

2008 Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi Sayı: 22, s.1-11

YATAY EKSENLİ RÜZGÂR TÜRBÜN KANADININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIMI

Murat ÖNDER¹
Hüseyin Güçlü YAVUZCAN²

ÖZET

Bu makalede yatay eksenli rüzgâr türbinleri için istenilen koşullara bağlı olarak kanat tasarımı yapabilecek bir bilgisayar programı geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin aerodinamiği ile ilgili teorik yaklaşımlar ve kanat elemanı momentum teorisine göre kanat tasarımı sistematik olarak incelenmiştir. Sonuç olarak, yatay eksenli rüzgâr türbin kanat tasarımı için Microsoft Visual C#. NET 2.0 tabanlı olarak KANAT SİMÜLATÖRÜ adlı bir program geliştirilmiştir. Program, kullanıcı bölge ve kanat uzunluğunu girdiği zaman tasarım için gerekli ölçüleri (kanat kiriş ölçüleri, tahmini güç, kanat açısı) verecek şekilde düzenlenmiştir. Program belirli bir bölgedeki rüzgâr verilerine göre yatay eksenli rüzgâr türbini kanat tasarımı yapmak isteyenlere fikir verebilir ve kolaylık sağlayabilir düzeydedir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr Türbini, Rüzgâr Enerjisi, Kanat Tasarımı

COMPUTER-AIDED DESIGN OF HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE BLADE

ABSTRACT

This paper aims to develop software that will be able to perform blade designs depending on the desired conditions for horizontal axis wind turbines. To serve this purpose, theoretical approaches pertaining to aerodynamics of horizontal axis wind turbines and blade design in terms of blade element momentum theory were examined systematically. As a result, software called a wing simulator based Microsoft Visual C#. NET 2.0 was developed for the horizontal axis wind turbines. The software was designed in a manner that will enable to give out required measurements (blade chord measurements, estimated power, blade angle) for the time design when the user inputs local features and blade length. The program is at a level that will give some insight for those willing to perform blade design horizontal axis wind turbines according to the wind data of an area.

Key Words: Wind Turbine, Wind Energy, Blade Design

1. GİRİŞ

Kanat Elemanı Momentum Teorisini kullanarak kanat kirişi hesaplaması günümüzde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Söz konusu yöntemde tahmini bir kanat kiriş değeri belirlenerek Reynolds sayısı hesaplanmakta ve Reynolds sayısına göre kanadın kaldırma ve sürükleme katsayısı belirlenerek maksimum güç bulunmaktadır (Mejia, 2006: 384).

Uç Kayıpları, kanat elemanı momentum teorisi, rotordaki kanat sayısının performansına olan etkisini tam olarak belirleyememektedir. Bu nedenle performans analizinde kanatlardaki uç kayıplarının da dikkate alınması daha uygun olmaktadır. Daha önce bulunan varsayımlarda rotor kanadının sonsuz sayıda olduğundan hareket edilmiştir. Bu varsayım yardımıyla rotor düzleminde ve iz bölgesinden geçen akışın radyal hızı ihmal edilerek eşitlikler türetilmiştir. Ancak, akış hattının sınırında, kanat uçlarından dolaşan havanın hızı da önemlidir. Çünkü kanadın emme yüzeyindeki basıncı, basınç yüzeyindekinden düşüktür. Dolayısıyla kanat ucuna yaklaştıkça kaldırma kuvveti ve güç rüzgârın uç kısımlardan kaybolmasından dolayı azalmaktadır. Söz konusu radyal akışın ve uç kayıplarının etkilerini tahmin etmek için Prandtl tarafından bir model önerilmiştir (Duran, 2005:26-66, Onat, 2001:61-98, Çiçek, 2002:22-35).

Prandtl, bu yöntemde türbin arkasında oluşan helisel girdap tabakalarının, dış akıma göre eksenel hıza eşit bir hızda, katı düzlemler şeklinde hareket ettiğini belirtmiştir. Hesap kolaylığı açısından bu düzlemleri, aralarında d' kadar mesafe bulunan paralel ince levhalar olarak incelemiştir (Wilson, 2002:215-282).

¹ Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Bölümü, Gölbaşı/Ankara, 06830, muratonder@gazi.edu.tr

² Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Bölümü, Gölbaşı/Ankara, 06830, gyavuzcan@gazi.edu.tr

Levhaların ucuna doğru iki levha arasındaki potansiyel farkın azalma miktarının, rotor palasının çevresindeki sirkülasyonunun azalma miktarına eşit olduğu varsayılarak F uç düzeltme katsayısı, aşağıdaki gibi belirlenmiştir (Manwell et al, 2002: 83-137):

$$F = \left(\frac{2}{\pi}\right) \cos^{-1} \left[\exp \left[\frac{-\left(\frac{B}{2}\right) \left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)\right]}{\left(\frac{r}{R}\right) \sin \theta} \right] \right] \quad (1)$$

İşlem kolaylığı açısından F aşağıda belirtilen koşullarda 0 veya 1 olarak alınır (Duran, 2005: 26-66, Walker et al, 1997: 17-74),

$$0 < r < r_e \text{ ise } F=1,$$

$$r_e \leq r \leq R \text{ ise } F=0,$$

$$r_e \approx 0,97 R$$

2. KANAT SEÇİMİ

Kanatlar, türbinlerde mekanik gücün geliştirilmesi amacıyla kullanılan elemanlardır. Kanadın kiriş ve uzunluğu aerodinamik performansını etkiler. Dolayısıyla kanat profillerinin özellikleri yapılacak olan dizaynı etkiler. Kanat seçimindeki en önemli etken Reynolds sayısıdır. Çünkü en uygun hücum açısını (α) bulmak performans belirlemesi için gerekli bir husustur. Kaldırma ve sürüklenme katsayısı hem kanat kesimine hem de Reynolds sayısına bağlıdır. Modern türbinlerde kullanılan kanatların kiriş ölçüleri MegaWatt büyüklüğündeki türbinlerde 2 m'ye kadar ulaşmaktadır. Kanatların uç hız oranları (λ) ise 0,5 den 10'a kadar değişmektedir. Dolayısıyla Reynolds sayısı da 0,3 milyon ile 10 milyon arasında değişmektedir. Reynolds sayısını bulmak için öncelikle görünür rüzgâr hızının bulunması gerekir.

$$V_a = \frac{\left(\frac{r}{R}\right) \lambda U_\infty}{\cos \varphi} \quad (2)$$

Uç hız oranı (λ) üç kanatlı rüzgâr türbinleri için yaklaşık 5 olarak alınabilir. Rüzgârın rotor düzlemine çarptığı açı φ ise, aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\varphi = \left(\frac{2}{3}\right) \tan^{-1} \left(\frac{R}{r\lambda}\right) \quad (3)$$

olur. Reynolds sayısının hesaplanabilmesi için tahmini bir kiriş uzunluğunun bilinmesi gereklidir. Kiriş mesafesi, c ;

$$c = \frac{16\pi R \left(\frac{R}{r}\right)}{9\lambda^2 B} \quad (4)$$

eşitliği ile elde edilir. Bulunan bu değerler 5 nolu eşitlikte yerine konulduğunda Reynolds sayısı elde edilmiş olur,

$$Re = 68500 \times c \times V_a \quad (5)$$

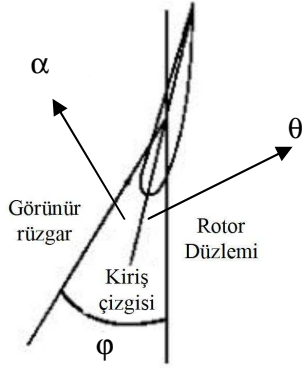
Yazılan programda ise Reynolds sayısının hesabında kanadın orta noktası esas alınmıştır. Hesaplanan Reynolds sayısına bağlı olarak belirlenen kanat tiplerinin sürüklenme-kaldırma katsayılarına bakılarak en uygun kanat seçimi yapılır;

$$\gamma = \frac{C_D}{C_L} \quad (6)$$

olur.

3. KANADA İLİŞKİN HESAPLAMALAR

Kanat şeklinin tasarımı, rotordan maksimum güç elde edilecek şekilde bilinen parametrelerle yapılır. Kanat uzunluğu boyunca kiriş-uzunluk (c-R) ve kanat açısı (θ) hesaplanır. Bu nedenle hesaplamalara başlamadan önce uç hız oranına karar verilmelidir. Rüzgârın içinde barındırdığı gücün teorik olarak 0,59'u rotor aracılığı ile çevrilebilir (Betz, 1926). Uygulamada ise bu değer kanatlara göre değişmekte olup uç hız oranına bağlı olarak, maksimum güç katsayısı (c_p) ise genel momentum teorisinde uç hız oranı $\lambda=5$ kabul edilerek 0,57 olarak belirlenir. Kanat profili seçilmeden önce kanadın verimine sürüklenme/kaldırma oranına bağlı olarak kanat verimi hakkında yaklaşımda bulunulması gerekir. Şekil 1 de ise kanat düzleminde oluşan açılar gösterilmiştir.



Şekil 1. Kanat Açıları

Rüzgâr açısı ve bölgesel uç hız oranı arasındaki ilişkiden dolayı,

$$\varphi_{opt} = \left(\frac{2}{3}\right) \tan^{-1}\left(\frac{1}{\lambda_r}\right) \quad (7)$$

olur. Optimum rüzgâr açısı için bölgesel uç-hız oranının bulunması gerekir. Kanat elemanı momentum teorisi ile birlikte uç-kayıp katsayısı hesaba katılırsa seçilen kanat için rotordan maksimum güç elde edecek şekilde boyutlandırma yapılır. Boyutlandırma işlemi verilen kanat boyunun N parçaya bölünerek her bir istasyon için ayrı ayrı hesaplama yapılarak gerçekleştirilir. Kanat elemanı için bölgesel uç kayıp katsayısı,

$$\lambda_{r,i} = \lambda \left(\frac{r_i}{R}\right) \quad (8)$$

olur. 7 nolu eşitliğe göre her bir kanat elemanı için optimum rüzgâr açısı,

$$\varphi_{opt,i} = \left(\frac{2}{3}\right) \tan^{-1}\left(\frac{1}{\lambda_{r,i}}\right) \quad (9)$$

olarak hesaplanır. 10 nolu eşitlikten her bir kanat elemanı için uç kayıp faktörü,

$$F_i = \left(\frac{2}{\pi}\right) \cos^{-1} \left[\exp \left[\frac{-\left(\frac{B}{2}\right) \left[1 - \left(\frac{r_i}{R}\right)\right]}{\left(\frac{r_i}{R}\right) \sin \varphi_{opt,i}} \right] \right] \quad (10)$$

bulunur. Kanat boyunca giriş uzunluğunun dağılımı, her bir eleman için,

$$c_i = \frac{8\pi r_i F_i \sin \varphi_{opt,i} \left(\cos \varphi_{opt,i} - \lambda_{r,i} \sin \varphi_{opt,i} \right)}{BC_L \left(\sin \varphi_{opt,i} + \lambda_{r,i} \cos \varphi_{opt,i} \right)} \quad (11)$$

olur. Kanat açısı ise,

$$\theta_i = \varphi_{opt,i} - \alpha \quad (12)$$

eşitliği ile belirlenir. 13 nolu eşitlik kullanılarak türbinin üreteceği tahmini güç bulunabilir:

$$Ne = 0,6 \times C_p \times N \times U_\infty^3 \quad (13)$$

eşitlikte jeneratör verimi (N) 0,8 alınmıştır.

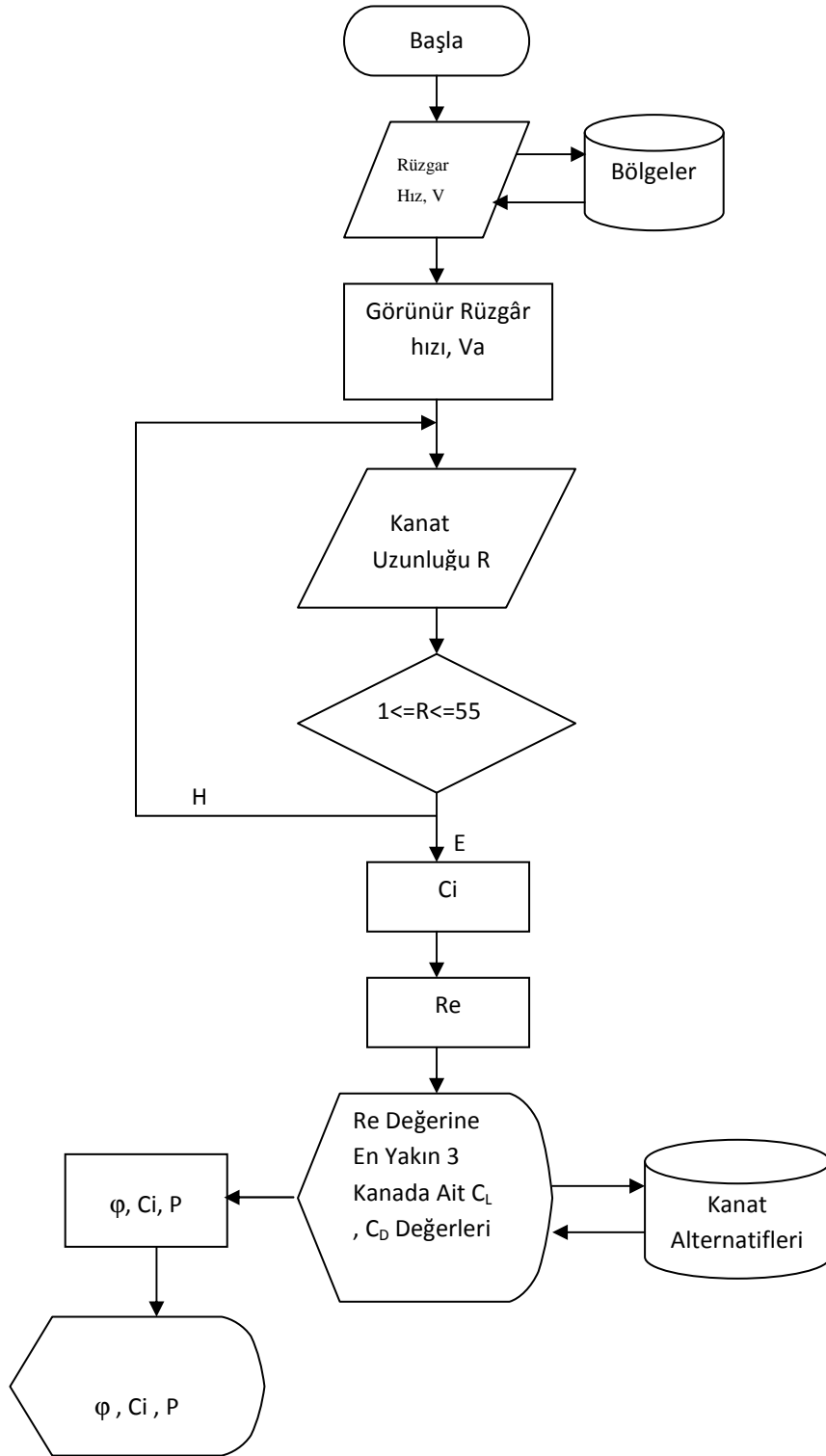
4. KANAT TASARIMI GELİŞTİRİLEN BİLGİSAYAR PROGRAMI

Bu çalışma kapsamında; önceki bölümlerde belirtilen kanat tasarım parametreleri ve kanat elemanı momentum teorisi çerçevesinde yatay eksenli rüzgâr türbini kanat tasarımını bilgisayar destekli olarak gerçekleştirecek bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilen program sayesinde kanadın giriş uzunluğu, kanat açısı ve elde edilecek tahmini güç hesaplanmış olacaktır. Kanat giriş mesafesi ve kanat açısı ne kadar küçük aralıklarla hesaplanırsa elde edilen sonuç o kadar gerçekçi olacaktır. Microsoft Visual C#.NET 2.0 tabanlı olarak Kanat Simülasyonu programı kodlanmıştır. Programın geliştirilmesinde söz konusu yazılımın kullanılmasının nedenleri şunlardır;

- XML tabanlı bir yapıya sahiptir (metin tabanlı olduğu için kullanımı kolaydır).
- Oluşturulan veritabanıyla kolay iletişim sağlamaktadır.
- Program geliştirme sırasında kolaylık sağlamak ve içerdiği nesnelere yardımıyla fazla kod yazmaya gerek duyulmamaktadır.
- Programın derlenmesi (çalıştırılması) oldukça hızlıdır.
- Veritabanı ile bağlantı sırasında gerekli olan kütüphane dosyaları programın içerisinde yer aldığından dolayı kullanım sırasında farklı bir veritabanı bağlantı yazılımına gerek duyulmamaktadır.
- Grafik yazımı için ek nesnelere gereksinim duyulmamaktadır. Yazılımın kendi içindeki nesnelere bu husus için yeterlidir.

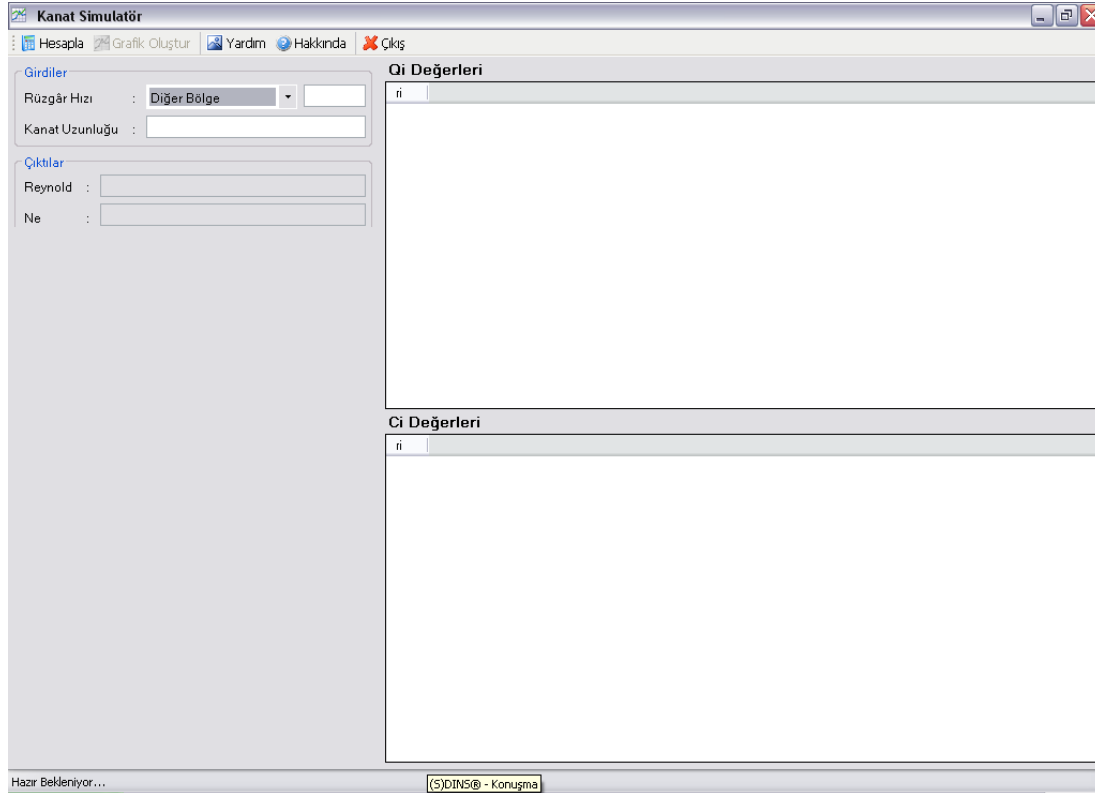
Geliştirilen program ile değişik kanat tiplerinin tasarım şekillerinin karşılaştırılabilmesi mümkün olacaktır. Öncelikle program için geliştirilen algorithmadan bahsedilecek ve daha sonra programa ilişkin yapılan örnek bir hesaplama açıklanacaktır.

Gerçekleştirilen bilgisayar programının temel amacı Türkiye'nin herhangi bir bölgesinde veya rüzgâr hızı bilinen bir yerde kurulması istenilen rüzgâr türbinin kanat uzunluğuna bağlı olarak gerekli boyutlandırmasının yapılmasıdır. Yapılan boyutlandırmanın programın önereceği kanat tipleriyle karşılaştırılması da mümkün olabilecektir. Programın akış diyagramı Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Kanat Simülâtörü Programın Akış Şeması

Programın ara yüzü Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Programın Ara Yüzü

Program hakkındaki genel bilgiler aşağıda özetlenmiştir:

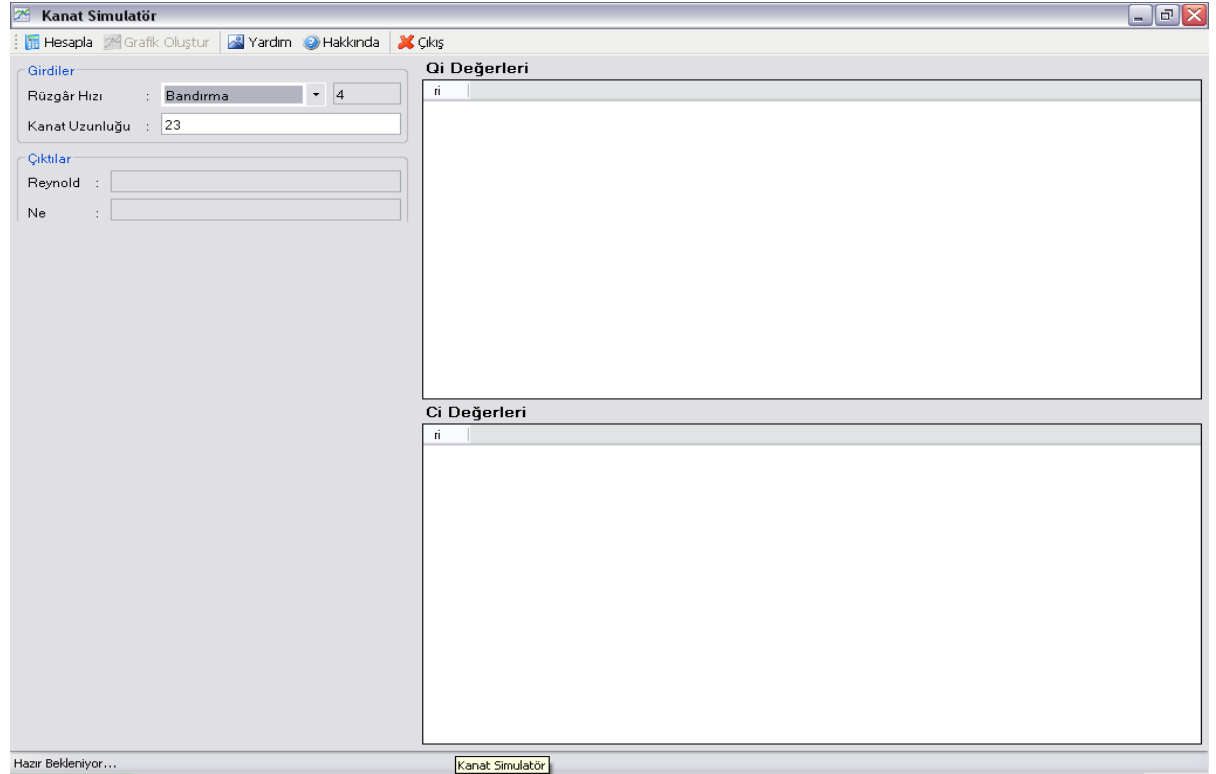
- Program Microsoft Visual C#.NET 2.0 da kodlanmıştır.
- Programın iki girdisi, dört çıktısı bulunmaktadır.
- Programın girdisi olarak bölge veya rüzgâr hızı ve istenen kanat boyu, çıktı olarak kanat giriş uzunluğu, kanat açısı, üretilmesi planlanan güç ile Reynolds sayısıdır.
- Ayrıca programda hesaplatılan kanat giriş değerlerini grafik olarak elde etmek de mümkün olacaktır.
- Kanadın giriş mesafesi ve oturma açısı 0,01 m aralıklarla hesaplanacaktır.
- Program istediğimiz giriş değerlerine göre hesaplama yaparak bulduğu Reynolds sayısına yakın olan üç kanat tipinin üçünü, ikisini veya birini seçme imkânı vermektedir.
- Eğer istenirse seçilen kanat tiplerinin veya tipinin grafiğini verebilir.

Şekil 2.3'de görüldüğü üzere; programa giriş verileri olarak rüzgâr hızı ve istenen kanat uzunluğu değerleri girilir. Rüzgâr hızı için istenirse programın bilgi bankasında kayıtlı olan bölgelerden biri seçilebilir veya doğrudan sayısal değer yazılabilir. Programın bilgi bankasında bulunan bölgeler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Türkiye Rüzgâr Atlasında Önemli Görülen Bazı Bölgelere İlişkin Bazı Coğrafi Veriler

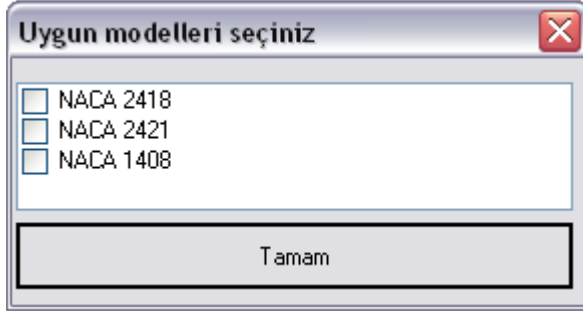
No	İstasyon adı	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)	Ölçüm zaman Aralığı	Ortalama Rüzgâr hızı (m/s)
1	Amasra	41 ⁰ 45'02''N	32 ⁰ 23'03''E	73	1989-1998	5,2
2	Bandırma	40 ⁰ 19'54''N	27 ⁰ 59'56''E	58	1989-1998	4,0
3	Bergama	39 ⁰ 07'30''N	27 ⁰ 11'15''E	53	1989-1998	3,0
4	Bozcada	39 ⁰ 50'00''N	26 ⁰ 04'25''E	28	1989-1998	5,8
5	Cihanbeyli	38 ⁰ 39'03''N	32 ⁰ 55'23''E	969	1989-1998	2,9
6	Çanakkale	40 ⁰ 08'33''N	26 ⁰ 24'00''E	6	1989-1998	3,7
7	Diyarbakır	37 ⁰ 54'21''N	40 ⁰ 12'08''E	677	1989-1998	2,8
8	Erzurum	39 ⁰ 57'05''N	41 ⁰ 10'21''E	1758	1989-1998	2,8
9	Güney	38 ⁰ 09'07''N	29 ⁰ 03'34''E	805	1989-1998	4,3
10	İpsala	40 ⁰ 55'06''N	26 ⁰ 22'51''E	10	1989-1998	2,9
11	Karataş	36 ⁰ 34'11''N	35 ⁰ 23'29''E	22	1989-1998	3,1
12	Mardin	37 ⁰ 18'50''N	40 ⁰ 43'37''E	1050	1989-1998	3,9
13	Pınarbaşı	38 ⁰ 43'33''N	36 ⁰ 23'30''E	1500	1989-1998	3,9
14	Sinop	42 ⁰ 01'51''N	35 ⁰ 09'18''E	32	1989-1998	2,9
15	Siverek	37 ⁰ 45'20''N	39 ⁰ 20'00''E	801	1989-1998	2,9
16	Suşehri	40 ⁰ 09'47''N	38 ⁰ 04'26''E	1163	1989-1998	3,2
17	Şile	41 ⁰ 10'13''N	29 ⁰ 36'05''E	31	1989-1998	3,4

Programda girilebilecek kanat uzunluğu ise 1 ile 55 metre arasında sınırlandırılmıştır. Bunun nedeni ticari olarak yapılan rotorların çaplarının yaklaşık 40 ila 65 metre olmasıdır. Ufak çapta yapılanlar ise 2 ila 9 metre arasında değişmektedir.



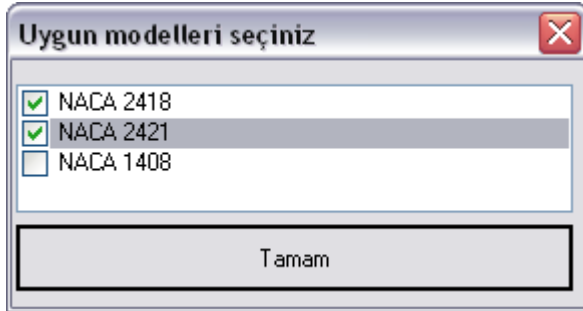
Şekil 2.3. Programın Girdileri

Şekil 2.3’de örnek giriş verileri yazılmıştır. Şekilde rüzgar türbini planlaması yapılan yer olarak Bandırma seçilmiştir. Kanat boyunun ise 23 metre olması istenmiştir. Program yaygın olarak kullanımından dolayı verilen girdi koşullarında 3 kanatlı türbin tasarımı için simülasyon yapılacaktır. Üç kanatlı türbinler için ideal olan uç hız oranında kanadın boyutlandırılması yapılır. Sonuç olarak rotorun çapı hesaba katılarak güç hesabı yapılır. Programdaki hesaplama butonuna basıldığında program akış diyagramında gösterildiği gibi hesaplanan Reynolds sayısına göre 3 adet kanat tipi önermektedir (Şekil 2.4). Programın veri tabanına girilen ve piyasada yaygın kullanım alanı bulan kanat modelleri ile söz konusu modellere ilişkin hesaplanan Reynolds sayısı değerleri Çizelge 2’de verilmiştir.



Şekil 2.4. Önerilen Kanat Tipleri

Programın önerdiği 3 kanat tipinden istenilenler seçilerek (Şekil 2.5) ve “Tamam” butonuna basılarak kanat boyunca kirişi 0,01m aralıklarla kiriş genişliği ve kanat açısı değerleri hesaplanmaktadır (Şekil 2.6).



Şekil 2.5. Seçilen Kanat Tipleri

Çizelge 2. Programın Veri Tabanında Kullanılmak Üzere Seçilen Kanat Modelleri ve Bu Modele İlişkin Hesaplanan Reynolds Sayısı Değerleri

Kanatlar	Reynolds sayıları
A18 SM	203000, 300000, 302600
AQUILA SM	203900, 301100
GOE 417 A	297500, 398800
ESA 40	200600, 301600, 398100, 403800
DAVIS SM	198600, 297900
J 5012	201900, 303100
CLARK Y	203800, 301200
FALCON 56 MK 2	200000, 301300, 401700
K 3311 SM	201800, 302900
R 140 SM	203000, 199900, 300300
PT 40	200100, 299800, 399100
SPICA SM	202300, 301500
USNPS 4	199300, 299000, 398300

Çizelge 2'nin Devamı

TRANIER 60	200000, 301800, 400000
WASP SM	201600, 302600
WB 140	200500, 307600
WB 13535 SM	204000, 302700
CLARK YSM	200000, 299800, 399900
NACA 2414	200500, 301000
NACA 2415	200600, 301100
NACA 25411	200600, 303300
NACA 6409	200100
NACA 2418	2900000
NACA 2412	3100000
NACA 2421	2900000
NACA 1408	3000000

Programda kayıtlı olan bölge ve kanat tipleri dışında veri eklenmesi istenirse programın yardım menüsünde söz konusu verilerin nasıl ekleneceğine ilişkin açıklamalar yapılmıştır.

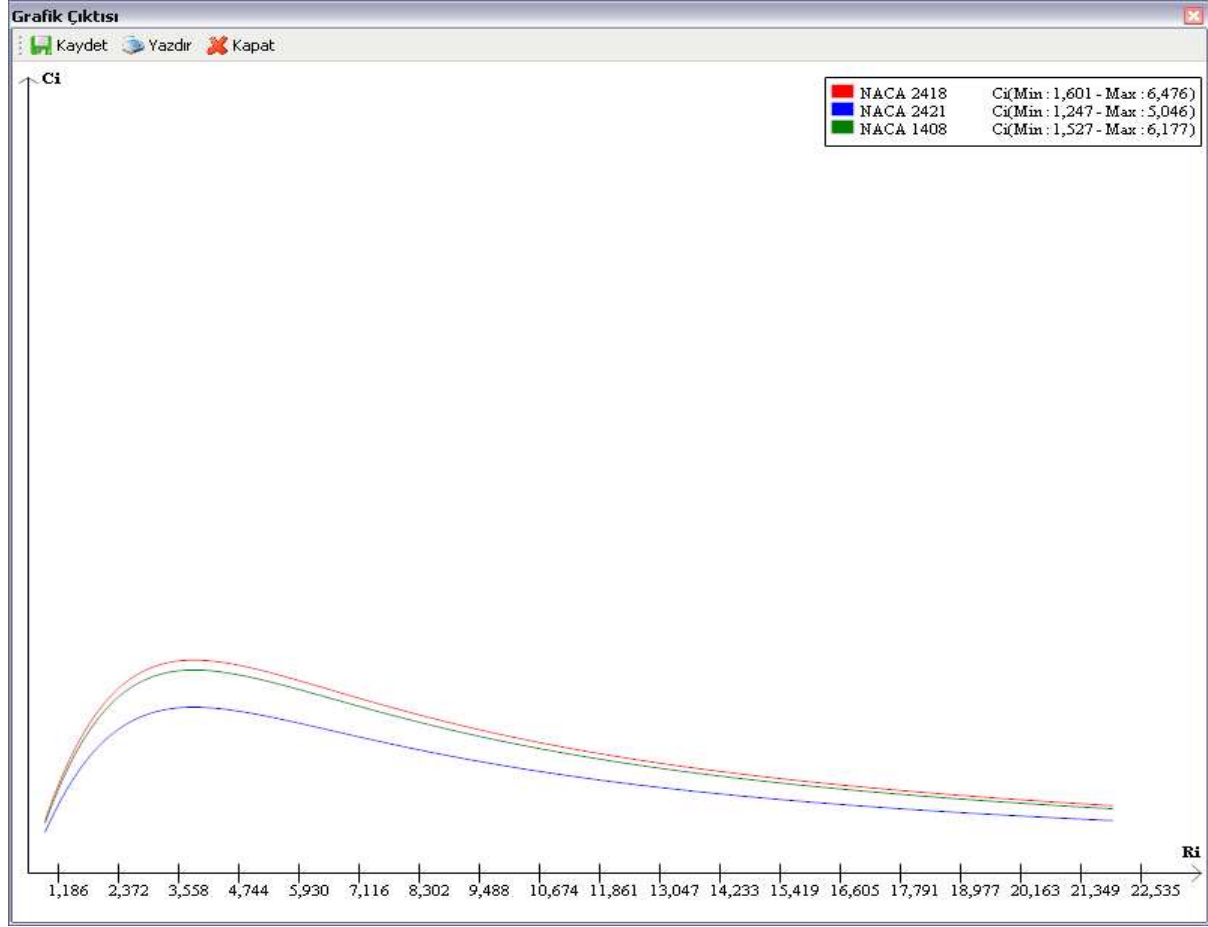
The screenshot shows the 'Kanat Simülör' software interface. On the left, there are input fields for 'Rüzgâr Hızı' (set to 'Bandırma'), 'Kanat Uzunluğu' (set to '23'), 'Reynold' (set to '2428464.43688211'), and 'Ne' (set to '29100.5777767505 W'). The main area displays two tables of 'Qi Değerleri' and 'Ci Değerleri' for three different airfoil types: NACA 2418, NACA 2421, and NACA 1408. Each table lists values for various Reynolds numbers (ri) from 0.345 to 0.535. The bottom status bar indicates 'İşlem tamamlandı.' and '5. bölüm - Microsoft Word'.

ri	NACA 2418 - Qi	NACA 2421 - Qi	NACA 1408 - Qi
0.345	51.140564447454	47.140564447454	50.140564447454
0.355	51.0580050724003	47.0580050724003	50.0580050724003
0.365	50.9754732305284	46.9754732305284	49.9754732305284
0.375	50.8929636782798	46.8929636782798	49.8929636782798
0.385	50.8104951705217	46.8104951705217	49.8104951705217
0.395	50.7280504605068	46.7280504605068	49.7280504605068
0.405	50.645636299833	46.645636299833	49.645636299833
0.415	50.5632534384035	46.5632534384035	49.5632534384035
0.425	50.4809026243874	46.4809026243874	49.4809026243874
0.435	50.3985846041802	46.3985846041802	49.3985846041802
0.445	50.3163001223646	46.3163001223646	49.3163001223646
0.455	50.2340499216715	46.2340499216715	49.2340499216715
0.465	50.1518347429417	46.1518347429417	49.1518347429417
0.475	50.0696553250871	46.0696553250871	49.0696553250871
0.485	49.9875124050527	45.9875124050527	48.9875124050527
0.495	49.905406717779	45.905406717779	48.905406717779
0.505	49.8233389961639	45.8233389961639	48.8233389961639
0.515	49.7413099710257	45.7413099710257	48.7413099710257
0.525	49.6593203710662	45.6593203710662	48.6593203710662
0.535	49.5773709228336	45.5773709228336	48.5773709228336

ri	NACA 2418 - Ci	NACA 2421 - Ci	NACA 1408 - Ci
0.345	1.60056353726138	1.24723158658292	1.5266345055172
0.355	1.64260066356853	1.27998881896944	1.56672996317275
0.365	1.68439805160361	1.3125923643829	1.60659679591753
0.375	1.72595621479731	1.3449432390779	1.64623537346718
0.385	1.76727567134597	1.37714123069035	1.68564631008288
0.395	1.80835634417271	1.409153618761	1.72493006453425
0.405	1.84920056086806	1.44098081442786	1.76378714006182
0.415	1.88980705375029	1.4726232324507	1.80251904433919
0.425	1.93017695862541	1.5040812911798	1.84102328943486
0.435	1.97031081994674	1.53535541252454	1.87930333177368
0.445	2.01020918067424	1.56644602192162	1.91735887209806
0.455	2.04987259225342	1.59735354830314	1.95519025542878
0.465	2.08930160957398	1.62807842406425	1.99279807102553
0.475	2.12849679132809	1.65862108503075	2.03018285234711
0.485	2.1674587029684	1.68898197042632	2.06734513701143
0.495	2.20618791066571	1.7191615228395	2.10428546675505
0.505	2.24468498726635	1.74916018819057	2.14100438739261
0.515	2.28295050924928	1.77897841569803	2.17750244877587
0.525	2.32098505728291	1.80861665784498	2.21378020475252
0.535	2.35878921618159	1.83807537034527	2.2498382131247

Şekil 2.6. Programın Çıktı Görüntüsü

Program, kanat giriş mesafesini ve kanat açısını kanat elemanının başlangıcındaki %2'lik kısmında ve kanat sonundaki %2'lik kısımda hesaplamamaktadır. Bunun nedeni, kanadın rotora oturması için gerekli işlem kolaylığının sağlanması ve kanat uç kısmının yuvarlatılmasıdır. Üç ya da iki kanat tipi seçilerek aralarındaki karşılaştırma yapılması mümkündür. Ayrıca görüntü olarak karşılaştırma yapılmak istenirse "grafik oluştur" butonuna basılarak kanat grafiklerinin elde edilmesi de mümkündür (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Kanat Uzunluğu Boyunca Kiriş Genişliğinin Değişimini Gösteren Grafik Çıktısı

Ekran çıktısında seçilen her bir kanadın kendine ait ayrı bir rengi bulunmakta ve renklerin hangi modellere ait olduğu ekranın sağ üst köşesinde gösterilmektedir. Böylece kanatları birbirinden ayırt etmek mümkün olmaktadır. Ekran çıktısı sayesinde seçilen kanadın nasıl bir şekle sahip olduğu kolaylıkla görülebilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin kanat tasarımındaki aerodinamik esaslar tanıtılmış ve *kanat simülatorü* isimli paket bir program hazırlanarak 3 kanatlı yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin tasarım parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Rüzgâr türbinlerindeki kanatlar elektrik üretimi için önemlidir. Kanatlar rüzgârdaki enerjiyi alan parçalardır. Dolayısıyla rüzgâr ile kanat arasındaki aerodinamik kuvvetler tasarım için oldukça önemlidir. Rüzgâr türbininden üretilen enerji aerodinamik koşullar ile sınırlıdır. Kanat tasarımı ile ilgili bugüne kadar pek çok teori geliştirilmiştir. Öncelikle ideal disk teorisinden bahsedilmiştir. Burada türbin veriminin ideal koşullarda ancak % 59 olabileceği dolayısıyla da ideal disk teorisinin temel bir model olmasına rağmen rüzgâr türbinlerinin ideal tasarımında gerçekçi sonuçlar vermediği belirtilmiştir.

Daha sonra, genel momentum teorisinde rotordaki ve rotor gerisindeki hızların kanat tasarımına olan etkileri analiz edilmiştir. Ancak, genel momentum teorisinin kanat geometrisi açısından uygun sonuçlar vermediği belirtilmiştir.

Kanat elemanı teorisinde ise kanat geometrisindeki katsayılar kullanılarak rotorun dönme momenti ve itme kuvveti analiz edilmiştir. Söz konusu teori ile rotorun performansı ve rotor geometrisi arasındaki ilişkinin desteklendiği analiz edilmiştir.

Sonuç olarak yatay eksenli rüzgâr türbininin kanat tasarımı için genel momentum teorisinin ve kanat elemanı teorisinin birleştirilmesi gerektiği; bu teoriye ise kanat elemanı momentum teorisi adı verildiği belirtilmiştir. Sonuçları doğrusal hale dönüştürmek için uç düzeltme metodu (Prandtl'in uç kayıp faktörü) da hesaba katılmıştır. Böylece rotordaki kanat sayısının etkisi hesaba dâhil edilmiştir.

Ayrıca değişik rüzgâr hızları için çeşitli kanat tipleri verilerek bölgeye uygun kanat tipinin belirlenmesi sağlanmıştır. Kanat tipinin kolay seçilebilmesi için kanat simülatörü programı kodlanmıştır. Programda rüzgâr hızı ve kanat uzunluğunun girilmesi yeterlidir. Daha sonra program, en uygun 3 kanat tipinden birisini kullanıcıya seçtirme imkânı sağlamakta ve seçilen kanat tipine göre gerekli boyutlandırmayı yapmaktadır. İstenildiğinde sonuçları da grafiksel olarak da elde edebilmektedir.

Eğer kullanıcılar bu programdan daha fazla oranda yararlanmak isterlerse veri tabanındaki kanat profili tiplerini arttırabilmektedirler, Bunun için gerekli açıklamalar yardım bölümü altında belirtilmiştir. Böylelikle istenilen kanat tiplerinin karşılaştırmasını yapabilmek mümkün olmaktadır.

Bilindiği üzere, kanat profillerinin kaldırma ve sürüklenme davranışları rüzgâr tünellerinde kanat hareketsiz haldeyken ölçülmektedir. Ancak gerçek koşullarda, rüzgâr türbinlerindeki kanatlar hareket halindeyken eğilme meydana gelmektedir. İleride yapılacak çalışmalarda söz konusu eğilmeler de dikkate alınarak programın geliştirilmesi ve uygulamaya daha yakın sonuçlar vermesi sağlanabilir.

Kanat elemanı momentum teorisi bir yaklaşımı yansıtmaktadır. Değişik şartlar altında kanat tasarımı yapmak için yeni yaklaşımlar geliştirilebilir ve söz konusu yeni yaklaşımlar ışığında benzer paket programlar hazırlanarak karşılaştırma yapılabilir.

Bu çalışmada, rüzgâr hızının değişmediği kabul edilmiştir. Ancak normal şartlarda rüzgâr hızı değişkendir. Ani rüzgâr hızı değişimleri kanatlarda zorlamalara dolayısıyla hesaplanan kanat boyutlarının ilgili bölge için geçerli olabilecek maksimum rüzgâr hızları da kontrol edilmesi faydalı olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Mejia, J., M., Chejne, F., Smith, R., Rodriguez, L., F., Fernandez, O., Dyner, I., (2006). "Simulation of wind energy output at Guajira, Colombia", *Renewable Energy*, 31, 383-399.
- Duran, S. (2005). Computer-Aided Design of Horizontal-Axis Wind Turbine Blades, (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Onat, C. (2001). Rüzgâr Türbini Pervanesi Dizaynı, (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi), İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çiçek, A. (2002). Yatay Eksenli Rüzgâr Türbini Dizayn ve İmalatı, (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi), Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Wilson, R., E., (1998). **Wind turbine Technology Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering**, Asme Pres, New York.
- Manwell, J., F., McGowan, J., G., Rogers., A., L. (2002). *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*, John Wiley&Sons Ltd., London.
- Walker, J., F., Jenkins, N. (1997). *Wind Energy Technology*, John Wiley & Sons, New York.