

YATAY EKSENLİ BİR RÜZGÂR TÜRBİNİNİN
OPTİMUM KANAT TASARIMI ve ANALİZİ

HASAN İBİLOĞLU

MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman
Doç. Dr. İbrahim SEVİM

MERSİN

ARALIK - 2014

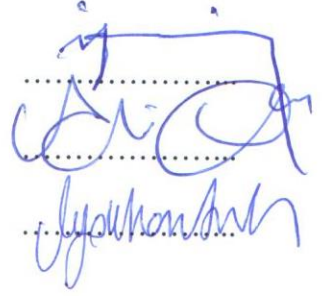
Hasan İBİLOĞLU tarafından Doç. Dr. İbrahim SEVİM danışmanlığında hazırlanan “Yatay Eksenli Bir Rüzgâr Türbininin Optimum Kanat Tasarımı ve Analizi” başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Doç. Dr. İbrahim SEVİM

Doç. Dr. Ali KESKİN

Yrd. Doç. Dr. Gökhan ARSLAN



Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 23/01/2015 tarih ve 2015.02/73 sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Doç. Dr. Mehmet KÜÇÜKASLAN
Enstitü Müdürü


Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

YATAY EKSENLİ BİR RÜZGÂR TÜRBİNİNİN OPTİMUM KANAT TASARIMI ve ANALİZİ

Hasan İBİLOĞLU

ÖZ

“Yatay eksenli bir rüzgâr türbininin optimum kanat tasarımı ve analizi” konulu bu tez kapsamında, yatay eksenli bir rüzgâr türbininin kanat tasarımının verime olan etkisi hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının önemine, türbin çeşitlerine ve kanat tasarım yöntemlerinin aşamalarına değinilmiş ve uygun bir kanat profilinin nasıl oluşturulacağına dair bilgiler verilmiştir. Yapılan tasarımın, Ansys Fluent programı ile analiz ve değerlendirmeleri yapılmıştır. Hücüm açısı verilen kanat tasarımı ile hücüm açısı verilmeden yapılan kanat tasarımı arasındaki veri farkları incelenmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak, basınç, hız ve yüzey sürtünme katsayıları incelenmiştir. Şimdiye kadar bu alanda yapılan çalışmalar literatürdeki kaynaklardan yararlanılarak sunulmuştur. Bir kanat profilinin datalarını tespit etme yöntemlerinden bahsedilmiştir. Elde edilen bilgiler doğrultusunda yatay eksenli rüzgâr türbini kanadının tasarımı için gerekli veri ve parametrelerin belirlenmesini ve buna ek olarak analiz yöntemini anlatan detaylı bir çalışma yapılmıştır. Son olarak bu yapılan çalışma hakkında gerekli analizler yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Rüzgâr türbini, Kanat tasarımı, Enerji, Fluent, Analiz, Hücüm açısı, Basınç, Hız.

Danışman: Doç. Dr. İbrahim SEVİM, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Mersin Üniversitesi

THE OPTIMUM BLADE DESIGN AND ANALYSIS OF HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE

Hasan İBİLOĞLU

ABSTRACT

In the current study entitled “The optimum blade design and analysis of horizontal axis wind turbine” information about effect of the turbine efficiency. In addition, the importance of renewable energy sources, types of wind turbines and blade design method steps are mentioned and some information about how to create a suitable airfoil is given. In this design, analysis and evaluations has been completed with Ansys Fluent. With angle of attack the wing design, data not given the differences between the angle of attack of the wing design were investigated. Based on these results, pressure, velocity, skin friction coefficients have been studied. Until now, studies in this field are obtained from sources in the literature. An airfoil data detection methods are discussed. Based on the information obtained, a horizontal axis wind turbine blade design data necessary for the determination of the parameters and describing the study has been conducted. Additionally, describing the method of analysis has been studied in detailed. Finally, the necessary analysis has been completed.

Keywords: Wind turbine, Blade design, Energy, Fluent, Analysis, Angle of attack, Pressure, Velocity.

Advisor: Assoc. Dr. İbrahim SEVİM, Department of Mechanical Engineering, University of Mersin

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezim süresince değerli bilgi birikimiyle bana her konuda yardımcı olan, tecrübeleriyle bana yol gösteren ve karşılaştığım zorluklarda desteğini esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. İbrahim SEVİM'e teşekkür ederim.

Tez çalışmamda destek veren değerli dostum Ömer Oğuz TEMEL'e, çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Habibe Elif GÜLŞEN'e ve değerli çalışma arkadaşlarım Arş. Gör. Burhan BAYHAN, Arş. Gör. S. Çınar ÇAĞAN ve Arş. Gör. Mustafa UĞURLU'ya desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca çalışmalarımda destek veren değerli dostum Fatma Aslıhan ŞENZEYBEK'e, tüm eğitimim boyunca bana destek veren, arkadaşlığı ve samimiyeti ile çalışmalarımda ve ilerlememde hep yardımcı olan kıymetli dostum Ali Can GÜLLÜ'ye, ve her zaman yanımda olan, bana maddi manevi destek veren ve cesaretlendiren sevgili Kübra KILÇIK'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca, bana maddi manevi her türlü destek veren sevgili aileme, başta babam Musa İBİLOĞLU ve annem Leyla Hanım İBİLOĞLU'na, ablalarım Fatma Hanım ASLAN ve Mümine Ferhan İBİLOĞLU'na ve son olarak bana moral veren sevgili yeğenlerim Kemal, Selmagül ve Selimhan'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi Birimi (BAP) tarafından "BAP FBE MMB (Hİ) 2013 - 4 YL" proje numarası altında desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	3
2.1. RÜZGÂR ENERJİSİ	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	8
3.1. NACA 4415 PROFİLİ	9
3.2. TÜRBİN KANADI PROFİL OLUŞTURMA	12
3.3. TÜRBİN KANADI OLUŞTURMA	15
3.4. ANALİZ İÇİN ÖN HAZIRLIK	16
3.5. ANSYS ÇALIŞMA ALANI ANALİZ HAZIRLIĞI	18
3.6. ÇÖZÜM AĞI OLUŞTURMA	20
3.6.1. Çözüm ağı	20
3.6.2. Çözüm ağının uygulanması.....	21
3.6.3. Çözüm Ağı Ayarları	23
3.7. AKIŞ ANALİZİ	26
3.7.1. Çözüm Ağının Fluent’e Aktarımı	26

3.7.2. Yüklemeler.....	27
3.7.3. Yükleme Ayarları.....	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	30
4.1. TÜRBİN KANADI ANALİZİNDE ELDE EDİLEN BULGULAR	30
4.1.1. Basınç Dağılımları	31
4.1.2. Hız Dağılımları	35
4.1.3. Yüzey sürtünme katsayısı gösterimleri	38
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	39
KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ.....	43

ÇİZELGELER DİZİN

Çizelge 3.1. NACA 4415 koordinatları	10
Çizelge 3.1. (devamı)	11
Çizelge 3.2. Birim damla yapısına göre boyutlar.....	12
Çizelge 3.3. 22,5 metrelik kanada göre damla boyutları.....	13



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. NACA 63 ile modifiye edilen kanat konfigürasyonu	4
Şekil 3.1. NACA 4415 damla yapısı.....	9
Şekil 3.2. 19 yüzeyden oluşan kanat profili	13
Şekil 3.3. 23° döndürme açısı verilmiş kanat profilinin diametrik görünümü.....	14
Şekil 3.4. Kanat profilinin katı modelinin 3 boyutlu görünümü	15
Şekil 3.5. Hava tüneli içine alınmış kanat.....	16
Şekil 3.6. Rüzgâr tüneli içerisine alınmış türbini kanadı	17
Şekil 3.7. Kanat'ın çıkarılmış halinin kesit görünümü	18
Şekil 3.8. Ansys çalışma alanına aktarılan dosya	19
Şekil 3.9. Unsur ağacında isimlendirme kısmının gösterimi	20
Şekil 3.10. Geometrinin çözüm ağına bağlanması.....	21
Şekil 3.11. Çözüm ağı yapılmış kanat ve rüzgâr tüneli.....	22
Şekil 3.12. Elle eklenen çözüm ağı tanımlamaları.....	24
Şekil 3.13. Kenar boyutlandırma gösterimi	25
Şekil 3.14. Proje sistematığının gösterimi.....	26
Şekil 3.15. Fluent analiz programı ve tasarımı yapılan geometri	27
Şekil 4.1. Kanat üzerindeki basınç dağılımları	31
Şekil 4.2. Kanat ön yüzeyindeki basınç dağılımları.....	32
Şekil 4.3. Kanatta oluşan Z eksenli yönündeki toplam basınç dağılımları	34
Şekil 4.4. Rüzgâr tüneli içerisinde oluşan X yönündeki hız	35
Şekil 4.5. Tünel içinde, hızın X eksenli yönündeki gösterimi	36
Şekil 4.6. Hızın X eksenli yönündeki vektörel gösterimi	36
Şekil 4.7. Rüzgâr tüneli içerisindeki hız dağılımları.....	37
Şekil 4.8. Hücum açısının 0°, 5°, 10° olduğu durumlardaki görünümü	38

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

MW	Megawatt
NACA	Havacılık ulusal danışma komitesi
CFD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
s	Saniye
°C	Santigrat derece
Pa	Pascal
kPa	Kilopascal
m/s	Metre/Saniye



1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada enerjiye olan ihtiyacın hızla artması, fosil yakıtların gün geçtikçe daha da azalması bizleri sınırsız olan yenilenebilir enerji kaynaklarını araştırmaya yönlendirmiştir. Fosil yakıtların çevreye olan zararı da göz önüne alındığında yenilenebilir enerji kaynaklarının çevre ve insanlar için önemi daha da artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları bakımında ülke olarak oldukça zengin olduğumuz göz önüne alındığında ise fosil yakıtlara olan bağımlılığımızı önemli ölçüde düşürebilir ve doğaya zararı olmayan temiz enerji türlerini kullanmamız gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr enerjisi temizliği ve performansı ile son yıllarda oldukça önem kazanmıştır. Rüzgâr enerjisinden faydalanmak amacıyla çeşitli türbinler kurulmuştur. Rüzgâr türbinleri, rüzgârdan alınan enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Rüzgâr türbinlerinin performansına etki eden en önemli unsurlardan biri olan türbin kanatlarının verime ve performansa etkisi çok büyüktür. Rüzgârdan maksimum derecede güç çekilebilmesi için rüzgâr türbininin kanat yapısının optimum düzeyde tasarlanması gereklidir. Bundan dolayı, kanat tasarımında çeşitli iyileştirmeler yapılarak performansı artırmaya yönelik bir çalışma yapılmak istenmektedir [1].

Günümüze kadar çok çeşitli rüzgâr türbini kanat tasarımları yapılmış, bu tasarımlar performans artırımı için çeşitli değişikliklere uğramış ve günümüze kadar sürekli devam eden bir tasarım ve değişim süreci olmuştur.

Şimdiye kadar bu alanda yapılmış olan çalışmalarda, pervane tipi, darrieus tipi, cyclogiro tipi, çok kanatlı tip, yelken kanat tipi, fan tipi, savonius tipi ve Hollanda tipi olmak üzere çeşitli tipte türbinler vardır. Bizim incelediğimiz kanat tipi, yatay eksenli üç pervaneli tiptedir.

Bu çalışmada, 22,5 m uzunluğunda bir türbin kanadı tasarımı incelenmiştir. Basınç, hız ve yüzey sürtünme katsayılarının hesaplanması Ansys Fluent programı ile yapılmıştır. Türbin kanatlarının kesitleri, daha önceden kullanılan tasarımlar ve günümüzde kullanılan tasarımların karşılaştırılması ile yapılmıştır.

Ayrıca, en uygun tasarımın, bilgisayar ortamında, dünyada yaygın olarak kullanılan Ansys Fluent analiz programı ile simülasyonu yapılarak basınç, hız ve yüzey sürtünme katsayılarının değerleri belirlenmiştir. Bu çalışmanın, yatay eksenli bir rüzgâr türbininin kanat analizi yapacak diğer araştırmacılar için bir veri kaynağı olacağı düşünülmektedir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1. RÜZGÂR ENERJİSİ

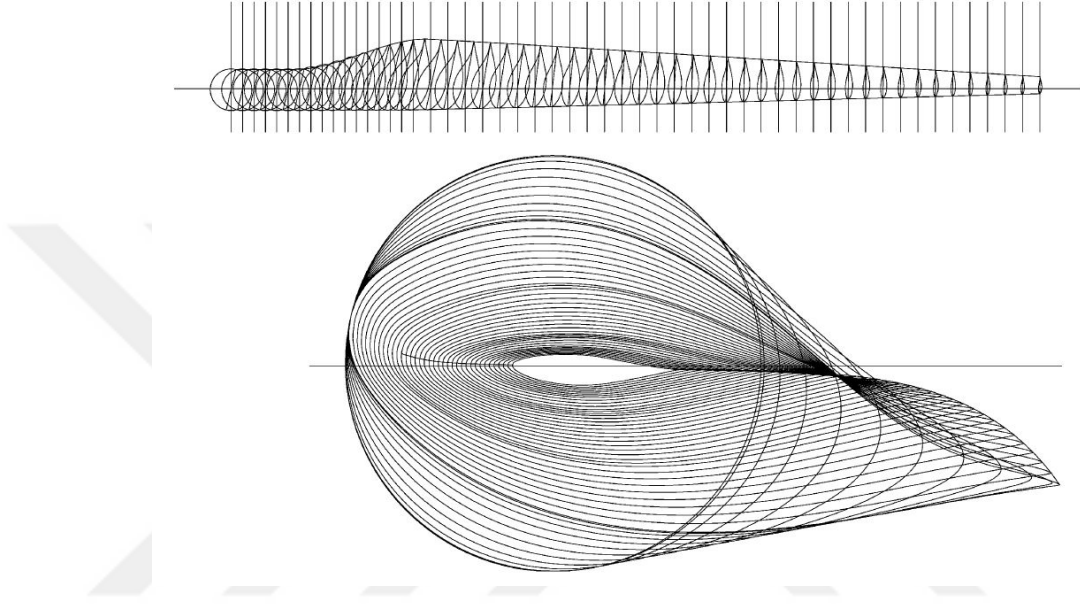
Rüzgâr enerjisi; doğal, yenilenebilir, temiz ve sonsuz bir güç olup kaynağı güneşdir. Güneşin dünyaya gönderdiği enerjinin % 1-2 gibi küçük bir miktarı rüzgâr enerjisine dönüşmektedir Güneşin, yer yüzeyini ve atmosferi homojen ısıtmamasının bir sonucu olarak ortaya çıkan sıcaklık ve basınç farkından dolayı hava akımı oluşur. Bu hava kütlelerinin yer değiştirmelerine rüzgâr adı verilmektedir.

Diğer bir ifadeyle rüzgâr; birbirine komşu bulunan iki basınç bölgesi arasındaki basınç farklarından dolayı meydana gelen ve yüksek basınç merkezinden alçak basınç merkezine doğru hareket eden hava akımıdır.

Rüzgârlar yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına akarken; dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesi, yüzey sürtünmeleri, yerel ısı yayılımı, rüzgâr önündeki farklı atmosferik olaylar ve arazinin topografik yapısı gibi nedenlerden dolayı şekillenir [2].

Rüzgârın özellikleri, yerel coğrafi farklılıklar ve yeryüzünün homojen olmayan ısınmasına bağlı olarak, zamansal ve yöresel değişiklik gösterir. Rüzgâr hız ve yön olmak üzere iki parametre ile ifade edilir. Rüzgâr hızı yükseklikle artar ve teorik gücü de hızının küpü ile orantılı olarak değişir [2].

Kong ve arkadaşları [3] günümüzdeki tasarım yaklaşımıyla optimum düzeyde kanat tasarımını sonlu elemanlar yöntemiyle belirlemişlerdir. Kanat tasarımlarında 23,3 m uzunluğunda bir kanat tercih etmişlerdir. Maksimum kanat genişliği olarak 2,1 m, döndürme açısı 12° olarak belirlenmiştir. Kong ve arkadaşları çalışmalarında NACA 63-218 profilini kullanmışlardır.



Şekil 2.1. NACA 63 ile modifiye edilen kanat konfigürasyonu [3]

Bu çalışmada yüzey kalınlığı, kanadın ana yapısal elemanının kalınlığı ve genişliği, inceliği, yeri ve uzunluğunun sonlu elemanlar yöntemiyle tasarımı ve incelenmesini içeren bir çalışma yapmışlardır Bu çalışmayı yaparken geçmişteki tasarımlar üzerinde iyileştirmeler yapmışlar ve sonlu elemanlar yöntemini temel almışlardır.

Bechly ve arkadaşları [4] çalışmalarında NACA 4412 profilini seçmişlerdir. Sonlu elemanlar metodu ile kanat kesitlerinin çalışmasını detaylı olarak ortaya koyuyor. Kanadın, panel kod tahminlerinin sonlu elemanlar metoduyla tespit edilmesini sağlamışlardır. Sonlu elemanlar yöntemiyle, statik burulma ve büküm deplasmanlarını karşılaştırarak, farklı titreşimlerdeki davranışı belirlemişlerdir.

Maalawi ve arkadaşları [5] çalışmalarında türbin kanatlarının analiz ve dizaynlarını otomatik olarak hesaplamak için bir program geliştirmiştir. Bu program FORTRAN 77 de yazılmış ve IBM-PII 1[^]3[^]3-MHZ bilgisayarda çalıştırılmıştır. Elde ettikleri verileri analiz edip hesaplamalarını da geliştirdikleri program vasıtasıyla yapmışlardır.

Jureczko ve arkadaşları [6] çalışmalarında rüzgâr türbini kanat tasarımı ve üretiminin tüm türbin üretiminin yaklaşık olarak % 15-20'sine denk geldiğini açıklamışlardır. Jureczko ve arkadaşlarına göre bir türbin dizayn ederken amaç, spesifik atmosferik koşullarda en yüksek verimi elde etmektir. Bu açıdan bakıldığında, verim kanadın yapısına göre değişmektedir. Verimin artırılmasında veya değiştirilmesinde kanat tasarımı çok önemli bir rol oynar.

Song ve arkadaşları [7] çalışmalarında Maalawi ve arkadaşlarından farklı olarak örnek 20 KW'lık yatay eksenli bir rüzgâr türbini ele almışlardır. MATLAB programı yardımıyla kanadın aerodinamik tasarım optimizasyonunu yapmışlardır. Bu optimizasyonu yaparken tasarım proseslerinden Wilson metodunu uygulamışlardır. Kompozit malzemedен imal edilmiş bir kanadın dinamik performans analizleri SolidWorks ve Ansys kullanılarak yapılmıştır. Dinamik analizler sonlu elemanlar metodu kullanılarak uygulanmıştır. Song ve arkadaşları başarılı bir şekilde 20 KW'lık kompozit bir türbinin kanat tasarımını yapmışlardır.

Karabağ [8] çalışmasında kanatların tasarımlarının aerodinamik teorilere dayanılarak gerçekleştirildiğini ve uçak kanatlarının tasarımında da aynı durumun geçerli olduğunu söylemiştir. Rüzgâr türbini kanadının kök kısmından uç kısmına gidildikçe kesitte değişim olduğunu, kanat boyuna ve yüzey genişliğine ve kalınlık dağılımı gibi daha birçok tasarım parametresine göre değişimin kaçınılmaz olduğunu çalışmasında belirtmiştir. Ayrıca dairesel kesitten, büyük damlacık kesitine ve daha sonra da ince damlacık kesitine doğru bir değişimin söz konusu olduğunu belirtmiştir.

Bununla birlikte, Vardar ve arkadaşları [9] çalışmalarında rüzgâr türbin kanadının aerodinamik yapısının öneminin, rüzgârın barındırdığı kinetik enerjinin maksimum % 59'unun yararlı enerjiye dönüştürülebilir olmasıyla kaynaklandığını söylemişlerdir. Üzerinde yoğun olarak teorik çalışmalar yapılan 5 farklı kanat profili ve şimdiye kadar üzerinde rüzgâr türbin kanadı olarak çalışılmamış bir kanat profili ele alınarak toplam 6 tip kanat profili üzerinde çalışmışlardır.

Vardar ve arkadaşları [9], rüzgâr türbin kanadının aerodinamik yapısı incelenirken kanat tipinin, kanat açılarının ve kanat konumunun en az rüzgârda bile dönme sağlayabilecek özelliklerde olması ve yörenin rüzgâr potansiyeli ile uyum sağlaması gerektiğini göz önünde bulundurmanın önemi hakkında çalışma yapmışlardır.

Avcı ve arkadaşları [10] çalışmalarında SolidWorks kullanarak damla yapısı NACA 4415 için kanat tasarımı yapmışlardır. Daha sonra bu kanat tasarımının akış analizi için meteoroloji verilerinden tarihte Çeşmede meydana gelen en yüksek rüzgâr hızı araştırmışlardır. Bu rüzgâr hızı kullanılarak kanat yapısında meydana gelen hız, basınç ve kuvvet bulmuşlardır. Ansys çalışma alanı kullanarak elde ettikleri maksimum basınç değerleri için hem kompozit malzeme hem de alüminyum alaşım için kanat yapısında meydana gelen gerilme ve toplam deformasyon miktarlarını bulmuşlardır. Malzeme özelliklerinin kanat yapısı için ne kadar önemli olduğunu göstermişlerdir.

Tosun ve arkadaşları [11] çalışmalarında çeşitli kanat profillerinin aerodinamik özelliklerini sayısal olarak Fluent analiz programı ile belirlemişlerdir. Bir alanda ölçtükleri 10 m yükseklikteki ortalama hız değeri için burulma açılarını kanat elemanı momentum teorisi uygulayarak hesaplamışlardır. Yeni kanat tasarımının 10 m yükseklikte 6.85 m/s rüzgâr hızı ve 25 °C çevre sıcaklığı tasarım koşullarında en yüksek güç katsayısını vermesi nedeniyle yeni kanat tasarımının daha verimli olduğunu gözlemlemişlerdir. Yeni kanat tasarımının kullanılmakta olan diğer tasarıma göre 5,8 m/s rüzgâr hızından sonraki değerlerde daha yüksek güç değerlerine ulaştığını gözlemlemişlerdir.

Önder ve arkadaşları [12] çalışmalarında Fluent yerine Microsoft Visual C#. NET 2,0 tabanlı bir program kullanmışlardır. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri için istenilen koşullara bağlı olarak kanat tasarımı yapabilecek bir bilgisayar programı geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla, yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin aerodinamiği ile ilgili teorik yaklaşımları ve kanat elemanı momentum teorisine göre kanat tasarımını sistematik olarak incelenmişlerdir.

Bütün bu çalışmalara paralel olarak, Schubel ve arkadaşları [13] çalışmalarında bir modern türbin kanadı için aerodinamik prensipleri detaylı şekilde açıklamışlardır. Rüzgâr türbininin kanadına etki eden yüklerin araştırmasını yapmışlar ve aerodinamiğini açıklamışlardır.

Uysal ve arkadaşları [14] ise çalışmalarında kanat dizaynında, öncelikle yapılması gerekenin uç hız oranı seçimi olduğunu belirtmişlerdir. Bu değerin, şebeke bağlantılı üç kanatlı rüzgâr türbinleri için 7 aralık olarak alındığını belirtmişler ve 6-8 değerleri arasında seçilmesini önermektedirler. Ayrıca profil kiriş hattı ile kanat dönme düzlemi arasındaki açı olan bağlama açısının ve profil boyuna bağlı olarak profil alt ve üst kalınlıklarının hesaplanması gerektiğini belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra rüzgâr türbinlerinde rüzgâr enerjisinin absorbe edilmesini sağlayan eleman olan kanatların profili ve kanat profilini etkileyen parametrelerin bilinmesinin, maksimum enerjinin elde edilmesi açısından çok önemli olduğunu dile getirmişlerdir.

Yapmış olduğumuz literatür araştırmaları göstermektedir ki çok çeşitli kanat tasarımları yapılmış ve analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ise, NACA 4415 profil kesitinde tasarlanmış yatay eksenli bir rüzgâr türbininin kanat tasarımı ve analizi yapılması amaçlanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada 22,5 m uzunluğunda NACA 4415 profilinden yapılan bir kanadın tasarımı ve analizi yapıldı. NACA 4415 profilinin koordinatları SolidWorks ortamında oluşturularak tasarımı yapıldı. Burada NACA 4415 profilinin seçilmesindeki amaç, günümüzde bu konuda yapılan çalışmalarda yaygın olarak kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

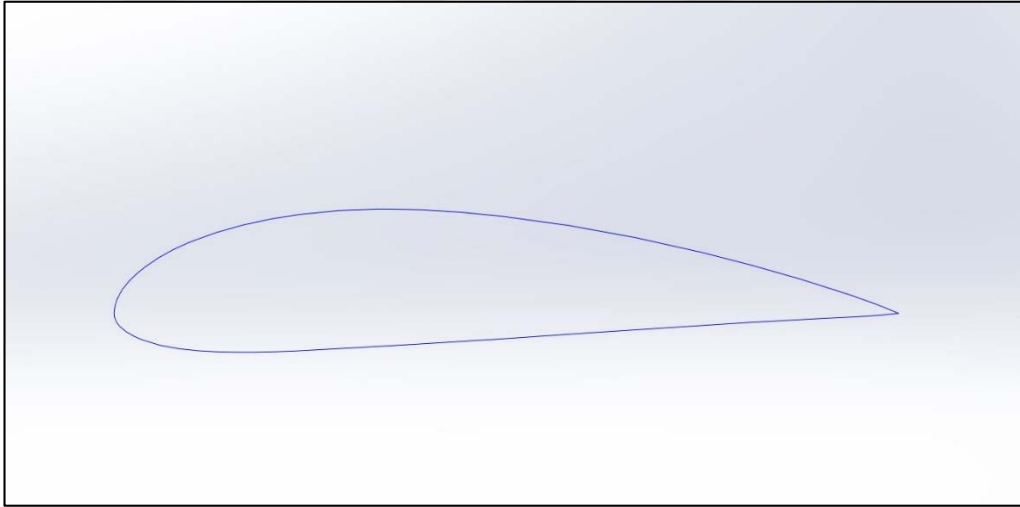
Literatürde çalışılan kanatların önemli ölçüde NACA 4415 profilinden yapılmış olduğu gözlemlenmiştir. Tasarlanan bu profiller SolidWorks ortamında katı modele dönüştürülmüştür.

Katı modele dönüştürülen kanat'a, döndürme açısı olarak 23° verilmiştir. Uygun görülen 23° yapmış olduğumuz literatür çalışmaları sonrasında oranlama yapılarak belirlenmiştir.

3.1. NACA 4415 PROFİLİ

ABD’de NACA olarak anılan ve Türkçe karşılığı milli havacılık danışma heyeti olarak çevrilebilecek matematiksel olarak tanımlanmış bazı kanat kesiti tiplerini temsil eder. 4, 5, 6, 7, 8 serili tipleri mevcuttur. Her bir seri tipinin birbirlerine karşı avantaj ve dezavantajları vardır. 4 haneli serilerin avantajları iyi tutunma davranışı, basınç merkezinin büyük bir sürat aralığı içinde çok az yer değiştirmesi, yüzey pürüzlülüğüne karşı hassas olmama, dezavantajları ise, düşük azami kaldırma katsayısı, göreceli yüksek direnç katsayısı ve yüksek trim momenti olarak sayılabilir [15].

Bu çalışmada 22,5 m uzunluğunda tasarımı yapılan ve damla yapısının koordinatları NACA 4415 profilinden yapılan bir kanat tasarımı yapılmıştır. NACA 4415 damla yapısının koordinatlarından SolidWorks ortamında çizilen yapı, Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. NACA 4415 damla yapısı

Çizilen bu şeklin koordinat dosyasından bir kısmı aşağıda Çizelge 3.1’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.1. NACA 4415 koordinatları

	X	Y	Z
1	1	0	0
2	0.99893	0.00039	0
3	0.99572	0.00156	0
4	0.99039	0.00349	0
5	0.98296	0.0061	0
6	0.97347	0.00932	0
7	0.96194	0.01303	0
8	0.94844	0.01716	0
9	0.93301	0.02166	0
10	0.91573	0.02652	0
11	0.89668	0.03171	0
12	0.87592	0.03717	0
13	0.85355	0.04283	0
14	0.82967	0.04863	0
15	0.80438	0.05453	0
16	0.77779	0.06048	0
17	0.75	0.06642	0
18	0.72114	0.07227	0
19	0.69134	0.07795	0
20	0.66072	0.08341	0
21	0.62941	0.08858	0
22	0.59755	0.09341	0
23	0.56526	0.09785	0
24	0.5327	0.10185	0
25	0.5	0.10538	0
26	0.4673	0.10837	0
27	0.43474	0.11076	0
28	0.40245	0.11248	0
29	0.37059	0.11345	0
30	0.33928	0.11361	0
31	0.30866	0.11294	0
32	0.27886	0.11141	0
33	0.25	0.10903	0
34	0.22221	0.10584	0
35	0.19562	0.1019	0

	X	Y	Z
50	0.00107	-0.00566	0
51	0.00428	-0.01102	0
52	0.00961	-0.0159	0
53	0.01704	-0.02061	0
54	0.02653	-0.02502	0
55	0.03806	-0.02915	0
56	0.05156	-0.03281	0
57	0.06699	-0.03582	0
58	0.08427	-0.03817	0
59	0.10332	-0.03991	0
60	0.12408	-0.04106	0
61	0.14645	-0.04166	0
62	0.17033	-0.04177	0
63	0.19562	-0.04147	0
64	0.22221	-0.04078	0
65	0.25	-0.03974	0
66	0.27886	-0.03845	0
67	0.30866	-0.037	0
68	0.33928	-0.03547	0
69	0.37059	-0.0339	0
70	0.40245	-0.03229	0
71	0.43474	-0.03063	0
72	0.4673	-0.02891	0
73	0.5	-0.02713	0
74	0.5327	-0.02529	0
75	0.56526	-0.0234	0
76	0.59755	-0.02149	0
77	0.62941	-0.01958	0
78	0.66072	-0.01772	0
79	0.69134	-0.01596	0
80	0.72114	-0.0143	0
81	0.75	-0.01277	0
82	0.77779	-0.01136	0
83	0.80438	-0.01006	0
84	0.82967	-0.00886	0

Çizelge 3.1. (devamı)

	X	Y	Z
36	0.17033	0.09726	0
37	0.14645	0.09195	0
38	0.12408	0.08607	0
39	0.10332	0.0797	0
40	0.08427	0.07283	0
41	0.06699	0.06541	0
42	0.05156	0.05753	0
43	0.03806	0.04937	0
44	0.02653	0.04118	0
45	0.01704	0.03303	0
46	0.00961	0.02489	0
47	0.00428	0.01654	0
48	0.00107	0.00825	0
49	0	0.00075	0

	X	Y	Z
85	0.85355	-0.00775	0
86	0.87592	-0.00674	0
87	0.89668	-0.00583	0
88	0.91573	-0.00502	0
89	0.93301	-0.00431	0
90	0.94844	-0.00364	0
91	0.96194	-0.00297	0
92	0.97347	-0.00227	0
93	0.98296	-0.00156	0
94	0.99039	-0.00092	0
95	0.99572	-0.00042	0
96	0.99893	-0.00011	0
97	1	0	0

3.2. TÜRBİN KANADI PROFİL OLUŞTURMA

Oluşturulan koordinatlar, SolidWorks'te eğri oluşturmak için kullanılır. Oluşan eğri Şekil 3.1 'de olduğu gibidir. Oluşturulan bu damla yapısı birim boyuttadır ve bu birim damla yapısının hesaplama değerleri Çizelge 3.2 'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Birim damla yapısına göre boyutlar

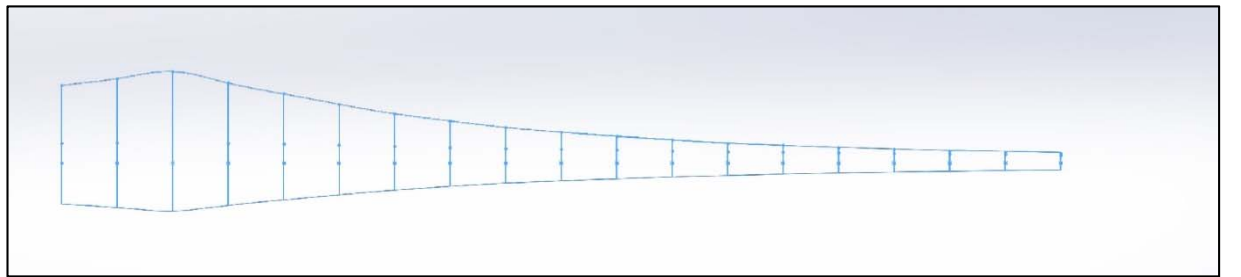
	Açı	X (mm)	Merkez nokta (mm)	D (mm)
1	33,9	16,95	5,668896321	11,33779264
2	35,465	17,7325	5,930602007	11,86120401
3	37,03	18,515	6,192307692	12,38461538
4	34,465	17,2325	5,763377926	11,52675585
5	31,9	15,95	5,334448161	10,66889632
6	29,32	14,66	4,903010033	9,806020067
7	26,74	13,37	4,471571906	8,943143813
8	24,67	12,335	4,12541806	8,25083612
9	22,6	11,3	3,779264214	7,558528428
10	21,055	10,5275	3,52090301	7,04180602
11	19,51	9,755	3,262541806	6,525083612
12	18,155	9,0775	3,035953177	6,071906355
13	16,8	8,4	2,809364548	5,618729097
14	15,8	7,9	2,642140468	5,284280936
15	14,8	7,4	2,474916388	4,949832776
16	13,98	6,99	2,337792642	4,675585284
17	13,16	6,58	2,200668896	4,401337793
18	12,48	6,24	2,086956522	4,173913043
19	11,8	5,9	1,973244147	3,946488294

Şekil 3.1'de ki eğri oluşturulduktan sonra, oluşturacağımız kanat profili uzunluğuna göre belirli aralıklarla yüzeyler oluşturulur. Biz 22,5 m uzunluğundaki kanat için 19 adet yüzey oluşturduk. Oluşturulan yüzeylerin kesit alanları rüzgâr tünelinin boyutu kadardır. Yüzey sayısı ne kadar artarsa tasarımın düzgünlüğü o derecede artacaktır. Oluşturulan yüzeylerin 22,5 m uzunluğundaki kanat için hesaplamaları ve döndürme açısı hesaplamaları Çizelge 3.3 'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. 22,5 metrelik kanada göre damla boyutları

	Açı	X (mm)	centerpoint (mm)	D (mm)
1	33,9	4708,33333	1574,693423	3149,386845
2	35,465	4925,69444	1647,389446	3294,778893
3	37,03	5143,05556	1720,08547	3440,17094
4	34,465	4786,80556	1600,938313	3201,876626
5	31,9	4430,55556	1481,791156	2963,582311
6	29,32	4072,22222	1361,947232	2723,894463
7	26,74	3713,88889	1242,103307	2484,206615
8	24,67	3426,38889	1145,949461	2291,898922
9	22,6	3138,88889	1049,795615	2099,59123
10	21,055	2924,30556	978,0286139	1956,057228
11	19,51	2709,72222	906,2616128	1812,523226
12	18,155	2521,52778	843,320327	1686,640654
13	16,8	2333,33333	780,3790412	1560,758082
14	15,8	2194,44444	733,9279078	1467,855816
15	14,8	2055,55556	687,4767744	1374,953549
16	13,98	1941,66667	649,386845	1298,77369
17	13,16	1827,77778	611,2969156	1222,593831
18	12,48	1733,33333	579,7101449	1159,42029
19	11,8	1638,88889	548,1233742	1096,246748

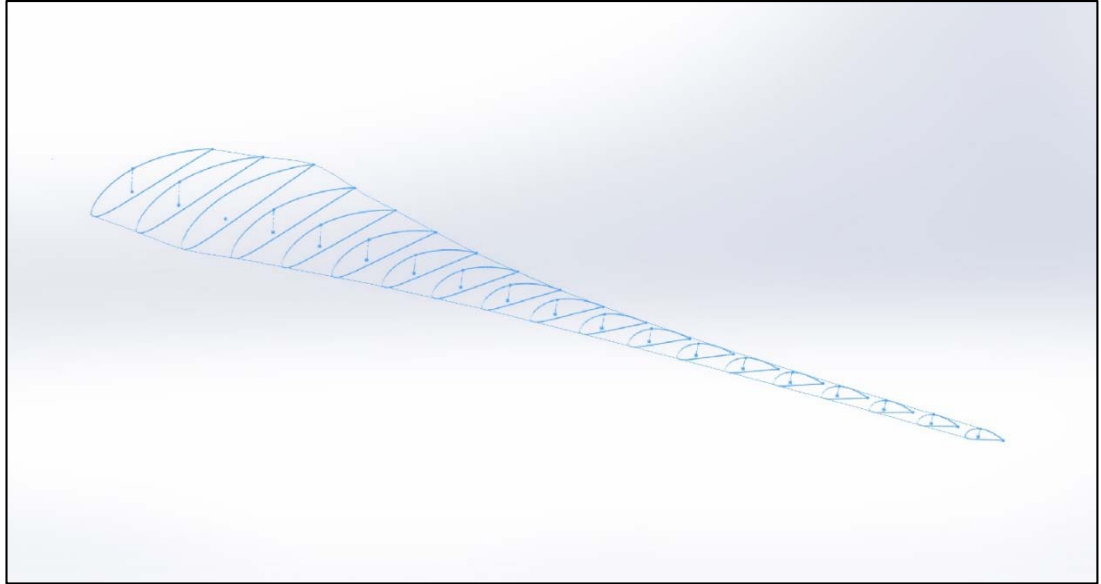
Yukarıdaki Çizelge 3.3'teki veriler kullanılarak SolidWorks ortamında çizilen kanat profilinin 19 yüzey ile bölünmüş hali Şekil 3.2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.2. 19 yüzeyden oluşan kanat profili

19 yüzeyle oluşturulan bu profil 23° açıyla döndürme yapılmıştır. Bu döndürmenin yapılmasının sebebi, kanada gelen rüzgârın, kanat profilini döndürmeye zorlaması için yapılmıştır. Kanat profiline dik gelen rüzgâr bu eğimli yüzeye çarparak, yatay yönde eğmeye zorlar ve böylece kanat profili hareket etmeye başlar. Bu yüzden döndürme açısının optimum düzeyde seçilmesi gereklidir.

Çalışmamızda seçtiğimiz döndürme açısı Kong ve arkadaşlarının çalışmalarındaki tasarlanan kanattan oranlama yapılarak seçilmiştir. 23° döndürme açısı verdiğimiz ve 19 adet yüzeyle oluşturulan kanat profilinin diametrik görünüşü Şekil 3.3'te gösterildiği gibidir [3].

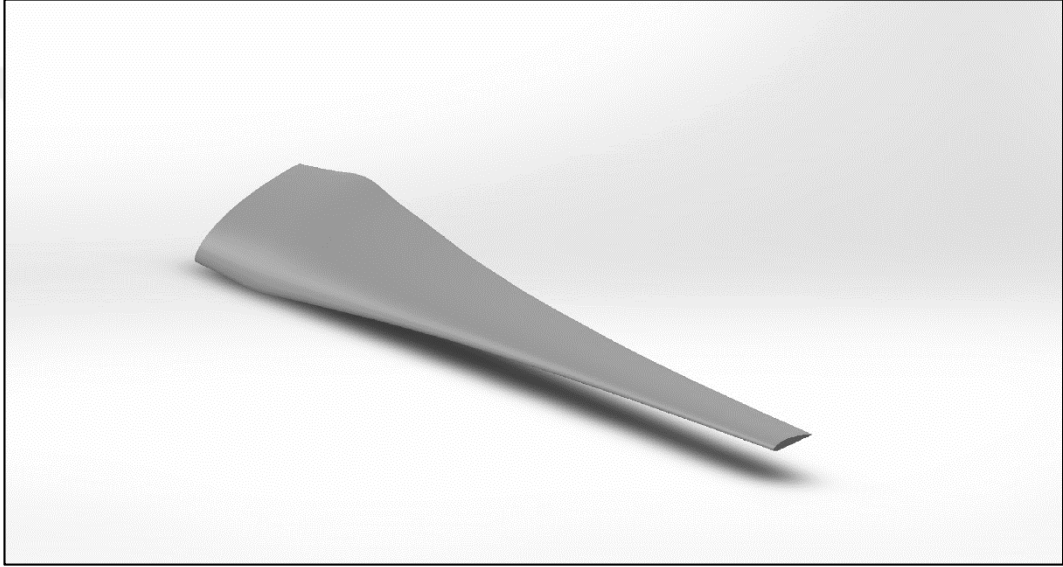


Şekil 3.3. 23° döndürme açısı verilmiş kanat profilinin diametrik görünümü.

3.3. TÜRBİN KANADI OLUŞTURMA

Oluşturulan profil SolidWorks ortamında katı model haline dönüştürülmüştür. 19 adet yüzeyden oluşan kanat profili Loft komutu ile katı model haline getirilmiştir.

Oluşan katı modelin üç boyutlu görüntüsü Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Böylelikle kanat profilimizin tasarımı tamamlanmış olup, analiz çalışmalarına hazır hale getirilmiştir.

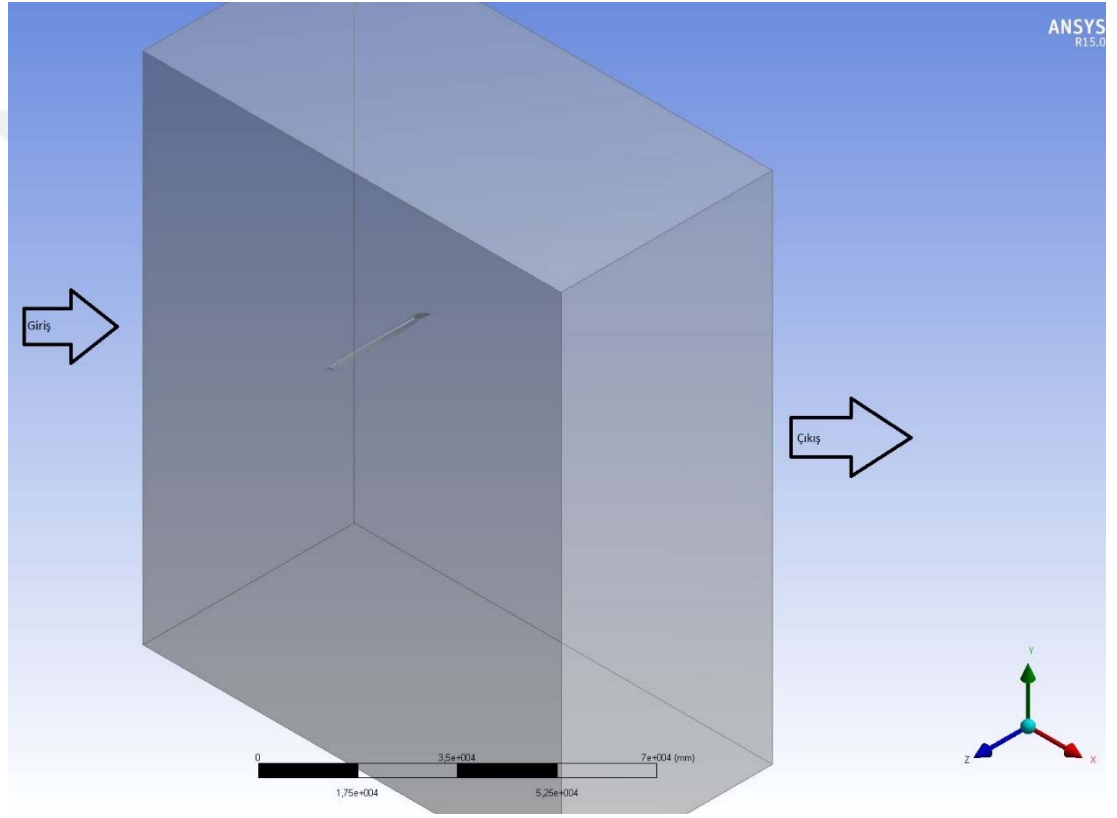


Şekil 3.4. Kanat profilinin katı modelinin 3 boyutlu görünümü

Kanat üzerindeki döndürme açısı 23° olarak belirlenmiştir. Uzunluğu 22,5 m olan kanadın analiz çalışması için, SolidWorks ortamında bazı ek tasarımlar yapılması gerekmektedir. Yapılması gereken ek tasarım, türbin kanadını tamamen kapsayacak şekilde bir hava tüneli gibi düşünülebilir.

3.4. ANALİZ İÇİN ÖN HAZIRLIK

Y eksenini uzunluğu 100 m, Z eksenini uzunluğu 52.5 m ve X eksenini uzunluğu 120 m olan dikdörtgen bir tüneli içerisine türbin kanadı yerleştirilir ve rüzgârın hangi noktadan kanada gireceği ve hangi noktadan çıkacağı “named selection” kısmında isimlendirilir. Türbin kanadının dikdörtgen kutu olarak düşünebileceğimiz hava tünelinin yapılmış hali Şekil 3.5’te gösterildiği gibidir.

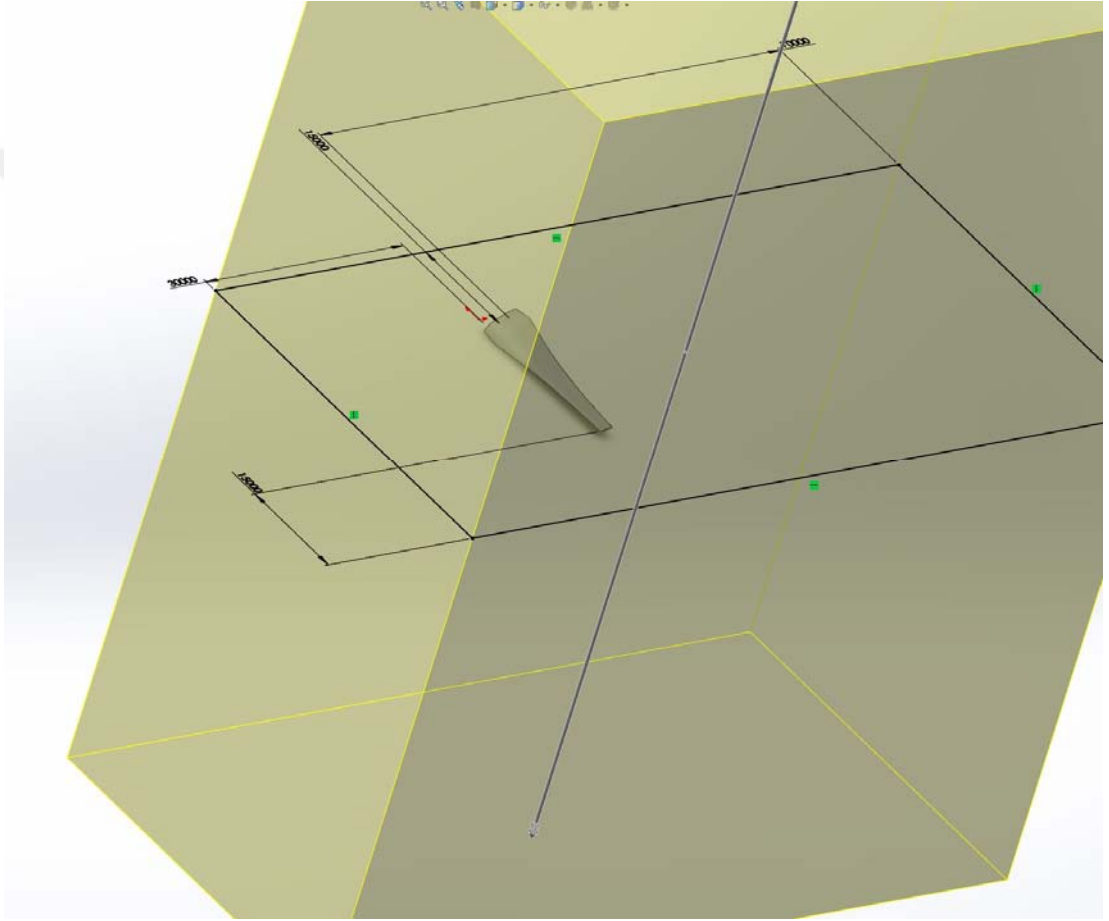


Şekil 3.5. Hava tüneli içine alınmış kanat

Rüzgâr türbini kanadı bu kutunun içinde sol yandan rüzgâr gelecek şekilde tasarlanmıştır. Sol yandan gelen rüzgâr sağ yandan çıkacaktır. Bahsetmiş olduğumuz sağ yan ve sol yan tabirleri Ansys çözüm ağı kısmında hava giriş (inlet) ve hava çıkış (outlet) olarak tanımlanmıştır.

Y eksenini uzunluğu 100 m, Z eksenini uzunluğu 52.5 m ve X eksenini uzunluğu 120 m olan dikdörtgen bir rüzgâr tüneli tasarlanmıştır.

Rüzgârın girişi yani inlet kısmında bırakılan mesafe, rüzgârın çıkış noktası olan outlet kısmındaki mesafeden daha azdır. Burada mesafeden kasıt, türbin kanadı ile çizilen duvar arasındaki kısımdır. Çıkış noktasında bırakılan mesafenin daha fazla olmasının nedeni, analizi yaptıktan sonra, türbin kanadının arkasında oluşan girdapları daha kolay görebilmek ve rüzgârın davranışını daha iyi tayin edebilmek içindir. Bu hava tünelinin 3 boyutlu görünümü ise Şekil 3.6’da sunulmuştur.



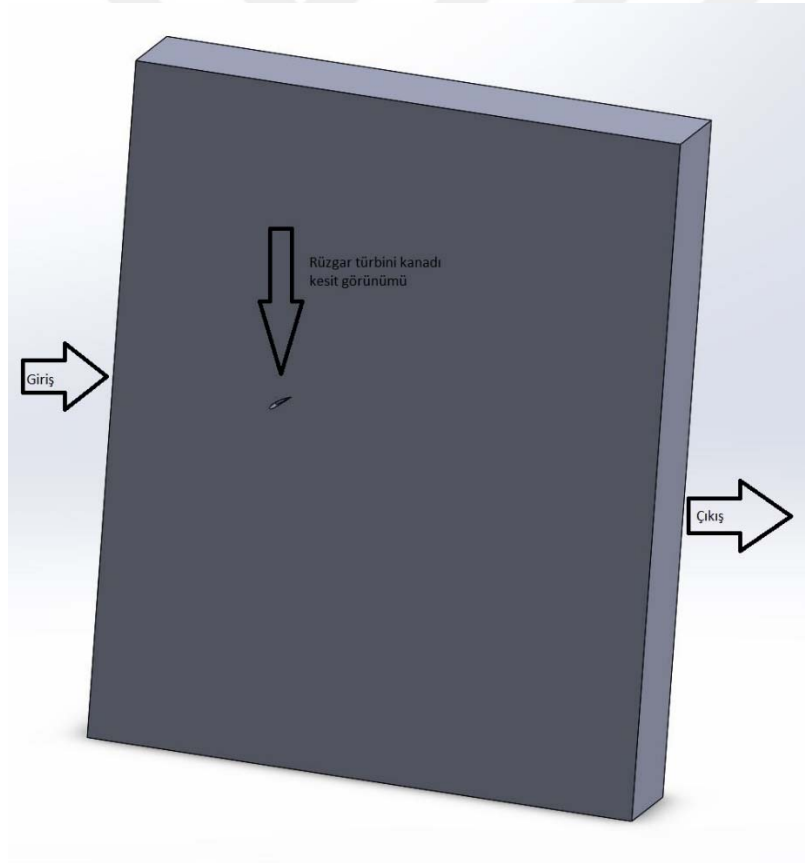
Şekil 3.6. Rüzgâr tüneli içerisine alınmış türbini kanadı

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü üzere, ön tarafta bırakılan mesafe daha kısadır. Çünkü rüzgâr kanada etki ederken ön tarafta çok fazla değişimler gözlenmez. Rüzgârın davranışı kanada çarptıktan sonra şekilleneceğinden arka tarafı uzun bırakılmıştır. Rüzgârın çıkış noktasından itibaren oluşacak tüm olaylar açıkça görülecektir.

3.5. ANSYS ÇALIŞMA ALANI ANALİZ HAZIRLIğI

Analiz çalışması için SolidWorks ortamında hazırlanan kanat ve çevresindeki rüzgâr tünelineki davranışları, Ansys çalışma alanı ortamında akış analizini inceleyebilmek için rüzgâr tüneli içerisindeki türbin kanadının katı modelden çıkarılması gerekmektedir. Mevcut haldeki tasarımda kanadın hemen üzerinde yine bir katı olan rüzgâr tüneli bulunmaktadır. Akış analizini yapabilmek için rüzgâr tüneli içindeki türbin kanadı bulunduğu yerden çıkarıldıktan sonra Ansys programında analizi yapılmıştır.

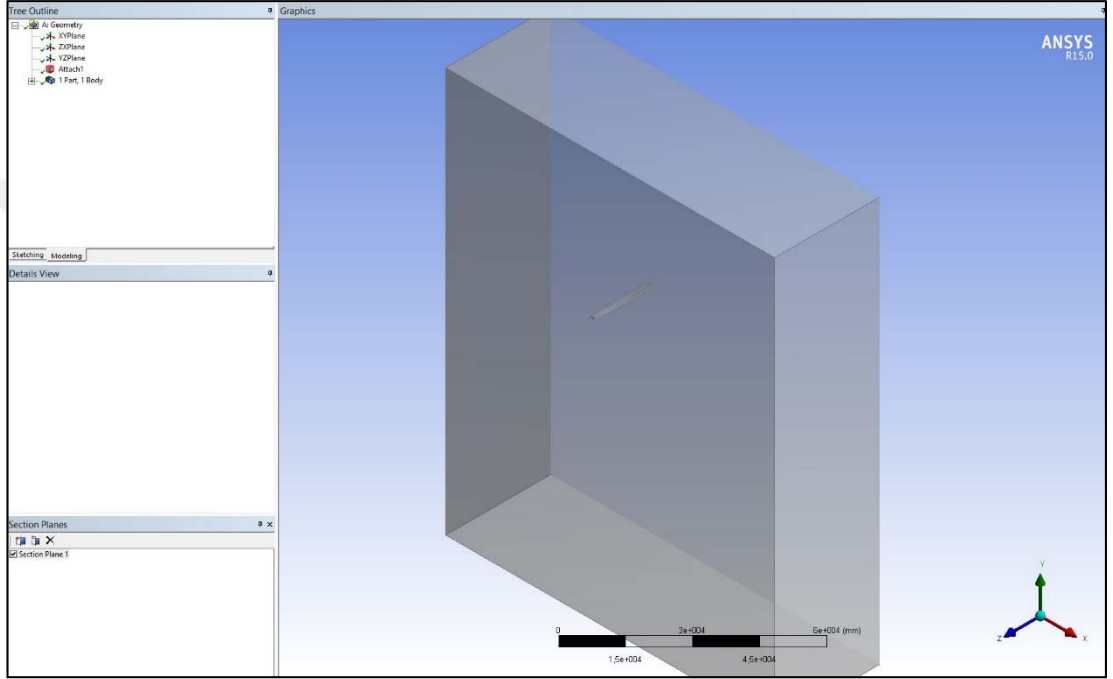
Türbin kanadının rüzgâr tüneline çıkarılmış hali Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Burada rüzgâr tüneli bir tür kalıp haline almış olur.



Şekil 3.7. Kanat’ın çıkarılmış halinin kesit görünümü

Geometri bu halini aldığı anda artık çalışma alanına aktarılmaya hazır hale gelir. SolidWorks ile Ansys uyumu için Ansys programını ilk başta yüklerken SolidWorks eklentisini de uygulamıştık.

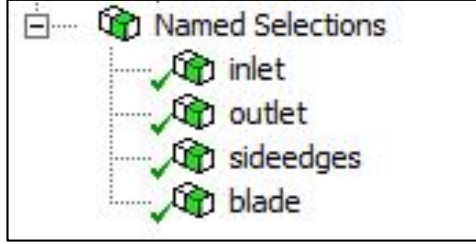
Oluşturulan dosyanın Ansys çalışma alanındaki görünümü Şekil 3.8’ de ki gibidir.



Şekil 3.8. Ansys çalışma alanına aktarılan dosya

Aktarılan dosya Ansys’in geometri bileşeninde sistemlerindeki açılmış halidir. Bu bileşende gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra çözüm ağı yapmak üzere çözüm ağı kısmına aktarılacaktır. Bu kısımda ileriki aşamalarda kolaylık olması açısından ve hangi parçaya nasıl müdahale edileceğini bilmemiz açısından parçanın belli kısımlarına isimlendirmeler yapmamız gerekmektedir. Bu isimlendirmeler giriş, çıkış ve parçanın tamamını kapsayan body kısımlarına yapılır.

Bu çalışmada, isimlendirme kısmından rüzgârın giriş kısmına “inlet”, çıkış kısmına “outlet”, üst, yan ve alt kısmına da “sideedges” adları verilmiştir. Kanadın kendisi de “blade” olarak isimlendirilmiştir. Verilen bu isimlendirmelerin geometri bileşeninde görünümü Şekil 3.9’da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.9. Unsur ağacında isimlendirme kısmının gösterimi

3.6. ÇÖZÜM AĞI OLUŞTURMA

3.6.1. Çözüm ağı

Ağ oluşturma, mühendislik simülasyonunun en kritik kısımlarından biridir. Fazla eleman sayısı uzun süreye yol açarken az eleman sayısı ise sağlıklı sonuçlar verir. Ansys çözüm ağı kullanıcının dengeyi bulmasını ve olabildiğince otomatik olarak simülasyon için en doğru ağı oluşturmasını sağlar [16].

Çözüm ağı yapılırken aşağıdaki ağ yapıları oluşturulur bunlar;

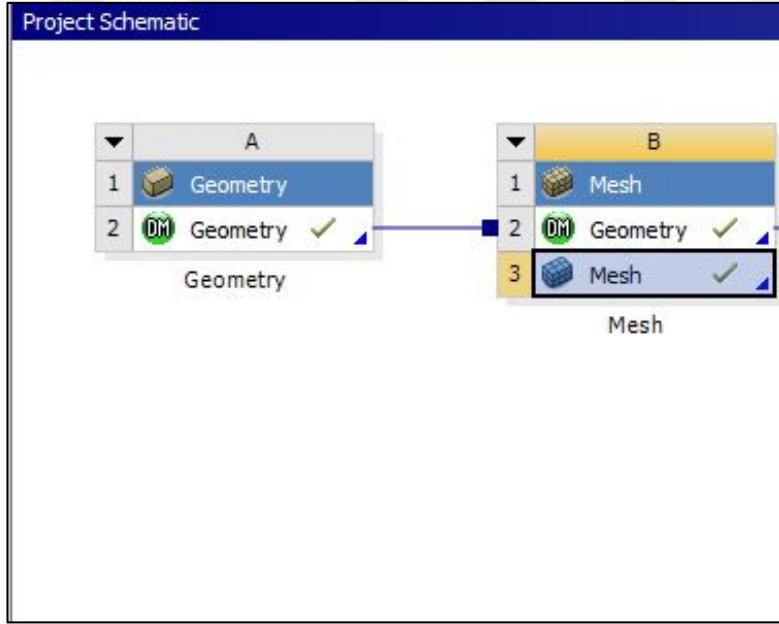
- Dörtüzlü
- Altyüzlü
- Prizmatik şişkin tabaka
- Dörtüzlü şişkin tabaka
- Altyüzlü çekirdek
- Kartezyen uyumlu katı

Aynı modelde birden fazla metot kullanılabilir. Ağ oluşumu bağlantıları otomatik olarak sağlanabilir [16].

3.6.2. Çözüm ağının uygulanması

Geometri kısmında oluşturulan ve düzenlenen elemanlar çözüm ağı oluşturulmak üzere çözüm ağı kısmına gönderilir. Bu kısımda kanadımızı hangi metoda göre çözüm ağı yapmak istiyorsak ona göre bu bileşende gerekli düzenlemeler ve ayarlamalar yapılır.

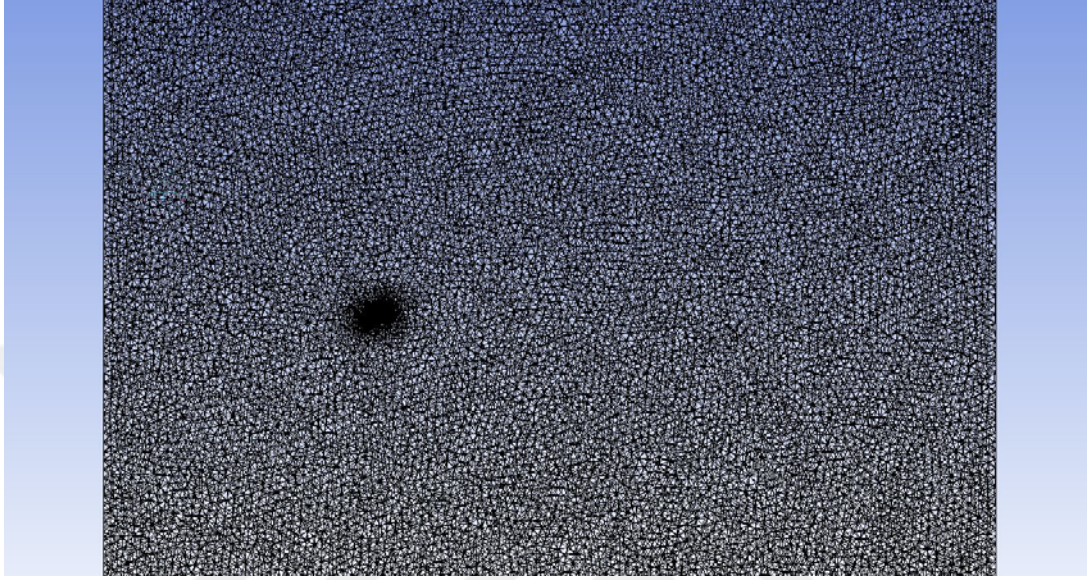
Ansys çalışma alanında geometri bileşeninde hazırlanan kanat, rüzgâr tüneli ve named selection' da yapılan bazı isimlendirmelerden sonra çözüm ağı komponenti açılarak geometri kısmındaki geometri çözüm ağı komponentine bağlanır. Bunun bağlanması Şekil 3.10'da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.10. Geometrinin çözüm ağına bağlanması.

Bu kısımda türbin kanadına ve rüzgâr tüneline ayrı ayrı çözüm ağı tanımlamaları yapılır. Yapılan tanımlamalar parçanın analizinin iyi yapılabilmesi açısından önem arz etmektedir.

Çözüm ağı kalitesi ne kadar iyi olursa parçanın analizi o kadar iyi sonuç verecektir. Burada çözüm ağı kalitesinden kasıt çözüm ağındaki element sayısının çokluğudur. Bu çalışmada yapılan çözüm ağı Şekil 3.11’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.11. Çözüm ağı yapılmış kanat ve rüzgâr tüneli

Şekilde de görüldüğü üzere türbin kanadında yapılan çözüm ağı, rüzgâr tünelineki yapılan çözüm ağından daha sıktır. Bunun sebebi bizim için önemli olan yerin türbin kanadı olmasıdır. İncelenecek kısım kanat olduğundan buradaki çözüm ağı kalitesini daha sıkı tutuldu.

Element sayısı mesh kalitesi hakkında fikir vermektedir. Bu çözüm ağı yapısında elde edilen element sayısı 18429601 adettir.

3.6.3. Çözüm Ağı Ayarları

Çözüm ağı ayarları, geometriden geometriye değişiklik ve çeşitlilik göstermektedir. Bu ayarları yaparken geometrinin türüne göre çeşitli ayarlamalar yapılır.

Geometri çözüm ağı kısmına ilk gönderildiğinde varsayılan ayarları kısmından hesaplamalı akışkanlar dinamiği seçilir. Burada hesaplamalı akışkanlar dinamiği seçilmesinin nedeni analizde akış incelenecek olmasıdır. Akış analizlerinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği seçilir. Eğer malzemenin mekanik özelliklerini incelemek isteseydik o zaman fiziksel tercihler kısmında hesaplamalı akışkanlar dinamiği yerine mekanik veya elektromekanik seçenekleri düşünülebilirdi.

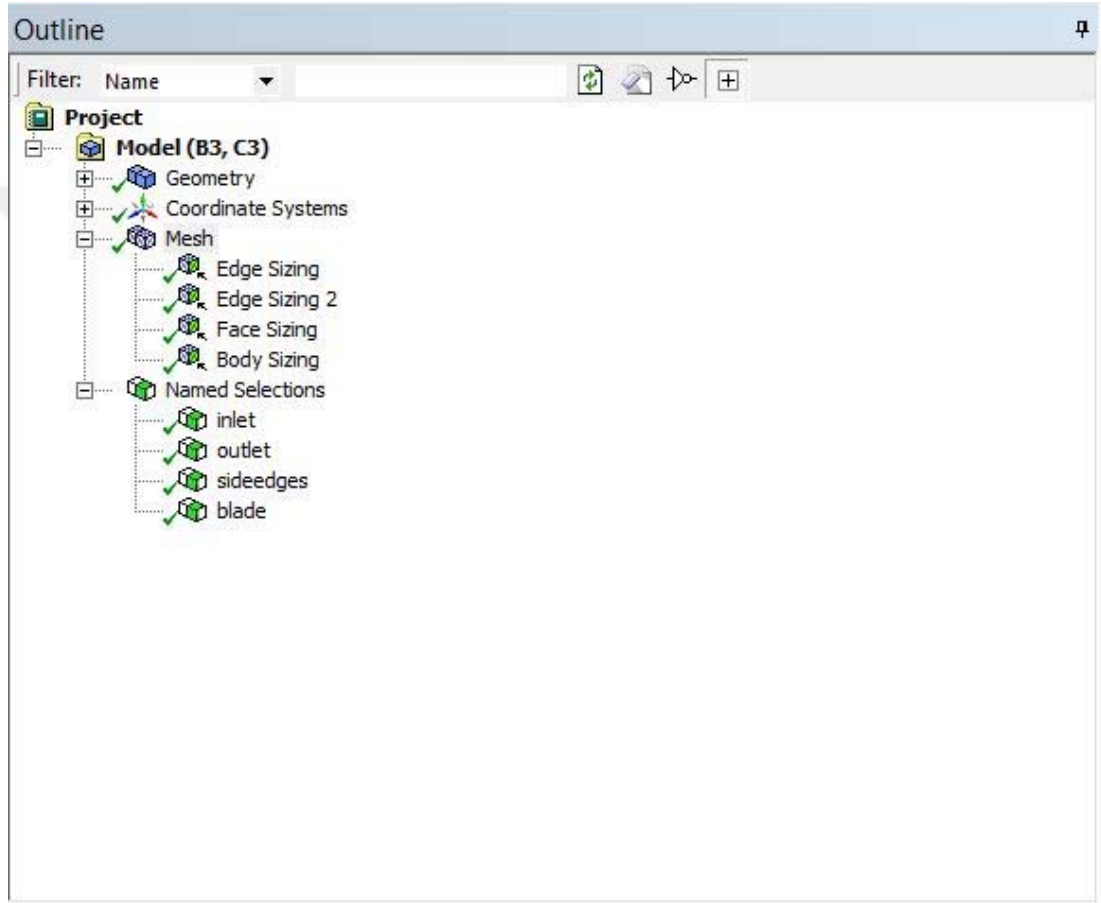
Fiziksel tercihler kısmında hesaplamalı akışkanlar dinamiğini seçtiğimizde, çözücü tercihleri kısmında otomatik olarak Fluent seçilir. Burada akış inceleyeceğimizden biz burada Fluent olarak seçtik. Ancak aynı işlemler çözücü tercihleri kısmında bulunan Fluent, CFX veya PolyFlow seçenekleri de seçilebilirdi.

Boyutlandırma kısmında geometrimize uygulanacak çözüm ağının hangi ayarlarda olması gerektiği bilgileri girilir. İleri boyutlandırma tercihleri kısmında Curvature on yapılarak seçilir. Anlamlılık merkezi kısmında hücre sıklığını artırmak için En ideal yöntem olan iyi (Fine) seçilir. Bu seçildiğinde element sayısı daha fazla bir çözüm ağı elde edilir.

Düzeltilme kısmında düşük, orta ve yüksek seçeneklerinden yüksek seçildi. Çözüm ağı çalışmalarında her bir yöntem ayrıca denendi. En iyi seçim yüksek olduğundan bu seçildi.

Transition kısmında geçişleri yavaş olarak tanımlandı. Geçişlerin yavaş olarak tanımlanması olası hataların önüne geçilmesine olanak verdi.

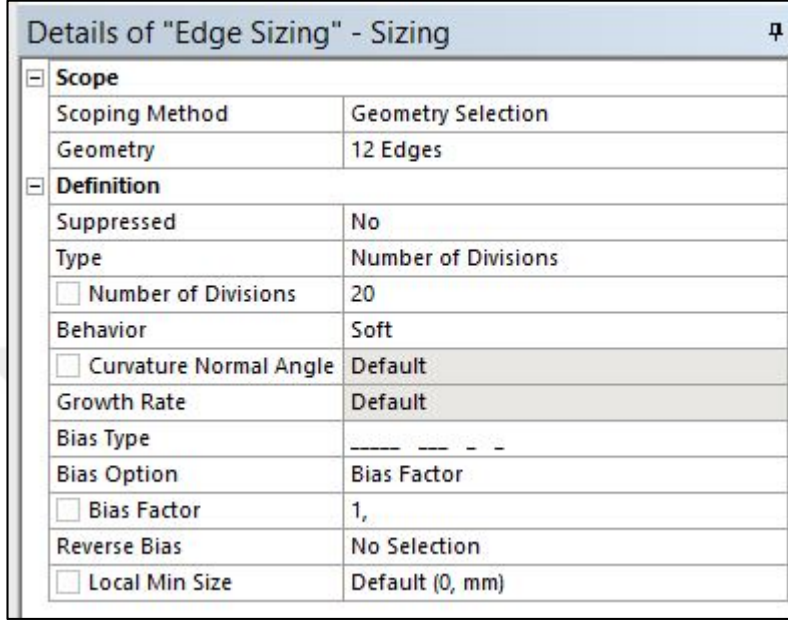
Bütün bu tanımlamaların yanı sıra çözüm ağı kontrolleri tanımlanmıştır. Buradaki amaç sistemin geometriye tanımladığı ayarlara ek olarak, bizim elle müdahale edebilmemizi sağlamaktır. Sistem zaten yukarıdaki tanımladığımız araçlarla belirli bir çözüm ağı ayarı yaptı. Kanat ve rüzgâr tüneline daha iyi bir çözüm ağı uygulayabilmek için elle birkaç tanımlama daha yapıldı. Bu tanımlamalar Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Elle eklenen çözüm ağı tanımlamaları

Elle eklenerek tanımlanan çözüm ağı ayarlarından birincisi metot eklemidir. Çözüm ağına bir otomatik metot eklenerek geometri olarak tüm sistem seçildi. İkinci olarak boyutlandırma eklendi. Eklenen boyutlandırma ile rüzgâr tünelinin kenarları seçilerek tip olarak bölme sayısı seçildi. Yani çözüm ağı yapma yöntemi olarak elementsel büyüklük metodu yerine bölme sayısı seçildi. Burada bölme sayısı seçmemizin nedeni istediğimiz gibi ayar yapma imkânı sağlamasından

kaynaklanmaktadır. Dış kenarlarda çok sık çözüm ağına ihtiyacımız olmadığından dolayı burada bölme sayısı 20 olarak belirlenmiştir. Bu seçim şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Kenar boyutlandırma gösterimi

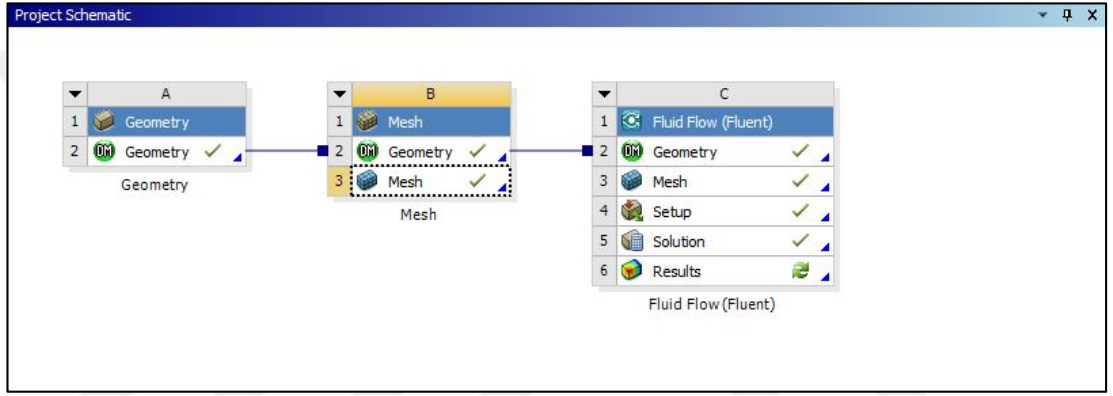
İkinci olarak kanat'ın kenarlarına boyutlandırma eklendi ve 100 adet bölme eklendi. Yine, kanat'a yüzey boyutlandırması eklendi ve 20 mm element boyutu eklendi. Son olarak tüm parça seçilerek element boyutu olarak 1000 mm eklendi. Böylece element sayısı yüksek bir çözüm ağı oluşturuldu. Çalışmamız için gerekli tüm ayarlamalar çözüm ağı kısmında sisteme tanımlanmıştır.

Tüm bu aşamalardan sonra analiz sistemlerinden akış analiz programı çalıştırıldı ve bir önceki aşamada hazırlanan çözüm ağına bağlandı.

3.7. AKIŞ ANALİZİ

3.7.1. Çözüm Ağının Fluent'e Aktarımı

Bölüm 3.6'da oluşturulan çözüm ağı yine Ansys programı bünyesinde olan ve birbiriyle koordineli çalışan bir program olan akış analizine bağlanır. Bu bağlanma akış analizi sisteminin çözüm ağının geometri kısmının üzerine bırakılarak yapılır. Ya da daha sonra birbirine bağlanabilir. Sistemlerin birbirine bağlanması Şekil 3.14'te gösterildiği gibidir.



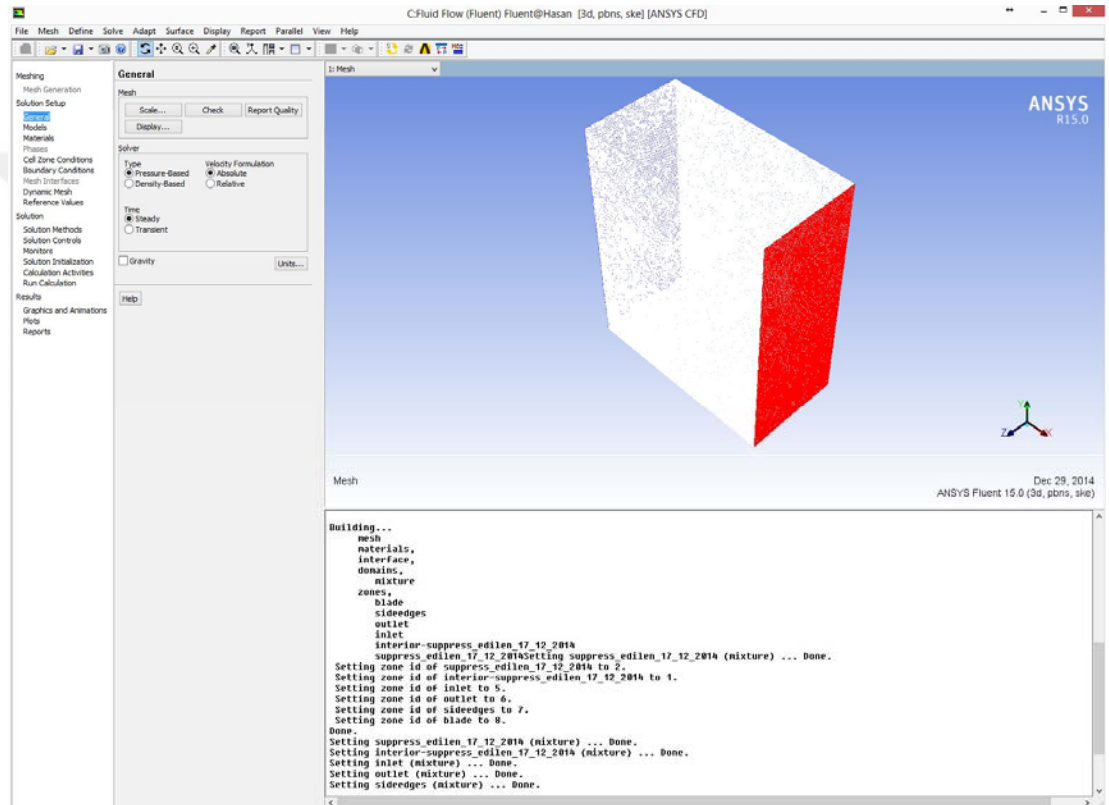
Şekil 3.14. Proje sistematığının gösterimi

Akış analizinde çözüm ağı kısmında yapılan geometri Fluent analiz programının geometrisine bağlandıktan sonra çözüm ağı ayarları da otomatik olarak geçecektir. Yalnız burada dikkat edilmesi gereken husus çözüm ağı ayarlarının Fluent analiz programına uygulanması için güncelleme yapmak gereklidir.

Geometri ve çözüm ağı kısımlarında yeşil tik işareti görüldükten sonra yüklemeler kısmında parçamız için yüklemeler yapmaya hazır hale gelinir.

3.7.2. Yüklemeler

Yüklemeler kısmında geometrimizin hangi şartlara maruz kalacağı, nasıl kuvvetler uygulanacağı, belirli şartlar altında gönderilen rüzgârın kanada yaptığı etkiyi incelemek için belirli değerler girilir. Aşağıda bu girdiler ne olduğu ve nasıl yapıldığından bahsedilecektir. Fluent analiz programının ve tasarımı yapılan geometrinin genel görünümü Şekil 3.15 te gösterildiği gibidir.



Şekil 3.15. Fluent analiz programı ve tasarımı yapılan geometri

3.7.3. Yükleme Ayarları

Genel ayarlar kısmında çözdürücü tipi olarak Basınç esaslı, zaman sabit olarak seçildi. Bu seçimler Fluent analiz programının yaptığımız ayarlara göre varsayılan seçimleri olduğundan buralarda herhangi bir değişiklik yapılmadı.

Modelleme kısmında Viskoz sekmesinde k-epsilon seçildi. Bunun seçilmesinin nedeni literatürdeki benzer çalışmalarda k-epsilon yönteminin seçilmiş olmasından kaynaklanmaktadır. Bu türbülans modelinde yapılan analizlerde daha doğru sonuçların ortaya çıktığı literatür çalışmalarında gözlenmiştir [17].

Materyal kısmında akışkan olarak hava seçilmiştir. Tünelden geçecek akışkan hava olduğundan dolayı hava seçilmiştir. Analizin türüne göre başka bir akışkan da seçilebilirdi.

Sınır koşulları kısmında sınır koşulları tanımlanmıştır. Bu koşullarda hava girişi olan inlet bölgesinde tip olarak velocity-inlet, tünelin iç kısmının tipi interior olarak tanımlanmıştır. Havanın hızı 20 m/s olarak belirlenmiştir. Havanın çıkış kısmı outlet sınır koşulu olarak pressure-outlet olarak tanımlanmıştır. Diğer kısımların tipi duvar olarak seçilmiştir.

Dinamik çözüm ağı kısmında herhangi bir uygulama yapılmamıştır. Gerekli uygulamalar Fluent programının kendi varsayılan ayarlarıdır.

Gösterimler kısmında yüzey sürtünme katsayılarının tanımlamaları yapılmıştır. Yüzey sürtünme katsayılarının tanımlamasında kanat seçilmiş, çizdir ve yaz sekmeleri aktif edilmiştir.

Hesaplama kısmında iterasyon sayısı tanımlamaları yapılmaktadır. Burada iterasyon sayısı ne kadar fazla olursa, analizin matematik tabanı o kadar güçlü olacaktır. Ancak belli bir aşamadan sonra sonuç değişmeyeceğinden ortalama bir değer seçilmesi uygun olacaktır.

Fuglsang ve arkadaşları [18] yaptıkları çalışmada 150 iterasyon yapmışlardır. Bu da bizim yaptığımız iterasyon sayısının yeterli miktarda olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada iterasyon sayısını 300 olarak seçtik. Bu iterasyon sayısı artırılabilir. Ancak iterasyon sayısının çok fazla artırılması işlemlerin daha uzun olması anlamına geldiğinden ortalama ve uygun bir değerde tutmak faydalı olacaktır.

Hesaplama kısmında gerekli iterasyon sayısı girildikten sonra hesaplama tuşuna basılıp hesaplamalara başlanır. İterasyon sayısının fazla olması işlem sürelerinde önemli ölçüde uzamaya sebebiyet vermektedir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. TÜRBİN KANADI ANALİZİNDE ELDE EDİLEN BULGULAR

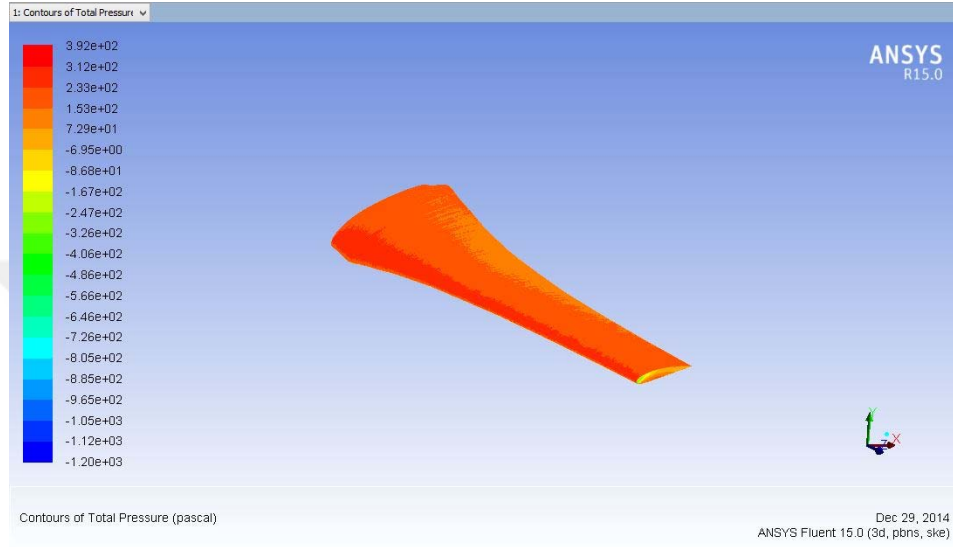
Türbin kanadına yapılan analiz neticesinde girilen parametreler doğrultusunda elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur. Bu sonuçlar yaptığımız özgün çalışmanın değerleridir.

Ansys Fluent komponentinde analizler bittikten sonra sonuçlar kısmında sonuçlar incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuçlar kısmında öncelikle kontur oluşturarak, elde edilen basınç ve hız dağılımları incelenmiştir.

4.1.1. Basınç Dağılımları

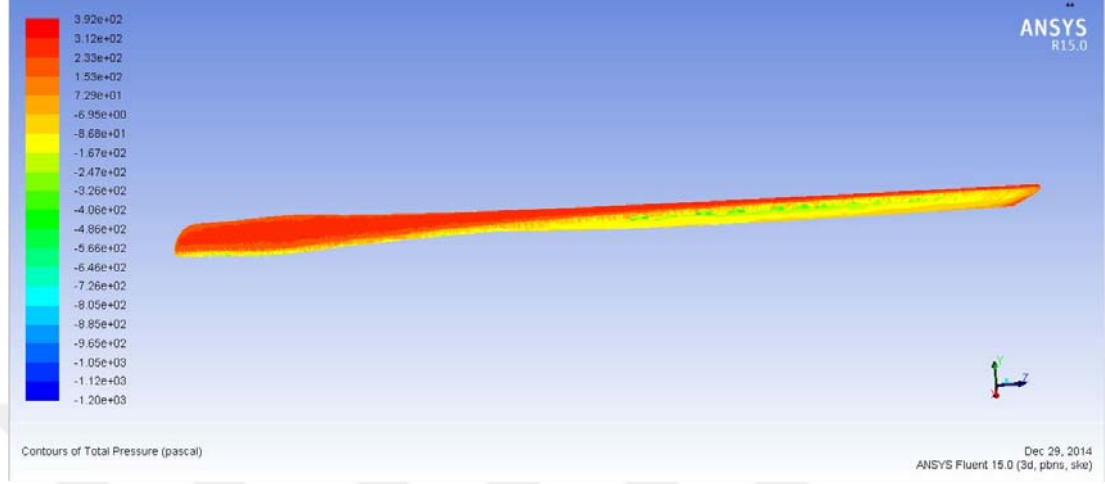
Türbin kanadının üzerinde oluşan toplam basınç dağılımları Şekil 4.1’de gösterildiği gibidir. Kanat üzerindeki basınç kök kısmında daha fazla, uç kısımlara doğru azalmaktadır.



Şekil 4.1. Kanat üzerindeki basınç dağılımları

Kanat üzerinde oluşan basınç kanadın kök kısmında oldukça artmaktadır. Bunun sebebi, kanat yüzeyinin kök kısmına doğru genişlemesi ve bu geniş kısma etki eden rüzgâr yoğunluğu daha fazladır.

Şekil 4.2’de rüzgârın kanada ilk değdiği bölgedeki basınç dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Kanat ön yüzündeki basınç dağılımları

Kanatın ön yüzünde basınç üst yüzeylere göre daha azdır. Long ve arkadaşları [19] çalışmalarında basınç değerlerini minimum noktada -800 Pa, maksimum 100 Pa olarak hesaplamışlardır. Long ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada kullanılan hız miktarı 15 m/s’dir.

Bu çalışmadaki kanat analizinde bu değerler minimum noktada -1204.7 Pa, maksimum noktada 392.3 Pa olarak belirlenmiştir. Yalnız burada önemli nokta Long ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada kullanılan hız miktarı 15 m/s’dir. Bu çalışmada kullandığımız hız miktarı 20 m/s’dir.

Arada oluşan basınç farkının en önemli sebebi, kanat tasarımlarındaki fark ve döndürme açısı farkından ileri gelmektedir. Diğer önemli bir sebep de hız farkından kaynaklanmaktadır. Bu durumda yapmış olduğumuz kanat tasarımı ve analizinde elde ettiğimiz basınç değerleri literatürdeki değerlerle yakınlık göstermektedir [19].

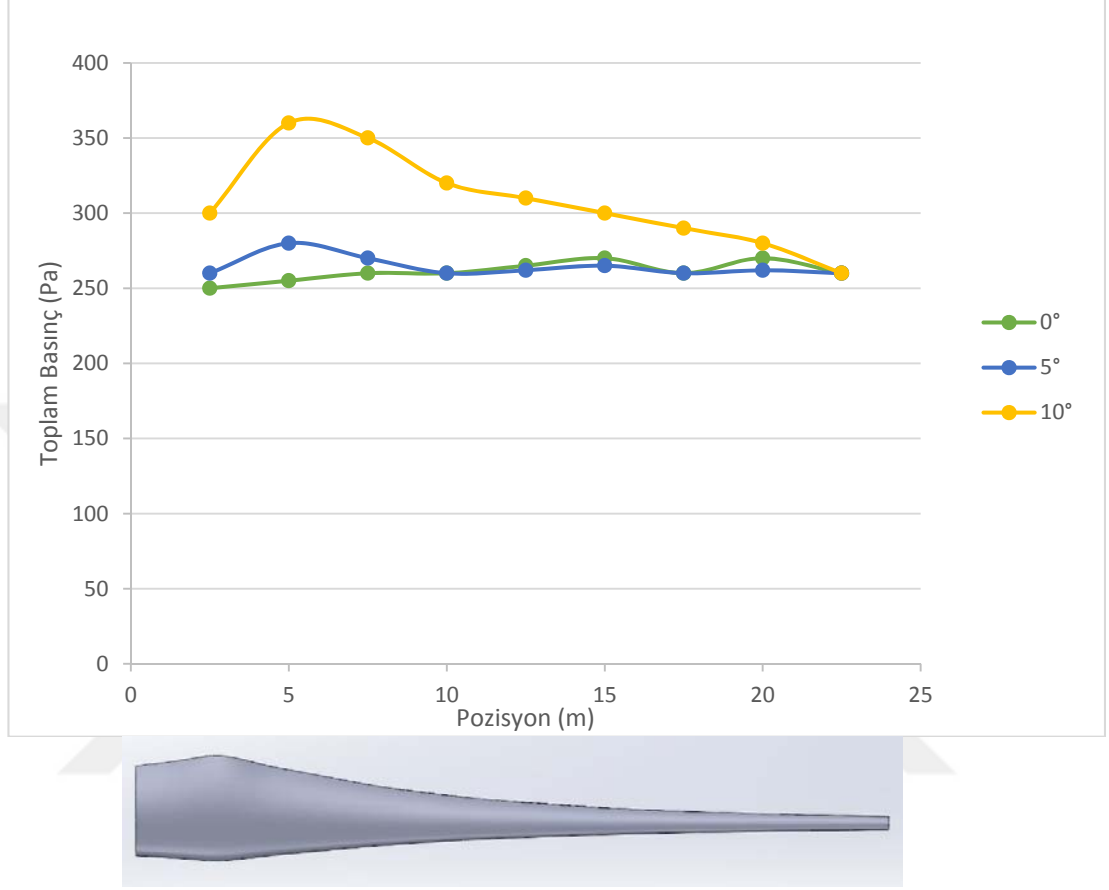
Tasarımın geliştirilmesi ve döndürme açısının daha ideal seviyede verilmesiyle bu değerler daha uygun seviyeye gelebilir.

Hücum açısı 0° olarak tanımlanan türbin kanadında maksimum basınç 392.3 Pa, hücum açısı 5° olarak tanımlanan kanatta 420, 10° olan kanatta ise 628.9 Pa çıkmıştır.

Burada farklı hücum açıları verilerek değerlendirme yapılmasının sebebi kanadın farklı açılardaki basınç, hız yüzey sürtünme katsayılarının değişimini incelemektir. Burada taşıma kuvveti hücum açısının büyüklüğü ile ilgilidir. Hücum açısı büyüdükçe taşıma kuvveti de artar. Ancak bu durum aynı zamanda sürüklenmeyi de artırır.

Taşıma kuvvetinin artması akış çizgilerinin kanat profilinden ayrılmayı başladığı yere kadar devam eder. Bu noktadan sonra ayrılma başladığı için taşıma kuvveti küçülmeye başlar. Bu çalışmada verilen hücum açıları, kanadın yüksek miktarda eğimlerden oluşmasından dolayı oldukça fazla miktardadır.

Toplam basınç dağılımının kanat üzerinde Z eksenı yönündeki dağılımı Şekil 4.3'te gösterildiği gibidir.



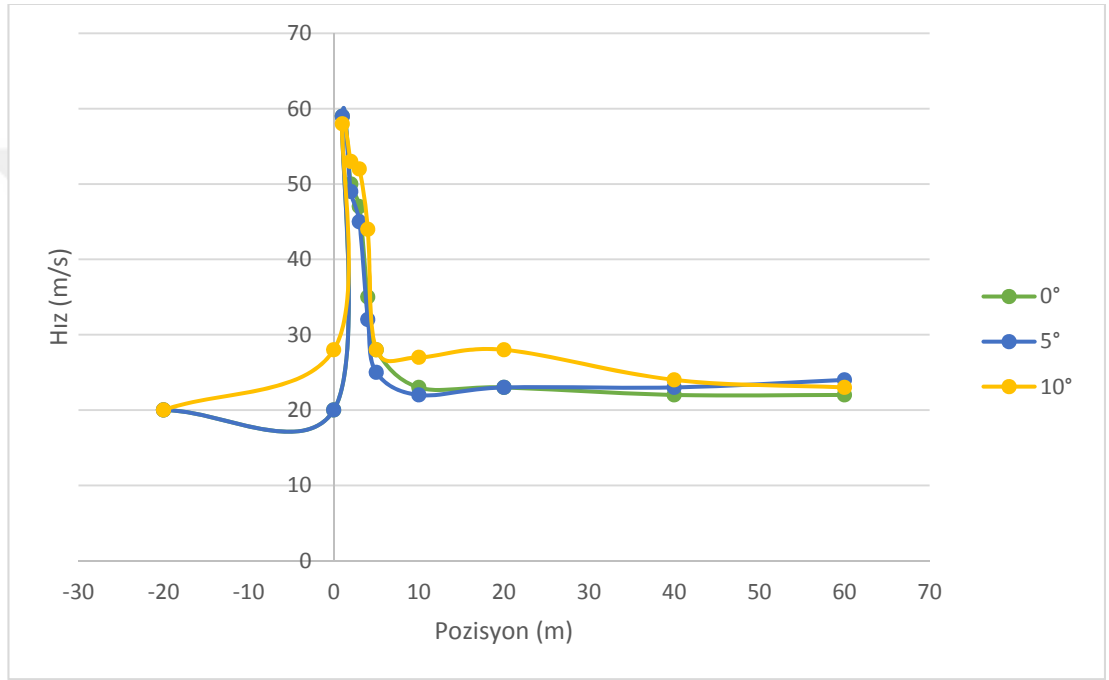
Şekil 4.3. Kanatta oluşan Z eksenı yönündeki toplam basınç dağılımları

Şekilde toplam basıncın kanat yüzeyinin en geniş olduğu noktada artış gösterdiği görülmektedir.

4.1.2. Hız Dağılımları

Rüzgâr tüneli içerisinde üç farklı hız verisi incelenmiştir. 0° , 5° ve 10° hücum açısı verilerek elde edilmiş hız grafikleridir.

Bu grafiklerin üç durumda elde edilen sonuçları Şekil 4.4'te gösterildiği gibidir.

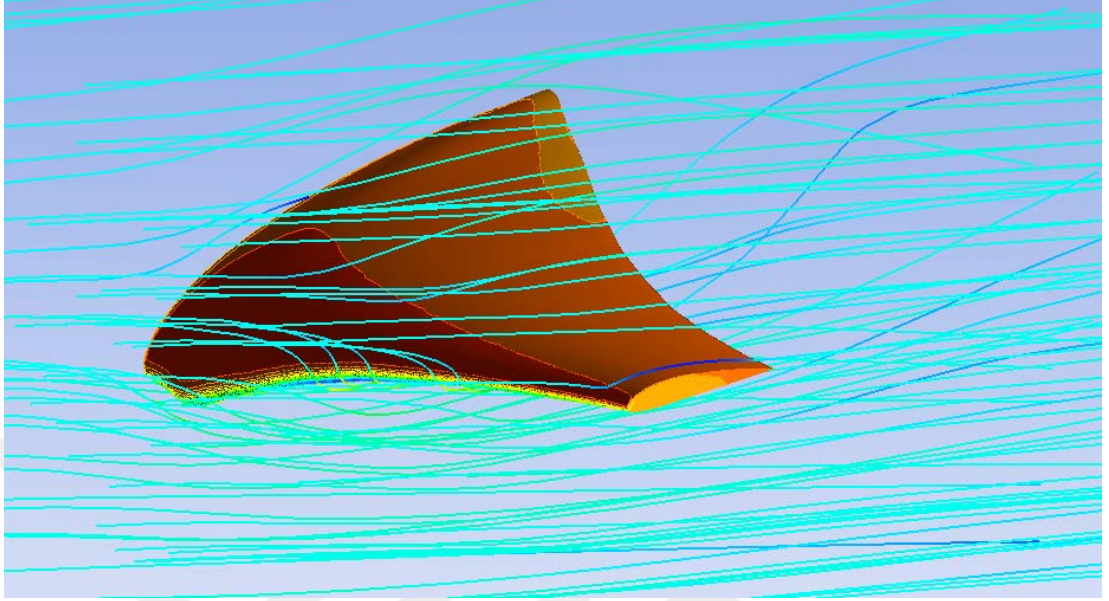


Şekil 4.4. Rüzgâr tüneli içerisinde oluşan X yönündeki hız.

Grafikte görüldüğü gibi hücum açısı 0° verilerek yapılan analiz sonucu 59 m/s olarak, hücum açısı 5° verilmiş kanat analiz sonucu 59 m/s olarak, hücum açısı 10° verilmiş kanat analiz sonucu çıkan sonuçta ise maksimum hız 58 m/s olarak hesaplanmıştır.

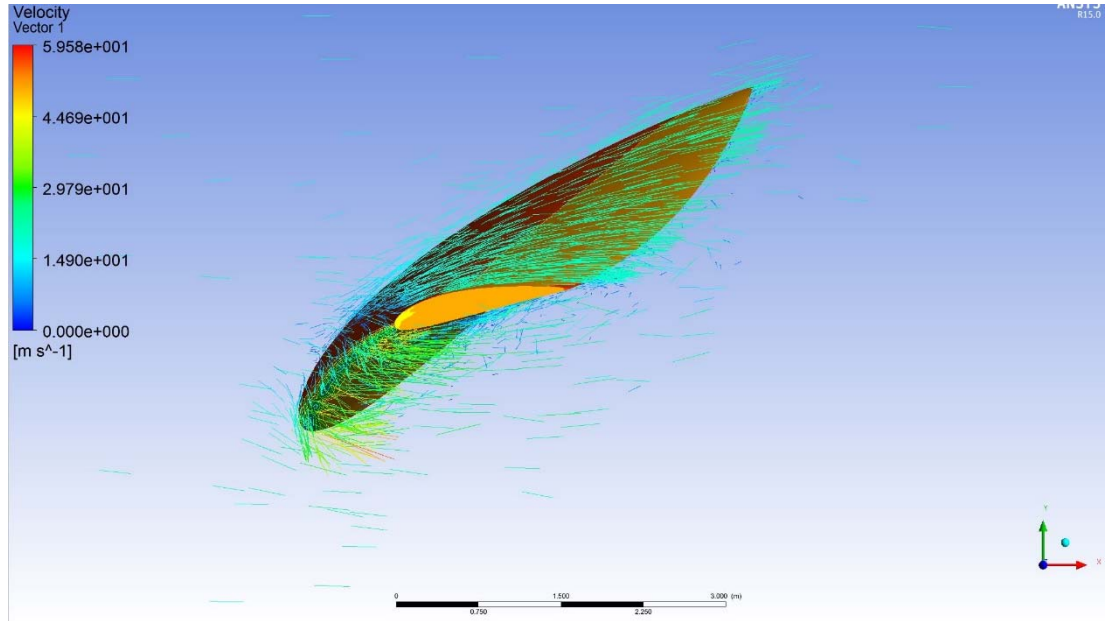
Sonuçlar kısmında hızın akım çizgisi olarak gösterim imkânı mevcuttur. Bu gösterimler ile rüzgârın kanadın yüzeylerinden nasıl geçiş yaptıkları, hangi noktaya ne etki yaptığı görülebilmektedir.

Rüzgâr tüneli içerisinde rüzgâr geçişleri, akım çizgisi oluşturularak Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



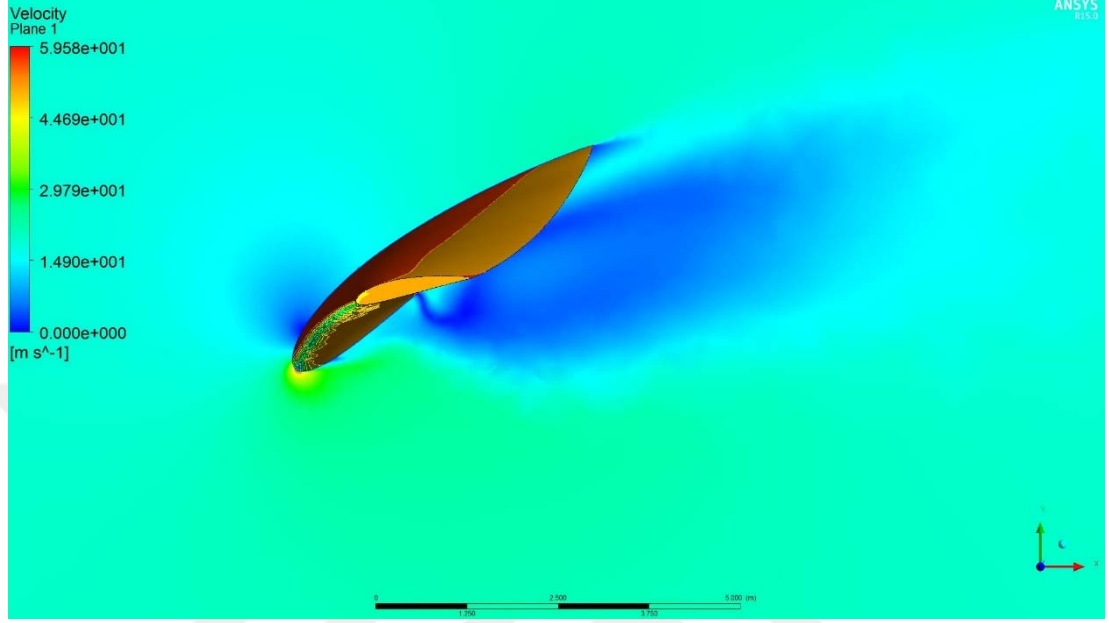
Şekil 4.5. Tünel içinde, hızın X eksenindeki gösterimi

Hız akım çizgisinde gösterildiği gibi aynı şekilde vektörel olarak ta gösterilebilir. Bu gösterim Şekil 4.6'te verilmiştir.



Şekil 4.6. Hızın X eksenindeki vektörel gösterimi

Vektörel gösterimin yanı sıra, türbin kanadının herhangi bir noktasına bir yüzey oluşturularak tünelin o yüzeydeki hız dağılımlarını görebiliriz. Bu gösterim Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7. Rüzgâr tüneli içerisindeki hız dağılımları

Şekil 4.7’te gösterilen rüzgâr tüneli içerisindeki hız dağılımında, hızın maksimum olduğu noktadaki değer, hücum açısı 0° verilerek yapılan analiz sonucu 59 m/s olarak, hücum açısı 5° verilmiş kanat analiz sonucu 59 m/s olarak, hücum açısı 10° verilmiş kanat analiz sonucu çıkan sonuçta ise maksimum hız 58 m/s olarak hesaplanmıştır.

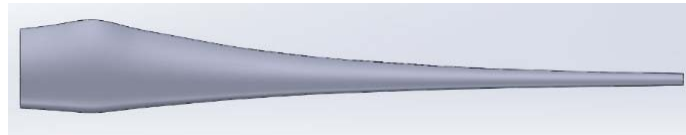
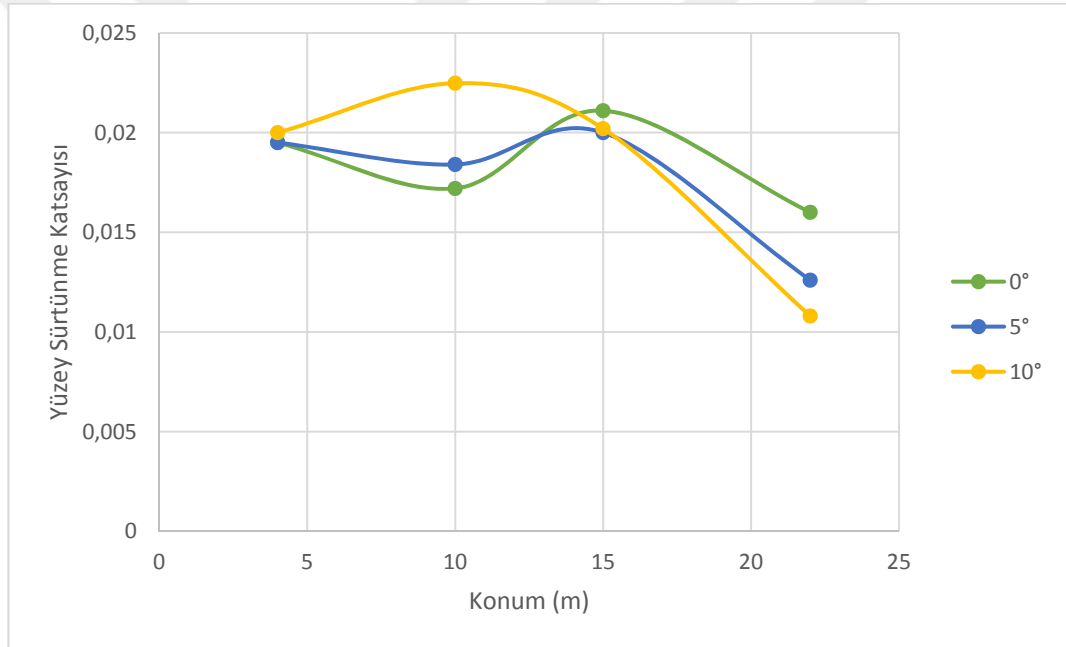
Burada hücum açısı verildikten sonra hızın düşmesinin sebepleri, daha önce verilmiş olan büyük bir döndürme açısından kaynaklanmaktadır.

4.1.3. Yüzey sürtünme katsayısı gösterimleri

Rüzgâr kanadı üzerinde yüzey sürtünme katsayıları incelenmiş ve farklı hücum açılarında elde edilen sonuçların grafikleri çıkarılmıştır.

Yüzey sürtünme katsayısı grafikleri, kanadın hücum açısının 0° , 5° , 10° olduğu durumlarda çıkarılmıştır.

Hücum açısının 0° , 5° , 10° olduğu durumlardaki yüzey sürtünme katsayısı diyagramı Şekil 4.8’de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.8. Hücum açısının 0° , 5° , 10° olduğu durumlardaki görünümü

Yüzey sürtünme katsayısı diyagramında en yüksek kaldırma kuvvetinin hücum açısının 10° olduğu durumda olduğu gözlemlenmiştir. Hücum açısının artması kanadın kaldırma kuvvetini etkilemektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

Kanatta oluşan toplam basınç değerleri hücum açısı 0° olarak tanımlanan türbin kanadında maksimum basınç 392.3 Pa, hücum açısı 5° olarak tanımlanan kanatta 420, 10° olan kanatta ise 628.9 Pa çıkmıştır. Hücum açısının artmasının, oluşan toplam basınç miktarını artırdığı görülmüştür.

Analiz sonucunda rüzgâr tüneline oluşan ve kanadı teğet geçen hız dağılım değerleri, hücum açısı 0° verilerek yapılan analiz sonucu 59 m/s olarak, hücum açısı 5° verilmiş kanat analiz sonucu 59 m/s olarak, hücum açısı 10° verilmiş kanat analiz sonucu çıkan sonuçta ise maksimum hız 58 m/s olarak hesaplanmıştır. Kanat profilindeki yüksek döndürme açısından dolayı eklenen hücum açısının önemli bir katkısı olmadığı görülmüştür.

Yüzey sürtünme katsayısı değerlerinin incelemesinde en yüksek kaldırma kuvvetinin hücum açısının 10° olduğu durumda olduğu gözlemlenmiştir. Geometri yüksek miktarda eğimlerden ve döndürme açısından meydana geldiğinden, yapısı itibariyle zaten bir hücum açısı verilmiş gibi rüzgâra tepki göstermektedir.

Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen bu çalışmanın tasarım ve analizleri bilgisayar ortamında yapılmıştır. Bu tez konusu üzerinde çalışma yapacak araştırmacılar için geliştirilmeye müsait bir tasarım çalışması olmasının yanı sıra, tasarımın geliştirilmesiyle bir rüzgâr türbini kurulabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Apaydın, M., Üstün, A., Kurban M. ve Başaran, Ü., "Rüzgar Enerjisinde kullanılan Asenkron Jeneratörler", Elektrik Mühendisleri Odası, Eskişehir.
- [2] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, "Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı", http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar/ruzgar_enerjisi.aspx. (10.09.2014).
- [3] Kong, J., Bang, J. and Sugiyama, Y. "Structural investigation of composite wind turbine blade considering various load cases and fatigue life", Science Direct, (2005).
- [4] Bechly, M. and Clausen, P. "Structural Design of A Composite Wind Turbine Blade Using Finite Element Analysis", Pergamon, (1995).
- [5] Maalawi, K., and Negm, M., "Optimal frequency design of wind turbine blades", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, (2002).
- [6] Jureczko, M., Pawlak, M. and Mezyk, A., "Optimisation of wind turbine blades", Journal of Materials Processing Technology, (2005).
- [7] Song, F., Ni, Y. and Tan, Z., "Optimization Design, Modeling and Dynamic Analysis for Composite Wind Turbine Blade", Procedia Engineering, (2011).
- [8] Karabağ, S., "Rüzgâr Türbini Kanadı İmalatı", İzmir Rüzgâr Sempozyumu ve Sergisi., İzmir, (2011).

- [9] Vardar, A. ve Eker, B., "Rüzgar Türbinlerinde Uygun kanat Tipinin Seçilmesi".
- [10] Avcı, B., Ataş, C. ve Yılmaz, T., "Rüzgar Türbini Kanat Tasarımı ve Analizi", İzmir, (2012).
- [11] Tosun, M., "Investigation of Aerodynamic Effects on Performance of Wind Turbine Blades by Using Finite Element Method", İzmir, (2005).
- [12] Önder, M. ve Yavuzcan, H., "Yatay Eksenli Rüzgar Türbin Kanadının Bilgisayar Destekli Tasarımı", Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi, 22, 1-11 s, (2008).
- [13] Schubel, P. and Crossley, R., "Wind Turbine Blade Design", Energies, (2012).
- [14] Uysal, A. ve Akdoğan, A. "Rüzgar Türbini Kanat Malzemelerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", İSTANBUL, (2008).
- [15] Wikipedia, "Wikipedia", http://en.wikipedia.org/wiki/NACA_airfoil#Modifications, (2014).
- [16] FİGES Engineering, "Figes", <http://www.figes.com.tr/ansys/ansys-meshing.php>, (2014).
- [17] Chen, S. and Kim, W., "Computation of Turbulent Flows Using an Extended k - epsilon Turbulence Closure model", NASA, Alabama, (1987).

- [18] Fuglsang, P. and Madsen, H., "Optimization method for wind turbine rotors", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 201 s, (1998).
- [19] Sezer, N. and Long, N., "3-D Time-Accurate CFD Simulations of Wind Turbine Rotor Flow Fields", 44th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, Nevada, (2006).
- [20] Figes Engineering, "Figes", <http://www.figes.com.tr/ansys/fluent.php>, (2014).



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Hasan İBİLOĞLU

Doğum Tarihi: 19/09/1985

Öğrenim Durumu: Yüksek Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lise	Fen Bilimleri	Mersin Dumlupınar Lisesi	2000 – 2003
Lisans	Makine Mühendisliği	Mustafa Kemal Üniversitesi	2004 – 2009
Yüksek Lisans	Makine Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2012 - 2014

Görevler:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Arş. Gör.	Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü	2013 - ...