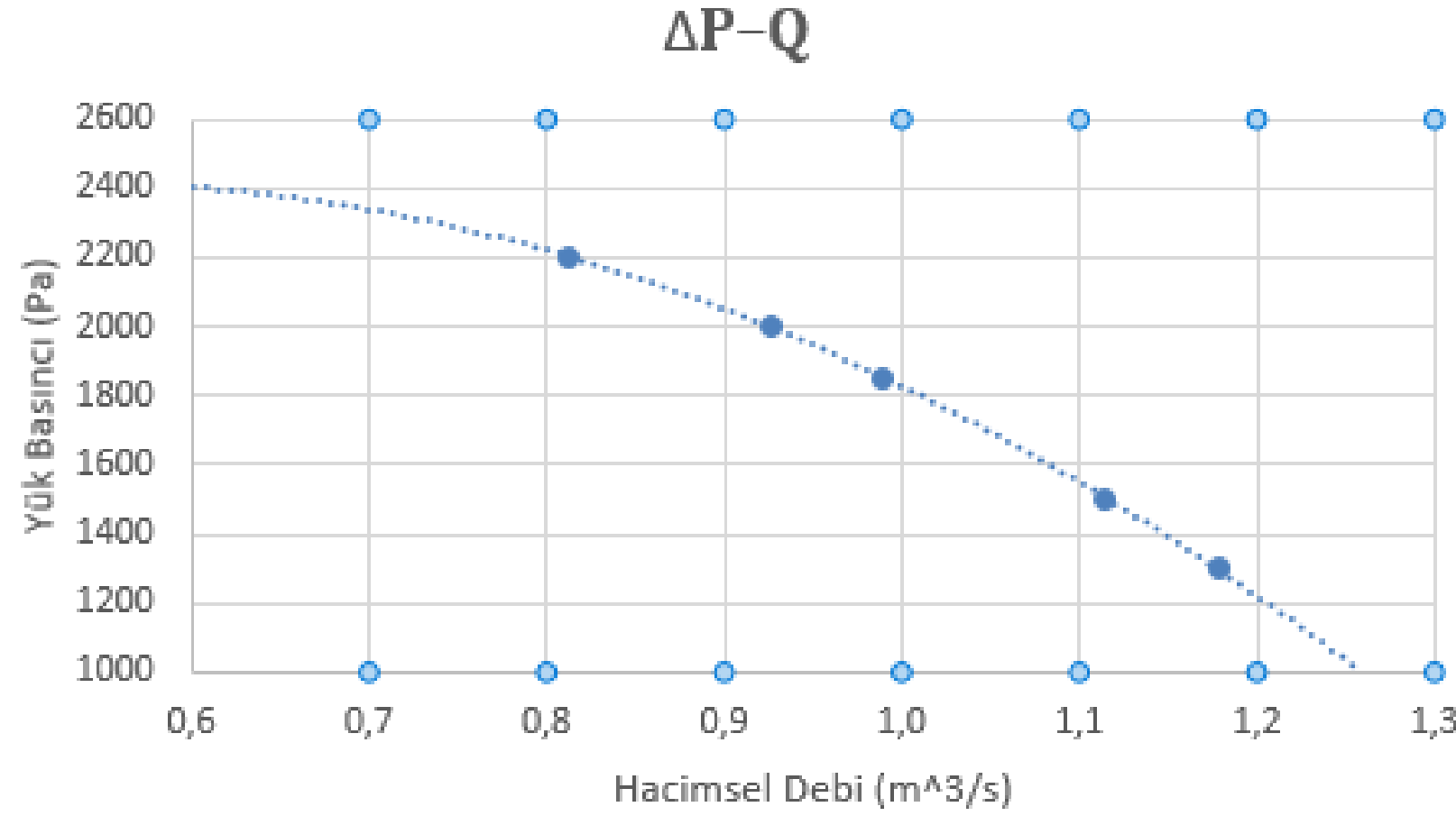


KARŞILAŞTIRMA

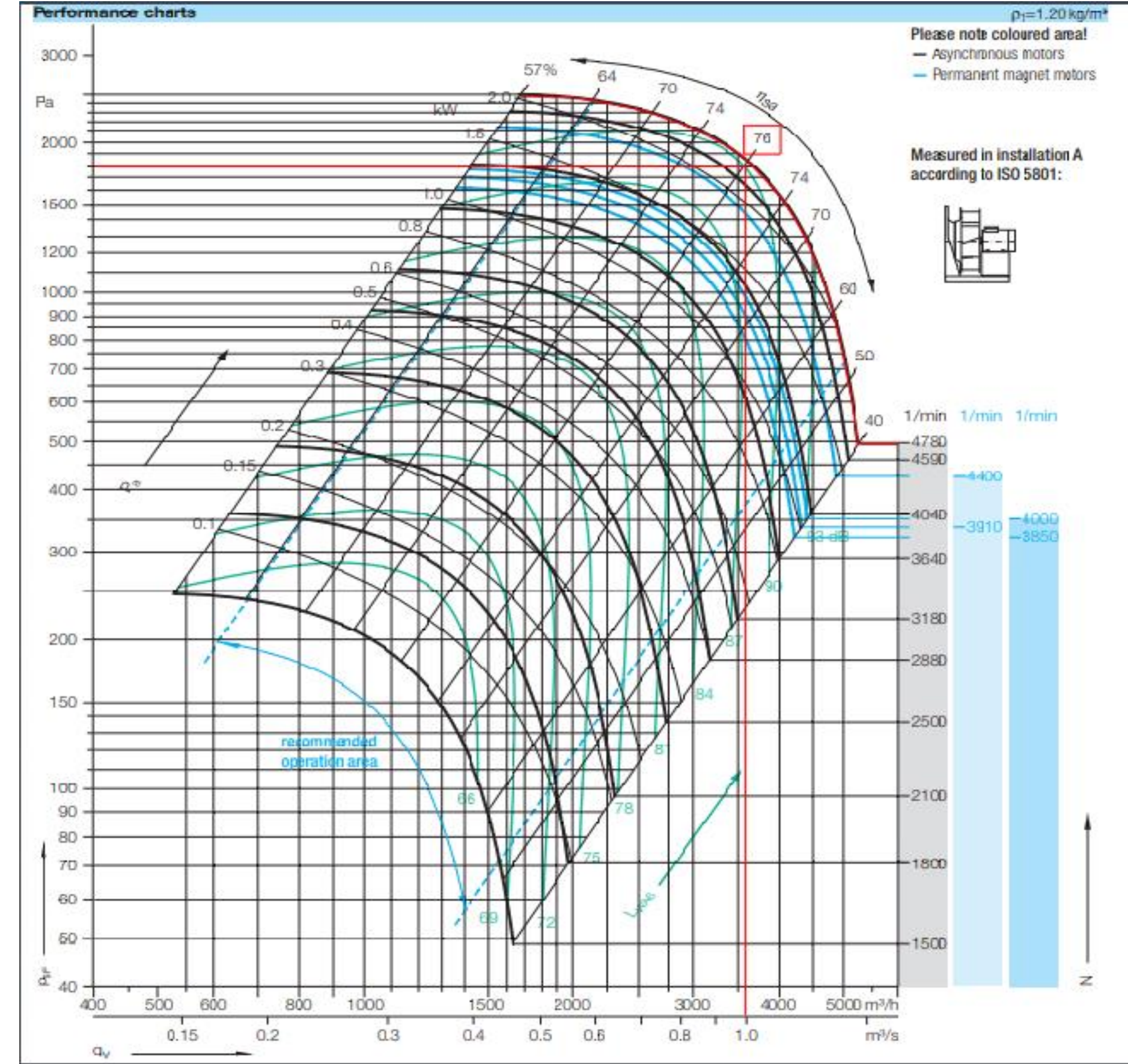
- Yapılmış olan tasarım, alanında yetkin olan fan üreticisi Nicotra Gebhart firmasının RLM E6-2528 ürünü ile karşılaştırılmıştır. Fanın tasarım noktası bu ürünün maksimum verim noktası olarak belirlenmiştir.
- Görüldüğü üzere aynı çalışma noktaları için tasarlanmış olan radyal fan ile Nicotra Gebhardt firmasının üretmekte olduğu RLM E6-2528 fan boyutları ile yakınlık göstermektedir.



KARŞILAŞTIRMA



- Oluşturulmuş olan grafikten ve analiz sonuçlarından elde edilen verilere göre çalışma noktası için yapılan fan tasarımının verimi %73 olarak hesaplanmıştır. Nicotra Gebhardt firmasının aynı noktadaki airfoil tipi kanatları bulunan fanının verim değeri ise %76 okunmuştur. Verim değerlerinin birbirine yakın olması tasarımın doğruluğunu ortaya koymaktadır, ayrıca tasarlanan modelin veriminin kıyaslanan fanın veriminden biraz daha az olmasının sebebi fan modelinin airfoil kanatlı olarak oluşturulmamasıdır. Tasarlanan modelin kanatlarının airfoil olarak tasarlanıp analizlerin daha iyi özellikleri olan bir bilgisayarda daha yüksek mesh sayılarıyla tamamlanmasıyla verim değerinin daha yüksek olacağı öngörülmüştür.

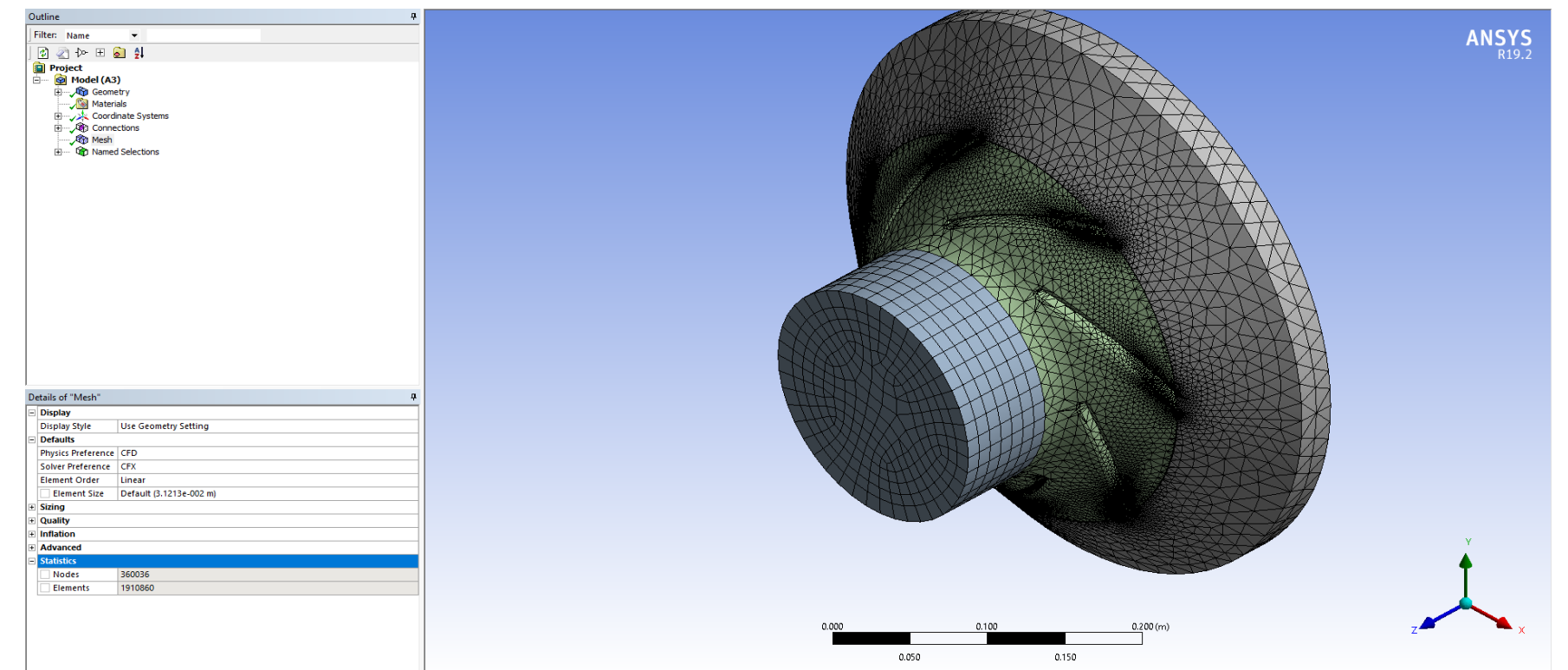


Projenin Kazanımları

- Tasarım yönteminin en büyük avantajı hazırlanan yazılım ile sadece üç tane parametre (devir sayısı, hacimsel debi, statik basınç) girilerek, istenen çalışma noktasına göre fanın hesaplamalarını gerçekleştirip çarkın taslak ve 2B çizimini oluşturarak tasarım sürecine büyük oranda hız kazandırmasıdır. Ardından katı modelleme programlarıyla istenen çalışma noktasındaki fanın katı modellemesi gerçekleştirilebilmektedir.
- Firmaların kullandığı fan seçim programları kullanıcıya istenilen çalışma noktasına en yakın verilere göre tasarlanan üretilmiş fanlardan birini önermektedir, projede hazırlanan tasarım programı ise istenilen koşullara göre tasarım oluşturulmasını sağlamaktadır.

Geliştirme Önerileri

- Tasarımda seçilmiş olan kanat tipi, geri eğimli yerine aerodinamik (airfoil) kullanılırsa daha iyi verim değerlerine ulaşılabilir.
- Analiz için kullanılan bilgisayarların imkan verdiği ölçüde atılmış olan meshler, daha iyi bilgisayarlarda daha başarılı mesh atma yöntemleriyle daha fazla mesh oluşturularak, tasarımın istenen çalışma noktasındaki değerleri daha iyi bir şekilde analiz edilebilir ve tasarımın gerçeğe yakın sonuçlarına daha başarılı şekilde ulaşılabilir.



- Bu proje kapsamında bugüne kadar kullanılan tasarım yöntemleri incelenerek daha pratik ve uygulamalarda ortaya çıkan değerlere daha yakın sonuçlar ortaya koyabilecek bir sistematik belirlenmeye çalışılmıştır. Bu hedef ile tasarımın durumunun değerlendirilmesi için HAD (Hesaplamalı akışkanlar dinamiği) programı olan CFX ortamında analizler yapılmıştır. Teorik hesaplamalar ile belirlenen fan performans değerleri analiz sonucu ortaya çıkan değerler ile kıyaslanmıştır. Ayrıca belirlenen tasarım sistematikini içeren bir fan tasarım programı oluşturulmuştur.
- Hazırlanan fan tasarım programının fanın geometrik boyutlarını, akışın giriş-çıkış konumlarındaki hızlarını ve verim değerlerini sadece üç girdiye göre otomatik olarak hesaplaması ve iki boyutlu çarkı çizdirebilmesiyle tasarım sürecine ciddi bir hız kazandırılmıştır.

```
İlk işlem olarak AutoCAD'in kurulu olan sürümünü açmaya çalışır, gireceğiniz değerleri tamamlamadan AutoCAD'in tamamen hazır durumda olduğundan emin olun.  
Devir sayısı (dev/dk) = 4780  
Hacimsel debi (m3/s) =1  
Statik basınç (Pa) =1800  
Geometrik Çıktılar  
d1 = 0.193 m  
d2 = 0.291 m  
 $\beta_1 = 16^\circ$   
 $\beta_2 = 30^\circ$   
b1 = 0.119 m  
b2 = 0.078 m
```

