

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

40-FOOT BİR YELKENLİ TEKNENİN DENEYSEL ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Bora KİPER

Anabilim Dalı : Gemi İnşaat ve Gemi Makineleri
Mühendisliği
Programı : Gemi İnşaat ve Gemi Makineleri
Mühendisliği

Tez Danışmanı: Y. Doç. Dr. Şebnem HELVACIOĞLU

Ocak 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

40-FOOT BİR YELKENLİ TEKNENİN DENEYSEL ANALİZİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Bora KİPER
508061004**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Aralık 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 19 Ocak 2009**

**Tez Danışmanı : Y. Doç. Dr. Şebnem HELVACIOĞLU
(İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Abdi KÜKNER (İTÜ)
Doç. Dr. Emin KORKUT (İTÜ)**

Ocak 2009

ÖNSÖZ

Beni, gemi inşaat mühendisliği ile tanıştıran ve bu yolda ilerlerken cesaretlendiren, yardımlarını esirgemeyen Sayın Turhan SOYASLAN' a, deneylerinde yardımcı olan SOYASLAN DENİZCİLİK' e, tezimin her aşamasında yardımlarını ve bilgisini esirgemeyen Sayın Y. Doç. Dr. Şebnem HELVACIOĞLU' na, Sayın Doç. Dr. Mustafa İNSEL' e, Sayın Doç. Dr. Yalçın ÜNSAN' a ve tüm laboratuvar çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim. Her zaman yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen, Pınar EREKE' ye, Can SOYASLAN' a ve tüm BOOTES ekibine teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, hayatım her döneminde bana destek olan yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen ve bugünlere ulaşmamı sağlayan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2008

Bora KİPER
Mühendis

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
2. YELKENLİ TEKNELERE ETKİYEN KUVVETLER.....	3
2.1 Yelkenli Teknelerdeki Hidrodinamik ve Aerodinamik Kuvvetlerin Dengesi....	3
2.2 Hidrodinamik Dirençler	5
2.2.1 Viskoz Direnç	6
2.2.2 Dalga Direnci.....	8
2.2.3 Dalgalı Ortamdaki Ek Direnç	9
2.2.4 Meyilden Doğan Direnç	9
2.2.5 İndüklenmiş Direnç	10
2.3 Hidrodinamik yan kuvvet.....	11
2.4 Eğim Açısı.....	12
3. DENEY TEKNİĞİ	13
3.1 Deneyde Kullanılan Araçlar	13
3.1.1 Deney havuzu	13
3.1.2 Sirkülasyon Kanalı	13
3.1.3 Dinamometre	14
3.2 Model	15
3.3 Modelde kullanılan Salmalar	16
4. DENEY SONUÇLARI.....	17
4.1 Yapılan deneyler.....	17
4.2 Çıplak Tekne ile Yapılan Deneyler	18
4.3 A Salması İle Yapılan Deneyler	20
4.4 B Salması İle Yapılan Deneyler	22
4.5 C Salması İle Yapılan Deneyler	24
4.6 D Salması İle Yapılan Deneyler	26
4.7 Sonuçların Karşılaştırılması	28
4.7.1 Meyil Açısındaki Değişimin Direnç ve Yanal Kuvvete Etkisi.....	28
4.7.2 Sürüklenme Açısındaki değişimin Direnç ve Yanal Kuvvet Etkisi.....	29
4.7.3 Salmaların Birbirleri İle Karşılaştırılması	30
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	33
KAYNAKLAR	37
EK A	39
EK B	49
ÖZGEÇMİŞ.....	59

KISALTMALAR

AR	: Yan oranı
B	: Tekne genişliği
C_F	: Sürtünme direnci katsayısı
C_L	: Yan Kaldırma kuvveti katsayısı
C_P	: Basınç katsayısı
C_v	: Viskoz direnç katsayısı
D	: Derinlik
F_{lat}	: Yelkene etkiyen yan kuvvet
F_n	: Froude sayısı
F_R	: Tekneyi ileriye doğru hareket ettiren kuvvet
F_s	: Salmaya etkiyen yan kuvvet
F_v	: Yelkene etkiyen dikey kuvvet
F_{vw}	: Sephiye kuvveti
k	: Form faktörü
L_{OA}	: Tam boy
L_{WL}	: Su hattı boyu
M_h	: Meyil momenti
M_p	: Hidrodinamik trim momenti
M_{pa}	: Yelkene etkiyen trim momenti
M_R	: Doğrultma momenti
M_{yl}	: Tekneyi rüzgar üstüne çeviren moment
M_{yw}	: Rüzgar üstüne çeviren, yelkene etkiyen moment
R	: Direnç
R_f	: Sürtünme direnci
R_{fo}	: Yüzey sürtünme direnci
R_h	: Meyil direnci
R_i	: İndüklenmiş direnç
R_n	: Reynolds sayısı
R_p	: Basınç direnci
R_{pv}	: Viskoz basınç direnci
R_T	: Toplam direnç
R_v	: Viskoz direnç
R_w	: Dalga direnci
S	: Teknenin ıslak yüzey alanı
V	: Tekne hızı
V_A	: Görünen rüzgar hızı
V_S	: Tekne hızı
V_T	: Gerçek rüzgar hızı
β	: Rüzgar Açısı
γ	: Sürüklenme Açısı
θ	: Meyil Açısı
ρ	: Sıvının kütleli yoğunluğu
ν	: Kinematik viskozite

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 Model çekme hızları.....	18
Çizelge 4.2 Çıplak tekne hız-direnç değerleri.....	18

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Aerodinamik ve hidrodinamik kuvvetler dengesi	4
Şekil 2.2 : Genel direnç dağılımı	5
Şekil 2.3 : Tekne etrafındaki akım.....	6
Şekil 2.4 : Tekne etrafındaki basınç dağılımı	7
Şekil 2.5 : Teknenin oluşturduğu dalga sistemi.....	8
Şekil 2.6 : İndüklenmiş direnç oluşumu	10
Şekil 2.7 : Profil etrafındaki akım.....	11
Şekil 2.8 : Profil etrafındaki basınç dağılımı	11
Şekil 2.9 : Eğim açısı	12
Şekil 3.1 : Sirkülasyon kanalı	14
Şekil 3.2 : Deney düzeneği	15
Şekil 3.3 : Kullanılan Model.....	16
Şekil 4.1 : Çıplak tekne direnç grafiği	19
Şekil 4.2 : Çıplak tekne sirkülasyon kanalı direnç grafiği.....	19
Şekil 4.3 : Karşılaştırmalı çıplak tekne direnç grafiği	20
Şekil 4.4 : A salması teknik özellikleri.....	21
Şekil 4.5 : A salması direnç grafiği	22
Şekil 4.6 : A salması ile sürüklenme açısı yanal kuvvet grafiği.....	22
Şekil 4.7 : B salması teknik özellikleri	23
Şekil 4.8 : B salması direnç grafiği.....	24
Şekil 4.9 : B salması ile sürüklenme açısı yanal kuvvet grafiği	24
Şekil 4.10 : C salması teknik özellikleri	25
Şekil 4.11 : C salması direnç grafiği.....	26
Şekil 4.12 : C salması ile sürüklenme açısı yanal kuvvet grafiği	26
Şekil 4.13 : D salması teknik özellikleri.....	27
Şekil 4.14 : D salması direnç grafiği	28
Şekil 4.15 : D salması ile sürüklenme açısı yanal kuvvet grafiği.....	28
Şekil 4.16 : D salması ile sürüklenme açısı 0-yanal kuvvet grafiği.....	29
Şekil 4.17 : B salması meyil 0, sürüklenme açısına göre direnç	30
Şekil 4.18 : B salması meyil 0, sürüklenme açısına göre yanal kuvvet.....	30
Şekil 4.19 : 0° sürüklenme ve meyil açısında salmaların karşılaştırılması.....	31
Şekil 4.20 : Salmaların yanal kuvvet karşılaştırılması.....	32
Şekil 5.1 : Direnç grafiği	34
Şekil 5.2 : Yanal kuvvet Grafiği.....	34
Şekil 5.2 : Yanal kuvvet Grafiği	34
Şekil A.1 : A salması direnç grafiği-sürüklenme açısı 4	39
Şekil A.2 : A salması direnç grafiği-sürüklenme açısı 8	39
Şekil A.3 : B salması direnç grafiği-sürüklenme açısı 4	40
Şekil A.4 : B salması direnç grafiği-sürüklenme açısı 8	40
Şekil A.5 : C salması direnç grafiği-sürüklenme açısı 4	41
Şekil A.6 : C salması direnç grafiği-sürüklenme açısı 8	41

Şekil A.7 : D salması direnç grafiği-sürüklenme açısı 4	42
Şekil A.8 : D salması direnç grafiği-sürüklenme açısı 8	42
Şekil A.9 : A salması, meyil 0-sürüklenme açısına göre yanal kuvvet	43
Şekil A.10 : A salması, meyil 15-sürüklenme açısına göre yanal kuvvet	43
Şekil A.11 : A salması, meyil 20-sürüklenme açısına göre yanal kuvvet	44
Şekil A.12 : B salması, meyil 0-sürüklenme açısına göre yanal kuvvet.....	44
Şekil A.13 : B salması, meyil 15-sürüklenme açısına göre yanal kuvvet.....	45
Şekil A.14 : B salması, meyil 20-sürüklenme açısına göre yanal kuvvet.....	45
Şekil A.15 : C salması, meyil 0-sürüklenme açısına göre yanal kuvvet.....	46
Şekil A.16 : C salması, meyil 15-sürüklenme açısına göre yanal kuvvet.....	46
Şekil A.17 : C salması, meyil 20-sürüklenme açısına göre yanal kuvvet.....	47
Şekil A.18 : D salması, meyil 0-sürüklenme açısına göre yanal kuvvet	47
Şekil A.19 : D salması, meyil 15-sürüklenme açısına göre yanal kuvvet	48
Şekil A.20 : D salması, meyil-20 sürüklenme açısına göre yanal kuvvet	48
Şekil B.1 : 4° sürüklenme ve 0° meyil açısında salmaların karşılaştırılması	49
Şekil B.2 : 8° sürüklenme ve 0° meyil açısında salmaların karşılaştırılması	50
Şekil B.3 : 0° sürüklenme ve 10° meyil açısında salmaların karşılaştırılması	50
Şekil B.4 : 4° sürüklenme ve 10° meyil açısında salmaların karşılaştırılması	51
Şekil B.5 : 8° sürüklenme ve 10° meyil açısında salmaların karşılaştırılması	51
Şekil B.6 : 0° sürüklenme ve 15° meyil açısında salmaların karşılaştırılması	52
Şekil B.7 : 4° sürüklenme ve 15° meyil açısında salmaların karşılaştırılması	52
Şekil B.8 : 8° sürüklenme ve 15° meyil açısında salmaların karşılaştırılması	53
Şekil B.9 : 0° sürüklenme ve 20° meyil açısında salmaların karşılaştırılması	53
Şekil B.10 : 4° sürüklenme ve 20° meyil açısında salmaların karşılaştırılması	54
Şekil B.11 : 4° sürüklenme ve 20° meyil açısında salmaların karşılaştırılması	54
Şekil B.12 : 8° sürüklenme ve 0° meyil açısında salmaların karşılaştırılması	55
Şekil B.13 : 4° sürüklenme ve 10° meyil açısında salmaların karşılaştırılması	55
Şekil B.14 : 8° sürüklenme ve 10° meyil açısında salmaların karşılaştırılması	56
Şekil B.15 : 4° sürüklenme ve 15° meyil açısında salmaların karşılaştırılması	56
Şekil B.16 : 8° sürüklenme ve 15° meyil açısında salmaların karşılaştırılması	57
Şekil B.17 : 4° sürüklenme ve 20° meyil açısında salmaların karşılaştırılması	57
Şekil B.18 : 8° sürüklenme ve 20° meyil açısında salmaların karşılaştırılması	58

40-FOOT BİR YELKENLİ TEKNENİN DENEYSEL ANALİZİ

ÖZET

Günümüzde, yelkenli teknelerin performanslarını arttırmak amacıyla birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar sayesinde yelkenli teknelerin optimizasyonunda oldukça önemli gelişmeler kaydedilmiştir.

Yapılan bu çalışmada yelkenli teknelerde, performansa önemli etkisi olan salmalar incelenmiştir. İncelenen salmaların direnç ve yanal kuvvet karakteristikleri çıkarılıp ve bunlar arasında karşılaştırmalar yapılmıştır.

Yapılan deneylerde, deney havuzunun yanı sıra deneylerin hızlandırılması ve daha efektif yapılması için sirkülasyon kanalında kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarla, kullanılan salmaların karakteristikleri bulunmuştur.

Salma karakteristiklerinin bulunması için, deneylerde kullanılan teknenin, salmasız hali test edilmiştir. Bu testler için öncelikle deney havuzu, ardından sirkülasyon kanalı kullanılmıştır. Bu işlem, yapılacak veya oluşacak hataların düzeltilmesinde ve salma karakteristiklerinin bulunmasında yardımcı olmuştur.

Salmasız, çıplak tekne deneylerinin ardından, deney havuzunda yapılan deneylerin süresi göz önüne alınarak, deneyler sirkülasyon kanalında yapılmaya başlanmıştır. Sirkülasyon kanalında tekneye dört değişik salma takılmış ve bu salmalar aynı koşullarda denenmiştir.

Deneyler başlamadan önce uygun bir deney düzeneği hazırlanmıştır. Deney düzeneğinin hazırlanması sırasında çeşitli problemlerle karşılaşmış ve problemler gelecekteki deneyler de göz önüne alınarak çözülmüştür.

Son olarak elde edilen veriler ile salmalar karşılaştırılmıştır. Değişik meyillerde ve sürüklenme açılarında hangi salmanın ne kadar direnç oluşturduğu ve yarattığı yanal kuvvete göre grafikleri oluşturulup, öne çıkan salmalar belirlenmiştir.

Yapılan bu çalışmanın bir diğer önemli tarafı ise sektör ve üniversite işbirliğinin güzel bir örneği olmasıdır. Deneylerde kullanılan modelin, gerçek boyutlarında üretilmiş olması ve güncel olarak yarışıyor olması, elde edilen verilerin önemini arttırmıştır. Elde edilen veriler, üniversitenin, veritabanı oluşturulması için önemli bir adım olmuştur. Sektör için, tam boyutlu tekne için önemli veriler elde edilmiş ve kullanılan salmanın sağlaması yapılmıştır.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF 40-FOOT SAILING YACHT

SUMMARY

Nowadays, there are a lot of ongoing research projects in order to increase the performance of sailboats. With the help of these projects, optimization of sailboats is improved.

In this research, keels, as one of the most important factors of performance, are observed. Comparisons were made between the resistance and lateral force characteristics of the observed keels.

In this experiment, towing tank is used. Also, in order to make the experiment more effective and fast, circulating water channel is used. The characteristics of the keels are then calculated with the obtained results.

To find the keel's characteristics, first of all model without keel is tested in towing tank and in circulating water channel. These experiments helps for correcting the mistakes which can occur during the test time and also for finding the keel's characteristics.

After the experiments of model without keel or naked model, due necessity of the long duration in experiments, the tests is done in circulating water channel. In circulating water channel, four different keels are tested with model in same conditions.

Before the experiments begins, during the setup of experiments, I have to face a lot of problems. These problems are solved according to future experiments.

Finally, the data gathered from the experiments are compared with the keels. The magnitude of resistance and lateral forces of different inclination and drag angles of keels are plotted on a graph. The better ones are selected.

One of the most important side of this project is the coopereation of the industry and the university. The model which was used in the experiments was built in full-scale and is actually racing. This is increasing the importance of the datas collected from experiments. These datas are also important to build a new database for the university. For industry, these experiments justify the selected keel.

1.GİRİŞ

Günümüzde yelkenli teknelerin performanslarını arttırabilmek amacıyla pek çok çalışma yapılmaktadır. Günümüzde gelişen hesaplamalı akışkanlar dinamiği programları ve deney havuzlarında yapılan testler yardımı ile yelkenli teknelerin optimizasyonu çok daha başarılı bir şekilde yapılabilmektedir.

Bu çalışmanın başında, öncelikle yelkene etkiyen aerodinamik kuvvetler ve tekneye etkiyen hidrodinamik kuvvetler ve dirençlerle ilgili kısa bir ön bilgi verilmiştir. Üzerine etkiyen aero-hidrodinamik kuvvet ve momentlerin etkisi altında teknenin nasıl hareket ettiği anlatıldıktan sonra, deney düzeneğine ve deneylerin yapılmasına geçilmiştir.

Deneylerde kullanılmak üzere 12 m. boyunda bir yelkenlinin 1/7 ölçeğinde ki modeli kullanılmıştır. Bu tekne için tasarlanmış olan 5 farklı salma için deneyler yapılmıştır. Öncelikle büyük deney tankında salmasız ve dümen tekneye monte edilmiş halde düzgün doğrusal deneyler yapılmıştır. Sonrasında farklı salmalarla, değişik hız, meyil açısı ve sürüklenme açısı altındaki deneyler sirkülasyon kanalında yapılmıştır.

Deney düzeneği ve modelle ilgili bilgiler Bölüm 3’de, deney matrisi, kullanılan salmalar ve deney sonuçlarının grafikleri Bölüm 4’de verilmiştir. Bu çalışmada, tekne performansında önemli bir yer tutan salmaların, direnç ve yanal kuvvetleri ölçülmüş ve salmaların farklı hız, meyil açısı ve sürüklenme açısı altında gösterdiği direnç ve yan kuvvet yönünden farklılıklar karşılaştırılmıştır.

Deneylerden üretilen çok fazla grafik olduğu için, sonuçlar ve öneriler ardından uzunca bir Bölüm Ek ‘e yer verilmiştir. Yapılması hedeflenen çalışmaların bir kısmı gerçekleştirilebilmiş, büyük deney havuzunun yoğunluğu ve deneylerin daha seri olarak yapılması amacı ile deneyler sirkülasyon kanalında yapılmıştır.

Yelkenli teknelerin deneysel verileri ve salmaların tekne performansına etkisi ile ilgili çok fazla deneysel sonucun bulunamaması nedeni ile yapılan bu çalışma üniversitemiz ve sektörün ilgili birimleri açısından önem arz etmektedir.

2. YELKENLİ TEKNELERE ETKİYEN KUVVETLER

Yelkenli tekneler üzerine etkiyen aerodinamik ve hidrodinamik kuvvetlerin dengede olduğu bir konumda, tekne belli bir meyil ve sürüklenme açısı altında seyreder. Bu bölümde yelkenli teknelere etkiyen bu kuvvetler hakkında bilgi verilecektir. Böylece hidrodinamik ve aerodinamik kuvvetler daha anlaşılır bir hale gelecektir.

2.1 Yelkenli Teknelerdeki Hidrodinamik ve Aerodinamik Kuvvetlerin Dengesi

Yelkenli teknelere hem aerodinamik hem de hidrodinamik kuvvetler etki etmektedir. Şekil 2.1’de orsa seyrindeki bir yelkenli tekneye etkiyen kuvvetler su hattı, posta ve profil düzlemlerinden görülmektedir. Yelken üzerinde, aerodinamik kuvvetlerden doğan toplam aerodinamik kuvvet (F_T), tekneyi ileri doğru hareket ettiren F_R (Şekil 2.1-a), hareket kuvveti ve buna dik meyil yaptıran F_H (Şekil 2.1-b) kuvveti olarak iki ayrı bileşene ayrılabilir. Şekil 2.1-c’ de teknenin üstten görünüşü ve bu görünüşte etkiyen kuvvetler verilmiştir. F_R kuvveti, hareketten dolayı oluşan zıt yöndeki R direnç kuvveti ile dengelenir. F_R kuvveti aynı zamanda başa doğru M_{PA} trim momentini meydana getirir, bu momente karşı olarak da hidrodinamik M_P düzeltme momenti oluşur ve birbirlerini dengelerler (Şekil 2.1-a).

F_H meyil kuvveti iki ayrı bileşene ayrılabilir. Bunlar: Şekil 2.1-b’ de görüldüğü gibi teknenin sürüklenmesine neden olan F_{lat} (yanal aerodinamik kuvvet) ve teknenin daha fazla batmasına neden olan F_V (düşey aerodinamik kuvvet) kuvvetleridir. Bu kuvvetler aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$F_{lat} = F_H \cdot \cos\theta \quad (2.1)$$

$$F_V = F_H \cdot \sin\theta \quad (2.2)$$

Yanal aerodinamik kuvvetten (F_{lat}) dolayı oluşan sürüklenmeyi engellemek veya bu kuvveti dengelemek için, teknede F_S hidrokinamik yanal kuvveti oluşur. Tekne denge durumundayken aerodinamik döndürme M_{yw} ve hidrokinamik düzeltme M_{yl} momentlerinin farkının sıfır olması gerekmektedir. Bu momentlerin eşit olmaması durumunda ise dümen kullanılarak aradaki moment farkı eşitlenir. Diğer yanda ise F_V dikey kuvveti teknenin ağırlığı ile aynı doğrultuda olduğu için sephiye kuvveti F_{VW} ile dengelenir. Buradaki momentlerde ise meyil momenti olan M_H ve doğrultucu moment M_R birbirine eşittir (Şekil 2.1-b).Yelkenli tekneler denge halindeyken 3 kuvvet ve 3 momentin birbirine eşit olması gerekmektedir.

Kuvvetler

$$F_R = R \quad (2.3)$$

$$F_{lat} = F_S \quad (2.4)$$

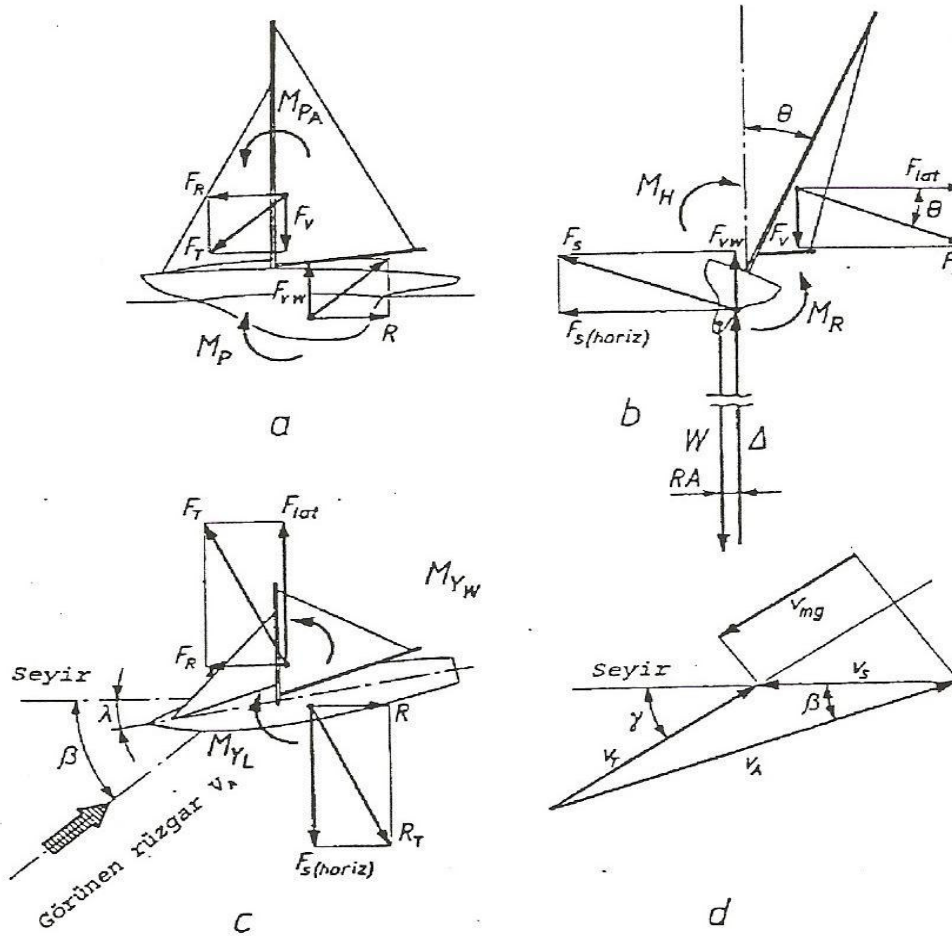
$$F_V = F_{VW} \quad (2.5)$$

Momentler

$$M_{PA} = M_P \quad (2.6)$$

$$M_H = M_R \quad (2.7)$$

$$M_{yw} = M_{yl} \quad (2.8)$$

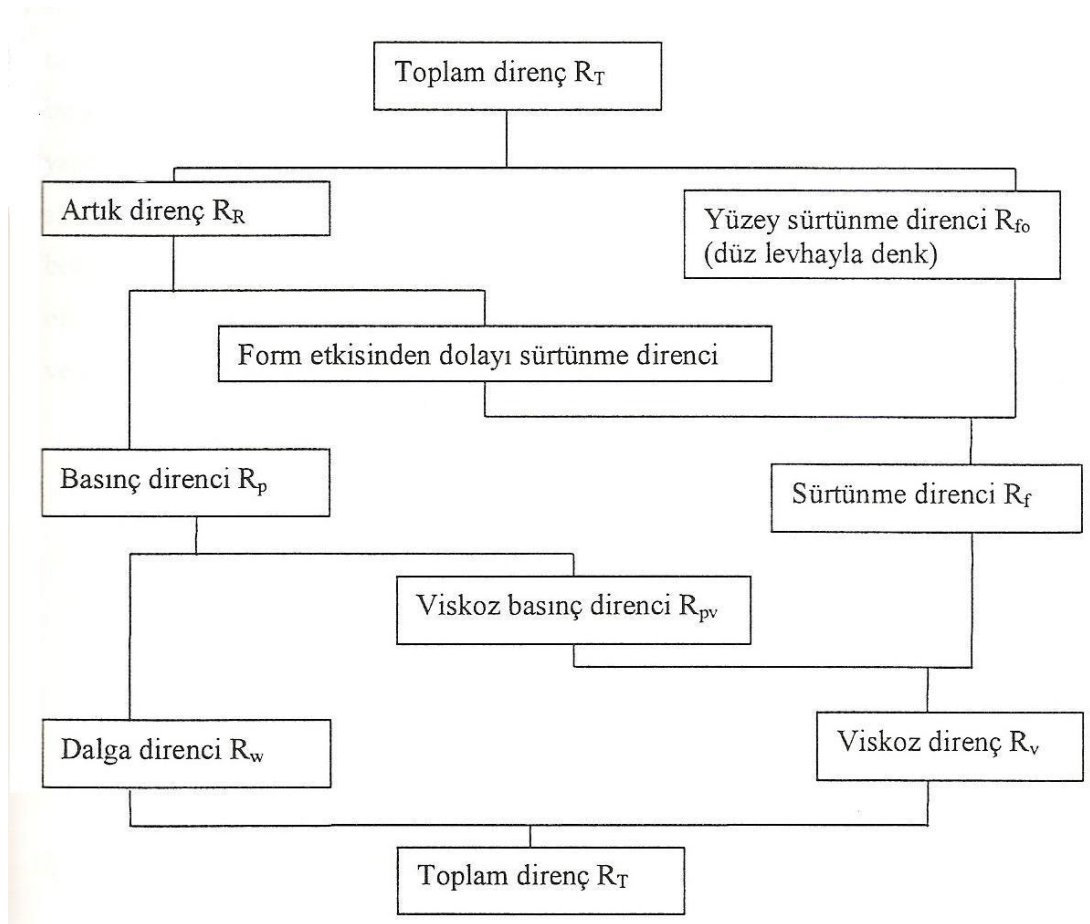


Şekil 2.1: Aerodinamik ve hidrokinamik kuvvetler dengesi [1]

2.2 Hidrodinamik Dirençler

Yelkenli teknelerde görülen hidrodinamik dirençler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

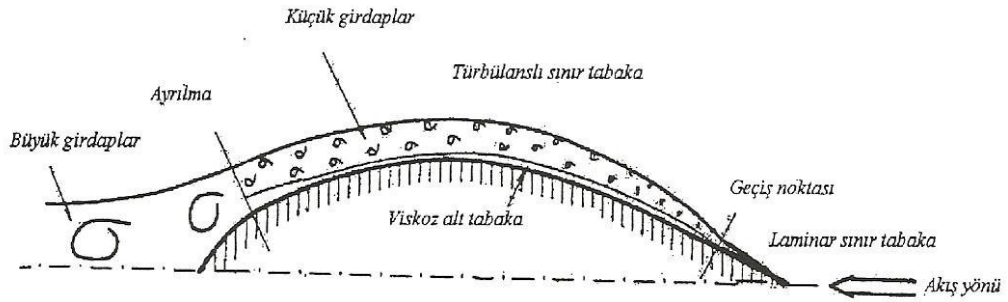
- Viskoz direnç (R_V)
- Dalga direnci (R_W)
- Dalgalı durumdaki ek direnç
- Meyil direnci (R_H)
- İndüklenmiş direnç (R_i)
- 1996 yılında Larsson ve Baba [1] tarafından sakin sudaki direnç dağılımı Şekil 2.2' de verilmiştir. Bununla birlikte teknenin meyil yaptığı zaman oluşan meyil direnci ve sürüklenme açısından dolayı oluşan, indüklenmiş direnci vardır.



Şekil 2.2: Genel direnç dağılımı [2]

2.2.1 Viskoz Direnç

Viskoz direnç, suyun viskozitesinden dolayı oluşur. Sakin suda hareket eden tekneyi incelediğimiz zaman suyun da tekne ile birlikte hareket ettiğini görürüz. Suyun hızı tekneye en yakın parçacıklarda, sıfır olup belirli bir mesafeye erişildiği zaman tekne ile hemen hemen aynı hıza ulaşır. Baş kısmında daha küçük olan ve kıç tarafa gidildikçe kalınlaşan, bu bölüme sınır tabaka denir. Şekil 2.3' de tekne etrafındaki akımın yapısı gösterilmiştir. Baş tarafta düzgün olan akım, tekne boyunca ilerledikçe bozulmalar başlar, bu laminar akımın türbülanslı akımına dönüştüğünü gösterir. Türbülanslı bölgede akım, küçük girdaplara sebep olur. Kıça doğru ilerledikçe akım, eğer ki teknenin uygun bir formu yok ise, yüzeyi takip edemez, tekne gibi hızlıca içe doğru kıvrılmaya çalışır bu daha büyük girdaplar oluşturur ve ayrılma denilen olay gerçekleşir. Bu hadise direncin artmasına sebep olur.[2]



Şekil 2.3: Tekne etrafındaki akım [1]

Viskoz direnç, sürtünme direnci ve viskoz basınç direncinin toplamı olarak değerlendirilir (Şekil 2.2). Sürtünme direnci, tekne yüzeyi ile su arasındaki sürtünmeden kaynaklanan dirençtir. Su, kayan bir yapısı olmasına rağmen direnç kuvveti oluşturur. Sürtünme direnci ilk olarak teknede bulunan ıslak alan ile ilişkilidir. Fazla ıslak alan daha fazla sürtünme direnci demektir, bu yüzden teknedeki takıntılar direnç açısından önemlidir. İkinci olarak hız dağılımı laminar ve türbülanslı bölgelerde farklılık gösterdiği için sürtünme direncinde bu bölgelerde farklılık gösterir. Laminar bölgedeki sürtünme direnci türbülanslı bölgedeki su direncinden çok daha azdır. Bu yüzden teknedeki laminar akışın boyunu olabildiğince uzatmak teknenin sürtünme direnci açısından önemlidir. Yüzey sürtünmesi bulmada, düz levhalar için kullanılan bir formül yardımı ile hesap yapılır. Bu formül, boyutsuz Reynolds sayısına bağlıdır ($R_n = V.L/\nu$). Buradan da anlaşılacağı üzere, boy, hız ve kinematik viskoziteye bağlıdır.

Viskoz basınç direnci ise sınır tabakanın büyümesi sonucunda baş ile kık taraf arasında oluşan basınç farkından meydana gelen dirençtir. Şekil 2.4' de belirli bir derinlikteki tekne etrafında oluşan basınç dağılımı gösterilmektedir. Buradaki basınç farklılıklarını sınır tabaka belirler. Eğer sınır tabaka olmasaydı baş ve kık taraftaki basınç kuvvetleri arasında bir denge söz konusu olurdu. Sınır tabaka kık tarafa doğru büyüdüğünden kık taraftaki basınç daha düşük olur. Viskoz direnç aşağıdaki formül ile hesaplanabilir:

$$R_v = \frac{1}{2} \rho V^2 C_v S \quad (2.9)$$

$$C_v = C_F(1+k) \quad (2.10)$$

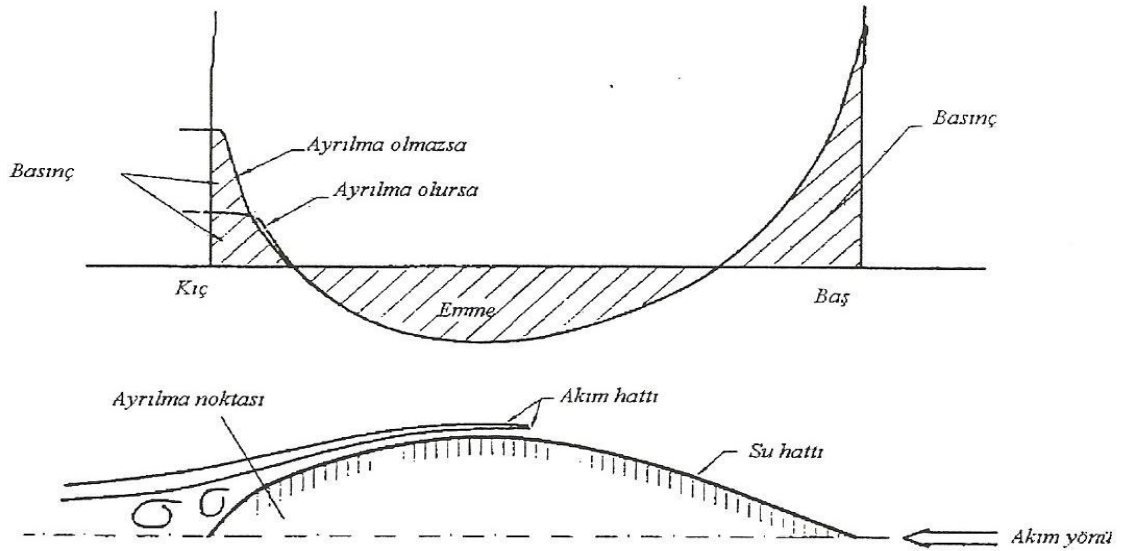
C_v : Viskoz direnç katsayısı

C_F : Sürtünme direnci katsayısı

k : Form faktörü

S : Islak alan

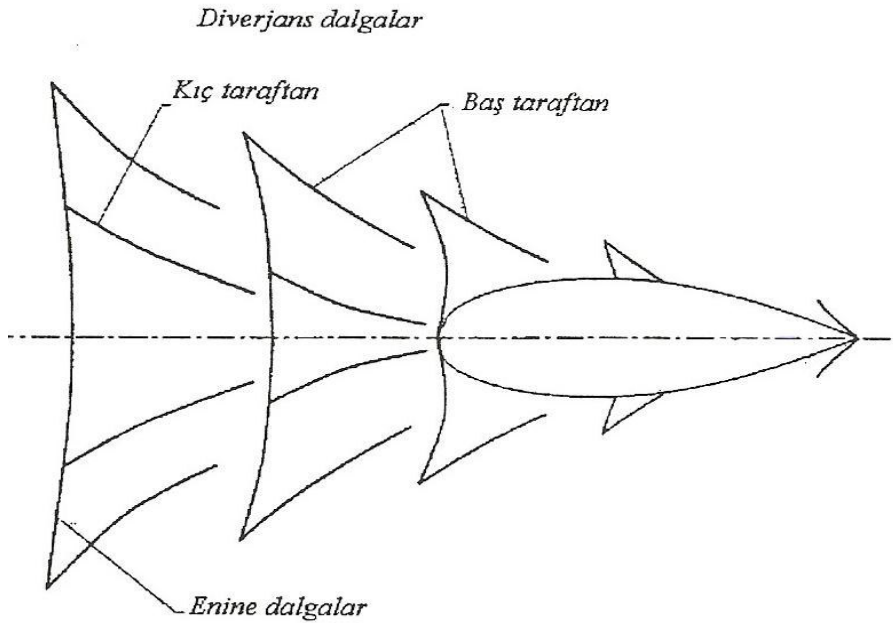
ρ : Sıvının Kütlesel yoğunluğu



Şekil 2.4: Tekne etrafındaki basınç dağılımı [1]

2.2.2 Dalga Direnci

Teknelerdeki ikinci büyük direnç elemanı dalga direncidir. Teknelerdeki dalga sistemine Kelvin dalga sistemi adı verilir [1]. Kelvin dalga sistemine göre dalgalar, enine ve diverjans olarak ikiye ayrılır. Dalgalar başta ve kıçta oluşurlar ve tekne ile birlikte ilerler. Diverjans dalgalar, teknenin ilerleme yönüne $19^{\circ}28'$ büyüklüğünde bir açı ile kısa ve ayırık dalgalardır. Enine dalgalar ise teknenin yönüne dik olup, diverjans dalgalara doğru ilerler. Kıça doğru bu dalgaların genişliği artarken, yükseklikleri azalır. Teknelerde her nokta dalga sistemi için önemlidir, fakat yelkenli teknelerde baş ve kıç taraftaki yüksek basınç noktaları daha baskındır.



Şekil 2.5: Teknenin oluşturduğu dalga sistemi[1]

Viskoz dirençte Reynolds sayısının rolünü, dalga direnciden Froude sayısı alır. Froude sayısı, hızı boyutsuz göstermeye yarar.

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L_{WL}}} \quad (2.11)$$

V : Tekne hızı (m/s)

g : Yer çekimi ivmesi (m/s^2)

L_{WL} : Teknenin su hattı boyu (m)

Froude sayısı ayrıca tekne boyunca kaç tane dalga olacağını da belirtir. Örneğin $F_n=0,4$ iken bir dalga varken, $0,28$ de iki dalga vardır. Dalga direnci büyük ölçüde Froude sayısına bağlıdır. Normal yelken seyri sırasında $F_n=0,35$ civarında iken baş kısımdaki basınç ve kıç kısımdaki basınç artarken orta kısımda basınç azalır. Bu durumda başta ve kıçta dalga tepesi oluşurken, tekenin ortasında dalga çukuru oluşur. Teknenin dalgayı oluştururken ki harcadığı enerji ise $L/(\nabla^{1/3})$ oranına bağlıdır [1].

2.2.3 Dalgalı Ortamdaki Ek Direnç

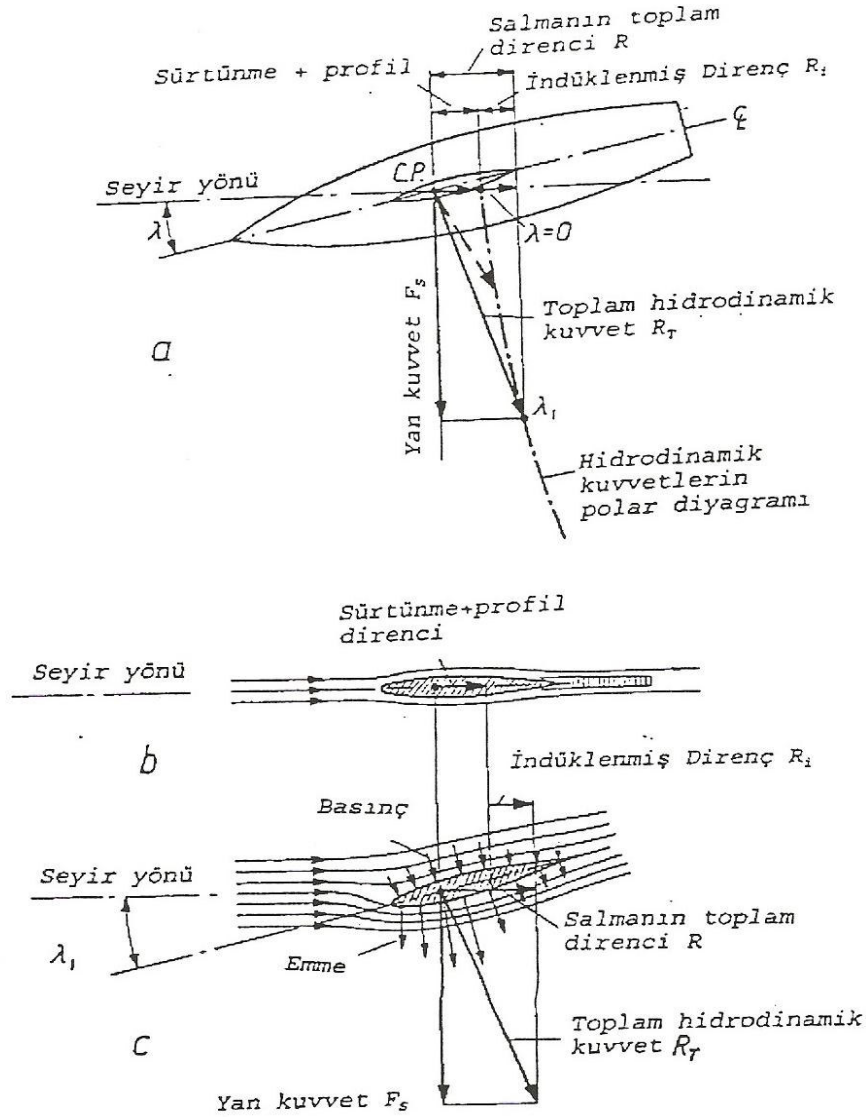
Dalğanın baş taraftan geldiği durumlarda, dalıp-çıkma, baş kıç vurma ve yalpa hareketi veya dalğanın iskele-sancak yönünden gelmesi durumunda oluşan yalpa hareketi ek direncin ana sebepleridir. Bu direnci oluşturan farklı elemanlar vardır. Bunlardan en önemlisi damping dalgalarının oluşumu sırasında, zamanla değişen tekne hareketlerinin oluşturduğu dirençtir. İkincisi, yalpa yüzünden gerçekleşen, akım ayrılmalarının oluşturduğu dirençtir. Üçüncüsü ise, teknenin oluşturduğu damping dalgaları ile dalgaların kesişmesinden oluşan yön değiştirme fazı ile ilgili olandır. Ayrıca teknedeki yansıyan veya teknede kırılan dalgaların yarattığı dirençle, dalgalı ortamda seyir etmenin yarattığı yön değişikliklerin giderilmesinde kullanılan dümen hareketleri diğer direnç elemanlarıdır.

2.2.4 Meyilden Doğan Direnç

Tekne meyil yaptığı zaman iki farklı direnç elemanı ile karşılaşılır. Bunlar meyilden doğan direnç ile indüklenmiş dirençtir. Meyilden doğan direnç meyil açısıyla doğru orantılıdır. Fakat meyilden doğan direnç bazen toplam direncin düşmesine sebep olur. Bu da ıslak alanın azalmasından dolayıdır. Bunun oluşması için tekne üzerindeki akım değişikliğinden doğan direnç değişiminin fazla olmaması gerekmektedir

2.2.5 İndüklenmiş Direnç

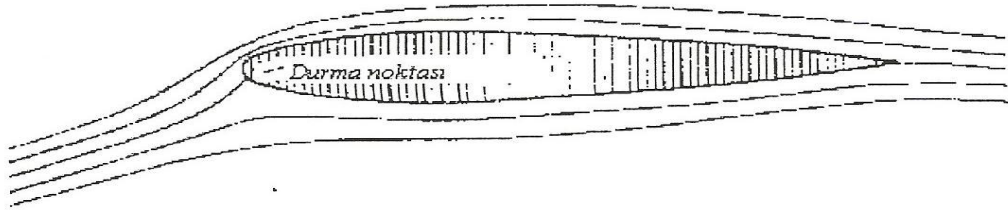
İndüklenmiş direnç, sürüklenme açısından dolayı oluşan dirençtir. Şekil 2.6-a'da fin salma için indüklenme direnci gösterilmiştir. Şekil 2.6-b normal direnç elemanları söz konusu iken bir sonraki şekilde (Şekil 2.6-c) sürüklenme açısı ile oluşan indüklenme direnci gözükmemektedir. İndüklenme direnci yan kuvvet ve yan orana (AR) bağlıdır. Yan oran ise foilin yüksekliğinin ortalama kord boyuna(chord length) oranıdır. Yan oran büyüdükçe foil inceleyecek artacak, direnç azalacaktır ve verimlilik artacaktır.



Şekil 2.6: İndüklenmiş direnç oluşumu [1]

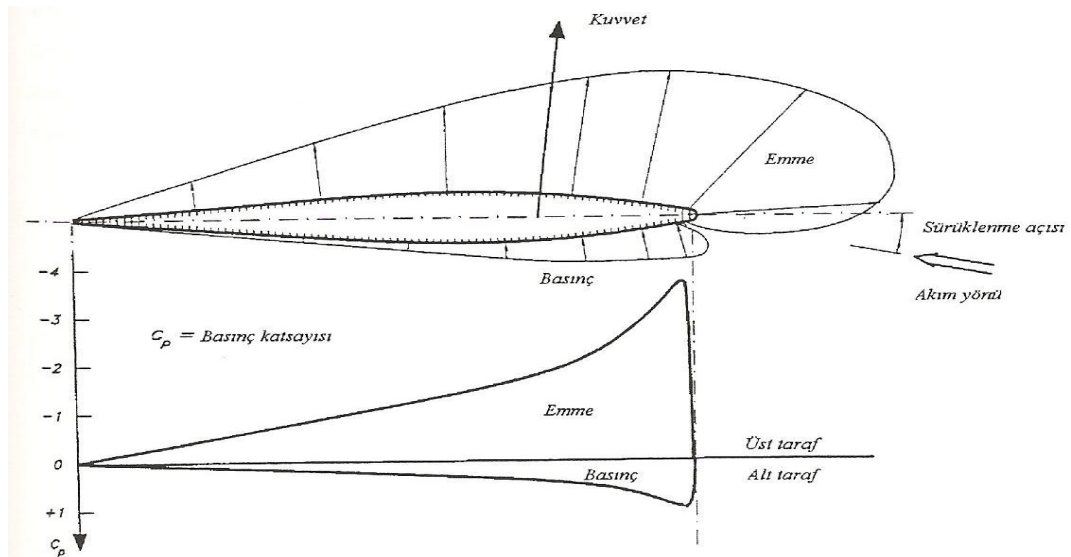
2.3 Hidrodinamik yan kuvvet

Aerodinamikte olduğu gibi, kanatlar üzerine gelen akım nasıl ki kaldırıcı bir kuvvet oluşturuyorsa hidrodinamikte de su, salma veya dümen üzerinde kaldırıcı bir kuvvet oluşturmaktadır. Fakat salma ve ya dümen simetrik bir yapıda olduğu için gelen akımın yönüne, geliş açısına göre kaldırma kuvveti oluştururlar(Şekil 2.7). Bu açı tekne üzerindeki kuvvetlerin denge durumunda iken oluşturduğu sürüklenme açısıdır.



Şekil 2.7: Profil etrafındaki akım[2]

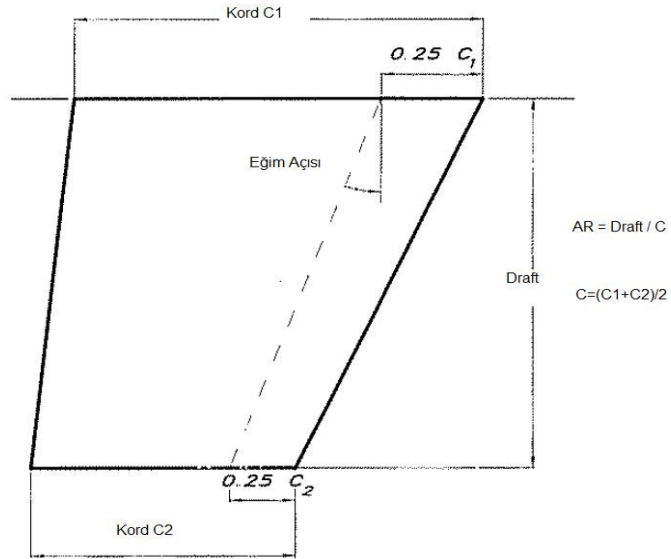
Sürüklenme açısı, gelen akımının profil üzerinde asimetric olmasına sebep olur. Bu akımın profilin iki tarafında farklı hızlarda akmasına sebep olur. Farklı hızlar, basınç farkını oluşturur. Farklı basınçlar ise emme veya itme kuvvetlerini oluşturur(Şekil 2.8). Sürüklenme açısının sıfır olduğu durumlarda da az da olsa yan kuvvet oluşur bunun sebebi gelen akımın baş kısmında bozulmasından kaynaklanır.



Şekil 2.8: Profil etrafındaki basınç dağılımı [1]

2.4 Eğim Açısı

Yelkenli Teknelerde kullanılan salmaların, hepsi tam düşey değildir. Belirli oranda geriye doğru yatıktır. Bu yatıklığın açısına eğim açısı denir. Açının hesaplanması salmanın üst ve alt kord boyunun %25'inden çekilen bir doğrunun yaptığı açıdır.



Şekil 2.9: Eğim açısı

3. DENEY TEKNİĞİ

3.1 Deneyde Kullanılan Araçlar

Deneyde kullanılan model, iki ayrı şekilde test edilmiştir. İlk olarak deney havuzunda çekilen model ile yapılan deneylere sonrasında sirkülasyon kanalında devam edilmiştir.

3.1.1 Deney Havuzu

Deney havuzu, 160 m boyunda, 6 m genişliğinde ve 3,4 m derinliğindedir. Çekme tanklarında ilk başarılı deneyler 1932 Davidson tarafından yapılmıştır [2]. Günümüzde çekme tanklarında kullanılan 2 farklı teknik bulunmaktadır. Bunlardan, birincisi Davidson tarafından geliştirilmiş olan, teknenin sabit olduğu, sadece dalıp-çıkma, baş-kıç vurma hareketinin serbest olduğu ve model hızının, meyilinin, sürüklenme açılarının sabit tutularak yapılmasıdır. Bu yarı bağımlı sistem en çok kullanılan sistemdir. Diğer sistem ise teknenin, aerodinamik etkiye merkezinden çekilmesi mantığına dayanır. Bu sistemde modele özel çekme direği yapılır. Bu sistemde yapılan deney sayısının azaltılması amaçlanmıştır.

3.1.2 Sirkülasyon Kanalı

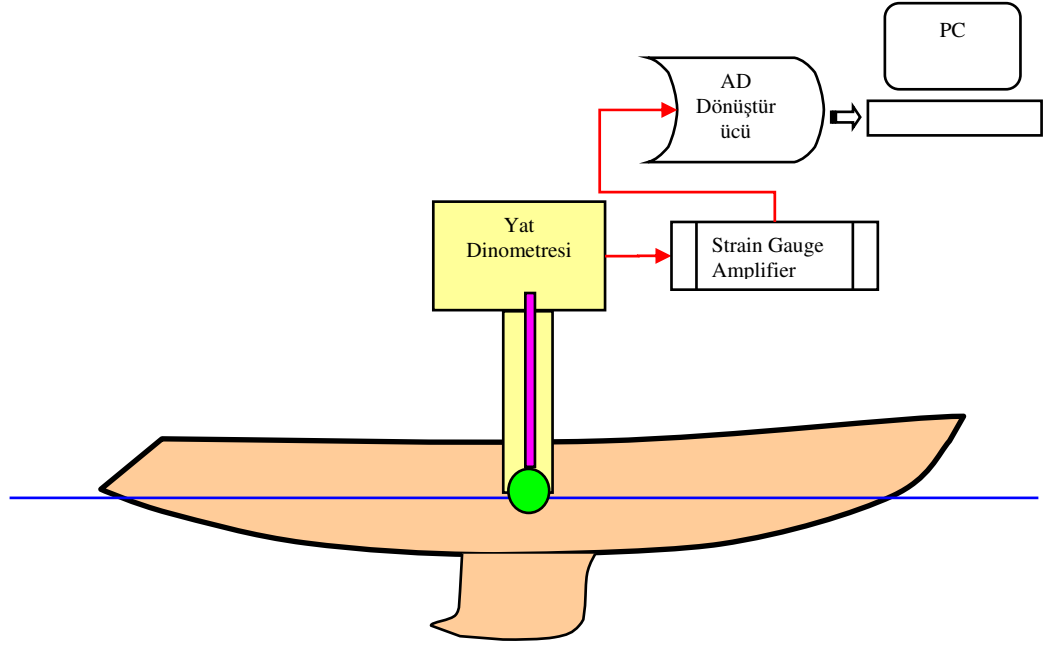
Sirkülasyon kanalı, deney havuzunun aksine teknenin sabit olup suyun döndüğü bir sistemdir. 1,5 m'ye 0,75 m deney kesiti olan sirkülasyon kanalı deneylerin daha hızlı yapılabilmesi için tercih edilmiştir. Deney düzeneğinin sirkülasyon kanalına monte edilmiş haldeki fotoğraf Şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1: Sirkülasyon kanalı

3.1.3 Dinamometre

Deneyde kullanılan altı bileşenli dinamometre (Kempf & Remmers R37), modele etkiyen kuvvetleri, altı bileşene ayırarak ölçer. Bu ölçümü strain-gage transducer'lar ile yapar. Elde edilen altı bileşen kartezyen koordinat sisteminde üç yönde kuvvet ve üç yönde momente dönüştürülür. Bu momentler ve kuvvetler bir amplifier aracılığıyla kuvvetlendirilip, analog-dijital dönüştürücü bir kart yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılır. Deney düzeneğini hazırlarken amplifierdaki kanallardan birinin çalışır durumda olmaması sebebiyle ölçümler sırasında 4 kanaldan ölçüm yapılabilmiş, boy yönünde direnç, en yönünde iki yanal kuvvet ve yükseklik yönünde bir düşey kuvvet ölçülebilmiştir. Ölçüm düzeneği Şekil 3.2'de verilmiştir..



Şekil 3.2: Deney düzeneği

Dinamometrenin, çok detaylı bir kalibrasyonu deney seti hazırlanmadan önce yapılmıştır. Deney öncesinde, kalibrasyon kefeleri ve çeşitli ağırlıkların yardımı ile her kanal için ayrı kalibrasyon yapılmış olup, her deney öncesinde sirkülasyon kanalında tekrardan kalibre edilmiştir.

3.2 Model

Deneyde kullanılan model 40 feet büyüklüğünde bir yelkenli yarış teknesinin 1/7 oranında küçültülmüş modelidir. Model köpükten yapılmış olup ana boyutları aşağıdaki gibidir:

$$L_{OA} = 1,71 \text{ m}$$

$$L_{WL} = 1,476 \text{ m}$$

$$D = 0,429 \text{ m}$$

$$\Delta = 0,0174 \text{ t}$$

Model ve türbülans yapıcılar Şekil 3.3’de görülmektedir. Modelde türbülans yapıcı olarak 3 mm çapında, 2,5 mm boyutunda pinler kullanılmıştır. Pinler modelin başına, her salmaya ve dümen üzerine yerleştirilmiştir.



Şekil 3.3: Kullanılan model

3.3 Modelde Kullanılan Salmalar

Model ile 4 farklı çeşit salma denenmiştir. Sırasıyla bu salmalara A, B, C, D isimleri verilmiştir. Salmaların çizimleri ve karakteristik özellikleri Bölüm 4’de verilmiştir. Salmalar torpil salma şeklindedir. Torpil salma, fin ve finin ucundaki torpil ağırlıktan oluşur. Deneyde kullanılan torpil salmalar arasındaki fark, ilk olarak torpilleri arasındaki farklılıktır. A ve B salmasındaki torpil formu aynı iken C ve D salmalarının torpil formu değişiktir. İkinci farklılık ise findeki eğim açısıdır. Torpil formları aynı olan salmalarda eğim açısı farklıdır. Bu durumda salmalarımız iki yönden birbirleriyle aynı, iki yönden birbirlerinden farklıdır.

4. DENEY SONUÇLARI

4.1 Yapılan deneyler

Modelin, öncelikle salmasız bir şekilde, Atwood düzeneği ile deney havuzunda direnci bulunmuştur. Bu deneyin yapılış amacı sirkülasyon kanalında sıg su ve duvar etkisi nedeni ile yapılan hatanın tespit edilmesi içindir. Ancak, zaman darlığı nedeni ile sirkülasyon kanalında salmasız model deneyi, salmalı model deneylerinin yapıldığı şartlarda, kanal doluluğu-su sıcaklığı vb., yapılamamıştır. Bu koşulların farklılığı olduğu durum için deneyler daha sonra yapılabilmektedir. Bu deneyden sonra ise sirkülasyon kanalına geçilmiş ve her salma için aynı koşullarda, eşit sayıda ve aynı özelliklerde deneyler yapılmıştır.

Deney koşulları aşağıdaki gibidir:

$\theta = 0^\circ$	$\gamma = 0^\circ$ iskele
	$\gamma = 4^\circ$ iskele
	$\gamma = 8^\circ$ iskele
$\theta = 10^\circ$	$\gamma = 0^\circ$ iskele
	$\gamma = 4^\circ$ iskele
	$\gamma = 8^\circ$ iskele
$\theta = 15^\circ$	$\gamma = 0^\circ$ iskele
	$\gamma = 4^\circ$ iskele
	$\gamma = 8^\circ$ iskele
$\theta = 20^\circ$	$\gamma = 0^\circ$ iskele
	$\gamma = 4^\circ$ iskele
	$\gamma = 8^\circ$ iskele

Salmalı model yukarıdaki koşullarda, Çizelge 4.1' de verilen hızlarda çekilmiştir.

Çizelge 4.1: Model çekme hızları

V (m/s)	V(kn)
0,4	2
0,8	4
1,2	6
1,4	7
1,6	8

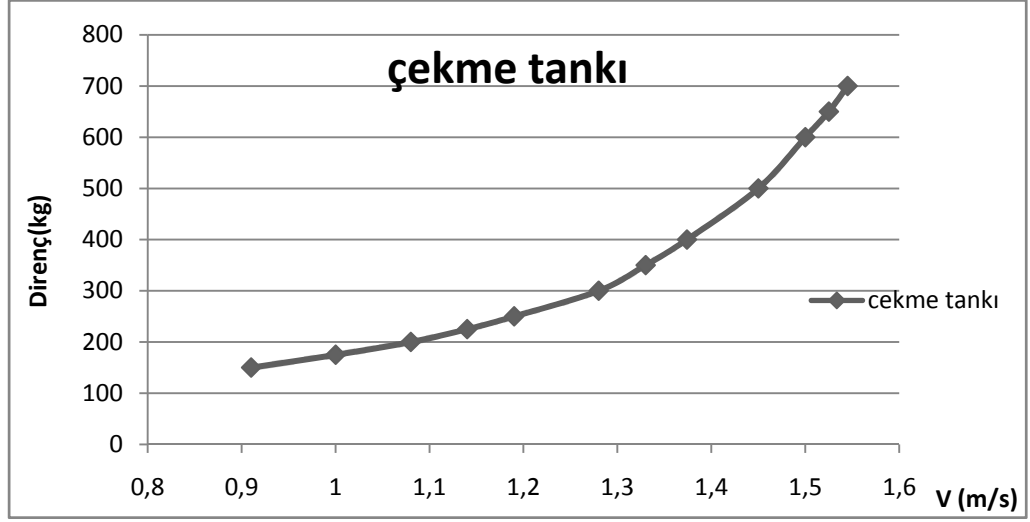
4.2 Çıplak Tekne ile Yapılan Deneyler

Tekne dümen monte edilmiş durumda, salmasız olarak, Atwood düzeneğinin yardımıyla belli hızlardaki direnç değerleri okunmuştur. Bulunan değerler ise Çizelge 4.2’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.2: Çıplak tekne hız-direnç değerleri

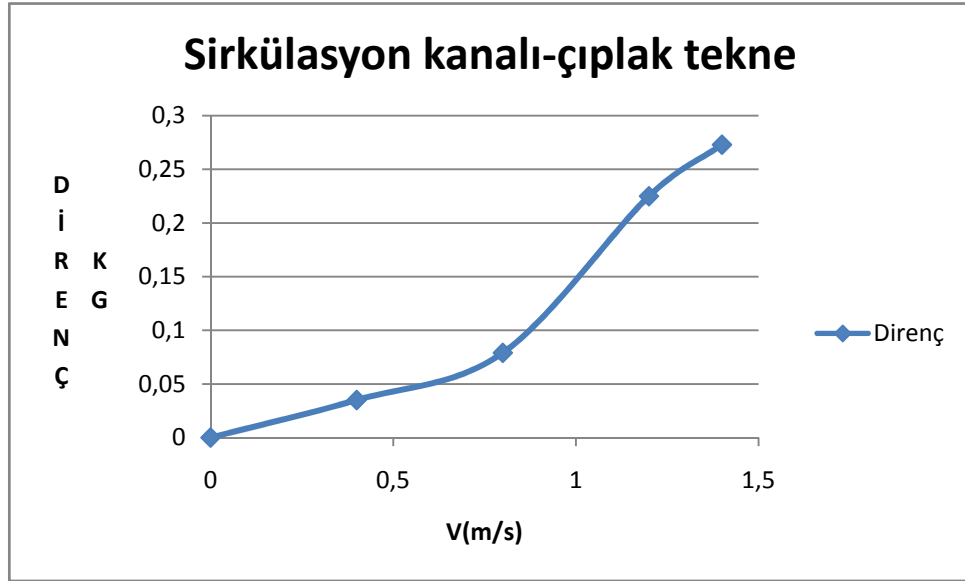
Asılı Ağırlık W (gr)	Toplam Direnç R_{tm} (gr)	Hız V_m (m/s)
300	150	0,91
350	175	1
400	200	1,08
450	225	1,14
500	250	1,19
600	300	1,28
700	350	1,33
800	400	1,374
1000	500	1,45
1200	600	1,5
1300	650	1,525
1400	700	1,545

Bu deneylerden elde edilen modelin direnç değerleri Şekil 4.1’deki grafikte verilmiştir.



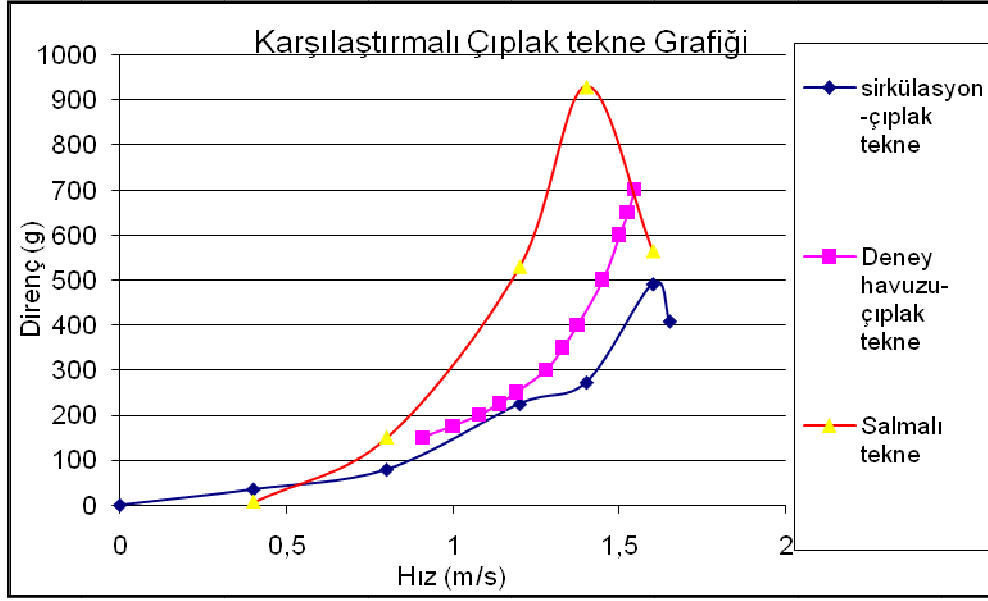
Şekil 4.1: Çıplak tekne direnç grafiği

Deney havuzunda yapılan direnç deneyinden sonra, çıplak teknenin sirkülasyon kanalında direnç değerleri bulunmuştur. Bulunan direnç değerleri Şekil 4.2’ de verilmiştir.



Şekil 4.2: Çıplak tekne sirkülasyon kanalı direnç grafiği

Yapılan bu iki deney sonucunda, deney havuzu ile sirkülasyon kanalında modelin direnç değerleri bulunmuştur. Şekil 4.3’de gösterildiği gibi bu değerler birbirleri ile karşılaştırılarak aralarındaki fark bulunmuştur. Bu farka göre sirkülasyon kanalında yapılan deneyler ötelenerek düzeltilmiştir.



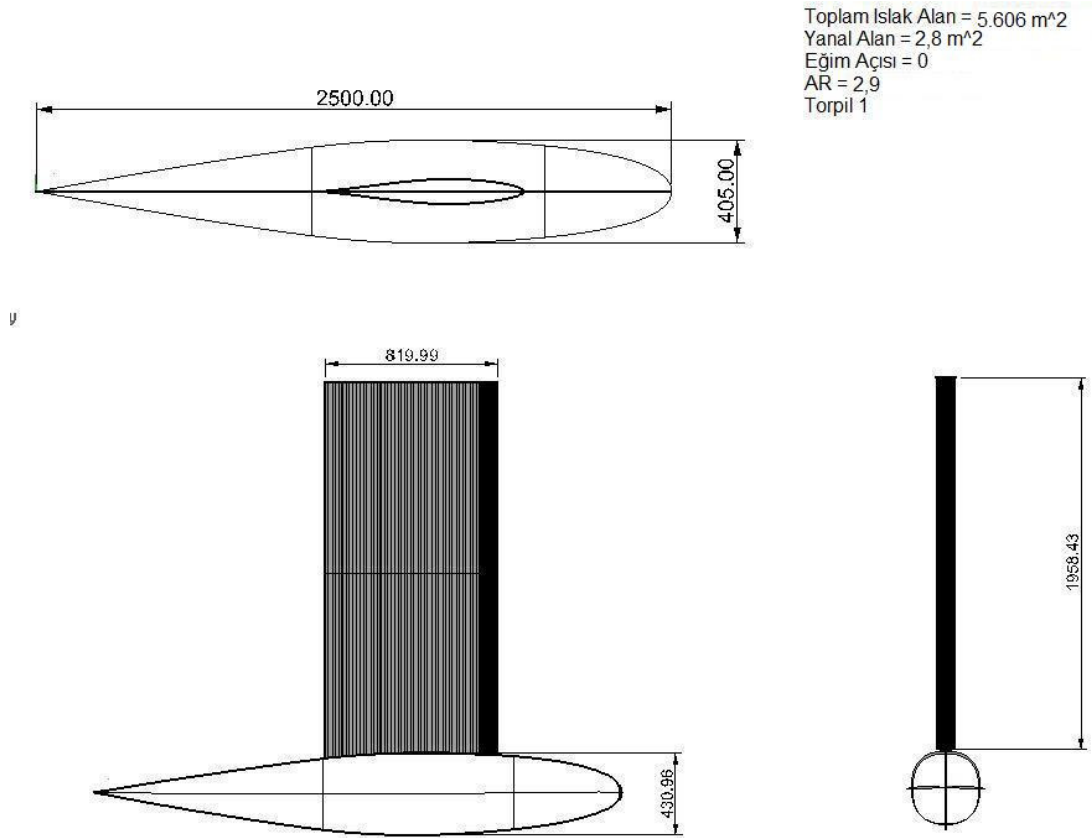
Şekil 4.3: Karşılaştırmalı çıplak tekne grafiği

Şekil 4.3’ de görüldüğü gibi sirkülasyon kanalında yapılan deneylerde tekne 7 knot ve üzerindeki hızlarda, oluşan dalga üzerinde kaymaya başladığı için direnç değerleri düşmektedir. Bu sebeple 7 knot ve üzerinde hızlar değerlendirilmeye alınmamıştır.

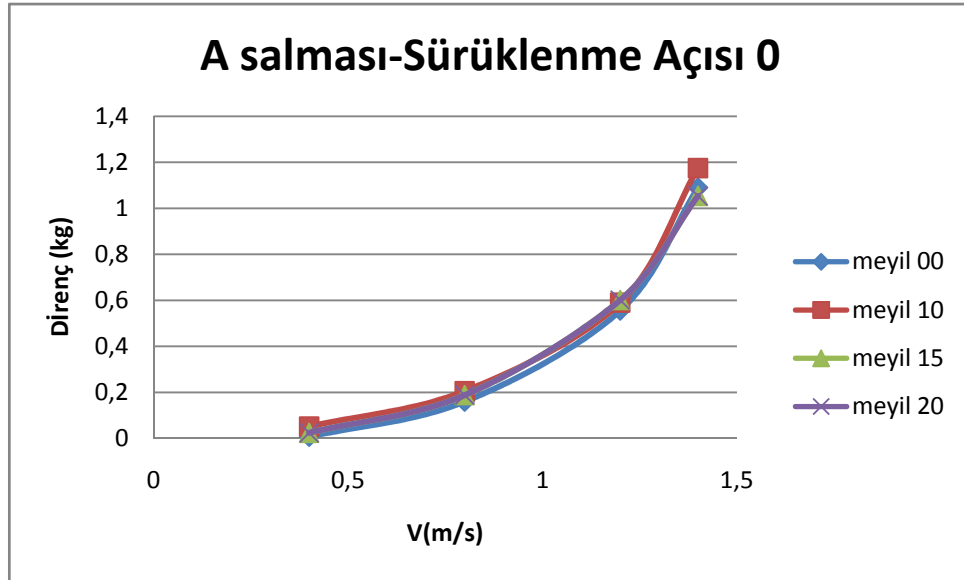
4.3 A Salması İle Yapılan Deneyler

Birbiri ile karşılaştırılacak salmalardan ilki olan A salmasının ana ölçüleri ve teknik özellikleri Şekil 4.4’ de verildiği gibidir. Bu değerler, ana tekne boyutunda verilmiştir.

A salması ile deney matrisinde bulunan tüm deneyler yapılmıştır. Salmanın 0° sürüklenme açısındaki direnç grafiği Şekil 4.5’ de verilmiştir. A salması ile ilgili yapılan deneylerden üretilen diğer direnç grafikleri Ek-A’ da sunulmuştur. Salmanın direnç grafiği incelendiğinde, 7 knottan sonra grafik tepe yapmakta ve sonra direnç düşmektedir. Bunun nedeni sirkülasyon kanalında oluşan dalga profilinin, tekneyi kayar duruma getirmesi ve bu nedenle direnç azalması oluşmasıdır. Bu sebepten dolayı 7 knot üzerindeki değerler kullanılmamıştır. Bu konuya sonuçlar bölümünde değinilmiş ve örnek grafik Şekil 5.1’de çizilmiştir.



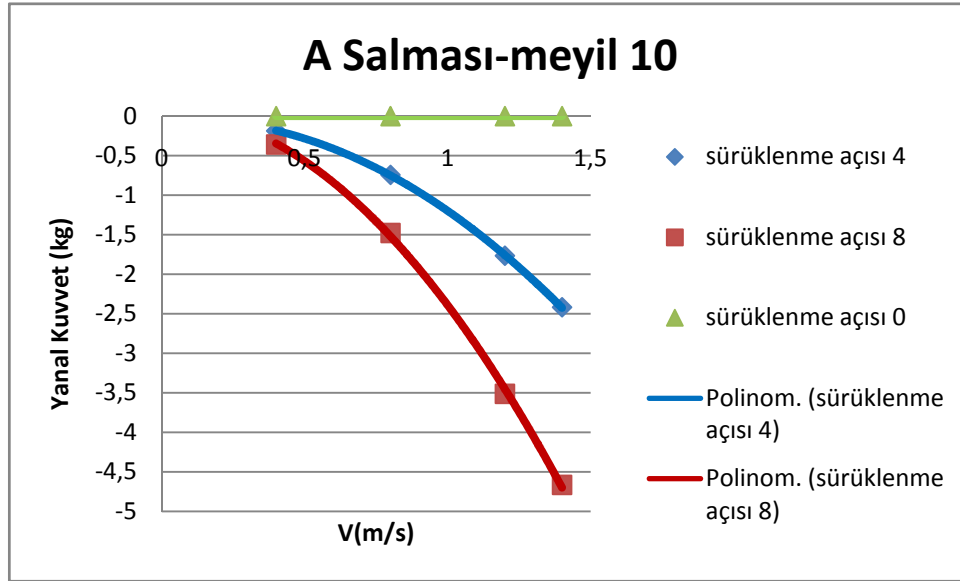
Şekil 4.4: A salması teknik özellikleri



Şekil 4.5: A salması direnç grafiği

A salmasının 10° meyil açısı ve değişik sürüklenme açıları için ölçülen yanal kuvvetler ise Şekil 4.6' da çizilmiştir. Bu grafikten görüleceği gibi, hızın artması ile

yanal kuvvet artmaktadır. A salmasının deney matrisinde yer alan diğer deneyler için yanal kuvvet diyagramları Ek-A' da verilmiştir.

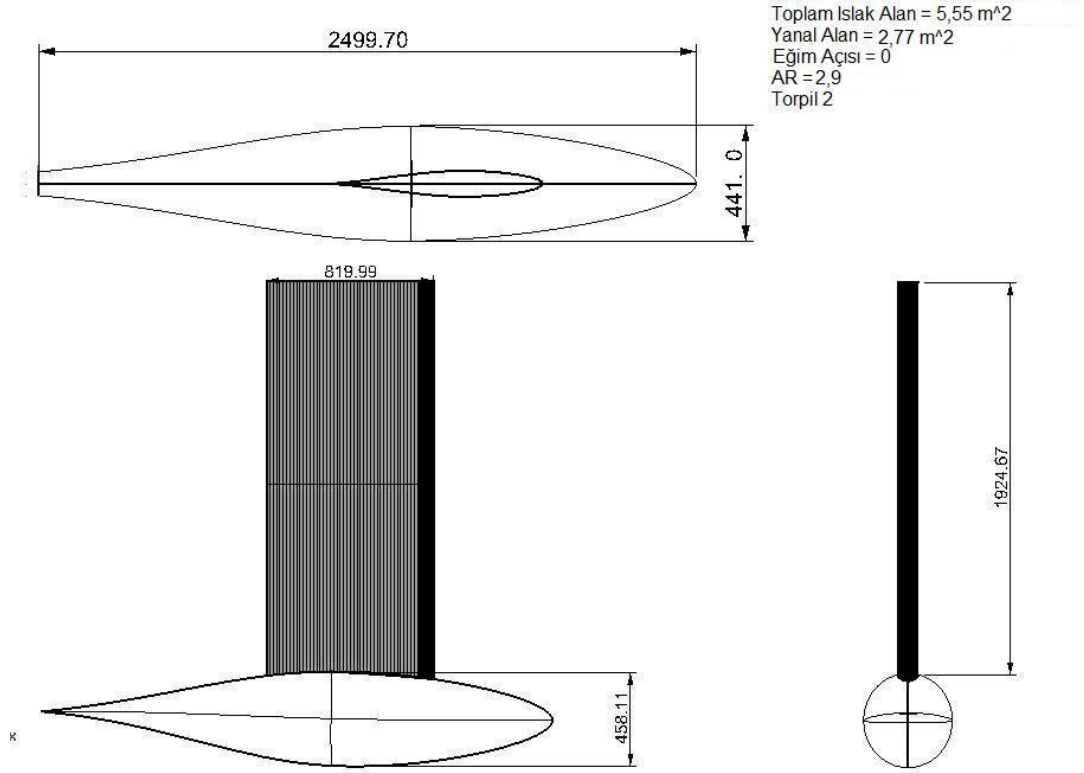


Şekil 4.6: A salması ile sürüklenme açısı yanal kuvvet grafiği

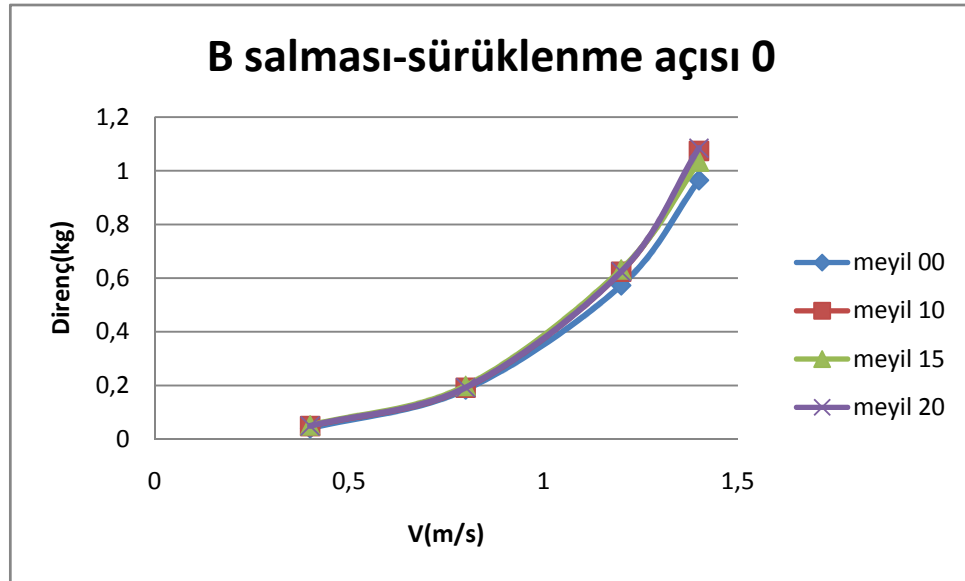
4.4 B Salması İle Yapılan Deneyler

Birbiri ile karşılaştırılacak salmalardan ikincisi olan B salmasının ana ölçüleri ve teknik özellikleri Şekil 4.7' de verildiği gibidir. Bu değerler, ana tekne boyutunda verilmiştir.

B salması ile deney matrisinde bulunan tüm deneyler yapılmıştır. Salmanın 0° sürüklenme açısındaki direnç grafiği Şekil 4.8' de verilmiştir. B salması ile ilgili yapılan deneylerden üretilen diğer direnç grafikleri Ek-A' da sunulmuştur. Salmanın direnç grafiği incelendiğinde, 7 knottan sonra grafik tepe yapmakta ve sonra direnç düşmektedir. Bunun nedeni sirkülasyon kanalında oluşan dalga profilinin, tekneyi kayar duruma getirmesi ve bu nedenle direnç azalması oluşmasıdır. Bu sebepten dolayı 7 knot üzerindeki değerler kullanılmamıştır. Bu konuya sonuçlar bölümünde değinilmiş ve örnek grafik Şekil 5.1'de çizilmiştir.

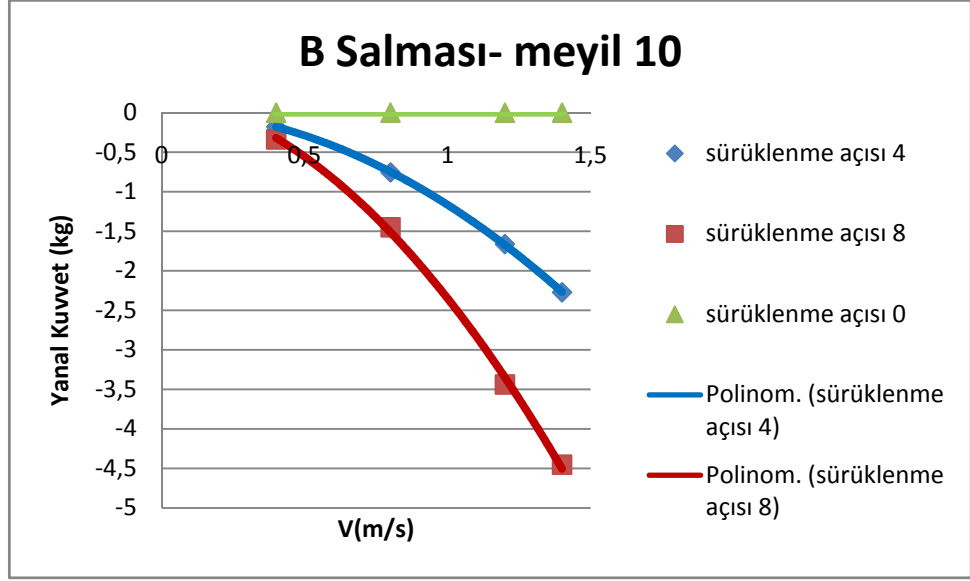


Şekil 4.7: B Salması teknik özellikleri



Şekil 4.8: B salması direnci grafiği

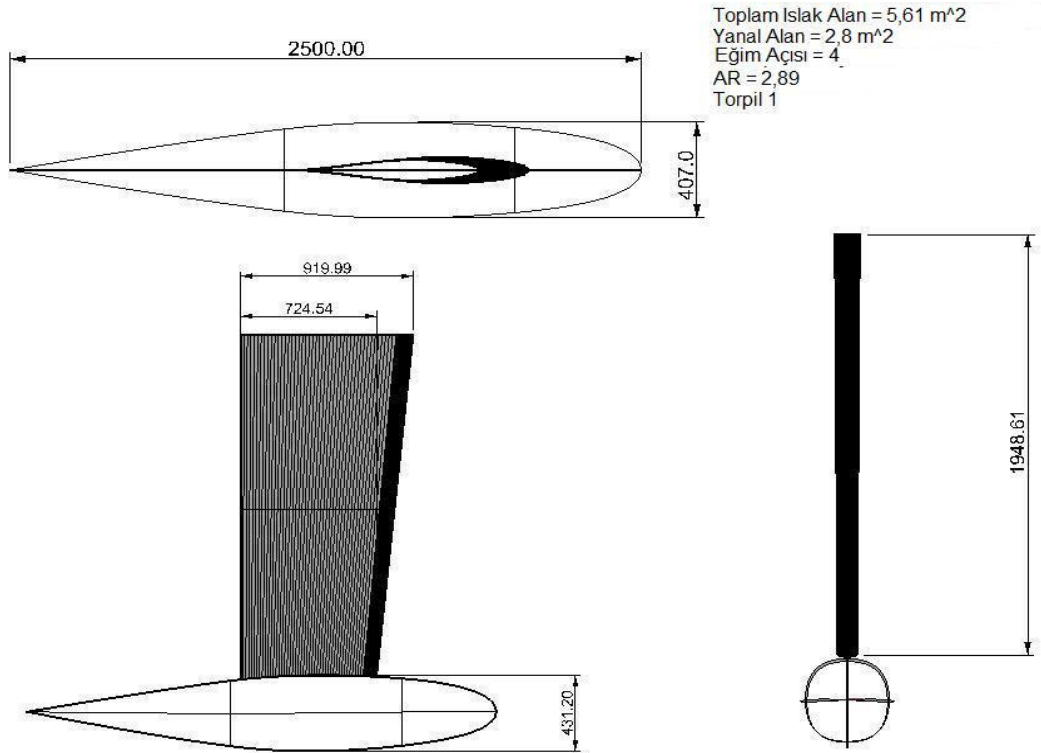
B salmasının 10° meyil açısı ve değişik sürüklenme açıları için ölçülen yanal kuvvetler ise Şekil 4.9’ da çizilmiştir. Bu grafikten görüleceği gibi, hızın artması ile yanal kuvvet artmaktadır. A salmasının deney matrisinde yer alan diğer deneyler için yanal kuvvet diyagramları Ek-A’ da verilmiştir.



Şekil 4.9: B salması ile sürüklenme açısı yanal kuvvet grafiği

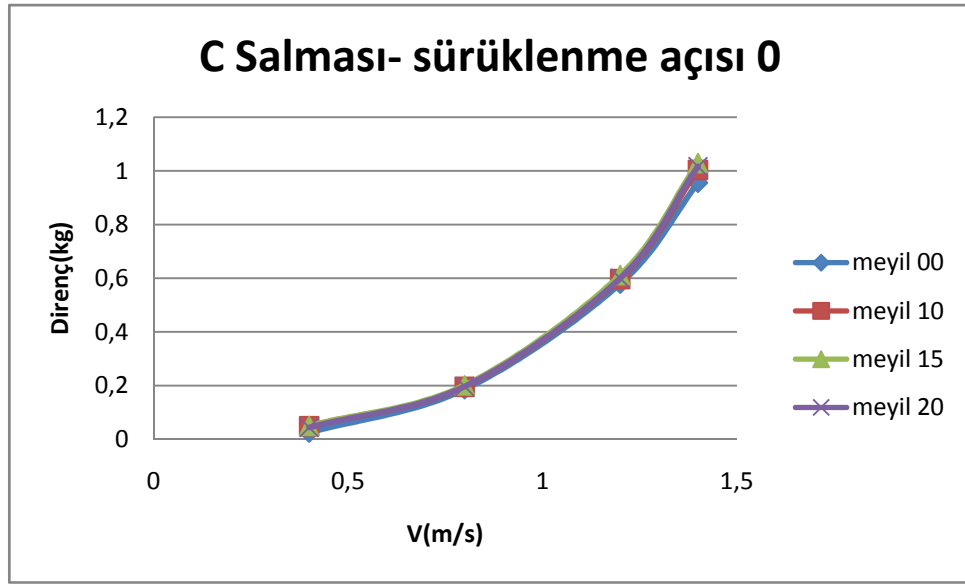
4.5 C Salması İle Yapılan Deneyler

Birbiri ile karşılaştırılacak salmalardan üçüncü olan C salmasının ana ölçüleri ve teknik özellikleri Şekil 4.10' da verildiği gibidir. Bu değerler, ana tekne boyutunda verilmiştir.



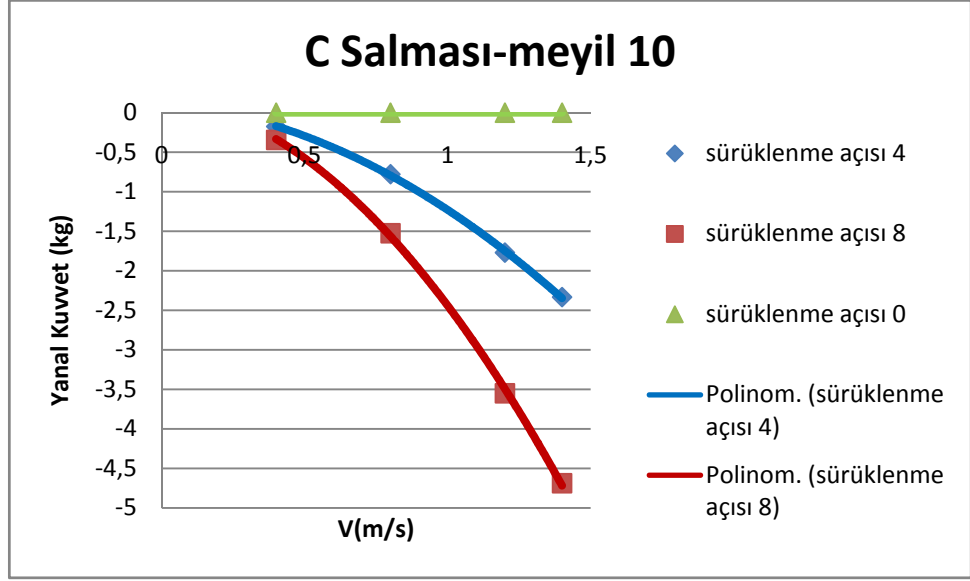
Şekil 4.10: C Salması teknik özellikleri

C salması ile deney matrisinde bulunan tüm deneyler yapılmıştır. Salmanın 0° sürüklenme açısındaki direnç grafiği Şekil 4.11’ de verilmiştir. C salması ile ilgili yapılan deneylerden üretilen diğer direnç grafikleri Ek-A’ da sunulmuştur. Salmanın direnç grafiği incelendiğinde, 7 knottan sonra grafik tepe yapmakta ve sonra direnç düşmektedir. Bunun nedeni sirkülasyon kanalında oluşan dalga profilinin, tekneyi kayar duruma getirmesi ve bu nedenle direnç azalması oluşmasıdır. Bu sebepten dolayı 7 knot üzerindeki değerler kullanılmamıştır. Bu konuya sonuçlar bölümünde değinilmiş ve örnek grafik Şekil 5.1’de çizilmiştir.



Şekil 4.11: C salması direnç grafiği

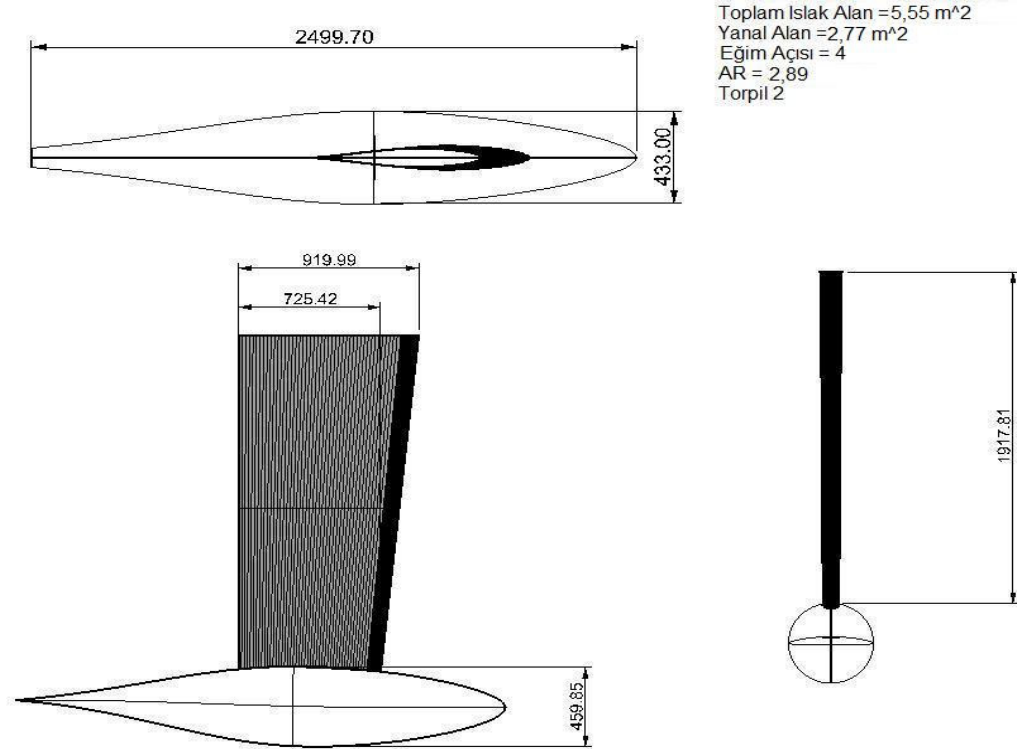
C salmasının 10° meyil açısı ve değişik sürüklenme açıları için ölçülen yanal kuvvetler ise Şekil 4.12’ de çizilmiştir. Bu grafikten görüleceği gibi, hızın artması ile yanal kuvvet artmaktadır. C salmasının deney matrisinde yer alan diğer deneyler için yanal kuvvet diyagramları Ek-A’ da verilmiştir.



Şekil 4.12: C salması ile sürüklenme açısı yanal kuvvet grafiği

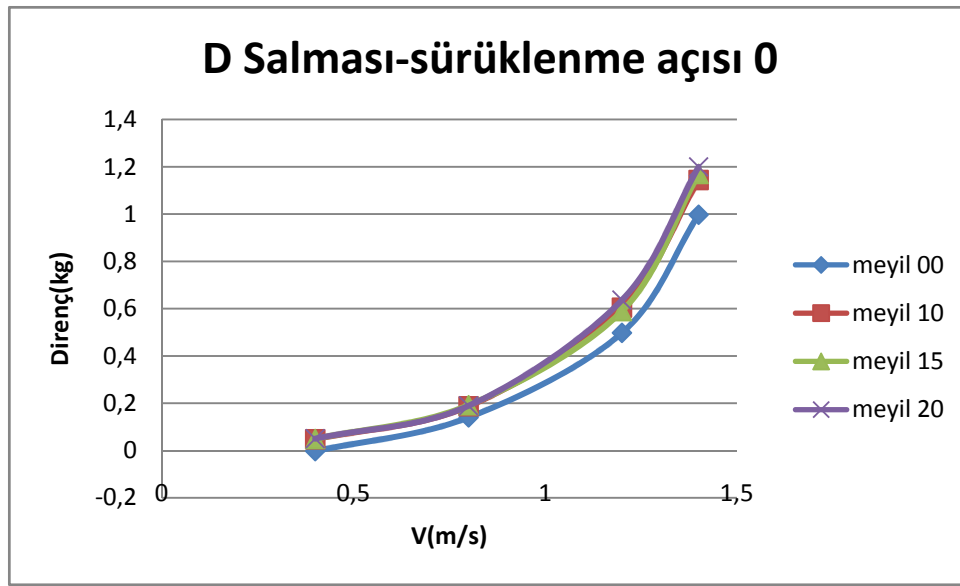
4.6 D Salması İle Yapılan Deneyler

Birbiri ile karşılaştırılacak salmalardan dördüncü olan D salmasının ana ölçüleri ve teknik özellikleri Şekil 4.13’ de verildiği gibidir. Bu değerler, ana tekne boyutunda verilmiştir.



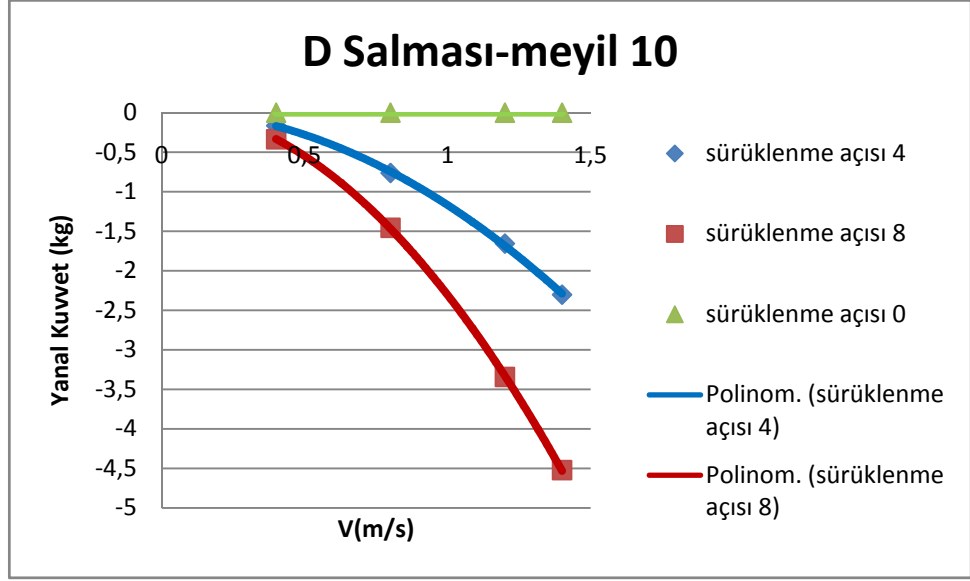
Şekil 4.13: D Salması teknik özellikleri

D salması ile deney matrisinde bulunan tüm deneyler yapılmıştır. Salmanın 0° sürüklenme açısındaki direnç grafiği Şekil 4.14’ de verilmiştir. D salması ile ilgili yapılan deneylerden üretilen diğer direnç grafikleri Ek-A’ da sunulmuştur. Salmanın direnç grafiği incelendiğinde, 7 knottan sonra grafik tepe yapmakta ve sonra direnç düşmektedir. Bunun nedeni sirkülasyon kanalında oluşan dalga profilinin, tekneyi kayar duruma getirmesi ve bu nedenle direnç azalması oluşmasıdır. Bu sebepten dolayı 7 knot üzerindeki değerler kullanılmamıştır. Bu konuya sonuçlar bölümünde değinilmiş ve örnek grafik Şekil 5.1’de çizilmiştir.



Şekil 4.14: D salması ile sürüklenme açısı direnç grafiği

D salmasının 10° meyil açısı ve değişik sürüklenme açıları için ölçülen yanal kuvvetler ise Şekil 4.15’ de çizilmiştir. Bu grafikten görüleceği gibi, hızın artması ile yanal kuvvet artmaktadır. D salmasının deney matrisinde yer alan diğer deneyler için yanal kuvvet diyagramları Ek-A’ da verilmiştir.

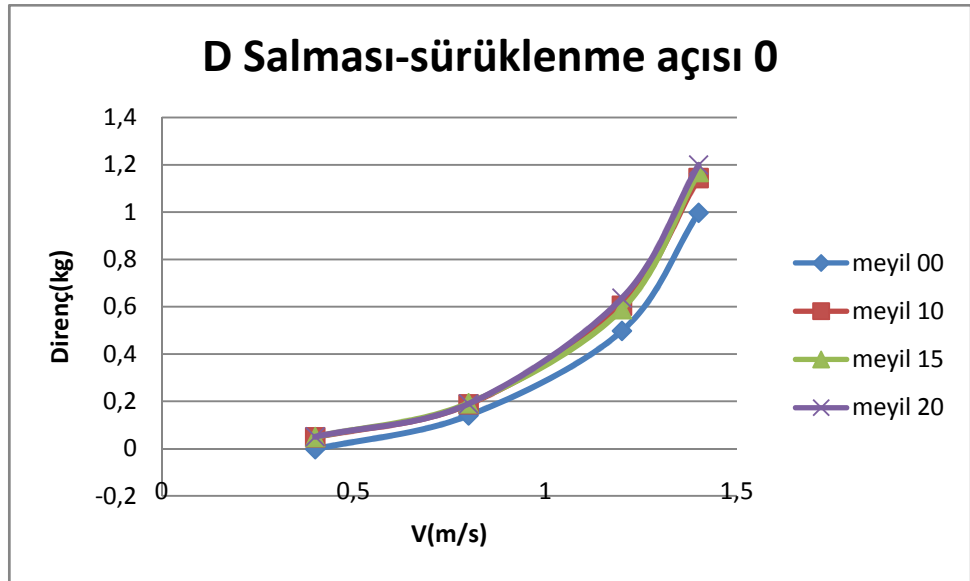


Şekil 4.15: D salması ile sürüklenme açısı yanal kuvvet grafiği

4.7 Sonuçların Karşılaştırması

4.7.1 Meyil Açısındaki Değişimin Direnç ve Yanal Kuvvete Etkisi

Değişen meyil, teknenin direnç değerlerini değiştirmektedir. Meyil arttıkça teknenin ıslak alanı değişmekte ve indüklenmiş direnci artmaktadır. Şekil 4.16' da örnek olarak D salması için 0° derece sürüklenme açısında, meyil açısı arttıkça direnç değerlerinin arttığını gösteren bir diagram yer almaktadır.

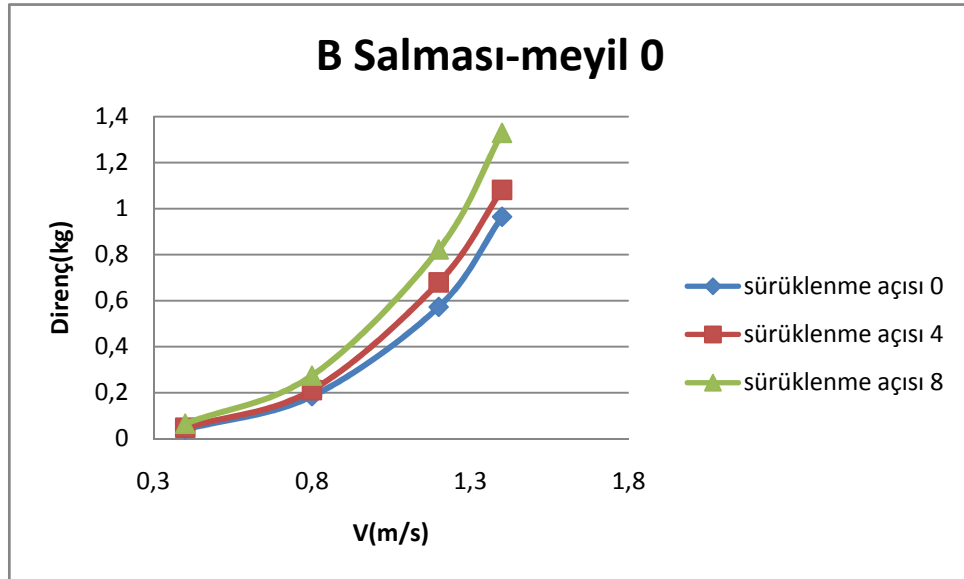


Şekil 4.16: D salması ile sürüklenme açısı 0 yanal kuvvet grafiği

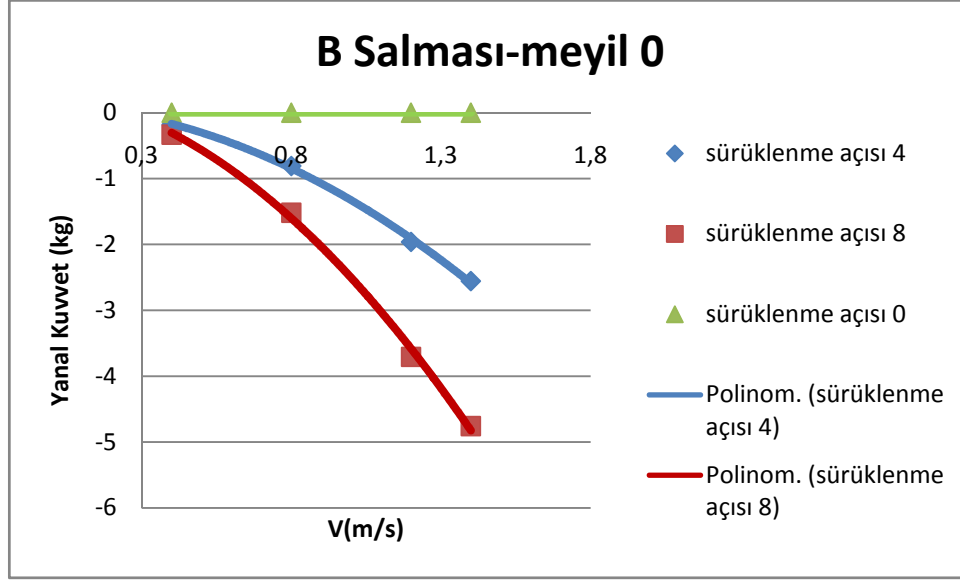
4.7.2 Sürüklenme Açısındaki değişimin Direnç ve Yanal Kuvvete Etkisi

Sürüklenme açısının değişimi, teknenin direncini ve salmanın ürettiği yanal kuvveti değiştirmektedir. Şekil 4.17’ de görüldüğü gibi sürüklenme açısının artışı teknenin direncini arttırmaktadır. Direncin artmasının sebebi, indüklenmiş direncin artmasıdır. Sürüklenme açısı arttıkça indüklenmiş dirençte artmaktadır.

Sürüklenme açısının artması aynı zamanda, salmanın oluşturduğu yanal kuvvetin artmasına neden olur. Simetrik foillerde salmaya gelen akımın, açısının değişmesi emme basıncınıdağıştırdığı için, sürüklenme açısının değişimi yanal kuvveti değiştirmektedir.[1] Yanal kuvvetin artması sürüklenme açısının artışına bağlıdır.(Şekil 4.18)



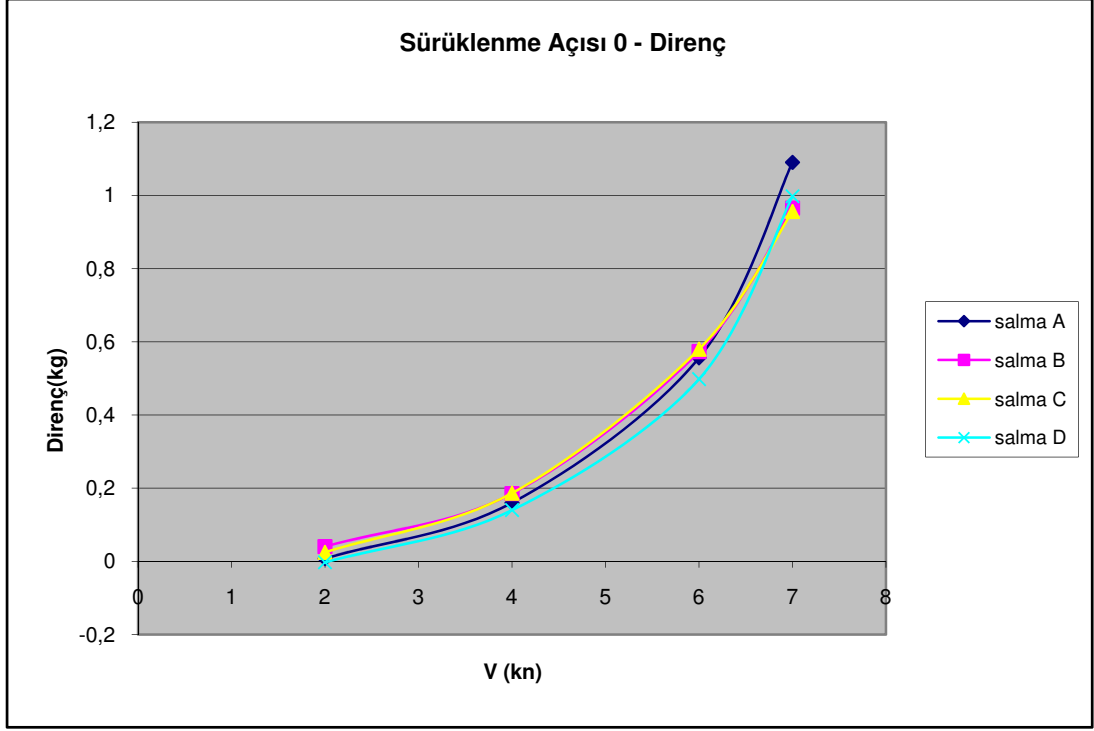
Şekil 4.17: B salması meyil 0, sürüklenme açısına göre direnç



Şekil 4.18: B salması meyil 0, sürüklenme açısına göre yanal kuvvet

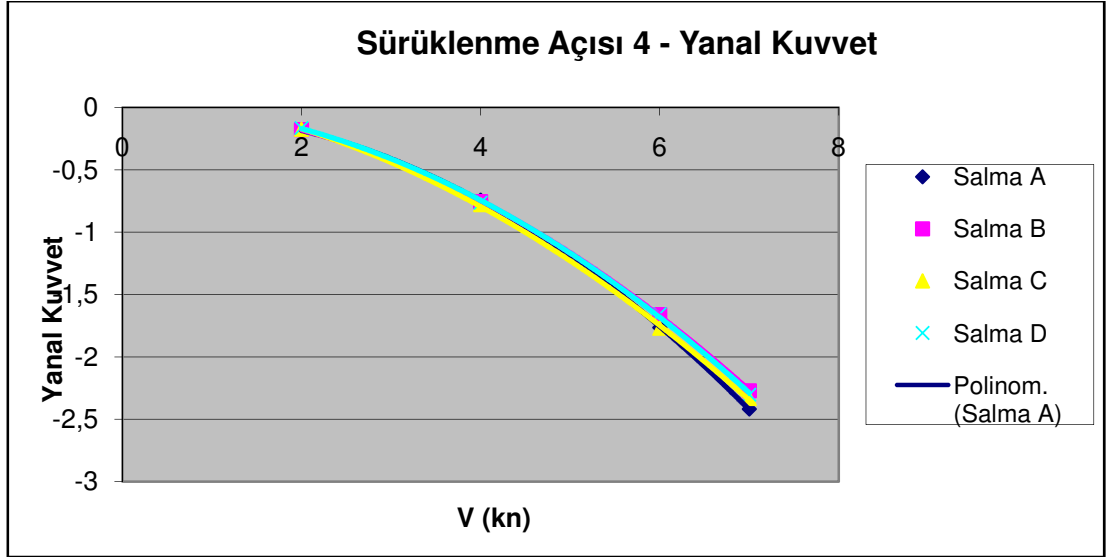
4.7.3 Salmaların Birbirleri ile Karşılaştırılması

Bu çalışma kapsamında, belirlenen deney matrisindeki tüm deneyler dört farklı salma içinde yapılmıştır. Bu salmaların karşılaştırılmasında ise, iki ana unsur ön planda tutulmuştur. İlk olarak salmanın yarattığı direncin her meyil ve her sürüklenme açılarındaki en az olması performans açısından en avantajlı durumdur. 0° meyil ve 0° sürüklenme açısındaki direnç değerlerine bakacak olursak (Şekil 4.19); burada, D salmasının 6 kn' a kadar en düşük dirençli salma olduğu ve sonrasında ise C ile B salmalarının geldiği görülmektedir. A salması ise 7 kn' da çok yüksek bir direnç değerine ulaşmıştır. Fakat yelkenli teknelerde sadece sıfır derece meyil ve sürüklenme açısına bakmamak gerekmektedir. Çünkü yelkenli tekneler, yelkenleri açıkken ve yelken kuvveti ile ilerlerken meyil ve sürüklenme açısına maruz kalmaktadırlar. Diğer sürüklenme açıları ve meyil için yapılan karşılaştırma grafikleri ise Ek B' da verilmiştir.



Şekil 4.19: 0° sürüklenme ve meyil açısında salmaların karşılaştırılması

İkinci olarak bakmamız gereken değer ise salmaların ürettikleri yanal kuvvettir. Yelkenli teknelerdeki moment dengesinde önemli bir rolü olan yanal kuvvetin büyüklüğü teknenin performansını da etkilemektedir. Bunun için salmaların 4° sürüklenme açısında ve 10° meyildeki yanal kuvvetlerine bakalım. Şekil 4.20’ de görüldüğü üzere A salmasının ürettiği yanal kuvvet diğer salmalara göre daha fazladır. Bu durumda A salmasının takılı olduğu teknenin diğer teknelere göre daha büyük yelken alanını kaldırabileceğini ve daha yüksek performanslı olacağını söyleyebiliriz. Yanal kuvveti incelerken de, dirençte olduğu gibi sadece bir sonuca bakmamak gerekir. Diğer sonuçlar Ek B’ de görülebilir.



4.20: Salmaların yanal kuvvet karşılaştırılması

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, 1993 yılında İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesinde başlatılan, yelkenli teknelerde direnç deneyleri ile ilgili çalışmaların bir devamı niteliğindedir. Daha önce incelenen temel ve basit salmaların sonrasında günümüzde kullanılan daha kompleks ve verimli salmaların direnç ve yanal kuvvetlerinin ölçülmesini amaçlamıştır. Bu deneyler daha önce deney havuzunda yapılan deneylerin aksine sirkülasyon kanalında yapılmıştır.

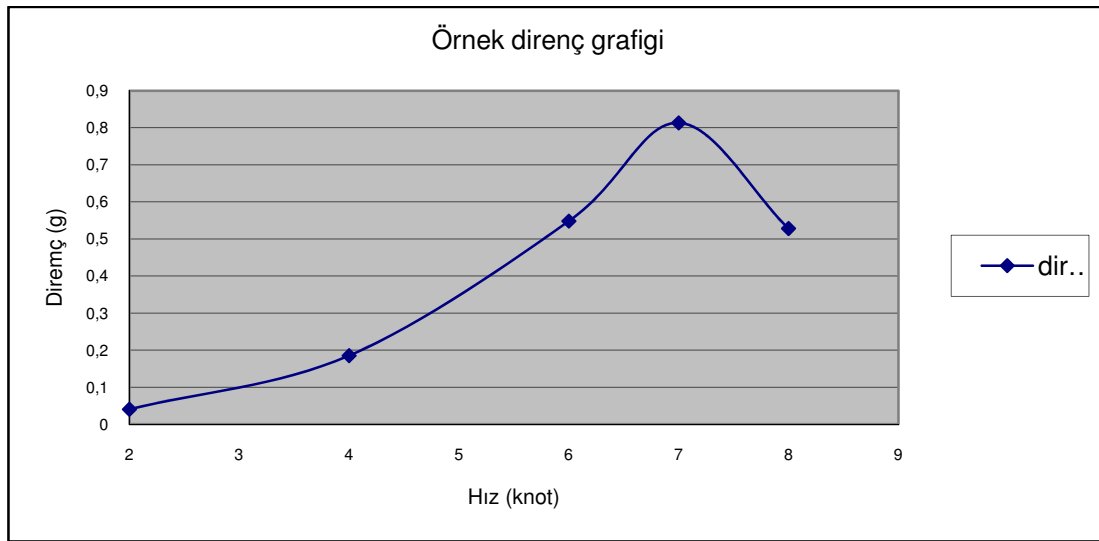
Deneylerin sirkülasyon kanalında yapılması blokaj etkisi nedeni ile bazı hataları beraberinde getirse bile, işlemi çok hızlandırmış, maliyeti azaltmıştır. Amaç sirkülasyon kanalında hangi salmanın en iyi olduğu bulunduktan sonra büyük havuzda detaylı deneylerin yapılmasıdır. Bu çalışma aynı zamanda üniversite – sanayi iş birliğinin bir ürünüdür. Deneyleri yapılan model ve salmalar ticari bir tasarım ofisine ait olup, tekne inşa edilmiş ve yarışlara katılmaktadır. Bu çalışmanın yazarı da deneylerini yaptığı tekne ile yarışmaktadır.

Önceki bölümlerde incelenen dört salmanın arasından, diğer salmaların önüne geçen salma, A salması olmuştur. Her sürüklenme açısında ve her meyilde diğer salmalara yakın ya da daha çok yanal kuvvet üreten A salması, direnç karşılaştırmasında da birçok durumda diğer salmalardan daha iyi performans sergilemiştir.

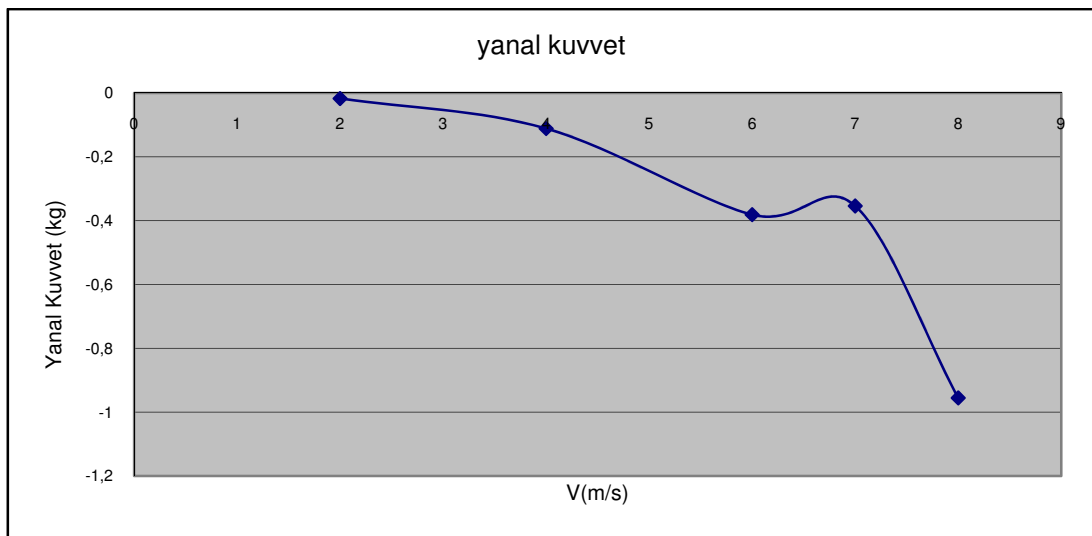
Deneylerin sonuçlarında bulunan ilginç bir nokta ise, direnç değerlerinde görülen, düşüştür. Şekil 5.1’ de görüldüğü üzere direnç değerleri yedi knot üzeri hızlarda düşmektedir. Bunun sebebi ise sirkülasyon kanalında oluşan dalgaların tepesinin teknenin, baş kısmına gelmesi ve teknenin bu nedenle kaymaya başlamasıdır. Bu direnç değerlerinin düşmesine sebep olmaktadır. Bu sebepten dolayı yedi knot hızın üzerindeki değerler kullanılmamıştır.

Deneylerde görülen bir diğer sonuç ise, sürüklenme açısının olmamasına rağmen (0° sürüklenme açısı) salmaların yanal kuvvet üretmeleridir. Örnek olarak B salmasının 0° meyil ve 0° sürüklenme açısındaki sonuçlarına bakacak olursak

Üretilen yanal kuvveti görebiliriz (ekil 5.2). Sıfır derece sürüklenme açısında yanal kuvvet oluşmasının sebepleri gelen suyun tekneye paralel olmamasında ya da teknenin başına çarpan suyun etkisi ile teknenin paralelliğini yitirmesidir. Bu nedenle oluşan sürüklenme açısı yanal kuvvet doğurmaktadır. Bir başka nedense 6 bileşenli dinamometreni 0° sürüklenme açısı ayarında çok ufakta olsa hata yapılabilmif olmasdır. Bu sebepten dolayı, yanal kuvvet değerleri 0° de yanal kuvvet oluşturmayacak şekilde ötelenerek düzeltilmiştir.



Şekil 5.1: B salması örnek direnç grafiği



Şekil 5.2: B salması örnek yanal kuvvet grafiği

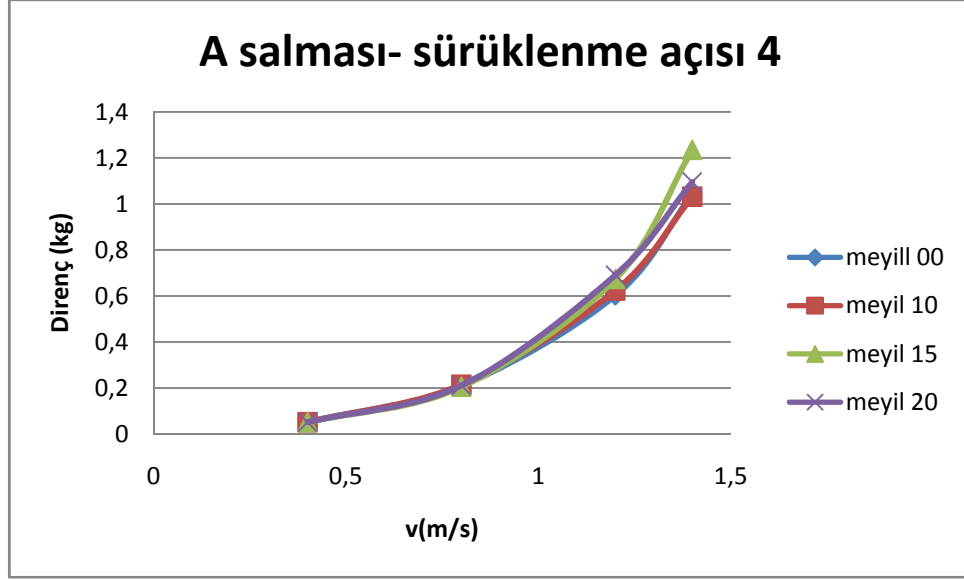
Bu çalışmanın sonuçları, bu gibi konularda yayın sayısının az olması ve de ticari gizli olması nedeni ile oldukça önemlidir. Ancak zaman darlığı nedeni ile yapılamayan testler tamamlanmalı ve gerekli karşılaştırılmalar yapılmalıdır. Bu eksiklikler tamamlandıktan sonra çalışmanın devamı olarak:

- Deneysel veriler, gemi leęine çevrilmeli,
- Bu verilerden yararlanarak teknenin polar performans hesapları yapılmalı,
- Modelin ait olduğu asıl tekne üretilmiş ve yarışır durumda olduğu için tekne üzerinde yapılan bire bir ölçümlerle deney sonuçları karşılaştırılmalıdır.
- Deneysel çalışmanın devamı olarak sayısal hesaplamalarla tekne irdelenmeli ve deneysel ve matematiksel sonuçlar karşılaştırılmalıdır.

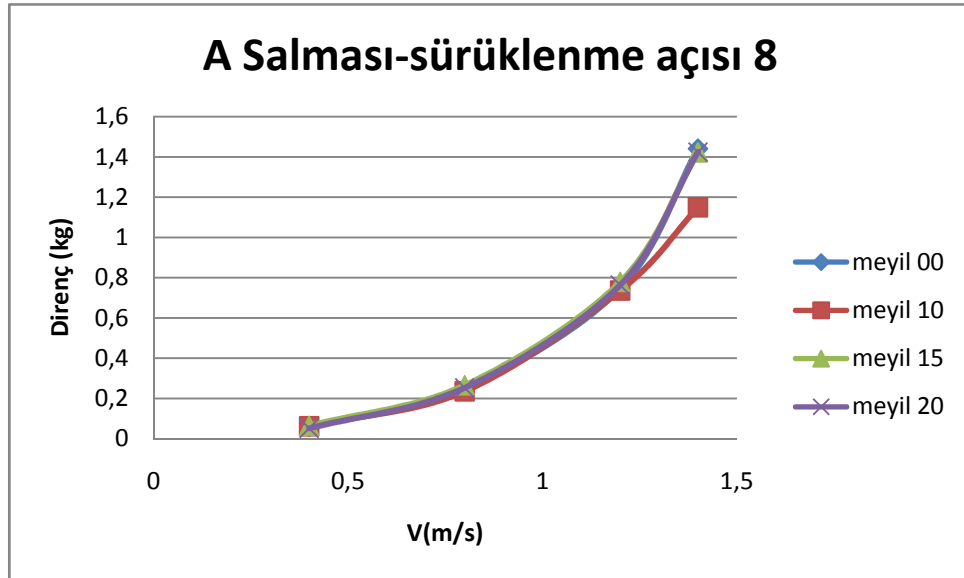
KAYNAKLAR

- [1] Larsson, L. And Eliasson, R. E. 1993. Principles of Yacht Design, London
- [2] Mutlu, Ö. A. 2002. Yatların Salma Karakteristiklerinin Deneysel Sayısal ve Ampirik Metodlarla İncelenmesi, , *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Marchay, C A., 1982. Sailing Yacht Theory and Practice, New York
- [4] Abbott. I. H. and von Doenhoff, A. E. 1949 Theory of Wing Sections. New York
- [5] Killing, S. and Hunter, D., 1998. Yacht Design Explained, New York
- [6] Dayı, Ş. 1993. Yelkenli Teknelerde Direnç Deneyleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

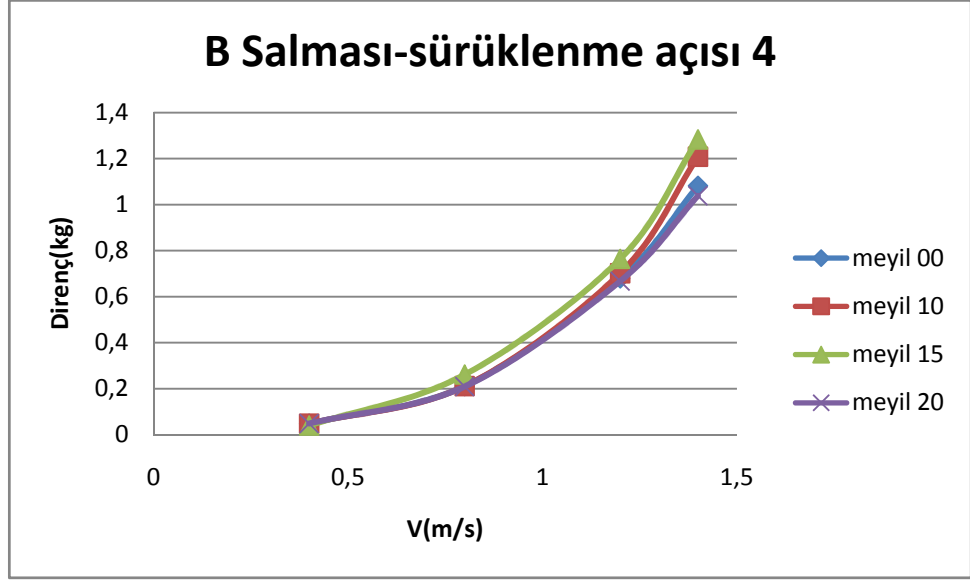
Ek A: Meyilin sabit tutulduğu sonuçlar



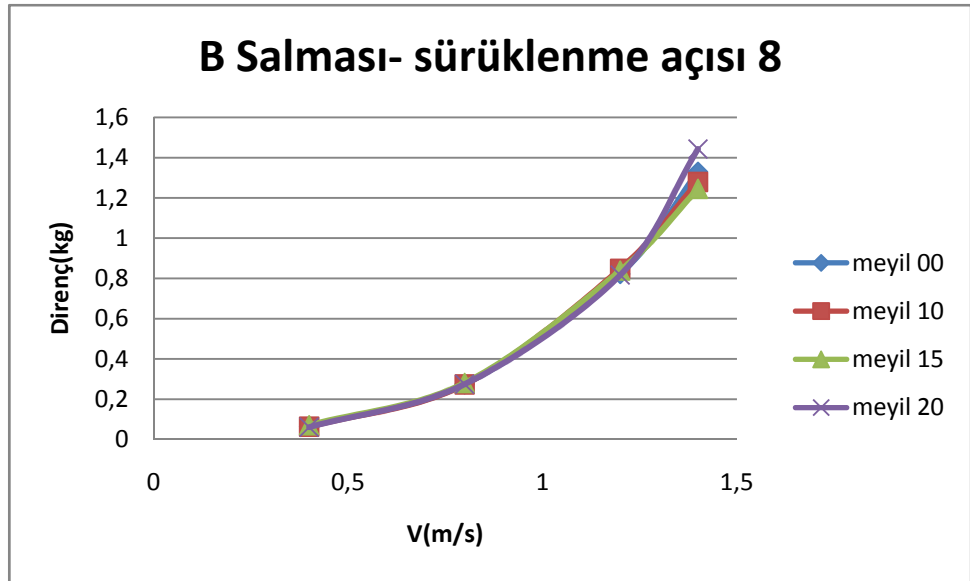
Şekil A.1: A salması direnç grafiği-sürüklenme açısı 4



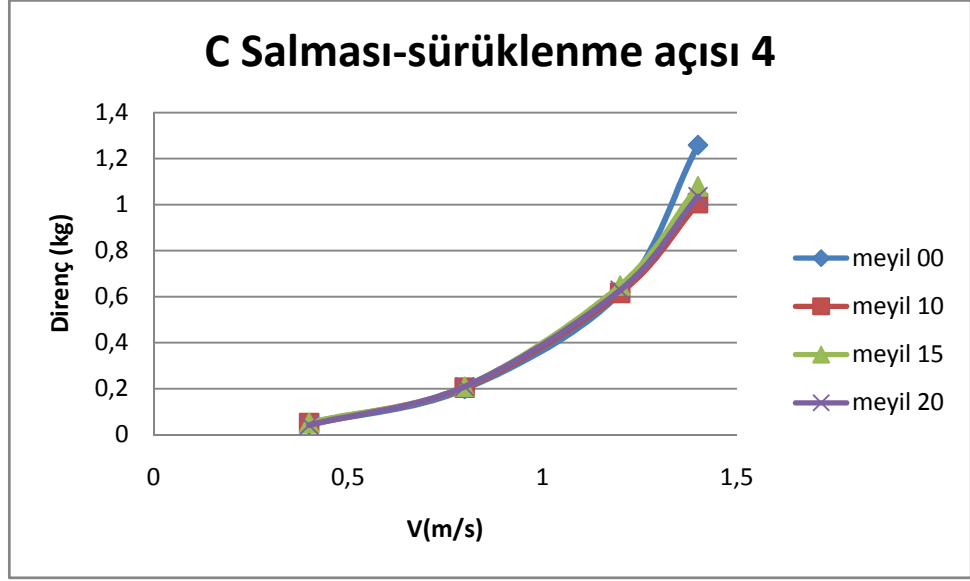
Şekil A.2: A salması direnç grafiği-sürüklenme açısı 8



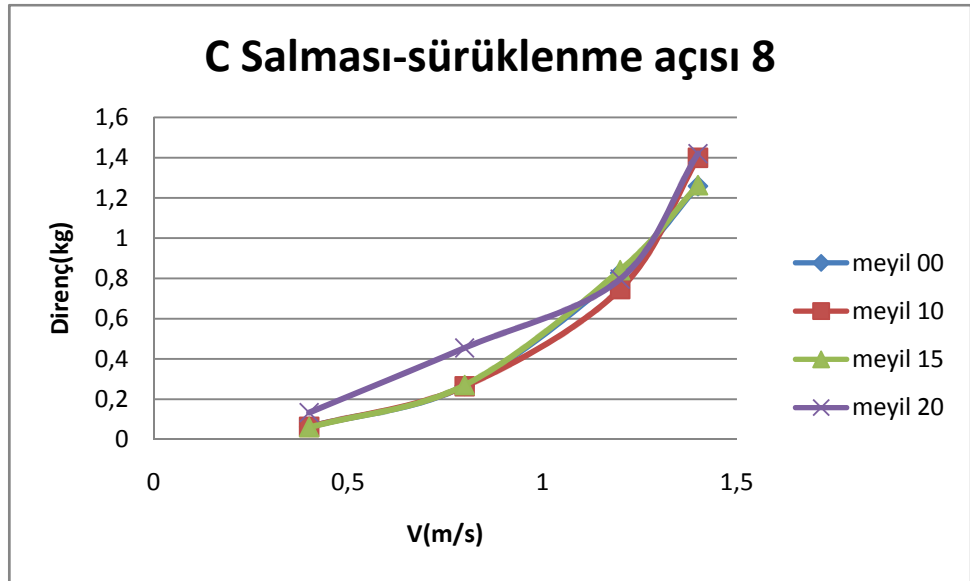
Şekil A.3: B salması direnç grafiği-sürüklenme açısı 4



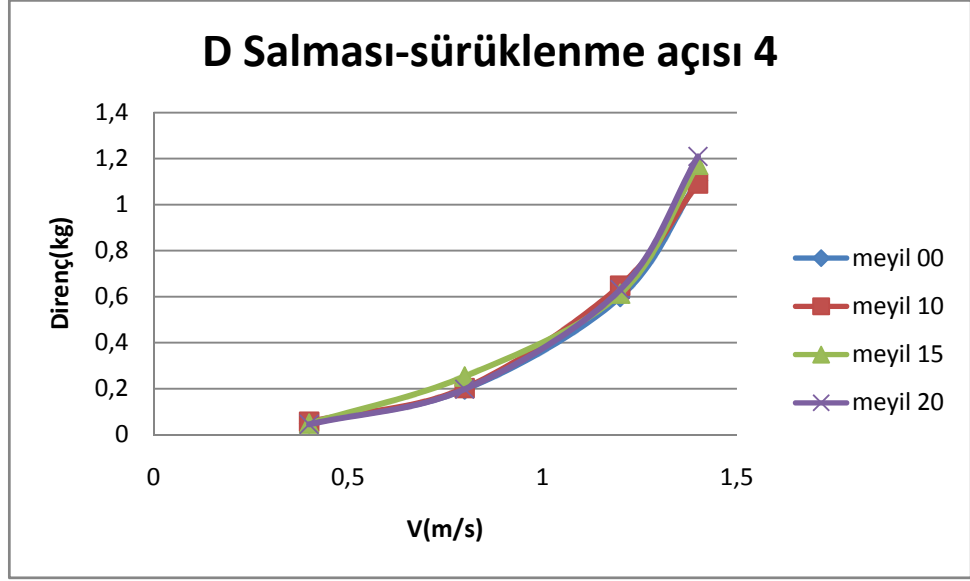
Şekil A.4: B salması direnç grafiği-sürüklenme açısı 8



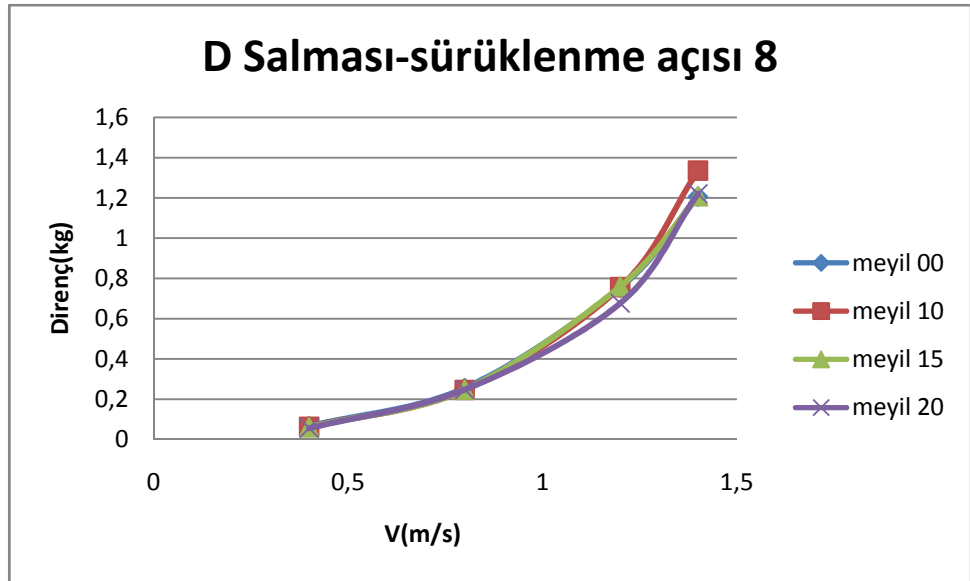
Şekil A.5: C salması direnç grafiği-sürüklenme açısı 4



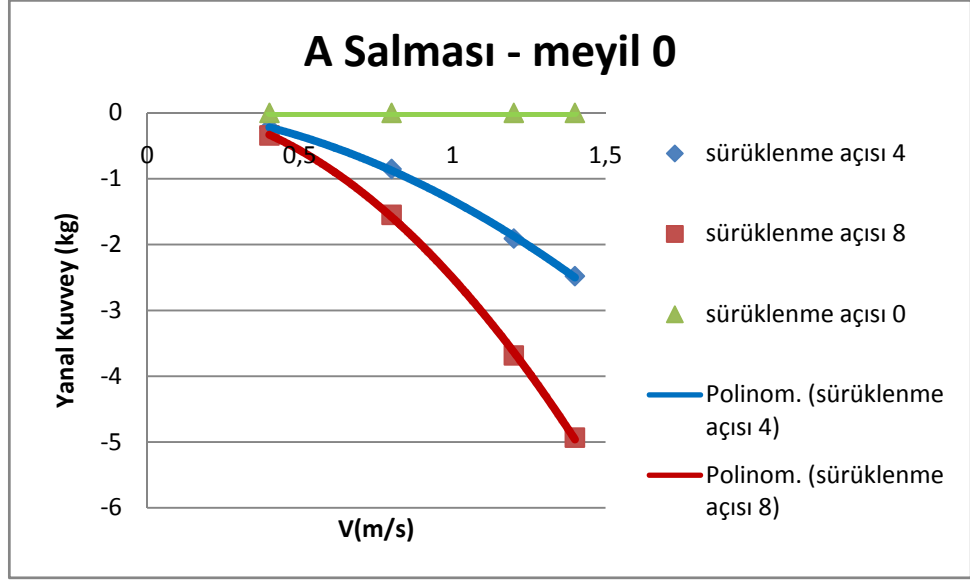
Şekil A.6: C salması direnç grafiği-sürüklenme açısı 8



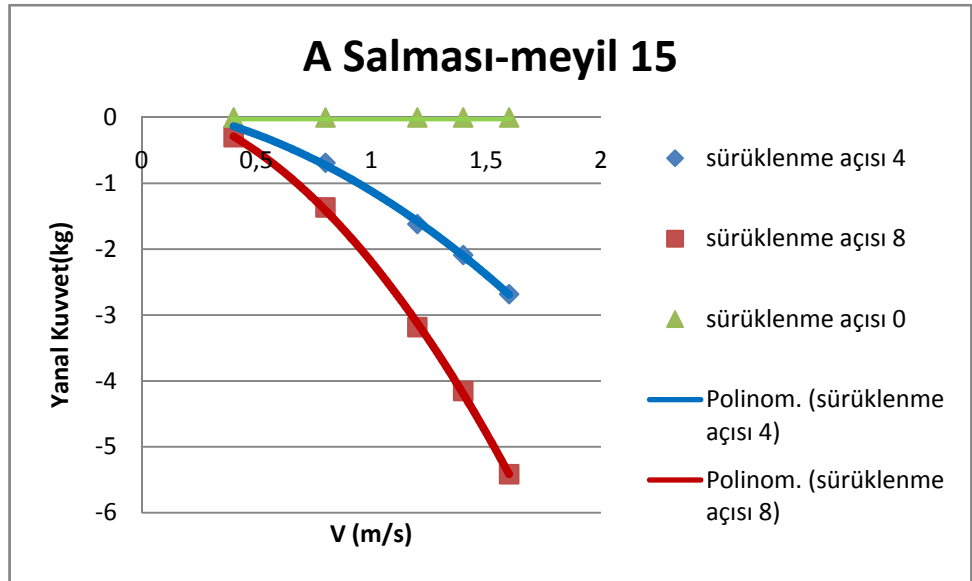
Şekil A.7: D salması direnc grafiği-sürüklenme açısı 4



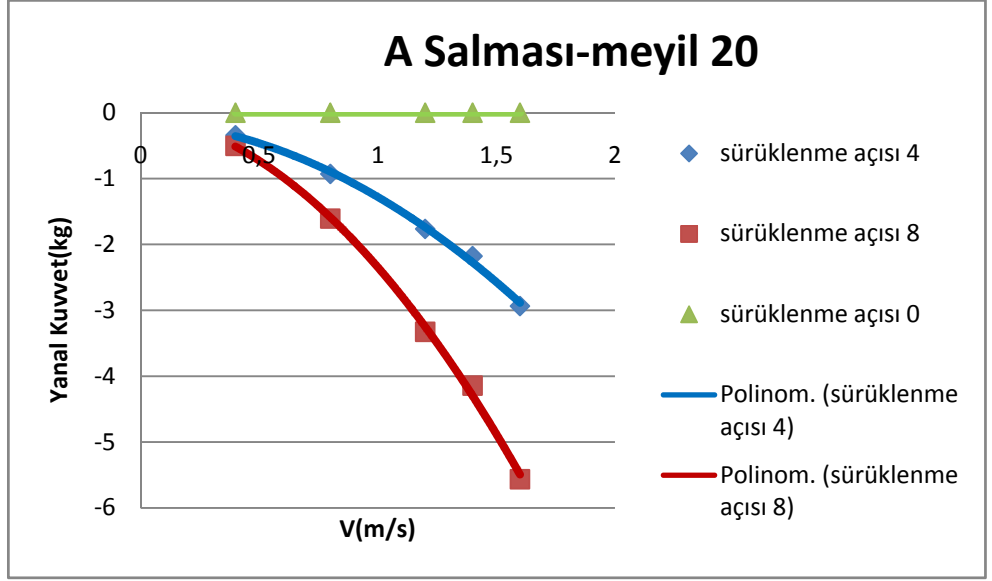
Şekil A.8: D salması direnc grafiği-sürüklenme açısı 8



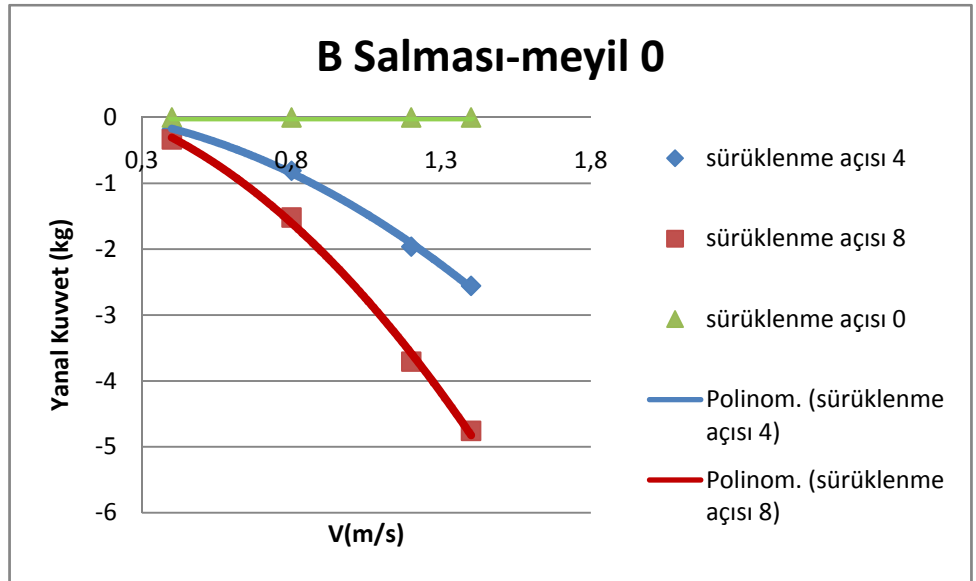
Şekil A.9: A salması, meyil 0-sürüklenme açısına göre yanal kuvvet



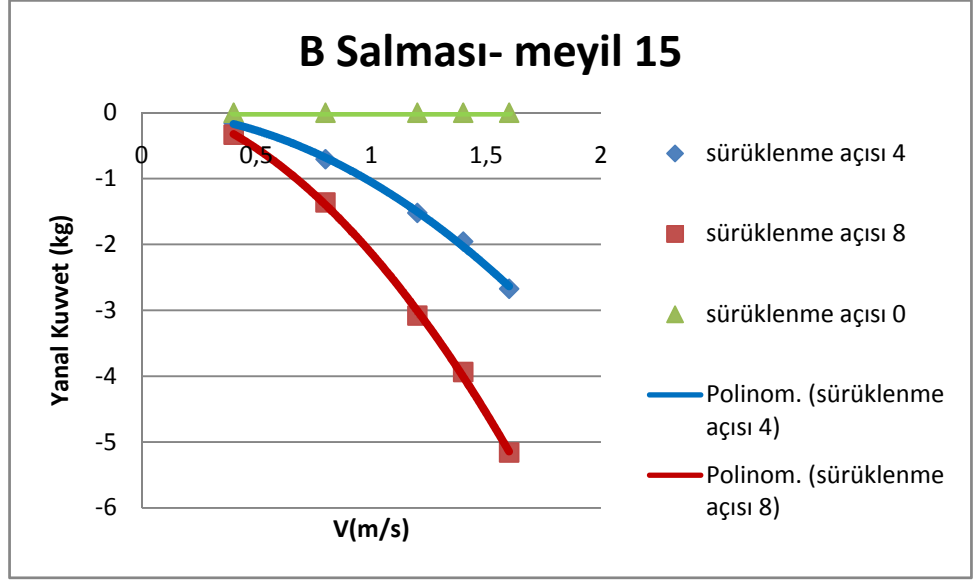
Şekil A.10: A salması, meyil 15-sürüklenme açısına göre yanal kuvvet



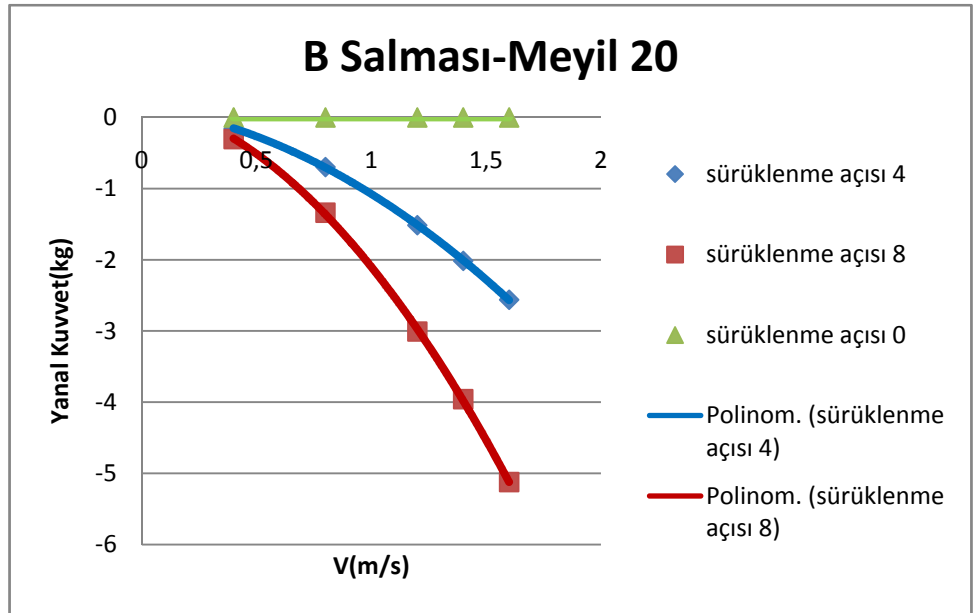
Şekil A.11: A salması, meyil 20-sürüklenme açısına göre yanal kuvvet



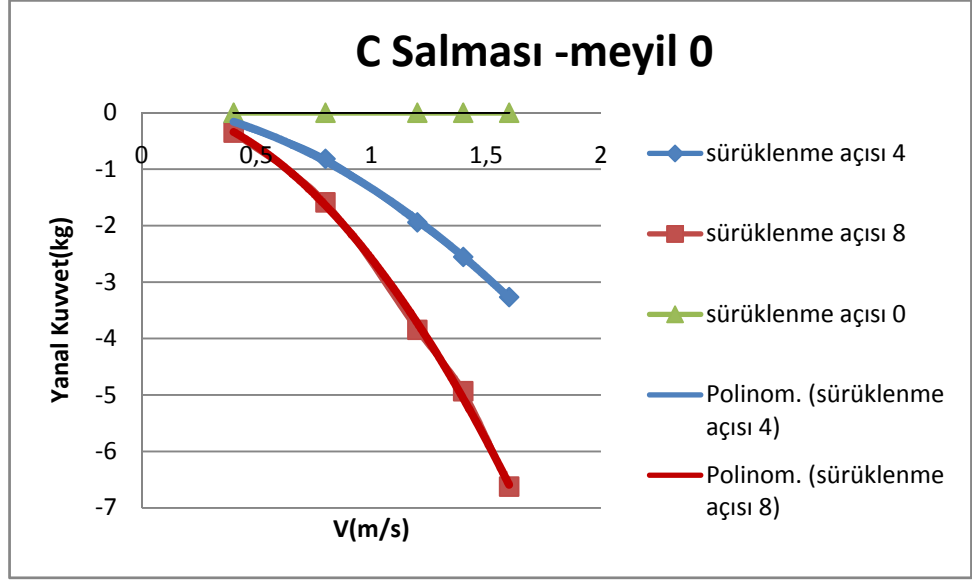
Şekil A.12: B salması, meyil 0-sürüklenme açısına göre yanal kuvvet



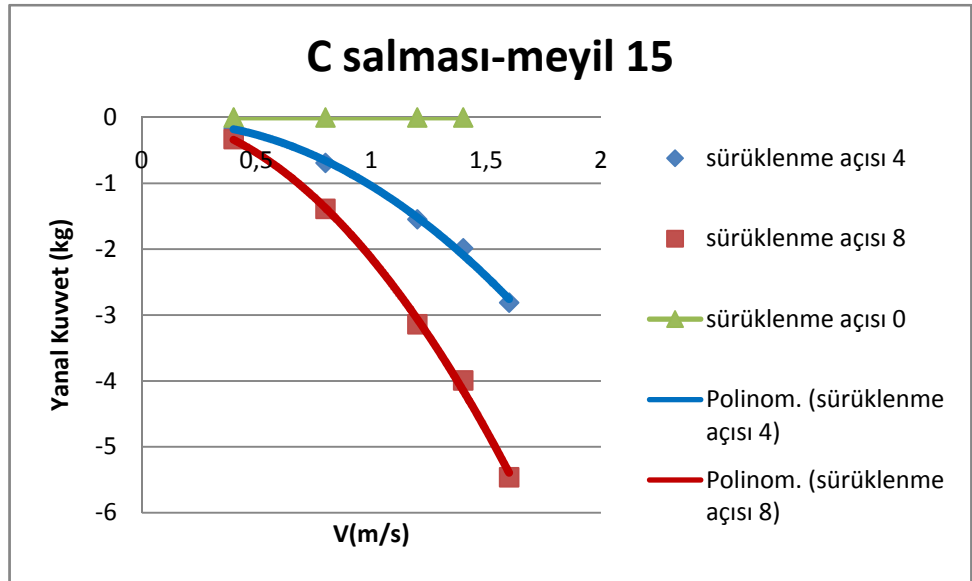
Şekil A.13: B salması, meyil 15-sürüklenme açısına göre yanal kuvvet



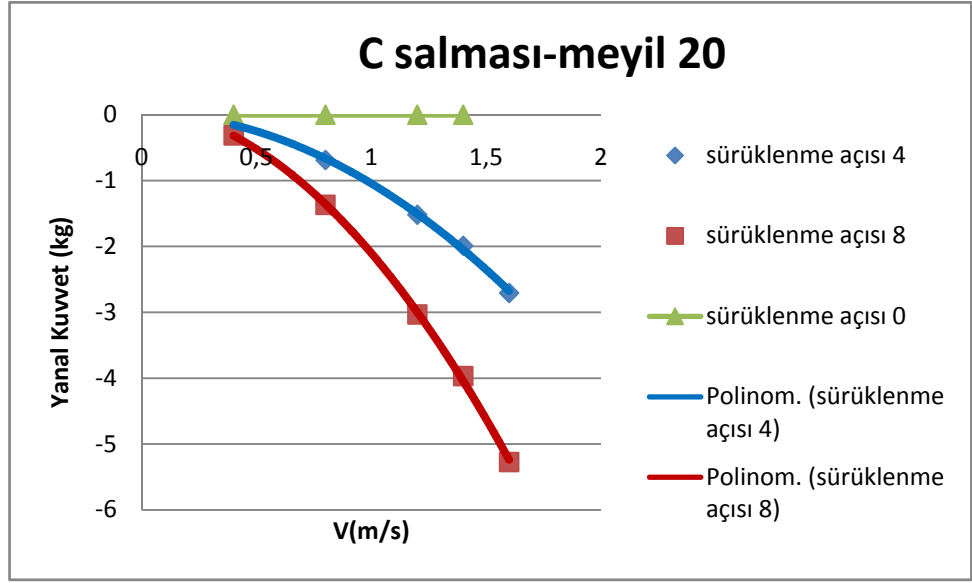
Şekil A.14: B salması, meyil 20-sürüklenme açısına göre yanal kuvvet



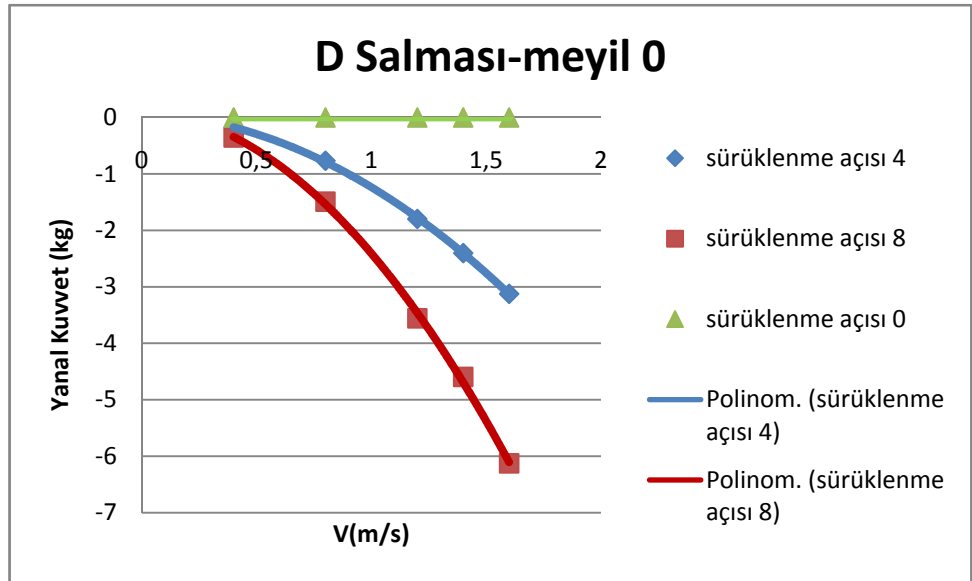
Şekil A.15: C salması, meyil 0-sürüklenme açısına göre yanal kuvvet



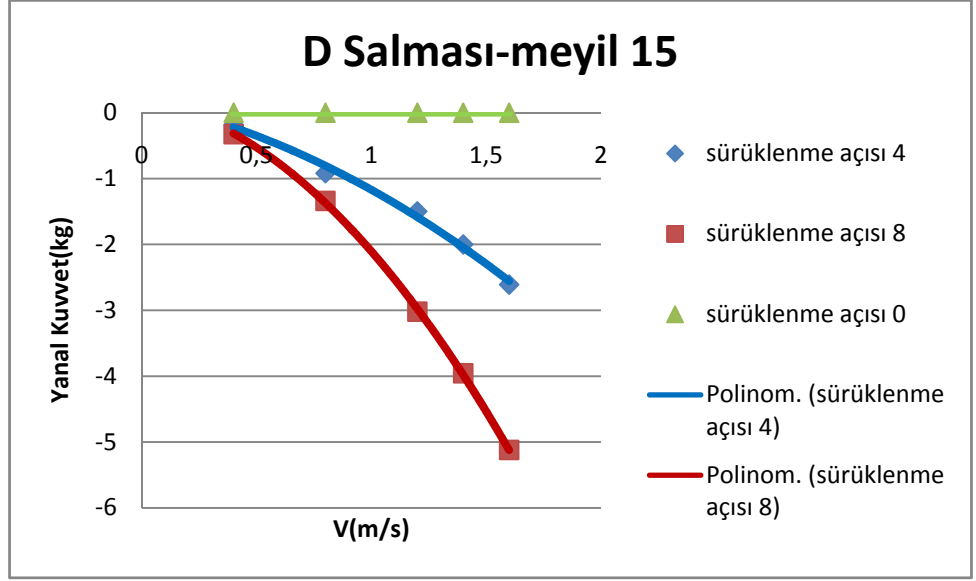
Şekil A.16: C salması, meyil 15-sürüklenme açısına göre yanal kuvvet



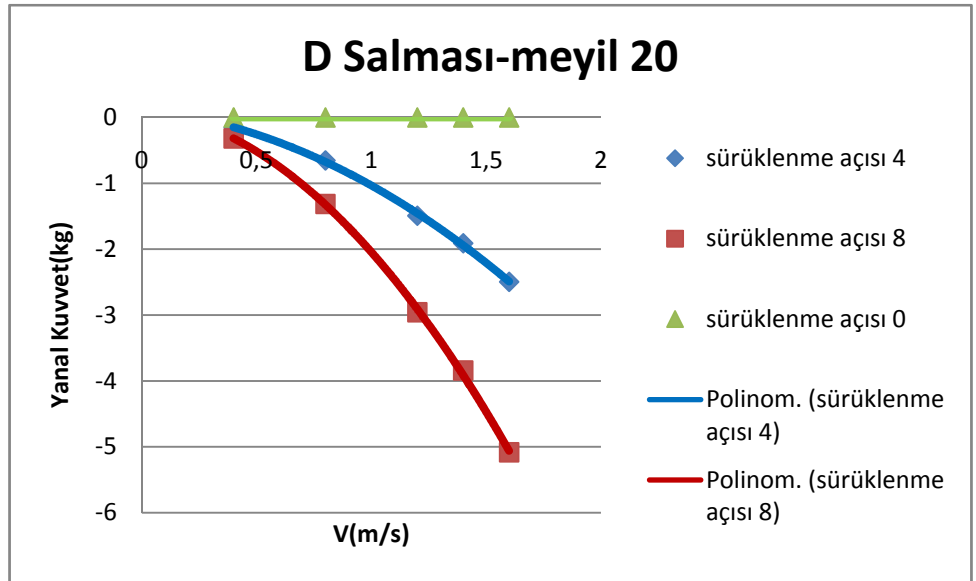
Şekil A.17: C salması, meyil 20-sürüklenme açısına göre yanal kuvvet



Şekil A.18: D salması, meyil 0-sürüklenme açısına göre yanal kuvvet

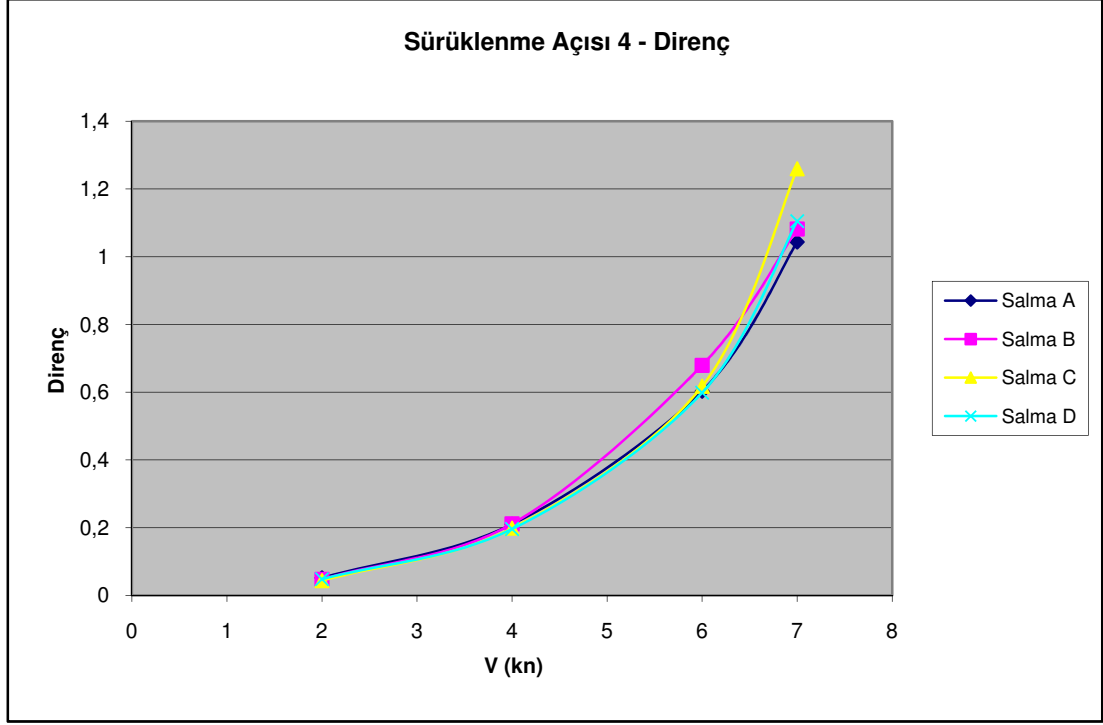


Şekil A.19: D salması, meyil 15-sürüklenme açısına göre yanal kuvvet

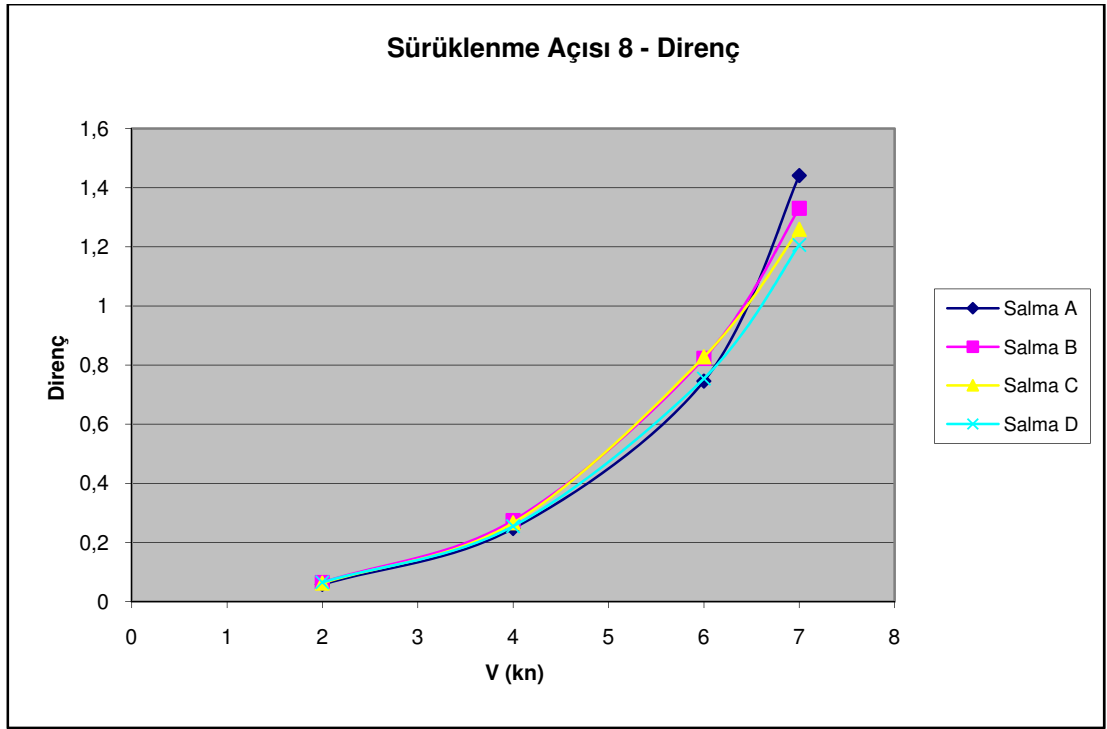


Şekil A.20: D salması, meyil-20 sürüklenme açısına göre yanal kuvvet

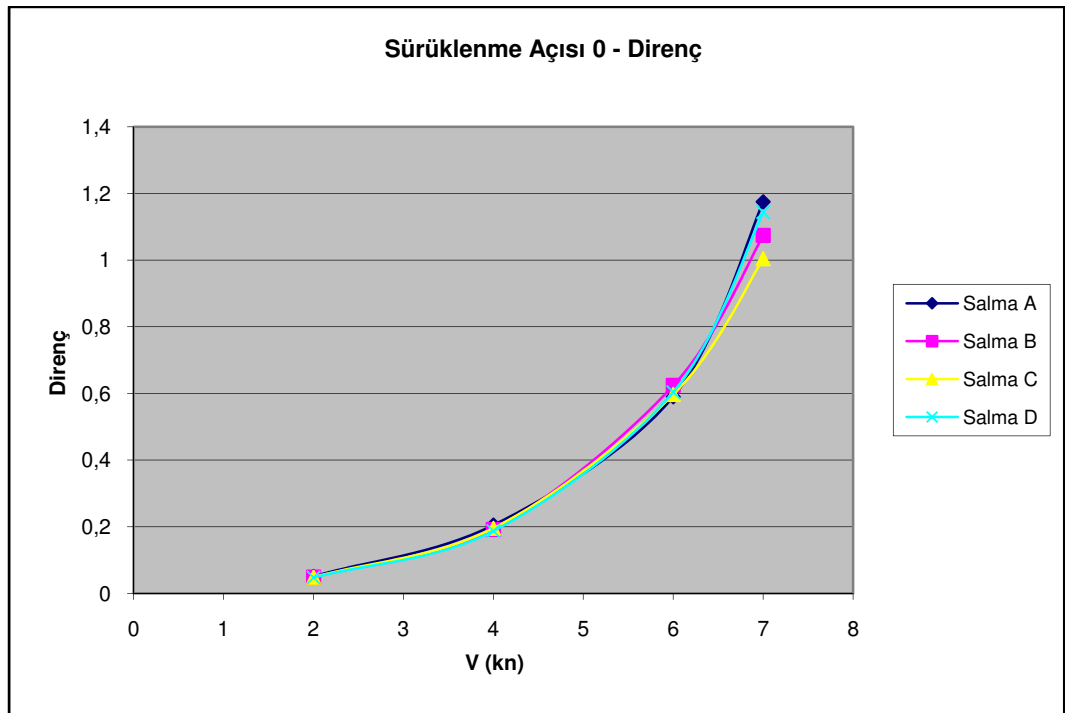
Ek B: Karşılaştırmalı sonuçlar



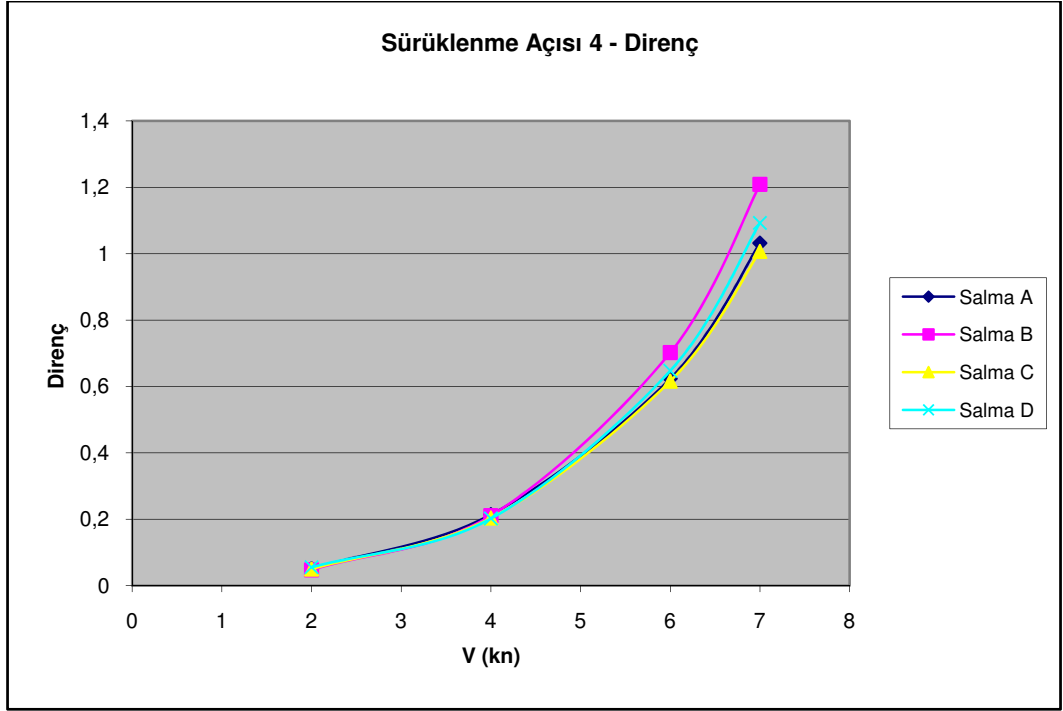
Şekil B.1: 4° sürüklenme ve 0° meyil açısında salmaların karşılaştırılması



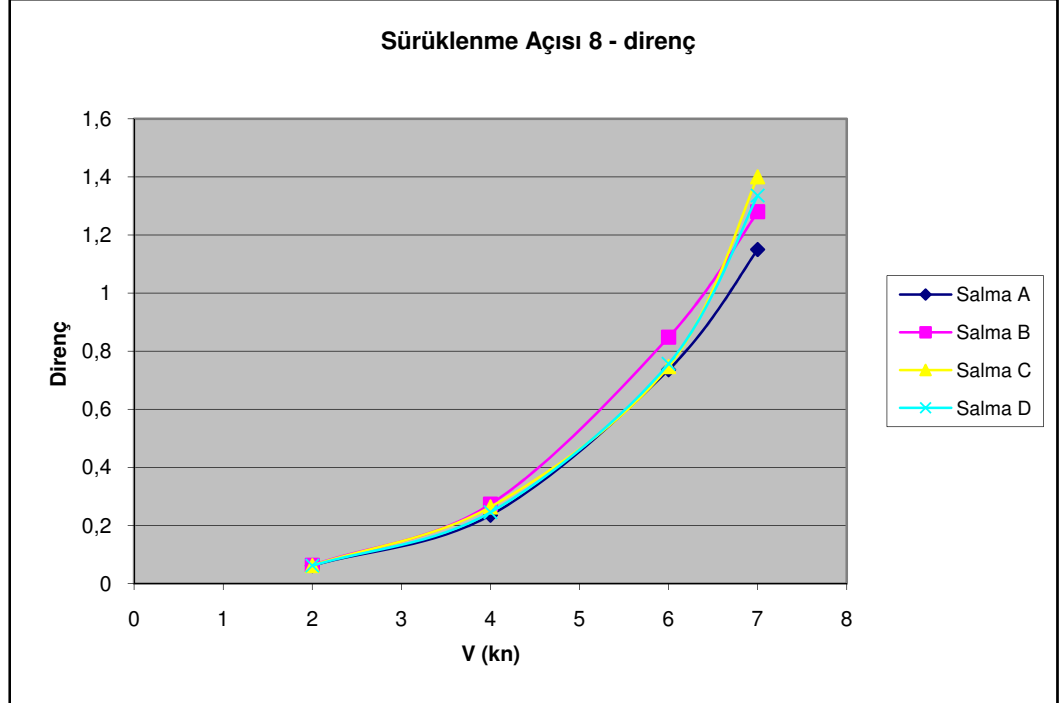
Şekil B.2: 8° sürüklenme ve 0° meyil açısında salmaların karşılaştırılması



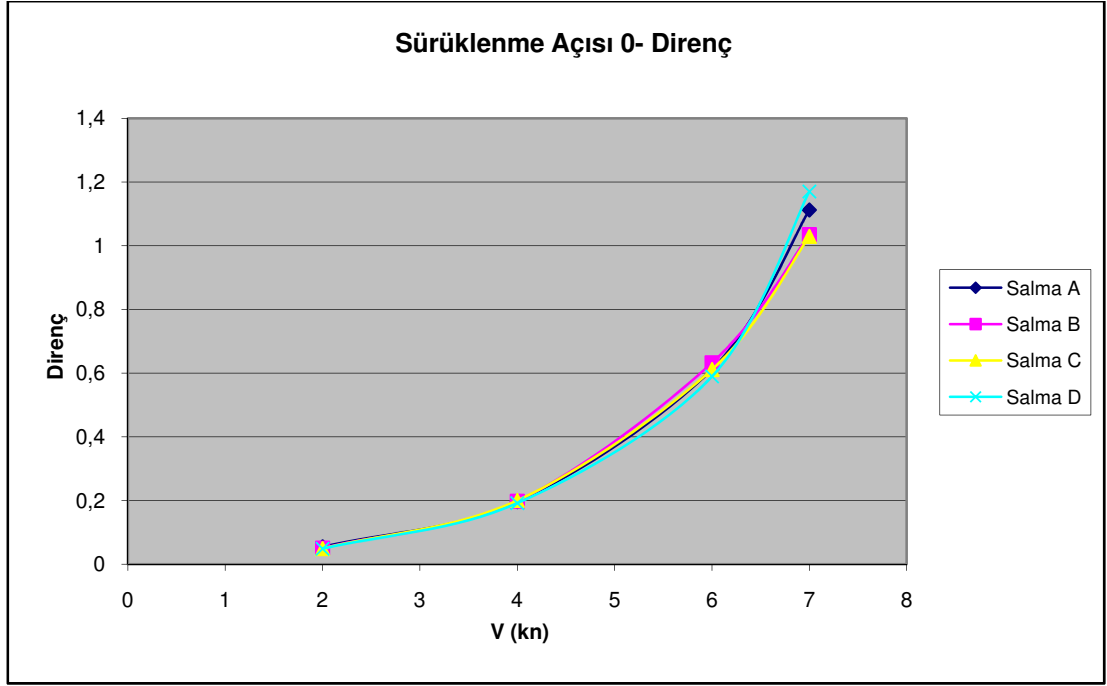
Şekil B.3: 0° sürüklenme ve 10° meyil açısında salmaların karşılaştırılması



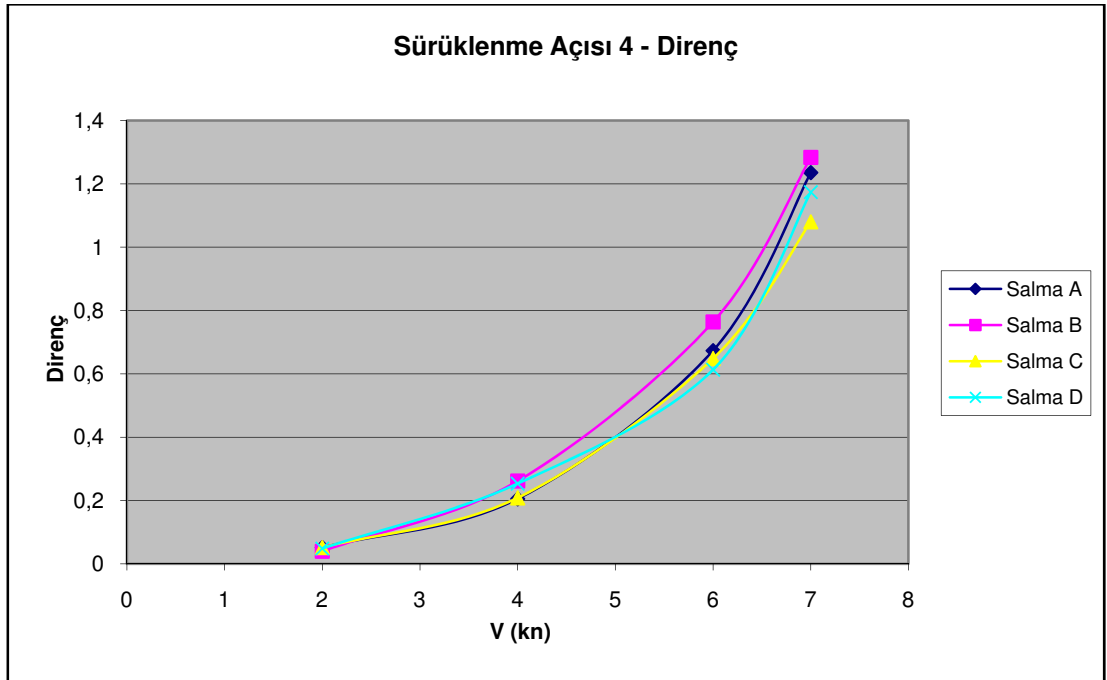
Şekil B.4: 4° sürüklenme ve 10° meyil açısında salmaların karşılaştırılması



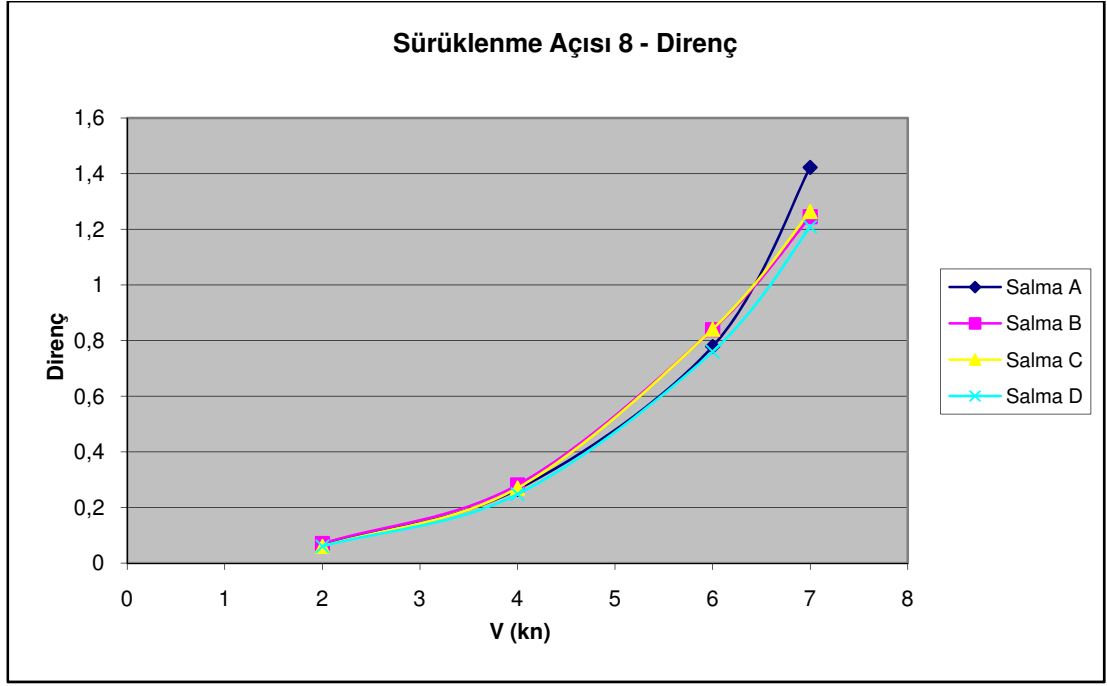
Şekil B.5: 8° sürüklenme ve 10° meyil açısında salmaların karşılaştırılması



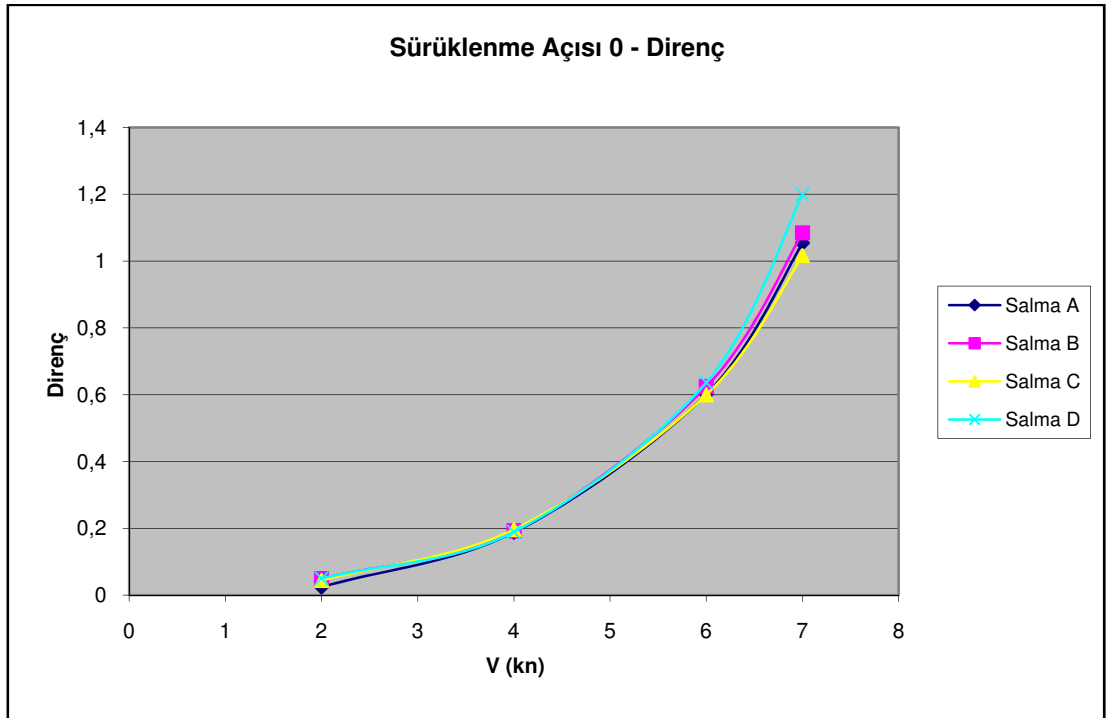
Şekil B.6: 0° sürüklenme ve 15° meyil açısında salmaların karşılaştırılması



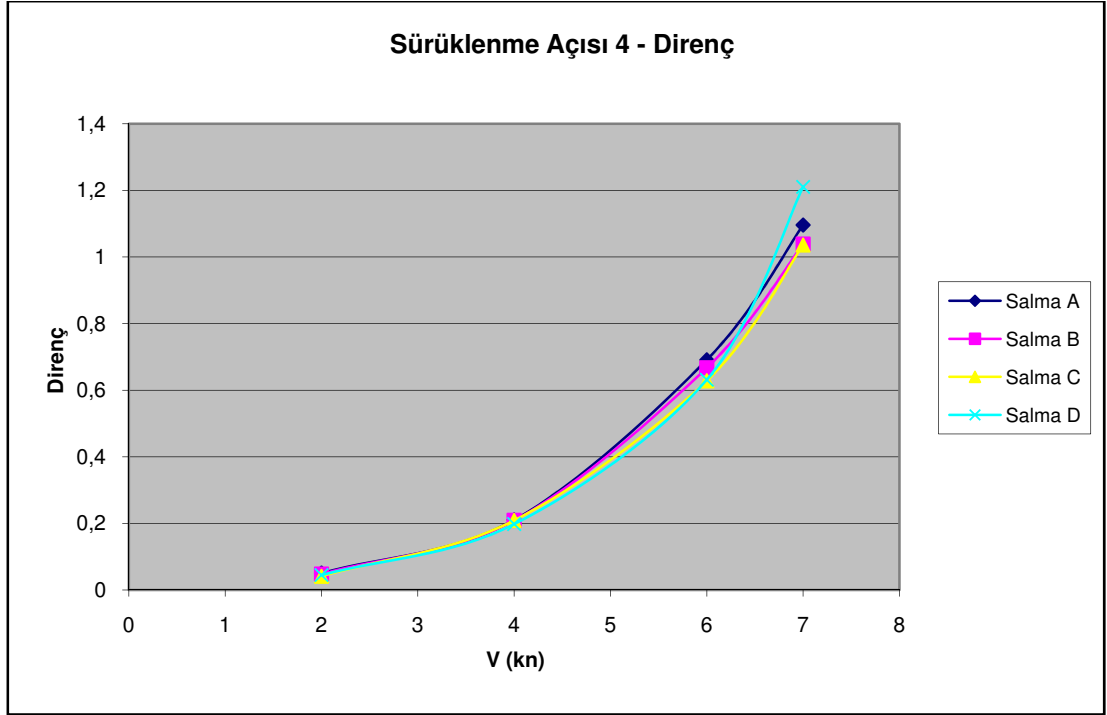
Şekil B.7: 4° sürüklenme ve 15° meyil açısında salmaların karşılaştırılması



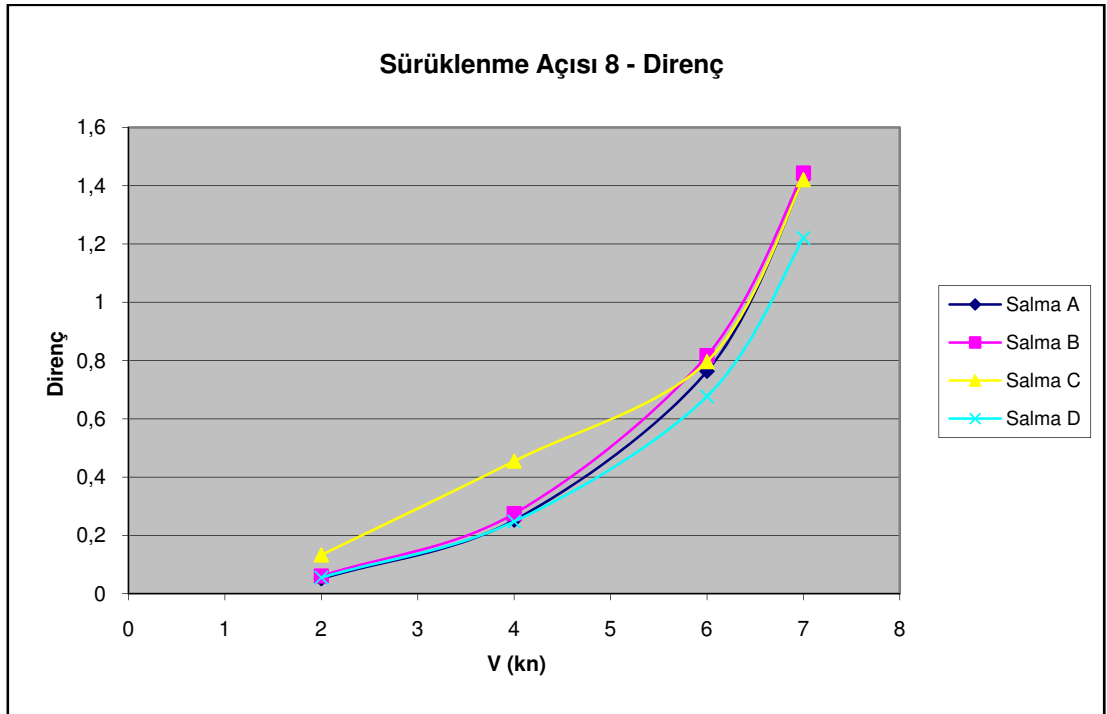
Şekil B.8: 8° sürüklenme ve 15° meyil açısında salmaların karşılaştırılması



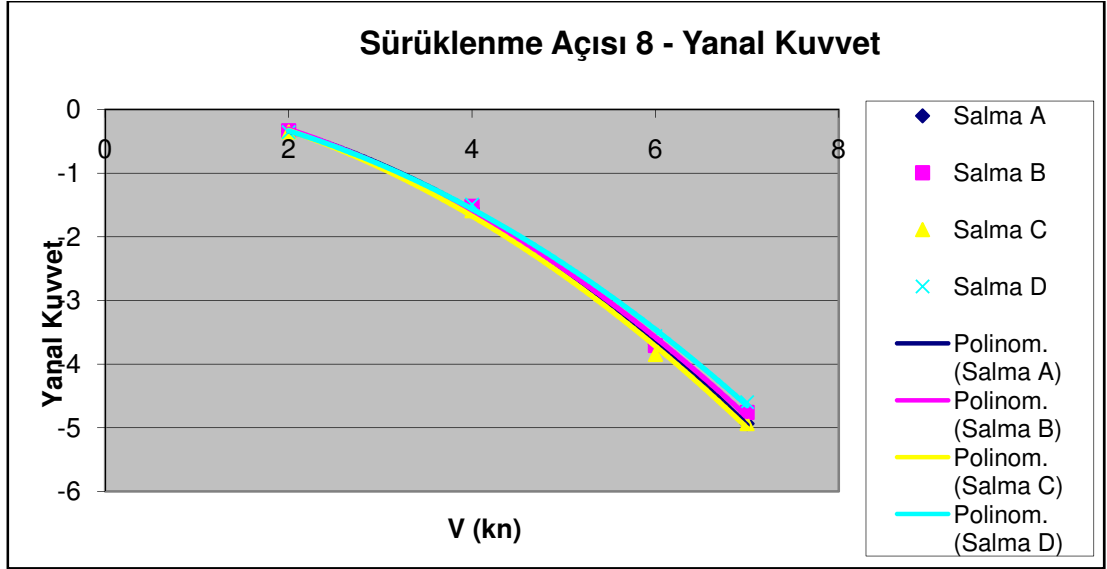
Şekil B.9: 0° sürüklenme ve 20° meyil açısında salmaların karşılaştırılması



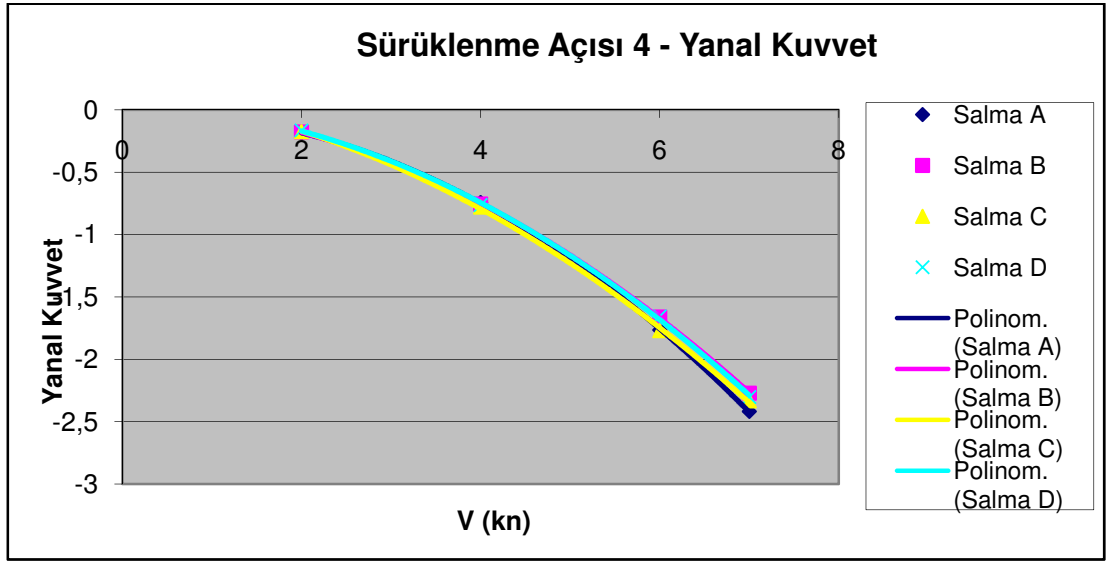
Şekil B.10: 4° sürüklenme ve 20° meyil açısında salmaların karşılaştırılması



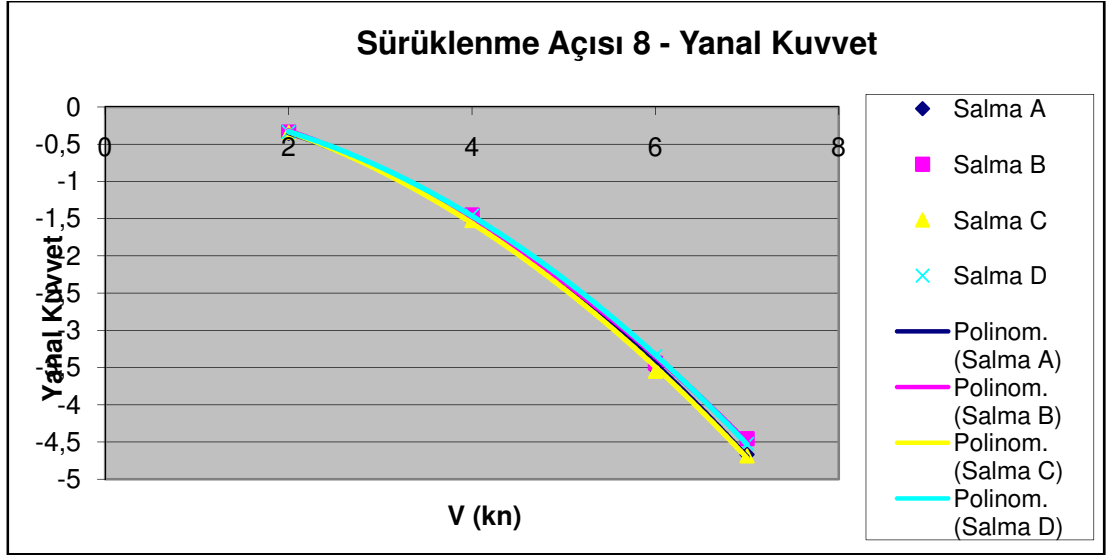
Şekil B.11: 4° sürüklenme ve 20° meyil açısında salmaların karşılaştırılması



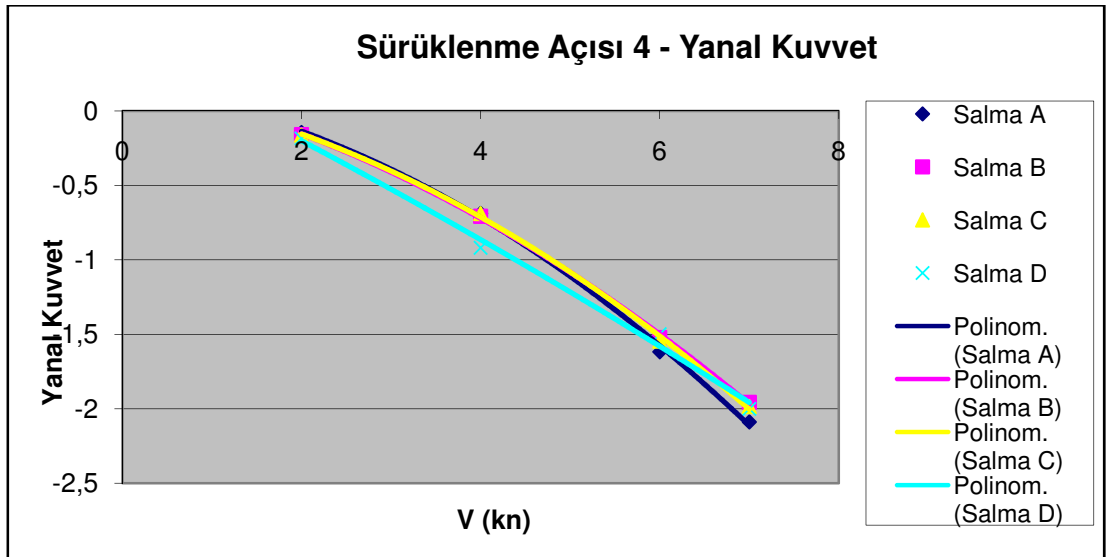
Şekil B.12: 8° sürüklenme ve 0° meyil açısında salmaların karşılaştırılması



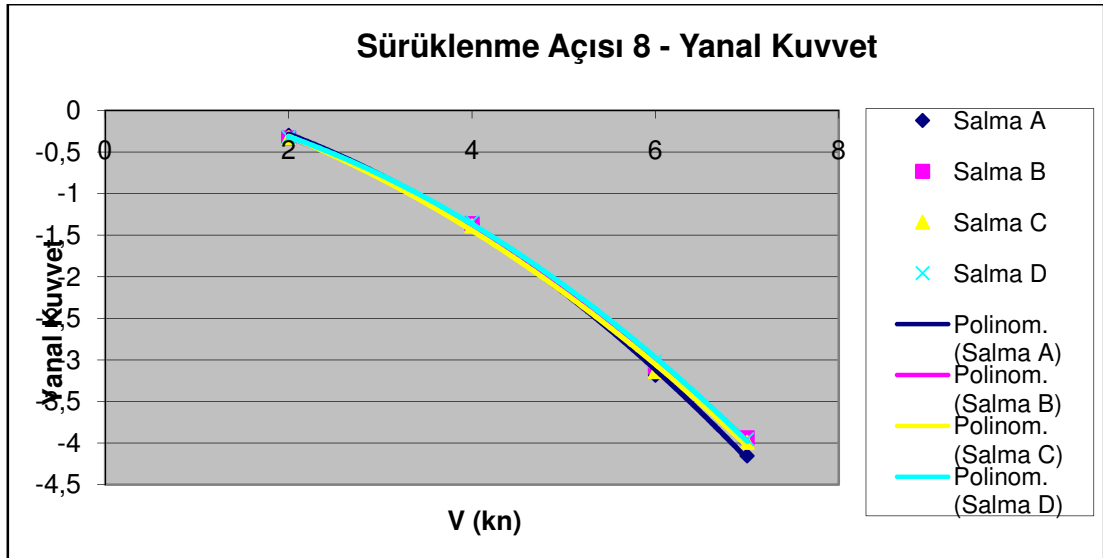
Şekil B.13: 4° sürüklenme ve 10° meyil açısında salmaların karşılaştırılması



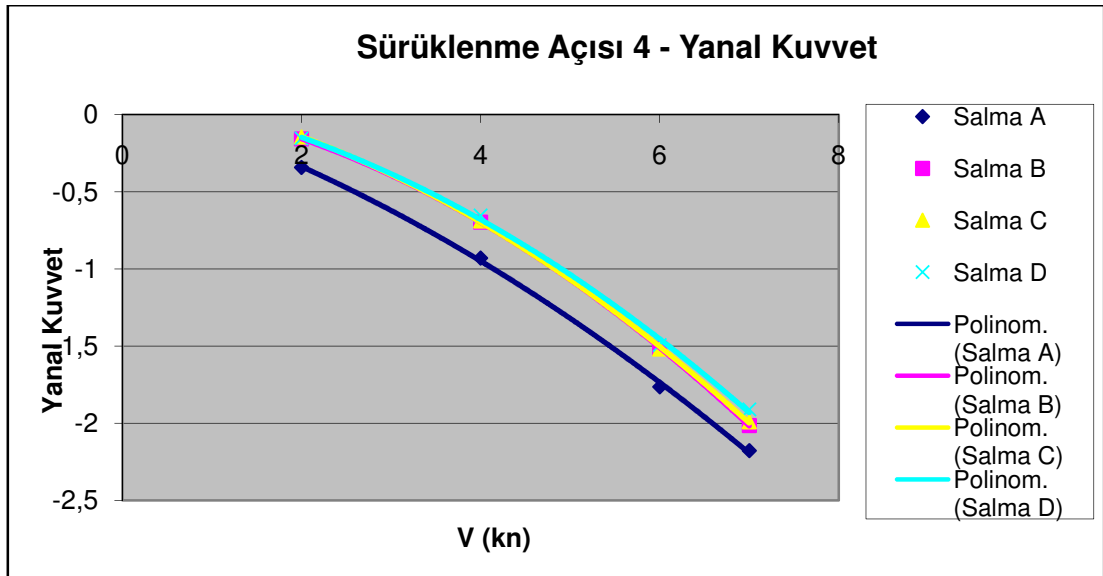
Şekil B.14: 8° sürüklenme ve 10° meyil açısında salmaların karşılaştırılması



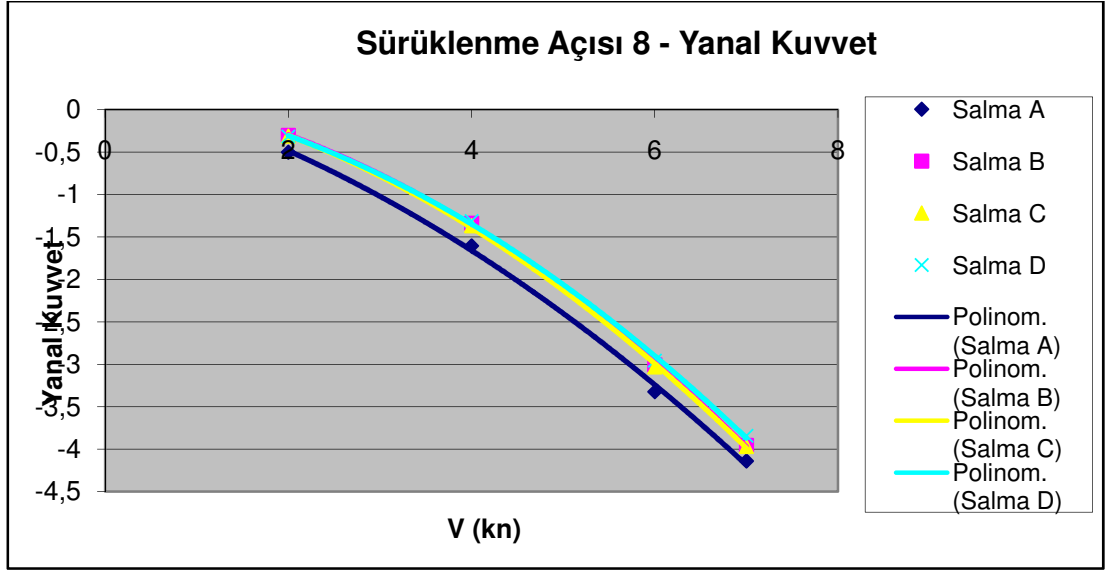
Şekil B.15: 4° sürüklenme ve 15° meyil açısında salmaların karşılaştırılması



Şekil B.16: 8° sürüklenme ve 15° meyil açısında salmaların karşılaştırılması



Şekil B.17: 4° sürüklenme ve 20° meyil açısında salmaların karşılaştırılması



Şekil B.18: 8° sürüklenme ve 20° meyil açısında salmaların karşılaştırılması

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Bora KİPER

Doğum Yeri ve Tarihi: Ankara / 29.12.1980

Adres: Ömerpaşa Cad. Fevzibey Apt. No:19/10 Caddebostan / İstanbul

Lisans Üniversitesi: Fizik Mühendisliği / İTÜ