



PERDELEME YÖNTEMİ İLE SAVONIUS RÜZGAR ÇARKININ PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Burçin DEDA ALTAN

Haziran 2006
DENİZLİ

**PERDELEME YÖNTEMİ İLE SAVONIUS RÜZGAR ÇARKININ
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

**Pamukkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

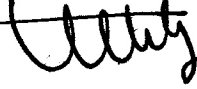
Burçin DEDA ALTAN

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ATILGAN

**Haziran 2006
DENİZLİ**

DOKTORA TEZİ ONAY FORMU

Burçin DEDA ALTAN tarafından Prof. Dr. Mehmet ATILGAN yönetiminde hazırlanan “**Perdeleme Yöntemi ile Savonius Rüzgar Çarkının Performansının İncelenmesi**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Mehmet ATILGAN
Jüri Başkanı (Danışman)



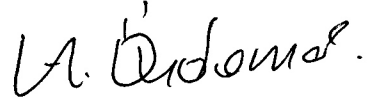
Prof. Dr. Rasim KARABACAK
Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ali GÜNGÖR
Jüri Üyesi



Prof. Dr. Mustafa ACAR
Jüri Üyesi



Doç. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR
Jüri Üyesi

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
.../.../.... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet Ali SARIGÖL
Müdür

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırılmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza

: 

Öğrenci Adı Soyadı : Burçin DEDA ALTAN

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasını öneren; çalışmanın hazırlanması sırasında ve bütün çalışma hayatım boyunca benden yardımlarını ve desteğini hiç esirgemeyen, danışman hocam, Prof. Dr. Mehmet ATILGAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasının maddi olarak desteklenmesini sağlayan Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında yapmış olduğu yardımlar ve göstermiş olduğu ilgiden dolayı ve ayrıca tez çalışmamı, Fluent 6.0 programı ile desteklemem için beni yönlendirerek, programı kullanmak için izin veren, tez izleme komitesi üyesi hocam, Doç. Dr. Aydoğın ÖZDAMAR' a ve Ege Üniversitesi'ne çok teşekkür ederim.

Ayrıca görüş ve önerilerinden dolayı tez izleme komitesi üyesi hocam, Prof. Dr. Rasim KARABACAK'a, ve ayrıca Prof. Dr. Ali GÜNGÖR hocama, tez çalışmam sırasında göstermiş olduğu ilgiden dolayı, Bölüm Başkanı hocam, Prof. Dr. Muzaffer TOPÇU ve Fluent 6.2 programını kullanabilmem için benim adıma izin alan Doç. Dr. Nazım USTA hocama ve desteği ile yanımda olan arkadaşım, Araş.Gör. Gülay YAKAR'a çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam esnasında; göstermiş olduğu sonsuz desteği ve yardımlarıyla her zaman yanımda olan eşim, Araş.Gör. Gürkan ALTAN'a ve her zaman yanımda olarak benden sevgilerini ve desteklerini hiç esirgemeyen annem, babam ve ağabeyime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Burçin DEDA ALTAN

ÖZET

PERDELEME YÖNTEMİ İLE SAVONIUS RÜZGAR ÇARKININ PERFORMANSININ İNCELENMESİ

DEDA ALTAN, Burçin
Doktora Tezi, Makine Mühendisliği ABD
Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Mehmet ATILGAN

Haziran 2006, 147 Sayfa

Dünya nüfusu ve gelişen sanayi ile enerji talebi gün geçtikçe artmaktadır. Bu sebepten yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları önem kazanmaktadır. Bu yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi de rüzgar enerjisidir. Bunun uygulaması olan, Savonius rüzgar çarklarının aerodinamik performansları düşüktür. Fakat diğer geleneksel rüzgar çarkları ile karşılaştırıldığında bazı üstünlükleri olmasına rağmen, yakın zamana kadar çok fazla ilgi görmemiştir. Bundan dolayı son yıllarda çark performanslarının artırılması için bazı araştırmalar yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir.

Bu çalışmada; rüzgar hızını, çarkın güç ve verimini arttırmak ve aynı zamanda çarkın dış bükey yüzeyi üzerine tesir eden negatif momenti engellemek için Savonius rüzgar çarkının önüne bir yapay perde düzeneği yerleştirilmiştir. Öncelikle, çarkın statik durumunda perdesizken bazı deneysel çalışmalar sürdürülerek, daha sonra çarkın hareketli durumunda benzer deneyler yapılmış ve sonra bu durumlarda statik ve dinamik momentler ölçülmüştür. Ölçmelerin dinamik değerleri kullanılarak, her durum için güç ve performans katsayısı hesaplanmıştır. Ayrıca aynı koşullarda çarkın hareketsiz durumunda Fluent 6.0 programı; Sayısal Akışkanlar Dinamiği (CFD) için kullanılmıştır.

Sonuç olarak; perde düzenekli çark ile en iyi sonuç elde edildiği ve aynı zamanda performans katsayısının % 38'lere çıktığı görülmüştür. Kısa perde boyutlarında; düşük performans elde edilirken uzun perde boyutları ile önemli bir artış sağlanmıştır. Çark performansı üzerinde perdenin her iki kanadının konumu da önemlidir. En iyi performans $\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$ lik konumlarında elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Savonius rüzgar çarkı, Rüzgar enerjisi, Performans, Perdeleme

Prof. Dr. Mehmet ATILGAN
Prof. Dr. Rasim KARABACAK
Prof. Dr. Ali GÜNGÖR
Prof. Dr. Mustafa ACAR
Doç. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR

ABSTRACT

PERFORMANCE INVESTIGATION OF SAVONIUS WIND ROTOR WITH CURTAINING METHOD

DEDA ALTAN, Burçin
Ph.D. Thesis in Mechanical Engineering
Supervisor : Prof. Dr. Mehmet ATILGAN

June 2006, 147 Pages

Energy demand is increasing with world population and developing industry with each passing day. For this reason, new and renewable energy sources are becoming important. The wind energy is also one of this renewable energy resources. Its application which is Savonius wind rotor has the low aerodynamic performance. But instead of they have some advantages compared with the other traditional wind rotors, until very close time they didn't get very much interest. Therefore, in the last years it was carried out some investigations and are still going on for increasing rotor performances.

In this study, it was constructed an artificial curtain devices in front of Savonius wind rotor to increase wind velocity, power and efficiency of the rotor and also to hinder the negative moment which was occurred on the convex surface of the rotor. First of all, some experimental works were carried out without curtain in the static condition of the rotor thereafter similar experiments were carried out in the rotating condition of the rotor; and then static and dynamic moments were measured in this conditions. As being used dynamic values of the measurements, it was calculated power and performance coefficient for every conditions. Besides Fluent 6.0 program was used for the Computational Fluid Dynamics (CFD) in the static case of the rotor in the same conditions.

As a result; it was seeing that the best result was obtained with the rotor which has the curtain device and also the performance coefficient is increased to about % 38. An important increase was obtained with the long curtain sizes while the small curtain application gave low performance. The positions of the both leafs of the curtain is important on the performance of the rotor. Best performance was obtained for the positions of $\alpha=45^{\circ}$ and $\beta=15^{\circ}$.

Keywords: Savonius wind rotor, Wind energy, Performance, Curtaining

Prof. Dr. Mehmet ATILGAN
Prof. Dr. Rasim KARABACAK
Prof. Dr. Ali GÜNGÖR
Prof. Dr. Mustafa ACAR
Assoc. Prof. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
Doktora Tezi Onay Formu	i
Bilimsel Etik Sayfası.....	ii
Teşekkür.....	iii
Özet	iv
Abstract.....	v
İçindekiler	vi
Şekiller Dizini	ix
Tablolar Dizini	xiii
Simge ve Kısaltmalar Dizini	xv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
3. RÜZGAR ENERJİSİ	12
3.1. Rüzgar Enerjisinin Üstünlükleri.....	13
3.2. Rüzgar Enerjisinin Uygulama Alanları	14
3.2.1. Rüzgar enerjisinin mekanik uygulamaları	14
3.2.2. Rüzgar enerjisinin elektriksel uygulamaları.....	14
3.2.3. Rüzgar enerjisinin ısı enerjisi uygulamaları	15
3.3. Rüzgar Enerjisinin Çevresel Etkileri.....	15
3.4. Rüzgar Çarklarının Sınıflandırılması	16
3.4.1. Yatay eksenli rüzgar çarkları	16
3.4.2. Düşey eksenli rüzgar çarkları.....	17
3.5. Rüzgar Çarklarının Güç ve Moment Hesapları.....	18
3.6. Rüzgar Çarklarının Performansı	22
4. SAVONIUS RÜZGAR ÇARKLARI.....	23
4.1. Savonius Rüzgar Çarklarının Üstünlükleri	24
4.2. Savonius Rüzgar Çarklarının Kullanım Alanları	25
4.3. Savonius Rüzgar Çarklarında Yaklaşık Güç ve Performans Hesapları	25
4.4. Savonius Rüzgar Çarklarında Perdelemenin Güç ve Performans Hesaplarına Etkisi	30
5. DENEYSEL YÖNTEM VE ÖLÇÜM CİHAZLARININ TANITIMI	34
5.1. Deneysel Çalışma.....	34
5.2. Deney Düzenegi	34
5.2.1. Savonius rüzgar çarkı imalatı.....	36
5.2.2. Perdelerin imalatı	38
5.2.3. Moment ölçme düzenegi imalatı	43
5.2.4. Hız ölçüm ağıının tasarlanması	44
5.3. Deneylerde Kullanılan Ölçüm Cihazlarının Tanıtılması.....	45

5.3.1. Çok fonksiyonlu anemometre	45
5.3.2. Moment ölçme cihazı	46
5.3.2.1. Moment ölçme cihazının kalibrasyonu	46
5.3.3. Takometre cihazı	47
5.4. Deneysel Çalışmanın Tanıtımı ve Yapılan Ölçümler	48
6. HAREKETSİZ VE HAREKETLİ ÇARK DURUMUNDA DENEYLERDEN ELDE EDİLEN DEĞERLER	50
6.1. Hareketsiz Çark Durumunda Deneylerden Elde Edilen Değerler.....	50
6.1.1. Perdesiz çark durumunda deneylerle elde edilen statik moment değerleri.....	50
6.1.2. Perdeli çark durumunda deneylerle elde edilen statik moment değerleri .	51
6.1.2.1. Çark konumu 90^0 iken yapılan deneyler ($\beta=10^0$).....	51
6.1.2.2. Çark konumu 60^0 iken yapılan deneyler ($\beta=10^0$).....	52
6.1.2.3. Çark konumu 45^0 iken yapılan deneyler ($\beta=10^0$).....	54
6.1.2.4. Çark konumu 90^0 iken yapılan deneyler ($\beta=15^0$).....	55
6.1.2.5. Çark konumu 60^0 iken yapılan deneyler ($\beta=15^0$).....	56
6.1.2.6. Çark konumu 45^0 iken yapılan deneyler ($\beta=15^0$).....	58
6.2. Hareketsiz Çark Durumunda $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ için Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	59
6.2.1. Çark konumu $\theta=90^0$ iken farklı perde durumlarındaki moment değişimlerinin karşılaştırılması	59
6.2.2. Çark konumu $\theta=60^0$ iken farklı perde durumlarındaki moment değişimlerinin karşılaştırılması	61
6.2.3. Çark konumu $\theta=45^0$ iken farklı perde durumlarındaki moment değişimlerinin karşılaştırılması	62
6.3. Hareketli Çark Durumunda Deneylerden Elde Edilen Değerler.....	64
6.3.1. Hesaplamalarda kullanılan rüzgar çarklarının güç ve performans denklemleri.....	64
6.3.2. Perdesiz çarktan elde edilen deney sonuçları.....	66
6.3.3. Perdeli çarktan elde edilen deney sonuçları	68
6.3.3.1. Perde 1 durumunda elde edilen deney sonuçları ($\beta=10^0$).....	69
6.3.3.2. Perde 2 durumunda elde edilen deney sonuçları ($\beta=10^0$).....	71
6.3.3.3. Perde 3 durumunda elde edilen deney sonuçları ($\beta=10^0$).....	74
6.3.3.4. Perde 1 durumunda elde edilen deney sonuçları ($\beta=15^0$).....	76
6.3.3.5. Perde 2 durumunda elde edilen deney sonuçları ($\beta=15^0$).....	79
6.3.3.6. Perde 3 durumunda elde edilen deney sonuçları ($\beta=15^0$).....	81
6.3.4. $\beta=10^0$ için perdesiz ve farklı perde durumlarındaki moment, güç ve güç katsayısı değişimlerinin karşılaştırılması	84
6.3.5. $\beta=15^0$ için perdesiz ve farklı perde durumlarındaki moment, güç ve güç katsayısı değişimlerinin karşılaştırılması	87
7. SAYISAL ÇÖZÜMDE KULLANILAN HESAPLAMA YÖNTEMİ	92
7.1. Fluent Programının Kullandığı Sayısal Yöntemler.....	92
7.1.1. Ayrık (ayrı ayrı) çözüm yöntemi (Segregated solver)	93
7.1.2. Birleştirilmiş (bir arada) çözüm yöntemi (Coupled solver)	93
7.2. Çözüm yöntemlerinin lineerleştirilmesi.....	94
7.2.1. Örtülü (implicit) lineerleştirme	94
7.2.2. Açık (explicit) lineerleştirme	94
7.3. Temel Denklemler.....	95
7.3.1. Akış alanı	95

7.3.2. Standart k-ε türbülans model denklemi.....	96
7.3.3. Matematiksel yüzey fonksiyonu	97
7.3.4. Hesaplama ve sınır koşulları	97
8. HAREKETSİZ ÇARK DURUMUNDA SAYISAL ÇÖZÜMLERDEN ELDE EDİLEN DEĞERLER	99
8.1. Perdesiz Çark Durumunda; Sayısal Çözümleme ile Bulunan Statik Moment Değerleri.....	99
8.2. Perdeli Çark Durumunda; Sayısal Çözümleme ile Bulunan Statik Moment Değerleri.....	102
8.2.1. Çark konumu $\theta=90^0$ iken elde edilen sayısal değerler ($\beta=10^0$).....	103
8.2.2. Çark konumu $\theta=60^0$ iken elde edilen sayısal değerler ($\beta=10^0$).....	106
8.2.3. Çark konumu $\theta=45^0$ iken elde edilen sayısal değerler ($\beta=10^0$).....	109
8.2.4. Çark konumu $\theta=90^0$ iken elde edilen sayısal değerler ($\beta=15^0$).....	112
8.2.5. Çark konumu $\theta=60^0$ iken elde edilen sayısal değerler ($\beta=15^0$).....	115
8.2.6. Çark konumu $\theta=45^0$ iken elde edilen sayısal değerler ($\beta=15^0$).....	118
8.3. Hareketsiz Çark Durumunda $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ için Sayısal Sonuçların Karşılaştırılması	121
8.3.1. Çark konumu $\theta=90^0$ iken, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ için; farklı perde durumlarında moment değişimlerinin karşılaştırılması.....	121
8.3.2. Çark konumu $\theta=60^0$ iken, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ için; farklı perde durumlarında moment değişimlerinin karşılaştırılması.....	123
8.3.3. Çark konumu $\theta=45^0$ iken, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ için; farklı perde durumlarında moment değişimlerinin karşılaştırılması.....	124
9. HAREKETSİZ ÇARK DURUMUNDA DENEYSSEL VE SAYISAL ÇÖZÜMLEME SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	126
9.1. Perdesiz Çark için Deneysel ve Sayısal Statik Moment Değerlerinin Karşılaştırılması	126
9.2. Perdeli Çark için Deneysel ve Sayısal Statik Moment Değerlerinin Karşılaştırılması	127
9.2.1. Çark konumu $\theta=90^0$ ve $\beta=10^0$ iken, deneysel ve sayısal değerlerin karşılaştırılması	127
9.2.2. Çark konumu $\theta=60^0$ ve $\beta=10^0$ iken, deneysel ve sayısal değerlerin karşılaştırılması	129
9.2.3. Çark konumu $\theta=45^0$ ve $\beta=10^0$ iken, deneysel ve sayısal değerlerin karşılaştırılması	130
9.2.4. Çark konumu $\theta=90^0$ ve $\beta=15^0$ iken, deneysel ve sayısal değerlerin karşılaştırılması	132
9.2.5. Çark konumu $\theta=60^0$ ve $\beta=15^0$ iken, deneysel ve sayısal değerlerin karşılaştırılması	133
9.2.6. Çark konumu $\theta=45^0$ ve $\beta=15^0$ iken, deneysel ve sayısal değerlerin karşılaştırılması	135
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	137
10.1. Sonuçlar.....	137
10.2. Öneriler	140
11. KAYNAKLAR	142
ÖZGEÇMİŞ	147

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Rüzgar çarklarının sınıflandırılması	16
Şekil 3.2 Bir rüzgar çarkında, çarkın önünde ve arkasında rüzgar hızının gösterimi	19
Şekil 4.1 Savonius rüzgar çarkı.....	23
Şekil 4.2 Çok katlı Savonius rüzgar çarkı.....	24
Şekil 4.3 Kepçeli kanatlı rüzgar çarklarındaki iç ve dış bükey yüzeylerdeki hızlar	26
Şekil 4.4 Savonius rüzgar çarkı tasarım parametreleri.....	29
Şekil 4.5 Savonius rüzgar çarkı önüne tasarlanan perde modeli.....	30
Şekil 4.6 Tasarlanan perdenin hesap modeli.....	31
Şekil 5.1 Deney düzeneğinin şematik gösterimi	34
Şekil 5.2 Savonius rüzgar çarkı deney düzeneği resmi.....	36
Şekil 5.3 Savonius rüzgar çarkı parametrelerinin gösterimi	37
Şekil 5.4 İmal edilen Savonius rüzgar çarkı.....	38
Şekil 5.5 Perde 1'in ölçüleri.....	39
Şekil 5.6 İmal edilen Perde 1'in görünüşü	40
Şekil 5.7 Perde 2'nin ölçüleri	40
Şekil 5.8 İmal edilen Perde 2'nin görünüşü	41
Şekil 5.9 Perde 3'ün ölçüleri.....	41
Şekil 5.10 İmal edilen Perde 3'ün görünüşü	42
Şekil 5.11 Moment ölçme düzeneği ölçüleri.....	43
Şekil 5.12 Moment ölçme düzeneği.....	43
Şekil 5.13 Hız ölçüm ağının ölçüleri.....	44
Şekil 5.14 Hız ölçüm ağı.....	44
Şekil 5.15 Testo 435 fonksiyonel anemometre	45
Şekil 5.16 IMADA HGT-10 moment ölçme cihazı.....	46
Şekil 5.17 Moment ölçme cihazının kalibrasyonu.....	47
Şekil 5.18 Testo 465 optik takometre cihazı.....	47
Şekil 5.19 Çark konumları (a) $\theta = 90^0$, (b) $\theta = 60^0$, (c) $\theta = 45^0$	48
Şekil 6.1 Çark konumu $\theta=45^0$, 60^0 ve 90^0 iken, perdesiz çark ile elde edilen statik moment değerleri	51
Şekil 6.2 Çark konumu $\theta=90^0$ iken, $\beta=10^0$ için α perde kanat açısına göre moment değişimi	52
Şekil 6.3 Çark konumu $\theta=60^0$ iken, $\beta=10^0$ için α perde kanat açısına göre moment değişimi.....	53
Şekil 6.4 Çark konumu $\theta=45^0$ iken, $\beta=10^0$ için α perde kanat açısına göre moment değişimi	55
Şekil 6.5 Çark konumu $\theta=90^0$ iken, $\beta=15^0$ için α perde kanat açısına göre moment değişimi	56
Şekil 6.6 Çark konumu $\theta=60^0$ iken, $\beta=15^0$ için α perde kanat açısına göre moment değişimi	57
Şekil 6.7 Çark konumu $\theta=45^0$ iken, $\beta=15^0$ için α perde kanat açısına göre moment değişimi.....	59

Şekil 6.8 Çark konumu $\theta=90^0$ iken, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ için α perde kanat açısına göre moment değişimi	60
Şekil 6.9 Çark konumu $\theta=60^0$ iken, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ için α perde kanat açısına göre moment değişimi	62
Şekil 6.10 Çark konumu $\theta=45^0$ iken, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ için α perde kanat açısına göre moment değişimi	63
Şekil 6.11 Deney düzeneğinde; rüzgar tüneli çıkışından, çarkın perdesiz ve perdeli durumunda hız ölçüm ağının konumu	65
Şekil 6.12 Perdesiz çark için $M=f(n)$ değişimi	67
Şekil 6.13 Perdesiz çark için $P=f(n)$ değişimi	68
Şekil 6.14 Perdesiz çark için $C_p=f(\lambda)$ değişimi	68
Şekil 6.15 Perde 1 için $M=f(n)$ değişimi ($\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$)	70
Şekil 6.16 Perde 1 için $P=f(n)$ değişimi ($\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$)	71
Şekil 6.17 Perde 1 için $C_p=f(\lambda)$ değişimi ($\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$)	71
Şekil 6.18 Perde 2 için $M=f(n)$ değişimi ($\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$)	73
Şekil 6.19 Perde 2 için $P=f(n)$ değişimi ($\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$)	73
Şekil 6.20 Perde 2 için $C_p=f(\lambda)$ değişimi ($\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$)	74
Şekil 6.21 Perde 3 için $M=f(n)$ değişimi ($\alpha=55^0$ ve $\beta=10^0$)	75
Şekil 6.22 Perde 3 için $P=f(n)$ değişimi ($\alpha=55^0$ ve $\beta=10^0$)	76
Şekil 6.23 Perde 3 için $C_p=f(\lambda)$ değişimi ($\alpha=55^0$ ve $\beta=10^0$)	76
Şekil 6.24 Perde 1 için $M=f(n)$ değişimi ($\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$)	78
Şekil 6.25 Perde 1 için $P=f(n)$ değişimi ($\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$)	78
Şekil 6.26 Perde 1 için $C_p=f(\lambda)$ değişimi ($\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$)	79
Şekil 6.27 Perde 2 için $M=f(n)$ değişimi ($\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$)	80
Şekil 6.28 Perde 2 için $P=f(n)$ değişimi ($\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$)	81
Şekil 6.29 Perde 2 için $C_p=f(\lambda)$ değişimi ($\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$)	81
Şekil 6.30 Perde 3 için $M=f(n)$ değişimi ($\alpha=50^0$ ve $\beta=15^0$)	83
Şekil 6.31 Perde 3 için $P=f(n)$ değişimi ($\alpha=50^0$ ve $\beta=15^0$)	83
Şekil 6.32 Perde 3 için $C_p=f(\lambda)$ değişimi ($\alpha=50^0$ ve $\beta=15^0$)	84
Şekil 6.33 Perdesiz çark ile $\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$ için farklı perde durumlarında, moment değişimlerinin karşılaştırılması	85
Şekil 6.34 Perdesiz çark ile $\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$ için farklı perde durumlarında, güç değişimlerinin karşılaştırılması	86
Şekil 6.35 Perdesiz çark ile $\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$ için farklı perde durumlarında, güç katsayısı değişimlerinin karşılaştırılması	87
Şekil 6.36 Perdesiz çark ile $\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$ için farklı perde durumlarında, moment değişimlerinin karşılaştırılması	88
Şekil 6.37 Perdesiz çark ile $\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$ için, farklı perde durumlarında, güç değişimlerinin karşılaştırılması	89
Şekil 6.38 Perdesiz çark ile $\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$ için, farklı perde durumlarında, güç katsayısı değişimlerinin karşılaştırılması	90
Şekil 7.1 Ayrık çözüm yöntemi	93
Şekil 7.2 Birleştirilmiş çözüm yöntemi	93
Şekil 8.1 Perdesiz çark durumunda çözüm için oluşturulan örnek ağ (mesh) şekli	100
Şekil 8.2 Perdesiz çark için, $\theta=45^0$ konumunda hız dağılımı	100
Şekil 8.3 Perdesiz çark için, $\theta=60^0$ konumunda hız dağılımı	101
Şekil 8.4 Perdesiz çark için, $\theta=90^0$ konumunda hız dağılımı	101
Şekil 8.5 Çark konumu $\theta=45^0$, 60^0 ve 90^0 iken, elde edilen statik moment değerleri ..	102

Şekil 8.6 Perdeli çark durumunda çözüm için oluşturulan örnek ağ (mesh) şekli.....	103
Şekil 8.7 Perde 1 için $\theta=90^0$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=50^0$, $\beta=10^0$).....	104
Şekil 8.8 Perde 2 için $\theta=90^0$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=55^0$, $\beta=10^0$).....	104
Şekil 8.9 Perde 3 için $\theta=90^0$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=60^0$, $\beta=10^0$).....	105
Şekil 8.10 Çark konumu $\theta=90^0$ iken, $\beta=10^0$ için α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, sayısal çözüm ile elde edilen moment değişimi.....	106
Şekil 8.11 Perde 1 için $\theta=60^0$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=50^0$, $\beta=10^0$).....	107
Şekil 8.12 Perde 2 için $\theta=60^0$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=50^0$, $\beta=10^0$).....	107
Şekil 8.13 Perde 3 için $\theta=60^0$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=55^0$, $\beta=10^0$).....	108
Şekil 8.14 Çark konumu $\theta=60^0$ iken, $\beta=10^0$ için, α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, sayısal çözümleme ile elde edilen moment değişimi.....	109
Şekil 8.15 Perde 1 için $\theta=45^0$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=45^0$, $\beta=10^0$).....	110
Şekil 8.16 Perde 2 için $\theta=45^0$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=45^0$, $\beta=10^0$).....	110
Şekil 8.17 Perde 3 için $\theta=45^0$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=30^0$, $\beta=10^0$).....	111
Şekil 8.18 Çark konumu $\theta=45^0$ iken, $\beta=10^0$ için α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, sayısal çözüm ile elde edilen moment değişimi.....	112
Şekil 8.19 Perde 1 için $\theta=90^0$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=45^0$, $\beta=15^0$).....	113
Şekil 8.20 Perde 2 için $\theta=90^0$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=50^0$, $\beta=15^0$).....	113
Şekil 8.21 Perde 3 için $\theta=90^0$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=60^0$, $\beta=15^0$).....	114
Şekil 8.22 Çark konumu $\theta=90^0$ iken, $\beta=15^0$ için α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, sayısal çözüm ile elde edilen moment değişimi.....	115
Şekil 8.23 Perde 1 için $\theta=60^0$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=45^0$, $\beta=15^0$).....	116
Şekil 8.24 Perde 2 için $\theta=60^0$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=45^0$, $\beta=15^0$).....	116
Şekil 8.25 Perde 3 için $\theta=60^0$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=50^0$, $\beta=15^0$).....	117
Şekil 8.26 Çark konumu $\theta=60^0$ iken, $\beta=15^0$ için α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, sayısal çözüm ile elde edilen moment değişimi.....	118
Şekil 8.27 Perde 1 için $\theta=45^0$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=40^0$, $\beta=15^0$).....	119
Şekil 8.28 Perde 2 için $\theta=45^0$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=40^0$, $\beta=15^0$).....	119
Şekil 8.29 Perde 3 için $\theta=45^0$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=30^0$, $\beta=15^0$).....	120
Şekil 8.30 Çark konumu $\theta=45^0$ iken, $\beta=15^0$ için α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, sayısal çözümleme ile elde edilen moment değişimi.....	121
Şekil 8.31 Çark konumu $\theta=90^0$ iken, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ için, sayısal çözümleme ile elde edilen moment değişimi.....	122
Şekil 8.32 Çark konumu $\theta=60^0$ iken, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ için, sayısal çözümleme ile elde edilen moment değişimi.....	124
Şekil 8.33 Çark konumu $\theta=45^0$ iken, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ için sayısal çözümleme ile elde edilen moment değişimi.....	125
Şekil 9.1 Çark konumu 45^0 , 60^0 ve 90^0 iken, perdesiz çarktan elde edilen statik moment değişimlerinin karşılaştırılması.....	127
Şekil 9.2 Çark konumu 90^0 iken, $\beta=10^0$ için α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, deney ve program ile elde edilen moment değişimi.....	128
Şekil 9.3 Çark konumu 60^0 iken, $\beta=10^0$ için α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, deney ve program ile elde edilen moment değişimi.....	130
Şekil 9.4 Çark konumu 45^0 iken, $\beta=10^0$ için α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, deney ve program ile elde edilen moment değişimi.....	131
Şekil 9.5 Çark konumu 90^0 iken, $\beta=15^0$ için α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, deney ve program ile elde edilen moment değişimi.....	133
Şekil 9.6 Çark konumu 60^0 iken, $\beta=15^0$ için α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, deney ve program ile elde edilen moment değişimi.....	134

Şekil 9.7 Çark konumu 45^0 iken, $\beta=15^0$ için α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, deney ve program ile elde edilen moment değişimi.....	136
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

TABLOLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 5.1 Perdelerin boyutları.....	39
Tablo 6.1 Çark konumu $\theta=45^0$, 60^0 ve 90^0 iken, deneysel olarak elde edilen statik moment değerleri.....	50
Tablo 6.2 Çark konumu $\theta=90^0$ iken, $\beta=10^0$ için farklı perde uzunluklarında deneylerden elde edilen statik moment değerleri.....	52
Tablo 6.3 Çark konumu $\theta=60^0$ iken, $\beta=10^0$ için farklı perde uzunluklarında deneylerden elde edilen statik moment değerleri.....	53
Tablo 6.4 Çark konumu $\theta=45^0$ iken, $\beta=10^0$ için farklı perde uzunluklarında deneylerden elde edilen statik moment değerleri.....	54
Tablo 6.5 Çark konumu $\theta=90^0$ iken, $\beta=15^0$ için farklı perde uzunluklarında deneylerden elde edilen statik moment değerleri.....	56
Tablo 6.6 Çark konumu $\theta=60^0$ iken, $\beta=15^0$ için farklı perde uzunluklarında deneylerden elde edilen statik moment değerleri.....	57
Tablo 6.7 Çark konumu $\theta=45^0$ iken, $\beta=15^0$ için farklı perde uzunluklarında deneylerden elde edilen statik moment değerleri.....	58
Tablo 6.8 Çark konumu $\theta=90^0$ iken, farklı perde uzunluklarında deneylerden elde edilen statik moment değerlerinin karşılaştırılması.....	60
Tablo 6.9 Çark konumu $\theta=60^0$ iken, farklı perde uzunluklarında deneylerden elde edilen statik moment değerlerinin karşılaştırılması.....	61
Tablo 6.10 Çark konumu $\theta=45^0$ iken, farklı perde uzunluklarında deneylerden elde edilen statik moment değerlerinin karşılaştırılması.....	63
Tablo 6.11 Perdesiz durumda; ölçülen devir sayısı ve dinamik moment değerleri ile hesaplanan performans değerleri.....	67
Tablo 6.12 Perde 1 durumunda ölçülen boşta devir sayıları ve durma moment değerleri ($\beta=10^0$).....	69
Tablo 6.13 Perde 1 durumunda ölçülen ve hesaplanan değerler ($\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$).....	70
Tablo 6.14 Perde 2 durumunda ölçülen boşta devir sayıları ve durma moment değerleri ($\beta=10^0$).....	72
Tablo 6.15 Perde 2 durumunda ölçülen ve hesaplanan değerler ($\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$).....	72
Tablo 6.16 Perde 3 durumunda ölçülen boşta devir sayıları ve durma moment değerleri ($\beta=10^0$).....	75
Tablo 6.17 Perde 3 durumunda ölçülen ve hesaplanan değerler ($\alpha=55^0$ ve $\beta=10^0$).....	75
Tablo 6.18 Perde 1 durumunda ölçülen boşta devir sayıları ve durma moment değerleri ($\beta=15^0$).....	77
Tablo 6.19 Perde 1 durumunda ölçülen ve hesaplanan değerler ($\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$).....	77
Tablo 6.20 Perde 2 durumunda ölçülen boşta devir sayıları ve durma moment değerleri ($\beta=15^0$).....	80
Tablo 6.21 Perde 2 durumunda ölçülen ve hesaplanan değerler ($\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$).....	80
Tablo 6.22 Perde 3 durumunda ölçülen boşta devir sayıları ve durma moment değerleri ($\beta=15^0$).....	82
Tablo 6.23 Perde 3 durumunda ölçülen ve hesaplanan değerler ($\alpha=50^0$ ve $\beta=15^0$).....	82

Tablo 6.24 Perdesiz çark ile $\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$ için farklı perde durumlarında, moment değişimlerinin karşılaştırılması	85
Tablo 6.25 Perdesiz çark ile $\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$ için farklı perde durumlarında, güç değişimlerinin karşılaştırılması	86
Tablo 6.26 Perdesiz çark ile $\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$ için farklı perde durumlarında, güç katsayısı değişimlerinin karşılaştırılması	87
Tablo 6.27 Perdesiz çark ile $\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$ için farklı perde durumlarında, moment değişimlerinin karşılaştırılması	88
Tablo 6.28 Perdesiz çark ile $\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$ için farklı perde durumlarında, güç değişimlerinin karşılaştırılması	89
Tablo 6.29 Perdesiz çark ile $\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$ için farklı perde durumlarında, güç katsayısı değişimlerinin karşılaştırılması	90
Tablo 8.1 Çark konumu 45^0 , 60^0 ve 90^0 iken, perdesiz çark için; sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerleri	102
Tablo 8.2 Çark konumu $\theta=90^0$ ve $\beta=10^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerleri	105
Tablo 8.3 Çark konumu $\theta=60^0$ ve $\beta=10^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerleri	108
Tablo 8.4 Çark konumu $\theta=45^0$ ve $\beta=10^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerleri	111
Tablo 8.5 Çark konumu $\theta=90^0$ ve $\beta=15^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerleri	114
Tablo 8.6 Çark konumu $\theta=60^0$ ve $\beta=15^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerleri	117
Tablo 8.7 Çark konumu $\theta=45^0$ ve $\beta=15^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerleri	120
Tablo 8.8 Çark konumu $\theta=90^0$, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerleri	122
Tablo 8.9 Çark konumu $\theta=60^0$, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerleri	123
Tablo 8.10 Çark konumu $\theta=45^0$, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerleri	125
Tablo 9.1 Çark konumu 45^0 , 60^0 ve 90^0 iken; perdesiz durumda, deneyden ve programdan elde edilen statik moment değerleri	126
Tablo 9.2 Çark konumu 90^0 , $\beta=10^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, deneyden ve programdan elde edilen statik moment değerleri	128
Tablo 9.3 Çark konumu 60^0 , $\beta=10^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, deneyden ve programdan elde edilen statik moment değerleri	129
Tablo 9.4 Çark konumu 45^0 , $\beta=10^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, deneyden ve programdan elde edilen statik moment değerleri	131
Tablo 9.5 Çark konumu 90^0 , $\beta=15^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, deneyden ve programdan elde edilen statik moment değerleri	132
Tablo 9.6 Çark konumu 60^0 , $\beta=15^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, deneyden ve programdan elde edilen statik moment değerleri	134
Tablo 9.7 Çark konumu 45^0 , $\beta=15^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, deneyden ve programdan elde edilen statik moment değerleri	135

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

C_p	Güç katsayısı
C_m	Moment katsayısı
λ	Uç hız oranı
ρ	Havanın yoğunluğu (kg/m^3)
ω	Açısal hız (rad/s)
F_r	Kuvvet (N)
G	Kayma oranı (%)
c_1	İç bükey yüzeyin direnç katsayısı
c_2	Dış bükey yüzeyin direnç katsayısı
V_r	Rüzgar hızı (m/s)
v	Çark hızı (m/s)
ΔT	Kinetik enerjinin değişimi (N.m/s)
T	Toplam kinetik enerji (N.m/s)
A_T	Çarkın süpürme alanı (m^2)
e	Kayma mesafesi (m)
d	Kanat çapı (m)
D	Çark çapı (m)
H	Çark yüksekliği (m)
α	Perdenin a kanadının yaptığı açı ($^\circ$)
β	Perdenin b kanadının yaptığı açı ($^\circ$)
θ	Çark konumu
z	Perdenin b kanadıyla çark arasındaki mesafe (m)
l	Perde uzunluğu (m)
A	Çarkın süpürme alanının dik kesit alanı (m^2)
R	Çark yarıçapı (m)
D_o	Kanat uç plakası çapı (m)
A_R	Çark çap yükseklik oranı
k	Türbülans kinetik enerjisi (m^2/s^2)
ε	Türbülans dağılma oranı
μ_t	Türbülans viskozitesi (N.s/m^2)
n	Devir sayısı (d/d)
U	Kanat uç hızı (m)
M_d	Dinamik moment (N.m)
P_r	Rüzgar gücü (W)
P_f	Çarktan elde edilen faydalı güç (W)
WISH	Wind and solar hybrid power system
SIMPLE	Semi-Implicit Methods for Pressure Linked Equations

1. GİRİŞ

Enerji, bir maddenin veya maddeler sisteminin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. İnsanlar; önce ısınmak için enerjiye ihtiyaç duymuşlar, sonra da teknolojinin gelişmesi ile enerjiye olan ihtiyaçları artmış ve hızla artmaya devam etmektedir. Dünyada hızla artan nüfusun ve gelişen teknolojinin karşısında açığa çıkan enerji ihtiyacının karşılanmasında, yıllardır kullanılan fosil enerji kaynaklarının hızla tükenmesi ve beraberinde getirdikleri çevresel sorunları yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını gündeme getirmiştir. Doğada mevcut olan güneş enerjisi kökenli bu enerji kaynakları, kullanıldıkça yenilenebilen yani tükenmeyen enerji kaynaklarıdır. Yeni olarak adlandırılan enerjilerin ortak özelliği, bunların yararlı enerjiye dönüştürdükleri doğal birinci kaynağın “yenilenebilir” özellikte olmasıdır ve bu kaynağın oluşturduğu enerji türleri aşağıdaki gibi kategorilere ayrılabilir:

- “Bir ısı dönüşümünden türeyen enerjiler”; jeotermal enerji, güneş enerjisi ve denizlerin yüzeyi ile dip kısımlarındaki sıcaklık farkından oluşan okyanusların ısı gücü.
- “Bir hareket dönüşümünden türeyen enerjiler”; rüzgar enerjisi, hidrolik enerji, gelgit enerjisi ve dalga enerjisi.
- “Bir madde yenilenmesinden türeyen enerjiler”; fotosentez yöntemiyle türeyen, bitkisel maddelerden elde edilen enerjiler.

Bu yenilenebilir enerji kaynakları arasında bulunan rüzgar enerjisinin, belirgin ve önemli bir yeri vardır. Rüzgar enerjisi; fosil yakıtların oluşturduğu asit yağmurlarına ve atmosferik kirlenmeye neden olmayan temiz bir enerji kaynağıdır. Elde edilen enerji maliyetinin giderek azalma eğiliminde olması, rüzgar enerjisini dünyada yükselen değerlerden biri konumuna getirmiştir. Rüzgar güç istasyonları, ekonomik açıdan bakıldığında; yatırım maliyeti yüksek, işletme ve onarım maliyeti düşük olan ve işletme sırasında hiç yakıt ihtiyacı duyulmayan tesislerdir. Çevre bakımından ele alındığında ise, termik ve nükleer santraller gibi geleneksel güç tesisleri ile karşılaştırıldığında, çevre kirliliğine yol açmayan bir güç kaynağı olarak ele alınabilir. Rüzgar enerjisi

sistemleri hızla geliştirilmek suretiyle vazgeçilmez bir enerji kaynağı olma yolunda önemli bir yol kat etmiştir.

Rüzgar enerjisi güç üretim tesislerinin fiyatı; teknolojideki gelişmeler, türbin fiyatlarındaki düşme ve verimin yükselmesine paralel olarak zaman içinde düşmüştür. Rüzgar güç istasyonlarının belki de en önemli parçası 'rüzgar çarkları' dır. Rüzgar enerjisi sistemlerinin geliştirilmesi ve rüzgar çarklarından daha yüksek verim elde etmek için çalışmalar sürdürülmekte olup; çok değişik rüzgar çarkı ve sistemleri tasarımı bu zaman sürecinde yapılmış, denenmiş ve kullanılmıştır.

Bu çalışmada; rüzgar enerjisinden daha iyi yararlanabilmek için, yüksek hızlı türbinler ve Darrieus tipi rüzgar türbinleri ile aerodinamik açıdan karşılaştırıldığında, düşük çark verimlerinden dolayı çok fazla kullanım alanı bulamayan Savonius rüzgar çarklarının performansının artırılması amaçlanmıştır. Bu sebeple Savonius rüzgar çarklarının düşük olan çark verimini ve dolayısıyla gücünü arttırmak için, çarkın önüne yerleştirilen, dış bükey kanat üzerinde oluşan negatif yöndeki momenti engelleyebilecek bir rüzgar perdesi yapılması düşünülmüştür. Düşük olan çark verimlerinin artırılması ile, konstrüksiyonları basit ve ucuz olan, düşük rüzgar hızlarında iyi başlangıç momentine sahip, Savonius rüzgar çarklarının kullanım alanlarının artması beklenmektedir. Böylelikle Savonius rüzgar çarkları, küçük güç ihtiyaçlarının ve özellikle kırsal kesimde elektrik enerjisi ihtiyaçlarının karşılanmasında ve sulamada daha fazla kullanım alanı bulabilecektir. Dünya nüfusunun her geçen gün artması ile ortaya çıkan enerji ihtiyacını gidermek için, halen yaşanan ve gelecekte daha da büyüyen enerji sıkıntısından dolayı büyük önem kazanacaktır. Bu nedenle Savonius rüzgar çarkları, üzerinde çalışılması gereken önemli bir konu olarak ele alınmalı ve araştırmalara devam edilmelidir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Ushiyama ve Nagai (1988); çalışmalarını Savonius rüzgar çarklarının optimum tasarım biçimleri ve performansları üzerine yaparak, optimum şekilleri belirlemek için çeşitli modelleri rüzgar tüneline denemişlerdir. Rotorun uç levhalarının olup olmasını, kepçe sayısını göz önüne alarak, akış ayrılması ile rotor etrafındaki akışı inceleyerek en yüksek güç ve momenti veren çark modelini belirlemişlerdir.

Fujisawa ve Shirai (1987); Savonius rüzgar çarkı etrafındaki akışı incelemişler ve buna göre; çark etrafındaki akışın, çark kanatlarının kayma oranı (e/d) 0 ile 0.15 aralığındayken kaymanın değişiminden az etkilendiğini belirlemişlerdir. Kaymanın etkisinin, çarkın merkezine yakın ve çark içindeki akış alanında daha çok etkin olabileceğinin düşünülmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Fujisawa ve Taguchi (1993), dönen ve sabit bir Savonius rüzgar çarkının içinde ve etrafındaki faz ortalamalı hız dağılımlarını koşullu örnekleme tekniği ile bir partikül görüntüleme hız ölçeri ile saptayarak, sonuçları kızgın tel dağılım resmi ile karşılaştırmışlardır. Hareketli kanadın konveks tarafındaki hız yayılımının gelişimi, akış ayrımı ile hareketli kanat üzerindeki akış yoğunlaşması etkisinin varlığını inceleyerek, kanat akış mekanizması üzerinde uç hız oranının etkisini tartışmışlardır.

Avşar vd. (2001) çalışmalarında, Savonius rüzgar çarkının Türkiye'deki uygulama örnekleri üzerine araştırma yapmışlardır. Afyon yöresinin rüzgar potansiyelini inceleyip, rüzgar potansiyeline göre Savonius rüzgar türbini tasarlayarak, imalatını yapmışlardır. Tasarladıkları türbinin, Afyon yöresinin rüzgar alan yüksek kesimlerinde ve etrafı açık olan ovalarda sorunsuz çalıştığını ve aküyü şarj ettiğini tespit etmişlerdir.

Modi vd. (1990), rüzgar enerjisinin sulama sisteminde kullanılmasını esas alarak yaptıkları Savonius rüzgar çarkı dizaynını, nümerik ve deneysel olarak yaptıkları çalışma ile incelemişlerdir.

Menet (2004) çalışmasında, sınırlı elektrik üretimi için küçük bir Savonius rüzgar çarkı prototipi dizaynı yaparak test etmiş ve geliştirmeye çalışmıştır. Yaptığı bu çarkın 0,29 güç katsayısı ile yüksek verimli çalışma gösterdiğini belirlemiştir.

Saha ve Rajkumar (2005), düşük güçlü rüzgar tüneline; kavislendirilmiş kanatlı Savonius rüzgar çarkını test ederek, geleneksel kanatlı Savonius rüzgar çarkı ile performanslarını karşılaştırmışlardır. Yapılan deneylerden kavislendirilmiş kanatlı çarkların geleneksel kanatlı çarklara göre güç katsayısının 0,14 civarında ve kendi kendine harekete başlama kabiliyetinin daha yüksek olduğunu bulmuşlardır.

Hayashi vd. (2004), Savonius rüzgar türbininin güç performanslarını artırmak için rüzgar tüneline yaptıkları çalışmalarında, tek katlı geleneksel Savonius rüzgar çarkı ile üç katlı Savonius rüzgar çarkının statik ve dinamik durumunda ölçümler yaparak güç performanslarını karşılaştırmışlardır. Bu çalışma ile; tek katlı çarkın güç katsayısının 0,18 ve üç katlı çarkın güç katsayısının 0,12 civarında olduğunu bulmuşlardır.

Modi ve Fernando (1989) yaptıkları çalışmalarında, Savonius rüzgar çarkının performansı üzerinde durmuşlardır. Savonius rüzgar çarkı performansı üzerine sistem parametrelerinin etkisini bir rüzgar türbini test programında belirlemişler ve %10-12 olarak belirlenen verimin %100 civarında bir artış gösterdiğini tespit etmişlerdir. Merkezi vorteks kavramını kullanarak bir akış dağılımı çalışması ile rotor performansını belirlemede yarı ampirik bir yaklaşım kullanmışlar ve kanat basınç verilerini elde etmişlerdir.

Ogawa vd. (1989), gerçekleştirdikleri çalışmada, esas itibariyle Savonius rüzgar çarkı tipindeki rüzgar türbini için döner hız kontrol sistemlerinin geliştirilmesi üzerinde durmuşlar ve Savonius rüzgar çarkının gücünü artırmak için saptırma levhası kullanmışlardır. Saptırma levhası optimum konuma yerleştirildiğinde, saptırma levhasız duruma göre çark gücünde % 30'luk bir artış sağlandığını ve rotorun momentinin, levha tam çarkın önüne yerleştirildiğinde sıfır olduğunu göstererek, geliştirilen sistem ile şiddetli rüzgarlarda rotorun durmasını sağlamışlardır.

Deda (2000); rüzgar enerjisinin önemini, dünyada ve Türkiye'deki potansiyelini, rüzgar çarklarının tiplerini, Savonius rüzgar çarklarının özelliklerini, üstünlüklerini, güç

hesaplamalarını araştırarak, Savonius tipi rüzgar çarklarının düşük olan aerodinamik performanslarını arttırmak için uygulanan perdenin performansa etkisini matematiksel olarak incelemiştir.

Deda vd. (2000) çalışmalarında, perde uygulanan Savonius rüzgar çarklarının güç performansına etkisini matematiksel olarak inceleyerek, perdesiz Savonius rüzgar çarklarıyla karşılaştırmalar yapmışlardır.

Aldoss ve Kotb (1988); Savonius rüzgar çarkı etrafındaki akışı deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışmada iki yarım dairesel kanadı olan bir Savonius rüzgar çarkının akış alanını, ayrılmış vorteks metodunu kullanarak nümerik olarak hesaplamışlardır. Nümerik olarak elde ettikleri sonuçları, benzer durumlar için bundan önce kullanılan gözleme tekniğinden elde edilen deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır.

Deda vd. (2001) çalışmalarında, perde uygulanan Savonius rüzgar çarklarının güç performansına etkisini, farklı kanat açılarında ve farklı perde giriş uzunluklarında, perdesiz Savonius rüzgar çarkına göre matematiksel olarak incelemiştir.

Fujisawa (1996) çeşitli kayma oranlarında; Savonius rüzgar çarkının içinde ve çevresindeki akış alanlarına, akış mekanizmasındaki kayma oranının etkisini incelemiştir. Faz ortalamalı hız dağılımını bir partikül resimleme hız ölçeri tarafından şartlandırılmış bir örnekleme tekniği ile yapmış ve sonuçları farklı bir vorteks yöntemi tarafından hesaplanan nümerik hesaplarla karşılaştırmıştır. Ölçülen hız dağılımının, açık olarak hem geçen akış üzerinde ve hem de rotorun çıkışında oluşan vorteks bölgesindeki etkiyi açık olarak gösterdiğini belirlemiştir.

Mojola ve Onazanya (1984), Savonius rüzgar çarkının güç üretim performansı üzerine, akış kayma gerilmesi ve daimi olmayan düzensiz akışların etkisini incelemiştir. Ölçmeleri iki tane daimi kayma gerilmeli akış ve doğal rüzgarla gerçekleştirmişler ve farklı dört kayma oranı kullanarak akış istikametindeki bir çok istasyonda çarkın hızını, momentin değerini ölçerek, akış hız profilini incelemiştir.

Fujisawa ve Gotoh (1994) bir Savonius rüzgar çarkının aerodinamik performansını; çeşitli çark açılarında ve uç hız oranlarında, kanat yüzeylerindeki basınç dağılımlarını ölçerek incelemişlerdir. Dönen çark üzerindeki basınç dağılımlarının duran kanatlara göre fark edilecek bir şekilde değiştiğini görmüşler ve hareketli kanatların konveks tarafında özellikle kanadın hareket eden cidarı tarafında alçak basıncın oluştuğu yerde bu olayın meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Atılğan ve Deda Altan (2004) yaptıkları çalışmada; Savonius rüzgar çarklarının performansının geliştirilmesi için çark önüne perde uygulama çalışmasını tanıtarak, çark performansını artırmak için başkaları tarafından yapılan çalışmaları inceleyip karşılaştırmasını yapmışlardır.

Alexander ve Holownia (1978) bir rüzgar tüneline 6-9 m/s rüzgar hızlarında bir çok Savonius rüzgar çarkı şekilleri üzerinde testler yaparak, kanat yükseklik oranı, kanat örtüşmesi ve aralığı, uç plakaları gibi değişkenleri test etmişlerdir. Genellikle düşük yükseklik oranlarında, uç plakasız çarklar için verim değerlerini oldukça küçük bulurken, büyük yükseklik oranları için optimum kanat şekilleri ile maksimum bir verim değeri elde etmişlerdir.

Aldoss (1984) yaptığı çalışmada; rotor kanatlarının rüzgara karşı geldiği durumlarda, rüzgar direncini düşürme fikrini kullanan, sallanan kanatlı Savonius tipi rüzgar türbini için güç arttırma yöntemini deneysel olarak incelemiştir. Sallanan kanatlı Savonius rüzgar çarkı ile geleneksel bir Savonius rüzgar çarkına göre optimum bir sallanma açısında güç artışına ulaşılabileceğini belirlemiştir.

Reupke ve Probert (1991) yaptıkları çalışmada; Savonius rüzgar çarkının çalışma etkinliğini arttırmak için türbin kanatlarının kavisli kısımlarının yerine bir sıra menteşelenmiş kanatçıklar yerleştirmişlerdir. Böylece kanatçıklar rüzgara doğru ilerlediğinde rüzgar basıncının etkisinde, otomatik olarak açılarak daha az akış direncinin elde edildiğini ve rüzgardan geriye geldiğinde yani kanatların güç kaybı esnasında tekrar otomatik olarak kapandığını tespit ederek, düzeltilmiş parçalı rotorlardan çok düşük uç hız oranlarında, klasik Savonius rüzgar çarklarından daha yüksek momentler elde edildiğini belirlemişlerdir.

Fujisawa ve Gotoh (1992a), Savonius rüzgar çarkı içindeki ve etrafındaki akışı; görüntüleme deneyleri ile incelemişlerdir. Dönme etkisini kanat yüzeylerindeki ölçülmüş basınç dağılımlarıyla karşılaştırarak, dönme etkisi ile kanat yüzeyleri üzerindeki akış ayrılma bölgelerinin oldukça düştüğünü gözlemleyerek, örtüşen kanatlar üzerindeki akışın dirençli akışkan yaklaşımı ile azaltıldığını belirlemişlerdir.

Aldoss ve Najjar (1985) çalışmalarında; Savonius rüzgar çarkının performansını, hem rüzgarın gerisinde hem de rüzgara doğru çark kanatlarının bir optimum açı ile geri doğru salınmasına izin vererek geliştirmişlerdir. Test edilen çarkın, rüzgara karşı ve rüzgardan uzaklaşan kanadının sırası ile 50 ve 13,5 derece açılar ile salınım yapması halinde, güç katsayısının % 23,5 arttığını belirlemişlerdir.

Massons vd. (1988) çalışmalarında; görüntü izleme yöntem analizlerini, statik bir Savonius rüzgar çarkı tarafından üretilen daimi olmayan ve daimi izlerin kronofotografik görüntülemelerinin sayısal analizlerine uygulamışlardır. Görüntü izleme yöntem tekniklerinin, düşey eksenli rüzgar makineleri tarafından meydana getirilen izleri yöneten mekanizmalar hakkında sayısal bilgileri elde etmek için uygun olduğunu göstermişlerdir.

Fujisawa (1992) yaptığı çalışmada; Savonius rüzgar çarklarının aerodinamik performansını ve akış alanlarını, dönen ve dönmeyen rotorların içindeki ve etrafındaki akış alanlarını gözlemleyerek, kanatlar üzerindeki basınçları ölçmüştür.

Modi vd. (1984) yaptıkları çalışmada; takriben beş dönümlük bir küçük çiftlik için esas alınan, uygun sulama sisteminde; dört kademeli bir Savonius rüzgar çarkının tasarım yaklaşımını açıklayarak, geniş bir rüzgar tüneli test programında, çarkın konstrüksiyonu için kanat geometrisi ve kanat yükseklik oranının optimum şeklini incelemişlerdir.

Tabassum ve Probert (1987) çalışmalarında; Bach tipi kanada sahip klasik bir Savonius rüzgar çarkının her bir parçasına dört kanatçık yerleştirerek, bu kanatçıkların rüzgara doğru hareket ettiğinde açılarak kanat üzerindeki direnci düşürdüğünü belirlemişlerdir. Bu sayede yaptıkları deneylerle, aynı geometriye sahip orijinal bir

çarkla karşılaştırdıklarında ortalama statik momentte, % 35'e varan bir artış elde etmişlerdir.

Gavalda vd. (1991) Savonius rüzgar çarkının direnç ve kaldırma katsayıları üzerine bir çalışmayı dört farklı Reynolds sayısı için yaparak, bu sonuçları dönen silindirlere karşılaştırmışlardır. Buldukları sonuçlarla, kayma oranı $e/d=1/6$ için, çarkın optimum güç ürettiğini göstermişlerdir.

Mojola (1985) çalışmasında; Savonius rüzgar çarkının saha koşullarında performans karakteristiğini incelemiştir. Test verilerini çarkın örtüşme oranının yedi farklı değerinin her biri için, rüzgar hızının geniş bir aralığında, çarkın hızı, momenti ve gücü olarak toplamıştır. Yaptığı deneylerle Savonius rüzgar çarkının tasarım kriterlerini elde etmiştir.

Ogawa (1984) yaptığı çalışmada; Savonius rüzgar çarkları etrafında ayrılmış akışın, iki boyutlu analizi için bir yöntem sunmuştur. Hesapları, tekillik yöntemi ve ayrılmış vorteks yöntemini birleştirerek yaparak, bu yöntemi duran ve dönen bir rotor etrafında akışların benzerliğine uygulayarak, moment ve güç katsayılarını hesaplamıştır. Elde edilen sonuçları, Sheldahl ve diğerleri tarafından sunulan deneysel sonuçlarla karşılaştırarak, teorik ve deneysel çalışmaların nicelik bakımından uyumunu belirlemiştir.

Benghrib vd. (1998), Savonius rüzgar çarkı kanadında vorteks oluşumunu incelemişler ve kronofotografik yöntemi kullanarak dönme periyodunun yarısı esnasında meydana gelen farklı olayları tanıtmışlardır. Rotorun merkezinden boya yayarak bir su kanalında izlerden bir film kaydedip kanadın her iki eğri tarafında farklı akış hareketlerini belirlemişlerdir.

Rabah ve Osawa (1996), Doğu Afrika'daki rüzgar kepçesi geometrisindeki ve çift katlı Savonius rotorunun verimi ile ilgili gelişmeleri, bir seri rüzgar tüneli ve saha testlerinde açıklamışlardır.

Modi (1993), ayrılmış vorteks yöntemine dayanarak hem sabit hem de dönen durumlar için bir Savonius rüzgar türbininin performans ve dalga hareketini belirlemek

için nümerik olarak çalışmıştır. Ayrıntılı bir parametrik çalışma zaman periyodu, başlatma ve dinamik moment, güç katsayısı, dalganın oluşumu ile ilgili temel bilgileri sağlamıştır.

Fujisawa ve Gotoh (1992b), Savonius rüzgar çarkının güç mekanizmasını; kanat üzerinde basınç ölçmeleri ile ve bir akış inceleme deneyi ile irdelemişler, düşük basınç bölgesinin; dönen bir rotorun güç üretmeye katkıda bulunan ilerleyen kanadının dış bükey tarafı üzerinde oluştuğunu göstermişlerdir.

Onai ve Ushiyama (1996), güneş ve rüzgar enerjisi arasındaki tamamlayıcı ilişkiyi göstermek için, WISH tipi rüzgar çarkını önermişlerdir. Bu rüzgar çarkının arazide sekiz ay çalışmasından sonra, güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi arasında tamamlayıcı bir ilişkinin var olduğunu belirlemişlerdir.

Gavalda vd. (1990) yaptıkları çalışmada; birleştirilmiş yeni bir tasarım Darrieus-Savonius rüzgar çarkı önererek, deneylerini yapmışlardır. Darrieus-Savonius rüzgar çarkının başlama moment ve güç katsayılarını inceleyerek maksimum güç katsayısını 0,35 olarak bulmuşlardır.

Kawamura vd. (2001) yaptıkları çalışmalarında; alan ayırma yöntemini kullanarak Savonius rüzgar çarkı etrafındaki akış alanını hesaplamışlar; moment katsayısı ve güç katsayısı gibi değerleri çeşitli uç hız oranları için yaptıkları deneylerle elde etmişlerdir.

Fernando ve Modi (1989) yaptıkları çalışmada; Savonius rüzgar türbininin performansını belirlemek için ayrılmış vorteks yöntemine dayanan bir matematik modeli ayrıntıları ile açıklamışlardır. Hem duran hem de dönen Savonius rüzgar çarkı durumları için, ayrılmış vorteks modeli kullanarak elde edilen sonuçları tartışmışlardır.

Aldoss ve Kotb (1991) yaptıkları çalışmada; duran bir Savonius rüzgar çarkı üzerinde akış alanı ve başlatma momenti üzerine ayrıntılı bilgileri sağlamak üzere ayrılmış vorteks yöntemini kullanmışlardır. Rüzgara karşı konulmuş çarkın konumunun normalini, kepçelerin üzerinde veya etrafındaki akış özelliklerini incelemek için seçmişlerdir.

Çolak vd. (2001) çalışmalarında; Savonius rüzgar türbini modeli yaparak ve hız artırıcı bir lüle tasarlayarak, aynı rüzgar türbininin lüleli ve lülesiz konumda, performans katsayılarının karşılaştırmasını yapmışlar ve test çalışmasının sonucunda, lüleli türbin modelinin daha verimli olduğunu göstermişlerdir.

Kayansayan (1992) yaptığı çalışmada; bir mekanik atölyede imalatı yapılabilecek tarzda, Savonius rüzgar çarkı tasarımında basitleştirmeler yaparak; 2,4 m yükseklikte iki katlı ve türbin kesit alanı 3,288 m² olarak imal edilen prototip çarkı, 6 m yüksekliğinde çelik kuleye monte ederek açık sahada performans deneylerini tamamlamıştır. Güç katsayısının rotor uç hız oranına göre değişimini saptayarak; 0,7'lik çevresel hız oranında, maksimum güç katsayısının 0,15 olduğunu belirlemiştir.

Saha vd. (2005) yaptıkları çalışmada; Savonius rüzgar çarkı kanatlarında bazı tasarım değişiklikleri yaparak, kırsal alanlardaki küçük ölçekli güç gereksinimlerinin olduğu bölgelerde yararlı hale getirmek için çalışmışlardır. Bunun için bükülmüş bambu kanatlı Savonius rüzgar çarkı imalatı yapmışlar ve bu çarkı daha önce yapılmış olan bükülmüş metalik kanatlı çarklar ile karşılaştırmışlardır.

Mganilva (2002) çalışmasında; Savonius rüzgar çarkına, ayrılma oranı, kayma oranı, kanatların kesit profili gibi tasarım parametrelerinin etkisini, iki kanatlı ve iki katlı Savonius rüzgar çarkını test ederek incelemiştir.

Ishimatsu vd. (2002) çalışmalarında; klasik Savonius rüzgar çarkları ile Bach tipi kanatlı Savonius rüzgar çarklarının performanslarını, nümerik olarak karşılaştırmışlardır.

Blackwell vd. (1977) yaptıkları çalışmalarında; Savonius rüzgar çarkının aerodinamik performansına karar vermek için, rüzgar tüneline çeşitli parametrelerde on beş farklı tasarım deneyerek, dönme hızlarını ve moment değerlerini ölçmüşlerdir.

Grinspan vd. (2001) çalışmalarında; üç kanatlı Savonius rüzgar çark tasarımını geliştirmek için iki farklı kanat şekline sahip, airofil tip ve bükülmüş tip kanatlı çarkları, yaptıkları deneylerle test etmişlerdir.

Percival vd. (2004) alışmalarında; ev için elektrik üretiminde kullanılmak üzere Savonius rüzgar türbini yapmışlardır. Tasarlanan Savonius rüzgar türbininin yapım aşamasını anlatarak, türbinin inşa edileceği yeri seçmişler ve türbini kurarak, test etmişler ve güç katsayısı değerini 0,25 civarında bulmuşlardır.

3. RÜZGAR ENERJİSİ

Rüzgar enerjisi; kaynağı güneş olan, çok eski çağlardan beri bilinen ve kullanılan enerji kaynaklarından birisidir. Rüzgarlar, yeryüzündeki farklı güneş ışınımı dağılımının neden olduğu basınç ve sıcaklık farklarının dengelenmesiyle oluşan hava akımlarıdır. Yeryüzü kabuğunun homojen olarak ısınma ve soğuma davranışı göstermemesi nedeniyle, büyük hava kütlelerinin hareket etmesine rüzgar denir. Rüzgarlar, sürekliliklerine göre bütün bir yıl boyunca esen sürekli rüzgarlar ve belli zamanlarda esen süreksiz rüzgarlar olarak iki grupta incelenebilir (Özdamar 2000).

Dünya nüfusunun hızla artması ile ortaya çıkan enerji ihtiyacının karşılanmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının büyük önem kazanması sonucunda, rüzgar enerjisi sistemleri zaman içerisinde önem kazanarak hızla gelişmiştir. Rüzgar enerjisindeki hızlı gelişimin önemli nedeni; bu kaynağın çevre dostu, temiz ve dışa bağımlı olmayan bir kaynak oluşudur. Geleneksel güç santrallerinin çevrede yarattığı asit yağmurları, petrol sızıntıları ve iklim değişikliğine etkilerinin yanında, rüzgar enerjisinin bu gibi çevresel etkilerinin olmaması en büyük avantajıdır. Rüzgar enerjisinin tek dezavantajı süreksizliği ve depolanma zorluğudur.

Rüzgar enerjisi; özellikle kırsal alanlarda, elektrik üretimi ve sulama amaçlı tarımsal alanlarda kullanılmıştır. En eski rüzgar çarkları, M.Ö. 3000 yıllarında Mısır'da, İskenderiye yakınlarında kurulmuş ve Nil vadisinde toprakların sulanmasında kullanılmıştır. Rüzgar çarkları, Ortaçağda 11. Yüzyılda Ortadoğu'da çok yaygın bir şekilde kullanılmış ve Avrupa'ya, ilk defa 13. Yüzyılda Haçlı seferleri esnasında Anadolu'dan götürülmüştür. 17. Yüzyılda Hollanda'da gemi ve yel değirmenlerinde uygulanmasıyla, bu ülkenin dünyanın gelişmiş endüstriyel ülkesi haline gelmesine katkı sağlamıştır. Başlangıçta genellikle su pompalama, tahıl öğütme gibi amaçlar için küçük çapta imal edilen rüzgar çarklarından ilk defa elektrik enerjisi üretimi, 1890'da Danimarka'da Paul La Cour adındaki bir Fransız tarafından 9 kW'lık iki tane jeneratörün çalıştırılmasıyla başlamıştır (Eldridge 1980).

1941 yılında Palmer C. Putnam isimli bir Amerikalı mühendis, Amerika Birleşik Devletleri'nde Smith–Putnam adıyla bilinen ilk büyük rüzgar jeneratörünü tasarlayarak imal etmiştir. İngiltere'de 1940'lı yılların sonlarında ve 1950'li yıllarda, rüzgar gücünden yararlanarak elektrik üretmede önemli çalışmalar yapılmıştır (Eldridge 1980).

Fransızlar, 1958 ile 1960 yılları arasında bir çok rüzgar jeneratörü kurup çalıştırmışlardır. Almanya'da rüzgar çarkları ile ilgili çalışmalar 1950-1960 yılları arasında Hutter tarafından yapılmıştır.

Fosil enerji kaynaklarının azalması, petrol fiyatının hızla artması ve enerji ihtiyacının her geçen gün büyümesi sonucunda, rüzgar enerjisinden yararlanmak için bir çok ülkede çalışmalar yapılmış ve hala bu çalışmalar devam etmektedir. Rüzgar enerjisinden yararlanarak elektrik enerjisini üretilip, enerji ihtiyacını karşılamak için çalışmalar yapan ülkeler arasında Rusya, İsveç, Kanada, Almanya, Fransa, Danimarka, İngiltere, Hollanda, Amerika Birleşik Devletleri yer almaktadır. Bu arada ülkemizde de bu konuda çalışmalar sürdürülmekte; Çeşme Alaçatı ve Germiyan'da ve aynı zamanda Bozcaada da modern rüzgar tesisleri kurulmuş ve enerji üretmektedir.

Rüzgar enerjisi üzerine yapılan bu çalışmalar sonucunda; 2006 yılı için yapılan projeksiyonlardan, dünyadaki tüm rüzgar enerjisi kurulu gücünün 79 363 MW olacağı düşünülmektedir. Burada en büyük katkının, 54 067 MW ile Avrupa kıtasından geleceği varsayılmıştır. Ayrıca 2011 yılı için yapılan daha ileri projeksiyonlardan ise, toplam gücün 179 392 MW olacağı düşünülmektedir (Özerdem 2003).

3.1. Rüzgar Enerjisinin Üstünlükleri

Temiz bir enerji kaynağı olarak bilinen ve yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde önemli bir yere sahip olan rüzgar enerjisinin bir çok üstünlüğü bulunmaktadır ve bu üstünlükler şu şekilde sıralanabilir:

1. Rüzgar enerjisi, tükenmeyen ve bedava bir enerji kaynağıdır. Zaman içerisinde tükenme ve fiyatının artma riski yoktur.
2. Rüzgar enerjisi, kirlilik yaratmayan ve çevreye çok az zarar veren, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Çevreyi ve atmosferi kirletmez.

3. Fosil enerji kaynaklarının tükenme sürecini azaltır.
4. Yerli kaynak kullanıldığından, dışa bağımlılığı yoktur.
5. Dönüştürme teknikleri kolaydır.
6. Rüzgar hava hareketi ile oluştuğu için, enerjinin iletim sorunu yoktur.
7. Gelişen aerodinamik malzeme ve konstrüksiyon teknikleriyle, rüzgar enerjisi çevrim sistemlerinin yaygın kullanım olanakları vardır.
8. Gelişen teknoloji ile birlikte, enerji birim maliyetleri düşmektedir.

3.2. Rüzgar Enerjisinin Uygulama Alanları

Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri; diğer enerji kaynakları arasında dönüştürme tekniklerinin basit, işletim ve bakımının kolay olması nedeniyle önemli bir yere sahiptir. Rüzgar enerjisinden, dönüştürücüler vasıtasıyla aşağıdaki şekillerde yararlanmak mümkündür:

3.2.1. Rüzgar enerjisinin mekanik uygulamaları

Rüzgar enerjisi mekanik enerjiye çevrilerek, özellikle tarımsal alanlarda sulama ve su temini için su pompalamasında yaygın olarak kullanılır. Ayrıca, rüzgar enerjisi mekanik olarak su pompalamasının dışında; çiftliklerde hayvanların su ihtiyacının karşılanmasında, arazi ve bataklık gibi alanların kurutulmasında ve evsel kullanım için iyi bir alternatif enerji kaynağıdır.

3.2.2. Rüzgar enerjisinin elektriksel uygulamaları

Rüzgar enerjisi, kırsal alanda elektrik enerjisinin üretiminin yanında ulusal elektrik şebekesini beslemek için kullanılmaktadır. Özellikle elektrik şebekesinin ulaşamadığı uzak yerleşim merkezlerinde, kırsal alanlarda, adalarda, ormanlık ve dağlık bölgelerde kurulmuş iletişim birimlerinde, yangın gözetleme kulelerinde, çiftliklerde, dağ evlerinde ve deniz fenerleri gibi elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan yerlerde, rüzgar enerjisinden yararlanılmaktadır.

3.2.3. Rüzgar enerjisinin ısı enerjisi uygulamaları

Rüzgar enerjisinden elde edilen mekanik enerjinin, ısı enerjisiye dönüştürüldüğü sistemlerdir. Tankta suyun ısıtılmasıyla enerji depolayan bu sistemler, yerel ısıtma, kurutma, sıcak su hazırlama amaçlarına yönelik olarak kullanılabilirler.

3.3. Rüzgar Enerjisinin Çevresel Etkileri

Rüzgar enerjisi çevresel açıdan çok sorun oluşturmayan bir enerji türüdür. Termik ve nükleer santraller gibi geleneksel güç tesisleri ile karşılaştırıldığında, çevre kirliliğine yol açmayan bir güç kaynağı olarak ele alınabilir.

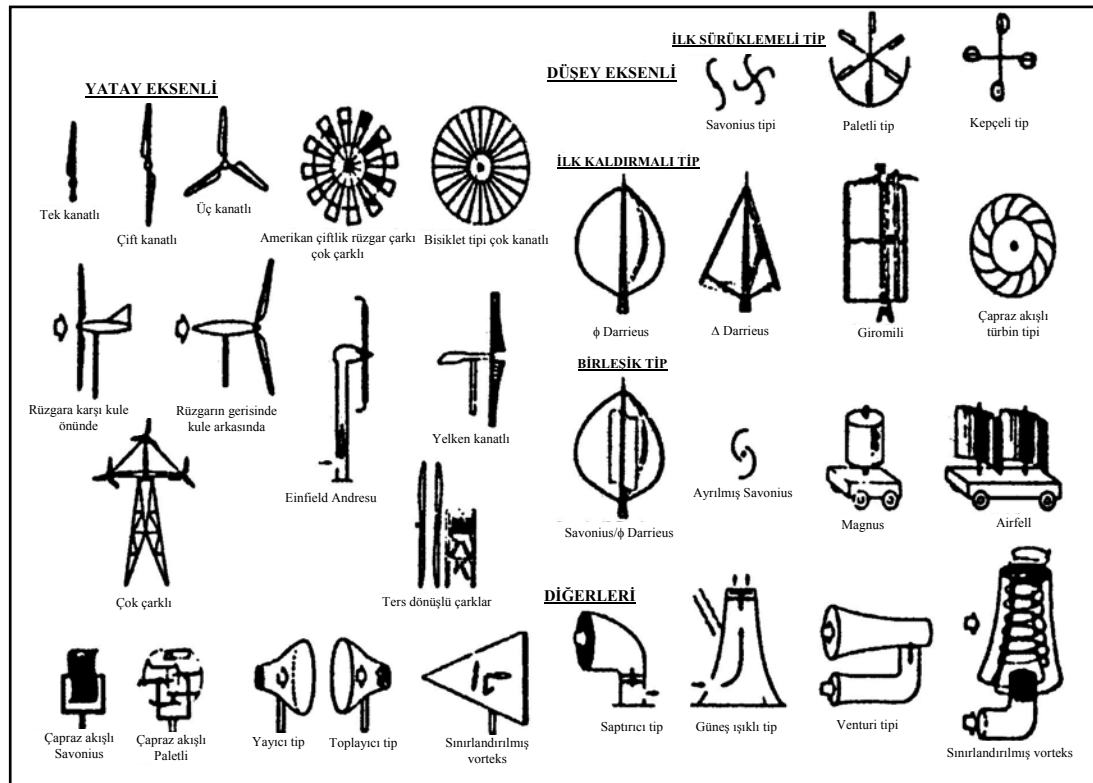
Rüzgar enerjisi sistemlerinden kaynaklanabilecek çevresel etkiler; genellikle yöresel boyutlarda olup, uygun önlemler ile en az düzeye indirilebilecek niteliktedir. Ayrıca kömür ve fosil yakıtların kullanılması sonucu oluşabilecek çevresel etkilerle karşılaştırıldığında, rüzgar enerjisinden kaynaklanan çevresel sorunlar oldukça önemsiz kalmaktadır.

Rüzgar enerjisi tesisleri gürültü ve görüntü kirliliği oluşturabilir; ancak bu tesisler, yerleşim merkezlerinden uzakta inşa edildiklerinde büyük bir sorun yaratmazlar. Rüzgar enerjisi sistemlerinin, tasarımı ve yer seçimi sırasında estetik faktörler göz önüne alınırsa, bu tür sorunlar en aza indirilebilir. Gürültü kirliliği ve görsel kirlilik, kişiye bağlı olarak değişen unsurlardır. Yapılan çalışmaların sonucunda, rüzgar enerjisi sistemlerinin oluşturduğu işitilebilir gürültünün, büyük çevresel etki göstermediği belirlenmiştir.

Büyük rüzgar tarlaları tesis edilirken; bağlantı yolları, kablo çekimi ve su deposu kurma gibi nedenlerle toprağın bozulması sonucu, bölgedeki bitki ve hayvan topluluğu etkilenebilir. Ancak, rüzgar tarlasının montaj süresi, konvansiyonel güç santrallerine oranla çok kısadır. Tesis kurulduktan sonra, arazi çok kısa bir sürede yeniden tarıma elverişli konuma getirilebilir.

3.4. Rüzgar Çarklarının Sınıflandırılması

Rüzgar çarkları; dönme eksenlerine göre, yatay eksenli ve düşey eksenli olarak iki sınıfa ayrılır. Ayrıca bu rüzgar çarklarının diğer yapısal özellikleri göz önüne alındığında, kendi aralarında çeşitli alt sınıflara ayırmak mümkündür. Şekil 3.1’de rüzgar çarklarının sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Rüzgar çarklarının sınıflandırılması (Eldridge 1980)

3.4.1. Yatay eksenli rüzgar çarkları

Yatay eksenli rüzgar çarklarının dönme eksenleri, rüzgar yönüne paralel ve kanatları rüzgar yönüne diktir. Çark, yatay bir eksen etrafında dönmesi nedeniyle bu isimle adlandırılır ve rüzgarı en uygun biçimde alabilecek durumda, kule eksenli etrafında dönebilecek şekilde yataklanarak yerleştirilmiştir. Yatay eksenli rüzgar çarklarının büyük çoğunluğu, rüzgarı önden alacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca çarkı kulenin gerisinde olan rüzgar çarkları da mevcut olup, yaygın bir kullanım alanına sahip değildir. Bu çarklarda yönlendirme dümenine gerek yoktur. Rüzgar geliş açısına göre

tasarlanmış küçük üniteler için bir kuyruk dümen kanadı kullanılır. Büyük sistemlerde yönlendirme, genellikle servo mekanizmaları ile yapılır. Yatay eksenli rüzgar çarklarının sınıflandırılması aşağıdaki gibidir:

A. Klasik yatay eksenli rüzgar çarkları

1. Döner çatılı rüzgar çarkları
2. Döner kafesli rüzgar çarkları

B. Düşük hızlı rüzgar çarkları

C. Yüksek hızlı rüzgar çarkları

D. Diğer yatay eksenli rüzgar çarkları

1. Difüzörlü rüzgar çarkları
2. Tornado sistemli rüzgar çarkları
3. Dinamik indüktörlü rüzgar çarkları
4. Kepeçli rüzgar çarkları
5. Diskli rüzgar çarkları

3.4.2. Düşey eksenli rüzgar çarkları

En eski tip olarak bilinen düşey eksenli rüzgar çarkları, dönme eksenleri düşey ve rüzgara dik konumda çalışırlar. Bu tip rüzgar çarklarında, kanatların yüzeylerine gelen itme kuvveti farkı nedeni ile dönme hareketi oluşur. Modern düşey eksenli rüzgar çarkları üzerindeki ilk çalışmalar, Savonius ve Darrieus tarafından yapılmıştır. Daha sonra her iki rüzgar çarkı tipinin mahsurlarını gidermek için, birleşik Savonius–Darrieus rüzgar çarkları geliştirilmiştir. Düşey eksenli rüzgar çarklarının önemli ve geliştirilmiş tipleri şu şekilde sınıflandırılabilir:

A. Sürükleme kuvveti ile çalışan rüzgar çarkları

1. Savonius tipi rüzgar çarkları
 - a. Tek kanatlı
 - b. Çok kanatlı
2. Lafond tipi rüzgar çarkları

3. Panemone tipi rüzgar çarkları

B. Kaldırma kuvveti ile çalışan rüzgar çarkları

1. Darrieus tipi rüzgar çarkları

- a. Silindirik tip
- b. Konik tip
- c. Parabolik tip

C. Sürükleme–Kaldırma tipi rüzgar çarkları (Birleşik Tip)

1. Birleştirilmiş Savonius–Darrieus çarkları

D. Diğer düşey eksenli rüzgar çarkları

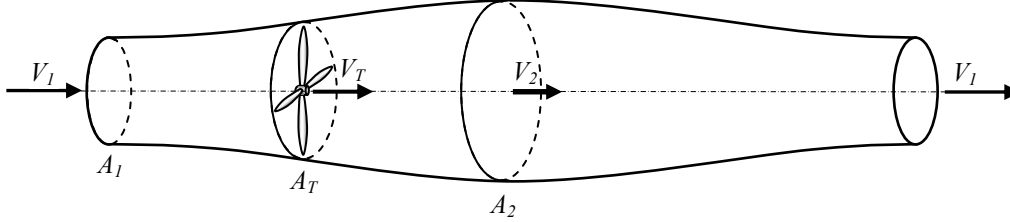
1. Döner bantlı çarklar
2. Salınlı çarklar
3. Kafesli çarklar
4. Oynar kanatlı çarklar
5. Döner kanatlı çarklar
6. Koruyuculu çarklar

3.5. Rüzgar Çarklarının Güç ve Moment Hesapları

Rüzgar çarkları ile ilgili ilk teorik çalışma, Göttingen Üniversitesinde A. Betz tarafından yapılmıştır. Betz; rüzgar çarkının, göbeksiz ve sonsuz kanatlı olduğunu yada diğer bir ifadeyle ideal olduğunu varsayarak hesaplarını yapmıştır. Betz'in teorisine göre, rüzgar çarklarının güç ve performans hesapları aşağıda açıklanmıştır (Le Gouieres 1982).

Şekil 3.2'de görüldüğü gibi; çarkın önünde ve çarktan yeteri kadar uzaktaki serbest rüzgar hızı $V_1 = V_r$ dır. Kanada yaklaştıkça rüzgar hızı azalarak, enerjinin bir kısmını rüzgar çarkına bıraktıktan sonra yoluna devam edecek ve çarkın arkasında V_2 gibi minimum bir değere ulaşacaktır. Daha sonra rüzgar çarktan yeteri kadar uzaklaştıktan sonra tekrar $V_1 = V_r$ serbest rüzgar hızına erişecektir. Rüzgar çarkı tarafından mekanik

enerjinin üretimi, ancak havanın kinetik enerjisinin azaltılması ile mümkündür. Bu durumda V_2 hızının V_1 hızından daha düşük olması gerekir. Sonuç olarak, A_1 kesit alanı, A_2 kesit alanından küçüktür.



Şekil 3.2 Bir rüzgar çarkında, çarkın önünde ve arkasında rüzgar hızının gösterimi

Havanın sıkıştırılmayacağı varsayılırsa süreklilik denkleminde;

$$V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 = V_T \cdot A_T \quad (3.1)$$

olarak bulunur. Rüzgar tarafından; rüzgar çarkına uygulanan kuvvet, Euler hareket miktarı teoremine göre verilir ve aşağıdaki denkleme eşittir;

$$F_r = \rho \cdot A_T \cdot V_T \cdot (V_1 - V_2) \quad (3.2)$$

Böylece çark kanatları tarafından yutulan güç;

$$P_r = F_r \cdot V_T = \rho \cdot A_T \cdot V_T \cdot (V_1 - V_2) \cdot V_T = \rho \cdot A_T \cdot V_T^2 \cdot (V_1 - V_2) \quad (3.3)$$

olarak bulunur.

Bu enerji, rüzgarın kinetik enerjisinden alınmıştır. Hava akımı yönünde kinetik enerjinin değişimi;

$$\Delta T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_T \cdot V_T \cdot (V_1^2 - V_2^2) \quad (3.4)$$

olur.

(3.3) ve (3.4) denklemlerini eşitlemek suretiyle;

$$V_T = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (3.5)$$

olarak elde edilir.

Böylece çarka uygulanan kuvvet ve sağlanan güç; yukarıda verilen denklemlerin tekrar düzenlenmesiyle aşağıda ifade edildiği gibi bulunur. Buna göre uygulanan kuvvet;

$$F_r = \rho \cdot A_T \cdot V_T \cdot (V_1 - V_2) = \rho \cdot A_T \cdot \frac{V_1 + V_2}{2} \cdot (V_1 - V_2) \quad (3.6)$$

$$F_r = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_T \cdot (V_1^2 - V_2^2) \quad (3.7)$$

şeklinde elde edilir. Buradan güç ifadesi de;

$$P_r = \rho \cdot A_T \cdot V_T^2 \cdot (V_1 - V_2) = \rho \cdot A_T \cdot \frac{(V_1 + V_2)^2}{4} \cdot (V_1 - V_2) \quad (3.8)$$

$$P_r = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A_T \cdot (V_1^2 - V_2^2) \cdot (V_1 + V_2) \quad (3.9)$$

olarak elde edilir.

Sabit bir $V_1 = V_r$ rüzgar hızı için, V_2 hızının hangi değerlerinde maksimum güç elde edilebileceğini belirlemek için, güç ifadesinin V_2 hızına göre türevi alınır;

$$\frac{dP_r}{dV_2} = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A_T \cdot (V_1 + V_2) \cdot (V_1 - 3V_2) \quad (3.10)$$

$$\frac{dP_r}{dV_2} = 0, \text{ eşitliğin iki çözümü vardır.}$$

Birinci çözüm; $V_2 = -V_1$ şeklinde elde edilir. Fiziksel bir anlamı yoktur.

İkinci çözüm; $V_2 = \frac{V_1}{3}$ şeklinde elde edilir ve maksimum gücün elde edildiği değeri verir.

Buna göre güç ifadesinde $V_2 = \frac{V_1}{3}$ değeri yerine konulduğunda, maksimum gücü veren ifade şu şekilde elde edilebilir:

$$P_{r_{\max}} = \frac{8}{27} \cdot \rho \cdot A_T \cdot V_1^3 \quad (3.11)$$

Burada;

$P_{r_{\max}}$: Güç (W)

ρ : Havanın yoğunluğu (kg/m^3)

V_1 : Rüzgarın hızı (m/s)

A_T : Çarkın süpürme alanı (m^2) dır.

V_1 hızındaki rüzgarın A_T alanını geçerken, birim zamanda sahip olduğu toplam kinetik enerjisi ;

$$T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_1 \cdot A_T \cdot V_1^2 \quad (3.12)$$

$$T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_T \cdot V_1^3 \quad (3.13)$$

şeklinde elde edilir.

Burada (3.11) ve (3.13) denklemleri taraf tarafa bölündüğünde;

$$\frac{P_{r_{\max}}}{T} = \frac{\frac{8}{27} \cdot \rho \cdot A_T \cdot V_1^3}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_T \cdot V_1^3} = \frac{16}{27} = 0.5926 \quad \text{olarak Betz Limiti adı verilen değer elde edilir}$$

(Le Gourieres 1982).

Buradan; bir rüzgar çarkı ile ideal bir şekilde enerji alınabilmesi halinde, ancak mevcut kullanılmaya hazır enerjinin $\frac{16}{27} = 0.5926$ kadarının teorik olarak faydalı enerji haline dönüştürülebileceği anlaşılmaktadır.

3.6. Rüzgar Çarklarının Performansı

Rüzgar çarklarının performansı, moment ve güç katsayılarıyla belirlenir. Buna göre rüzgar çarklarına ait;

Güç Katsayısı; $C_p = \text{Faydalı çıkış gücü} / \text{Rüzgar gücü}$

$$C_p = \frac{P_f}{P_r} = \frac{P_f}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_r \cdot V_1^3} \quad (3.14)$$

P_f : Faydalı güç (W)

Moment Katsayısı; $C_m = \text{Faydalı moment} / \text{Rüzgar kuvvetinin oluşturduğu moment}$

$$C_m = \frac{M_f}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_r \cdot V_1^2 \cdot R} \quad (3.15)$$

M_f : Faydalı döndürme momenti (N.m)

Rüzgar çarklarının performans katsayıları, kanadın hızının bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Bu da; uç hız oranı olarak adlandırılır ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

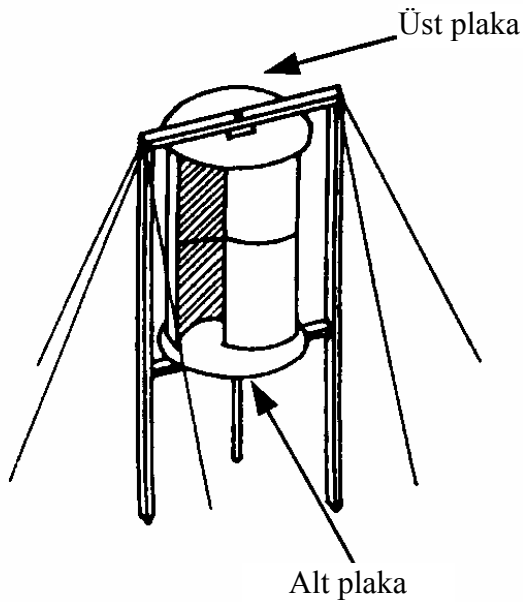
$\lambda_0 = \text{Kanat uç hızı} / \text{Rüzgar hızı}$

$$\lambda_0 = \frac{U}{V_1} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot n}{60 \cdot V_1} = \frac{\pi \cdot R \cdot n}{30 \cdot V_1} \quad (3.16)$$

R : Çark yarıçapı (m)

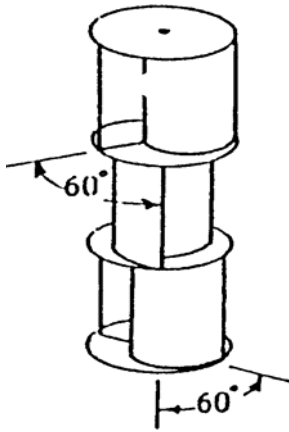
4. SAVONIUS RÜZGAR ÇARKLARI

Savonius rüzgar çarkı; düşey eksenli bir rüzgar çarkı olup, 1925 yılında Finlandiya'lı bir mühendis olan Sigurd Savonius tarafından keşfedilmiştir (Ushiyama ve Nagai 1988). Savonius rüzgar çarkı, iki yatay disk arasında yerleştirilmiş ve merkezleri birbirlerine göre simetrik olarak kaydırılmış kanat adı verilen iki yarım silindirden oluşur. Çarkın çalışma prensibi, basit olarak şu şekilde açıklanabilir; belirli bir hızla gelen rüzgar, çarkı oluşturan silindirin içbükey kanadı üzerinde pozitif ve dışbükey kanadı üzerinde negatif bir moment oluşturmaktadır. Silindirin içbükey kanadında oluşan momentin dışbükey kanat üzerinde oluşan momentten daha büyük olmasından dolayı, bir dönme hareketi sağlanmaktadır. Savonius rüzgar çarklarının kanat yapımında malzeme olarak sac levha, plastik levha ve kompozit malzeme kullanılabilir. Taşıyıcı kule ise çelik profil veya ahşap konstrüksiyon olabilir. Şekil 4.1'de Savonius rüzgar çarkının basit bir şekli gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Savonius rüzgar çarkı

Savonius rüzgar çarkları, iki kanatlı yada çok kanatlı ve tek katlı veya çok katlı olarak tasarlanabilirler. Çok katlı olarak tasarlanan çarklarda; her kattaki kanatlar, bir diğer kattakilere göre belirli bir açıda kaydırılır. Buna göre; iki katlı rüzgar çarklarında bir kattaki kanatlar diğer kattakine göre 90^0 ; üç katlı rüzgar çarklarında $60'$ ar derece kaydırılır (Kayansayan, 1992). Ancak çok katlı çarklarda; rotor yüksekliğinin artması nedeniyle, tüm rotor boyunca aynı dönme eksenini sağlamak zorlaşır. Şekil 4.2'de çok katlı bir Savonius rüzgar çarkı görülmektedir.



Şekil 4.2 Çok katlı Savonius rüzgar çarkı

4.1. Savonius Rüzgar Çarklarının Üstünlükleri

Savonius rüzgar çarkları; aerodinamik performans açısından bakıldığında diğer düşey eksenli rüzgar çarkları (Darrieus) ve yüksek kanat hızlı rüzgar çarkları ile kıyaslanamaz. Fakat Savonius rüzgar çarklarının diğer düşey eksenli rüzgar çarklarına göre bir çok üstünlükleri vardır. Bu üstünlükler şu şekilde sıralanabilir:

- 1) Konstrüksiyonları basit ve ucuzdur.
- 2) Düşük rüzgar hızlarında iyi başlangıç karakteristiklerine sahiptirler.
- 3) Harekete başlaması sırasında ek bir kuvvete ihtiyaç yoktur, kendi kendine çalışmaya başlarlar.
- 4) Yatay eksenli rüzgar çarklarında rüzgar yönünün değişmesine paralel olarak çark yönünü değiştiren mekanizmaya ihtiyaç varken, Savonius rüzgar çarkları rüzgarın yönünden bağımsız olarak çalışırlar. Rüzgarın yönü değiştiğinde, çarkın yönünü değiştirmeye gerek yoktur.

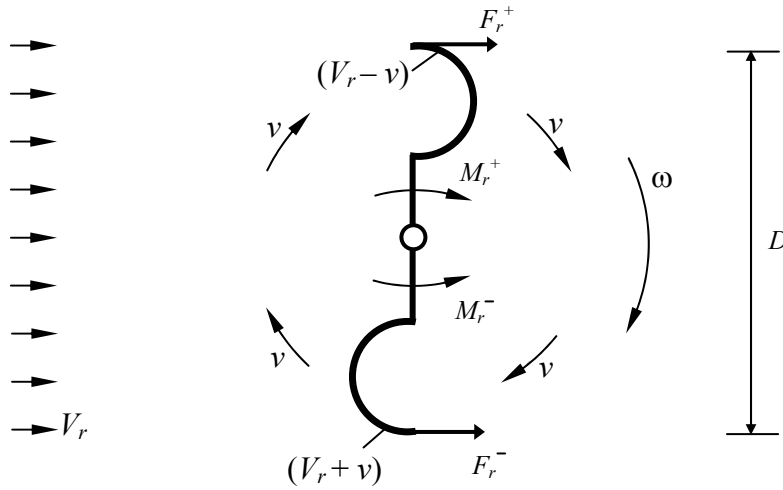
- 5) Yüksek verimli düşey eksenli rüzgar çarklarının ilk harekete başlatma elemanı olarak kullanılırlar. Bundan dolayı, Darrieus rüzgar çarklarının ve gel-git güç jeneratörlerinin ilk harekete başlatma yardımcı düzenekleri olarak kullanılabilirler.
- 6) Kırsal kesimlerde düşük miktarlardaki güç ihtiyacını karşılamak için, ekonomik ve ideal bir rüzgar çarkıdır.

4.2. Savonius Rüzgar Çarklarının Kullanım Alanları

Savonius tipi rüzgar çarklarının ilk uygulamaları; düşük çevresel hız ve verime sahip olmalarından dolayı çok kısıtlı alanlarda olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulamaları, son yıllarda çok daha önemli hale geldiği için Savonius rüzgar çarkları da daha fazla kullanım alanı bulmuştur. Bu çarklar uygulama alanı olarak, sulama için su pompalanmasında, havuzların havalandırılması için suyun hareketlendirilmesinde kullanılırlar. Savonius rüzgar çarkları, ilk harekete başlama momentinin yüksek olması özelliğinden dolayı, Darrieus rüzgar çarklarının ve rüzgar çarkı jeneratör sistemlerinin ilk harekete başlamasında yardımcı düzenek olarak kullanılırlar. Son zamanlardaki gelişmelere bağlı olarak, Savonius rüzgar çarkları elektrik üretimi amaçlı olarak da kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca gelişmekte olan ülkelerin kırsal kesimlerindeki küçük güç ihtiyaçlarının karşılanmasında, küçük çiftlik ve bahçelerde sulama ve elektrik ihtiyacının karşılanmasında da kullanılmaktadırlar.

4.3. Savonius Rüzgar Çarklarında Yaklaşık Güç ve Performans Hesapları

Bu bölümde, Le Gourieres'e (1982) göre; Savonius rüzgar çarklarında yaklaşık teori ile güç ve performans ifadeleri verilmiştir. Şekil 4.3'de kepçeli kanatlı rüzgar çarkları üzerindeki hız vektörleri gösterilmiştir. V_r rüzgar hızı altında, çark kanat merkezlerinin sabit lineer v hızı ile döndüğü düşünülerek, kepçe üzerine gelen kuvvetler şu şekilde hesaplanabilir:



Şekil 4.3 Kepçeli kanatlı rüzgar çarklarındaki iç ve dış bükey yüzeylerdeki hızlar

Kanatlarda meydana gelen kuvvet,

$$F_r = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \rho \cdot A \cdot V_r^2 \quad (4.1)$$

olarak ifade edilir.

Burada;

F_r : Kuvvet (N)

ρ : Havanın yoğunluğu (kg/m^3)

A : Çarkın süpürme alanının dik kesit alanı (m^2) (TSE 2003)

c : Direnç katsayısı

V_r : Rüzgarın hızı (m/s) dir.

Burada; yarım küre için $c_1 = 1,4$ (İç bükey yüzey için), $c_2 = 0,4$ (Dış bükey yüzey için), yarım silindir için $c_1 = 2,3$ (İç bükey yüzey için), $c_2 = 1,2$ (Dış bükey yüzey için) olarak belirlenmiştir (White 2004).

Güç = Kuvvet x hız olarak ifade edildiğine göre;

$$P_r = F_r \cdot v \quad (4.2)$$

olur. Burada; çarkın hızı v (m/s)' dir.

(4.2) denkleminde (4.1) denklemi yerine koyulursa;

$$P_r = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \rho \cdot A \cdot V_r^2 \cdot v \quad (4.3)$$

İç bükey yüzey için ;

$$P_r^+ = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot [c_1 \cdot (V_r - v)^2] v \quad (4.4)$$

Dış bükey yüzey için;

$$P_r^- = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot [c_2 \cdot (V_r + v)^2] v \quad (4.5)$$

şeklinde ifade edilirse ve bu ifadeler birleştirilirse;

$$P_{r_{net}} = P_r^+ - P_r^- \quad (4.6)$$

olur. (4.6) denkleminde, (4.4) ve (4.5) denklemleri yerlerine yazıldığında;

$$P_{r_{net}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot [c_1 \cdot (V_r - v)^2] v - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot [c_2 \cdot (V_r + v)^2] v \quad (4.7)$$

$$P_{r_{net}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v \cdot [c_1 \cdot (V_r^2 - 2V_r \cdot v + v^2) - c_2 \cdot (V_r^2 + 2V_r \cdot v + v^2)] \quad (4.8)$$

(4.8) denklemi elde edilir ve bu denklem tekrar düzenlenirse;

$$P_{r_{net}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v \cdot [V_r^2 \cdot (c_1 - c_2) - 2V_r \cdot v \cdot (c_1 + c_2) + v^2 \cdot (c_1 - c_2)] \quad (4.9)$$

ifadesi elde edilir. Burada; $(c_1 - c_2) = E$ ve $(c_1 + c_2) = F$ ile gösterilirse net güç ifadesi şu şekilde oluşur;

$$P_{r_{net}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v \cdot [E \cdot V_r^2 - F \cdot 2V_r \cdot v + E \cdot v^2] \quad (4.10)$$

Sabit bir rüzgar hızı düşünüldüğünde, optimum güç elde etmek için değişken olan v çark hızına göre alınan türevin sıfıra eşit olması gerekir. Bundan dolayı güç ifadesinin hızla göre türevi alınırsa, $\frac{dP_r}{dv} = 0$ olur. Buna göre;

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v \cdot E \cdot V_r^2 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot F \cdot 2 \cdot V_r \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot E \cdot v^3 = 0$$

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot E \cdot V_r^2 - \rho \cdot A \cdot F \cdot V_r \cdot v + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot 3 \cdot E \cdot v^2 = 0$$

$$3 \cdot E \cdot v^2 - 4 \cdot F \cdot V_r \cdot v + E \cdot V_r^2 = 0 \quad (4.11)$$

v çark hızına göre ikinci dereceden denklemin kökleri aşağıdaki gibi olur.

$$v_{1,2} = \frac{-(-4 \cdot F \cdot V_r) \pm \sqrt{(4 \cdot F \cdot V_r)^2 - 4 \cdot 3 \cdot E \cdot E \cdot V_r^2}}{2 \cdot 3 \cdot E} \quad (4.12a)$$

buradan da v_1 ve v_2 hızları belirlenebilir;

$$v_1 = \frac{+4F \cdot V_r - \sqrt{16F^2 \cdot V_r^2 - 12E^2 \cdot V_r^2}}{6 \cdot E} = \frac{2F \cdot V_r - V_r \sqrt{4 \cdot F^2 - 3 \cdot E^2}}{3 \cdot E} \quad (4.12b)$$

$$v_2 = \frac{+4F \cdot V_r + \sqrt{16F^2 \cdot V_r^2 - 12E^2 \cdot V_r^2}}{6 \cdot E} = \frac{2F \cdot V_r + V_r \sqrt{4 \cdot F^2 - 3 \cdot E^2}}{3 \cdot E} \quad (4.12c)$$

Dış bükey yüzeyin en az etkisi olduğu noktada, güç optimumdur. Dolayısıyla, $c_2 = 0$ alınmalıdır.

$$F = c_1 + c_2 \Rightarrow F = c_1$$

$$E = c_1 - c_2 \Rightarrow E = c_1$$

$$v_{opt1} = \frac{2c_1 \cdot V_r - V_r \cdot \sqrt{4 \cdot c_1^2 - 3 \cdot c_1^2}}{3 \cdot c_1} = \frac{2c_1 \cdot V_r - V_r \cdot c_1}{3 \cdot c_1} = \frac{1}{3} V_r \quad (4.13a)$$

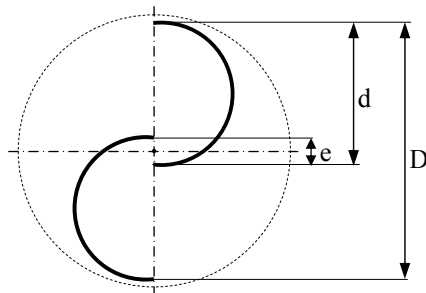
$$v_{opt2} = \frac{2c_1 \cdot V_r + V_r \cdot \sqrt{4 \cdot c_1^2 - 3 \cdot c_1^2}}{3 \cdot c_1} = \frac{2c_1 \cdot V_r + V_r \cdot c_1}{3 \cdot c_1} = V_r \quad (4.13b)$$

Denklem (4.13b)'de elde edilen hız değeri, çarkın rüzgar hızı ile aynı hızda dönmesi anlamını taşır ve dolayısıyla güç üretilmez, fiziksel bir anlamı yoktur. Bu nedenle, optimum güç için $v_{opt} = \frac{1}{3}V_r$ olmalıdır. Denklem (4.10)'da E ve F yerine değerleri koyulur ve $c_2 = 0$ olarak alınırsa, net güç denklemi şu şekilde elde edilir:

$$P_{r_{net}} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v \cdot c_1 \cdot (V_r^2 - 2V_r \cdot v + v^2) \quad (4.14)$$

Optimum güç elde etmek için, (4.13a) denkleminde elde edilen çark hızının $v_{opt} = \frac{1}{3}V_r$ olduğu değeri, denklem (4.14)'de yerine konulduğunda optimum güç için aşağıdaki ifade elde edilir:

$$P_{r_{opt}} = \frac{2}{27} \cdot \rho \cdot A \cdot c_1 \cdot V_r^3 \quad (4.15)$$



Şekil 4.4 Savonius rüzgar çarkı tasarım parametreleri

Bu elde edilen optimum güç değerinde A süpürme alanının değeri Şekil 4.4'den yazılabilir; Süpürme alanı; $A = (2.d - e)H$ 'dir ve bu değer denklem (4.15)'de yerine koyulduğunda,

$$P_{opt} = \frac{2}{27} \cdot \rho \cdot c_1 \cdot (2.d - e) \cdot H \cdot V_r^3 \quad (4.16)$$

olarak elde edilir. Burada;

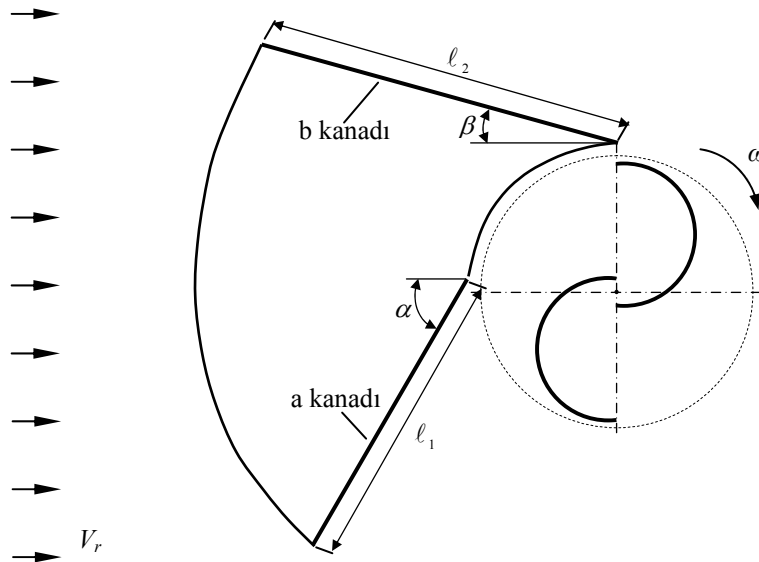
e : Kayma mesafesi (m)

d : Kanat çapı (m)

H : Çark yüksekliği (m)'dir.

4.4. Savonius Rüzgar Çarklarında Perdelemenin Güç ve Performans Hesaplarına Etkisi

Bu bölümün başında belirtildiği gibi Savonius rüzgar çarklarında, rüzgar yönüne ters yönde dönen dış bükey kanat üzerinde ve rüzgarla aynı yönde dönen iç bükey kanat üzerinde iki farklı moment oluşur. Bunlardan iç bükey kanat üzerinde oluşan moment, dış bükey kanat üzerinde oluşan momentten daha büyüktür ve bunun sonucu olarak bir dönme hareketi meydana gelir. Savonius rüzgar çarklarının verimlerini yükseltmek için en önemli parametre hiç kuşkusuz dönme hareketine ters yönde oluşan negatif momentin değerini azaltmak ya da mümkünse ortadan kaldırmaktır. Bu konuyla ilgili olarak Deda (2000) tarafından yapılan çalışmada, dış bükey yüzeye gelen momenti azaltmak amacıyla perde fikri öne sürülerek, teorik olarak yaklaşık güç ve performans hesapları yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında ise, Savonius rüzgar çarklarının güç ve performanslarını arttırmak amacıyla; Şekil 4.5’de gösterilen perde tasarlanıp, çark önüne yerleştirilerek, rüzgar tüneline deneyleri yapılmış ve perdelemenin güç ve performans üzerine etkisi incelenmiştir.



Şekil 4.5 Savonius rüzgar çarkı önüne tasarlanan perde modeli

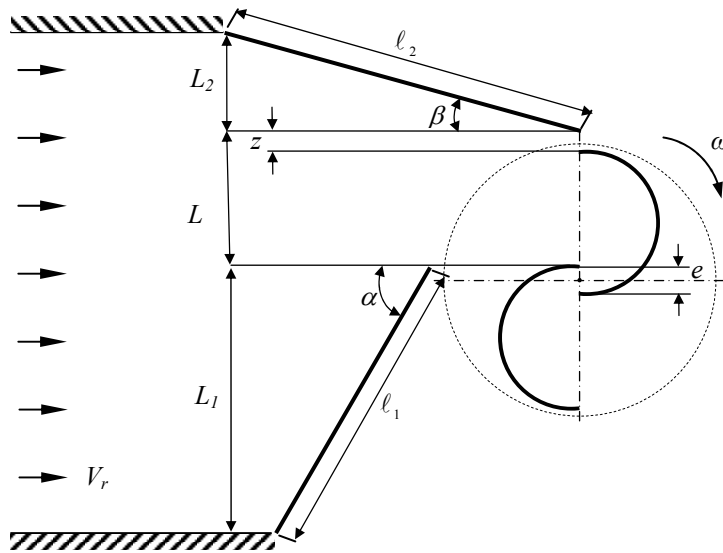
Şekil 4.5’de gösterilen perdenin, Savonius rüzgar çarkı önüne yerleştirilmesi ile dış bükey kanat üzerine gelen rüzgarın etkisi önlenmiş olur. Böylece bu kanat üzerinde oluşan negatif moment ve dolayısıyla güç sıfır olur ($P = 0$). Bu sebeple, uygulanan perdenin güce etkisi teorik olarak aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$P_r^+ = P_{r_{net}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot c_1 \cdot (v^3 - 2V_r \cdot v^2 + v \cdot V_r^2) \quad (4.17)$$

Eğer çark hızı $v = \frac{V_r}{3}$ ise $P_{r_{netopt}} = P_r^+$ eşitliği gerçekleşir. (4.17) denkleminde, $v = \frac{V_r}{3}$ değeri yerine koyulursa, iç bükey kanat üzerinde oluşan optimum net güç ;

$$P_{r_{netopt}} = \frac{2}{27} \cdot \rho \cdot A \cdot c_1 \cdot V_r^3 \quad (4.18)$$

şeklinde elde edilir.



Şekil 4.6 Tasarlanan perdenin hesap modeli

Gelen bütün rüzgarın kayıplar olmadan, perdeye girdiği kabul edildiğinde; Şekil 4.6'da gösterilen perde modelinin, rüzgar hızına ve çarkın performansına etkisi teorik olarak aşağıda verilmiştir:

$$Q_1 = Q_2$$

$$(A_1 \cdot V_r) = (A_2 \cdot V_{ryeni})$$

$$\begin{aligned} ((L_1 + L_2 + L).H).V_r &= ((L.H).V_{ryeni}) \\ V_{ryeni} &= \frac{(L_1 + L_2 + L).V_r}{(L)} \end{aligned} \quad (4.19)$$

$$L_1 = \ell_1 \sin \alpha \quad (4.20)$$

$$L_2 = \ell_2 \sin \beta \quad (4.21)$$

$$L = d - e + z \quad (4.22)$$

Burada;

α : Perdenin a kanadının akış yönüyle yaptığı açı ($^{\circ}$)

β : Perdenin b kanadının akış yönüyle yaptığı açı ($^{\circ}$)

V_r : Rüzgarın perdeye giriş hızı (m/s)

V_{ryeni} : Rüzgarın perdeden çıkış hızı (m/s)

A_1 : Rüzgarın perdeye giriş alanı (m²)

A_2 : Rüzgarın perdeden çıkış alanı (m²)

z : Perdenin b kanadıyla çarkın arasındaki boşluk (m) dur.

Eğer $\ell_1 = \ell_2 = \ell$ olarak ve $\alpha = \beta = \gamma$ olarak kabul edilirse, denklem (4.19) şu şekilde yazılabilir:

$$V_{ryeni} = \frac{(2.\ell.\sin \gamma + L).V_r}{L} \quad (4.23)$$

Perdeleme işlemi yapıldıktan sonra oluşan optimum net güç;

$$P_{r_{netopt}} = \frac{2}{27} \cdot \rho \cdot A \cdot c_1 \cdot \left(\frac{(2.\ell.\sin \gamma + L).V_r}{L} \right)^3 \quad (4.24)$$

denklemleri ifade edilir.

Buradan görüldüğü gibi, perdeleme nedeniyle denklem (4.6) da yer alan P^- değeri ortadan kalkar. Bu nedenle, perdesiz çark için bulunan optimum güç denklemi (4.16)

ile, perdeli çark için bulunan optimum güç denklemi (4.24) karşılaştırıldığında, iki denklem arasındaki farkın sadece çarka giren rüzgar hızlarına bağlı olduğu görülür. Denklem (4.24)'den de görüleceği üzere, perde uzunluğu arttıkça çarka giren rüzgar hızı artacak ve dolayısıyla aynı boyuttaki çark için elde edilebilecek güç miktarı daha fazla olacaktır. Fakat bunun yanında; perde boyu uzadıkça sürtünmeler ve ayrılmalar dolayısıyla enerji kayıpları artacaktır. Dolayısıyla; perde boyunun istenildiği gibi uzatılması söz konusu değildir. Öte yandan, perde boyunun belirli bir değeri belki de optimum bir tasarımı sağlayacaktır. Fakat, burada perde boyu çark boyutları ile karşılaştırıldığında, çok büyük ve hantal bir perde ile karşılaşılabilir, bu da uygulamada güçlük yaratacaktır.

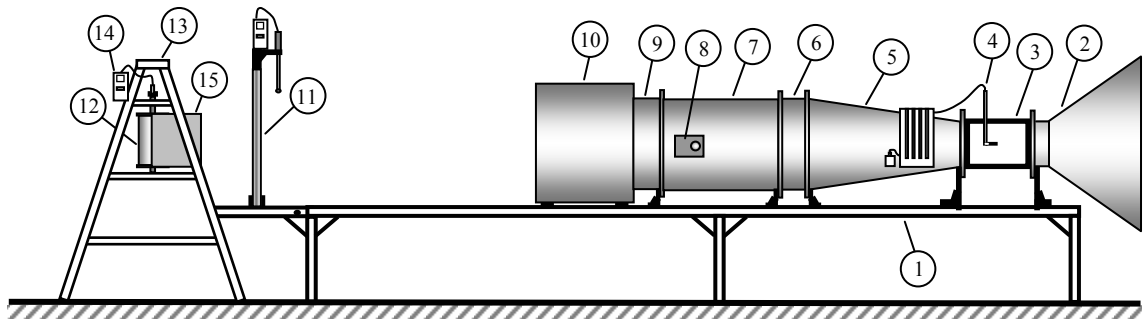
5. DENEYSEL YÖNTEM VE ÖLÇÜM CİHAZLARININ TANITIMI

5.1. Deneysel Çalışma

Bu çalışmada; Savonius rüzgar çarklarının düşük olan çark performanslarını arttırabilmek için, perdesiz (klasik) ve perdeli Savonius rüzgar çarkının güç ve performans değerlerinin karşılaştırmasını yapabilmek için deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmada, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde bulunan çok amaçlı düşük hızlı-subsonik (sesaltı) açık devreli bir rüzgar tüneli kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar, rüzgar tünelinin çıkışına yerleştirilen deney düzeneği üzerinde sürdürülmüştür. Bu çalışma ile ilgili ayrıntılar; deney düzeneğinin tanıtımı, kullanılan ölçüm cihazları ve deneysel çalışmanın tanıtımı alt bölümlerde verilecektir.

5.2. Deney Düzeneği

Yapılan çalışmada; yukarıda sözü edilen mevcut rüzgar tüneli kullanılmıştır. Rüzgar tünelinin test odası deneylerde kullanılmamış, deneyi yapılan çark birebir ölçülerde imal edilerek rüzgar tüneli çıkışına yerleştirilmiştir. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Ayrıca deney düzeneğinde yer alan ve düzeneği oluşturan elemanların ayrıntıları aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.1 Deney düzeneğinin şematik gösterimi

1. Rüzgar Tüneli Sehpaası: Rüzgar tüneli ve hız ölçme cihazını taşıyan bir düzenektir.
2. Giriş Ağızı : Akışın, düzgün bir şekilde kopma olmadan ve akış çizgilerinde ayrılma olmadan tünele girmesini ve akışın istenen özelliklerde oluşmasını sağlar.
3. Deney Bölgesi Test Odası : Kapalı devre kanat (airfoil) performansı veya diğer modeller için, rüzgar tünelinde deneylerin yapıldığı bölgedir. Bu çalışmada bu kısım kullanılmamıştır.
4. Pitot Tüpü Düzeneği : Deney bölgesi test odasında akışkanın hızını ve basıncını ölçmeye yarayan düzenektir. Bu düzenek deneylerde kullanılmamıştır.
5. Yayıcı : Yayıcı test odasının çıkışından itibaren düzgün olarak genişleyen konik kısımdır. Kare kesitten, dairesel kesite (fan girişine) geçişi sağlar.
6. Ara Bağlantı : Yayıcı ve fan arasındaki bağlantıyı sağlayan parçadır.
7. Fan : Tünele hava girişini sağlar, çapı 480 mm, gerilimi 380/420 Volt ve devir sayısı 2900 d/d'dır.
8. Fan Motoru Anahtarı : 3 fazlı 50 Hz, 5.7 KW gücünde, WOODS markadır.
9. Damper : Bu kısımda akışı ayarlayabilen bir kontrol kumandası vardır. Akışın debisi kontrol edilerek akış hızı ayarlanır.
10. Çıkış Ağızı : Tünel içinde hızı kontrol edilen rüzgarın, atmosfere çıkış bölümüdür.
11. Hız Ölçme Bölgesi : Çarka girmeden önce, tünelden çıkan rüzgar hızını; kesit boyunca ölçmek için, çarktan 100 cm öne yerleştirilen 240cmx90cm boyutlarında bir hız ölçme ağı tasarlanmıştır. Burada çerçeve üzerinde tespit edilen noktalarda hızlar ölçülerek değerlendirilmiştir.
12. Savonius Rüzgar Çarkı : Rüzgar tüneli çıkış geometrilerine uygun olarak tasarlanan ve deneylerde kullanılan çarktır.
13. Deney Düzeneği Taşıyıcı Sehpaası : Savonius rüzgar çarkı ve diğer ölçüm düzeneklerinin yerleştirildiği sehpadır.

14. Moment Ölçüm Cihazı : Çarkın milinde meydana gelen momenti ölçebilmek için kullanılan cihazdır. Bu cihaz çark mili üzerine yerleştirilen bir Proni fren sisteminin oluşturduğu momenti ölçmede kullanılır.

15. Perde : Savonius rüzgar çarkı önüne yerleştirilen perdedir.

Şekil 5.2’de tasarlanan Savonius rüzgar çarkı deney düzeneğinin genel görünümü verilmiştir.



Şekil 5.2 Savonius rüzgar çarkı deney düzeneği resmi

5.2.1. Savonius rüzgar çarkı imalatı

Daha önce yapılmış olan çalışmalar incelenerek, tasarım için kullanılacak bazı optimum değerler tespit edilmiş ve ayrıca rüzgar tüneli boyutları da deney düzeneğini etki alanına alacak şekilde Savonius rüzgar çarkı tasarlanarak deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmalara göre;

Çark çapı yükseklik oranı; $A_R=(H/D) = 1$
 Kanat uç plakası çapı; $D_0 = 1,1x D$
 Kayma Oranı; $G = (e/d) = 0,15$ olarak belirlenmiştir. (Fujisawa 1992, Fujisawa ve Gotoh 1992b).

Burada;

H : Çark yüksekliği (m)

D_0 : Kanat uç plakası çapı (m)

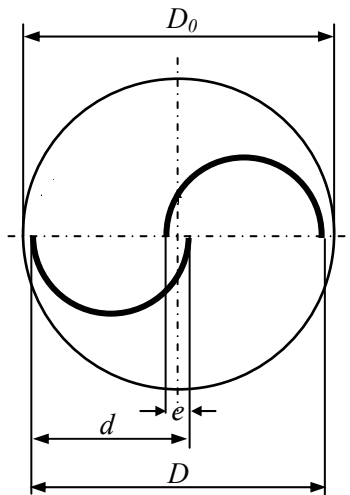
D : Çark çapı (m)

e : Kayma mesafesi (m)

d : Kanat çapı (m)

G : Kayma oranı (%) dır.

Bu tasarım parametreleri, Şekil 5.3'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Savonius rüzgar çarkı parametrelerinin gösterimi

Tasarlanan Savonius rüzgar çarkında; çark çapı $D=0,32$ m olarak seçilmiştir. Belirlenen optimum tasarım ifadelerinden; kanat uç plakası çapı, çark yüksekliği ve optimum kayma mesafesi hesaplanmıştır. Buna göre tasarlanan çark boyutları;

Çark çapı $\Rightarrow D = 0,32$ m

Kanat uç plakası çapı $\Rightarrow D_0 = 0,352$ m

Çark yüksekliği $\Rightarrow H = 0,32$ m

Kayma mesafesi $\Rightarrow e = 0,026$ m olarak belirlenmiştir.

Savonius rüzgar çarkının kanatları 2 mm, flanşları ise 4 mm sac levhadan imal edilmiştir. Çark dönerken kütle dengesizliğinden dolayı oluşabilecek dönme bozuklukları, çarkın balans ayarı yaptırılarak giderilmiştir. Şekil 5.4’de imal edilen Savonius rüzgar çarkının fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 5.4 İmal edilen Savonius rüzgar çarkı

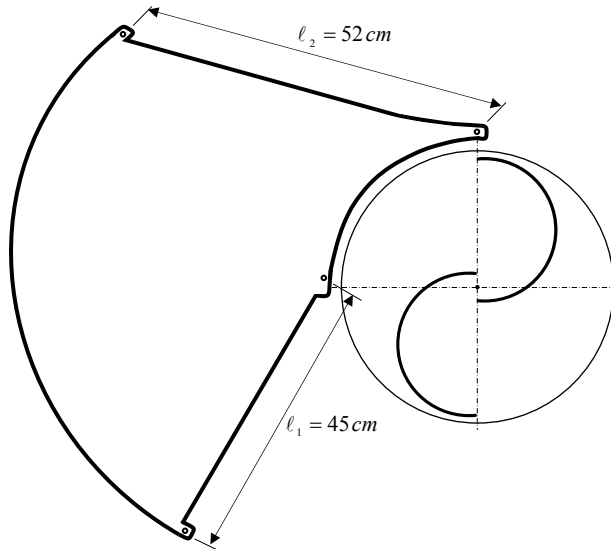
5.2.2. Perdelerin imalatı

Savonius rüzgar çarkı ile ilgili olarak tasarlanan ve deneylerde kullanılan 3 farklı boyuttaki perdelerin ölçüleri Tablo 5.1’de verilmiştir. Perde 1’in levha uzunlukları; rüzgar tüneli çıkışından çıkan akışın etkin olduğu alanda, perde 1’in maksimum açılabilirdiği durumda tasarlanmıştır. Perde 1’in boyutları % 25 azaltılarak perde 2, ve % 50 azaltılarak da perde 3’ün boyutlandırılması yapılmıştır. Burada perde 1, perde 2 ve perde 3 sırasıyla uzun, orta ve kısa perde olarak adlandırılmıştır.

Tablo 5.1 Perdelerin boyutları

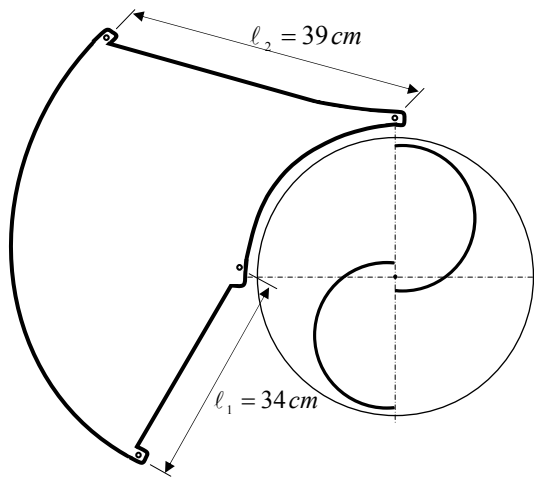
Perde Tipi	Perde Boyutları			
	Uzunluk ℓ_1 (cm)	Uzunluk ℓ_2 (cm)	Yükseklik H (cm)	Kalınlık t (mm)
Perde 1	45	52	32	2
Perde 2	34	39	32	2
Perde 3	22	26	32	2

Çark önüne tasarlanan üç farklı boyuttaki perdenin imalat aşaması şu şekilde açıklanabilir: perde 1'in ölçüleri Şekil 5.5'de verilen resme uygun olarak, 2 mm kalınlığındaki sac levhadan plazma ile kesilerek imal edilmiştir. Üretilen perde 1'in fotoğrafı da Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Aynı şekilde perde 2 ve perde 3 de sırasıyla Şekil 5.7 ve Şekil 5.9'da verilen resimlerine uygun olarak, sac levhadan plazma ile kesilerek imal edilmiş ve üretilen perdelerin fotoğrafları da sırasıyla, Şekil 5.8 ve Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Perdelerin alt ve üst sacı sabit olup, yan duvarları istenilen açılarda ayarlanabilir olarak tasarlanmıştır. Perde düzeneği, deney setine civatalar yardımıyla tutturulmuş ve perde açısını ölçebilmek için perde düzeneğinin alt levhası üzerine açı ölçer yerleştirilmiştir.

**Şekil 5.5** Perde 1'in ölçüleri



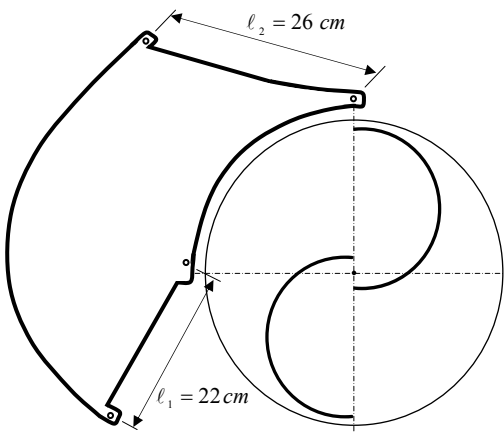
Şekil 5.6 İmal edilen Perde 1'in görünüşü



Şekil 5.7 Perde 2'nin ölçüleri



Şekil 5.8 İmal edilen Perde 2'nin görünüşü



Şekil 5.9 Perde 3'ün ölçüleri

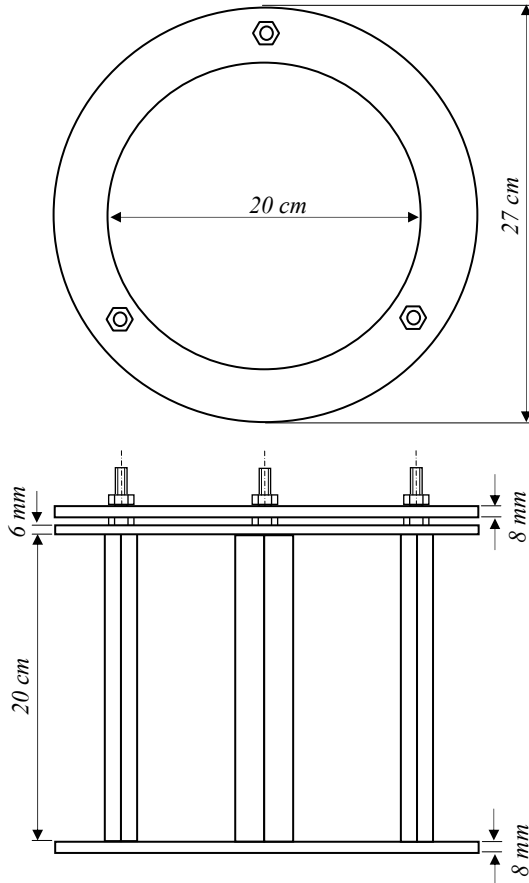


Şekil 5.10 İmal edilen Perde 3'ün görünüşü

5.2.3. Moment ölçme düzeneği imalatı

Rüzgar çarkının milinde oluşan momenti, ölçebilmek için yapılmış olan düzeneğin imalat resmi Şekil 5.11'de gösterilmiştir. Moment ölçümü; moment ölçme cihazının tutma kollarından, moment ölçme düzeneğine civatalar yardımıyla sabitlenerek gerçekleştirilmiştir.

Moment ölçüm düzeneği sabit ayaklı yapılarak, küçük de olsa oluşacak burulmaların oluşması engellenerek, moment ölçümlerinin daha hassas olarak yapılması sağlanmıştır. Ayrıca bu düzenek üzerine statik çalışma durumlarında; çark konumunu istenilen açılarda sabitleyebilmek için, açı ölçer skalası yerleştirilmiştir. İmal edilen moment ölçme düzeneğinin fotoğrafı Şekil 5.12'de gösterilmiştir.



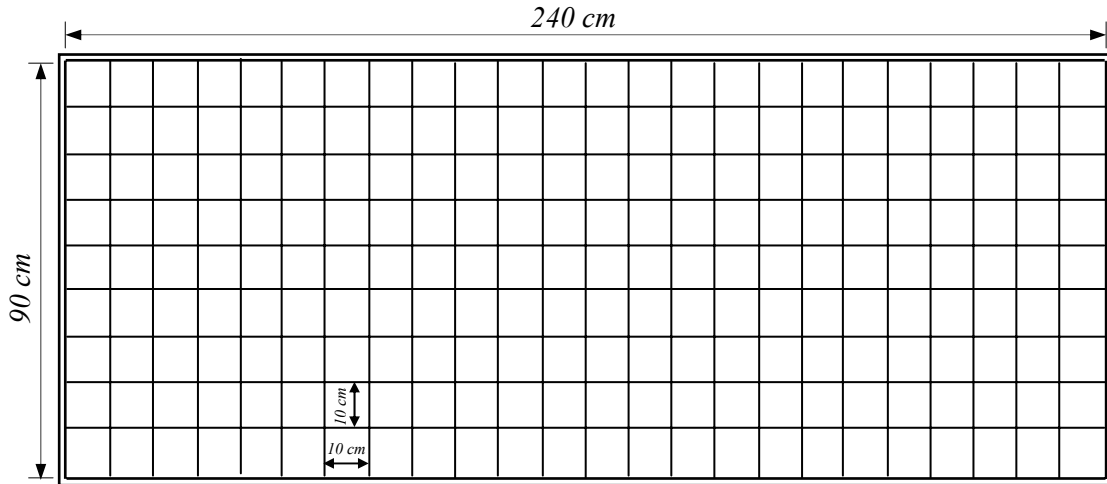
Şekil 5.11 Moment ölçme düzeneği ölçüleri



Şekil 5.12 Moment ölçme düzeneği

5.2.4. Hız ölçüm ağının tasarlanması

Deneyleerde daha hassas ölçümler yapabilmek amacıyla, hız ölçüm yerini sabitlemek için, Şekil 5.13’de gösterilen hız ölçüm ağı düzeneği tasarlanmış ve hız ölçümleri bu ağı üzerinden alınmıştır. Şekil 5.14’de imal edilen hız ölçüm ağının resmi gösterilmiştir.



Şekil 5.13 Hız ölçüm ağının ölçüleri



Şekil 5.14 Hız ölçüm ağı

5.3. DeneYlerde Kullanılan Ölçüm Cihazlarının Tanıtılması

Bu bölümde yapılan deneylerde; rüzgar hızını, çarktan elde edilen momenti ve çarkın devir sayısını ölçebilmek için kullanılan çok fonksiyonlu anemometre (hız ölçer), moment ölçer (torkmetre) ve takometre (devir sayısı ölçer) cihazları tanıtılmıştır. Kullanılan bu ölçüm cihazlarının hepsi satıcı firmadan kalibre edilmiş şekilde gelmiştir. Bu nedenle yeniden kalibre edilmelerine gerek kalmamıştır. Sadece moment ölçme cihazının, yapılan ölçümlerde çok fazla kullanılmasından ve sürekli burulmaya maruz kalmasından dolayı, mekanik bir aksam olması nedeniyle, zaman zaman ağırlığı ölçülmüş kütlelerle kalibrasyonu kontrol edilmiştir.

5.3.1. Çok fonksiyonlu anemometre

Savonius rüzgar çarkı önünde oluşan rüzgar hızını ölçebilmek için, geniş hız aralıklarında çalışabilmek amacıyla, hız ölçüm aralığı 0,6...40 m/s, ölçüm hassasiyeti $\pm 0,2$ m/s, prob uzunluğu 720 mm (teleskopik yapıda) olan pervane tipli seçilen Testo 435 fonksiyonel anemometre Şekil 5.15'de gösterilmiştir.



Şekil 5.15 Testo 435 fonksiyonel anemometre

5.3.2. Moment ölçme cihazı

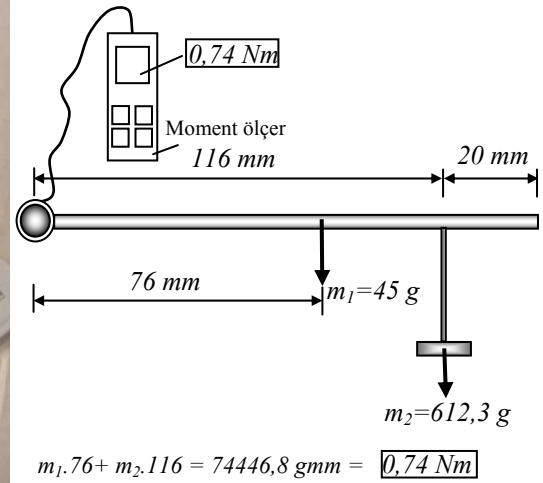
Savonius rüzgar çarkında oluşan statik ve dinamik momenti ölçebilmek için; ölçüm aralığı 0-10 Nm olarak seçilen, bilgisayar bağlantılı ve ölçüm hassasiyeti $\pm \% 0,5$ olan, IMADA HGT-10 moment ölçme cihazının resmi Şekil 5.16'da gösterilmiştir.



Şekil 5.16 IMADA HGT-10 moment ölçme cihazı

5.3.2.1. Moment ölçme cihazının kalibrasyonu

Moment ölçüm cihazının kalibresinin doğruluğunu tespit edebilmek için, zaman zaman ağırlığı önceden ölçülen malzemeler kullanılarak, Şekil 5.17'de gösterildiği gibi moment ölçme cihazının kalibrasyonu yapılmış ve yapılan bu ölçüm ile moment ölçme cihazının doğruluğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.17 Moment ölçme cihazının kalibrasyonu

5.3.3. Takometre cihazı

Çarkın devir sayısını ölçebilmek için, ölçüm aralığı +1.....+99.999 d/d olarak seçilen ve ölçüm hassasiyeti okunan değer üzerinden $\pm 0,02$ olan, Testo 465 optik takometre cihazı Şekil 5.18’de gösterilmiştir.

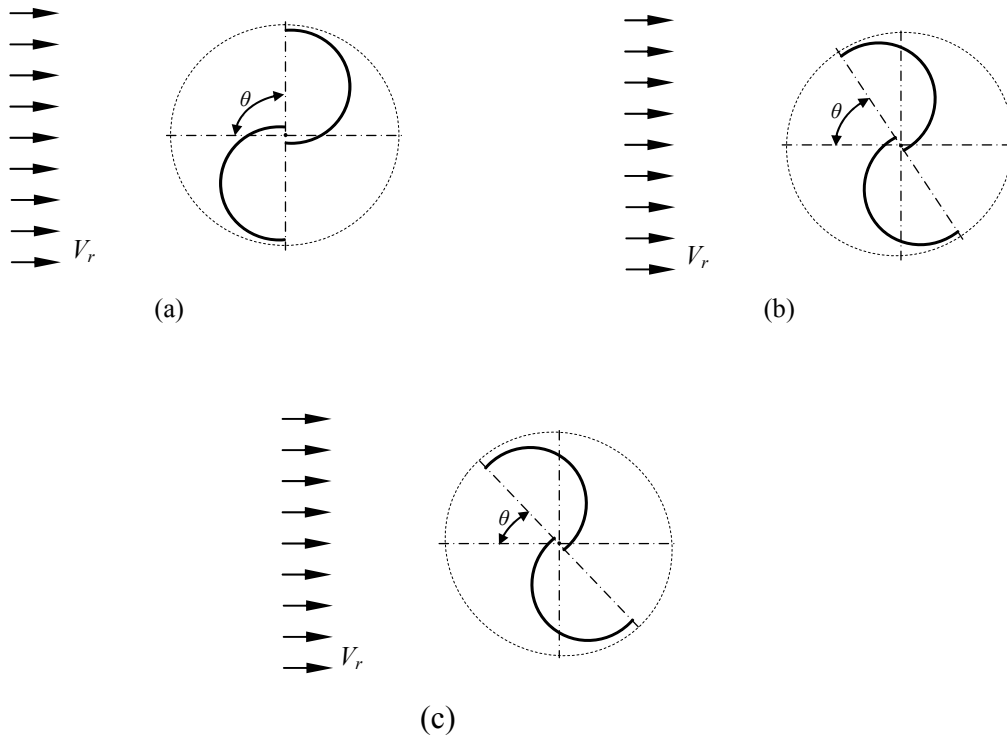


Şekil 5.18 Testo 465 optik takometre cihazı

5.4. Deneysel Çalışmanın Tanıtımı ve Yapılan Ölçümler

Savonius rüzgar çarkı; rüzgar tüneli çıkış ağzından 4,60 m kadar uzağa yerleştirilmiştir. Perdesiz Savonius rüzgar çarkı, deney düzeneği sehпасına bağlanarak rüzgar tüneli çalıştırılmış, belirli bir süre rüzgar tünelinden çıkan havanın rejime girmesi beklendikten sonra, çarkın 100 cm önüne yerleştirilen hız ölçüm ağının her bir karesinden üçer dakika bekleyerek, hız ölçüm ağı boyunca hız taraması yapılmış ve ortalama hız değerleri çok fonksiyonlu anemometre ile ölçülmüştür. Ölçülen bu hız değerleri sayısal çözüm için kullanılan Fluent 6.0 programında da, giriş hız sınır değerleri olarak alınmıştır. Daha sonra çarkın konumu 45° , 60° ve 90° iken; moment ölçer cihazı ile, statik moment ölçülmüş ve çarkın hareketli durumunda ise dinamik moment değerleri, takometre ile de devir sayısı değerleri ölçülmüştür.

Statik durumda deneylerin yapıldığı çark konumları Şekil 5.19'da gösterilmiştir. Buna göre Şekil 5.19a'da çarkın konumunun rüzgar geliş yönüne 90° , Şekil 5.19b'de 60° ve Şekil 5.19c'de de 45° olduğu konumlarda, perdeli ve perdesiz çarkın deneyleri yapılmıştır.



Şekil 5.19 Çark konumları (a) $\theta = 90^{\circ}$, (b) $\theta = 60^{\circ}$, (c) $\theta = 45^{\circ}$

Savonius rüzgar çarklarının çark performansını arttırmak için öne sürülen perde fikri için; yapılan deneylerle optimum perde modeli belirlenmiş ve üç farklı boyutta perde imal edilerek deneyler yapılmıştır. Deneyleri yapılan perde modellerinin şekli ve perde parametreleri dördüncü bölümde verilmiştir (Bkz. Şekil 4.5). Burada perdenin a kanadının akış yönüyle yaptığı α açısının, 30^0 'den daha düşük olması halinde çarkın dış bükey yüzeyine de akış etkilediği için, α 'açısının değeri; 30^0 'den 60^0 'ye kadar 5^0 arttırılarak belirlenmiştir. Öte yandan perdenin b kanadının akış yönüyle yaptığı β açısının da farklı değerlerinde deneyler yapılmıştır. Buna göre, β perde açısının 10^0 ve 15^0 'lik değerleri için deneyler yapılmıştır. Ayrıca β perde açısının 0^0 ve 5^0 'lik değerlerinde de deneyler yapılmış fakat sonuçlar tatmin edici olmamıştır ve aynı şekilde 15^0 'nin üzerinde yapılan deneylerde olumsuz sonuçlar elde edilmiştir. Bu nedenle; β açısının sadece 10^0 ve 15^0 değerleri ile deneyler sürdürülmüştür.

Perde kullanılarak Savonius rüzgar çarkının performans ölçümlerini yapmak için; yukarıda açıkladığımız perde tipleri çark önüne sırasıyla monte edilerek, her bir perde için bir seri ölçümler yapılmıştır. Burada statik çark durumunda; 45^0 , 60^0 ve 90^0 çark konumlarında, α perde açısının 30^0 'den 60^0 'ye kadar 5^0 'er derece arttırılmış değerleri için ve β perde açısının 10^0 ve 15^0 değerlerinde statik momentleri ölçülmüştür. Dinamik çalışma koşullarında, her bir perde için aynı işlemler tekrarlanarak α perde açısının 30^0 'den 60^0 'ye kadar olan değerleri ve β perde açısının 10^0 ve 15^0 değerlerinde dinamik moment ve devir sayısı değerleri üç perde için de ayrı ayrı ölçülmüştür. Her bir ölçüm için daha hassas değerler elde etmek için, zaman zaman deneyler 3 veya 4 defa tekrarlanmıştır.

6. HAREKETSİZ VE HAREKETLİ ÇARK DURUMUNDA DENEYLERDEN ELDE EDİLEN DEĞERLER

6.1 Hareketsiz Çark Durumunda Deneylerden Elde Edilen Değerler

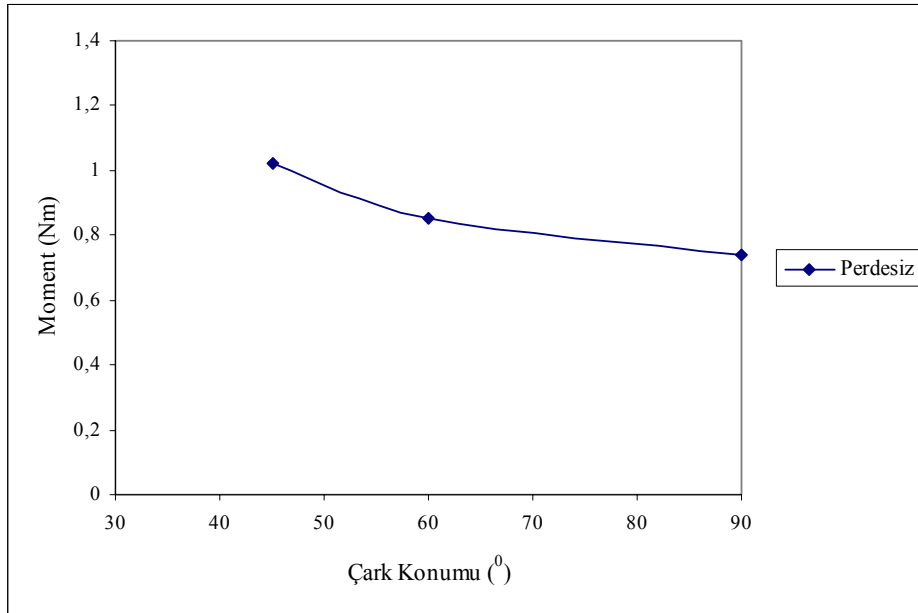
Bu bölümde çarkın hareketsiz durumunda ve $\theta=45^0,60^0$ ve 90^0 lik konumlarında; perdesiz ve üç farklı boyuttaki perdelerle (uzun, orta, kısa) yapılan deneylerden, statik moment değerleri bulunmuş ve birbirleri ile karşılaştırmaları tablolar halinde verilmiştir.

6.1.1 Perdesiz çark durumunda deneylerle elde edilen statik moment değerleri

Perdesiz Savonius rüzgar çarkı hareketsiz durumdayken, farklı çark konumlarında yapılan ölçümlerden elde edilen moment değerleri Tablo 6.1’de gösterilmiş ve Şekil 6.1’de de çarkın farklı konumları için (45^0 , 60^0 ve 90^0), elde edilen statik moment değerlerinin değişimi gösterilmiştir. Tablo 6.1 ve Şekil 6.1’den de görüldüğü gibi, en büyük moment değeri $\theta=45^0$ ’lik konumda elde edilmiştir.

Tablo 6.1 Çark konumu $\theta=45^0$, 60^0 ve 90^0 iken, deneysel olarak elde edilen statik moment değerleri

Çark Durumu:	Hareketsiz (Perdesiz)		
Çark Boyutu:	D = 32 cm	H = 32 cm	e = 2,6 cm
Çark Konumu $\theta (^0)$	Moment (N.m) Deney		
45^0	1,02		
60^0	0,85		
90^0	0,74		



Şekil 6.1 Çark konumu $\theta=45^{\circ}$, 60° ve 90° iken, perdesiz çark ile elde edilen statik moment değerleri

6.1.2. Perdeli çark durumunda deneylerle elde edilen statik moment değerleri

Hareketsiz çark durumunda; çark konumu 45° , 60° ve 90° iken; perde kanat açıları β (10° , 15°) ile α (30° - 60°)'nin farklı değerlerinde, üç ayrı perde uzunluğunda yapılan deneylerden statik momentler elde edilmiş ve birbirleri ile karşılaştırmaları tablolar halinde verilerek, değişimler şekillerde gösterilmiştir.

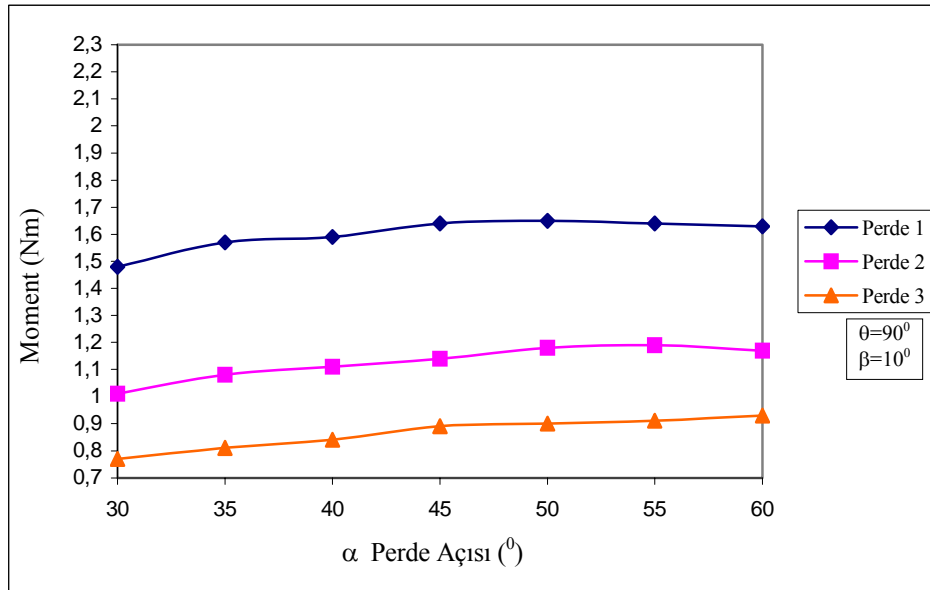
6.1.2.1. Çark konumu 90° iken yapılan deneyler ($\beta=10^{\circ}$)

Çark konumu 90° 'de $\beta=10^{\circ}$ iken α 'nın 30° ile 60° arasındaki değerlerinde; perde 1, perde 2 ve perde 3 ile yapılan deneylerden elde edilen statik moment değerleri Tablo 6.2'de verilmiştir. Şekil 6.2'de bu perdelerden elde edilen moment değerlerinin α açısına bağlı olarak değişimleri gösterilmiş ve en büyük moment değerlerinin perde 1'de meydana geldiği görülmüştür. Perde 1 durumunda; maksimum moment değeri $\alpha=50^{\circ}$ 'de elde edilmiş ve diğer perde durumlarında bu açı 55° ve 60° 'ye çıkmıştır. Perde 1 durumunda maksimum moment değeri; $\alpha + \beta = 60^{\circ}$ 'lik bir değer aldığı anda elde edilmiştir. Fakat perde tam açıklığı 60° 'nin üzerinde ise ani daralma durumu söz konusu olabileceğinden moment değerleri düşmüş ve bu durumun nedeni çeşitli kaynaklarda açıklanmıştır (Atılgan 1982, White 2004). Perde 2 ve perde 3 durumunda perde kanat açılarının büyük değerleri için momentteki artışlar; akışın

perdeye geliş açısının burada rol oynadığı ve ayrıca süpürme alanlarının; bu açılarda perde 1'e yaklaştığı göz önüne alınarak açıklanabilir.

Tablo 6.2 Çark konumu $\theta=90^0$ iken, $\beta=10^0$ için farklı perde uzunluklarında deneylerden elde edilen statik moment değerleri

Çark Durumu:		Hareketsiz (Perdeli)		
Çark Konumu:		$\theta = 90^0$		
Perde Tipi:		Perde 1	Perde 2	Perde 3
$\alpha(^0)$	$\beta(^0)$	Moment (N.m) Deney	Moment (N.m) Deney	Moment (N.m) Deney
60	10	1,63	1,17	0,93
55	10	1,64	1,19	0,91
50	10	1,65	1,18	0,90
45	10	1,64	1,14	0,89
40	10	1,59	1,11	0,84
35	10	1,57	1,08	0,81
30	10	1,48	1,01	0,77



Şekil 6.2 Çark konumu $\theta=90^0$ iken, $\beta=10^0$ için α perde kanat açısına göre moment değişimi

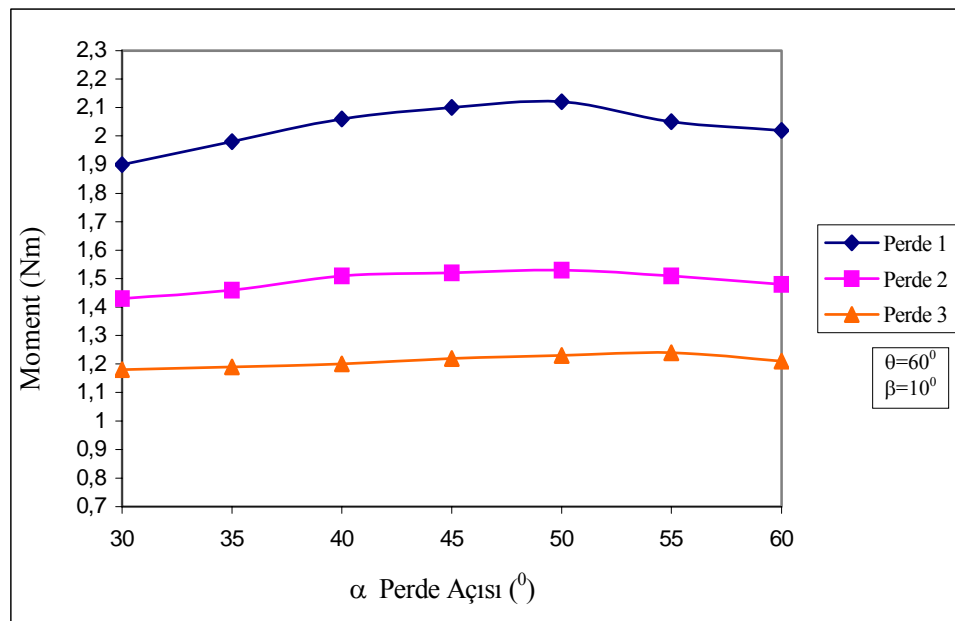
6.1.2.2. Çark konumu 60^0 iken yapılan deneyler ($\beta=10^0$)

Çark konumu 60^0 'de $\beta=10^0$ iken, α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde; perde 1, perde 2 ve perde 3 ile yapılan deneylerden elde edilen statik moment değerleri, Tablo 6.3'de verilmiş ve Şekil 6.3'de α açısına bağlı olarak değişimleri gösterilmiştir. Burada

en büyük moment değerinin yine perde 1’de meydana geldiği görülmüştür. Perde 2 ve perde 3’te ise sırasıyla daha düşük moment değerleri elde edilmiştir. Perde 2 ve perde 3 için süpürme alanı ile ilgili bundan önceki yorumlar aynen yapılabilir.

Tablo 6.3 Çark konumu $\theta=60^0$ iken, $\beta=10^0$ için farklı perde uzunluklarında deneylerden elde edilen statik moment değerleri

Çark Durumu:		Hareketsiz (Perdeli)		
Çark Konumu:		$\theta = 60^0$		
Perde Tipi:		Perde 1	Perde 2	Perde 3
$\alpha(^0)$	$\beta(^0)$	Moment (N.m) Deney	Moment (N.m) Deney	Moment (N.m) Deney
60	10	2,02	1,48	1,21
55	10	2,05	1,51	1,24
50	10	2,12	1,53	1,23
45	10	2,10	1,52	1,22
40	10	2,06	1,51	1,20
35	10	1,98	1,46	1,19
30	10	1,90	1,43	1,18



Şekil 6.3 Çark konumu $\theta=60^0$ iken, $\beta=10^0$ için α perde kanat açısına göre moment değişimi

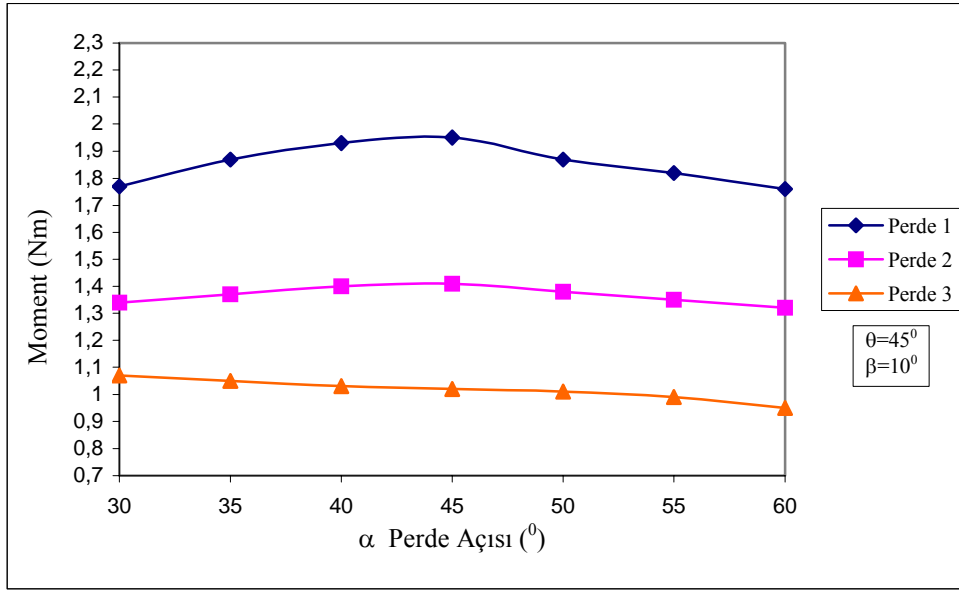
6.1.2.3. Çark konumu 45^0 iken yapılan deneyler ($\beta=10^0$)

Çark konumu 45^0 'de; perde 1, perde 2 ve perde 3 ile $\beta=10^0$ iken α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde yapılan deneylerden elde edilen statik moment değerleri Tablo 6.4'te verilmiştir. Şekil 6.4'te ise elde edilen moment değerlerinin α açısına bağlı olarak değişimleri gösterilmiştir.

Tablo 6.4 ve Şekil 6.4'den de görüldüğü gibi burada en büyük moment değerleri perde 1'de meydana gelmiş ve maksimum moment değeri $\alpha=45^0$ civarında elde edilmiştir. Perde 3 durumunda maksimum momentin $\alpha=30^0$ civarında elde edilmesine; deneylerin çarkın 45^0 'lik konumu için yapılmasından kaynaklandığı sonucuna varılmış ve bu durum α 'nın büyüyen değerlerinde, akışkanın çarka etkin bir biçimde gelmemesi ve bir kısım akışkanın, akış alanından kaçması şeklinde ifade edilmiştir.

Tablo 6.4 Çark konumu $\theta=45^0$ iken, $\beta=10^0$ için farklı perde uzunluklarında deneylerden elde edilen statik moment değerleri

Çark Durumu:		Hareketsiz (Perdeli)		
Çark Konumu:		$\theta = 45^0$		
Perde Tipi:		Perde 1	Perde 2	Perde 3
$\alpha(^0)$	$\beta(^0)$	Moment (N.m) Deney	Moment (N.m) Deney	Moment (N.m) Deney
60	10	1,76	1,32	0,95
55	10	1,82	1,35	0,99
50	10	1,87	1,38	1,01
45	10	1,95	1,41	1,02
40	10	1,93	1,40	1,03
35	10	1,87	1,37	1,05
30	10	1,77	1,34	1,07



Şekil 6.4 Çark konumu $\theta=45^0$ iken, $\beta=10^0$ için α perde kanat açısına göre moment değişimi

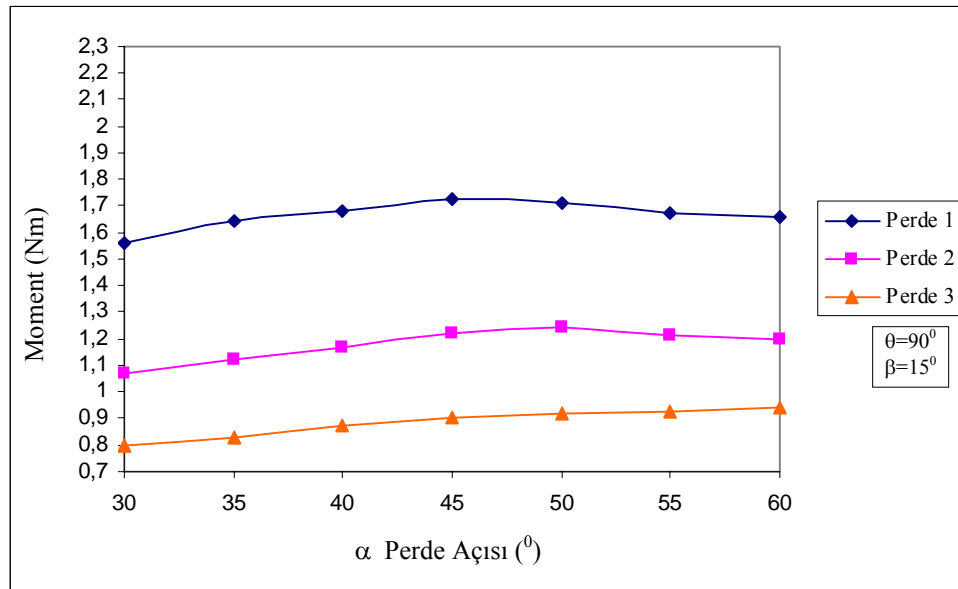
6.1.2.4. Çark konumu 90^0 iken yapılan deneyler ($\beta=15^0$)

Çark konumu $\theta=90^0$ iken; perde 1, perde 2 ve perde 3 ile $\beta=15^0$ için α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde yapılan deneylerden elde edilen statik moment değerleri Tablo 6.5'te verilmiş ve α açısına bağlı olarak değişimleri de Şekil 6.5'te gösterilmiştir.

Tablo 6.5 ve Şekil 6.5'ten de görüldüğü gibi burada perde 1'den elde edilen moment değerleri, perde 2 ve perde 3'den elde edilen moment değerlerinden daha büyüktür. En uzun perde olan perde 1'de; $\alpha=45^0$ 'de 1,73 Nm ile maksimum moment değeri elde edilirken en kısa perde (perde 3) de ise $\alpha=60^0$ için 0,94 Nm ile en büyük moment değeri elde edilmiştir. Bunun sebebi ise; rüzgar geliş istikametine göre; $\alpha=45^0$ için perde 3'ün süpürme alanının düşük olması ve ancak $\alpha=60^0$ 'de perde 1 ile yaklaşık aynı süpürme alanının oluşması ile ifade edilebilir.

Tablo 6.5 Çark konumu $\theta=90^0$ iken, $\beta=15^0$ için farklı perde uzunluklarında deneylerden elde edilen statik moment değerleri

Çark Durumu:		Hareketsiz (Perdeli)		
Çark Konumu:		$\theta = 90^0$		
Perde Tipi:		Perde 1	Perde 2	Perde 3
$\alpha(^0)$	$\beta(^0)$	Moment (N.m) Deney	Moment (N.m) Deney	Moment (N.m) Deney
60	15	1,66	1,20	0,94
55	15	1,67	1,21	0,93
50	15	1,71	1,24	0,92
45	15	1,73	1,22	0,90
40	15	1,68	1,17	0,87
35	15	1,64	1,12	0,83
30	15	1,56	1,07	0,80



Şekil 6.5 Çark konumu $\theta=90^0$ iken, $\beta=15^0$ için α perde kanat açısına göre moment değişimi

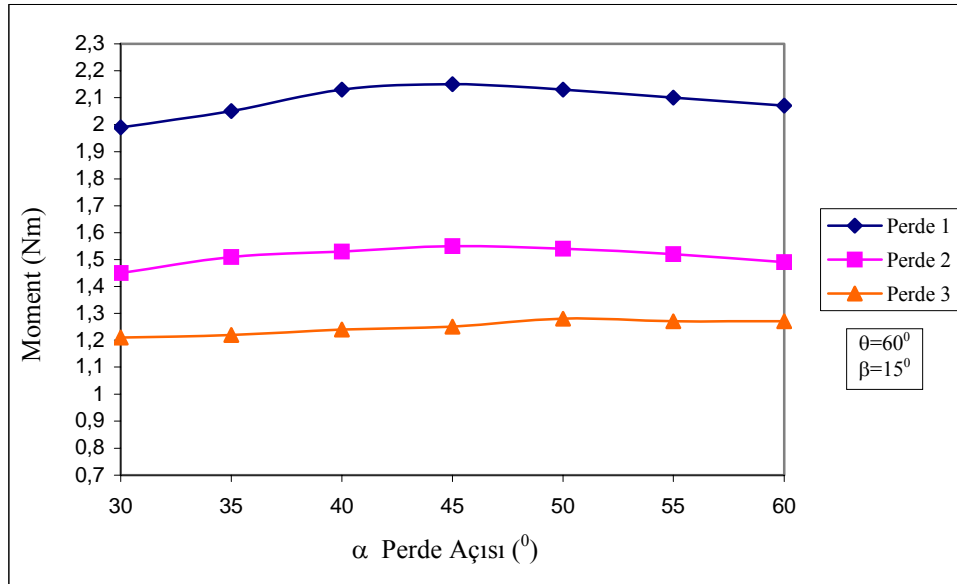
6.1.2.5. Çark konumu 60^0 iken yapılan deneyler ($\beta=15^0$)

Çark konumu 60^0 'de; perde 1, perde 2 ve perde 3 ile $\beta=15^0$ iken, α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde yapılan deneylerden elde edilen statik moment değerleri Tablo 6.6'da verilmiş ve Şekil 6.6'da da α açısına bağlı olarak değişimleri gösterilmiştir. Aynı şekilde perde 1'den elde edilen moment değerlerinin perde 2 ve perde 3'den elde edilen moment değerlerinden daha büyük olduğu görülmüştür.

Tablo 6.6 ve Şekil 6.6'da görüldüğü gibi perde 1 için $\alpha=45^0$ 'de, perde 2 için $\alpha=45^0$ ve perde 3 için de $\alpha=50^0$ de elde edilen moment değerlerinin maksimum olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun çarkın konum değiştirmesi nedeniyle rüzgarın etki biçiminden olabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca kısa perde için akışın çarka etken olmadan perde uçlarından kaçmasından kaynaklandığı yorumu yapılabilir.

Tablo 6.6 Çark konumu $\theta=60^0$ iken, $\beta=15^0$ için farklı perde uzunluklarında deneylerden elde edilen statik moment değerleri

Çark Durumu:		Hareketsiz (Perdeli)		
Çark Konumu:		$\theta = 60^0$		
Perde Tipi:		Perde 1	Perde 2	Perde 3
$\alpha(^0)$	$\beta(^0)$	Moment (N.m) Deney	Moment (N.m) Deney	Moment (N.m) Deney
60	15	2,07	1,49	1,27
55	15	2,10	1,52	1,27
50	15	2,13	1,54	1,28
45	15	2,15	1,55	1,25
40	15	2,13	1,53	1,24
35	15	2,05	1,51	1,22
30	15	1,99	1,45	1,21



Şekil 6.6 Çark konumu $\theta=60^0$ iken, $\beta=15^0$ için α perde kanat açısına göre moment değişimi

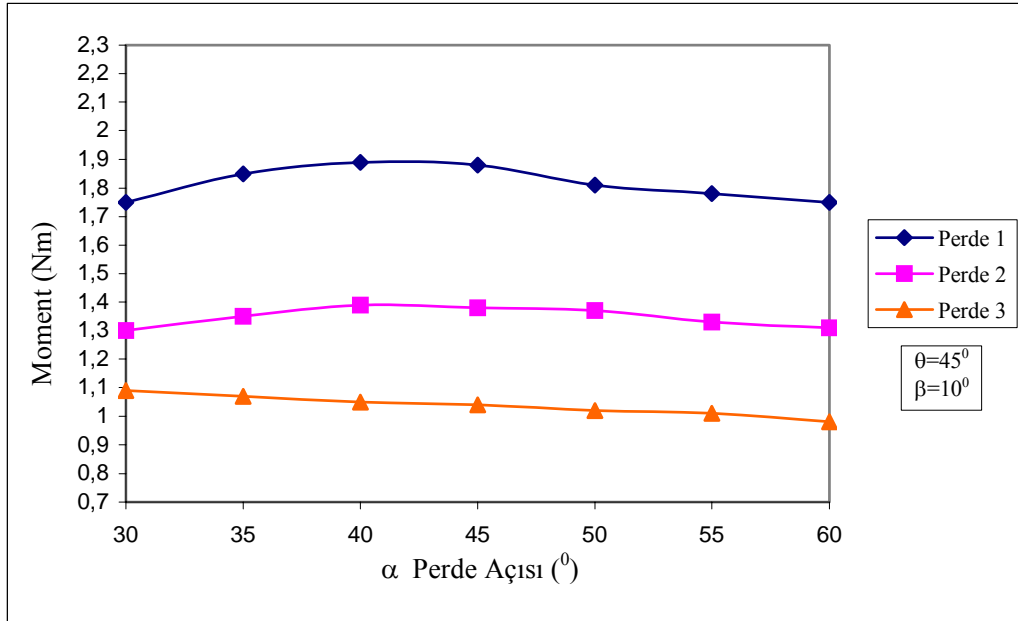
6.1.2.6. Çark konumu 45^0 iken yapılan deneyler ($\beta=15^0$)

Çark konumu 45^0 'de; perde 1, perde 2 ve perde 3 ile $\beta=15^0$ iken, α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde yapılan deneylerden elde edilen statik moment değerleri Tablo 6.7'de verilmiş ve Şekil 6.7'de α açısına bağlı olarak moment değişimleri gösterilmiştir.

Tablo 6.7 ve Şekil 6.7'den en büyük moment değerlerinin perde 1 için elde edildiği görülmüştür. Burada perde 1'in süpürme alanı diğer perdelerle göre büyük olduğundan, daha büyük moment değerleri elde edilmiştir. Maksimum değerlerin farklı açılarda elde edilmesi çark kanadının 45^0 'lik konumundan kaynaklandığı ve perde 3 de ise maksimum değerlerin $\alpha=30^0$ için elde edilmesinin de akışın kanada geliş durumundan kaynaklandığı sonucuna varılmış ve büyük α değerlerinde ise bir kısım akışkanın perde kenarından kaçmasından dolayı akışkanın daha az etken olduğunun kanaatine varılmıştır. Çark konumu 90^0 'den ayrıldıkça özellikle 45^0 iken akışkanın etki ettiği çark kanadı ile perde ucu arasındaki aralığın artışı nedeniyle bir kısım akışkan çarka etki etmeden akış alanından kaçmaktadır.

Tablo 6.7 Çark konumu $\theta=45^0$ iken, $\beta=15^0$ için farklı perde uzunluklarında deneylerden elde edilen statik moment değerleri

Çark Durumu:		Hareketsiz (Perdeli)		
Çark Konumu:		$\theta = 45^0$		
Perde Tipi:		Perde 1	Perde 2	Perde 3
α^0	β^0	Moment (N.m) Deney	Moment (N.m) Deney	Moment (N.m) Deney
60	15	1,75	1,31	0,98
55	15	1,78	1,33	1,01
50	15	1,81	1,37	1,02
45	15	1,88	1,38	1,04
40	15	1,89	1,39	1,05
35	15	1,85	1,35	1,07
30	15	1,75	1,30	1,09



Şekil 6.7 Çark konumu $\theta=45^0$ iken, $\beta=15^0$ için α perde kanat açısına göre moment değişimi

6.2. Hareketsiz Çark Durumunda $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ İçin Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

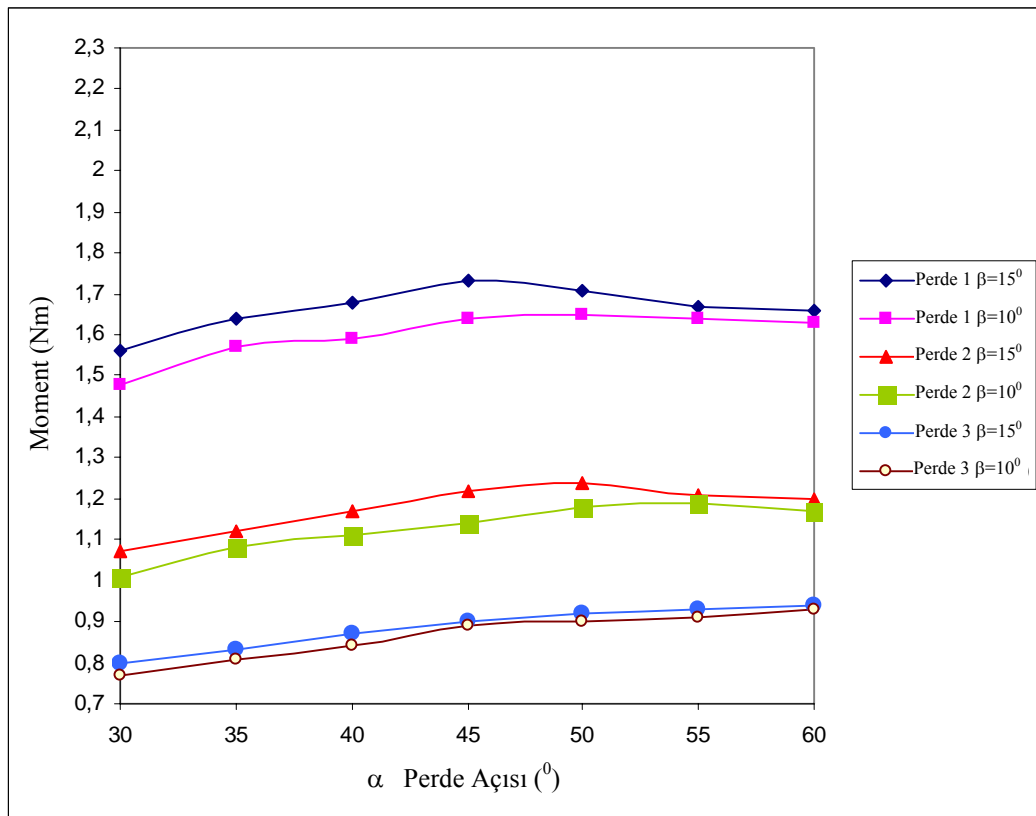
Burada hareketsiz çark durumları için $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ 'de her bir perde boyu için elde edilen momentlerin α 'ya göre değişimleri karşılaştırılmıştır.

6.2.1. Çark konumu $\theta=90^0$ iken farklı perde durumlarındaki moment değişimlerinin karşılaştırılması

Çark konumu $\theta=90^0$ 'de, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ iken α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde; perde 1, perde 2 ve perde 3 ile yapılan deneylerden elde edilen statik moment değerlerinin karşılaştırılması Tablo 6.8'de verilmiş ve Şekil 6.8'de α açısına bağlı olarak değişimleri gösterilmiştir. Burada perde 1, perde 2 ve perde 3'den $\beta=15^0$ 'de elde edilen moment değerlerinin, $\beta=10^0$ 'de elde edilen moment değerlerinden daha büyük olduğu görülmüştür. $\beta=15^0$ için maksimum moment değerinin $\alpha=45^0$ 'de olduğu görülmüştür. Ayrıca perde 1'in perde 2 ve perde 3'ten daha iyi performans sağladığı Şekil 6.8'de açık olarak görülmektedir.

Tablo 6.8 Çark konumu $\theta=90^0$ iken, farklı perde uzunluklarında deneylerden elde edilen statik moment değerlerinin karşılaştırılması

Çark Durumu: Hareketsiz (Perdeli)						
Çark Konumu: $\theta = 90^0$						
$\alpha(^0)$	Perde 1 Moment (N.m) Deney		Perde 2 Moment (N.m) Deney		Perde 3 Moment (N.m) Deney	
	$\beta = 10^0$	$\beta = 15^0$	$\beta = 10^0$	$\beta = 15^0$	$\beta = 10^0$	$\beta = 15^0$
60	1,63	1,66	1,17	1,20	0,93	0,94
55	1,64	1,67	1,19	1,21	0,91	0,93
50	1,65	1,71	1,18	1,24	0,90	0,92
45	1,64	1,73	1,14	1,22	0,89	0,90
40	1,59	1,68	1,11	1,17	0,84	0,87
35	1,57	1,64	1,08	1,12	0,81	0,83
30	1,48	1,56	1,01	1,07	0,77	0,80



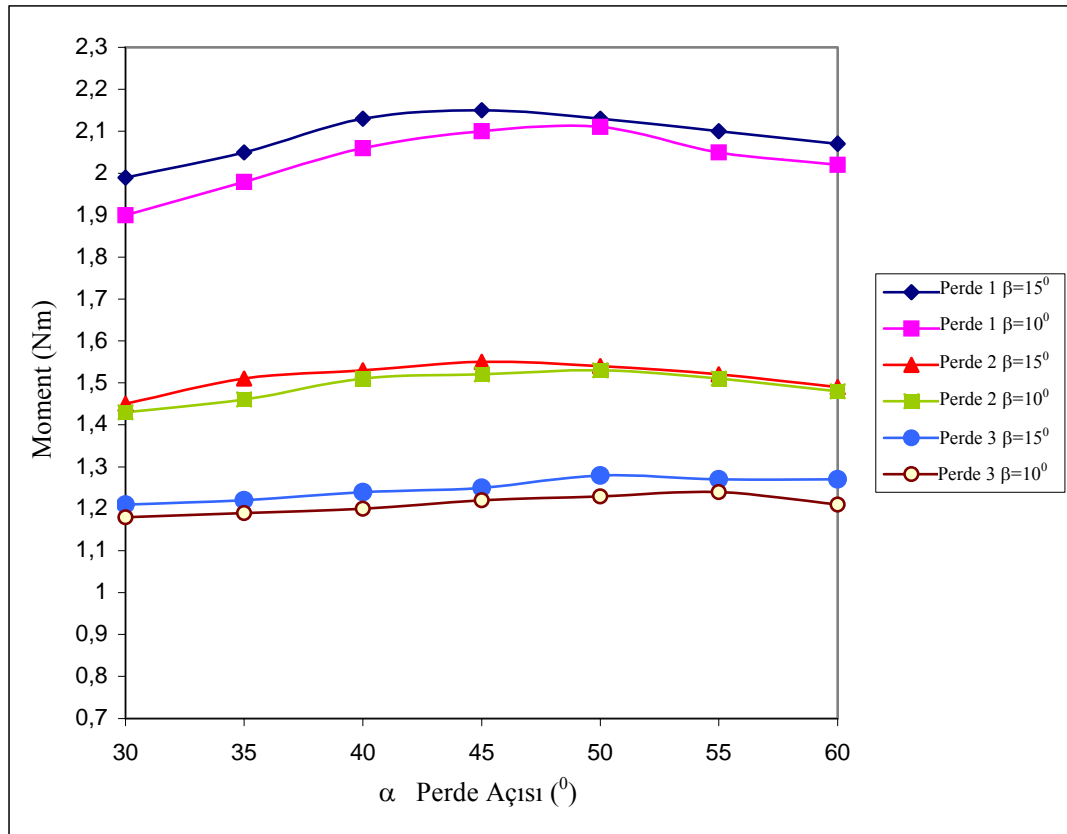
Şekil 6.8 Çark konumu $\theta=90^0$ iken, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ için α perde kanat açısına göre moment değişimi

6.2.2. Çark konumu $\theta=60^0$ iken farklı perde durumlarındaki moment değişimlerinin karşılaştırılması

Çark konumu 60^0 'de, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ iken α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, perde 1, perde 2 ve perde 3 ile yapılan deneylerden elde edilen statik moment değerlerinin karşılaştırılması Tablo 6.9'da verilmiş ve Şekil 6.9'da α açısına bağlı olarak değişimleri gösterilmiştir. Burada perde 1, perde 2 ve perde 3 ile $\beta=15^0$ 'de elde edilen moment değerlerinin $\beta=10^0$ 'dekinden daha büyük olduğu görülmüştür. Şekil 6.9'da görüldüğü gibi en büyük moment değerleri perde 1 için elde edilmiş, fakat eğrilerin genel durumu incelenirse; değişimlerin birbirine benzediği, sadece $\beta=10^0$ durumunda; $\beta=15^0$ 'ye göre maksimum değer elde edildiği α açısı değerlerinde, bir miktar artış olduğu görülmektedir. Bu durum; α ve β 'nin konumları ve θ çark konumu nedeniyle açıklanabilir. Burada en uygun konumun $\theta=60^0$ için $\beta=15^0$ ve $\alpha=45^0$ için elde edildiği açık olarak görülmektedir. Tüm perdeler için $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ 'deki değişimlerin birbirine çok yakın olduğu Şekil 6.9'da açık olarak görülmektedir.

Tablo 6.9 Çark konumu $\theta=60^0$ iken, farklı perde uzunluklarında deneylerden elde edilen statik moment değerlerinin karşılaştırılması

Çark Durumu: Hareketsiz (Perdeli)						
Çark Konumu: $\theta = 60^0$						
	Perde 1 Moment (N.m) Deney		Perde 2 Moment (N.m) Deney		Perde 3 Moment (N.m) Deney	
	$\beta = 10^0$	$\beta = 15^0$	$\beta = 10^0$	$\beta = 15^0$	$\beta = 10^0$	$\beta = 15^0$
α^0						
60	2,02	2,07	1,48	1,49	1,21	1,27
55	2,05	2,10	1,51	1,52	1,24	1,27
50	2,12	2,13	1,53	1,54	1,23	1,28
45	2,10	2,15	1,52	1,55	1,22	1,25
40	2,06	2,13	1,51	1,53	1,20	1,24
35	1,98	2,05	1,46	1,51	1,19	1,22
30	1,90	1,99	1,43	1,45	1,18	1,21



Şekil 6.9 Çark konumu $\theta=60^\circ$ iken, $\beta=10^\circ$ ve $\beta=15^\circ$ için α perde kanat açısına göre moment değişimi

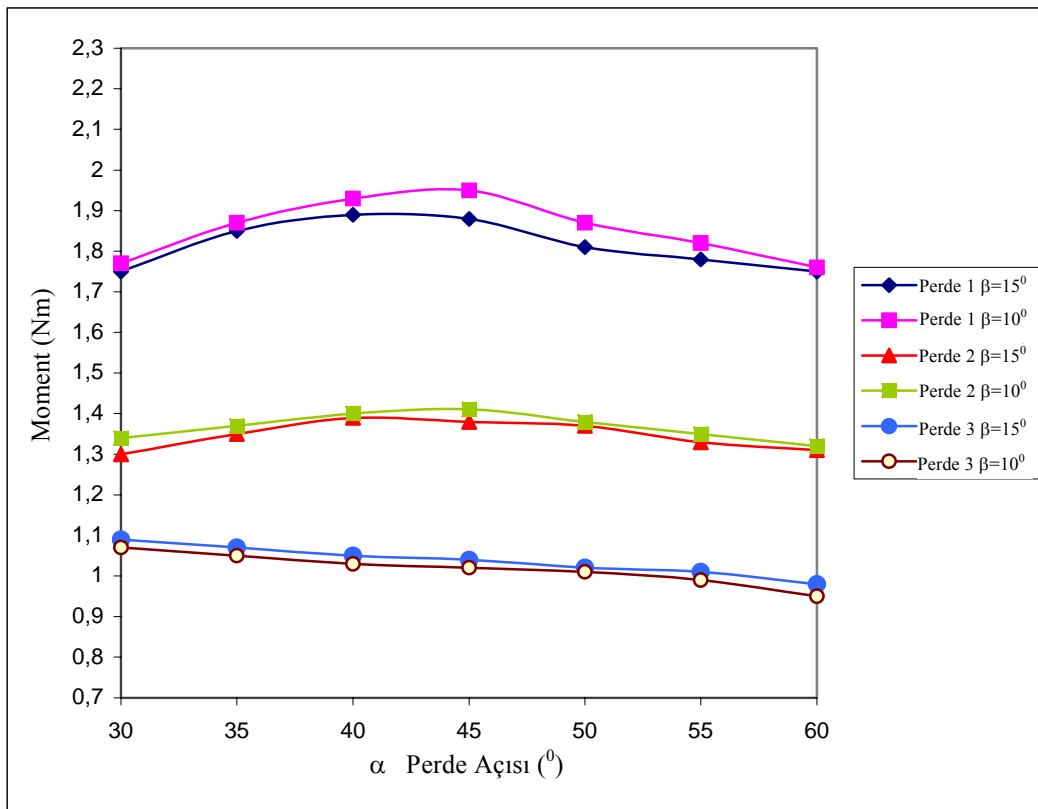
6.2.3. Çark konumu $\theta=45^\circ$ iken farklı perde durumlarındaki moment değişimlerinin karşılaştırılması

Çark konumu 45° 'de $\beta=10^\circ$ ve $\beta=15^\circ$ iken α 'nın 30° ile 60° arasındaki değerlerinde perde 1, perde 2 ve perde 3 ile yapılan deneylerden elde edilen statik moment değerlerinin karşılaştırılması Tablo 6.10'da verilmiş ve Şekil 6.10'da α açısına bağlı olarak değişimleri gösterilmiştir. Burada perde 1 ve perde 2'nin $\beta=10^\circ$ 'de elde edilen moment değerlerinin $\beta=15^\circ$ 'dekinden büyük olduğu, perde 3'ün ise $\beta=15^\circ$ 'de elde edilen moment değerlerinin $\beta=10^\circ$ 'dekinden daha büyük olduğu görülmüştür. Bu durumun perdeye gelen akışkanın çark açısı $\theta=45^\circ$ 'nin konumundan kaynaklandığı söylenebilir. Burada elde edilen esas sonuç; perde 1 durumunda $\beta=10^\circ$ ve $\beta=15^\circ$ 'deki değerlerinin en büyük moment olarak elde edilmesidir. Maksimum değerlerin ise $\beta=10^\circ$ için $\alpha=50^\circ$ ve $\beta=15^\circ$ için $\alpha=45^\circ$ 'de elde edildiği ve bu değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Perde 3'te α 'nın büyüyen değerlerinde elde edilen düşük moment

değerlerinin sebebinin, akışın yönlenmesindeki güçlükten kaynaklandığı düşünülmüştür. Bu durum alt bölüm 6.1.2.6 da açıklanmıştır.

Tablo 6.10 Çark konumu $\theta=45^0$ iken, farklı perde uzunluklarında deneylerden elde edilen statik moment değerlerinin karşılaştırılması

Çark Durumu: Hareketsiz (Perdeli)						
Çark Konumu: $\theta = 45^0$						
$\alpha(^0)$	Perde 1 Moment (N.m) Deney		Perde 2 Moment (N.m) Deney		Perde 3 Moment (N.m) Deney	
	$\beta = 10^0$	$\beta = 15^0$	$\beta = 10^0$	$\beta = 15^0$	$\beta = 10^0$	$\beta = 15^0$
60	1,76	1,75	1,32	1,31	0,95	0,98
55	1,82	1,78	1,35	1,33	0,99	1,01
50	1,87	1,81	1,38	1,37	1,01	1,02
45	1,95	1,88	1,41	1,38	1,02	1,04
40	1,93	1,89	1,40	1,39	1,03	1,05
35	1,87	1,85	1,37	1,35	1,05	1,07
30	1,77	1,75	1,34	1,30	1,07	1,09



Şekil 6.10 Çark konumu $\theta=45^0$ iken, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ için α perde kanat açısına göre moment değişimi

6.3. Hareketli Çark Durumunda Deneylerden Elde Edilen Değerler

Bu bölümde hareketli çark durumunda; perdesiz ve çark önüne koyulan üç farklı boyuttaki perde ile deneyler yapılmıştır. Deneylerin sonucunda perdesiz çark ile her bir perde tipi için çarktan elde edilen dinamik momentler bulunarak, perdeli ve perdesiz çarkın gücü ve güç katsayıları hesaplanıp; moment ve gücün, devir sayısına (n) ve güç katsayısının (C_p), uç hız oranına (λ) göre değişimleri ayrı ayrı çizilerek karşılaştırılmaları yapılmıştır.

6.3.1. Hesaplamalarda kullanılan rüzgar çarklarının güç ve performans denklemleri

Deneylerde perdesiz ve üç farklı boyuttaki perdeli durumda; çarkın devir sayıları ve dinamik momentleri ölçülerek; faydalı güç (P_f), güç katsayısı (C_p) ve uç hız oranı (λ) hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda kullanılan çarka ait değerler ve denklemler de aşağıda verilmiştir.

Çark çapı : $D=32$ cm

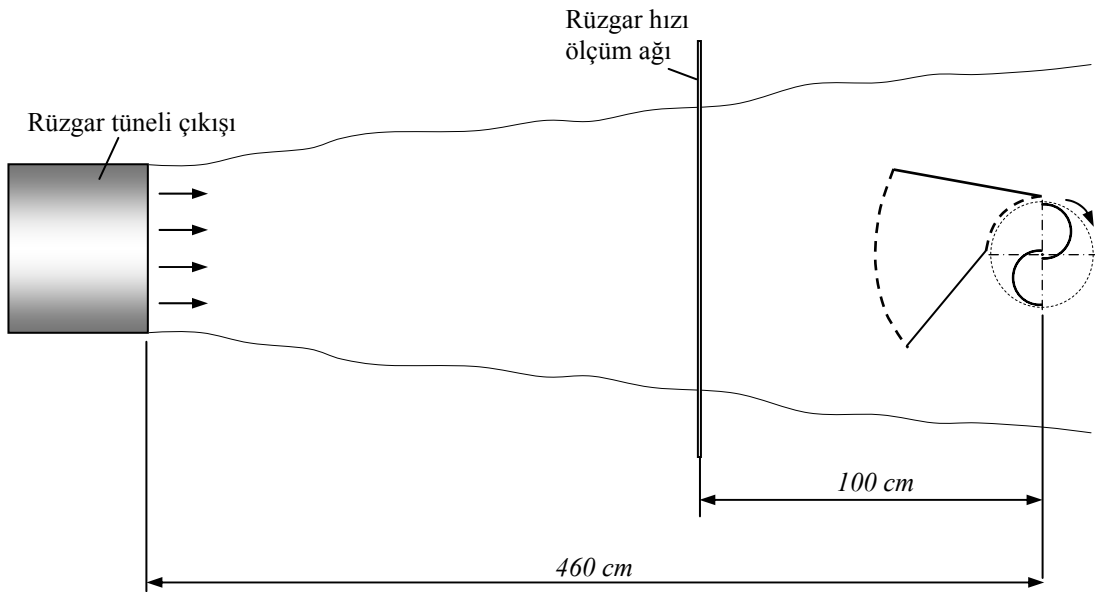
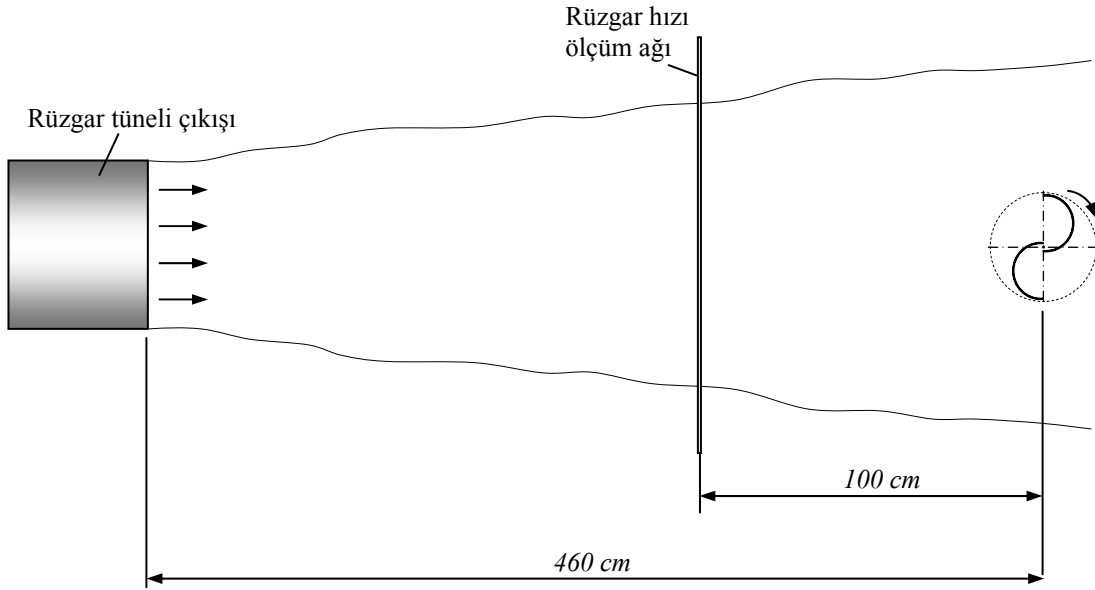
Çark yüksekliği: $H=32$ cm

Kayma oranı: $e= 2,6$ cm

Çarkın süpürme alanının dik kesit alanı: $A=H.D = 0,1024$ m²

Havanın yoğunluğu : $\rho=1,225$ kg/m³ (Deney ortam sıcaklığı $T=15^0C$ için) (Smits 2000).

Şekil 6.11'de çarkın perdesiz ve perdeli durumlarında; hız ölçümlerinin alındığı rüzgar hız ölçüm ağının, rüzgar tüneli çıkışından olan uzaklığı gösterilmiştir. Buna göre çarkın 100 cm önüne yerleştirilen hız ölçüm ağından alınan ölçümlerden, ortalama rüzgar hızı 7 m/s olarak bulunmuş ve hesaplarda bu rüzgar hızı kullanılmıştır.



Şekil 6.11 Deney düzeneğinde; rüzgar tüneli çıkışından, çarkın perdesiz ve perdeli durumunda hız ölçüm ağı'nın konumu

Bundan sonra deneylerdeki ölçümler yardımıyla; aşağıda verilen ilgili formüller kullanılarak, elde edilen sonuçlar tablolarla ve değişimleri şekillerle gösterilmiştir.

Rüzgar gücünün hesabında kinetik enerji formülü dikkate alınır ve buna göre;

$$P_r = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_r^3 \quad (Watt) \quad (6.1)$$

olarak tanımlanmıştır.

Çarktan elde edilen faydalı güç;

$$P_f = M_d \cdot \omega \quad (Watt) \quad (6.2)$$

Açısal hız;

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (rad/s) \quad (6.3)$$

Güç katsayısı C_p ;

$$C_p = \frac{P_f}{P_r} = \text{Faydalı Çıkış Gücü} / \text{Rüzgar Gücü} \quad (6.4)$$

Uç hız oranı λ ;

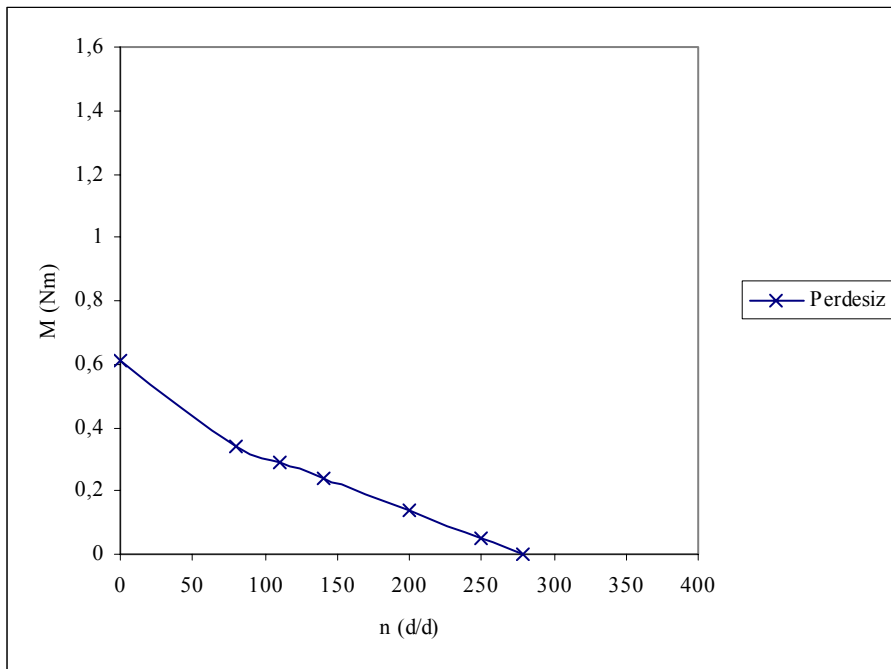
$$\lambda = \frac{U}{V_r} = \frac{\omega \cdot (D / 2)}{V_r} = \text{Kanat Uç Hızı} / \text{Rüzgar Hızı} \quad (6.5)$$

6.3.2. Perdesiz çarktan elde edilen deney sonuçları

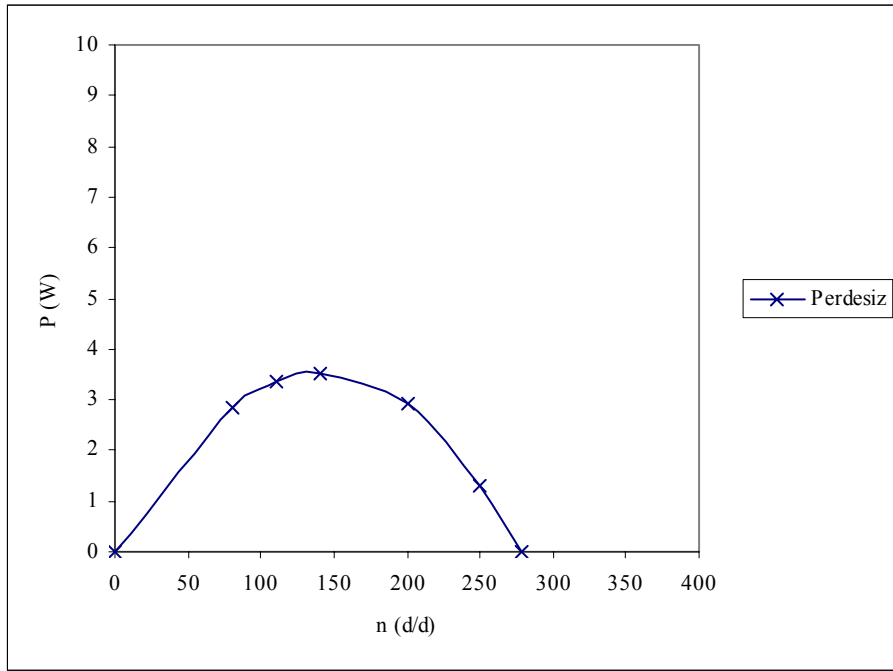
Perdesiz Savonius rüzgar çarkında ölçülen devir sayısı ve dinamik moment değerleri ile hesaplanan değerler Tablo 6.11’de verilmiş ve ayrıca Şekil 6.12 ve 6.13’te sırasıyla moment ve gücün devir sayısına göre değişimleri ile Şekil 6.14’te güç katsayısı C_p ’nin uç hız oranı λ ile değişimi gösterilmiştir. Burada perdesiz durumda; Savonius rüzgar çarkının C_p değerinin 0,1635 civarında maksimum olduğu görülmüştür. C_p ’nin maksimum olduğu durumda çark milinden elde edilen güçünde maksimum olduğu görülmektedir.

Tablo 6.11 Perdesiz durumda; ölçülen devir sayısı ve dinamik moment değerleri ile hesaplanan performans değerleri

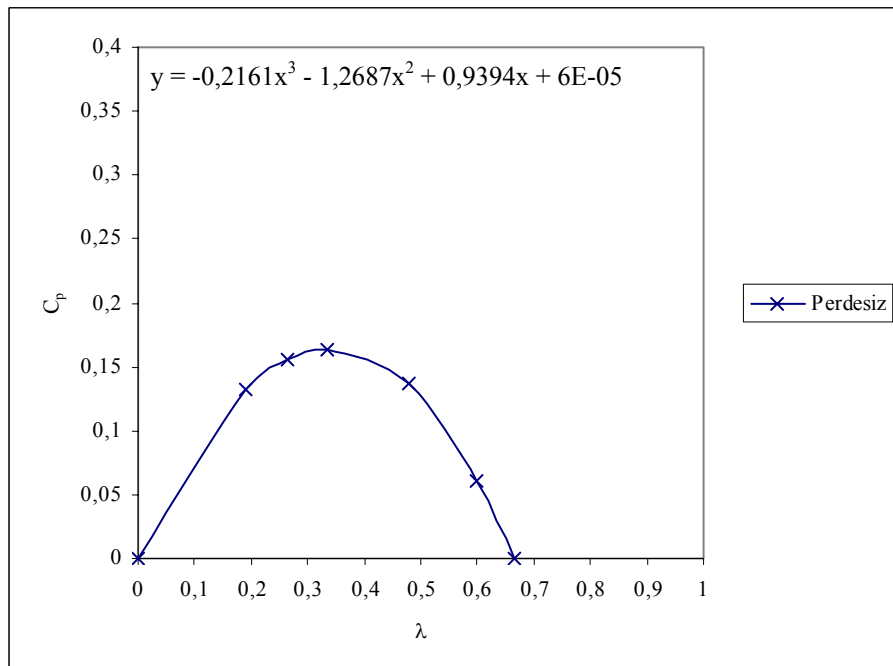
n (d/d)	M_d (Nm)	$P_f = M_d \cdot \omega$ (W)	$C_p = P_f / P_r$	$\lambda = U / V_r$
278	0	0	0	0,6654
250	0,05	1,308	0,0608	0,5983
200	0,14	2,932	0,1362	0,4787
140	0,24	3,519	0,1635	0,3351
110	0,29	3,341	0,1552	0,2632
80	0,34	2,848	0,1324	0,1914
0	0,61	0	0	0



Şekil 6.12 Perdesiz çark için $M=f(n)$ değişimi



Şekil 6.13 Perdesiz çark için $P=f(n)$ değişimi $y = -0,0002x^2 + 0,0509x - 0,0223$



Şekil 6.14 Perdesiz çark için $C_p=f(\lambda)$ değişimi

6.3.3. Perdeli çarktan elde edilen deney sonuçları

Perdesiz durumda yapılan deneylere benzer olarak; perde 1, perde 2 ve perde 3 ile $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ durumları için α 'nın 30^0 den 60^0 'ye kadar olan değerlerinde ortalama 7 m/s'lik rüzgar hızında yapılan deneylerde, çarkın alabileceği maksimum boşta

(yüksüz durumda) devir sayıları belirlenmiş ve her bir alt başlıkta farklı perde durumları için tablolar halinde verilmiştir.

6.3.3.1. Perde 1 durumunda elde edilen deney sonuçları ($\beta=10^0$)

Perde 1 ile $\beta=10^0$ iken α 'nın 30^0 'den 60^0 ye kadar olan değerleri için, çarkın boşa (yüksüz durumda) alabileceği maksimum devir sayıları Tablo 6.12'de görülmektedir. Burada bir çok seçenek olmasına karşın çeşitli α açılarında elde edilen maksimum devir sayısı olan $\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$ durumu için koşullar belirlenerek deneyler sürdürülmüştür. Buna göre elde edilen dinamik moment, devir sayısı ve hesaplanan güç, güç katsayısı ve uç hız oranı değerleri Tablo 6.13'de verilmiştir. Ayrıca Şekil 6.15'de momentin ve Şekil 6.16'da ise gücün devir sayısı ile değişimleri gösterilmiştir.

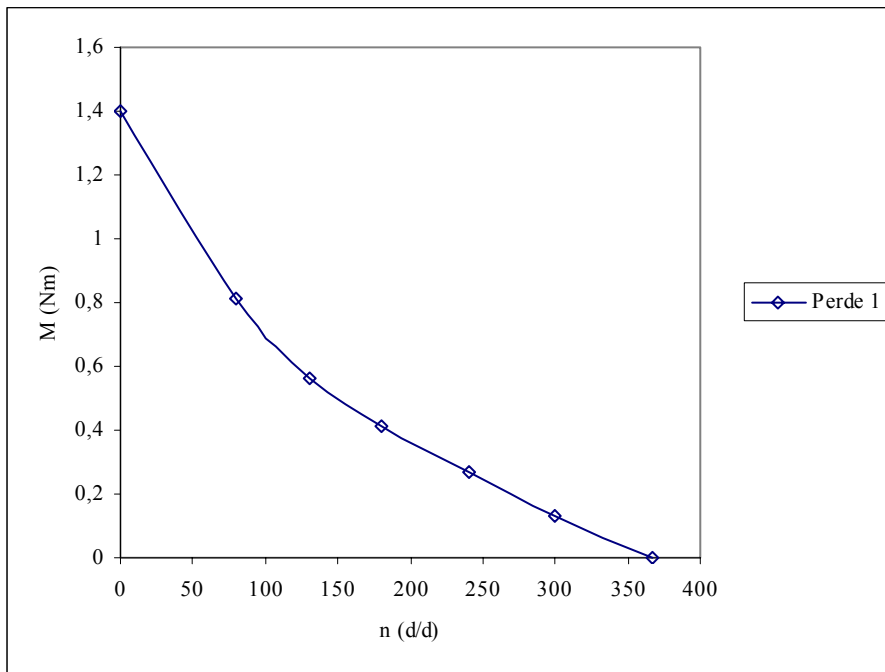
Yapılan deneylerden hareketli çark durumunda; perde 1 için $\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$ iken, en yüksek güç katsayısı değerinin 0,3591 civarında olduğu görülmüş ve güç katsayısının uç hız oranına göre değişimi de Şekil 6.17'de gösterilmiştir. Bu durumda; gücün maksimum değerinin de 7,724 W olduğu Tablo 6.13 ve Şekil 6.16'dan da görülmektedir.

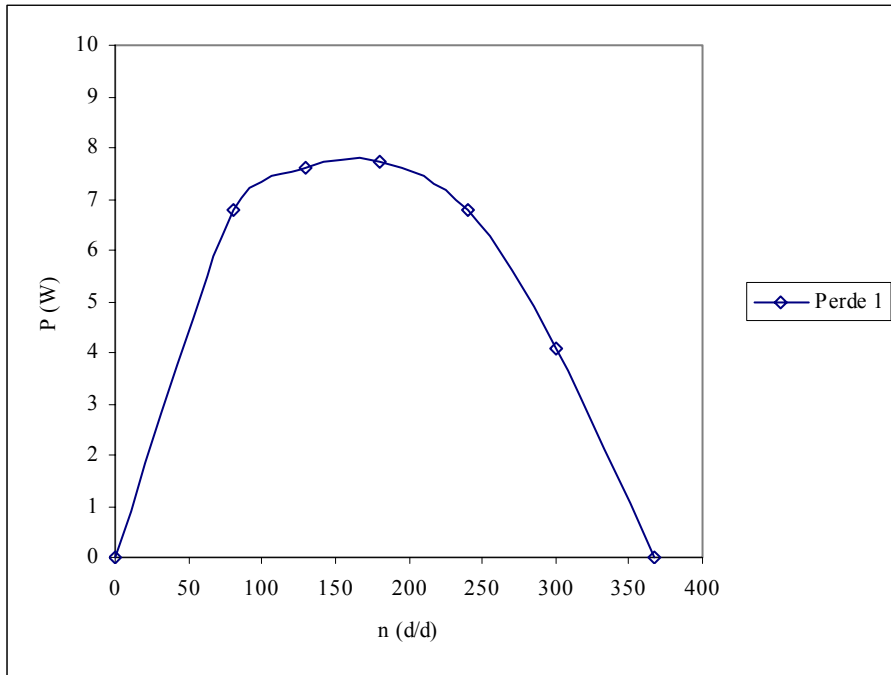
Tablo 6.12 Perde 1 durumunda ölçülen boşa devir sayıları ve durma moment değerleri ($\beta=10^0$)

Perde tipi	$\alpha(^0)$	$\beta(^0)$	Boşa devir sayısı n (d/d)	Durma momenti M (Nm)
Perde 1	60	10	340	1,18
	55	10	352	1,32
	50	10	367	1,40
	45	10	360	1,35
	40	10	355	1,28
	35	10	344	1,14
	30	10	330	1,02

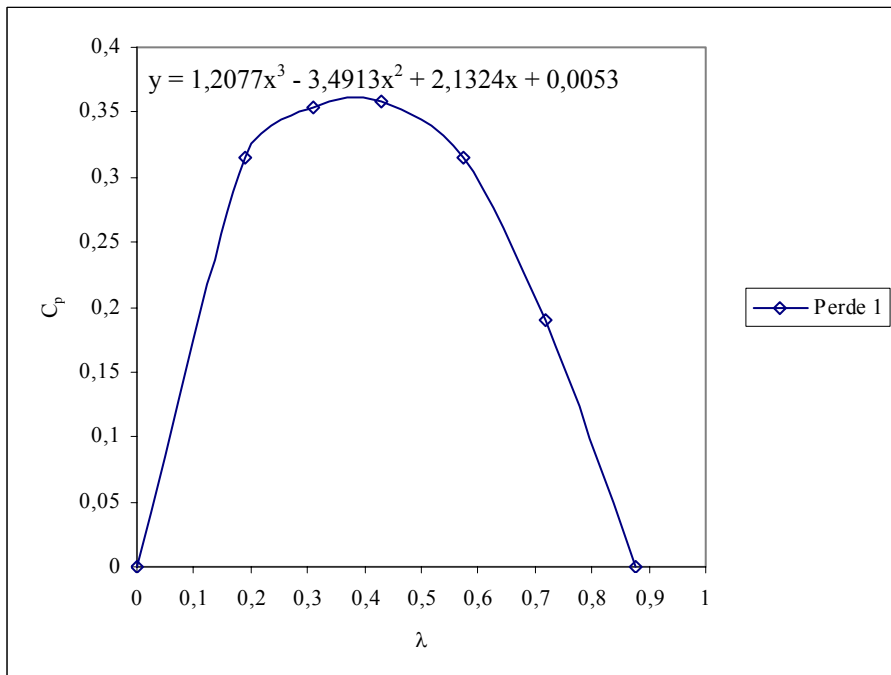
Tablo 6.13 Perde 1 durumunda ölçülen ve hesaplanan değerler ($\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$)

$\alpha(^0)$	$\beta(^0)$	n (d/d)	M_d (Nm)	$P_f=M_d \cdot \omega$ (W)	$C_p=P_f/P_r$	$\lambda=U/V_r$
50	10	367	0	0	0	0,8780
50	10	300	0,13	4,082	0,1897	0,7177
50	10	240	0,27	6,782	0,3153	0,5741
50	10	180	0,41	7,724	0,3591	0,4306
50	10	130	0,56	7,619	0,3541	0,3110
50	10	80	0,81	6,782	0,3152	0,1914
50	10	0	1,40	0	0	0

**Şekil 6.15** Perde 1 için $M=f(n)$ değişimi ($\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$)



Şekil 6.16 Perde 1 için $P=f(n)$ değişimi ($\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$)



Şekil 6.17 Perde 1 için $C_p=f(\lambda)$ değişimi ($\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$)

6.3.3.2. Perde 2 durumunda elde edilen deney sonuçları ($\beta=10^0$)

Perde 2 için α 'nın 30^0 'den 60^0 ye kadar olan değerlerinde yapılan deneylerle çarkın boşta (yüksüz durumda) alabileceği maksimum devir sayıları ve durma momentleri

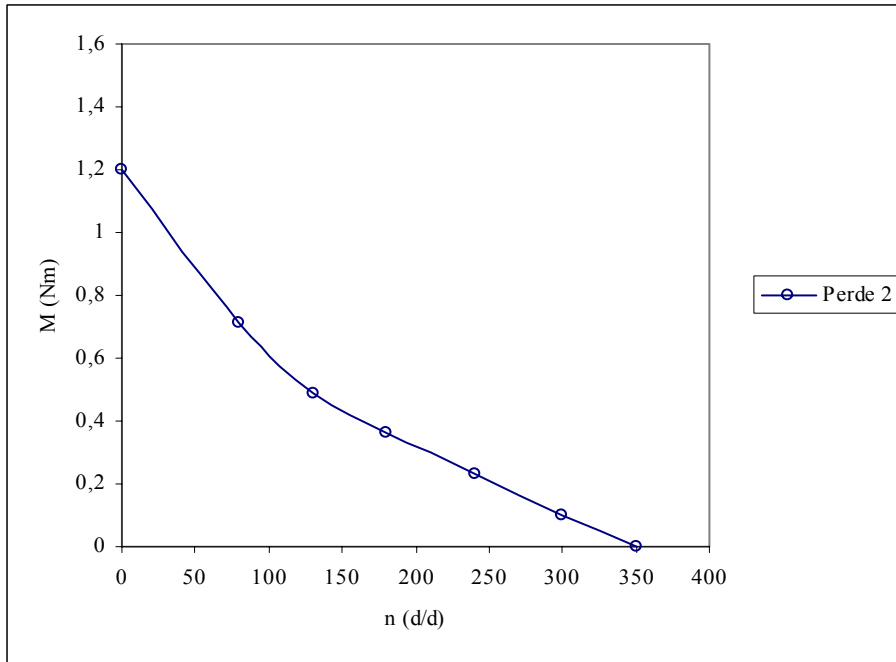
Tablo 6.14’de verilmiştir. Buradan çeşitli α açılarında elde edilen maksimum devir sayısı olan $\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$ durumu için koşullar belirlenerek deneyler sürdürülmüştür. Buna göre perde 2 için, çarktan elde edilen dinamik moment, devir sayısı ve hesaplanan güç, güç katsayısı ve uç hız oranı değerleri Tablo 6.15’de gösterilmiştir. Şekil 6.18’de dinamik momentin ve Şekil 6.19’da ise gücün devir sayısına göre değişimleri gösterilmiştir. Perde 2 için; $\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$ durumunda en yüksek güç katsayısı değerinin 0,3152 civarında olduğu Tablo 6.15 ve Şekil 6.20’de görülmüştür.

Tablo 6.14 Perde 2 durumunda ölçülen boşa devir sayıları ve durma moment değerleri ($\beta=10^0$)

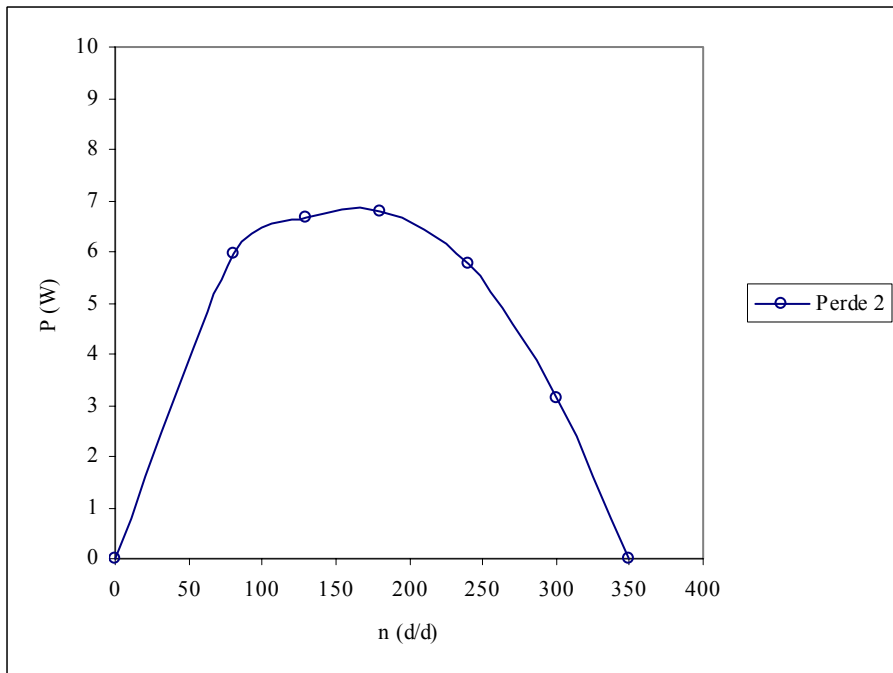
Perde tipi	$\alpha(^0)$	$\beta(^0)$	Boşa devir sayısı n (d/d)	Durma momenti M (Nm)
Perde 2	60	10	325	1,00
	55	10	340	1,15
	50	10	350	1,20
	45	10	344	1,18
	40	10	335	1,12
	35	10	320	1,00
	30	10	310	0,85

Tablo 6.15 Perde 2 durumunda ölçülen ve hesaplanan değerler ($\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$)

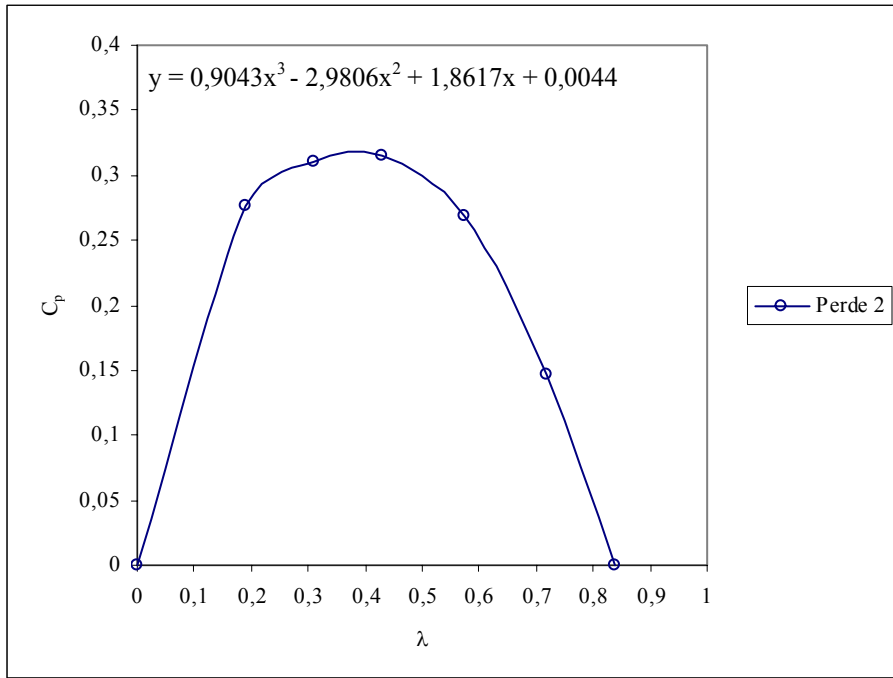
$\alpha(^0)$	$\beta(^0)$	n (d/d)	M_d (Nm)	$P_f=M_d \cdot \omega$ (W)	$C_p=P_f/P_r$	$\lambda=U/V_r$
50	10	350	0	0	0	0,8373
50	10	300	0,1	3,140	0,1459	0,7177
50	10	240	0,23	5,777	0,2685	0,5741
50	10	180	0,36	6,782	0,3152	0,4306
50	10	130	0,49	6,667	0,3099	0,3110
50	10	80	0,71	5,945	0,2763	0,1914
50	10	0	1,2	0	0	0



Şekil 6.18 Perde 2 için $M=f(n)$ değişimi ($\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$)



Şekil 6.19 Perde 2 için $P=f(n)$ değişimi ($\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$)



Şekil 6.20 Perde 2 için $C_p=f(\lambda)$ değişimi ($\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$)

6.3.3.3. Perde 3 durumunda elde edilen deney sonuçları ($\beta=10^0$)

Perde 3 için α 'nın 30^0 'den 60^0 ye kadar olan değerlerinde yapılan deneylerle çarkın boşta (yüksüz durumda) alabileceği maksimum devir sayıları ve durma momentleri Tablo 6.16'da verilmiştir. Buradan çeşitli α açılarında elde edilen maksimum devir sayısı olan $\alpha=55^0$ ve $\beta=10^0$ durumu için koşullar belirlenerek deneyler sürdürülmüştür.

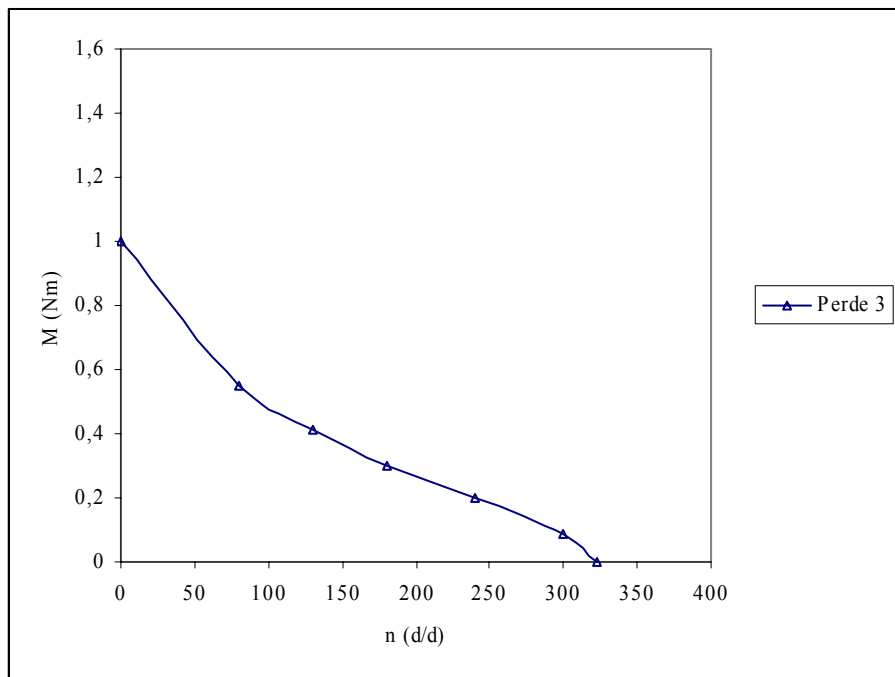
Perde 3 için; yapılan deneylerle elde edilen dinamik moment, devir sayısı ve hesaplanan güç, güç katsayısı ve uç hız oranı Tablo 6.17'de gösterilmiştir. Şekil 6.21'de momentin ve Şekil 6.22'de ise gücün devir sayısı ile değişimleri gösterilmiştir. Perde 3 durumunda, güç katsayısı değerinin 0,2627 civarında maksimum olduğu Tablo 6.17 ve Şekil 6.23'de görülmektedir.

Tablo 6.16 Perde 3 durumunda ölçülen boşa devir sayıları ve durma moment değerleri ($\beta=10^0$)

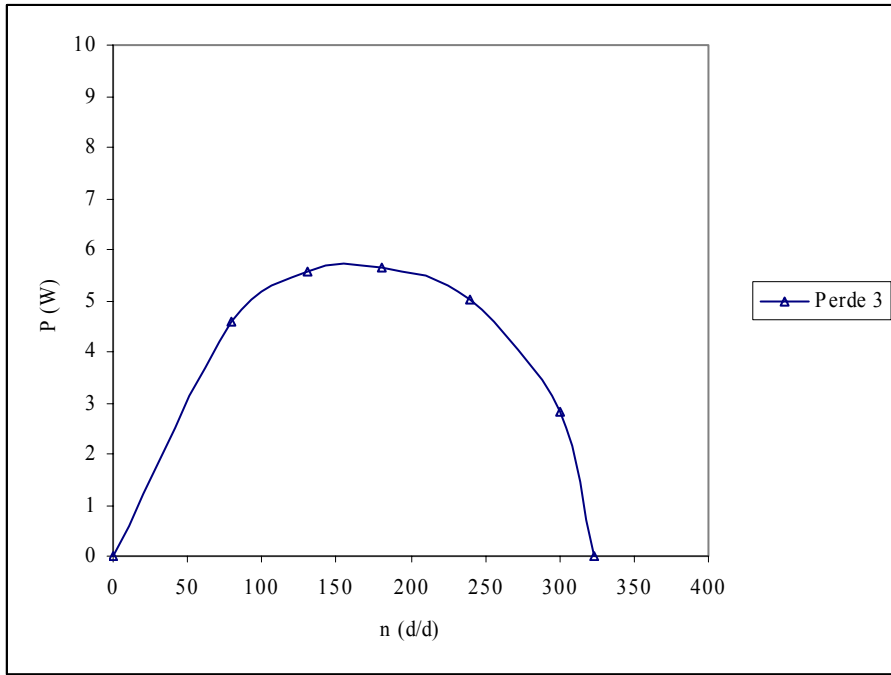
Perde tipi	$\alpha(^0)$	$\beta(^0)$	Boşa devir sayısı n (d/d)	Durma momenti M (Nm)
Perde 3	60	10	310	0,74
	55	10	323	1
	50	10	319	0,9
	45	10	311	0,8
	40	10	302	0,73
	35	10	295	0,72
	30	10	290	0,71

Tablo 6.17 Perde 3 durumunda ölçülen ve hesaplanan değerler ($\alpha=55^0$ ve $\beta=10^0$)

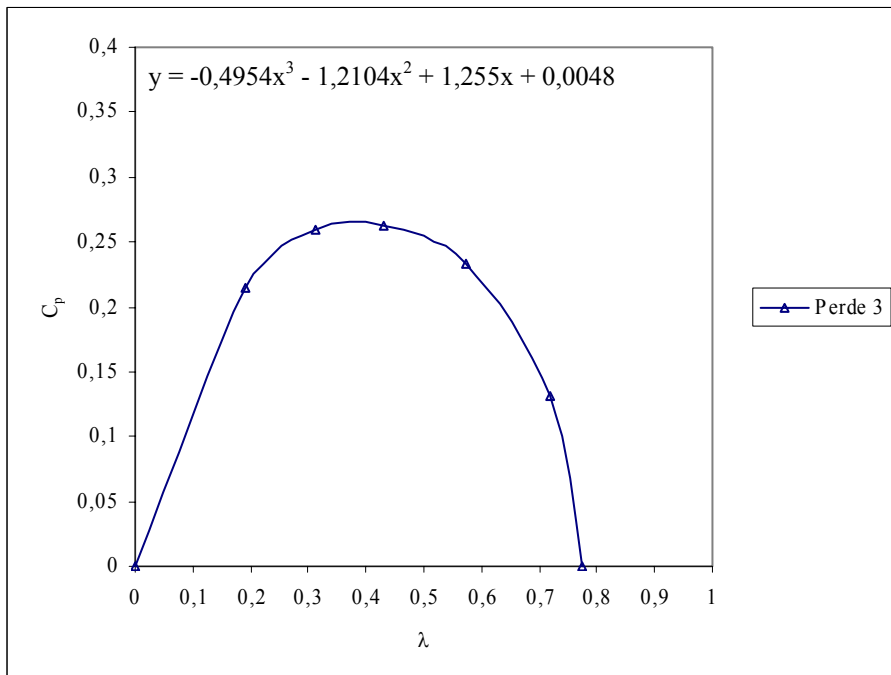
$\alpha(^0)$	$\beta(^0)$	n (d/d)	M_d (Nm)	$P_f = M_d \cdot \omega$ (W)	$C_p = P_f / P_r$	$\lambda = U / V_r$
55	10	323	0	0	0	0,7727
55	10	300	0,09	2,826	0,1314	0,7177
55	10	240	0,2	5,024	0,2335	0,5741
55	10	180	0,3	5,652	0,2627	0,4306
55	10	130	0,41	5,578	0,2593	0,3110
55	10	80	0,55	4,605	0,2141	0,1914
55	10	0	1	0	0	0



Şekil 6.21 Perde 3 için $M=f(n)$ değişimi ($\alpha=55^0$ ve $\beta=10^0$)



Şekil 6.22 Perde 3 için $P=f(n)$ değişimi ($\alpha=55^0$ ve $\beta=10^0$)



Şekil 6.23 Perde 3 için $C_p=f(\lambda)$ değişimi ($\alpha=55^0$ ve $\beta=10^0$)

6.3.3.4. Perde 1 durumunda elde edilen deney sonuçları ($\beta=15^0$)

Perde 1 için α 'nın 30^0 'den 60^0 ye kadar olan değerlerinde yapılan deneylerle çarkın boşta (yüksüz durumda) alabileceği maksimum devir sayıları ve durma momentleri

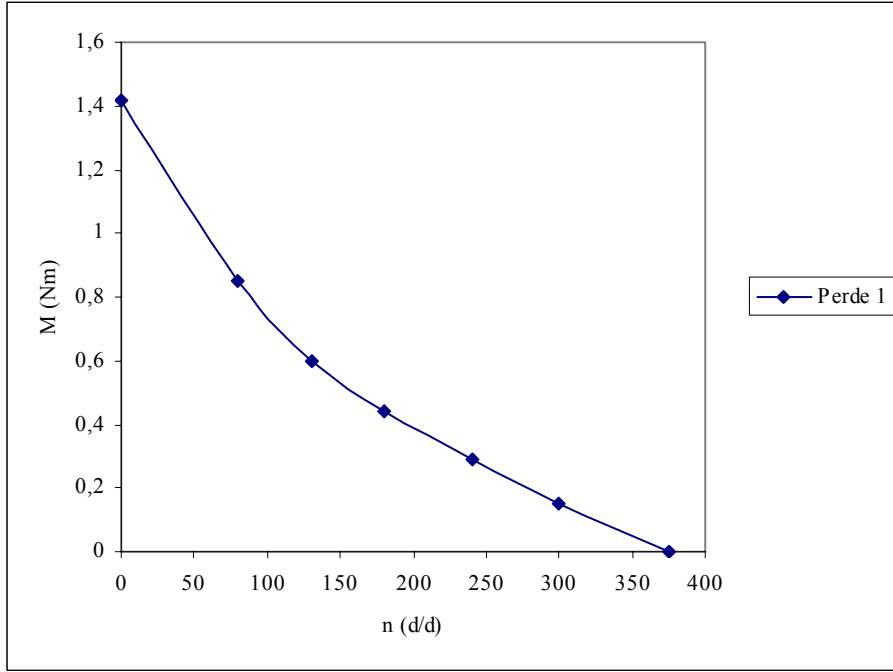
Tablo 6.18’de verilmiştir. Buradan çeşitli α açılarında elde edilen maksimum devir sayısı olan $\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$ durumu için koşullar belirlenerek deneyler sürdürülmüştür. Buna göre perde 1 için deneylerden ölçülen dinamik moment, devir sayısı ve hesaplanan güç, güç katsayısı ve uç hız oranı değerleri Tablo 6.19’da verilmiştir. Şekil 6.24’de dinamik momentin ve Şekil 6.25’de ise gücün devir sayısı ile değişimleri gösterilmiştir. En yüksek güç katsayısı değerinin 0,3853 civarında olduğu Tablo 6.19 ve Şekil 6.26’da görülmektedir.

Tablo 6.18 Perde 1 durumunda ölçülen boşa devir sayıları ve durma moment değerleri ($\beta=15^0$)

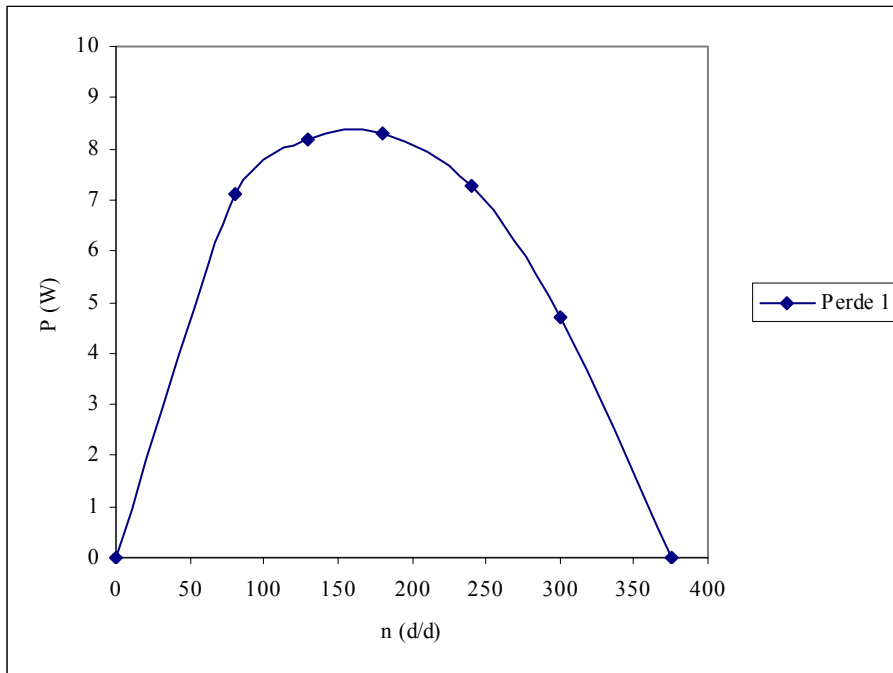
Perde tipi	$\alpha(^0)$	$\beta(^0)$	Boşa devir sayısı n (d/d)	Durma momenti M (Nm)
Perde 1	60	15	355	1,3
	55	15	358	1,35
	50	15	369	1,4
	45	15	375	1,42
	40	15	363	1,37
	35	15	356	1,28
	30	15	345	1,12

Tablo 6.19 Perde 1 durumunda ölçülen ve hesaplanan değerler ($\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$)

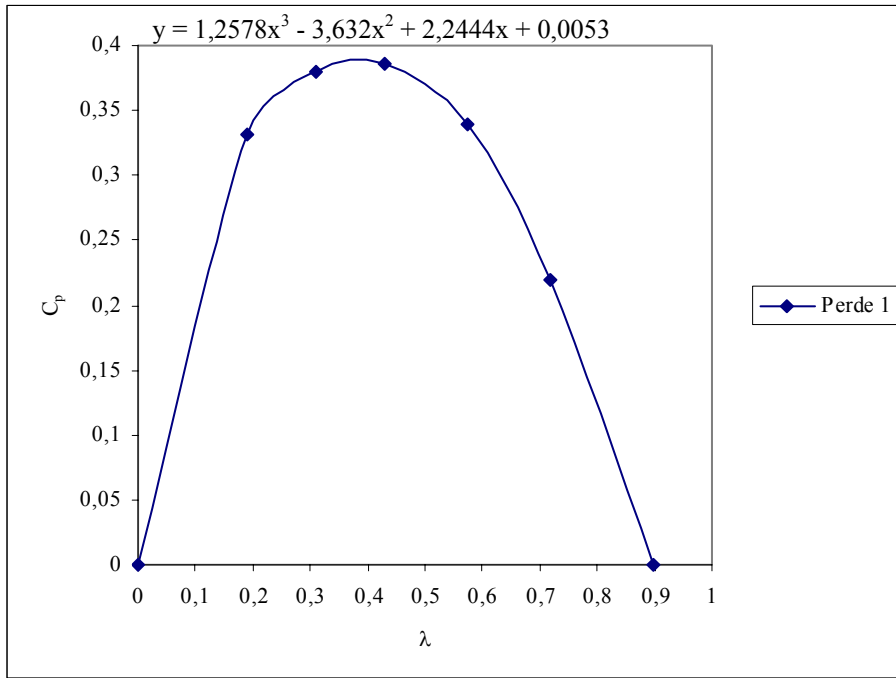
$\alpha(^0)$	$\beta(^0)$	n (d/d)	M_d (Nm)	$P_f = M_d \cdot \omega$ (W)	$C_p = P_f / P_r$	$\lambda = U / V_r$
45	15	375	0	0	0	0,8971
45	15	300	0,15	4,710	0,2189	0,7177
45	15	240	0,29	7,284	0,3386	0,5741
45	15	180	0,44	8,289	0,3853	0,4306
45	15	130	0,6	8,164	0,3794	0,3110
45	15	80	0,85	7,117	0,3308	0,1914
45	15	0	1,42	0	0	0



Şekil 6.24 Perde 1 için $M=f(n)$ değişimi ($\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$)



Şekil 6.25 Perde 1 için $P=f(n)$ değişimi ($\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$)



Şekil 6.26 Perde 1 için $C_p=f(\lambda)$ değişimi ($\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$)

6.3.3.5. Perde 2 durumunda elde edilen deney sonuçları ($\beta=15^0$)

Perde 2 için α 'nın 30^0 'den 60^0 ye kadar olan değerlerinde yapılan deneylerle çarkın boşta (yüksüz durumda) alabileceği maksimum devir sayıları ve durma momentleri Tablo 6.20'de verilmiştir. Buradan çeşitli α açılarında elde edilen maksimum devir sayısı olan $\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$ durumu için koşullar belirlenerek deneyler sürdürülmüştür.

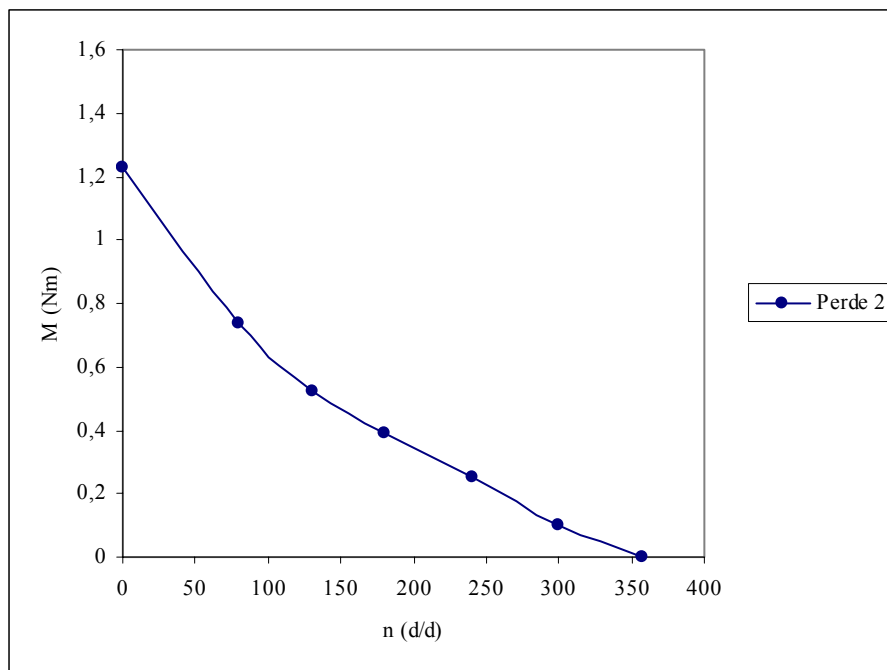
Perde 2 için; yapılan deneylerle elde edilen dinamik moment, devir sayısı ve hesaplanan güç, güç katsayısı ve uç hız oranı değerleri Tablo 6.21'de gösterilmiştir. Şekil 6.27'de ve Şekil 6.28'de sırasıyla dinamik moment ile gücün devir sayısı ile değişimleri ve Şekil 6.29'da ise güç katsayısının uç hız oranı ile değişimleri gösterilmiştir. Tablo 6.21 ve Şekil 6.29'da görüldüğü gibi $\beta=15^0$ için, perde 2 durumunda maksimum güç katsayısı değeri 0,3415 civarında meydana gelmiştir.

Tablo 6.20 Perde 2 durumunda ölçülen boşta devir sayıları ve durma moment değerleri ($\beta=15^\circ$)

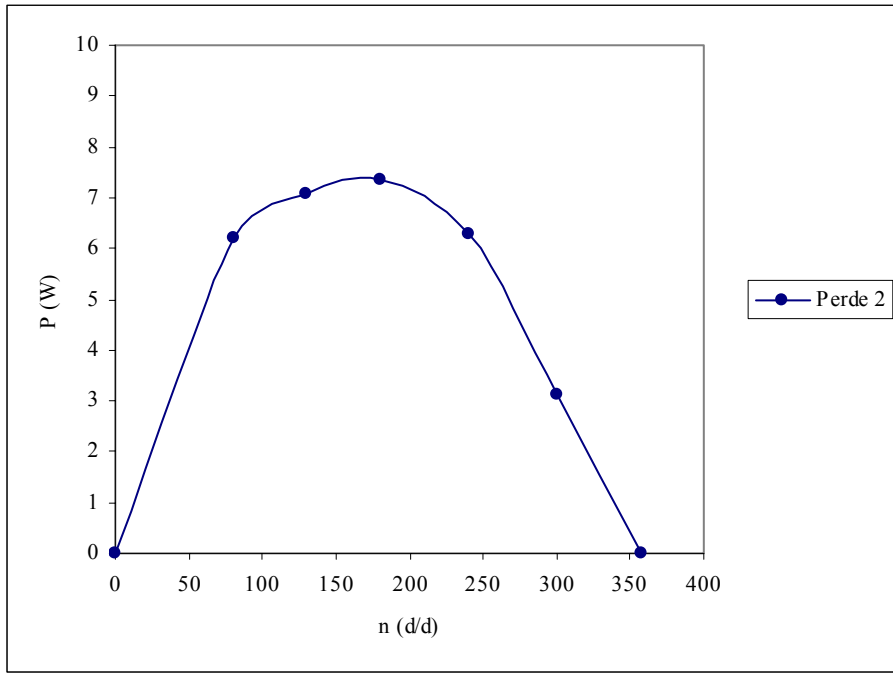
Perde tipi	α ($^\circ$)	β ($^\circ$)	Boşta devir sayısı n (d/d)	Durma momenti M (Nm)
Perde 2	60	15	332	1,08
	55	15	342	1,14
	50	15	347	1,2
	45	15	358	1,23
	40	15	349	1,19
	35	15	336	1,05
	30	15	326	0,95

Tablo 6.21 Perde 2 durumunda ölçülen ve hesaplanan değerler ($\alpha=45^\circ$ ve $\beta=15^\circ$)

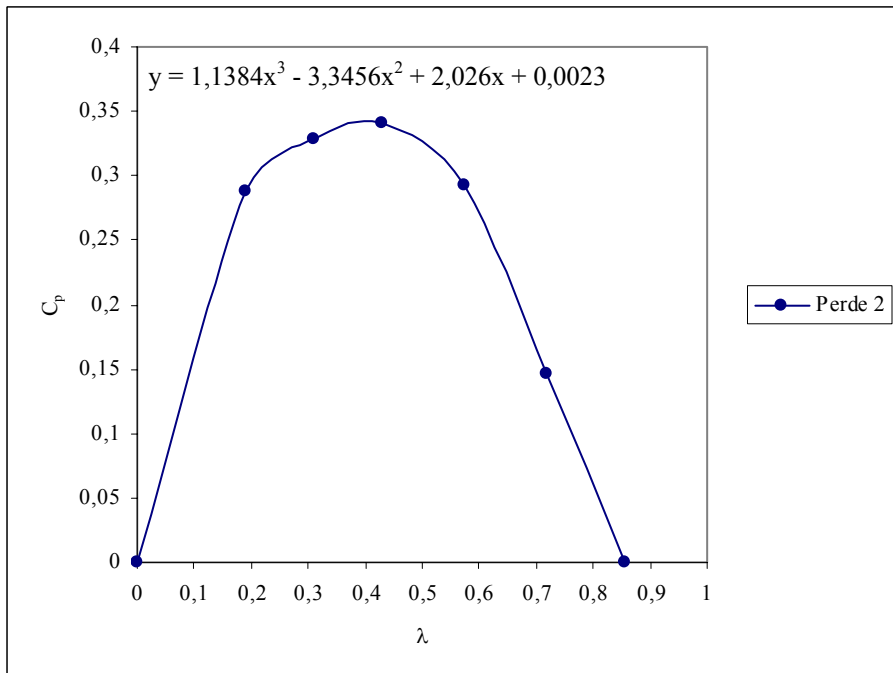
α ($^\circ$)	β ($^\circ$)	n (d/d)	M_d (Nm)	$P_f = M_d \cdot \omega$ (W)	$C_p = P_f / P_r$	$\lambda = U / V_r$
45	15	358	0	0	0	0,8564
45	15	300	0,1	3,140	0,1459	0,7177
45	15	240	0,25	6,280	0,2919	0,5741
45	15	180	0,39	7,347	0,3415	0,4306
45	15	130	0,52	7,075	0,3288	0,3110
45	15	80	0,74	6,196	0,2880	0,1914
45	15	0	1,23	0	0	0



Şekil 6.27 Perde 2 için $M=f(n)$ değişimi ($\alpha=45^\circ$ ve $\beta=15^\circ$)



Şekil 6.28 Perde 2 için $P=f(n)$ değişimi ($\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$)



Şekil 6.29 Perde 2 için $C_p=f(\lambda)$ değişimi ($\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$)

6.3.3.6. Perde 3 durumunda elde edilen deney sonuçları ($\beta=15^0$)

Perde 3 için α 'nın 30^0 'den 60^0 ye kadar olan değerlerinde yapılan deneylerle çarkın boşta (yüksüz durumda) alabileceği maksimum devir sayıları ve durma momentleri

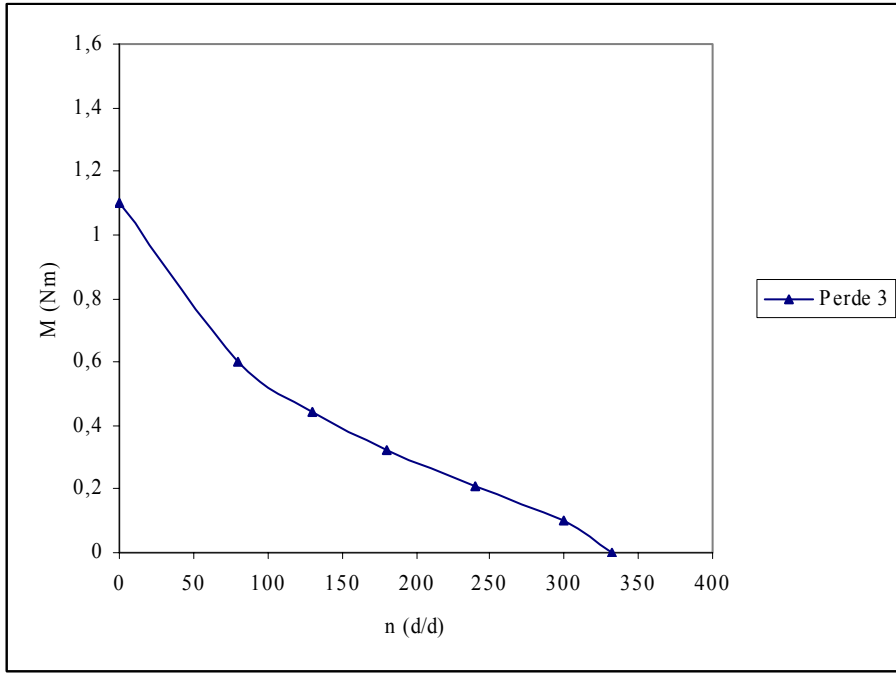
Tablo 6.22’de verilmiştir. Buradan çeşitli α açılarında elde edilen maksimum devir sayısı olan $\alpha=50^0$ ve $\beta=15^0$ durumu için koşullar belirlenerek deneyler sürdürülmüştür. Buna göre perde 3 için, deneylerden elde edilen dinamik moment, devir sayısı ve hesaplanan güç, güç katsayısı ve uç hız oranı değerleri Tablo 6.23’de verilmiştir. Şekil 6.30’da dinamik momentin ve Şekil 6.31’de ise gücün devir sayısına göre değişimleri gösterilmiştir. Şekil 6.32’de ise perde 3 için, en yüksek güç katsayısı değerinin 0,2802 civarında olduğu görülmüştür.

Tablo 6.22 Perde 3 durumunda ölçülen boşta devir sayıları ve durma moment değerleri ($\beta=15^0$)

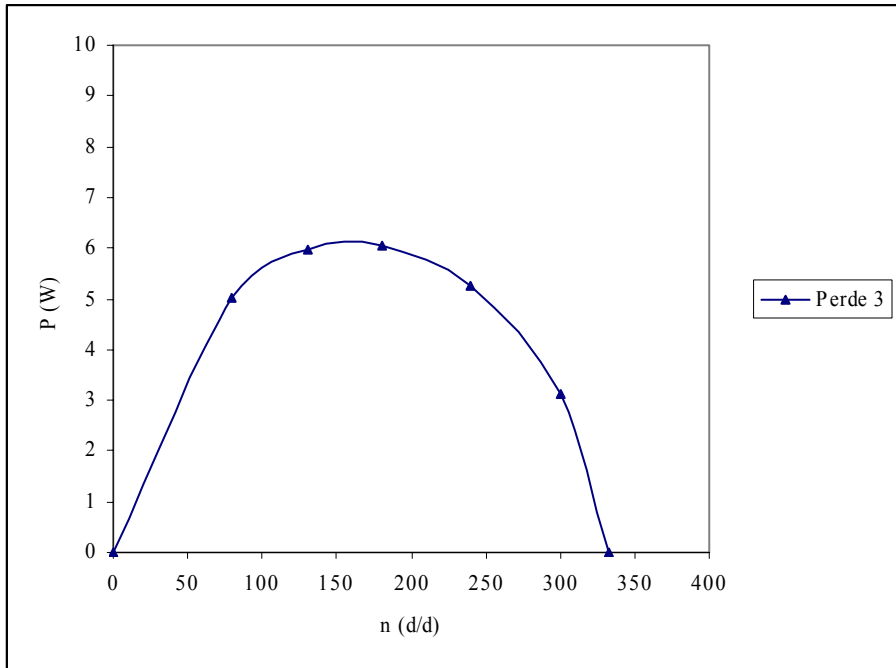
Perde tipi	$\alpha(^0)$	$\beta(^0)$	Boşta devir sayısı n (d/d)	Durma momenti M (Nm)
Perde 3	60	15	312	0,79
	55	15	326	0,9
	50	15	332	1,1
	45	15	327	0,94
	40	15	318	0,82
	35	15	310	0,77
	30	15	300	0,74

Tablo 6.23 Perde 3 durumunda ölçülen ve hesaplanan değerler ($\alpha=50^0$ ve $\beta=15^0$)

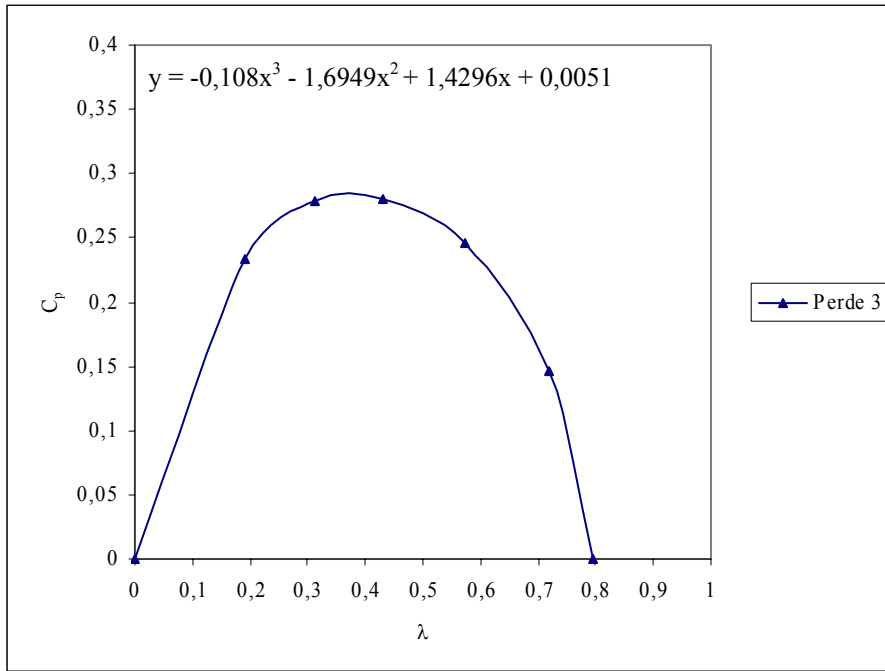
$\alpha(^0)$	$\beta(^0)$	n (d/d)	M_d (Nm)	$P_f = M_d \cdot \omega$ (W)	$C_p = P_f / P_r$	$\lambda = U / V_r$
50	15	332	0	0	0	0,7942
50	15	300	0,1	3,140	0,1459	0,7177
50	15	240	0,21	5,275	0,2452	0,5741
50	15	180	0,32	6,029	0,2802	0,4306
50	15	130	0,44	5,987	0,2783	0,3111
50	15	80	0,6	5,024	0,2335	0,1914
50	15	0	1,1	0	0	0



Şekil 6.30 Perde 3 için $M=f(n)$ değişimi ($\alpha=50^0$ ve $\beta=15^0$)



Şekil 6.31 Perde 3 için $P=f(n)$ değişimi ($\alpha=50^0$ ve $\beta=15^0$)



Şekil 6.32 Perde 3 için $C_p=f(\lambda)$ değişimi ($\alpha=50^0$ ve $\beta=15^0$)

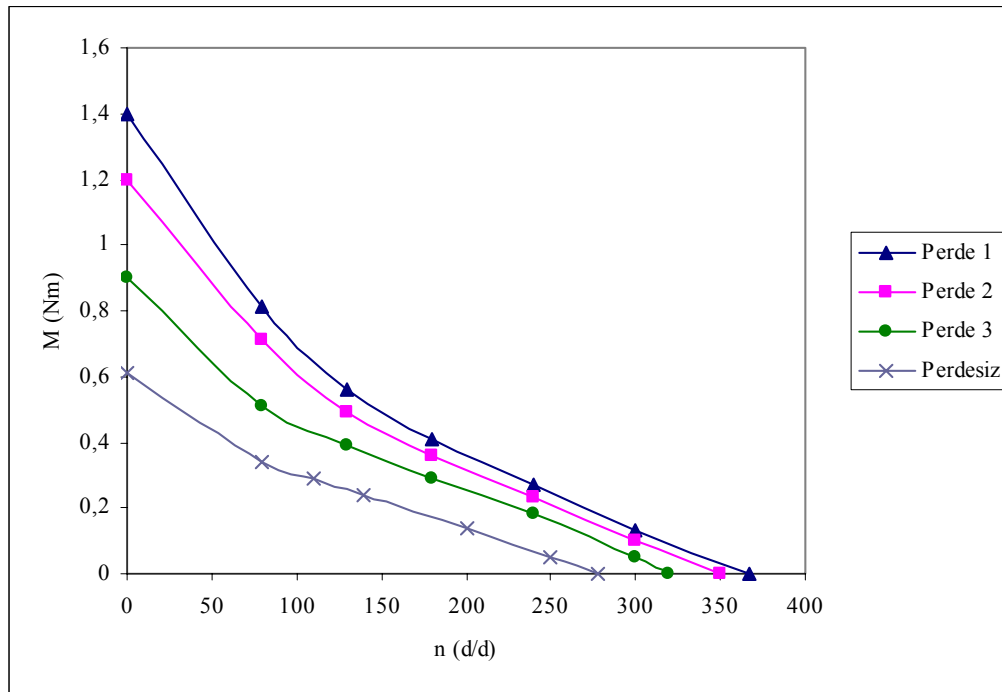
6.3.4. $\beta=10^0$ için perdesiz ve farklı perde durumlarındaki moment, güç ve güç katsayısı değişimlerinin karşılaştırılması

Bundan önceki alt bölümlerde; değişimler her bir perde durumunun maksimum güç veya güç katsayısı göz önüne alınarak incelenmiştir. Fakat, burada perdeler arasında benzer α ve β değerlerinde karşılaştırma yapabilmek için; perde 1'in maksimum C_p değerleri dikkate alınmıştır.

Perdesiz çark ile perde 1, perde 2 ve perde 3'ün $\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$ durumunda, elde edilen moment değişimlerinin karşılaştırılması Tablo 6.24'de verilmiştir. Buna göre en yüksek moment değerinin 1,4 N.m ile perde 1'de elde edildiği görülmüştür. Şekil 6.33'de moment değerlerinin devir sayısına göre değişimi gösterilmiştir. Perdesiz ve perde 2 ile perde 3 durumunda elde edilen momentlerin perde 1'den küçük olduğu Tablo 6.24 ve Şekil 6.33'de görülmektedir.

Tablo 6.24 Perdesiz çark ile $\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$ için farklı perde durumlarında, moment değişimlerinin karşılaştırılması

Perdesiz		Perde 1		Perde 2		Perde 3	
n (d/d)	M_d (Nm)	n (d/d)	M_d (Nm)	n (d/d)	M_d (Nm)	n (d/d)	M_d (Nm)
278	0	367	0	350	0	319	0
250	0,05	300	0,13	300	0,1	300	0,05
200	0,14	240	0,27	240	0,23	240	0,18
140	0,24	180	0,41	180	0,36	180	0,29
110	0,29	130	0,56	130	0,49	130	0,39
80	0,34	80	0,81	80	0,71	80	0,51
0	0,61	0	1,4	0	1,2	0	0,9

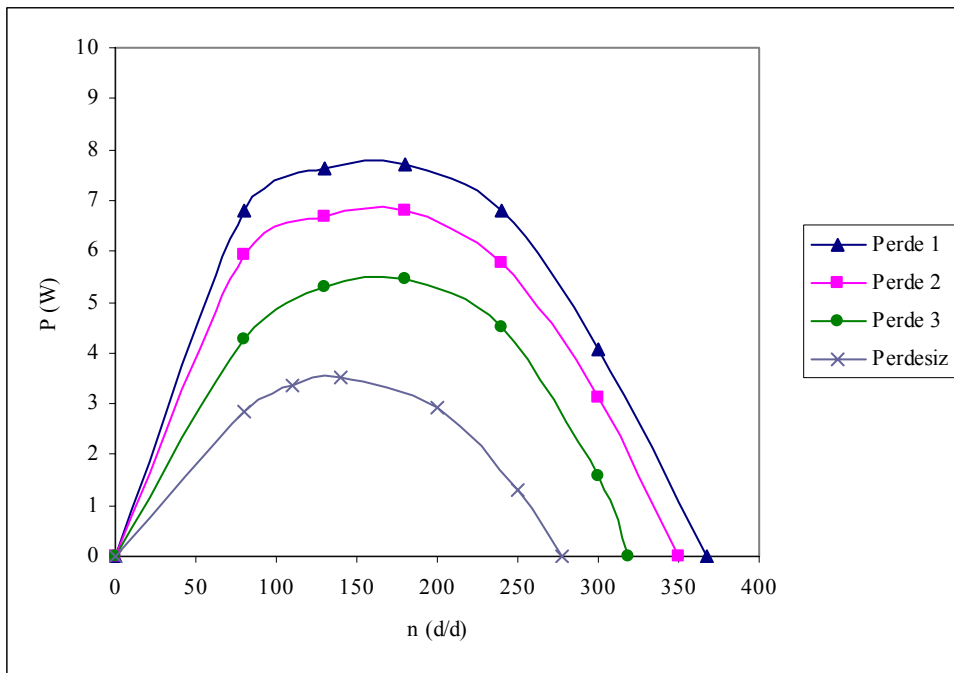


Şekil 6.33 Perdesiz çark ile $\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$ için farklı perde durumlarında, moment değişimlerinin karşılaştırılması

Perdesiz çark ile perde 1, perde 2 ve perde 3'ün $\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$ durumunda, elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılması Tablo 6.25'de verilmiştir. Buna göre en yüksek gücün 7,724 W olarak perde 1'de elde edildiği görülmüştür. Şekil 6.34'de güç değerlerinin devir sayısına göre değişimi gösterilmiştir.

Tablo 6.25 Perdesiz çark ile $\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$ için farklı perde durumlarında, güç değişimlerinin karşılaştırılması

Perdesiz		Perde 1		Perde 2		Perde 3	
n (d/d)	P_f (W)	n (d/d)	P_f (W)	n (d/d)	P_f (W)	n (d/d)	P_f (W)
278	0	367	0	350	0	319	0
250	1,308	300	4,082	300	3,140	300	1,570
200	2,932	240	6,782	240	5,777	240	4,521
140	3,519	180	7,724	180	6,782	180	5,463
110	3,341	130	7,619	130	6,667	130	5,306
80	2,848	80	6,782	80	5,945	80	4,270
0	0	0	0	0	0	0	0

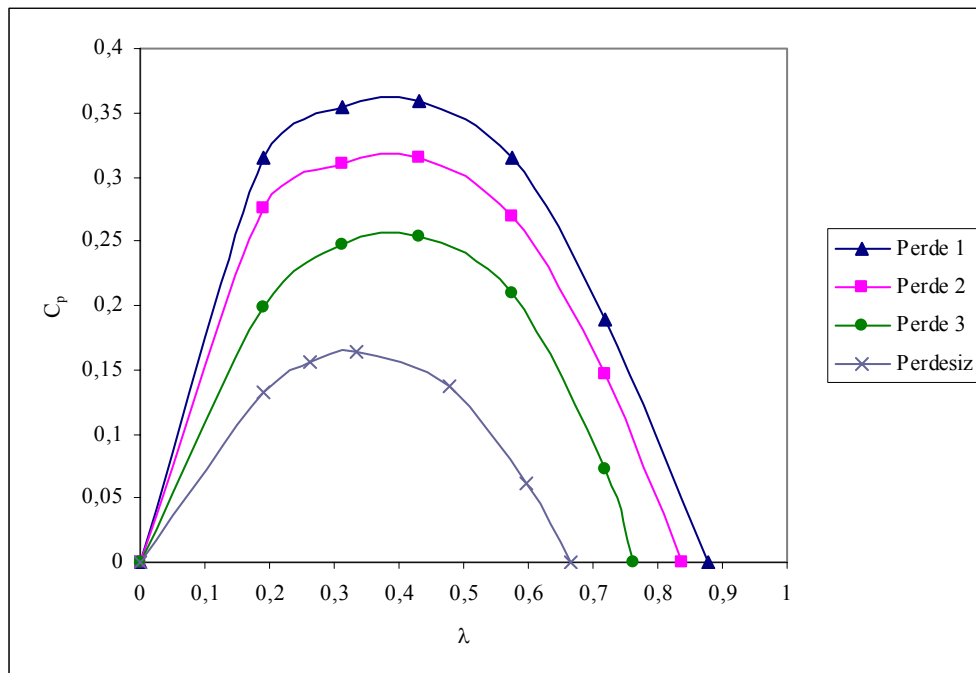


Şekil 6.34 Perdesiz çark ile $\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$ için farklı perde durumlarında, güç değişimlerinin karşılaştırılması

Perdesiz çark ile perde 1, perde 2 ve perde 3 durumlarında $\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$ için, elde edilen güç katsayılarının karşılaştırılması Tablo 6.26'da verilmiştir. Buna göre; en yüksek güç katsayısının 0,3591 civarında perde 1'de elde edildiği görülmüştür. Şekil 6.35'de güç katsayısının uç hız oranı ile değişimi gösterilmiştir.

Tablo 6.26 Perdesiz çark ile $\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$ için farklı perde durumlarında, güç katsayısı değişimlerinin karşılaştırılması

Perdesiz		Perde 1		Perde 2		Perde 3	
C_p	λ	C_p	λ	C_p	λ	C_p	λ
0	0,6654	0	0,8780	0	0,8373	0	0,7631
0,0608	0,5983	0,1897	0,7177	0,1459	0,7177	0,0729	0,7177
0,1362	0,4787	0,3153	0,5741	0,2685	0,5741	0,2102	0,5741
0,1635	0,3351	0,3591	0,4306	0,3152	0,4306	0,2539	0,4306
0,1552	0,2632	0,3541	0,3110	0,3099	0,3110	0,2466	0,3110
0,1324	0,1914	0,3152	0,1914	0,2763	0,1914	0,1985	0,1914
0	0	0	0	0	0	0	0



Şekil 6.35 Perdesiz çark ile $\alpha=50^0$ ve $\beta=10^0$ için farklı perde durumlarında, güç katsayısı değişimlerinin karşılaştırılması

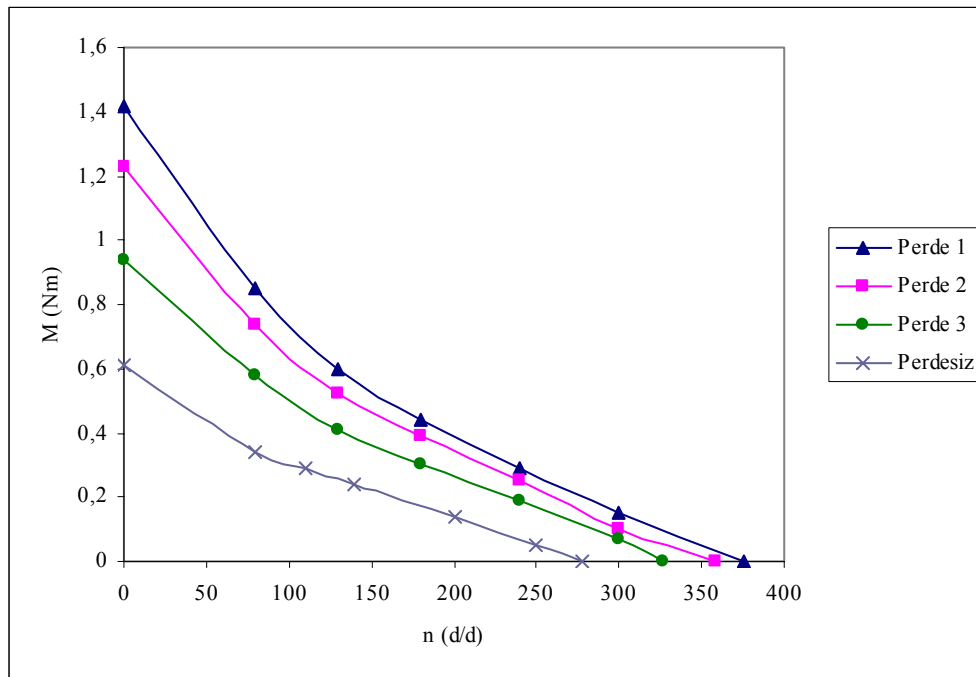
6.3.5. $\beta=15^0$ için perdesiz ve farklı perde durumlarındaki moment, güç ve güç katsayısı değişimlerinin karşılaştırılması

Perdesiz çark ile perde 1, perde 2 ve perde 3'ün $\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$ durumunda, elde edilen moment ve devir sayılarının karşılaştırılması Tablo 6.27'de verilmiştir. Şekil

6.36’da elde edilen moment değerlerinin devir sayısına göre değişimi gösterilmiştir. Şekilden de gösterildiği gibi en iyi moment değişimi perde 1’den elde edilmiştir.

Tablo 6.27 Perdesiz çark ile $\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$ için farklı perde durumlarında, moment değişimlerinin karşılaştırılması

Perdesiz		Perde 1		Perde 2		Perde 3	
n (d/d)	M_d (Nm)	n (d/d)	M_d (Nm)	n (d/d)	M_d (Nm)	n (d/d)	M_d (Nm)
278	0	375	0	358	0	327	0
250	0,05	300	0,15	300	0,1	300	0,07
200	0,14	240	0,29	240	0,25	240	0,19
140	0,24	180	0,44	180	0,39	180	0,3
110	0,29	130	0,6	130	0,52	130	0,41
80	0,34	80	0,85	80	0,74	80	0,58
0	0,61	0	1,42	0	1,23	0	0,94

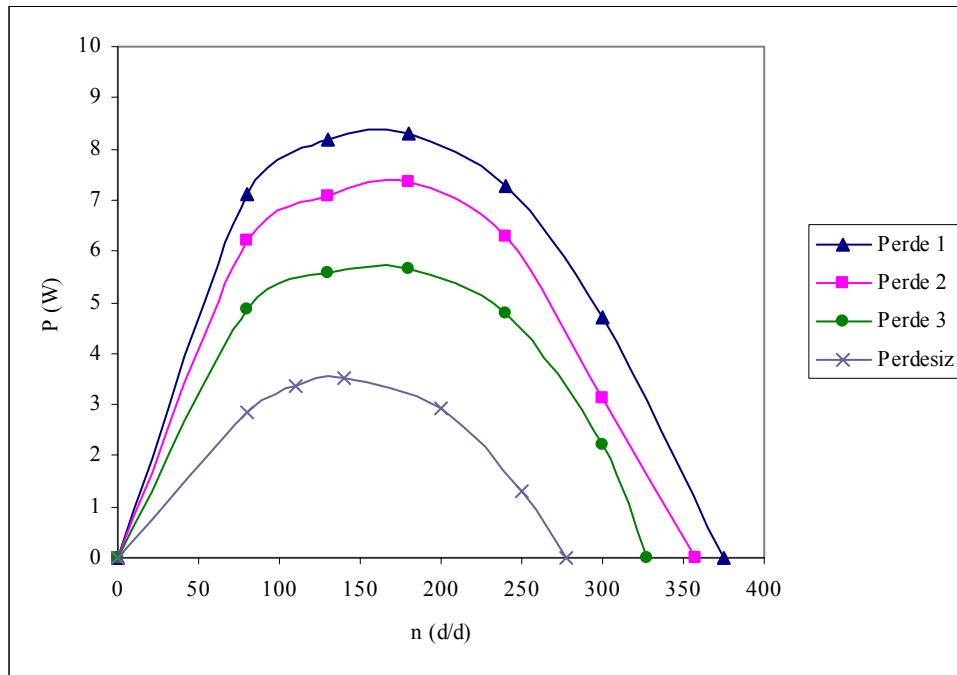


Şekil 6.36 Perdesiz çark ile $\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$ için farklı perde durumlarında, moment değişimlerinin karşılaştırılması

Perdesiz çark ile perde 1, perde 2 ve perde 3’ün $\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$ durumunda, elde edilen güç ve devir sayılarının karşılaştırılması Tablo 6.28’de verilmiştir. Buna göre en yüksek gücün 8,289 W olarak perde 1 için elde edildiği görülmüştür. Şekil 6.37’de güç değerlerinin devir sayısına göre değişimi gösterilmiştir.

Tablo 6.28 Perdesiz çark ile $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=15^\circ$ için farklı perde durumlarında, güç değişimlerinin karşılaştırılması

Perdesiz		Perde 1		Perde 2		Perde 3	
n (d/d)	P_f (W)	n (d/d)	P_f (W)	n (d/d)	P_f (W)	n (d/d)	P_f (W)
278	0	375	0	358	0	327	0
250	1,308	300	4,710	300	3,140	300	2,198
200	2,932	240	7,284	240	6,280	240	4,772
140	3,519	180	8,289	180	7,347	180	5,652
110	3,341	130	8,164	130	7,075	130	5,578
80	2,848	80	7,117	80	6,196	80	4,856
0	0	0	0	0	0	0	0



Şekil 6.37 Perdesiz çark ile $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=15^\circ$ için, farklı perde durumlarında, güç değişimlerinin karşılaştırılması

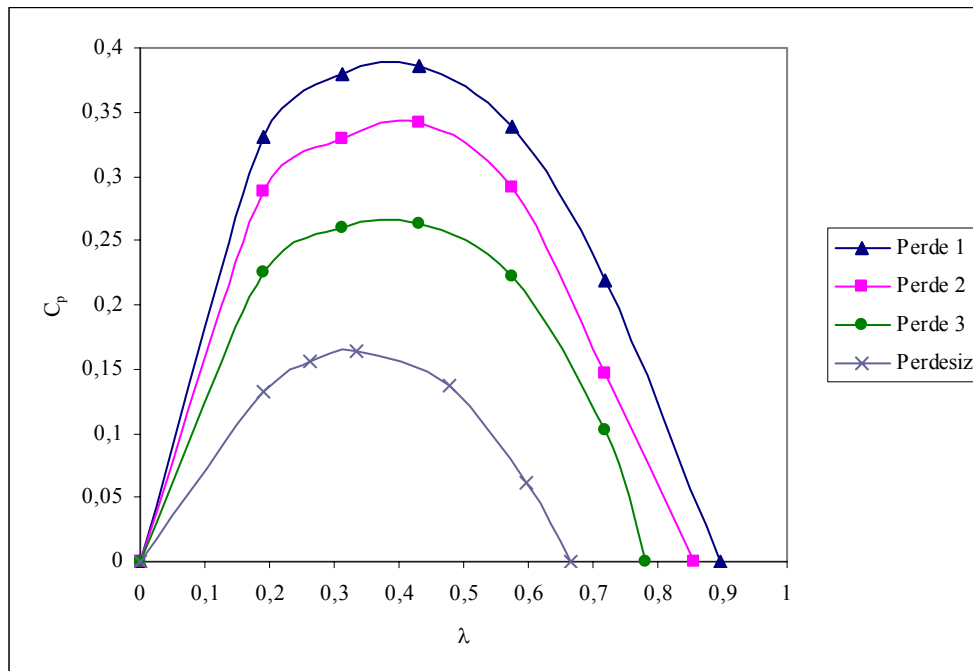
Perdesiz çark ile perde 1, perde 2 ve perde 3 durumunda $\alpha=45^\circ$ ve $\beta=15^\circ$ için, elde edilen güç katsayılarının karşılaştırılması Tablo 6.29'da verilmiştir. Buna göre en yüksek güç katsayısının 0,3853 civarında perde 1'de elde edildiği görülmüştür. Şekil 6.38'de güç katsayısının uç hız oranı ile değişimi gösterilmiştir.

Bu çalışmaya başlamadan önce; daha önce yapılmış çalışmalarla karşılaştırmak amacıyla Fujisawa (1992) ve Fujisawa ve Gotoh (1992b) tarafından yapılan

çalışmalarındaki benzer geometriye sahip, çark imalatı yapılması düşünülmüş ve deney düzeneği buna göre tasarlanmıştır. Gerek bu çalışmanın perdesiz çarkla yapılan deney sonuçları ve gerekse Fujisawa (1992) ve Fujisawa ve Gotoh (1992b) tarafından yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında güç katsayısı değeri 0,16-0,17 arasında maksimum olarak elde edilirken, perdeli çarklardan elde edilen sonuçlardan özellikle, perde 1’de maksimum güç katsayısı değerinin $\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$ için 0,3853’e kadar çıktığı görülmüştür (Tablo 6.29). Bu da perdenin performans arttırıcı özelliğini bir kere daha ortaya koymuştur.

Tablo 6.29 Perdesiz çark ile $\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$ için farklı perde durumlarında, güç katsayısı değişimlerinin karşılaştırılması

Perdesiz		Perde 1		Perde 2		Perde 3	
C_p	λ	C_p	λ	C_p	λ	C_p	λ
0	0,6654	0	0,8971	0	0,8564	0	0,7823
0,0608	0,5983	0,2189	0,7177	0,1459	0,7177	0,1021	0,7177
0,1362	0,4787	0,3386	0,5741	0,2919	0,5741	0,2218	0,5741
0,1635	0,3351	0,3853	0,4306	0,3415	0,4306	0,2627	0,4306
0,1552	0,2632	0,3794	0,3110	0,3288	0,3110	0,2593	0,3110
0,1324	0,1914	0,3308	0,1914	0,2880	0,1914	0,2257	0,1914
0	0	0	0	0	0	0	0



Şekil 6.38 Perdesiz çark ile $\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$ için, farklı perde durumlarında, güç katsayısı değişimlerinin karşılaştırılması

Çarkın hareketli durumları için yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre; perde 1 için; perde konumlarının $\beta=15^0$ iken $\alpha=45^0$ için performansın en iyi olduğu ve yine $\beta=10^0$ iken $\alpha=50^0$ olduğunda da performansın yüksek, fakat $\beta=15^0$ 'e göre daha düşük değerlerde olduğu deneylerden saptanmıştır (Şekil 6.35 ve Tablo 6.26, Şekil 6.38 ve Tablo 6.29). Burada görüldüğü gibi, $\alpha+\beta$ 'nin belirli bir limit değerinde maksimum performans sağladığı görüşünden hareketle, belki de $\alpha=30^0$ ve $\beta=30^0$ 'lik konumlarda aynı süpürme alanını sağlaması sonucu performans artışında yükselmenin olabileceği düşünülebilir. Öncelikle bu iki karşılaştırma yapıldığında, $\beta=15^0$ 'nin daha büyük değer sağladığı, fakat $\beta=10^0$ 'için daha düşük değer elde edildiği durum göz önüne alınırsa, β 'nin azalan ve α 'nın artan değerlerinde performans düşüşü muhakkaktır. Buradan da, akışın geliş istikametinde $\beta=10^0$ 'için bir miktar akışkanın, perdenin iç kısmına girmeden dış akış alanına kaçtığı sonucuna varılmıştır. Diğer taraftan, β 'nin 15^0 'den büyük değerlerinde, yine $\alpha+\beta$ 'nin sabit tutulduğunu varsayarak, α 'nın değerinin küçüldüğü ve bir kısım akışkanın bu yüzden perdenin arkasından kaçarak dış bükey kanat üzerine etki ederek negatif bir direnç momenti oluşturacağı, böylece performansta bir düşüş meydana getireceği sonucuna varılmıştır.

7. SAYISAL ÇÖZÜMDE KULLANILAN HESAPLAMA YÖNTEMİ

Bu tez çalışmasında; Sayısal Akışkanlar Dinamiği (SAD) paket programlarından biri olan Fluent 6.0 ticari yazılımı kullanılarak, statik haldeki perdeli ve perdesiz Savonius rüzgar çarkının aerodinamik incelemesi gerçekleştirilmiştir. Fluent, yapısal ağ yapıları yanı sıra yapısal olmayan ağ yapılarını da destekleyerek karmaşık geometriler etrafında veya içinde akış ve ısı transferi problemlerini çözme kabiliyetine sahip, sonlu hacimler yöntemini kullanan bir Sayısal Akışkanlar Dinamiği (SAD) yazılımıdır.

Çalışmanın modellenmesi, Fluent'in sunduğu model ve ağ oluşturma programı olan Gambit 2.0 programı kullanılarak yapılmıştır. Gambit 2.0, Sayısal Akışkanlar Dinamiği ve sonlu hacimler analizlerinde kullanılabilen genel amaçlı bir ön işlemcidir. Ayrıca, iki boyutta dörtgen ve üçgen elemanların, üç boyutta ise altı yüzlü, dört yüzlü ve geçiş elemanları olarak, kama tipi ve piramit tipi elemanların kullanımına izin vererek, istenilen tipteki sayısal ağın basit ve hızlı bir şekilde oluşturulmasını sağlar (WEB_1 2006).

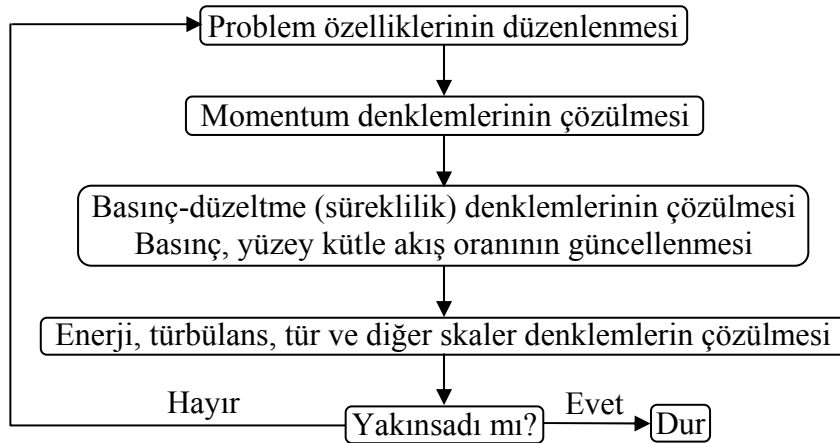
Bu çalışmada çözümü yapılacak olan perdeli ve perdesiz Savonius rüzgar çarkı; Gambit 2.0 programı kullanılarak akış alanının geometri ve ağ yapısı oluşturulup sınır şartları oluşturularak, Fluent 6.0 programı çözüm için kullanılmıştır. Fluent 6.0 programında ise, akışın fiziksel özellikleri tanımlanarak; çözüm tekniği ve türbülans modeli seçilmiş, sınır şartlarının değerleri girilerek, iterasyon sayısı ve yakınsama değeri belirlenip çözümler yapılmıştır.

7.1. Fluent Programının Kullandığı Sayısal Yöntemler

Fluent programı sayısal çözümlenme yöntemi olarak, iki tip çözüm yöntemi kullanmakta ve kullanılan bu yöntemlerin her biri; kütle ve momentumun korunumu, enerji denklemi ve problemin özelliğine göre oluşan diğer tür ve skaler denklemlerini çözmektedir. Bu yöntemler şu şekilde açıklanabilir;

7.1.1. Ayrık (ayrı ayrı) çözüm yöntemi (Segregated solver)

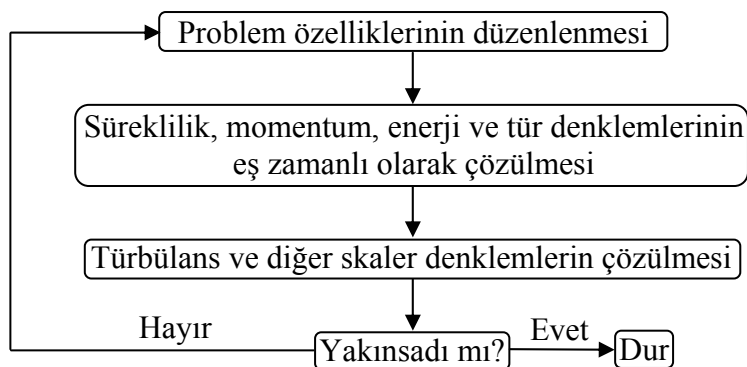
Bu yöntem FLUENT ve FLUENT/UNS programları tarafından kullanılmaktadır. Süreklilik, momentum, enerji ve diğer tür ve skaler denklemlerini ardı ardına (bir birini takip eden şekilde ayrı ayrı) çözümler. Bu çözüm yönteminin izlediği çözüm aşamaları; Şekil 7.1’de gösterilmiştir.



Şekil 7.1 Ayrık çözüm yöntemi (Anonymous 2001)

7.1.2. Birleştirilmiş (bir arada) çözüm yöntemi (Coupled solver):

Bu yöntem öncelikle RAMPANT programı tarafından kullanılmaktadır. Süreklilik momentum, enerji ve diğer tür ve skaler denklemlerini eş zamanlı olarak çözümler. Bu çözüm yönteminin izlediği çözüm aşamaları Şekil 7.2’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.2 Birleştirilmiş çözüm yöntemi (Anonymous 2001)

7.2. Çözüm yöntemlerinin lineerleştirilmesi

Her iki çözüm yönteminde de (ayrık ve birleştirilmiş) denklemler; her çözüm hücresindeki bağımlı değişkenler için, bir lineer denklemler sistemi oluşturabilmek amacıyla lineerleştirilirler. Sonuçta meydana gelen lineer sistem, güncellenen akış alanı elde etmek için çözülür. Denklemlerin lineerleştirilmesi, bağımlı değişkene göre örtülü (implicit) veya açık (explicit) olarak gerçekleştirilir.

7.2.1. Örtülü (implicit) lineerleştirme

Verilen bir değişken için, her bir hücredeki bilinmeyen değerlerin; komşu hücrelerin mevcut bilinen ve bilinmeyen değerlerin ilgili olanlarını kullanarak hesap edilmesi yöntemidir. Bununla birlikte, sistemde her bir bilinmeyen için, birden fazla denklem ortaya çıkar ve bu denklemler bilinmeyenleri bulabilmek için, eş zamanlı olarak çözülür.

7.2.2. Açık (explicit) lineerleştirme

Verilen bir değişken için, her bir hücredeki bilinmeyen değerlerin; sadece mevcut bilinen değerlerin ilgili olanlarını kullanarak hesap edilmesi yöntemidir. Sistemde her bir bilinmeyen için bir denklem ortaya çıkar ve her bir hücrede bilinmeyen denklemleri bulabilmek için, bu bilinmeyenlere ait denklemlerin her biri, bir kerede çözülür.

Ayrık çözüm yöntemi, sadece örtülü yöntemle lineerleştirilir. Açık yöntemle lineerleştirme, ayrık çözüm yönteminde kullanılmaz.

Birleştirilmiş çözüm yöntemi, hem örtülü hem de açık yöntemle lineerleştirilebilir.

Bu çalışmada akışkan, sıkıştırılmaz olduğu için, ayrık çözüm yöntemi kullanılmıştır. Bu çözüm yönteminde; sadece örtülü lineerleştirme kullanıldığı için denklemlerin lineerleştirilmesinde örtülü metot kullanılmıştır.

7.3. Temel Denklemler

Burada, Fluent 6.0 programında çözümde kullanılan denklemler kısaca anlatılmaya çalışılmıştır (Anonymous 2001).

7.3.1. Akış alanı

Kütle ve momentumun korunumu denklemleri, genel sıkıştırılabilir ve sıkıştırılmaz kararlı akışlar için kartezyen tensörü rotasyonunda aşağıdaki gibi yazılabilir:

Süreklilik Denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0 \quad (7.1)$$

Hareket Denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i - \tau_{ij}) = \frac{\partial p}{\partial x_j} + S_i \quad (7.2)$$

Bu iki denklemde ;

x_j : Kartezyen koordinatı ($j=1, 2, 3$)

u_i : x_i yönündeki mutlak hız bileşenleri

p : Piezometrik basınç = $p_s - \rho_o \cdot g \cdot x_m$, burada p_s statik basınç, ρ_o referans yoğunluğu, g yerçekim ivmesi ve x_m , ρ_o 'ın tanımlandığı koordinat.

ρ : Yoğunluk

τ_{ij} : Gerilme tensör bileşenleridir.

Burada gerilme tensörü,

$$\tau_{ij} = \mu \cdot s_{ij} - \frac{2}{3} \mu \cdot \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \cdot \delta_{ij} \quad (7.3)$$

şeklindedir.

Burada μ akışkanın dinamik viskozitesidir. δ_{ij} (Kronecker delta) ve s_{ij} şekil değişim tensörünün değişimidir ve aşağıdaki gibi yazılır.

$$s_{ij} = \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (7.4)$$

Kronecker delta eğer $i \neq j \Rightarrow 0$

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 0 & (i \neq j) \\ 1 & (i = j) \end{cases}$$

7.3.2. Standart k-ε türbülans model denklemleri

Türbülanslı akışlar için; Navier-Stokes denklemi kullanılarak türbülans viskozitesi denkleminin çözülmesi gerekir. Aşağıda da görüldüğü gibi, türbülans viskozitesi ifadesi k ve ε gibi iki bilinmeyen terim içerir. Bu terimleri hesaplayabilmek için, iki yeni denkleme ihtiyaç vardır. Bu amaçla; farklı türbülans modelleri geliştirilerek, bu bilinmeyenler hesaplanmıştır. Bu çalışmada, en çok bilinen ve kullanılan, standart k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Standart k-ε türbülans model denklemleri, türbülans dağılım oranı (ε) ve türbülans kinetik enerjisi (k) için transport denklemleri modeline dayanan yarı ampirik modeldir. Türbülans kinetik enerjisi (k) ve türbülans dağılım oranı (ε) için geçerli olan transport denklemleri aşağıda verilmiştir:

Burada türbülans viskozitesi şu şekilde hesaplanır:

$$\mu_t = \rho \cdot f_\mu \cdot C_\mu \cdot \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (7.5)$$

k : Türbülans kinetik enerjisi

ε : Türbülans dağılım oranıdır.

Türbülans Enerji (k)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\rho u_j k - \frac{\mu_{eff}}{\sigma_k} \cdot \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) = \mu_t s_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{2}{3} \left(\mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho k \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} - \rho \varepsilon \quad (7.6)$$

Türbülans Dağılıma Oranı (ε)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\rho u_j \varepsilon - \frac{\mu_{eff}}{\sigma_\varepsilon} \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) = C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} \left[\mu_t s_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{2}{3} \left(\mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho k \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \delta_{ij} \right] - C_{2\varepsilon} f_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - C_{3\varepsilon} \rho \varepsilon \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \quad (7.7)$$

Burada;

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t \quad (7.8)$$

Modeldeki sabitler ise aşağıdaki gibidir.

$C_\mu = 0,09$	$\sigma_k = 1,0$	$\sigma_\varepsilon = 1,3$	$C_{1\varepsilon} = 1,44$	$C_{2\varepsilon} = 1,92$
----------------	------------------	----------------------------	---------------------------	---------------------------

7.3.3. Matematiksel yüzey fonksiyonu

Yüzey fonksiyonu; hız, sıcaklık, türbülans parametrelerinin, sınır tabakadaki değerlerini belirleyebilmek için geliştirilmiş matematiksel bir fonksiyon olarak düşünülebilir. Elde edilen değerlerin gerçekçi ve doğru olabilmesi için; yüzeyin, yüzeye en yakın ağız merkezine uzaklığı y 'yi belirleyen boyutsuz değeri y^+ 'ın $30 < y^+ < 500$ aralığında olması gerekir (Versteeg ve Malalasekera 1995).

$$y^+ = \rho \cdot C_\mu^{1/4} \cdot k^{1/2} \cdot y / \mu \quad (7.9)$$

7.3.4. Hesaplama ve sınır koşulları

Bu çalışmada; türbülanslı akışın çözümünde standart k- ε türbülans modeli, logaritmik yüzey fonksiyonu ile kullanılmıştır. Program, sonlu hacimler yöntemi kullanılarak düzenlenmiştir. Kütle korunumu gibi diferansiyel denklemlerin akış alanındaki

çözümünde ilk olarak tek bir hücre için çözüm yapılmış, sonra elde edilen değer hücrenin merkezindeki bir noktaya indirgenmiştir.

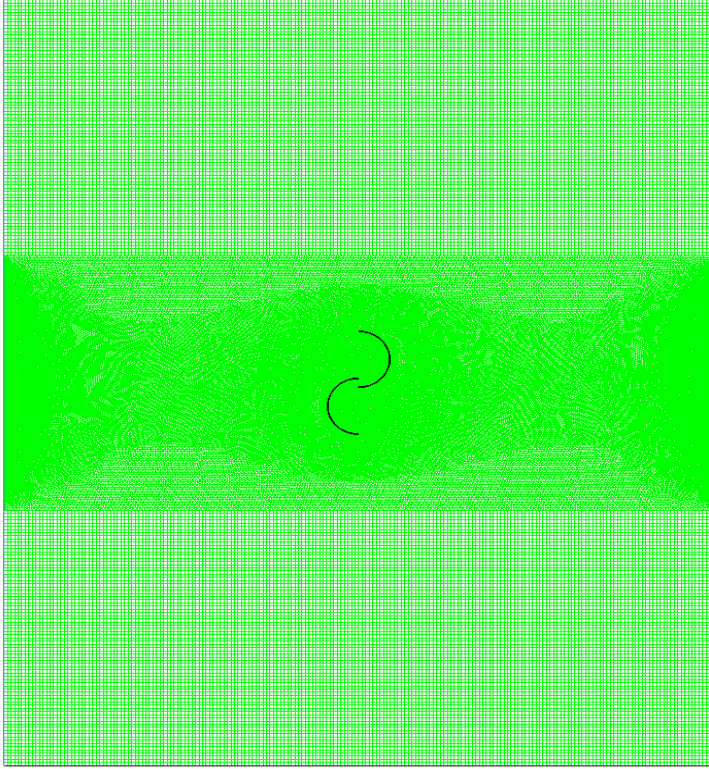
Program ile, momentum denklemi, hızın x ve y bileşenleri, türbülans kinetik enerjisi (k) ve türbülans dağılma oranı (ε) çözülmüştür. Bütün bu çözümler, hücrelerin merkez noktasındaki her bir denklemi sağlayacak şekilde iterasyon yöntemi kullanılarak yapılmış ve güvenilirliği yüksek olan ikincil enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca her bir iterasyonda basınç alanının uygunluğunu ve kütle korunumunu sağlamak için basınç düzeltmesi çözülmüştür. Basınç ve hız dağılımlarının hesaplanmasında, SIMPLE çözüm algoritması kullanılmıştır.

8. HAREKETSİZ ÇARK DURUMUNDA SAYISAL ÇÖZÜMLERDEN ELDE EDİLEN DEĞERLER

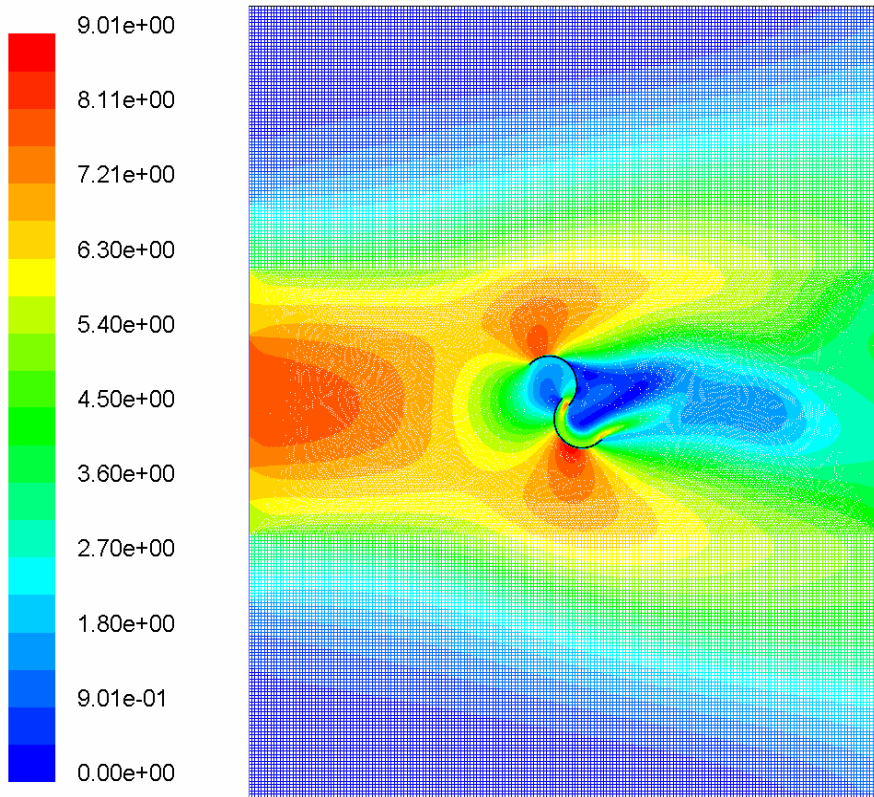
Çarkın hareketsiz durumunda, çark konumu 45^0 , 60^0 ve 90^0 iken; perdesiz ve perdeli çark için, Fluent 6.0 programı kullanılarak yapılan sayısal çözümlerden statik momentler bulunmuş ve birbirleri ile karşılaştırılmaları tablolar halinde verilmiştir. Fluent 6.0 programında modellenen ve çözümü yaptırılan modelin, girişteki hız sınır koşulu profili; deneysel çalışmada belirlenen hız dağılımı ile verilmiştir. Bu şekilde; hız ölçüm ağının, bölünmüş her bir karesinde ölçülen ortalama hız değerleri kullanılarak deneysel değerlere daha yakın bilgisayar çözümleri elde edilmiştir. Çeşitli ağ (mesh) tipleri ve farklı çözüm modelleri kullanılarak deney sonuçlarına en yakın değerler elde edilmeye çalışılmış ve bunun sonucunda çözümlerin yapıldığı ağ (mesh) tipi ve aralığı ile kullanılan standart k- ϵ türbülans modelinden elde edilen çözümlerin, deney sonuçları ile uyum sağlayan değerler olduğu tespit edilmiş ve bundan sonra modelin farklı konumları için seçilen model, mesh tipi ve aralığında diğer çözümlere devam edilmiştir. Sayısal çözümlerini daha kısa sürelerde yapabilmek için, model iki boyutlu olarak oluşturularak çözümlenmiştir.

8.1. Perdesiz Çark Durumunda; Sayısal Çözümleme ile Bulunan Statik Moment Değerleri

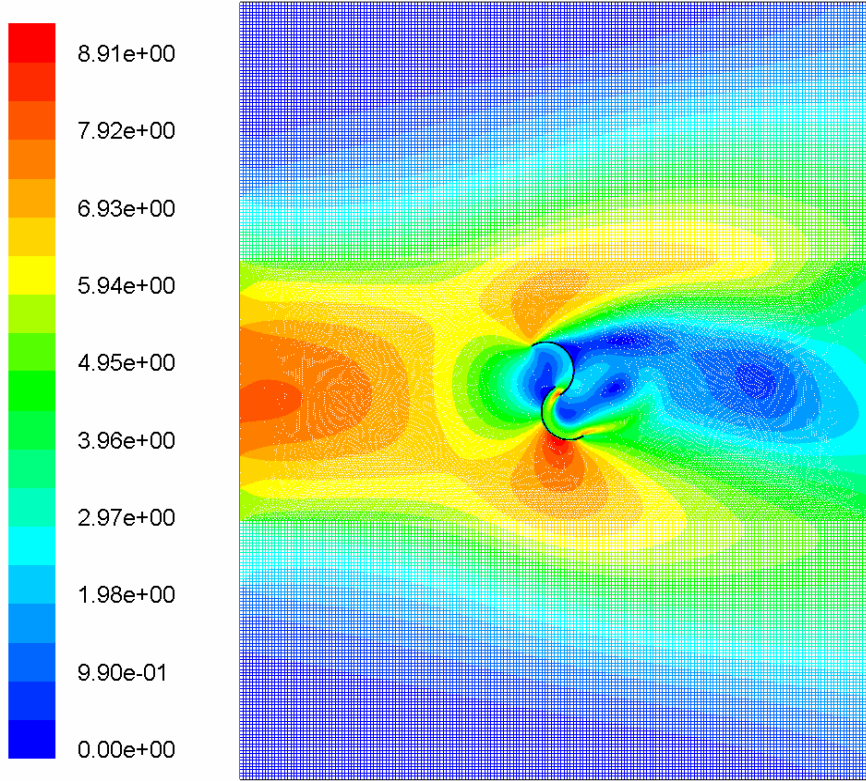
Sayısal çözümlenmeye başlamadan önce akış alanında, sınır koşullarını belirleme amacıyla Şekil 8.1'deki ağ (mesh) şekli oluşturulmuş ve buna göre program çözüme hazır duruma getirilmiştir. Perdesiz Savonius rüzgar çarkı hareketsiz durumda ve çark konumları sırasıyla $\theta=45^0$, 60^0 ve 90^0 iken, sayısal çözümleme sonucu elde edilen hız dağılımları sırasıyla Şekil 8.2, Şekil 8.3 ve Şekil 8.4'te ve elde edilen statik moment değerleri Tablo 8.1'de ve Şekil 8.5'te gösterilmiştir.



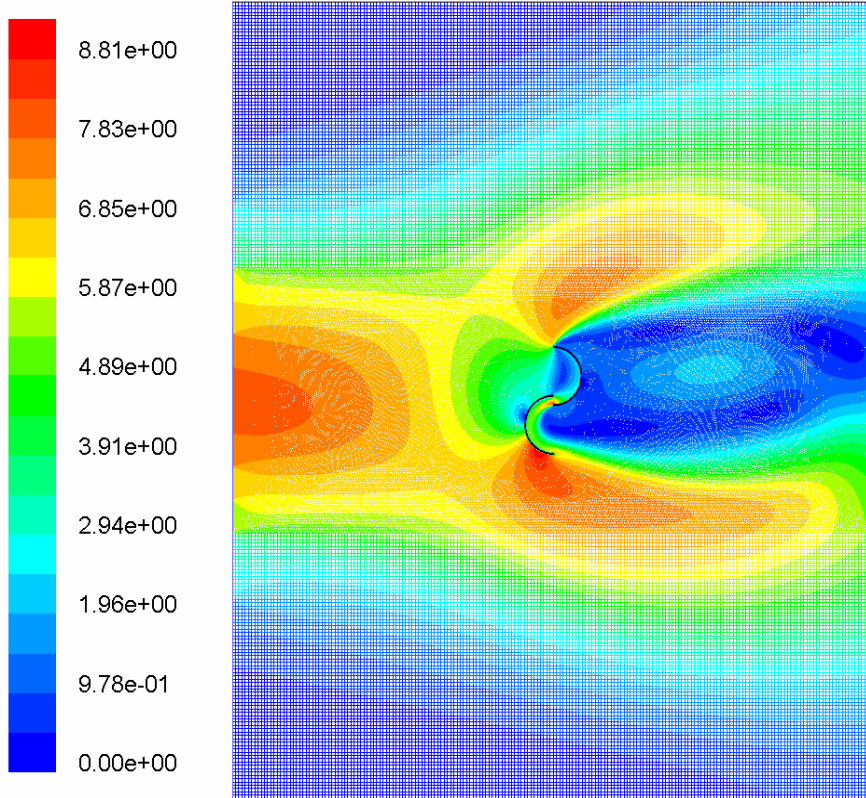
Şekil 8.1 Perdesiz çark durumunda çözüm için oluşturulan örnek ağ (mesh) şekli



Şekil 8.2 Perdesiz çark için, $\theta=45^0$ konumunda hız dağılımı



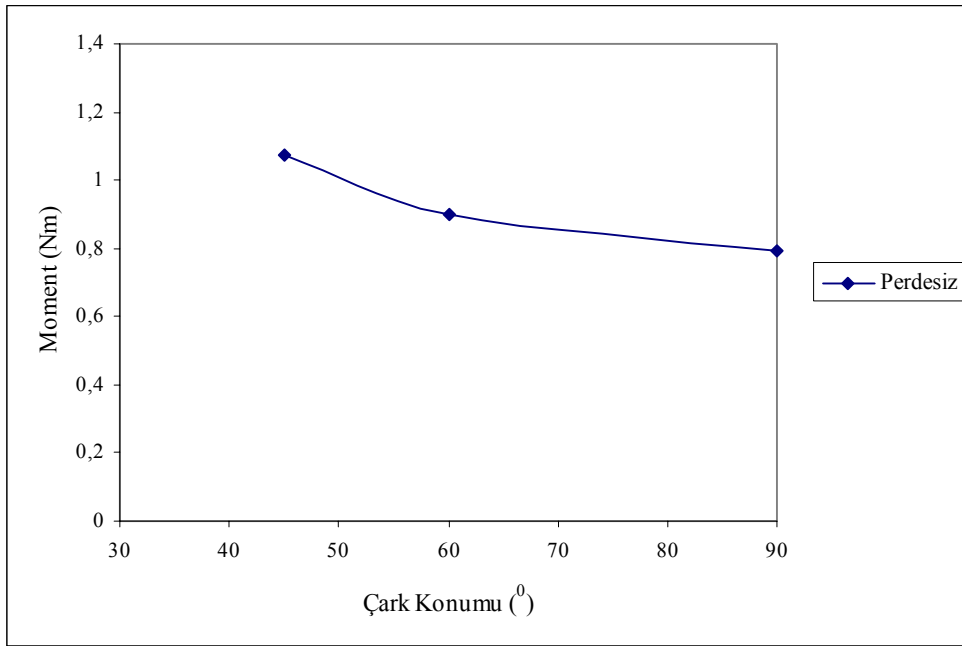
Şekil 8.3 Perdesiz çark için, $\theta=60^\circ$ konumunda hız dağılımı



Şekil 8.4 Perdesiz çark için, $\theta=90^\circ$ konumunda hız dağılımı

Tablo 8.1 Çark konumu 45^0 , 60^0 ve 90^0 iken, perdesiz çark için; sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerleri

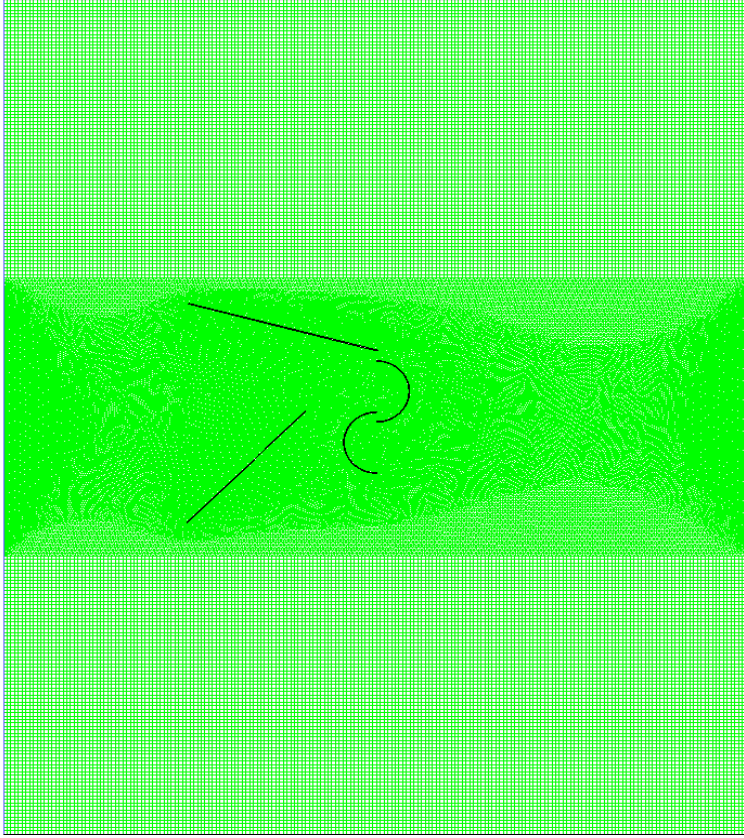
Çark Durumu:	Hareketsiz (Perdesiz)		
Çark Boyutu:	D = 32 cm	H = 32 cm	e = 2,6 cm
Çark Konumu θ (0)	Moment (N.m) Sayısal		
45^0	1,0745525		
60^0	0,90118806		
90^0	0,79105500		



Şekil 8.5 Çark konumu $\theta=45^0$, 60^0 ve 90^0 iken, elde edilen statik moment değerleri

8.2. Perdeli Çark Durumunda; Sayısal Çözümlerle Bulunan Statik Moment Değerleri

Hareketsiz çark durumunda; çark konumu 45^0 , 60^0 ve 90^0 iken, β açısının 10^0 ve 15^0 ile α açısının 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde deneysel çalışmada kullanılan üç farklı perde boyutu için, sayısal çözümlerle statik momentler bulunmuş ve birbirleri ile karşılaştırmaları aşağıdaki bölümlerde tablolar ve şekillerle verilmiştir. Burada $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ 'deki değerler için her bir perdenin maksimum değerine karşılık olan α değerindeki sayısal çözümler sonucu elde edilen hız dağılımları gösterilmiştir. Şekil 8.6'da, perdeli çark durumlarında ağ (mesh) şekli oluşturulmuş ve buna göre program çözüme hazır duruma getirilmiştir.

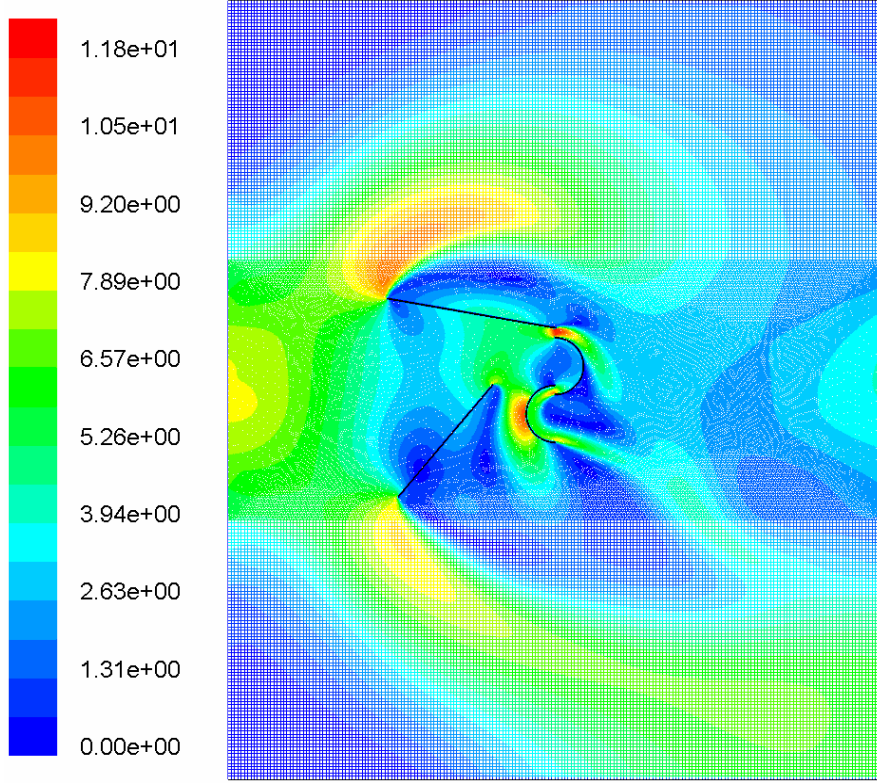


Şekil 8.6 Perdeli çark durumunda çözüm için oluşturulan örnek ağ (mesh) şekli

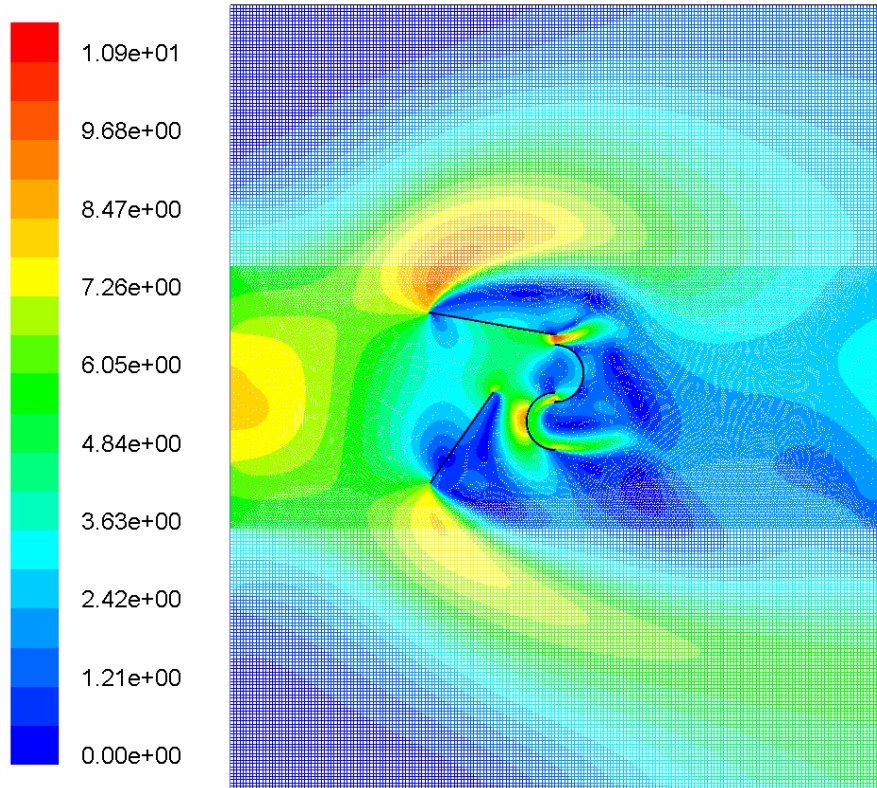
8.2.1. Çark konumu $\theta=90^0$ iken elde edilen sayısal değerler ($\beta=10^0$)

Çark konumu 90^0 'de $\beta=10^0$ iken; perde 1, perde 2 ve perde 3 için, sayısal çözümlerle elde edilen hız dağılımları; Şekil 8.7, Şekil 8.8 ve Şekil 8.9'da gösterilmiş ve perde 1, perde 2 ve perde 3'ün, α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerleri Tablo 8.2'de verilmiştir.

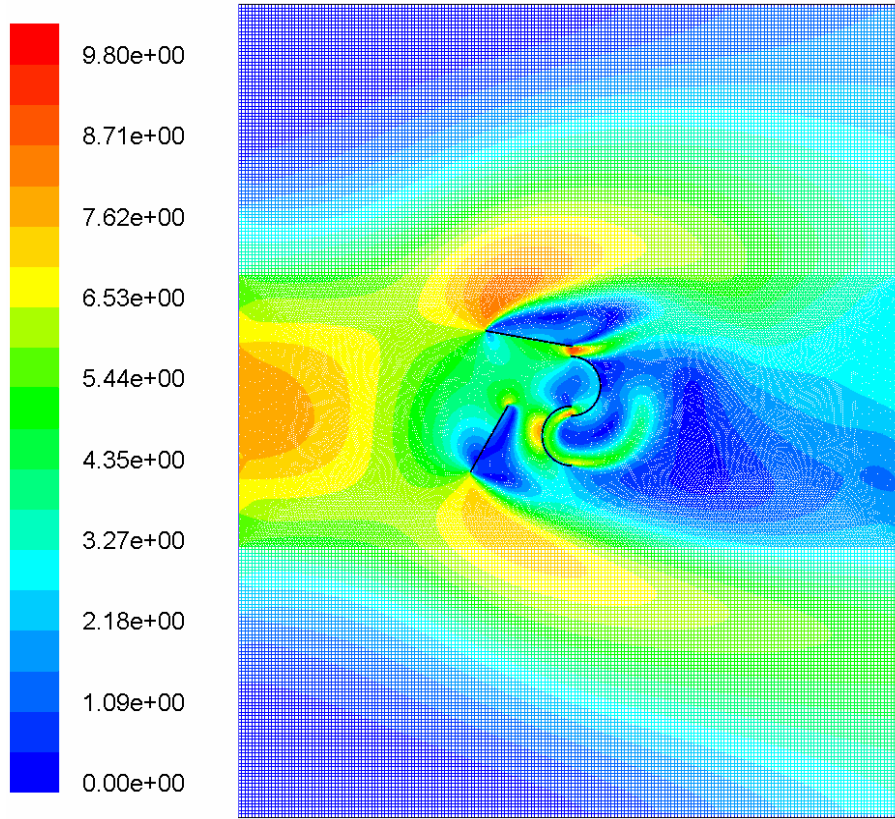
Burada sayısal çözümlerle elde edilen moment değerlerine sahip olduğu, perde 2 ve perde 3 ile daha düşük değerler elde edildiği görülmüştür. Şekil 8.10'da α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde perde 1, perde 2 ve perde 3'ün moment değerlerinin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 8.7 Perde 1 için $\theta=90^\circ$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=50^\circ$, $\beta=10^\circ$)



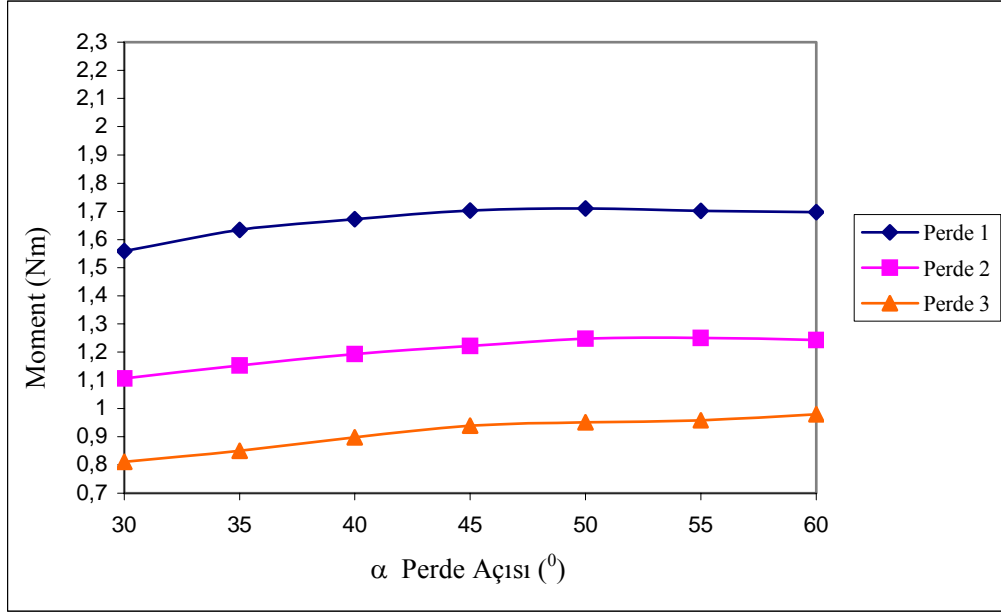
Şekil 8.8 Perde 2 için $\theta=90^\circ$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=55^\circ$, $\beta=10^\circ$)



Şekil 8.9 Perde 3 için $\theta=90^0$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=60^0$, $\beta=10^0$)

Tablo 8.2 Çark konumu $\theta=90^0$ ve $\beta=10^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerleri

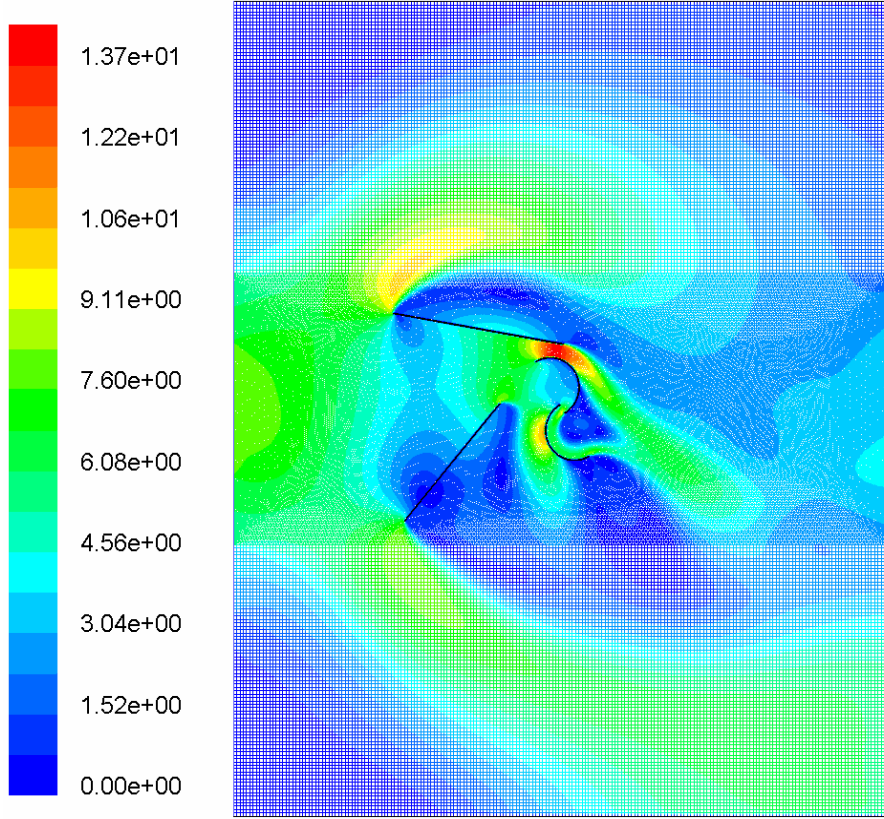
Çark Durumu:		Hareketsiz (Perdeli)		
Çark Konumu:		$\theta = 90^0$		
Perde Tipi:		Perde 1	Perde 2	Perde 3
$\alpha(^0)$	$\beta(^0)$	Moment (N.m) Sayısal	Moment (N.m) Sayısal	Moment (N.m) Sayısal
60	10	1,6976250	1,2434337	0,97892215
55	10	1,7024010	1,2502835	0,95792696
50	10	1,7106610	1,2480332	0,95030750
45	10	1,7031610	1,2221964	0,93892116
40	10	1,6724373	1,1929812	0,89722985
35	10	1,6343643	1,1526190	0,84986776
30	10	1,5594974	1,1064251	0,81008266



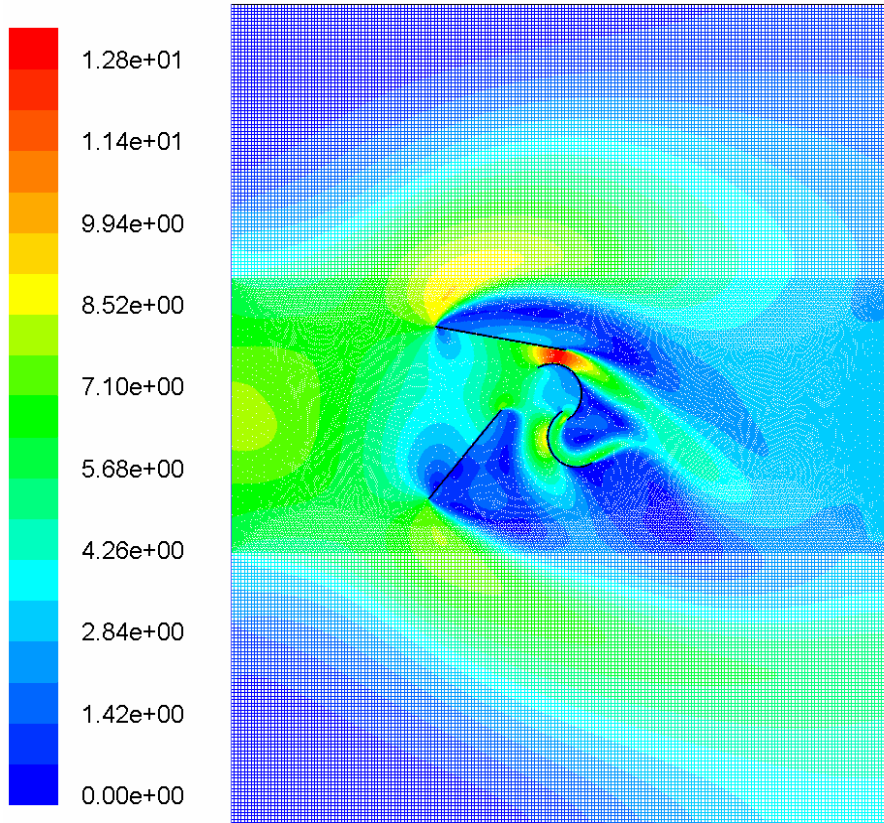
Şekil 8.10 Çark konumu $\theta=90^{\circ}$ iken, $\beta=10^{\circ}$ için α 'nın 30° ile 60° arasındaki değerlerinde, sayısal çözüm ile elde edilen moment değişimi

8.2.2. Çark konumu $\theta=60^{\circ}$ iken elde edilen sayısal değerler ($\beta=10^{\circ}$)

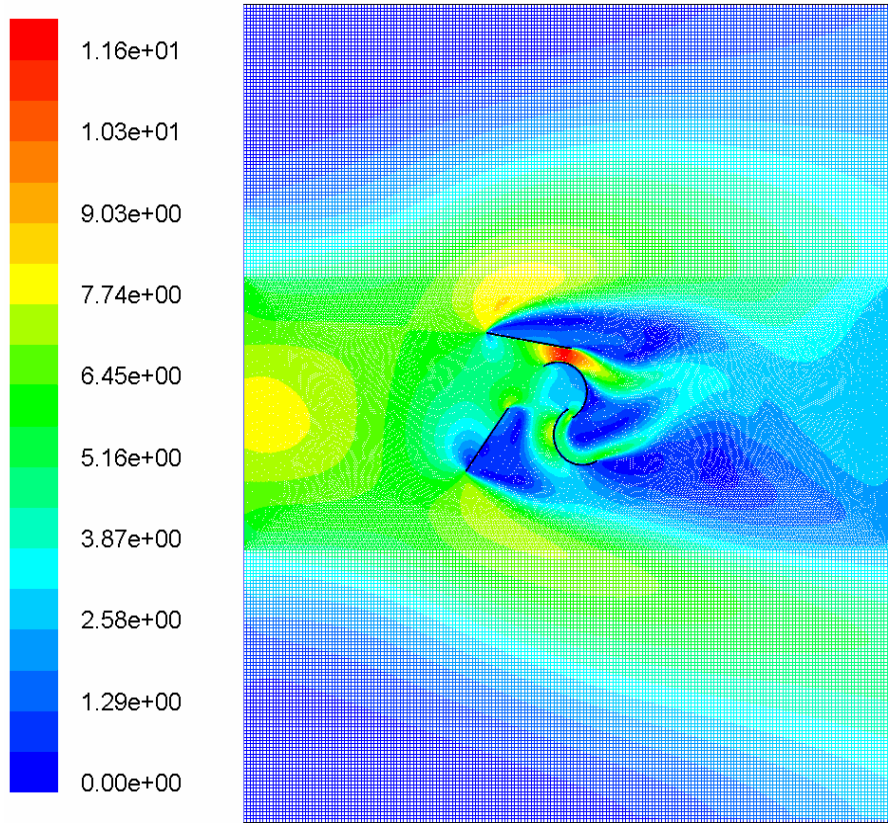
Çark konumu 60° 'de $\beta=10^{\circ}$ iken; sayısal çözümlerle elde edilen hız dağılımları sırasıyla perde 1, perde 2 ve perde 3 için Şekil 8.11, Şekil 8.12 ve Şekil 8.13'de gösterilmiştir. Ayrıca perde 1, perde 2 ve perde 3'ün α 'nın 30° ile 60° arasındaki değerlerinde sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerleri Tablo 8.3'de verilmiş ve Şekil 8.14'de α açısına bağlı değişimleri gösterilmiştir. Burada perde 1'den elde edilen moment değerlerinin perde 2 ve perde 3'den elde edilen moment değerlerinden daha büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 8.11 Perde 1 için $\theta=60^\circ$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=50^\circ$, $\beta=10^\circ$)



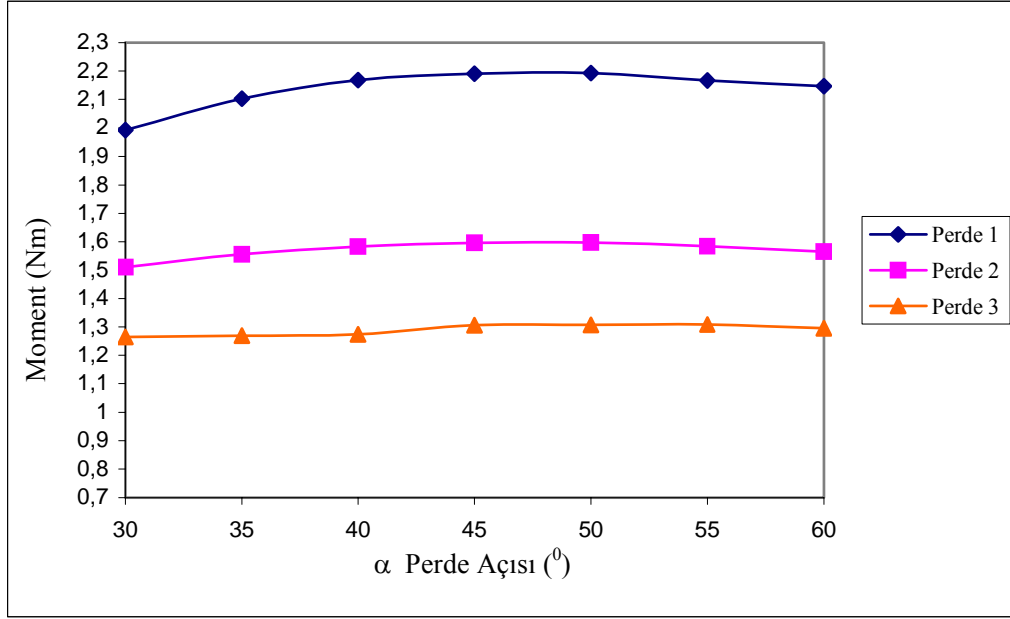
Şekil 8.12 Perde 2 için $\theta=60^\circ$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=50^\circ$, $\beta=10^\circ$)



Şekil 8.13 Perde 3 için $\theta=60^0$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=55^0$, $\beta=10^0$)

Tablo 8.3 Çark konumu $\theta=60^0$ ve $\beta=10^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerleri

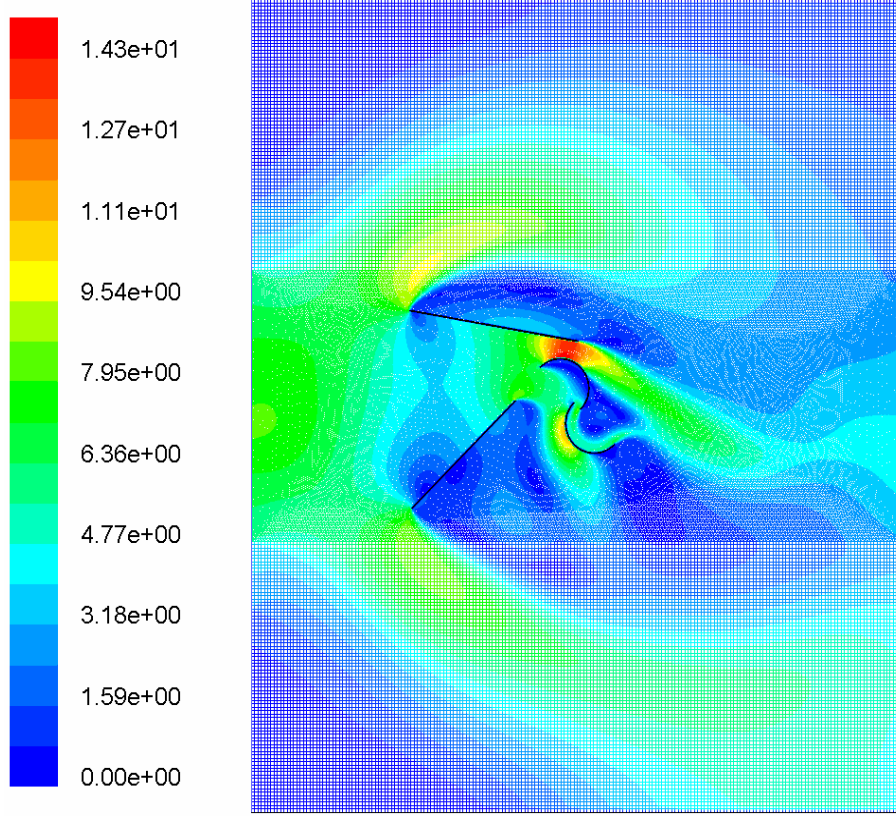
Çark Durumu:		Hareketsiz (Perdeli)		
Çark Konumu:		$\theta = 60^0$		
Perde Tipi:		Perde 1	Perde 2	Perde 3
α^0	β^0	Moment (N.m) Sayısal	Moment (N.m) Sayısal	Moment (N.m) Sayısal
60	10	2,1470855	1,5656878	1,2953338
55	10	2,1673053	1,5786272	1,3082744
50	10	2,1931313	1,5972112	1,3075564
45	10	2,1906360	1,5963460	1,3067530
40	10	2,1675504	1,5829042	1,2737631
35	10	2,1024306	1,5562522	1,2691411
30	10	1,9925050	1,5112206	1,2645604



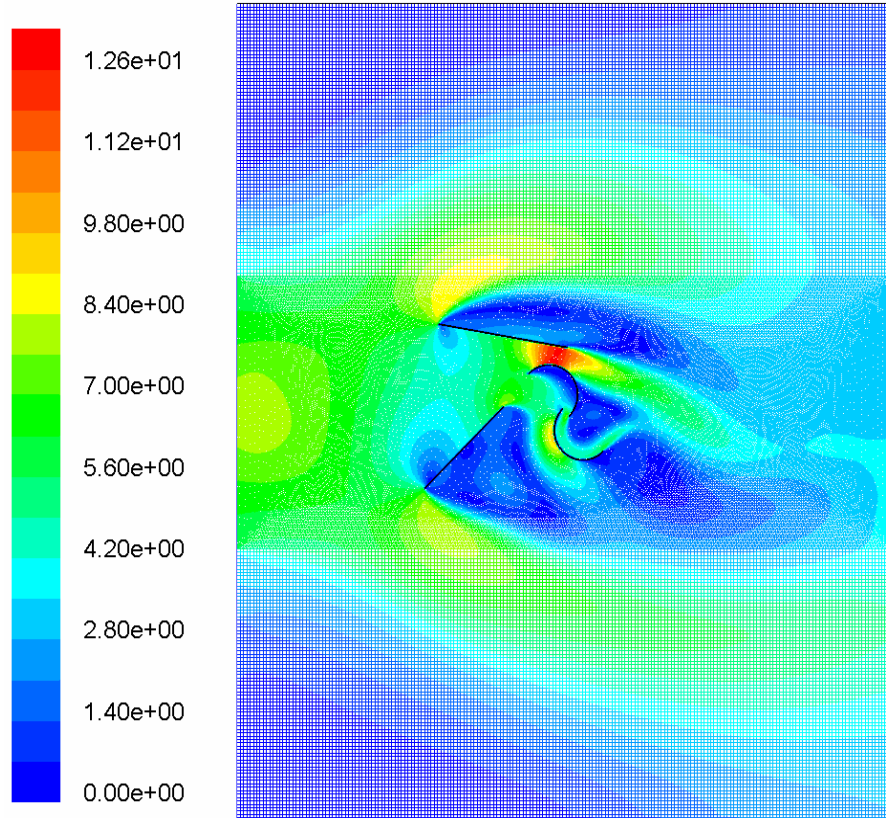
Şekil 8.14 Çark konumu $\theta=60^0$ iken, $\beta=10^0$ için, α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, sayısal çözümlerle elde edilen moment değişimi

8.2.3. Çark konumu $\theta=45^0$ iken elde edilen sayısal değerler ($\beta=10^0$)

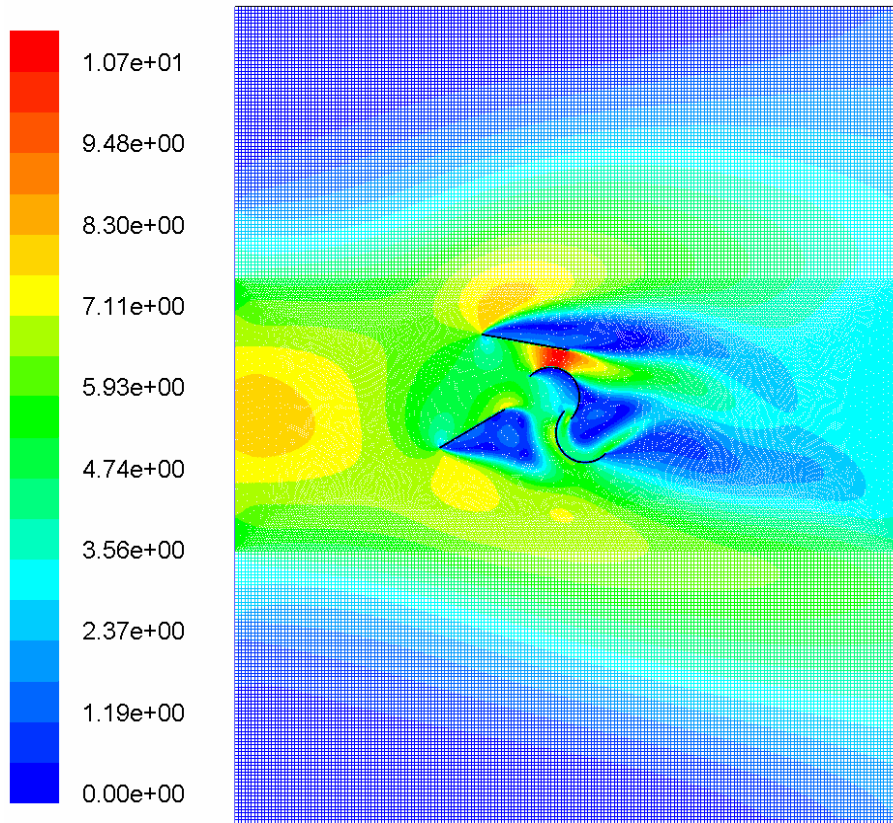
Çark konumu 45^0 'de $\beta=10^0$ iken; sayısal çözümlerle elde edilen hız dağılımları sırasıyla perde 1, perde 2 ve perde 3 için Şekil 8.15, Şekil 8.16 ve Şekil 8.17'de gösterilmiştir. Ayrıca perde 1, perde 2 ve perde 3'ün α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerleri Tablo 8.4'de verilmiş ve Şekil 8.18'de α açısına bağlı değişimleri gösterilmiştir. Perde 1'den elde edilen moment değerlerinin perde 2 ve perde 3'den elde edilen moment değerlerinden daha büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 8.15 Perde 1 için $\theta=45^\circ$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=45^\circ$, $\beta=10^\circ$)



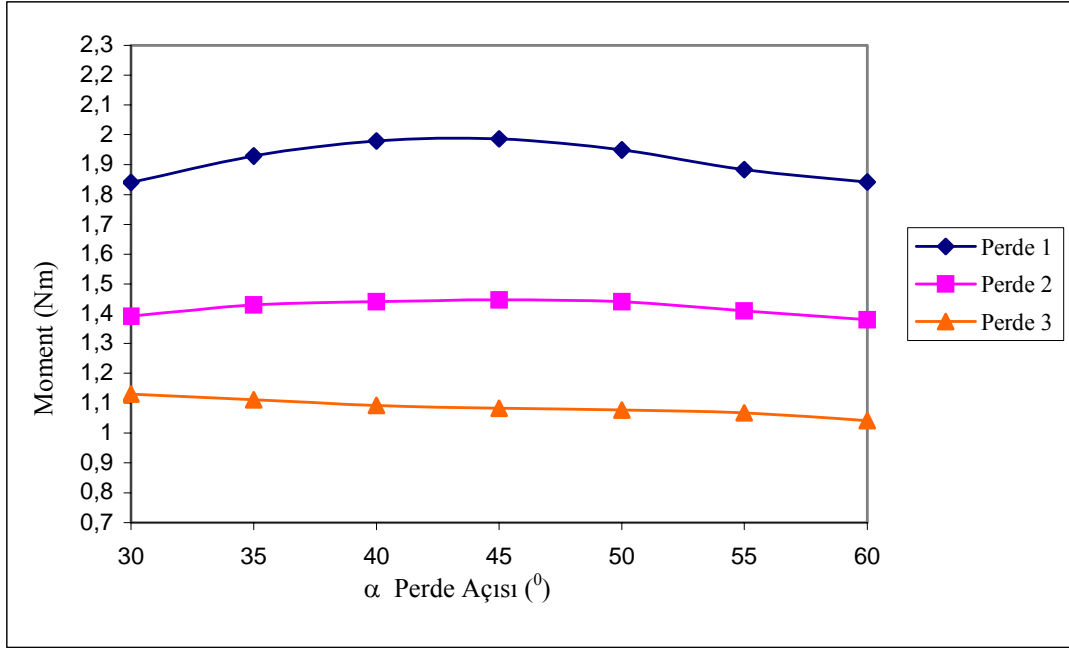
Şekil 8.16 Perde 2 için $\theta=45^\circ$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=45^\circ$, $\beta=10^\circ$)



Şekil 8.17 Perde 3 için $\theta=45^\circ$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=30^\circ$, $\beta=10^\circ$)

Tablo 8.4 Çark konumu $\theta=45^\circ$ ve $\beta=10^\circ$ iken; farklı perde uzunluklarında, sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerleri

Çark Durumu:		Hareketsiz (Perdeli)		
Çark Konumu:		$\theta = 45^\circ$		
Perde Tipi:		Perde 1	Perde 2	Perde 3
α°	β°	Moment (N.m) Sayısal	Moment (N.m) Sayısal	Moment (N.m) Sayısal
60	10	1,8425772	1,3798744	1,0409693
55	10	1,8841925	1,4100288	1,0672924
50	10	1,9489194	1,4403706	1,0768953
45	10	1,9858147	1,4462834	1,0826080
40	10	1,9791396	1,4409422	1,0928371
35	10	1,9286019	1,4304304	1,1117012
30	10	1,8412488	1,3919994	1,1303166

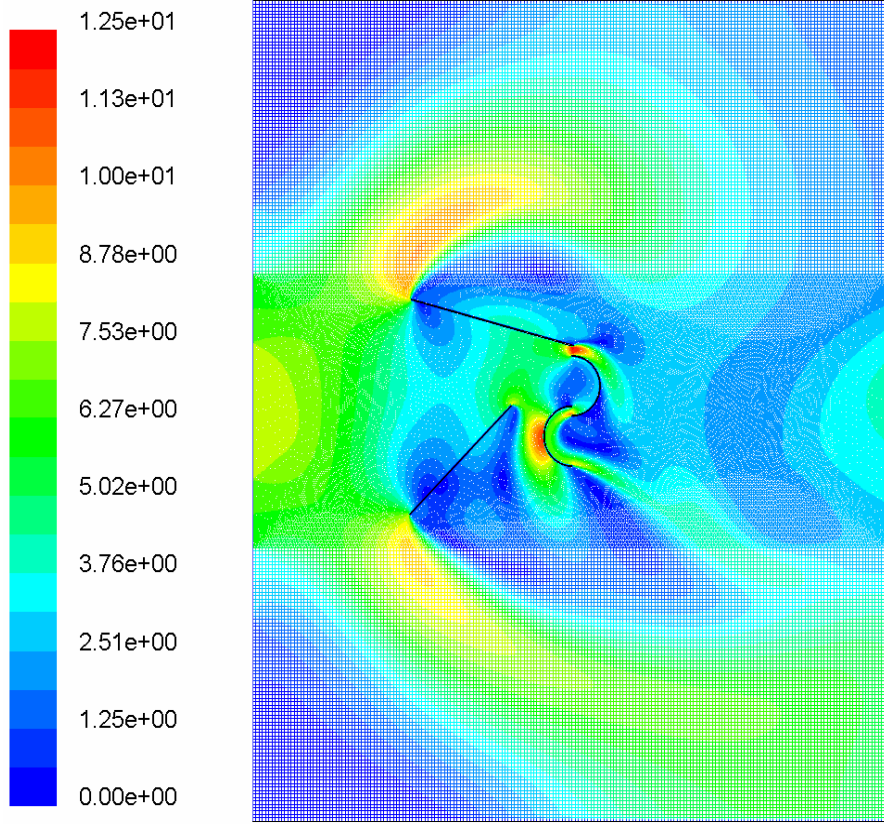


Şekil 8.18 Çark konumu $\theta=45^0$ iken, $\beta=10^0$ için α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, sayısal çözüm ile elde edilen moment değişimi

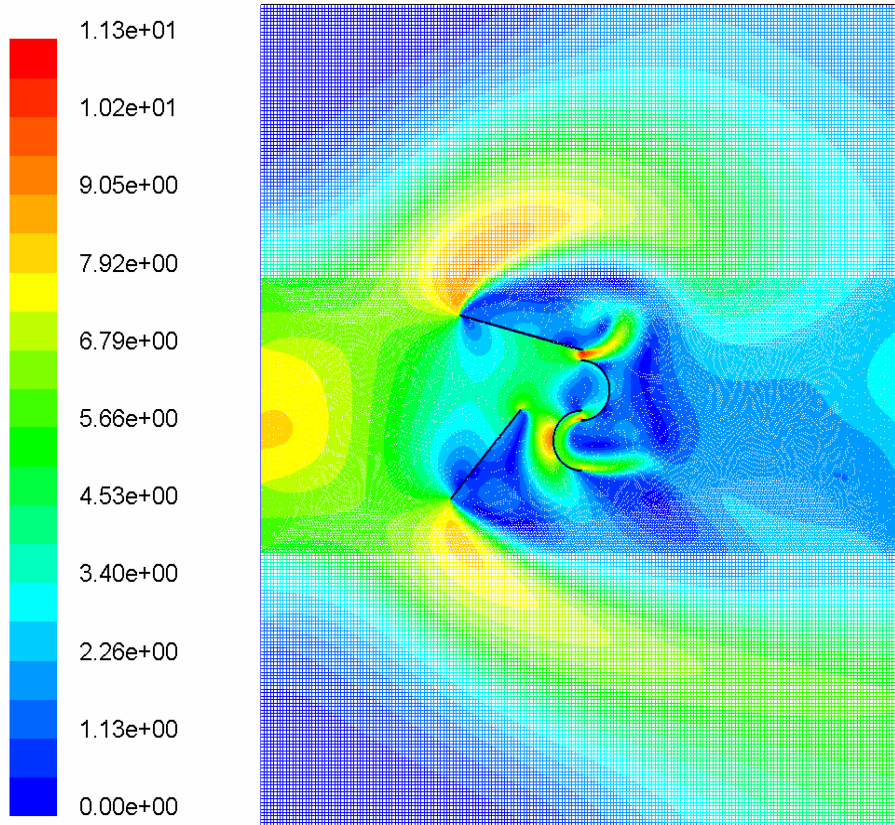
8.2.4. Çark konumu $\theta=90^0$ iken elde edilen sayısal değerler ($\beta=15^0$)

Çark konumu 90^0 'de $\beta=15^0$ iken; sayısal çözümleme ile elde edilen hız dağılımları, sırasıyla Şekil 8.19, Şekil 8.20 ve Şekil 8.21'de gösterilmiştir. Ayrıca perde 1, perde 2 ve perde 3 ile α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde sayısal çözümleme ile elde edilen statik moment değerleri Tablo 8.5'de verilmiştir.

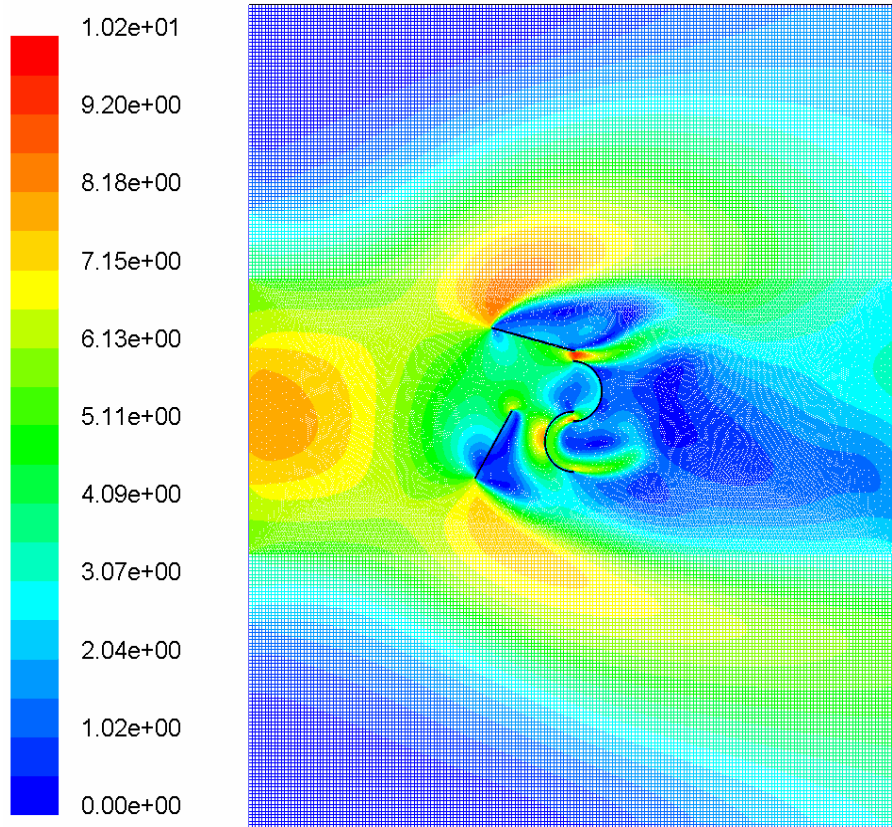
Burada sayısal çözümleme ile en yüksek moment değerlerinin perde 1 durumunda elde edildiği ve en büyük moment değerinin ise $\alpha=45^0$ civarında meydana geldiği görülmektedir. Perde 1'in diğer perdelerle göre en iyi performansı sağladığı görülmüştür. Şekil 8.22'de α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde perdelerin farklı konumlarında elde edilen moment değerlerinin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 8.19 Perde 1 için $\theta=90^0$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=45^0$, $\beta=15^0$)



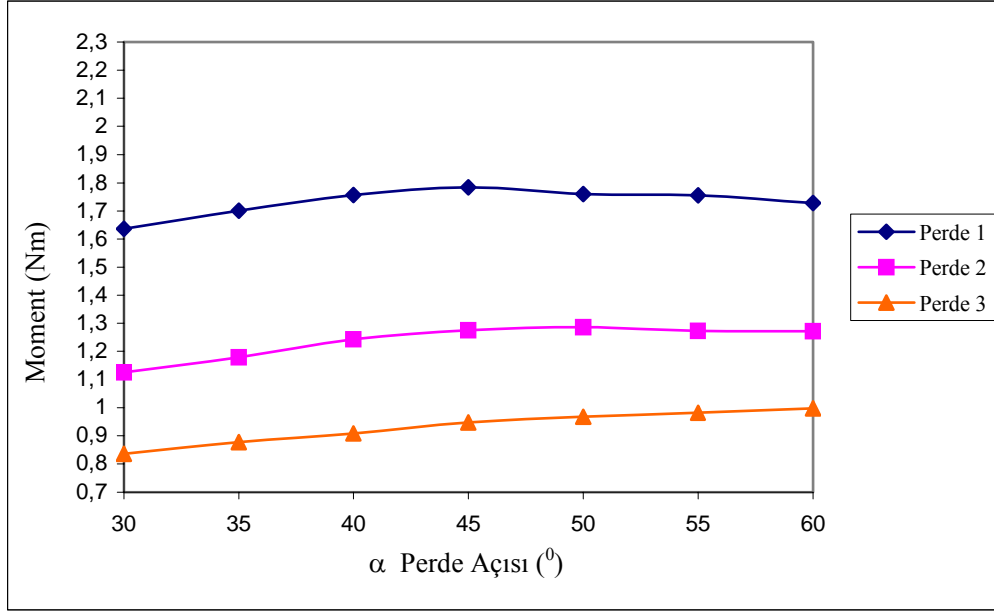
Şekil 8.20 Perde 2 için $\theta=90^0$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=50^0$, $\beta=15^0$)



Şekil 8.21 Perde 3 için $\theta=90^\circ$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=60^\circ$, $\beta=15^\circ$)

Tablo 8.5 Çark konumu $\theta=90^\circ$ ve $\beta=15^\circ$ iken; farklı perde uzunluklarında, sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerleri

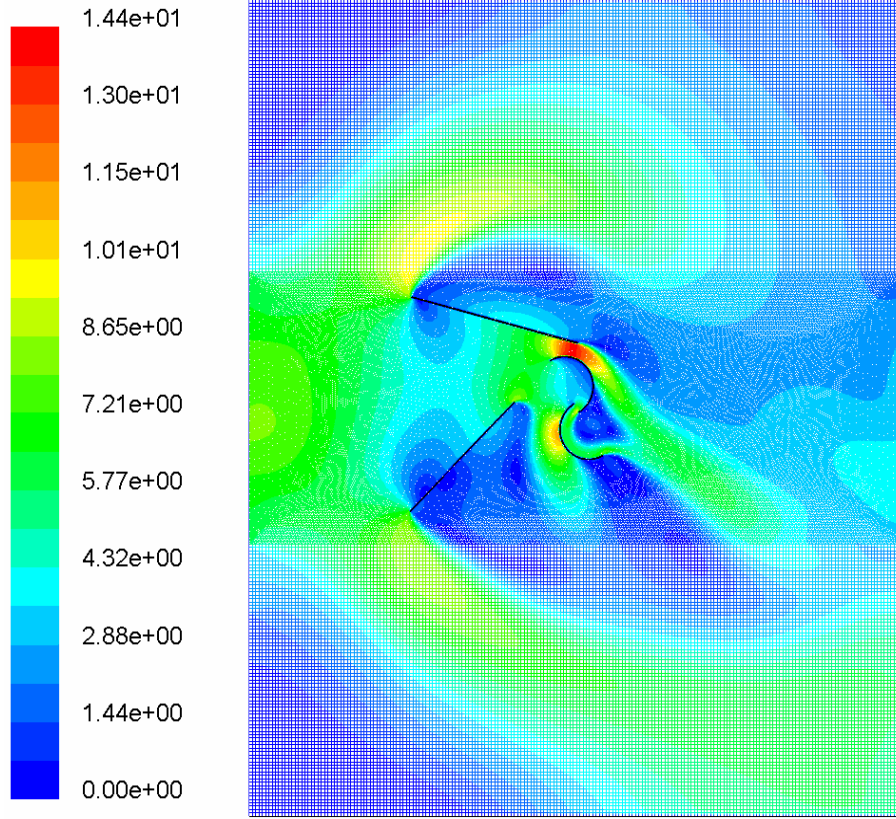
Çark Durumu:		Hareketsiz (Perdeli)		
Çark Konumu:		$\theta = 90^\circ$		
Perde Tipi:		Perde 1	Perde 2	Perde 3
α°	β°	Moment (N.m) Sayısal	Moment (N.m) Sayısal	Moment (N.m) Sayısal
60	15	1,7282740	1,2718184	0,99718965
55	15	1,7555678	1,2731103	0,98116688
50	15	1,7599687	1,2861810	0,96760572
45	15	1,7841525	1,2749722	0,94709151
40	15	1,7567151	1,2437479	0,90786563
35	15	1,7009939	1,1784846	0,87754934
30	15	1,6364707	1,1251787	0,83540259



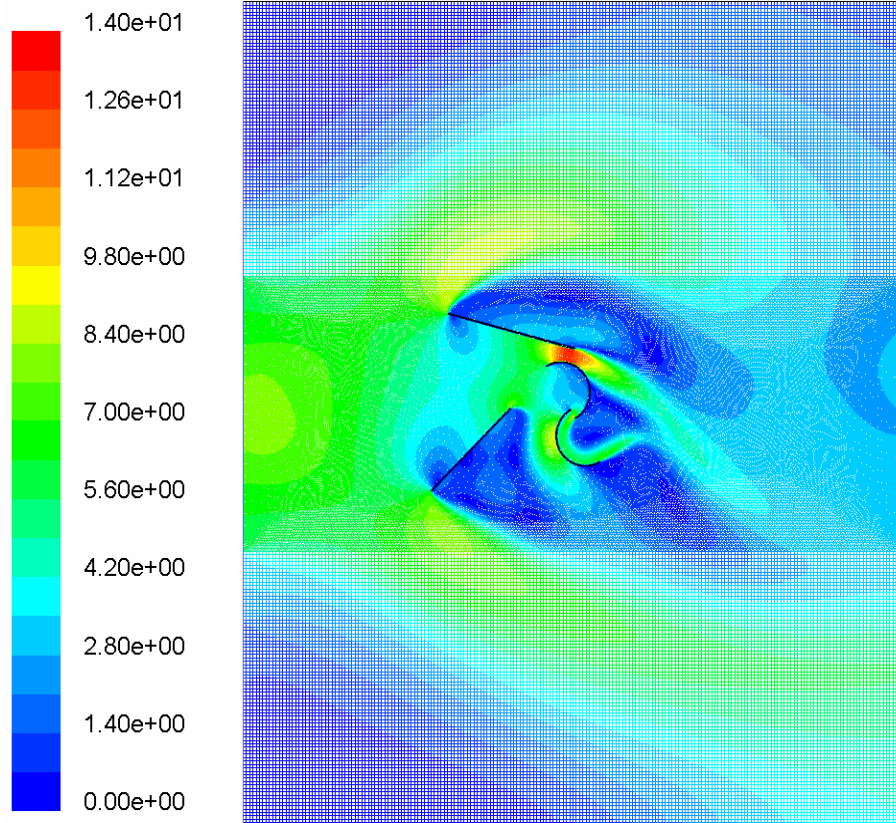
Şekil 8.22 Çark konumu $\theta=90^{\circ}$ iken, $\beta=15^{\circ}$ için α 'nın 30° ile 60° arasındaki değerlerinde, sayısal çözüm ile elde edilen moment değişimi

8.2.5. Çark konumu $\theta=60^{\circ}$ iken elde edilen sayısal değerler ($\beta=15^{\circ}$)

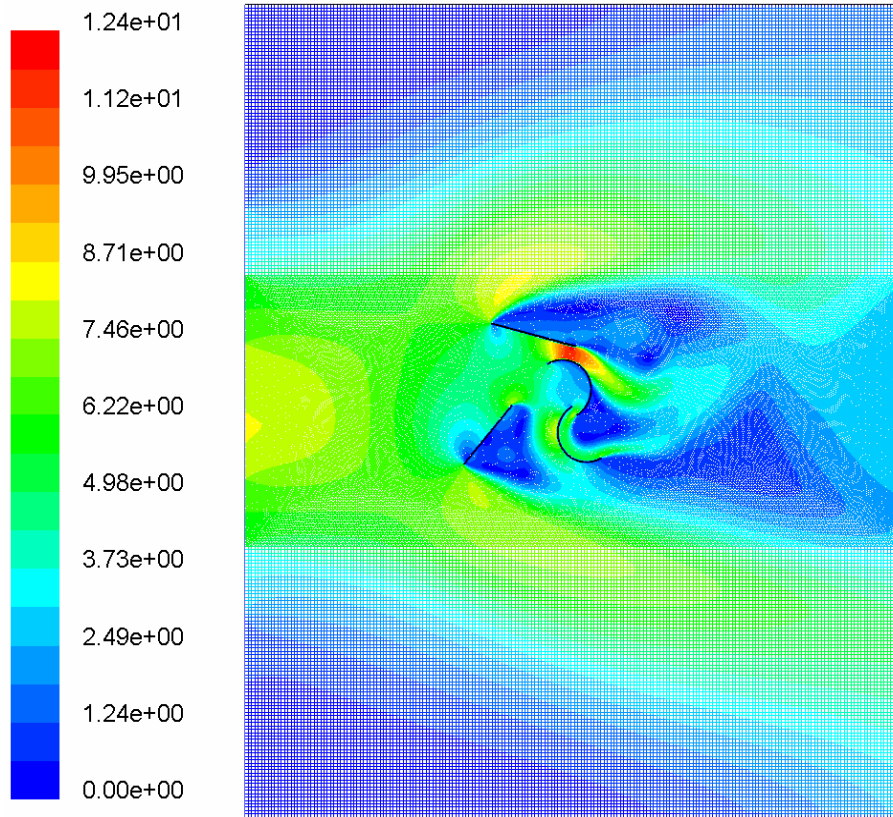
Çark konumu 60° 'de $\beta=15^{\circ}$ iken; sayısal çözümleme ile elde edilen hız dağılımları, sırasıyla perde 1, perde 2 ve perde 3 için Şekil 8.23, Şekil 8.24 ve Şekil 8.25'de gösterilmiştir. Ayrıca perde 1, perde 2 ve perde 3'ün α 'nın 30° ile 60° arasındaki değerlerinde sayısal çözümleme ile elde edilen statik moment değerleri Tablo 8.6'da verilmiş ve Şekil 8.26'da ise α açısına bağlı olarak moment değişimi gösterilmiştir. Burada perde 1'in perde 2 ve perde 3'e göre daha büyük moment değerine sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 8.23 Perde 1 için $\theta=60^\circ$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=45^\circ$, $\beta=15^\circ$)



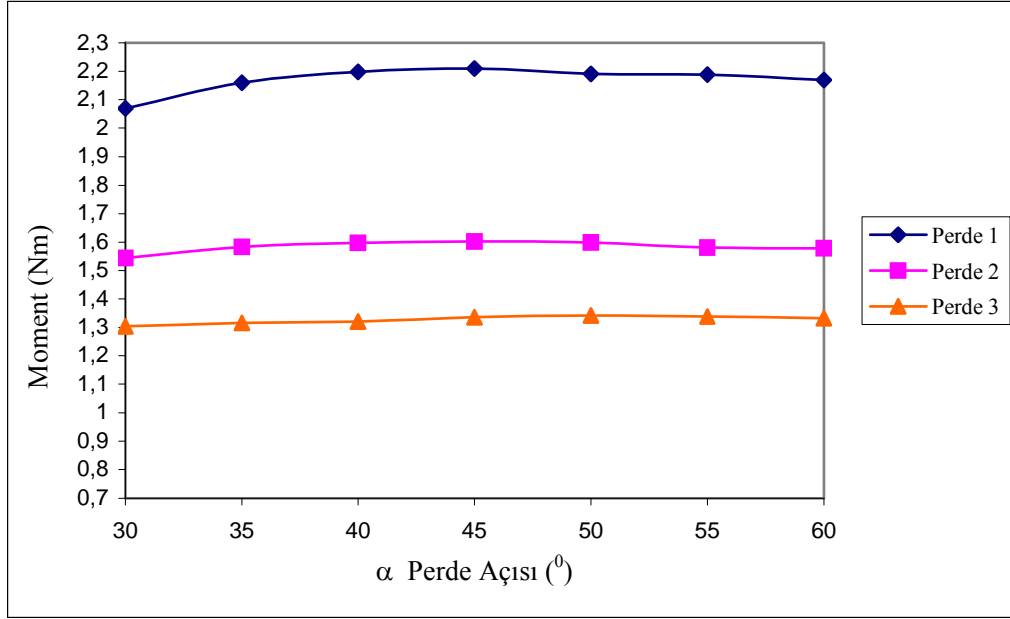
Şekil 8.24 Perde 2 için $\theta=60^\circ$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=45^\circ$, $\beta=15^\circ$)



Şekil 8.25 Perde 3 için $\theta=60^0$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=50^0$, $\beta=15^0$)

Tablo 8.6 Çark konumu $\theta=60^0$ ve $\beta=15^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerleri

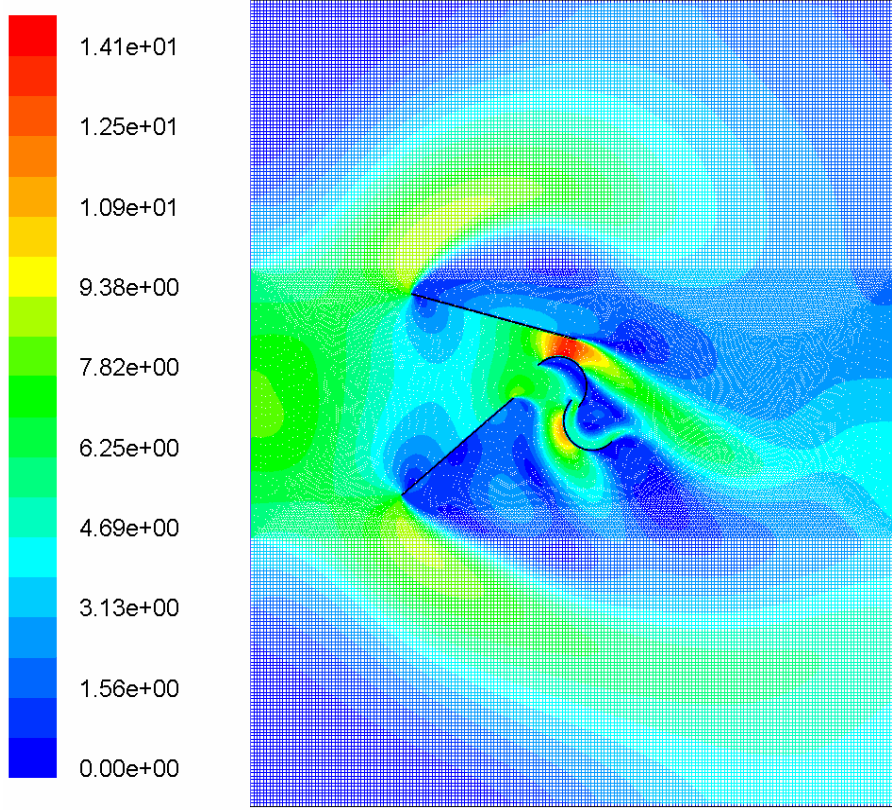
Çark Durumu:		Hareketsiz (Perdeli)		
Çark Konumu:		$\theta = 60^0$		
Perde Tipi:		Perde 1	Perde 2	Perde 3
$\alpha(^0)$	$\beta(^0)$	Moment (N.m) Sayısal	Moment (N.m) Sayısal	Moment (N.m) Sayısal
60	15	2,1691177	1,5788847	1,3323826
55	15	2,1881241	1,5803298	1,3377579
50	15	2,2026817	1,5986910	1,3420971
45	15	2,2099266	1,6026212	1,3361241
40	15	2,1976961	1,5969777	1,3203428
35	15	2,1592152	1,5830577	1,3159296
30	15	2,0688815	1,5437128	1,3041274



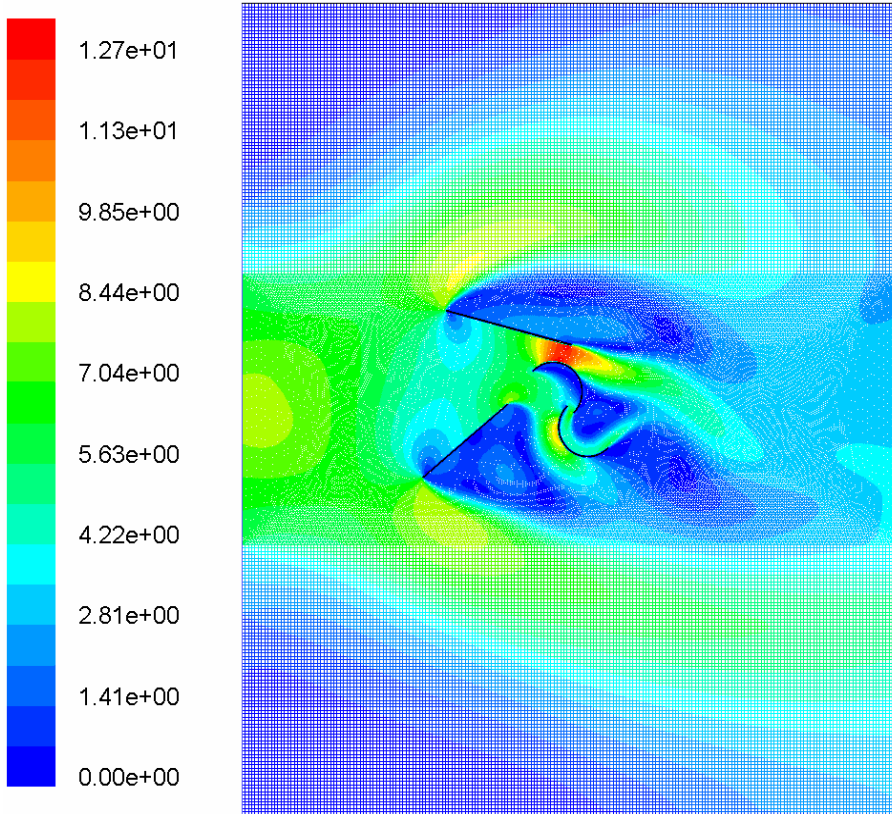
Şekil 8.26 Çark konumu $\theta=60^0$ iken, $\beta=15^0$ için α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, sayısal çözüm ile elde edilen moment değişimi

8.2.6. Çark konumu $\theta=45^0$ iken elde edilen sayısal değerler ($\beta=15^0$)

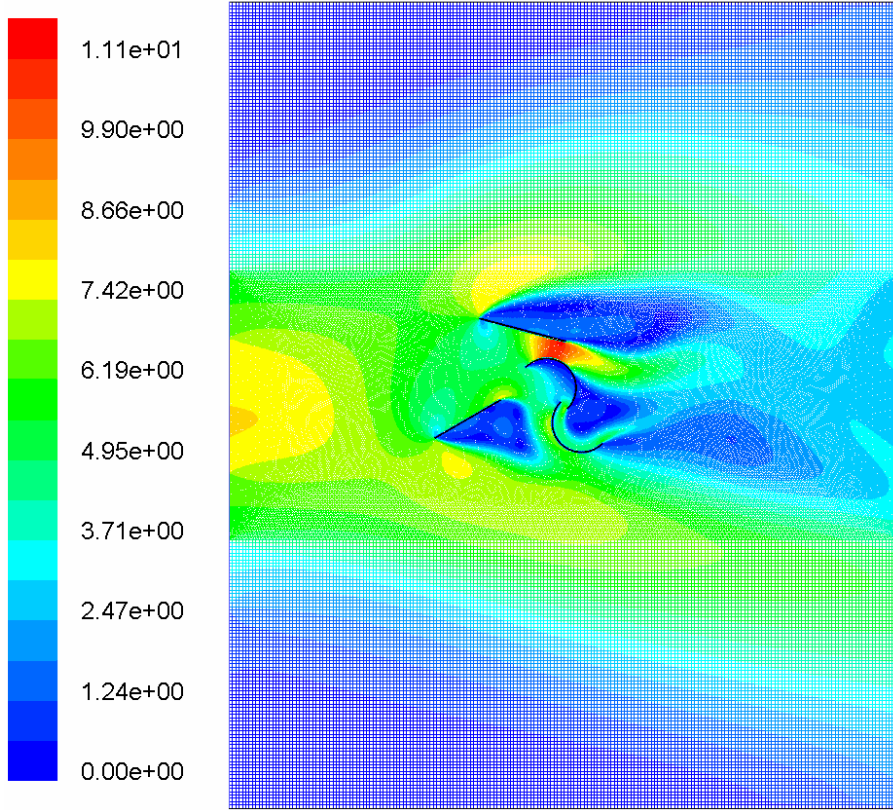
Çark konumu 45^0 'de $\beta=15^0$ iken; sayısal çözümleme ile elde edilen hız dağılımları sırasıyla; perde 1, perde 2 ve perde 3 için Şekil 8.27, Şekil 8.28 ve Şekil 8.29'da gösterilmiştir. Ayrıca perde 1, perde 2 ve perde 3'ün α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde sayısal çözümleme ile elde edilen statik moment değerleri Tablo 8.7'de verilmiştir. Burada perde 1'in perde 2 ve perde 3'e göre en yüksek moment değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca Şekil 8.30'da sayısal çözümleme ile elde edilen moment değerlerinin α 'perde açısına bağlı değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 8.27 Perde 1 için $\theta=45^\circ$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=40^\circ$, $\beta=15^\circ$)



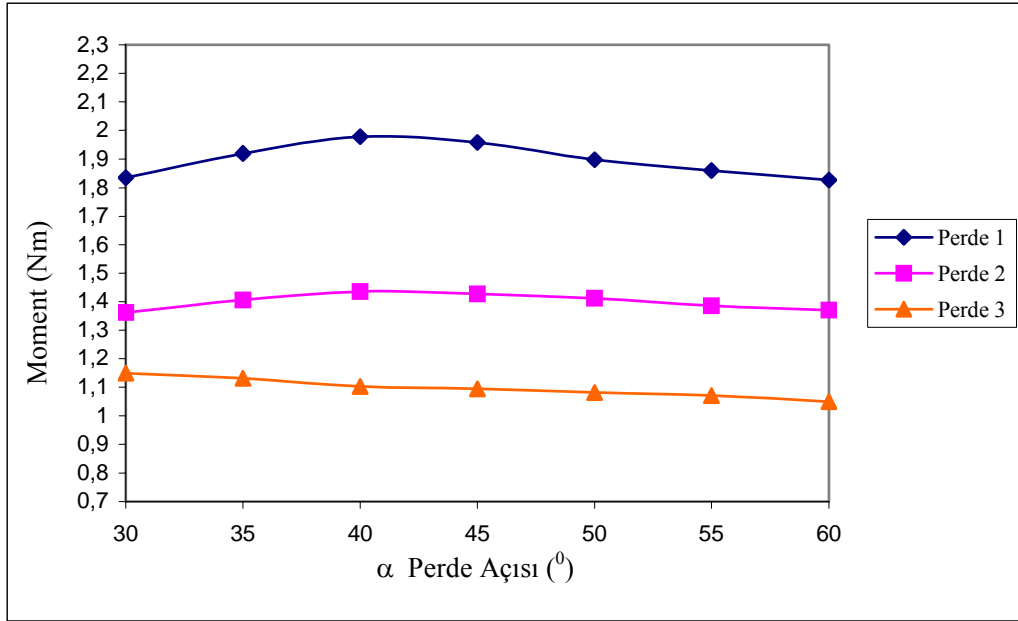
Şekil 8.28 Perde 2 için $\theta=45^\circ$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=40^\circ$, $\beta=15^\circ$)



Şekil 8.29 Perde 3 için $\theta=45^\circ$ konumunda hız dağılımı ($\alpha=30^\circ$, $\beta=15^\circ$)

Tablo 8.7 Çark konumu $\theta=45^\circ$ ve $\beta=15^\circ$ iken; farklı perde uzunluklarında, sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerleri

Çark Durumu:		Hareketsiz (Perdeli)		
Çark Konumu:		$\theta = 45^\circ$		
Perde Tipi:		Perde 1	Perde 2	Perde 3
α°	β°	Moment (N.m) Sayısal	Moment (N.m) Sayısal	Moment (N.m) Sayısal
60	15	1,8264222	1,3703153	1,0491735
55	15	1,8600792	1,3862623	1,0711205
50	15	1,8983138	1,4115956	1,0812211
45	15	1,9573535	1,4277973	1,0949545
40	15	1,9779127	1,4355324	1,1034333
35	15	1,9193091	1,406454	1,1309331
30	15	1,8353552	1,3620897	1,1496762



Şekil 8.30 Çark konumu $\theta=45^0$ iken, $\beta=15^0$ için α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, sayısal çözümlerle elde edilen moment değişimi

8.3. Hareketsiz Çark Durumunda $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ için Sayısal Sonuçların Karşılaştırılması

Burada hareketsiz çark durumları için $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ iken; perde 1, perde 2 ve perde 3 durumlarında, sayısal çözümlerle elde edilen moment değerlerinin α 'ya göre değişimleri karşılaştırılmıştır.

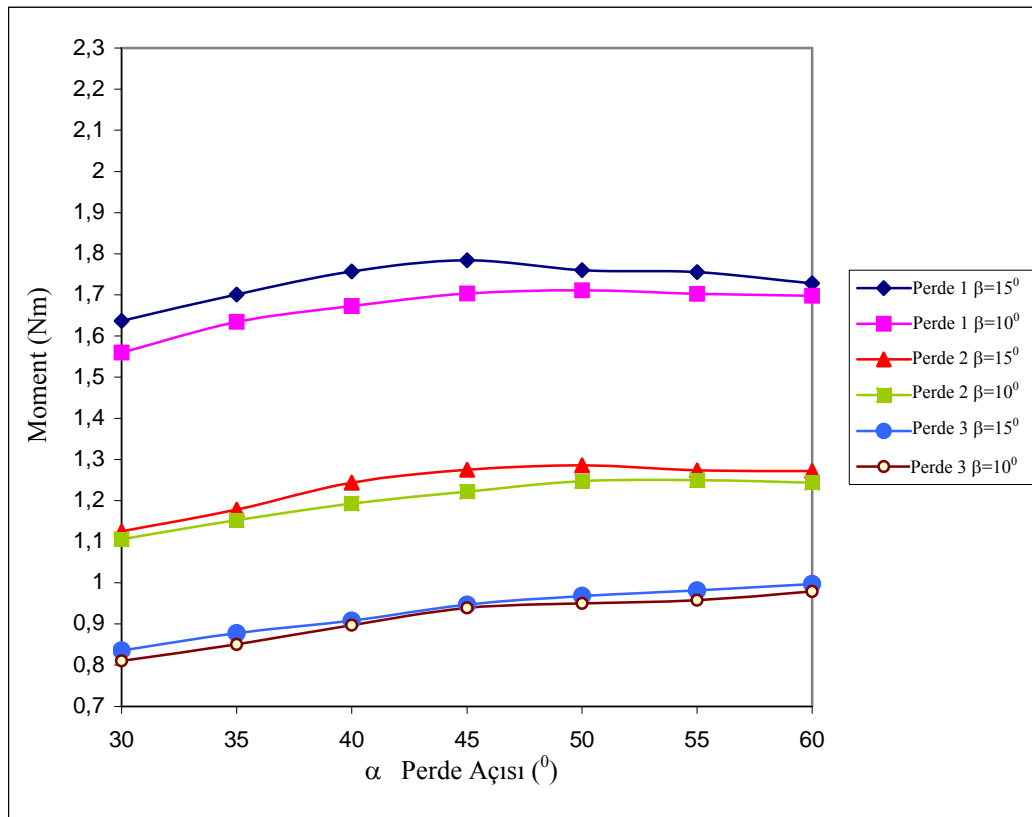
8.3.1. Çark konumu $\theta=90^0$ iken, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ için; farklı perde durumlarında moment değişimlerinin karşılaştırılması

Çark konumu 90^0 'de $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ iken; perde 1, perde 2 ve perde 3'ün α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerlerinin karşılaştırılması Tablo 8.8'de verilmiş ve Şekil 8.31'de α açısına bağlı değişimleri gösterilmiştir. Burada perde 1, perde 2 ve perde 3 ile $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ de elde edilen moment değerleri karşılaştırıldığında; her bir durum için değişimlerin birbirine hem yakın hem de uygun karakteristik özellikte olduğu, fakat $\beta=15^0$ için değerlerin $\beta=10^0$ 'deki değerlere göre biraz daha büyük olduğu Şekil 8.31'den görülmektedir. Bu durumun deneysel sonuçlarda da benzer bir değişim gösterdiği

görülmüş ve $\beta=15^0$ 'de akışkanın çarka daha uygun bir açı ile gelmesinden kaynaklandığı kanaatine varılmıştır.

Tablo 8.8 Çark konumu $\theta=90^0$, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, sayısal çözümleme ile elde edilen statik moment değerleri

Çark Durumu: Hareketsiz (Perdeli)						
Çark Konumu: $\theta = 90^0$						
$\alpha(^0)$	Perde 1 Moment (N.m) Sayısal		Perde 2 Moment (N.m) Sayısal		Perde 3 Moment (N.m) Sayısal	
	$\beta = 10^0$	$\beta = 15^0$	$\beta = 10^0$	$\beta = 15^0$	$\beta = 10^0$	$\beta = 15^0$
60	1,6976250	1,7282740	1,2434337	1,2718184	0,97892215	0,99718965
55	1,7024010	1,7555678	1,2502835	1,2731103	0,95792696	0,98116688
50	1,7106615	1,7599687	1,2480332	1,2861810	0,9503075	0,96760572
45	1,7031610	1,7841525	1,2221964	1,2749722	0,93892116	0,94709151
40	1,6724373	1,7567151	1,1929812	1,2437479	0,89722985	0,90786563
35	1,6343643	1,7009939	1,1526190	1,1784846	0,84986776	0,87754934
30	1,5594974	1,6364707	1,1064251	1,1251787	0,81008266	0,83540259



Şekil 8.31 Çark konumu $\theta=90^0$ iken, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ için, sayısal çözümleme ile elde edilen moment değişimi

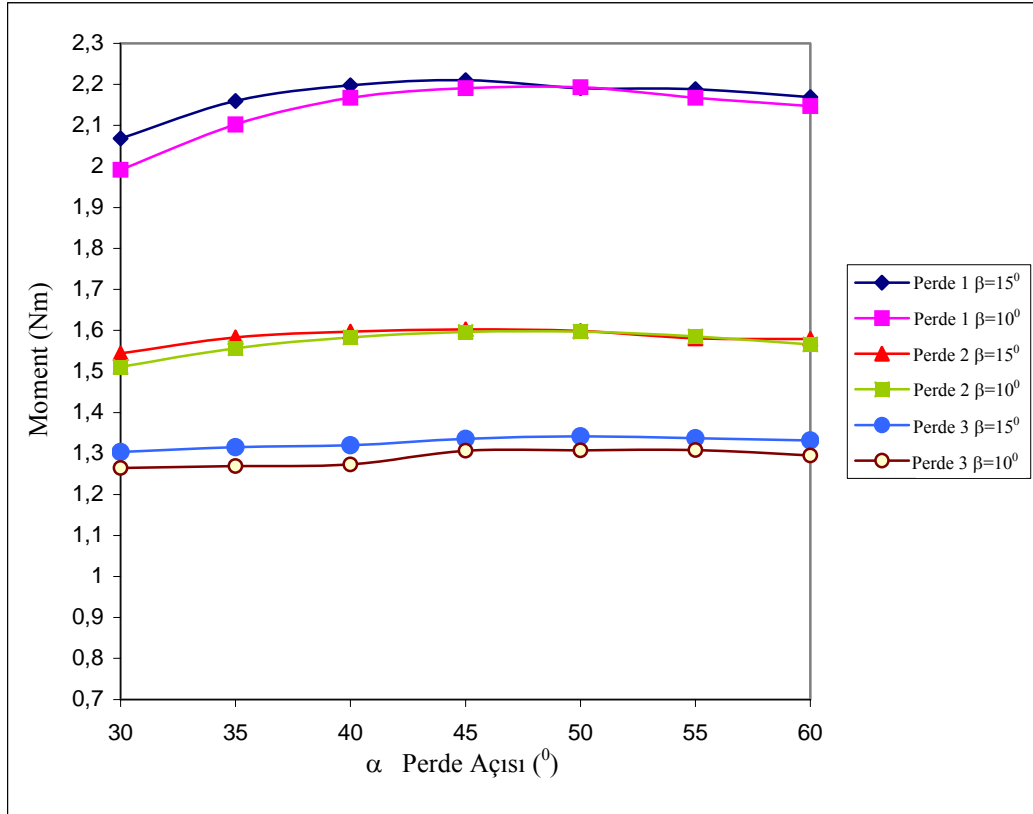
8.3.2. Çark konumu $\theta=60^0$ iken, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ için; farklı perde durumlarında moment değişimlerinin karşılaştırılması

Çark konumu 60^0 'de, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ iken; perde 1, perde 2 ve perde 3'ün α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerlerinin karşılaştırılması Tablo 8.9'da verilmiş ve Şekil 8.32'de ise α açısına bağlı değişimleri gösterilmiştir.

Burada çark konumu 60^0 iken; perde 1, perde 2 ve perde 3'den $\beta=15^0$ de elde edilen moment değerlerinin $\beta=10^0$ 'dekinden daha büyük olduğu görülmüştür. Alt bölüm 8.3.1'de yapılan aynı yorumlar burada da yapılabilir. Fakat deneysel çalışmalarda da belirtildiği gibi en iyi performansın $\theta=60^0$ için elde edildiği açık olarak görülmektedir.

Tablo 8.9 Çark konumu $\theta=60^0$, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerleri

Çark Durumu: Hareketsiz (Perdeli)						
Çark Konumu: $\theta = 60^0$						
$\alpha(^0)$	Perde 1 Moment (N.m) Sayısal		Perde 2 Moment (N.m) Sayısal		Perde 3 Moment (N.m) Sayısal	
	$\beta = 10^0$	$\beta = 15^0$	$\beta = 10^0$	$\beta = 15^0$	$\beta = 10^0$	$\beta = 15^0$
60	2,1470855	2,1691177	1,5656878	1,5788847	1,2953338	1,3323826
55	2,1673053	2,1881241	1,5786272	1,5803298	1,3082744	1,3377579
50	2,1931313	2,2026817	1,5972112	1,5986910	1,3075564	1,3420971
45	2,1906360	2,2099266	1,5963460	1,6026212	1,3067530	1,3361241
40	2,1675504	2,1976961	1,5829042	1,5969777	1,2737631	1,3203428
35	2,1024306	2,1592152	1,5562522	1,5830577	1,2691411	1,3159296
30	1,9925050	2,0688815	1,5112206	1,5437128	1,2645604	1,3041740



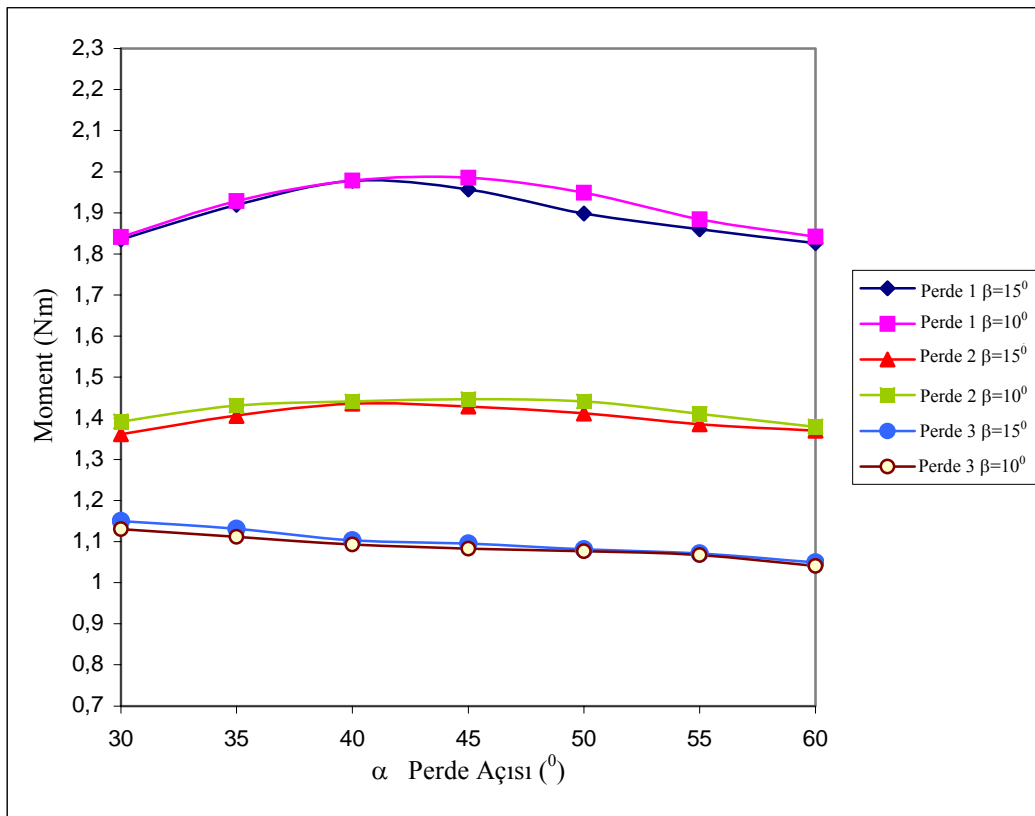
Şekil 8.32 Çark konumu $\theta=60^\circ$ iken, $\beta=10^\circ$ ve $\beta=15^\circ$ için, sayısal çözümlerle elde edilen moment değişimi

8.3.3. Çark konumu $\theta=45^\circ$ iken, $\beta=10^\circ$ ve $\beta=15^\circ$ için; farklı perde durumlarında moment değişimlerinin karşılaştırılması

Çark konumu 45° 'de, $\beta=10^\circ$ ve $\beta=15^\circ$ iken; perde 1, perde 2 ve perde 3'ün α 'nın 30° ile 60° arasındaki değerlerinde sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerlerinin karşılaştırılması Tablo 8.10'da verilmiş ve Şekil 8.33'de α açısına bağlı değişimleri gösterilmiştir. Burada $\beta=10^\circ$ 'de perde 1 ve perde 2'den elde edilen moment değerleri, $\beta=15^\circ$ de elde edilen moment değerlerinden daha büyüktür. Ayrıca perde 3'den $\beta=15^\circ$ de elde edilen moment değerlerinin $\beta=10^\circ$ 'dekinden daha büyük olduğu görülmüştür. Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılırsa; elde edilen sonuç ve yapılan yorumların aynen burada da geçerli olabileceği kanaatine varılmıştır. Zira $\beta=15^\circ$ de diğer değişimler incelendiğinde değerlerin birbirine çok yakın olduğu ve $\theta=45^\circ$ 'de zaten akışın büyük bir kısmının çark ile perde arasındaki aralıktan kaçtığı ve ayrıca perde 3 için, $\beta=10^\circ$ iken perde kanadından kaçan akışın da $\beta=15^\circ$ 'ye göre fazla olacağı hız dağılım eğrilerinden de anlaşılmaktadır.

Tablo 8.10 Çark konumu $\theta=45^0$, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerleri

Çark Durumu: Hareketsiz (Perdeli)						
Çark Konumu: $\theta = 45^0$						
$\alpha(^0)$	Perde 1 Moment (N.m) Sayısal		Perde 2 Moment (N.m) Sayısal		Perde 3 Moment (N.m) Sayısal	
	$\beta = 10^0$	$\beta = 15^0$	$\beta = 10^0$	$\beta = 15^0$	$\beta = 10^0$	$\beta = 15^0$
60	1,8425772	1,8264222	1,3798744	1,3703153	1,0409693	1,0491735
55	1,8841925	1,8600792	1,4100288	1,3862623	1,0672924	1,0711205
50	1,9489194	1,8983138	1,4403706	1,4115956	1,0768953	1,0812211
45	1,9858147	1,9573535	1,4462834	1,4277973	1,0826080	1,0949545
40	1,9791396	1,9779127	1,4409422	1,4355324	1,0928371	1,1034333
35	1,9286019	1,9193091	1,4304304	1,4064540	1,1117012	1,1309331
30	1,8412488	1,8353552	1,3919994	1,3620897	1,1303166	1,1496762



Şekil 8.33 Çark konumu $\theta=45^0$ iken, $\beta=10^0$ ve $\beta=15^0$ için, sayısal çözümlerle elde edilen moment değişimi

9. HAREKETSİZ ÇARK DURUMUNDA DENEYSEL VE SAYISAL ÇÖZÜMLEME SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

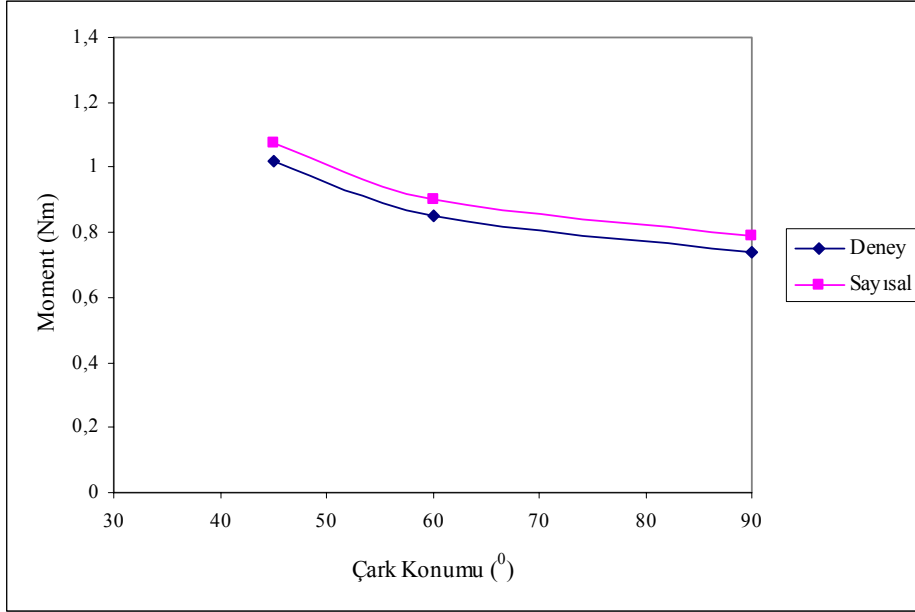
Bu bölümde çarkın hareketsiz durumunda, çark konumu 45^0 , 60^0 ve 90^0 iken; perdesiz ve perdeli durumdaki çark için, yapılan deneylerden ve sayısal çözümlerden elde edilen statik moment değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

9.1. Perdesiz Çark için Deneysel ve Sayısal Statik Moment Değerlerinin Karşılaştırılması

Perdesiz Savonius rüzgar çarkı hareketsiz durumdayken; çeşitli çark konumlarında deneyden ve programdan elde edilen moment değerlerinin karşılaştırılması Tablo 9.1’de verilmiştir. Şekil 9.1’de çark konumu 45^0 , 60^0 ve 90^0 iken, perdesiz çark için deneysel olarak elde edilen statik moment değerleri ile sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerleri gösterilmiştir. Burada Tablo 9.1 ve Şekil 9.1’de görüldüğü gibi deneysel olarak elde edilen değerlerin; sayısal olarak elde edilen değerlere yakın fakat daha düşük olduğu görülmüştür.

Tablo 9.1 Çark konumu 45^0 , 60^0 ve 90^0 iken; perdesiz durumda, deneyden ve programdan elde edilen statik moment değerleri

Çark Durumu:	Hareketsiz (Perdesiz)	
Çark Boyutu:	D = 32 cm H = 32 cm e = 2,6 cm	
Çark Konumu θ (0)	Moment (N.m) Deney	Moment (N.m) Sayısal
45^0	1,02	1,0745525
60^0	0,85	0,90118806
90^0	0,74	0,79105500



Şekil 9.1 Çark konumu 45^0 , 60^0 ve 90^0 iken, perdesiz çarktan elde edilen statik moment değişimlerinin karşılaştırılması

9.2. Perdeli Çark için Deneysel ve Sayısal Statik Moment Değerlerinin Karşılaştırılması

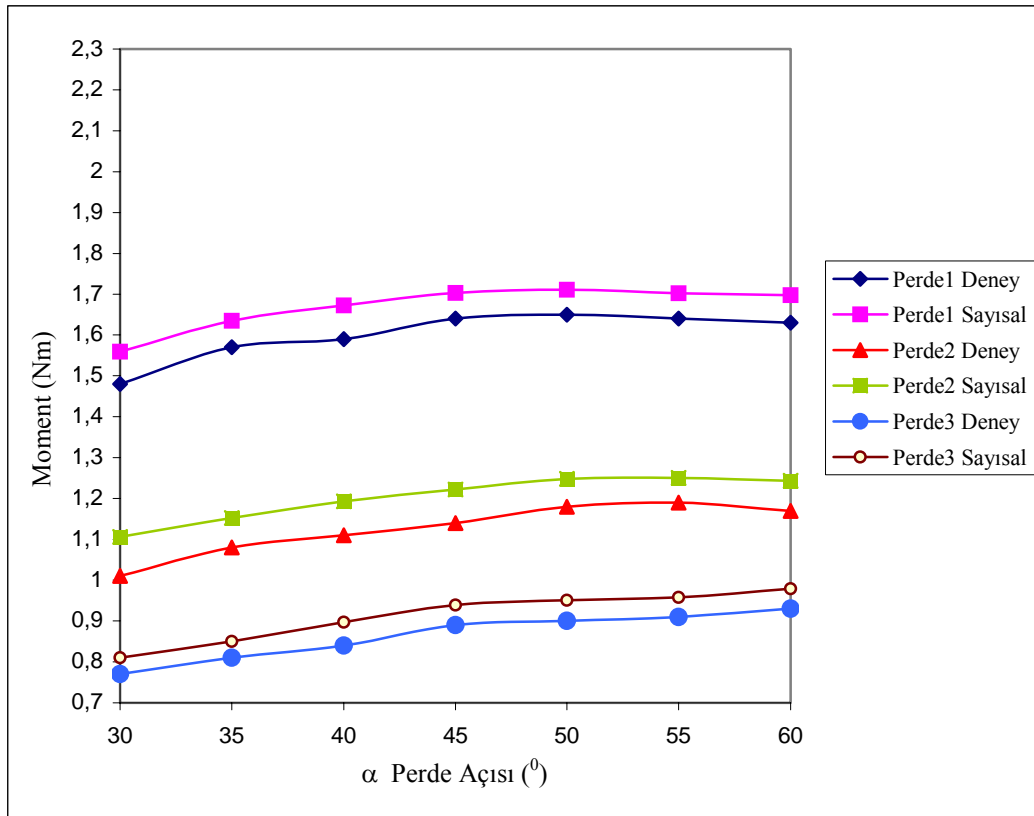
Çark konumu 45^0 , 60^0 ve 90^0 iken, çarkın hareketsiz durumunda perdeli çark için; her bir perde ile deneysel ve sayısal olarak elde edilen statik moment değerlerinin karşılaştırmaları tablo ve şekillerle verilmiştir.

9.2.1. Çark konumu $\theta=90^0$ ve $\beta=10^0$ iken, deneysel ve sayısal değerlerin karşılaştırılması

Çark konumu 90^0 'de; perde 1, perde 2 ve perde 3 ile $\beta=10^0$ iken α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, yapılan deneylerle ve sayısal çözümlerle elde edilen statik moment değerlerinin karşılaştırılması Tablo 9.2'de verilmiş ve α açısına bağlı olarak moment değişimleri Şekil 9.2'de gösterilmiştir. Perde 1'den elde edilen moment değerlerinin perde 2 ve perde 3'ün moment değerlerinden daha büyük olduğu görülmüştür. Burada deneysel ve sayısal olarak elde edilen değerlerin birbirine yakın fakat sayısal sonuçların daha büyük değerlerde olduğu Tablo 9.2 ve Şekil 9.2'den görülmektedir. Bunun deneysel çalışmada meydana gelen kayıplar ve ölçüm hatalarından kaynaklandığı kanaatine varılmıştır.

Tablo 9.2 Çark konumu 90^0 , $\beta=10^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, deneyden ve programdan elde edilen statik moment değerleri

Çark Durumu: Hareketsiz (Perdeli)							
Çark Konumu: $\theta = 90^0$							
Perde Tipi:	Perde 1 Moment (N.m) $\beta = 10^0$		Perde 2 Moment (N.m) $\beta = 10^0$		Perde 3 Moment (N.m) $\beta = 10^0$		
	$\alpha(^0)$	Deney	Sayısal	Deney	Sayısal	Deney	Sayısal
	60	1,63	1,6976250	1,17	1,2434337	0,93	0,97892215
	55	1,64	1,7024010	1,19	1,2502835	0,91	0,95792696
	50	1,65	1,7106615	1,18	1,2480332	0,90	0,95030750
	45	1,64	1,7031610	1,14	1,2221964	0,89	0,93892116
	40	1,59	1,6724373	1,11	1,1929812	0,84	0,89722985
	35	1,57	1,6343643	1,08	1,1526190	0,81	0,84986776
	30	1,48	1,5594974	1,01	1,1064251	0,77	0,81008266



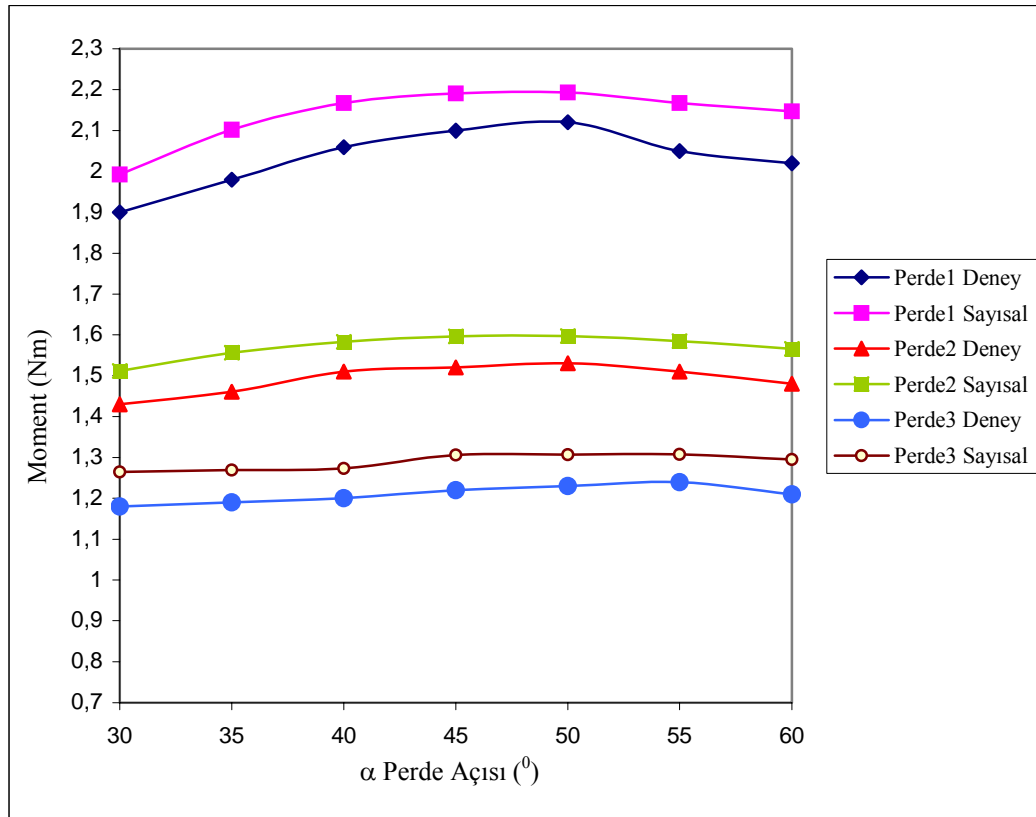
Şekil 9.2 Çark konumu 90^0 iken, $\beta=10^0$ için α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, deney ve program ile elde edilen moment değişimi

9.2.2. Çark konumu $\theta=60^0$ ve $\beta=10^0$ iken, deneysel ve sayısal değerlerin karşılaştırılması

Çark konumu 60^0 iken, $\beta=10^0$ de α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde; perde 1, perde 2 ve perde 3 ile yapılan deneylerden ve sayısal çözümlemeden elde edilen statik moment değerlerinin karşılaştırılması Tablo 9.3'de verilmiş ve α açısına bağlı olarak moment değişimleri Şekil 9.3'de gösterilmiştir. Burada perde 1 için deneysel ve sayısal olarak elde edilen moment değerlerinin perde 2 ve perde 3 ile elde edilen moment değerlerinden daha büyük olduğu görülmüştür.

Tablo 9.3 Çark konumu 60^0 , $\beta=10^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, deneyden ve programdan elde edilen statik moment değerleri

Çark Durumu: Hareketsiz (Perdeli)							
Çark Konumu: $\theta = 60^0$							
Perde Tipi:	Perde 1 Moment (N.m) $\beta = 10^0$		Perde 2 Moment (N.m) $\beta = 10^0$		Perde 3 Moment (N.m) $\beta = 10^0$		
	α^0	Deney	Sayısal	Deney	Sayısal	Deney	Sayısal
	60	2,02	2,1470855	1,48	1,5656878	1,21	1,2953338
	55	2,05	2,1673053	1,51	1,5786272	1,24	1,3082744
	50	2,12	2,1931313	1,53	1,5972112	1,23	1,3075564
	45	2,10	2,1906360	1,52	1,5963460	1,22	1,3067530
	40	2,06	2,1675504	1,51	1,5829042	1,20	1,2737631
	35	1,98	2,1024306	1,46	1,5562522	1,19	1,2691411
	30	1,90	1,9925050	1,43	1,5112206	1,18	1,2645604



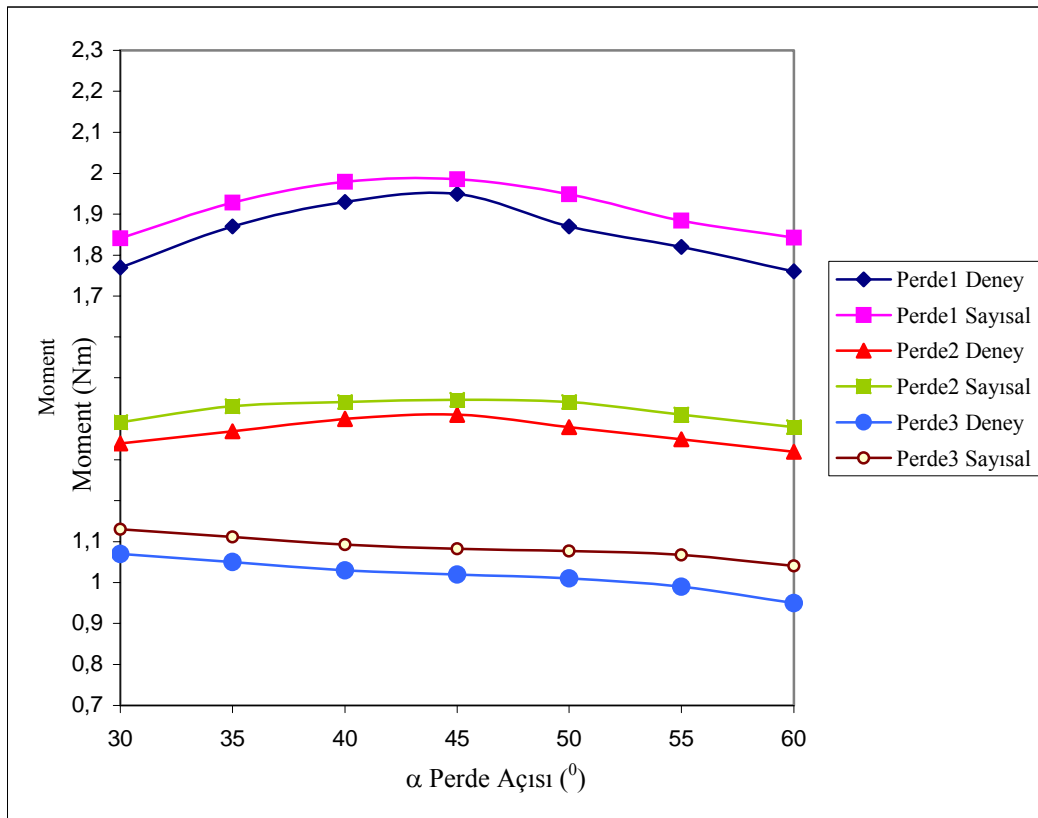
Şekil 9.3 Çark konumu 60^0 iken, $\beta=10^0$ için α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, deney ve program ile elde edilen moment değişimi

9.2.3. Çark konumu $\theta=45^0$ ve $\beta=10^0$ iken, deneysel ve sayısal değerlerin karşılaştırılması

Çark konumu 45^0 'de $\beta=10^0$ iken α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde; perde 1, perde 2 ve perde 3 ile yapılan deneyler ve sayısal çözümleme ile elde edilen statik moment değerlerinin karşılaştırılması Tablo 9.4'de verilmiş ve α açısına bağlı olarak moment değişimleri Şekil 9.4'de gösterilmiştir. Perde 1'den elde edilen moment değerlerinin perde 2 ve perde 3'den elde edilen moment değerlerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Hem deneysel ve hem de sayısal çözümleme sonuçlarında; perde 3'te moment değerlerinin düşük olmasının perdenin boyunun kısılması nedeniyle, perde uçlarından da akışkanın kaçmasından kaynaklandığı sonucuna varılmış ve α 'nın büyük değerlerinde momentlerdeki düşüşün; çark konumunun $\theta=45^0$ olması nedeniyle, öncelikle çark ve perde arasındaki boşluktan akışın kaçması sonucunda olduğu görüşüne varılmıştır.

Tablo 9.4 Çark konumu 45^0 , $\beta=10^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, deneyden ve programdan elde edilen statik moment değerleri

Çark Durumu: Hareketsiz (Perdeli)							
Çark Konumu: $\theta = 45^0$							
Perde Tipi:	Perde 1 Moment (N.m) $\beta = 10^0$		Perde 2 Moment (N.m) $\beta = 10^0$		Perde 3 Moment (N.m) $\beta = 10^0$		
	$\alpha(^0)$	Deney	Sayısal	Deney	Sayısal	Deney	Sayısal
	60	1,76	1,8425772	1,32	1,3798744	0,95	1,0409693
	55	1,82	1,8841925	1,35	1,4100288	0,99	1,0672924
	50	1,87	1,9489194	1,38	1,4403706	1,01	1,0768953
	45	1,95	1,9858147	1,41	1,4462834	1,02	1,0826080
	40	1,93	1,9791396	1,40	1,4409422	1,03	1,0928371
	35	1,87	1,9286019	1,37	1,4304304	1,05	1,1117012
	30	1,77	1,8412488	1,34	1,3919994	1,07	1,1303166



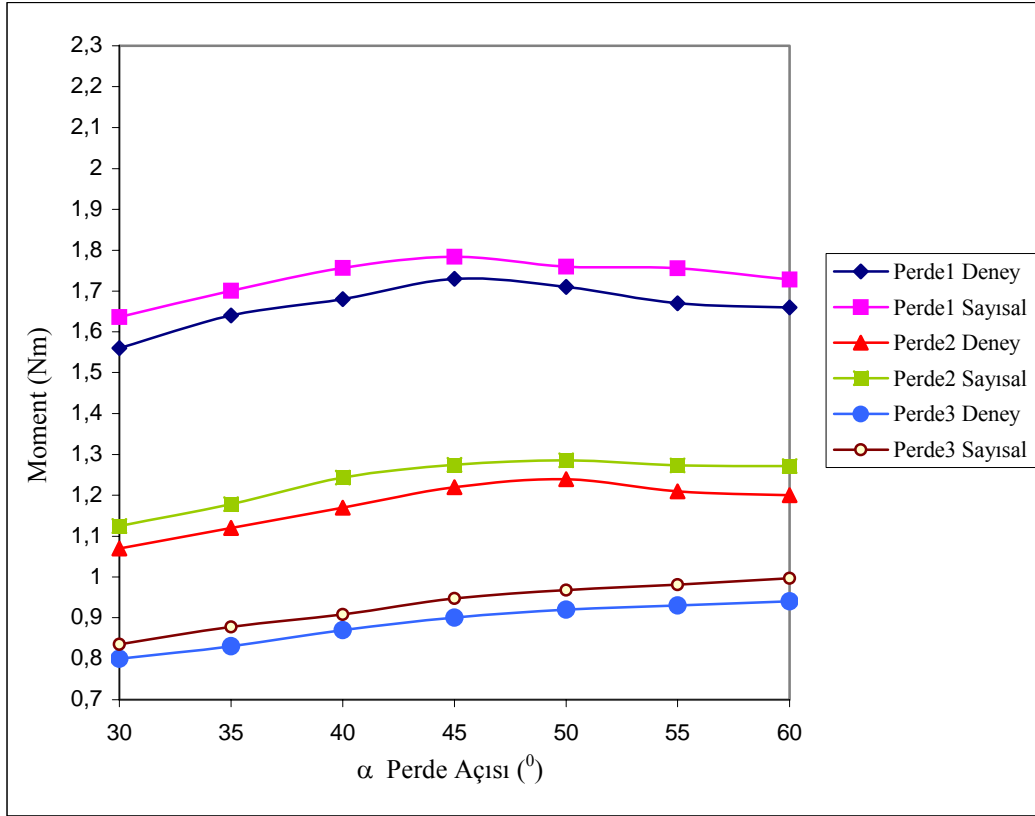
Şekil 9.4 Çark konumu 45^0 iken, $\beta=10^0$ için α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, deney ve program ile elde edilen moment değişimi

9.2.4. Çark konumu $\theta=90^0$ ve $\beta=15^0$ iken, deneysel ve sayısal değerlerin karşılaştırılması

Çark konumu 90^0 'de, $\beta=15^0$ iken α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde yapılan deneylerle ve sayısal çözümlerle ile perde 1, perde 2 ve perde 3 için elde edilen statik moment değerlerinin karşılaştırılması Tablo 9.5'de verilmiştir. Burada perde 1'den elde edilen moment değerlerinin perde 2 ve perde 3'den elde edilen moment değerlerinden daha büyük olduğu görülmüş ve α açısına bağlı olarak değişimleri Şekil 9.5'de gösterilmiştir.

Tablo 9.5 Çark konumu 90^0 , $\beta=15^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, deneyden ve programdan elde edilen statik moment değerleri

Çark Durumu: Hareketsiz (Perdeli)							
Çark Konumu: $\theta = 90^0$							
Perde Tipi:	Perde 1 Moment (N.m) $\beta = 15^0$		Perde 2 Moment (N.m) $\beta = 15^0$		Perde 3 Moment (N.m) $\beta = 15^0$		
	$\alpha(^0)$	Deney	Sayısal	Deney	Sayısal	Deney	Sayısal
	60	1,66	1,7282740	1,20	1,2718184	0,94	0,99718965
	55	1,67	1,7555678	1,21	1,2731103	0,93	0,98116688
	50	1,71	1,7599687	1,24	1,2861810	0,92	0,96760572
	45	1,73	1,7841525	1,22	1,2749722	0,90	0,94709151
	40	1,68	1,7567151	1,17	1,2437479	0,87	0,90786563
	35	1,64	1,7009939	1,12	1,1784846	0,83	0,87754934
	30	1,56	1,6364707	1,07	1,1251787	0,80	0,83540259



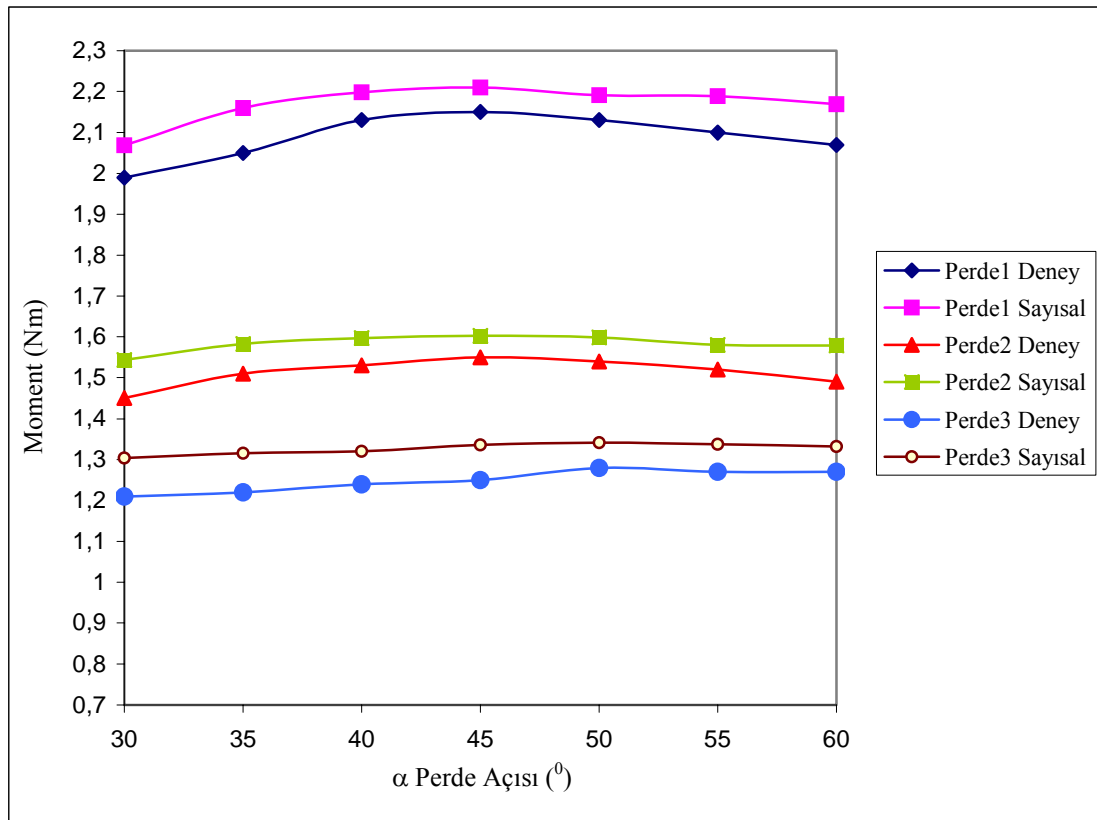
Şekil 9.5 Çark konumu 90^0 iken, $\beta=15^0$ için α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, deney ve program ile elde edilen moment değişimi

9.2.5. Çark konumu $\theta=60^0$ ve $\beta=15^0$ iken, deneysel ve sayısal değerlerin karşılaştırılması

Çark konumu 60^0 'de $\beta=15^0$ iken α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde; perde 1, perde 2 ve perde 3 ile yapılan deneylerle ve sayısal çözümleme ile elde edilen statik moment değerlerinin karşılaştırılması Tablo 9.6'da verilmiş ve moment değerlerinin α açısına bağlı olarak değişimleri Şekil 9.6'da gösterilmiştir. Burada perde 1 için deneyden ve sayısal çözümden elde edilen moment değerlerinin perde 2 ve perde 3'ün moment değerlerinden daha büyük olduğu görülmüştür.

Tablo 9.6 Çark konumu 60^0 , $\beta=15^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, deneyden ve programdan elde edilen statik moment değerleri

Çark Durumu: Hareketsiz (Perdeli)							
Çark Konumu: $\theta = 60^0$							
Perde Tipi:	Perde 1 Moment (N.m) $\beta = 15^0$		Perde 2 Moment (N.m) $\beta = 15^0$		Perde 3 Moment (N.m) $\beta = 15^0$		
	$\alpha(^0)$	Deney	Sayısal	Deney	Sayısal	Deney	Sayısal
	60	2,07	2,1691177	1,49	1,5788847	1,27	1,3323826
	55	2,10	2,1881241	1,52	1,5803298	1,27	1,3377579
	50	2,12	2,2026817	1,54	1,598691	1,28	1,3420971
	45	2,15	2,2099266	1,55	1,6026212	1,25	1,3361241
	40	2,13	2,1976961	1,52	1,5969777	1,24	1,3203428
	35	2,05	2,1592152	1,51	1,5830577	1,22	1,3159296
	30	1,99	2,0688815	1,45	1,5437128	1,21	1,3041274



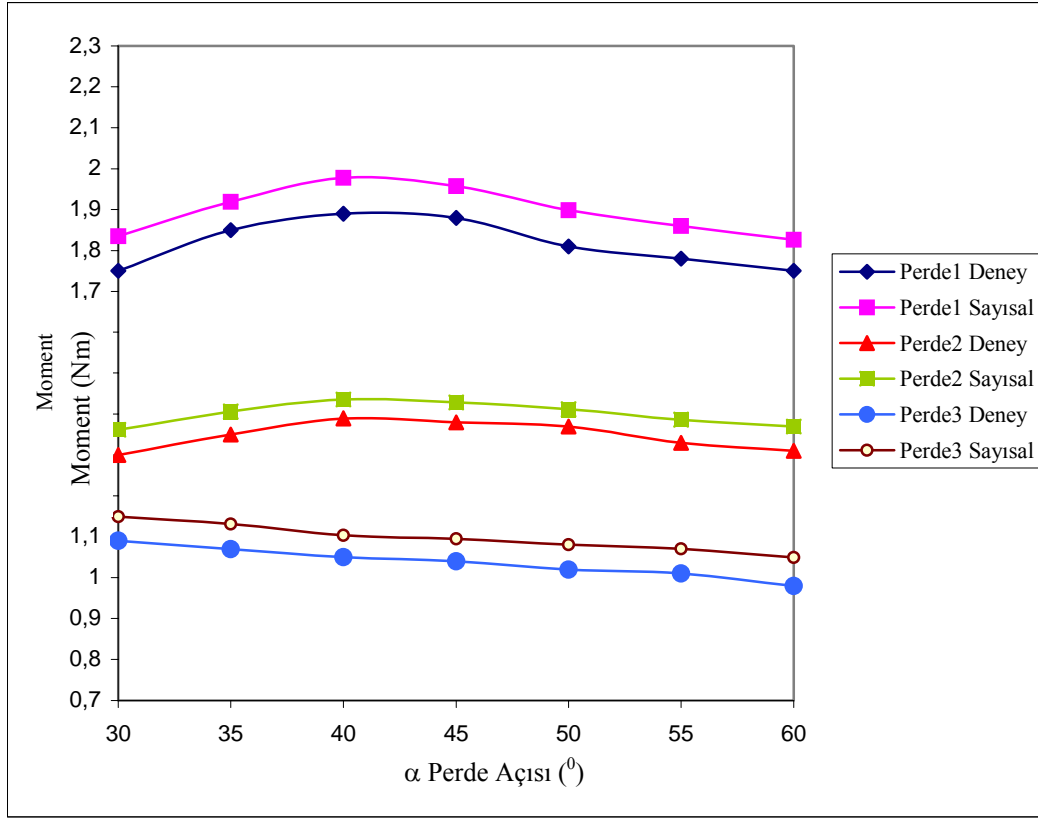
Şekil 9.6 Çark konumu 60^0 iken, $\beta=15^0$ için α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, deney ve program ile elde edilen moment değişimi

9.2.6. Çark konumu $\theta=45^0$ ve $\beta=15^0$ iken, deneysel ve sayısal değerlerin karşılaştırılması

Çark konumu 45^0 'de $\beta=15^0$ iken α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde; perde 1, perde 2 ve perde 3 ile yapılan deneylerle ve sayısal çözümleme ile elde edilen statik moment değerlerinin karşılaştırılması Tablo 9.7'de verilmiş ve moment değişimleri α açısına bağlı olarak Şekil 9.7'de gösterilmiştir. Burada en uzun perde olan perde 1'den deneysel ve sayısal olarak elde edilen moment değerlerinin, perde 2 ve perde 3'ün moment değerlerinden daha büyük olduğu görülmüştür. Ayrıca sayısal çözümleme ile elde edilen değerlerin deneysel değerlere yakın fakat büyük olduğu Tablo 9.7 ve Şekil 9.7'den görülmektedir.

Tablo 9.7 Çark konumu 45^0 , $\beta=15^0$ iken; farklı perde uzunluklarında, deneyden ve programdan elde edilen statik moment değerleri

Çark Durumu: Hareketsiz (Perdeli)						
Çark Konumu: $\theta = 45^0$						
Perde Tipi:	Perde 1 Moment (N.m) $\beta = 15^0$		Perde 2 Moment (N.m) $\beta = 15^0$		Perde 3 Moment (N.m) $\beta = 15^0$	
	α^0	Deney	Sayısal	Deney	Sayısal	Deney
60	1,75	1,8264222	1,31	1,3703153	0,98	1,0491735
55	1,78	1,8600792	1,33	1,3862623	1,01	1,0711205
50	1,81	1,8983138	1,37	1,4115956	1,02	1,0812211
45	1,88	1,9573535	1,38	1,4277973	1,04	1,0949545
40	1,89	1,9779127	1,39	1,4355324	1,05	1,1034333
35	1,85	1,9193091	1,35	1,406454	1,07	1,1309331
30	1,75	1,8353552	1,3	1,3620897	1,09	1,1496762



Şekil 9.7 Çark konumu 45^0 iken, $\beta=15^0$ için α 'nın 30^0 ile 60^0 arasındaki değerlerinde, deney ve program ile elde edilen moment değişimi

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

10.1. Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada genel olarak elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında; çarkın aynı konumları için çark hareketsiz iken, perdeli durumların perdesiz duruma göre daha iyi performans sağladığı görülmüştür. Perdeli durumda en uzun perde ile en iyi sonuçlar elde edilirken en kısa perde ile en kötü sonuçlar alınmıştır. Öte yandan hareketsiz çark durumunda; perde 1 ile çark kanadının $\theta=60^0$ 'lik konumunda; $\beta=15^0$ ve $\alpha=45^0$ durumu için en iyi performansın sağlandığı gerek deneysel ölçmelerden ve gerekse sayısal çözümlerden belirlenmiştir. Hareketsiz çark durumunda; çark konumu $\theta=90^0$ iken perdenin yönlendirdiği akışkanın büyük bir kısmı dış bükey kanat üzerinden kaçmakta ve böylece ters yönde bir moment etkisi yaratmaktadır. $\theta=90^0$ iken en düşük moment değeri elde edilmesinin esas nedeni budur. $\theta=45^0$ iken ise perde ucu ile kanat arasından daha fazla akışkan kaçmakta ve bu durumda uygulanan moment değeri azalmaktadır.

Akışın çarka yönelmesinde; α ve β perde kanat açılarının toplam değerinin ($\alpha + \beta$), önemli bir faktör olduğu ve bu toplam açının büyüyen değerlerinde; çarka gelen akışkanın, süpürme alanında meydana gelen artışın, belirli bir değerine kadar çarkın maksimum performansa ulaşabileceği değerlere eriştikten sonra, açının daha fazla büyümesi durumunda ani daralmada oluşan olaylar meydana gelmekte (Atılgan 1982, White 2004) ve çarkın performansı düşmektedir. Bunun sonucu olarak, özellikle kısa perde durumlarında; perdenin kenarlarından akışkanın kaçmasının yanında, perdelerin uçlarından da kaçan akışkan, performansları azaltıcı yönde etkilemektedir. Bu akışkan kaçırları hem ölçmelerden hem de sayısal çözümlerden elde edilen değişim eğrilerinden görülmektedir. Gerek ölçmelerden gerekse sayısal çözümlerden çarkın $\theta=45^0$ konumu için bütün perdelerde β 'nin 10^0 ve 15^0 'lik durumlarında α 'nın yüksek değerlerinde meydana gelen fazla düşüşe kanat konumuna ek olarak perdenin ucundan kaçan havanın sebep olduğu görüşüne varılmıştır (Tablo 9.4, Tablo 9.7, Şekil 9.4 ve Şekil 9.7).

Yapılan deneylerde; β 'nin 0^0 ve 5^0 gibi küçük değerlerinde akış alanı daralması nedeniyle süpürme alanı azalmakta ve akışın bir kısmı çarka yönelmeden dışarı kaçmaktadır. Bu durum zaten β açısının, 15^0 'nin altına düştüğünde, yani $\beta=10^0$ 'de iken performanstaki azalma eğiliminden söylenebilir fakat β açısı 15^0 'nin üzerine çıktığında her ne kadar süpürme alanı artsa da bazı durumlarda, özellikle $\theta=45^0$ için, çark ile perde ucu arasında akışkan kaçmalarına neden olduğu görülmüş ve bu da performans düşüşüne neden olmuştur. Fakat ilgili bölümlerde de açıklandığı gibi $\alpha+\beta$ toplamının belirli bir değer üzerinde çıkmaması kaydıyla performanstaki yüksekliğin sağlanabileceği doğrultusunda bir görüş oluşmuş ve bu deneylerde $\beta=15^0$ ile $\alpha=45^0$ 'de en iyi performans değerinin alındığı görülmüştür. $\alpha+\beta$ değerlerinin toplamı takriben 60^0 tutulmak kaydıyla belki de $\beta=30^0$ ve $\alpha=30^0$ için performansın artabileceği düşüncesi oluşabilir. Fakat bizim buradaki esas amacımız α 'yı mümkün mertebede yüksek tutup kanadın dış bükey yüzeyine gelen rüzgar etkisini en aza indirerek ters moment etkisini azaltmaktadır. Bu bağlamda Le Gourieres'in (1982) yaklaşık teori ile ideal şartlar için ($c_2=0$) verdiği ifade ile bir anlamda burada yapmış olduğumuz perdeleme yönteminin örtüştüğü görülmektedir. Böylece bu koşul pratik anlamda sağlanmış olmaktadır.

Perdesiz ve perdeli çark durumları için yapılan deneylerden elde edilen statik moment değerlerinin, sayısal çözümlerden (Fluent 6.0 programı) elde edilen statik moment değerlerine yakın, fakat daha düşük olduğu görülmüştür. Bu düşüşe; deneylerde meydana gelen kayıpların ve ölçmelerden kaynaklanan hataların neden olduğu düşünülmüştür.

Çalışmada esas itibariyle; çark hareketli iken, perdesiz ve perdeli durumlarda yapılan deneylerden elde edilen sonuçların performans karşılaştırılması yapılmıştır. Perdesiz durumda en iyi güç katsayısı 0,1635 (Tablo 6.11 ve Şekil 6.14) iken, perdeli durumda ise $\beta=15^0$ ve $\alpha=45^0$ olduğunda en yüksek güç katsayısı perde 1 için 0,3853 olarak elde edilmiştir (Tablo 6.19 ve Şekil 6.26). Öte yandan $\beta=10^0$ iken maksimum güç katsayısı $\alpha=50^0$ 'de elde edilmiş ve $\beta=15^0$ 'ye göre daha düşük değerde olup bu durum bölüm 6.3'de açıklanmıştır.

Yapılan deneysel çalışmada; kullanılan rüzgar tüneline ortalama 10-13 m/s ve üzerindeki rüzgar hızlarında çalışıldığında; perdenin blokaj etkisi yaratmasından dolayı

beklenen güç ve performans artışına ulaşamamıştır. Bu nedenle, deneysel olarak yapılan çalışmalarda; hızın ancak daha düşük değerlerinde performansın daha iyi olduğu belirlenmiş ve deneyler ortalama 7 m/s'lik rüzgar hızlarında sürdürülmüştür. Buradan da Savonius rüzgar çarklarında çok yüksek rüzgar hızlarında perde uygulamasının uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu nedenle, rüzgar hızlarının düşük olduğu bölgelerde, perdeli Savonius rüzgar çarklarının kullanımının yararlı olacağı söylenebilir.

Deneylein sayısal çözümlene ile desteklenmesinin önemi; deneylelerden ilk alınan ölçümlerin sayısal çözümlene ile elde edilen değerlerle uyuşmadığında anlaşılmıştır. Zira yapılan sayısal çözümlene; deneylelerde oluşan ölçme hatalarının kaynağının belirlenmesinde etken rol oynamıştır. Deneysel ölçümlerle ve sayısal çözümlene ile elde edilen değerlerin uyuşmama sebebini tespit edebilmek için, sayısal çalışmanın türbülans model ve ağ tipleri değiştirilerek yeniden çözümler yapılmış ve bu yeni çözümlerden elde edilen değerlerin de ilk yapılan sayısal çözümlene sonuçları ile yaklaşık olarak aynı olduğu bulunmuştur. Bunun üzerine deney düzeneğinde problem aranmış ve bu sayede yapılan ölçümlerde moment ölçerin her ölçüm için yeniden başlatılması (setup yapılması) gerektiği; yoksa bundan önceki ölçtüğü değerlerin üzerine yeni değerlerin kaydedildiği anlaşılmıştır. Böylece sayısal çözümlenenin, deneylelerin doğru ve güvenilir yapılmasında da yardımcı olduğu söylenebilir.

Yapılan çalışmada, perde uzunluğu arttıkça çarka giren rüzgar hızı artacak ve dolayısıyla aynı boyuttaki çark için elde edilebilecek güç miktarı daha fazla olacaktır. Fakat bunun yanında; perde boyu uzadıkça sürtünmeler ve ayrılmalar dolayısıyla enerji kayıpları artacaktır. Dolayısıyla; perde boyunun istenildiği gibi uzatılması söz konusu değildir. Öte yandan, perde boyunun belirli bir değeri belki de optimum bir tasarımı sağlayacaktır. Fakat, burada perde boyu çark boyutları ile karşılaştırıldığında, çok büyük ve hantal bir perde ile karşılaşılabılır, bu da uygulamada güçlük yaratacaktır.

Yapılan çalışmada, rüzgar geliş istikametinde yanal kenarlarla sınırlanmış alan içinde akışkan gelmiş olsaydı, alan daralmasına bağlı olarak çarka girişteki hız büyüklüğü süreklilik kavramına göre alan oranları nispetinde bir artış sergileyecekti (Şekil 4.6). Halbuki gerçekte yapılan deney ortamında, gerek perdelerdeki sürtünmeler ve gerek çarktaki dirençler sebebiyle bir kısım akışkanın, çarka gelmeden önce perdelerden önceki serbest akış alanındaki, hava akışına karıştığı görülmekte ve bu

bağlamda perdeye giriş ve çıkışta tam bir süreklilik sağlanamadığı ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle çarka girişteki akışkan miktarının, beklenenden (teorik yaklaşımdan) daha düşük değerlerde olduğu deneylerden ve sayısal çözümlerden de görülmüştür.

10.2. Öneriler

Yaptığımız deneyler sonucunda, perdeleme yöntemi ile Savonius rüzgar çarkının güç ve performans değerlerinin arttığı görülmüştür. Fakat, bu çalışmanın tek dezavantajı; klasik Savonius rüzgar çarkları; rüzgarı her yönden alabilmesine karşın, perdeli Savonius rüzgar çarkı uygulamasında mutlaka rüzgara karşı perdenin yönlendirilmesi gerekmektedir. Fakat bu da, çarkın güç ve performans değerlerinin artırılmasının yanında şüphesiz ki küçük bir sorun olarak düşünülebilir ve bunun için perdeli çarklarda, ya yönlendirme dümeni yada çarkın arka kısmına rüzgarın yönünü algılaması için algılayıcı sensör koyulmasını gerektirecektir.

Yapılan çalışmada; perde açıları β ve α 'nın $10^0 \leq \beta \leq 15^0$ ve $30^0 \leq \alpha \leq 60^0$ değerlerinde, üç farklı perde boyutunda deneyler yapılmış ve en iyi durum; perde 1'in $\alpha=45^0$ ve $\beta=15^0$ olduğu değerinde elde edilmiştir. Bu durum için en yüksek güç katsayısını temsil eden eğrinin denklemi $y=1,2578x^3-3,632x^2 + 2,2444x + 0,0053$ şeklinde elde edilmiştir. Optimum perde boyutlarını belirleyebilmek için, en iyi sonuçların tespit edildiği; perde 1'in boyutlarının arttığı taraftaki bölgede de deneysel çalışmalar, yapılmalı ve elde edilen sonuçlar, çalışma bölgesi içindeki ilgili değerler ile, bir eğri ile gösterilerek bu eğrinin maksimum değerini veren nokta belirlenmelidir. Bu noktaya ait geometrik boyutlar optimum perde boyutlarını verecektir. Çalışma süresi ve mevcut imkanlar ile yapılamayan bu çalışma, ileride yapılacak başka araştırmalarda irdelenmelidir.

Bu çalışmada; tek katlı Savonius rüzgar çarkına perdeleme yöntemi uygulanmıştır. Uygulamada her ne kadar yaygın olmasa da, iki ve çok katlı ve çok kanatlı Savonius rüzgar çarklarına da perdeleme sistemi uygulanarak sonuçlar irdelenebilir. Laboratuvar imkanları buna elvermediğinden, bu konu üzerine çalışılmamıştır.

Burada; tek tip çark boyutları üzerinde çalışılmıştır. Farklı çark boyutları, perde geometrileri ve boyutları üzerinde çalışmalar yapılarak, geometrik değişikliklerin

performans üzerine etkisi araştırılabilir. Ayrıca, ark ve perde malzemeleri değiştirilerek, performans üzerine etkileri incelenebilir.

11. KAYNAKLAR

- Aldoss, T.K., and Kotb, M.A., (1991) Aerodynamic Loads on a Stationary Savonius Rotor, *JSME International Journal, Series II*, 34(1): 52-55.
- Aldoss, T.K., (1984) Savonius Rotor Using Swinging Blades as an Augmentation System. *Wind Engineering*, 8(4): 214-220.
- Aldoss, T.K., and Kotb, M.A., (1988) Theoretical Calculations of the Flow Field Around a Savonius Rotor, *Wind Engineering*, 12 (3): 194-203.
- Aldoss, T.K., and Najjar, Y.S.H., (1985) Further Development of the Swinging-Blade Savonius Rotor. *Wind Engineering*, 9(3): 165-170.
- Alexander, A.J., and Holownia, B.P., (1978) Wind Tunnel Test on a Savonius Rotor. *Journal of Industrial Aerodynamics*, 3: 343-351.
- Anonymous (2001) Fluent 6.0 User's Guide, Fluent Inc. 5: 511s.
- Atılğan, M., (1982) Geçiş borularının geometrisi ve bu borulardaki akışın incelenmesi, Doçentlik Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine ve Elektrik Fakültesi*, Trabzon, 146s.
- Atılğan, M., ve Deda Altan, B., (2004) Savonius Rüzgar Çarklarının Performansının Geliştirilmesi ve Karşılaştırılması. *Mühendis ve Makina*, 533: 30-34.
- Avşar, H., Çetinkaya, K., ve Gökçaya H., (2001) Afyon yöresi rüzgar potansiyeli ve elektrik enerjisi üretimi için Savonius tasarımı”, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, Kayseri, s.171-178.
- Benghrib, D., Ahram, A., and Bchir, L., (1998) Description of the Vortex Formation on a Savonius Rotor in a Water Channel. *Mécanique des Fluides/Fluid Mechanics*, Série II b, 495-500.
- Blackwell, B.F., Sheldahl, R.E., and Feltz, L.V., (1977) Wind tunnel Performance Data for Two-and Three-Bucket Savonius Rotors. *Prepared by Sandia Laboratories Printed In The USA SAND76-0131*, New Mexico, 105s.
- Çolak, O., Dombaycı, Ö.A., ve Üçgül, İ., (2001) Değişken Rüzgar Hızlarına Uygun Savonius Rüzgar Türbin Modelinin İyileştirilmesi. *Termodinamik*, 103: 70-72.
- Deda, B., (2000) Rüzgar Enerjisi ve Savonius rüzgar çarklarının performanslarının incelenmesi., Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 100s.

- Deda, B., Atılğan, M., ve Öztürk, H.K., (2000) Savonius rüzgar çarklarının performanslarının incelenmesi”, *III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, İstanbul, s.423-430.
- Deda, B., Atılğan, M., ve Öztürk, H.K., (2001) Savonius rüzgar çarklarının performanslarının arttırılması”, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, Kayseri, s.157-164.
- Eldridge, F.R., (1980) Wind Machines Second Edition, *Van Nostrand. Co.* New York, 214s.
- Fernando, M.S.U.K., and Modi, V.J., (1989) A Numerical Analysis of the Unsteady Flow Past a Savonius Wind Turbine. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 32: 303-327.
- Fujisawa, N., (1992) On the Torque Mechanism of Savonius Rotors. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 40: 277-292.
- Fujisawa, N., (1996) Velocity Measurements and Numerical Calculations of Flow Fields in and Around Savonius Rotors. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 59: 39-50.
- Fujisawa, N., and Gotoh, F., (1992) Pressure Measurements and Flow Visualization Study of a Savonius Rotor. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 39: 51-60.
- Fujisawa, N., and Gotoh, F., (1992) Visualization Study of the Flow in and Around a Savonius Rotor. *Experiments in Fluids*, 12: 407-412.
- Fujisawa, N., and Gotoh, F., (1994) Experimental Study on the Aerodynamic Performance of a Savonius Rotor. *Transactions of the ASME*, 116: 148-152.
- Fujisawa, N., and Shirai, H., (1987) Experimental Investigation on the Unsteady Flow Field Around a Savonius Rotor at the Maximum Power Performance. *Wind Engineering*, 11(4): 195-206.
- Fujisawa, N., and Taguchi, Y., (1993) Visualization and Image Processing of the Flow in and Around a Savonius Rotor. *Journal of Flow Visualization and Image Processing*, 1: 337-346.
- Gavalda, Jna., Massons, J., and Diaz, F., (1990) Experimental Study on a Self-Adapting Darrieus-Savonius Wind Machine. *Solar&Wind Technology*, 7(4): 457-461.
- Gavalda, Jna., Massons, J.,and Diaz, F., (1991) Drag and Lift Coefficients of the Savonius Wind Machine. *Wind Engineering*, 15(5): 240-246 .

- Grinspan, A.S., Kumar. P.S., Saha, U.K., Mahanta, P. Ratna Rao, D.V., and Veda Bhanu, G., (2001) Design, development and testing of Savonius wind turbine rotor with twisted blades”, *Proceedings of 28th National Conference on Fluid Mechanics and Fluid Power*, Chandigarh, India, s.428-431.
- Hayashi, T., Li, Y., Hara, Y., and Suzuki K., (2004) Wind tunnel tests on a three-stage out- phase Savonius rotor”, *European Wind Energy Conference&Exhibition*, http://www.2004ewec.info/files/23_1400_tsutomushayashii_01.pdf. (20.05.2006)
- Ishimatsu, K., Kage, K., and Okubayashi, T., (2002) Numerical study for the flow fields and performances of Savonius-type and Bach-type rotors” *The 10th International Symposium On Flow Visualization*, Kyoto Japan s.1-7.
- Kawamura, T., Hayashi, T., and Miyashita, K., (2001) Application of the domain decomposition method to the flow around the Savonius rotor”, *12th International Conference on Domain Decomposition Methods*, Japan, s.393-400.
- Kayansayan, N., (1992) Savonius Rüzgar Jeneratörü ve Performans Deneylemleri. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 15(1): 21-26.
- Le Gourieres, D., (1982) Wind Power Plants Theory and Design, **Pergamon Press Ltd.**, Oxford, England, 285s.
- Massons, J., Gavalda, Jna., Ruiz, X., and Diaz, F., (1988) Image Analysis of the Wake Generated by a Savonius Rotor. *Wind Engineering*, 12(6): 341-351.
- Menet, J.L., (2004) A Double-Step Savonius Rotor for Local Production of Electricity: a Design Study. *Renewable Energy*, 29: 1843-1862.
- Mganilva, Z.M., (2002) Development of a Savonius wind turbine water pumping system”, **International Conference On Water 4th-6th December**, Arusha, Tanzania, s.1-10.
- Modi, V.J., (1993) Unsteady Aerodynamics and Wake of the Savonius Wind Turbine: A Numerical Study. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 46 & 47: 811-816.
- Modi, V.J., and Fernando, M. S.U.K., (1989) On the Performance of the Savonius Wind Turbine. *Journal of Solar Energy Engineering*, 111: 71-81.
- Modi, V.J., Fernando, M.S.U.K., and Roth N.J., (1990) Aerodynamics of the Savonius rotor: experiments and analysis. *Proceedings of the 25th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference (IECEC-90)*, 5: 213-218.
- Modi, V.J., Roth, N.J., and Fernando M.S.U.K., (1984) Optimum-Configuration Studies and Prototype Design of a Wind-Energy-Operated Irrigation System. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 16: 85-96.
- Mojola, O.O., (1985) On the Aerodynamic Design of the Savonius Windmill Rotor. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 21: 223-231.

- Mojola, O.O., and Onazanya, O.E., (1984) Performance Testing of a Savonius Windmill Rotor in Shear Flows. *Wind Engineering*, 8(2): 109-121.
- Ogawa, T., (1984) Theoretical Study on the Flow About Savonius Rotor. *Journal of Fluids Engineering*, 106: 85-91.
- Ogawa, T., Yoshida, H., and Yokota, Y., (1989) Development of Rotational Speed Control Systems for a Savonius-Type Wind Turbine. *Journal of Fluid Engineering*, 111: 53-58.
- Onai, Y., and Ushiyama, I., (1996) An experimental study of the windmill of solar cell buckets”, *Proceedings of World Renewable Energy Congress (WREC)-IV*, Denver, USA, s.905-908.
- Özdamar, A., (2000) Dünya ve Türkiye’de Rüzgar Enerjisinden Yararlanılması Üzerine Bir Araştırma. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2-3): 133-145.
- Özerdem, B., (2003) Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Uygulamalarının Gelişimi ve Geleceği. *Mühendis ve Makina*, 526(44): 25-30.
- Percival, M.C., Leung, P.S., and Datta, P.K. (2004) The development of a vertical turbine for domestic electricity generation”, *European Wind Energy Conference&Exhibition*, http://www.2004ewec.info/files/23_1400_michaelpercival_01.pdf. (18.04.2006)
- Rabah, K.V.O., and Osawa, B.M., (1996) Design and Field Testing of Savonius Wind Pump in East Africa. *International Journal of Ambient Energy*, 17(2): 89-94.
- Reupke, P., and Probert, S.D., (1991) Slatted-Blade Savonius Wind-Rotors. *Applied Energy*, 40: 65-75.
- Saha, U.K., and Rajkumar M.J., (2005) On the Performance Analysis of Savonius Rotor with Twisted Blades. *Renewable Energy*, In Press, Corrected Prof, Available Online 21 October 2005.
- Saha, U.K., Mahanta, P., Grinspan, A.S., Kumar, P.S., and Goswami, P., (2005) Twisted Bamboo Bladed Rotor for Savonius Wind Turbines. *Journal of the Solar Energy Society of India (SESI)*, 4: 1-10.
- Smits, A.J., (2000) A Physical Introduction to Fluid Mechanics, *John Wiley & Sons, Inc.* Printed In USA, 527s.
- Tabassum, S.A., and Probert, S.D., (1987) Vertical-Axis Wind Turbine: A Modified Design. *Applied Energy*, 28: 59-67.
- Türk Standardları Enstitüsü (2003) Rüzgar Türbin Jeneratör Sistemleri-Bölüm 2: Küçük Rüzgar Türbinlerinin Güvenliği, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, TS EN 61400-2, s.1-18.

Ushiyama, İ. and Nagai, H., (1988) Optimum Design Configurations and Performance of Savonius Rotors. *Wind Engineering*, 12(1): 59-75.

Versteeg, H.K., and Malalasekera, W., (1995) An Introduction to Computational Fluid Dynamics the Finite Volume Method, *Longman Group Ltd.*, Malaysia, 257s.

WEB_1.(2006). Anova's web site. <http://www.anova.com.tr/fluent.asp>. (07.06.2006).

White, F.M., (2004) Akışkanlar Mekaniği, Kırkköprü, K., ve Ayder, E., *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, 1034s.

ÖZGEÇMİŞ

Burçin DEDA ALTAN, 1975 yılında Antalya'nın Elmalı ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini sırasıyla Çanakkale ve Eskişehir'de tamamladı. 1993 yılında girdiği Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 1997 yılında mezun oldu. Aynı yıl Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı ve 2000 yılında yüksek lisans öğrenimini tamamladı. 1997 yılından beri, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.