

**2 ZAMANLI 2,5 HP GÜCÜNDE PATLAR MOTORLU  
GÖZLEM MİNİ-İHA  
TASARIMI VE SEYİR UÇUŞU ENİYİLEŞTİRMESİ**

Mustafa Serdar TEKÇE  
Yüksek Lisans Tezi

Uçak Gövde Motor Bakım Anabilim Dalı  
Ocak 2015

**Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri  
Komisyonu Başkanlığı tarafından desteklenmiştir. Proje No: 1306F251**

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

**Mustafa Serdar Tekçe'nin "2 Zamanlı 2,5 Hp Gücünde Patlar Motorlu Gözlem Mini-İHA Tasarımı Ve Seyir Uçuşu Eniyileştirmesi"** başlıklı, **Uçak Gövde Motor Bakım** Anabilim Dalındaki Yüksek Lisans Tezi, 23.12.2014 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından, Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca, değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	<b>Adı-Soyadı</b>	<b>İmza</b>
<b>Üye (Tez Danışmanı)</b>	<b>: Prof. Dr. T. HİKMET KARAKOÇ</b>	.....
<b>Üye (2. Danışman)</b>	<b>: Yrd. Doç. Dr. ÖNDER ALTUNTAŞ</b>	.....
<b>Üye</b>	<b>: Prof. Dr. MUSTAFA CAVCAR</b>	.....
<b>Üye</b>	<b>: Prof. Dr. SERKAN ÖZGEN</b>	.....
<b>Üye</b>	<b>: Doç. Dr. ONUR TUNÇER</b>	.....

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

Enstitü Müdürü

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **2 ZAMANLI 2,5 HP GÜCÜNDE PATLAR MOTORLU GÖZLEM MİNİ-İHA TASARIMI VE SEYİR UÇUŞU ENİYİLEŞTİRMESİ**

**Mustafa Serdar TEKÇE**

**Anadolu Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Uçak Gövde Motor Bakım Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. T. Hikmet KARAKOÇ**

**2014, 81 sayfa**

Görev tanımı arama-tarama ve gözlem olan küçük ölçekli bir İnsansız Hava Aracı (İHA) için, geleneksel tertibe sahip iki zamanlı patlar motorlu bir uçak çerçevesinde tasarım çalışmaları yapılmıştır. Tasarlanan uçağın bileşenleri (kanat, kuyruk, gövde) önce tekil halde, daha sonra bütünlenmiş uçak halinde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizlerinde incelenmiş ve bileşenlerin aerodinamik etkileşimleri ortaya konmuştur. Seçilen motorun seyir uçuşu başarımı mevcut tasarım ile irtifaya bağlı olarak kuramsal ve deneysel yöntemler ile çıkarılmıştır. Gözlem için seçilen kameranın yerden yüksekliğe bağlı başarımı irdelenmiştir. Tasarım, motor ve kamera başarımı harmanlanarak arama-tarama görevinin icrasında önerilen seviye uçuşu koşulları belirlenmiştir. Böylelikle, oluşturulan gözlem İHA sisteminin seyir uçuşu eniyileştirmesi değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Gözlem, İHA, Tasarım, HAD, Motor, Kamera, Görev

## **ABSTRACT**

**Master of Science Thesis**

### **2 STROKE 2.5 HP GLOW ENGINE POWERED RECONNAISSANCE UAV (UNMANNED AERIAL VEHICLE) DESIGN AND CRUISE FLIGHT OPTIMIZATION**

**Mustafa Serdar TEKÇE**

**Anadolu University  
Graduate School of Sciences  
Aircraft Fuselage Engine Maintenance Program**

**Supervisor: Prof. Dr. T. Hikmet KARAKOÇ**

**2014, 81 pages**

Design studies for a small scale UAV concept which has (glow) engine, conventional configuration and reconnaissance mission profile were made. Aerodynamic analyses using CFD (Computational Fluid Dynamics) were carried out in two stages; (i) components of designed aircraft (wing, empennage, fuselage), and (ii) whole aircraft. Accordingly, a comparative evaluation of aircraft components' aerodynamic behavior was made for singular and assembled situations. Cruise flight performance of the engine was investigated for the designed aircraft with theoretical and experimental processes according to altitude. Camera performance was investigated according to elevation. Design, engine and camera performance values was blended into reconnaissance mission execution in order to find out recommended cruise flight conditions. Thus enabled evaluation of cruise flight optimization of composed UAV system.

**Keywords:** Reconnaissance, UAV, Design, CFD, Engine, Camera, Mission

## ÖNSÖZ

Bilim ve teknoloji, insanoğlunun önce hayal ve merak dünyasında ruh bulagelmiş, daha sonra araştırma ve geliştirme çalışmaları ile gerçek dünyada vücuda bürünmüştür. Benzer şekilde, çalışma öncesinde araştırmacının ufkuna giren konular esin ve merak kaynağı olarak birleşerek mevcut çerçeveyi oluşturmuştur.

Mühendislik, bilginin teknolojiye dönüşümü olarak değerlendirildiğinde, çalışmanın çıktısı olarak bir uygulama veya uygulamaya rahatlıkla dönüşebilecek bir araştırma hedeflenmesi yerinde olacaktır.

Çalışmada icrası sunulan; kuramsal ve deneysel yöntemleri harmanlayan yaklaşım, sıradanlığa değil yeniliklere, bileşenlere değil bütüne; pürüzlere değil çözüme odaklanan ve araştırmacıları kendi fikirlerini uygulamaya teşvik etmeyi amaçlayan bir anlayışın ifadesidir.

Talebeliğin hayat boyu sürdüğü bilimsel zeminde yapılan her çalışmanın temelinde bazı kabuller ve varsayımlar; yönteminde kusurlar ve açıklar, sonuçlarında hatalar ve eksikler olması kaçınılmazdır.

Böylelikle, çalışmanın çerçevesi dâhilinde hedeflerine yönelik yaklaşımı ile ulaşılan sonuçlar; naçizane sunulmuştur.

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>v</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. YAYIN TARAMASI</b>	<b>3</b>
<b>3. TASARIM</b>	<b>4</b>
3.1. Görev Tanımı ve Gereksinimler .....	4
3.2. Doğa Araştırması.....	5
3.3. Boyutlandırma .....	7
3.4. Bileşenlerin Geometrilere ve Çizimleri .....	10
3.5. Bileşen ve Numune Üretimi .....	17
3.6. Tarafsız Nokta – Ağırlık Merkezi .....	21
3.7. Tasarım Çıktıları.....	26
<b>4. ANALİZ</b>	<b>27</b>
4.1. Kontrol Hacimleri.....	27
4.2. Çözüm Ağları .....	28
4.3. Çözücü Ayarları .....	29
4.4. Bulgular ve Gözlemler .....	30
<b>5. SEYİR UÇUŞU ENİYİLEŞTİRMESİ</b>	<b>35</b>
5.1. Motor Başarımı.....	35
5.2. Görüntü Kalitesi .....	44
5.3. Görev Başarımı.....	52
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>	<b>55</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>57</b>
<b>EKLER</b>	<b>59</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

3.1. Kanat yüklemesi – açıklık oranı	6
3.2. Kütle – kanat açıklığı	6
3.3. Göç hızı – seyir hızı	7
3.4. Yineleme döngüsü	8
3.5. Uçağın eskizleri	10
3.6. Kanat geometrisi	11
3.7. Yatay kuyruk geometrisi	12
3.8. Dikey kuyruk geometrisi	13
3.9. Kuyruk kuvvet kolu değerleri	13
3.10. Naca4410 - $CL \sim \alpha$	14
3.11. Naca4410 profili görünümü	14
3.12. Naca0008 - $CL \sim \alpha$	15
3.13. Naca0008 profili görünümü	15
3.14. Taslak çizim – Çapraz görünüm	16
3.15. Taslak çizim – Tüm görünümler	16
3.16. Kanat iskelet tasarımı	17
3.17. Kanat iskelet üretimi	17
3.18. Kanat ilkörnek görünümleri	18
3.19. Gövdenin kabuk çizimi ve kalıplar	19
3.20. Kompozit numuneler	19
3.21. Naca4410 ve Naca0008 - $CL \sim \alpha$ bağıntıları	21
3.22. Naca4410 ve Naca0008 - $CM \sim \alpha$ bağıntıları	22
3.23. Boylamasına moment hesabında etkenler	23
3.24. Kararlılık şartını sağlayan durumlar	24
3.25. Ağırlık merkezi konumu	25
3.26. Ağırlık merkezi etrafındaki moment	25

4.1. Bileşen kontrol hacimleri.....	27
4.2. Bütün uçak kontrol hacmi.....	28
4.3. Tekil durumda kanat etrafındaki akım çizgileri.....	33
4.4. Bütünleşik durumda kanat etrafındaki akım çizgileri.....	33
4.5. Tekil durumda gövde etrafındaki akım çizgileri.....	34
4.6. Bütünleşik durumda gövde etrafındaki akım çizgileri.....	34
5.1. Genel görünüm – Magnum XLS .61a.....	36
5.2. Motor deney düzeneği tasarımı.....	36
5.3. Motor deney düzeneği.....	37
5.4. Gaz kolu değerlerine karşılık gelen karıştırıcı durumları.....	38
5.5. Taşıyıcı disk teorisinde değişkenler.....	38
5.6. Deney verileri ile hesap sonuçlarının karşılaştırması.....	39
5.7. Hıza bağlı itki ve sürükleme değerleri.....	40
5.8. Devir miktarına göre gaz kolu değerleri.....	41
5.9. Devir Miktarına göre yakıt sarfiyatı eğrisi.....	42
5.10. Gaz kolu - devir miktarı – yakıt sarfiyatı.....	43
5.11. Genel görünüm - GoPro Hero 3 ve 2B yatak.....	44
5.12. Görüş açıları.....	45
5.13. Yer örnek aralığı.....	46
5.14. Tarama mesafesi.....	47
5.15. Varsayılan insan boyutları ölçümü.....	49
5.16. Nesnenin görüntüde kaplayacağı piksel sayısı eğrisi.....	50
5.17. Nesnenin ekrandaki boyut eğrisi.....	51
5.18. Görev kurgusu.....	52
5.19. Görev icrası eğrileri.....	54



## ÇİZELGELER DİZİNİ

3.1. Doğa araştırması - ortalama değerler.....	7
3.2. İlk tahmin bileşen ağırlıkları.....	8
3.3. İlk boyutlandırma tahmini.....	9
3.4. İlk boyutlandırma sonuçları.....	9
3.5. Kanat geometrisine ait değerler.....	11
3.6. Kuyruk geometrisinde önerilen değerler.....	12
3.7. Kuyruk geometrisine ait değerler.....	12
3.8. Kuyruk hacim katsayıları.....	13
3.9. Kanat ilkörnek ağırlık bileşenleri.....	18
3.10. Kabuk yüzey alanları.....	19
3.11. Gövde ilkörnek ağırlık bileşenleri.....	20
3.12. Uçak ilkörnek ağırlık bileşenleri.....	20
3.13. Asgari taşıma katsayıları ve tespit açıları.....	23
3.14. Tasarımın genel özellikleri.....	26
3.15. Kanat ve kuyruk özellikleri.....	26
3.16. Ağırlık merkezi ve tarafsız nokta konumları.....	26
4.1. Çözüm ağı yöntemi.....	28
4.2. Çözüm ağı özellikleri.....	29
4.3. Model (k-ε) değişkenleri, referans alan ve uzunluklar.....	30
4.4. Koşturmaların yakınsama bilgileri.....	30
4.5. Tekil ve bütünleşik durumlarda değişimler – Düzgün akış.....	32
4.6. Tekil ve bütünleşik durumlarda değişimler – Çalkantılı akış.....	32
4.7. Analiz sonuçlarına göre katsayılar.....	32
4.8. Analiz sonuçlarına göre taşıma/sürükleme oranları.....	32

5.1. Genel özellikler - Magnum XLS .61a.....	35
5.2. Seçilen pervane ile yapılan deney ölçümleri.....	38
5.3. Yakıt sarfiyatı deney sonuçları.....	42
5.4. Derlenen bulgular.....	43
5.5. Teknik özellikler – GoPro Hero 3.....	44
5.6. Görüş açısı değerleri.....	44
5.7. Hesaplanan odak uzaklığı değerleri.....	45
5.8. Görüntü özellikleri.....	45
5.9. Yer örnek aralıkları ve tarama mesafeleri.....	48
5.10. Varsayılan insan boyutları.....	48
5.11. Nesnenin görüntüde kaplayacağı piksel sayısı değerleri.....	49
5.12. Nesnenin ekrandaki boyut değerleri.....	51
5.13. Örnek görev icrası – 1000x1000m alan.....	53
5.14. Çeşitli görev icrası nicelikleri.....	54
5.15. Yakıt miktarlarına göre taranabilecek alanlar.....	55

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### *Simgeler*

b	: Açıklık (m)
W	: Ağırlık (kg),(g),(N)
R <sup>2</sup>	: Eğri Uygunluk Katsayısı
W/S	: Kanat Yüklemesi (kg/m <sup>2</sup> ),(N/m <sup>2</sup> )
S	: Alan (m <sup>2</sup> )
A	: Açıklık Oranı
V <sub>c</sub>	: Seyir Hızı (m/s)
h	: İrtifa, Yerden Yükseklik (m)
W <sub>s</sub>	: Yapısal Ağırlık (kg),(g),(N)
W <sub>p</sub>	: Güç Grubu Ağırlığı (kg),(g),(N)
W <sub>f</sub>	: Yakıt Ağırlığı (kg),(g),(N)
W <sub>a</sub>	: Aviyonik Ağırlığı (kg),(g),(N)
W <sub>pl</sub>	: Faydalı Yük Ağırlığı (kg),(g),(N)
W <sub>e</sub>	: Hava Aracı Boş Ağırlığı (kg),(g),(N)
c <sub>m</sub>	: Ortalama Veter Uzunluğu (m),(mm)
ρ	: Hava Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )
C <sub>L</sub>	: Taşıma Katsayısı
W <sub>e</sub> /W <sub>0</sub>	: Boş Ağırlık / Kalkış Ağırlığı Oranı
W <sub>0</sub>	: Kalkış Ağırlığı (kg),(g),(N)
λ	: Daralma Oranı
c <sub>r</sub>	: Kök Veter Uzunluğu (m),(mm)
c <sub>t</sub>	: Uç Veter Uzunluğu (m),(mm)
Γ	: Düzlem Açısı (°)
Λ	: Ok Açısı (°)
C <sub>ht</sub>	: Yatay Kuyruk Hacim Katsayısı
l <sub>ht</sub>	: Yatay Kuyruk Kuvvet Kolu (m)
S <sub>ht</sub>	: Yatay Kuyruk Alanı (m <sup>2</sup> )
C <sub>vt</sub>	: Dikey Kuyruk Hacim Katsayısı
l <sub>vt</sub>	: Dikey Kuyruk Kuvvet Kolu (m)
S <sub>vt</sub>	: Dikey Kuyruk Alanı (m <sup>2</sup> )
c <sub>w</sub>	: Kanat Ortalama Aerodinamik Veter Uzunluğu (m)
b <sub>w</sub>	: Kanat Açıklığı (m)
S <sub>w</sub>	: Kanat Alanı (m <sup>2</sup> )
Re	: Reynold Sayısı
α	: Hücüm Açısı (°)
L <sub>w</sub>	: Kanat Taşıma Kuvveti (N)
L <sub>ht</sub>	: Yatay Kuyruk Taşıma Kuvveti (N)
M <sub>w</sub>	: Kanat Momenti (N.m)
M <sub>ht</sub>	: Yatay Kuyruk Momenti (N.m)
q	: Dinamik Basınç (Pa),(N/m <sup>2</sup> )

- $C_{Lw}$  : Kanat Taşıma Katsayısı  
 $C_{Lht}$  : Yatay Kuyruk Taşıma Katsayısı  
 $C_{Mw}$  : Kanat Moment Katsayısı  
 $C_{Mht}$  : Yatay Kuyruk Moment Katsayısı  
 $M_{CG}$  : Ağırlık Merkezi etrafındaki Moment (N.m)  
 $C_M$  : Ağırlık Merkezi etrafındaki Moment Katsayısı  
 $\alpha_w$  : Kanat Hücum Açısı ( $^\circ$ )  
 $\alpha_{ht}$  : Yatay Kuyruk Hücum Açısı ( $^\circ$ )  
 $\alpha_{0w}$  : Kanat Tespit Açısı ( $^\circ$ )  
 $\alpha_{0ht}$  : Yatay Kuyruk Tespit Açısı ( $^\circ$ )  
 $x_w$  : Kanat Taşıma Kuvveti ile Ağırlık Merkezi arasındaki Kuvvet Kolu (m)  
 $x_{ht}$  : Yatay Kuyruk ve Kanat Taşıma Kuvvetleri arasındaki Kuvvet Kolu (m)  
 $c_{ht}$  : Yatay Kuyruk Ortalama Aerodinamik Veter Uzunluğu (m)  
 $x_{CG}$  : Ağırlık Merkezinin Uçak Burnundan Uzaklığı (m),(mm)  
 $k$  : Çalkantı Kinetik Enerjisi (turbulent kinetic energy)  
 $\varepsilon$  : Çalkantı Yitim Oranı (turbulent dissipation rate)  
 $l_c$  : Referans Uzunluk (characteristic length)  
 $l_e$  : Çalkantı Boyut Ölçeği (turbulent length scale)  
 $U$  : Hız Büyüklüğü (velocity magnitude)  
 $I$  : Çalkantı Yoğunluğu (turbulence intensity)  
 $C_\mu$  : Çalkantı Modeli Sabiti (k- $\varepsilon$  model parameter)  
 $Z,L$  : Taşıma Kuvveti (N)  
 $X,D$  : Sürüklenme Kuvveti (N)  
 $M$  : Moment (N.m)  
 $T$  : İtke Kuvveti (N)  
 $\pi$  : PI sayısı  
 $U_\infty$  : Serbest Akım Hızı (m/s)  
 $k_1,k_2$  : İtke Modeli Sabitleri  
 $F$  : İtke Kuvveti (N)  
 $F_0$  : Deniz Seviyesindeki İtke Kuvveti (N)  
 $\rho_0$  : Deniz Seviyesindeki Hava Yoğunluğu ( $kg/m^3$ )  
 $T$  : Sıcaklık (K)  
 $T_0$  : Deniz Seviyesindeki Sıcaklık (K)  
 $p$  : Algılayıcı Piksel Boyutu ( $\mu m$ ), (m)  
 $f$  : Odak Uzaklığı (mm), (m)  
 $\alpha_g$  : Görüş Açısı ( $^\circ$ )

## ***Kısaltmalar***

HP	: Beygir gücü
İHA	: İnsansız Hava Aracı
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
UAV	: "Unmanned Aerial Vehicle"
CFD	: "Computational Fluid Dynamics"
HALE	: "High Altitude Long Endurance"
MALE	: "Medium ALtitude Long Endurance"
MAV	: "Micro Aerial Vehicle"
MAC	: Ortalama Aerodinamik Veter (Mean Aerodynamic Chord)
Tet4	: Dörtüzlü eleman (4 düğüm noktalı)
Wed6	: Kama eleman (6 düğüm noktalı)
Pyr5	: Piramit eleman (5 düğüm noktalı)
RPM	: Devir Miktarı (Rounds per Minute) (dev/dk)
GK	: Gaz Kolu (%)
DM	: Devir Miktarı (dev/dk)
YS	: Yakıt Sarfıyatı (cc/dk)
PAL	: "Phase Alternating Line"
YÖA	: Yer Örnek Aralığı
TM	: Tarama Mesafesi
PS	: Piksel Sayısı
EB	: Ekrandaki Boyut
GS	: Geçiş Sayısı
B%	: Satır/Sütunlar arasındaki Bindirme oranı
DS	: Dönüş Sayısı
DG	: Dönüş Gezintisi
GG	: Görev Gezintisi
SG	: Seyir Gezintisi

## 1. GİRİŞ

Yakın zamanda oldukça popüler olan İnsansız Hava Araçları (İHA), askeri uygulamaların hâkimiyetinden sıyrılıp sivil uygulamalarda da yaygın kullanılmaya başlanmıştır. Böylelikle, çeşitli görev veya deneyler için çok çeşitli ve özel İHA tasarımları yapmak ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Üzerlerindeki aviyonik donanım ve faydalı yükler sayesinde model uçaklardan ayrılan küçük ölçekli İHA sistemleri olduğu gibi, yolcu uçağı büyüklüğünde olup uzun menzil ve havada kalma süresine sahip İHA sistemleri de mevcuttur.

Çalışmanın amacı, eldeki kaynaklar ve mevcut envanter ile; küçük ölçekte ve genel maksat bir arama-tarama gözlem İHA sistemi oluşturmaktır. Görevin icrası açısından başarımın ortaya konulması adına, sistemin unsurlarının incelenmesi kapsama dâhil edilmiştir. Unsurların başarımlarının harmanlanarak değerlendirilmesi sayesinde sistemin başarımının çıkarılması hedeflenmiştir.

Küçük ölçekten devasa ölçeğe geniş bir yelpazede sıralanabilecek her sistem için uçak tasarımı işi; özellikle aracın aerodinamik davranışının belirlenmesi hususu göz önünde bulundurulduğunda, oldukça karmaşık ve zahmetlidir. Tasarım faaliyetlerinin zahmeti, amaca uygun hava aracı sistemi geliştirilmesi yerine hazır ve faal sistemlerin tercih edilmesine sebep olmaktadır.

Hazır sistem şeklinde gelen hava araçlarının başarımı tam anlamıyla ve nicel olarak paylaşılmadığından bilinmemektedir. Hâlbuki tam manasıyla bir sistem değerlendirmesi yapılabilmesi için tasarımın özelliklerinin bilinmesi veyahut belirlenebilmesi gerekmektedir. Hava aracı özelliklerinin nicel olarak tespit edilebilmesi için, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizlerinin de kullanılmasıyla daha gerçekçi değerler üretmeyi amaçlayan tasarım çalışmaları yürütülmesine karar verilmiştir.

Belirli bir İHA sisteminde, hava aracından ziyade, kararlılık destekleyici ve seyrüsefer yönetici aviyonik donanımlar ile faydalı yük(ler) bulunmalıdır. Oluşturulacak İHA sistemi için düşünülen aviyonik donanımlar, piyasada bulunabilen, açık kaynak kodlar ile çalışan veya yazılımı değiştirilebilen ürünlerden seçilmesine karar verilmiştir. Bir gözlem İHA sisteminin faydalı yükü elbette bir

çeşit algılayıcı olmalıdır. Böylelikle, faydalı yük olarak görünür ışık aralığında çalışan bir kamera seçilmesine karar verilmiştir.

İHA sisteminin önemli unsurlarından güç grubu başarımının da gerçeğe yakın biçimde ve mümkün olduğunca uçuş şartlarına bağlı ifadeler ile belirlenmesine karar verilmiştir. Böylelikle, motor pervane sisteminin itki üretimi ile yakıt tüketiminin araştırılmasına karar verilmiştir.

Seçilecek kameranın gözlem görevini nasıl ve ne kadar ifa edeceği oldukça mühim bir unsur olarak sisteme dâhildir. Böylelikle, kamera başarımının nicel ifadeler ile araştırılmasına karar verilmiştir.

Tasarım çalışmalarının amacı, eldeki kaynaklar ile gereksinimleri yakalamaktır. Bunu en iyi yapan, tasarımda milyonlarca yıllık birikim ile rakipsiz ve paha biçilemez tecrübeye sahip olan doğadır. Her ne kadar, kuşlar ile uçakların uçuş mekanikleri pek çok yönden farklılık arz etse de, temel ve öz değişkenler çerçevesinde doğa benzetimli tasarım benimsenmiş; kuşların uçuş mekaniği ile ilgili yayınların ve çalışmaların araştırılmasına karar verilmiştir.

Çalışma kapsamındaki tasarım faaliyetlerinin amacı İHA sistemi için hava aracı teşkil etmektir. Çok yönlü sistemin bir ayağı olması hasebiyle hava aracı tasarımı oldukça sade bir çerçevede tutulmuştur.

Tasarımın seyir uçuşundaki aerodinamik davranışının tahmini için HAD analizleri kurgulanmıştır. Uçağın bileşenleri hem tekil hem de bütün uçak üzerinde incelenerek, bileşenlerin etkileşimi araştırılmak suretiyle tasarımın bütünlenmiş haliyle nasıl davranacağı tahmin edilmiştir.

Analizlerden gelen sonuçlar tasarım faaliyetleri ile birlikte değerlendirilmiş, motor ve faydalı yük başarımı incelemeleri sayesinde görevin icrası için gerek ve yeter şartlar ortaya konmuştur.

## 2. YAYIN TARAMASI

Yayın taramasında çok çeşitli çalışmalarda çeşitli odak noktalarına rastlanmıştır. Hemen hepsinde ya kuramsal zeminde kalınmış ya da sınırlı bir uygulama çerçevesi izlenmiştir.

Goraj ve ark. (1999), yüksek irtifa ve havada kalma süresine sahip (High Altitude Long Endurance - HALE) İHA tasarımı için; uçuş şartlarına bağlı Reynolds sayısının aşırı düzeyde değişimi sebebiyle özel aerodinamik gereksinimler, yüksek açıklık oranında hafif yapıların teşkili, güç grubu teknolojisi ve uçuş denetim sistemi şeklinde dört farklı zorluk olduğunu bildirmiştir [1].

Frulla ve Cestino (2008), güneş enerjisi panelleri ve yakıt hücresi sistemi sayesinde, 6-9 ay gibi çok uzun havada kalma sürelerine sahip bir (HALE) İHA için yapısal gereksinimleri araştırmıştır [2].

Nickol ve ark. (2007), (HALE) İHA tasarımı için çok çeşitli hava aracı tertiplerini, iki farklı görev tanımı (fırtına bilimi ve haberleşme aktarımı) çerçevesinde, başarımlar ve maliyet açısından incelemiş ve karşılaştırmıştır [3].

Grabowski ve ark. (2007), İHA sistemlerinin genellikle askeri amaçlı olmasına rağmen, sivil amaçlı uygulama yelpazesinin daha geniş olduğunu bildirmiştir. Orta irtifa yüksek havada kalma sürelerine sahip (Medium Altitude Long Endurance – MALE) İHA sistemlerine odaklanan çalışmada, sivil amaçlı kullanımda, emniyet ve güvenilirlik hususlarına özellikle vurgu yapılmıştır [4].

Capello ve ark. (2009), küçük ölçekli (Micro Aerial Vehicle - MAV) İHA sistemlerinde, görevlerin niteliği ve süresi göz önünde bulundurulduğunda insan gücü, yeteneği ve dikkatinin görevin icrasını olumsuz etkileyebileceğine vurgu yapmıştır. Dolayısıyla, küçük ölçekli İHA sistemlerinde, işin doğası gereği genellikle kararlılık destekleyici alt sistemler bulunduğu bildirilmiştir [5].

Weierman (2010), İHA'ların genellikle düşük Reynolds sayılarında işletildiğini ve kanat açıklığını sınırlayan fazla etken olmadığını bildirmiştir. Kanat ucu uygulamasıyla yakalanacak ufak da olsa verim artışı ile havada kalma süresi, faydalı yük kapasitesi veya menzilin artırılabilirliğini öne sürmüştür [6].



### 3. TASARIM

Görev tanımı ve gereksinimler göz önünde bulundurularak, doğa araştırmasında elde edilen değerler ve bağıntılardan faydalanılmış, uçağın ilk boyutlandırılması yapılmış ve eskizleri çizilmiştir. Uçak, kanat gövdeye ortadan tespitli, geleneksel kuyruk yapısına sahip, önden çeker motorlu, üçteker iniş takımına sahip bir tertip ile tasarlanmıştır. Uçağın ilkörnek ağırlığının gerçeğe yakın tahmini için bazı bileşenlerin detay tasarımı yapılmış ve numune üretilmiştir. Ağırlık merkezinin gerçeğe yakın tahmini için uçağın üzerinde bulunması öngörülen tüm donanım belirlenmiş ve tartılmıştır. Kanat ve kuyruk geometrilerinin de belirlenmesinin ardından boylamasına kararlılık durumu için tarafsız nokta ve ağırlık merkezi araştırması yapılmıştır. Tasarım faaliyetlerinin sonucu olarak uçağın genel özellikleri ve görünümü verilmiştir.

#### 3.1. Görev Tanımı ve Gereksinimler

Tasarlanması düşünülen hava aracının, belirli bir görev bölgesini sütun veya satırlar şeklinde taraması istenmektedir. Faydalı yükün düzgün veriler alarak aranan nesnenin bulunmasını kolaylaştırmak adına, hava aracının kararlı bir seyir uçuşu sergilemesi gereksinimler arasındadır. Eldeki imkânların kullanımı bir gereksinim olarak seçildiğinden, tasarım faaliyetlerinin paralelinde mevcut motor ve kameranın başarımının incelenmesi gerekmektedir. Hava aracının uçuş süresinin hemen hemen tamamı seyir uçuşundan oluşmaktadır. Böylelikle, tasarım çalışmalarının ivmesiz seviye uçuşu odağında gerçekleştirilmesi uygun görülmüştür. Güç grubu ve faydalı yük başarımı ayrıca başlıklar halinde incelenmiştir.

Hava aracının küçük ölçekte bir İHA sisteminde kullanılabilmesi için; kalkış ağırlığı 20 kg değerinin altında, kanat açıklığının 5 metreden düşük, seyir hızı 50-100km/sa değer aralığında, havada kalış süresi 30 dakikanın üstünde, kararlılık şartını sağlayan bir tasarımda olması istenmektedir.

### 3.2. Doğa Araştırması

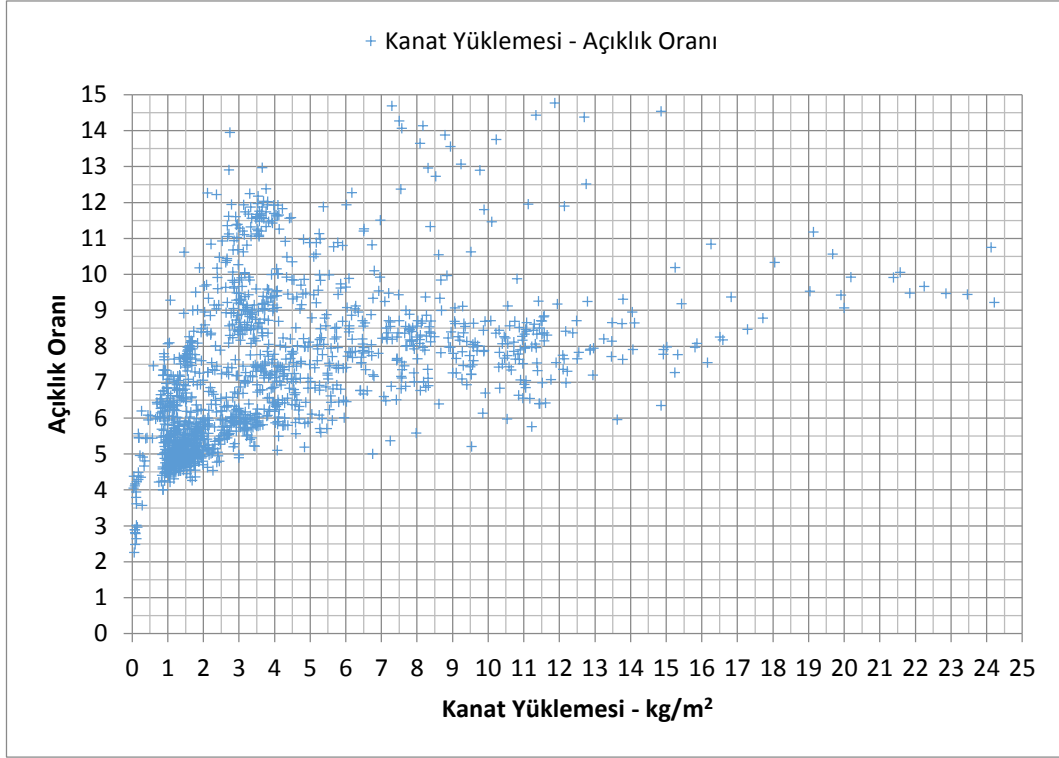
Özdeş araçların incelendiği sıradan bir rakip araştırması çalışmasının yerine kuş uçuşu ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Kuş uçuşu kendine has uçuş mekaniğine sahip olması sebebiyle hava araçlarının mekaniği ile kıyaslanmasında dikkatli olunmalıdır. Doğru yorumlandığında, kuş uçuşunun incelenmesinin, tasarım çalışmalarında oldukça faydalı olacağı düşünülmüştür.

Kuş uçuşu için; gerekli taşıma, uçaklarda olduğu gibi kanat tarafından üretilirken, gerekli itki kanat çırpma hareketiyle sağlanmaktadır. İlâveten; kuşun tüm geometrisi (gövde hariç denebilir); uçuş ve manevra sırasında şekil değiştirmektedir. Dahası; kuşlar, tüm şekil değiştiren geometrilerini yüksek hassasiyet ve hızda otomatik olarak kontrol edebilen oldukça gelişmiş beyinciklere (kararlılık destekleyici sistem) sahiptir. Kanat çırpma hareketi, şekil değiştiren geometriler ve kararlılık destekleyici sistem araştırma kapsamı dışındadır. Buna rağmen, ağırlık, kanat geometrisi, uçuş hızı ve bunların türevleri gibi diğer özellik ve değişkenler araştırma kapsamına dâhildir.

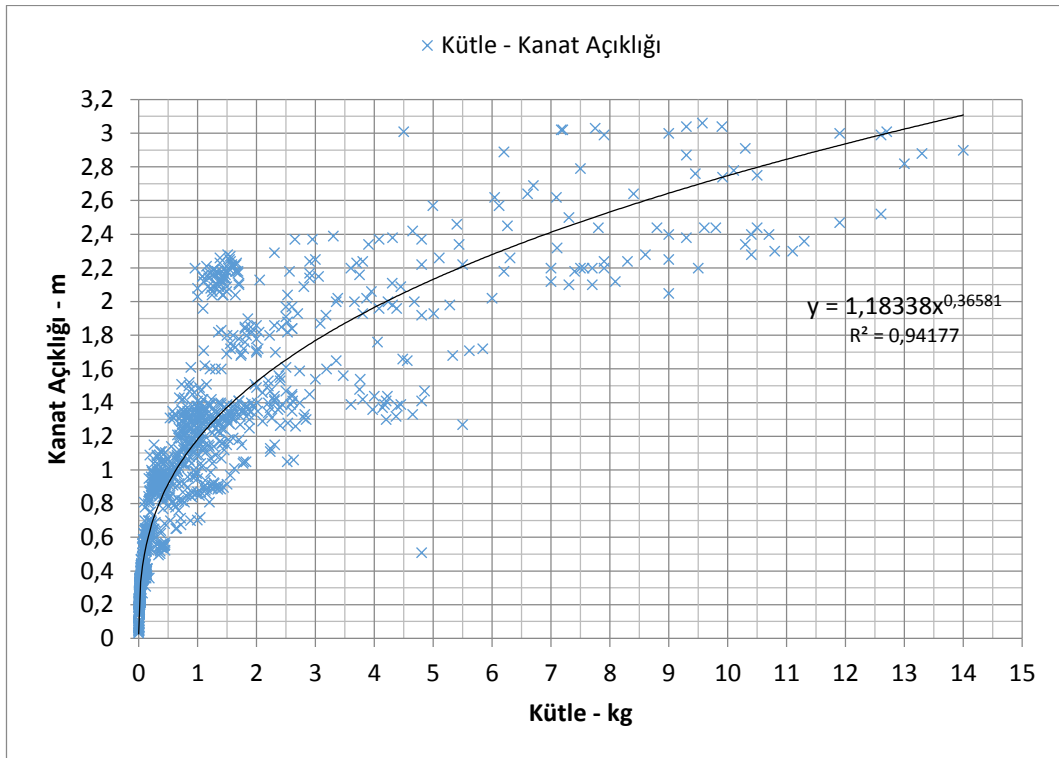
Ornitoloji<sup>1</sup> ve mühendislik alanlarının arasında yer alan kuş uçuşu, disiplinler arası bir etkinlik olduğundan sınırlı sayıda doğrudan kaynak mevcuttur. Birçok ornitoloji kaynağının içerisinde kuş uçuşunu mühendislik açısından inceleyen değerli yayınlara [7,8] rastlanmıştır. Böylelikle, birçok farklı kuş türüne ait yaklaşık 1600 adet örneğin verilerine ulaşılmıştır. Ulaşılan verilerden, uçak tasarım çalışmalarında anlamlı olanları seçilerek bir veri tabanı halinde derlenmiştir. Verilerin istatistikî değerlendirilmesi ve veri bulutlarına eğri uydurma işlemleri sonucunda, tasarım çalışmalarında kullanılmak üzere çeşitli değerler ve bağıntılar ortaya çıkarılmıştır. Böylelikle, bazı hususlarda doğanın uçuş konusundaki eğilimi belirlenmiştir.

---

<sup>1</sup> Ornitoloji, hayvan biliminin kuşları inceleyen alt dalıdır. Yeryüzündeki kuş türlerinin dağılımı, göçleri, davranışları ve çevre bilimi ornitolojinin başlıca ilgi alanlarını oluşturur.

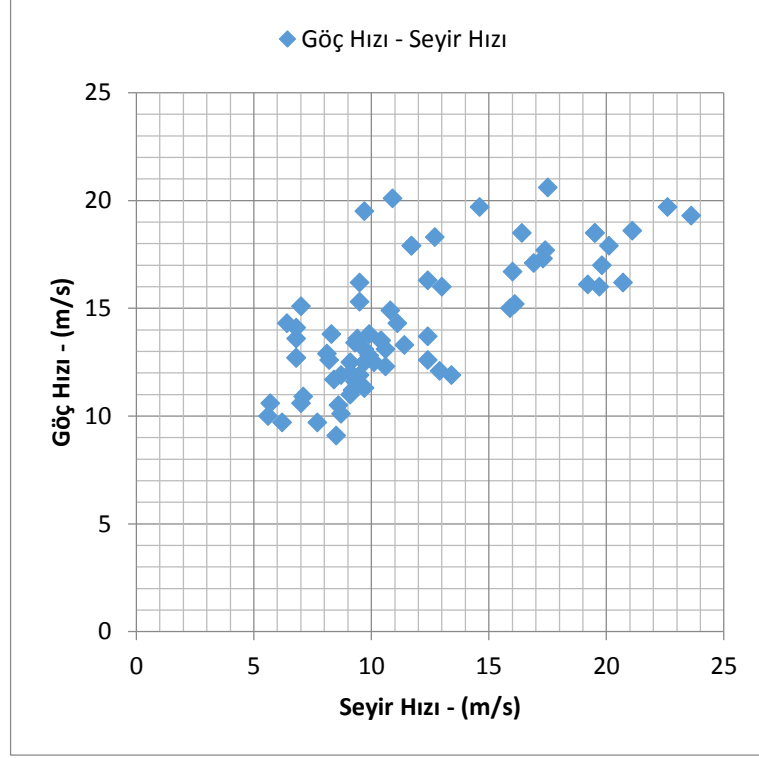


Şekil 3.1. Kanat yüklemesi – açıklık oranı



Şekil 3.2. Kütle – kanat açıklığı

$$b = 1,18338W^{0,36581} \quad (R^2=0,94177) \quad (3.1)$$



Şekil 3.3. Göç hızı – seyir hızı

Çizelge 3.1. Doğa araştırması - ortalama değerler

Kanat Yüklemesi	4,28	kg/m <sup>2</sup>
Açıklık Oranı	7,2	
Göç Hızı	14,3	m/s

Doğa araştırması sonucunda; kanat yüklemesi ve açıklık oranı arasındaki ilişkide Şekil 3.1’de görüldüğü üzere üç farklı eğilim gözlenmiştir. İlâveten, kanat açıklığı ile kütle arasındaki ilişkide Şekil 3.2’de görüldüğü üzere tek bir eğilim gözlendiği halde veri bulutuna eğri uydurularak denklem (3.1) çıkarılmıştır. Ayrıca, uçuş hızı ile ilgili Şekil 3.3’te görüldüğü üzere, göç hızının seyir hızından düşük olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 3.1’de verilen ortalama değerlere göre deniz seviyesi için taşıma katsayısı hesabı yapıldığında;  $C_L \approx 0,335$  değerine ulaşılmıştır.

### 3.3. Boyutlandırma

Tahmin çalışmaları için kanat yüklemesi (W/S), açıklık oranı (A) ve seyir hızı ( $V_c$ ) gibi ilk değerler doğrudan doğa araştırmasından alınmıştır. Tasarımın çevre şartları Eskişehir ( $h=780\sim 800$ ) temel alınarak seçilmiştir. Ağırlık için ilk değer

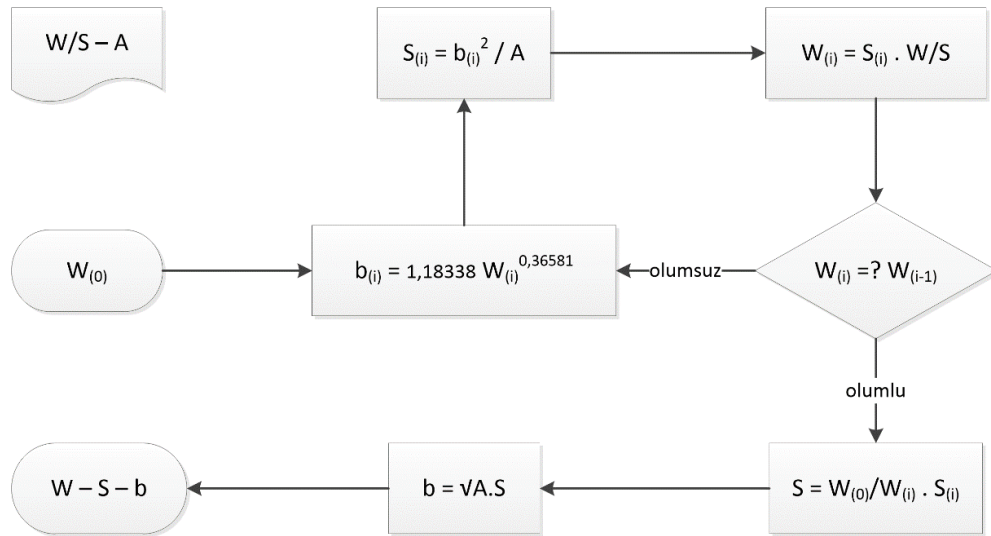
tahmini bileşen ağırlıkları tartılarak yapılmıştır. İlk değerler, denklem (3.1) ile birlikte değerlendirilerek ilk boyutlandırma ve eskiz çalışmaları yapılmıştır.

Uçağın ağırlık bileşenleri; yapısal, güç, yakıt, aviyonik ve faydalı yük olarak seçilmiştir. İlk tahmin için uçağın yapısal ağırlığının güç ve aviyonik ağırlıklarının toplamına eşit olacağı kabul edilmiştir. Uçakta kullanılması öngörülen tüm donanım EK.1’de değerleri görüldüğü üzere tartılmış ve bileşen ağırlıkları belirlenmiştir. Bileşen ağırlıklarının toplamından gelen değer farazi bir kuş ağırlığına eşit olduğu hayal edildiğinden; iyileştirilmiş tahminden evvel yakıt ağırlığı bilinçli olarak düşük tutulmuştur. Böylelikle, ilk ağırlık tahmini uçak için değil farazi bir kuş için gerçekleşmiş olmaktadır. Kuşlarda, hariçten bir yakıt ikmali ve faydalı yük bindirmesi olmadığından, bu farazi tahmin değeri; uçağın boş ağırlığı olarak kabul edilebilir.

**Çizelge 3.2.** İlk tahmin bileşen ağırlıkları

$W_s$	1550 g	43%
$W_p$	1000 g	28%
$W_f$	100 g	3%
$W_a$	550 g	15%
$W_{pl}$	400 g	11%
$W_e$	3600 g	100%

İlk boyutlandırma tahminleri Şekil 3.4’te döngüsü görülen yinelemeli bir hesaplama yöntemi ile yapılmıştır. Hesapların detayları EK.2’de verilmiştir.



**Şekil 3.4.** Yineleme döngüsü

İlk tahmin hesaplarında varılan sonuçlara göre yapılan boyutlandırmanın nicelikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** İlk boyutlandırma tahmini

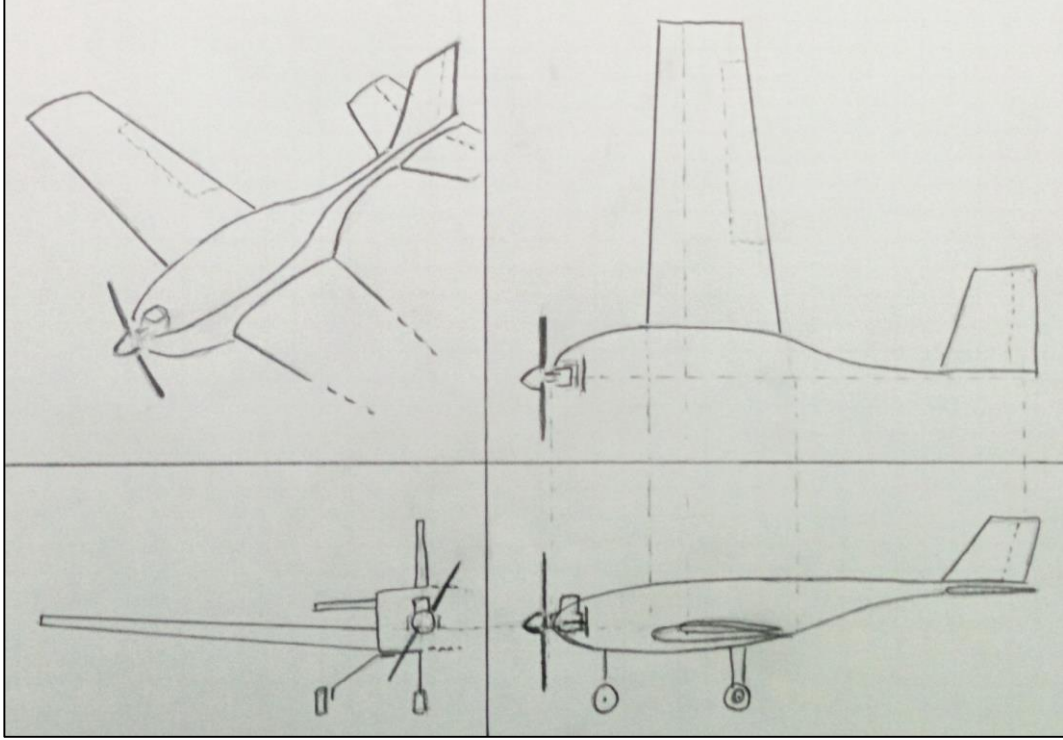
W/S	4,28	kg/m <sup>2</sup>
A	7,2	
V <sub>c</sub>	14,32	m/s
W	3,6	kg
S	0,841	m <sup>2</sup>
b	2,461	m
c <sub>m</sub>	0,342	m
ρ	1,135	kg/m <sup>3</sup>
C <sub>L</sub>	0,361	

Farazi kuşa ait bu tahmin sonuçlarını gerçek uçağa dönüştürmek için, bulunan ağırlık değeri uçağın boş ağırlığı olarak kabul edilmiştir. Mevcut ve geçmiş uçakların boş ağırlığının kalkış ağırlığına oranı ( $W_e/W_0$ ); kalkış ağırlığı arttıkça azalan bir eğilim göstermek koşuluyla, 0,3 ila 0,7 arasındadır [9]. Tasarlanacak uçağın kalkış ağırlığı ticari ve askeri uçaklara göre oldukça düşük olacağı düşünülür ve iyimser bir yaklaşım sergilenirse; boş ağırlığın kalkış ağırlığına oranı için 0,6 tahmin değeri makul görülebilir. Böylelikle hesaplanan  $W_0$  değeri 6 kg olarak yineleme döngüsüne sokulmuş ve varılan sonuçlara göre yapılan boyutlandırmanın nicelikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

**Çizelge 3.4.** İlk boyutlandırma sonuçları

W/S	7,13	kg/m <sup>2</sup>
A	7,2	
V <sub>c</sub>	14,32	m/s
W	6	kg
S	0,841	m <sup>2</sup>
b	2,461	m
c <sub>m</sub>	0,342	m
ρ	1,135	kg/m <sup>3</sup>
C <sub>L</sub>	0,601	

Kabaca boyutlandırma işlemleri tamamlandığından, uçağın karakalem eskizleri; kanat gövdeye ortadan tespitli, geleneksel kuyruk yapısına sahip, önden çeker motorlu, üçteker iniş takımına sahip bir tertip ile çizilmiştir.



Şekil 3.5. Uçağın eskizleri

### 3.4. Bileşenlerin Geometrileri ve Çizimleri

Eskizler çizilerek uçağın genel görünümü ortaya çıkarıldıktan sonra, bileşenlerin geometrileri, boyutlandırma çalışmalarının sonuçları doğrultusunda tespit edilmiştir. Kanat ve kuyruk profilleri seçilmiş, geometrileri çizilmiştir. Donanımın kaplayacağı hacim göz önünde bulundurularak gövde genişliği ve yüksekliği belirlenmiştir. Gövde boyu, kanat açıklığı ile orantılı bir şekilde hesaplanmıştır. Bileşen geometrileri tespit edildikten sonra, bütün uçak için taslak çizim yapılmıştır.

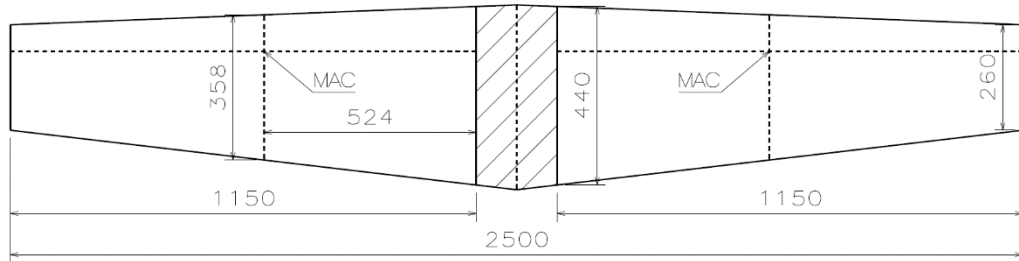
Gövde içerisinde bulunması düşünülen donanım için yeterli hacim sağlamak amacıyla gövdenin azami genişliği ve yüksekliği yaklaşık 20cm olması ve hacimli bölgenin 40-50cm uzunluğunda sürmesi istenmiştir. Gövde uzunluğu kanat açıklığının 0,6 oranında olacak şekilde hesaplanarak, 1,5m olarak seçilmiştir.

Kısaca gövde geometrisi; donanımı içerecek hacimde, yumuşak geçişli hatlara sahip, incelen kuyruk konisiyle üretilebilir bir şekilde tasarlanmıştır.

Boyutlandırma çalışması sonucu bulunan değerler tavana yuvarlanarak; kanat açıklığı 2,5m, ortalama veter uzunluğu 0,35m olarak seçilmiştir. Böylelikle, kanat referans alanı  $0,875\text{m}^2$  ve açıklık oranı 7,143 olmaktadır. Gövdenin 20cm olan genişliği de hesaba katılırsa, kanat açıklığı 2,3m olmakta, ortalama veter uzunluğu değiştirilmez ise kanat alanı  $0,805\text{m}^2$  ve açıklık oranı 6,57 olmaktadır. Eliptik taşıma dağılımı için önerilen daralma oranı 0,45 olarak kaydedilmiştir [9]. Yüksek daralma oranının kanat ucu geometrisinin üretiminde sıkıntı çıkaracağı düşüncesiyle daralma oranı 0,6 olarak seçilmiştir. Dolayısıyla, kök veter uzunluğu 0,44m ve uç veter uzunluğu 0,26m olarak hesaplanmıştır. Düşük hızlarda uçan araçlar için kanada ok açısı verilmesi gerekli görülmemiştir [9]. Benzer şekilde, aşırı hareketler yapması öngörülme-yen uçak için burulma açısı verilmesi de gerekli görülmemiştir [9]. Ortadan kanatlı uçaklar için düzlem açısı değer aralığı  $2-4^\circ$  olarak önerildiğinden [9], ortalama bir değer olarak  $3^\circ$  düzlem açısı uygun görülmüştür. Böylelikle belirlenen kanat geometrisine ait değerler Çizelge 3.5'te, genel görünümü ölçülü olarak Şekil 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.5. Kanat geometrisine ait değerler

Kanat Açıklığı	b	2,3	m
Ortalama Veter Uzunluğu	$c_m$	0,35	m
Kanat Alanı	S	0,805	$\text{m}^2$
Açıklık Oranı	A	6,57	
Daralma Oranı	$\lambda$	0,6	
Kök Veter Uzunluğu	$c_r$	0,44	m
Uç Veter Uzunluğu	$c_t$	0,26	m
Düzlem Açısı	$\Gamma$	3	$^\circ$



Şekil 3.6. Kanat geometrisi



Kuyruk (yatay ve dikey) geometrileri belirlenirken; veter uzunlukları profillerin üretilebilirliği gözetilerek olması gerekenden büyük tutulmuştur. Yine benzer şekilde, başlangıç noktasına göre kuvvet kollarının uzun olması sebebiyle, sürüklenme değerlerinin düşük olması için kuyruk alanları düşük tutulmuştur. Kuyruk geometrisi için genel maksat uçaklara önerilen bazı değişkenler örnek olması açısından Çizelge 3.6’da verilmiştir [9].

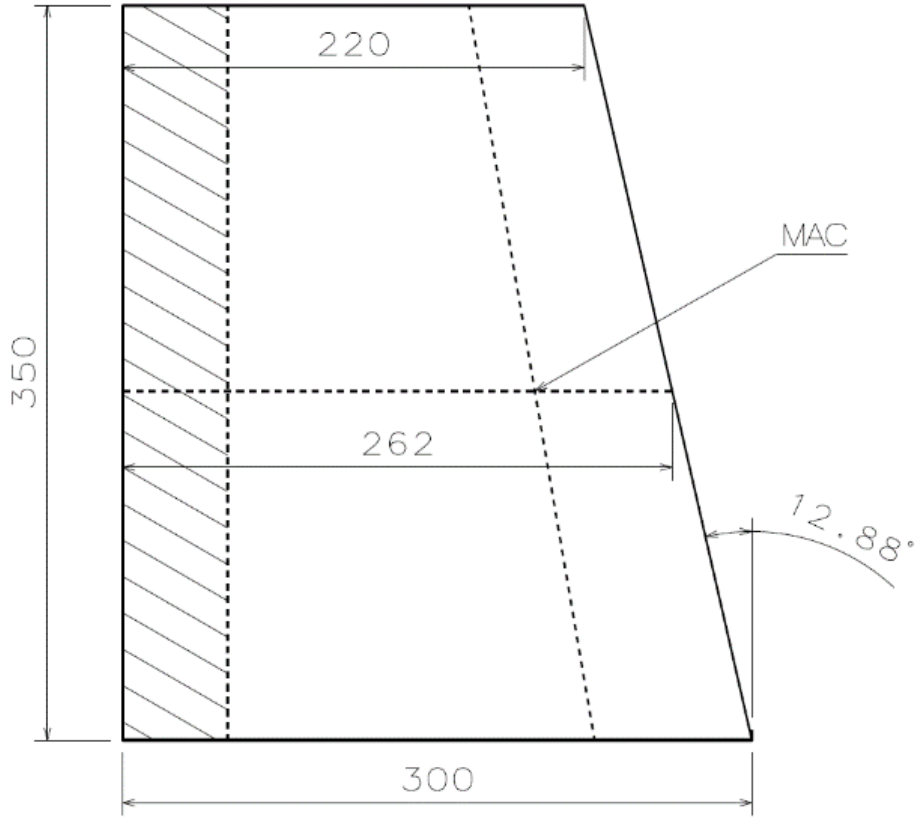
**Çizelge 3.6.** Kuyruk geometrisinde önerilen değerler

		Yatay	Dikey
Açıklık Oranı	A	3,0 ~ 5,0	1,3 ~ 2,0
Daralma Oranı	$\lambda$	0,3 - 0,6	0,3 - 0,6
Ok Açısı	$\Lambda$	$\approx 5^\circ \sim \leq 20^\circ$	$35^\circ \sim 55^\circ$

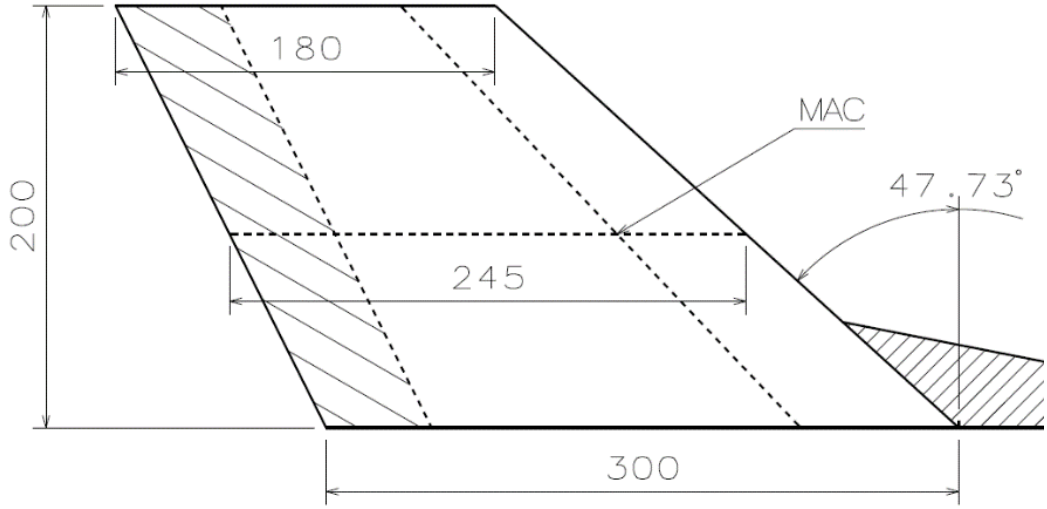
Uçağın genel maksat uçaklara görece çok küçük/hafif olması ve gövde geometrisinin farklı olması sebebiyle kuyruk geometrilerinin mevcut eğilimden sapması beklenebilir. Eskizlerden esinlenilerek kuyruk geometrileri izdüşüm görünümleri çizilerek boyutlandırıldığında, yatay ve dikey kuyruk geometrisi için belirlenen değerler Çizelge 3.7’de, genel görünümleri de ölçülü olarak Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de verilmiştir.

**Çizelge 3.7.** Kuyruk geometrisine ait değerler

		Yatay	Dikey
Açıklık	b	0,35 m	0,2 m
Ortalama Veter	$c_m$	0,26 m	0,24 m
Kök Veter	$c_r$	0,3 m	0,3 m
Uç Veter	$c_t$	0,22 m	0,18 m
Alan	S	0,091 m <sup>2</sup>	0,048 m <sup>2</sup>
Açıklık Oranı	A	1,35	0,83
Daralma Oranı	$\lambda$	0,73	0,6
Ok Açısı	$\Lambda$	12,87 °	47,72 °



Şekil 3.7. Yatay kuyruk geometrisi



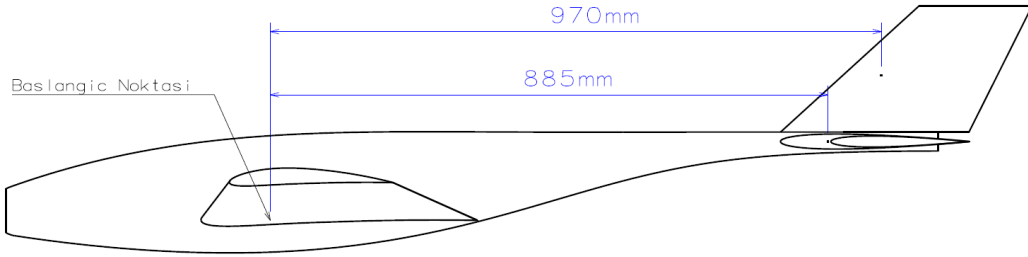
Şekil 3.8. Dikey kuyruk geometrisi

Kuyruk geometrilerinin uygunluğunun sorgulanması hacim katsayılarının hesaplanmasıyla mümkündür. Denklemler (3.2), (3.3) ve Şekil 3.9’da ölçüleri görülen kuyruk kuvvet kolu değerleri ile hesaplamalar yapılmıştır. Çizelge 3.8’de değerleri verilen hesap sonuçları önerilen katsayı değerleri ile karşılaştırıldığında,

hem yatay hem dikey kuyruk hacim katsayısı planör ile genel maksat uçaklar arasında bir noktaya denk gelmektedir [9]. Sonuç olarak, belirlenen kuyruk geometrilerinin nicelik olarak olmasa da etkinlik anlamında uygun olduğu kanaatine varılmıştır.

$$C_{ht} = \frac{l_{ht}S_{ht}}{c_w S_w} \quad (3.2)$$

$$C_{vt} = \frac{l_{vt}S_{vt}}{b_w S_w} \quad (3.3)$$

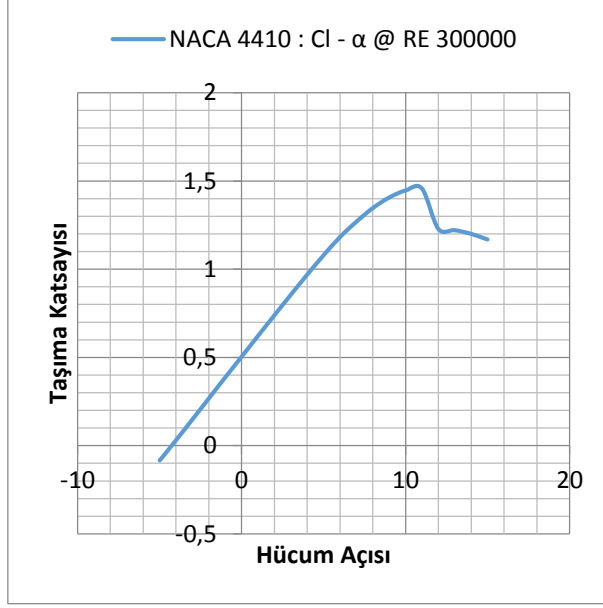


Şekil 3.9. Kuyruk kuvvet kolu değerleri

Çizelge 3.8. Kuyruk hacim katsayıları

	Yatay	Dikey
Hacim Katsayısı	0,056	0,025

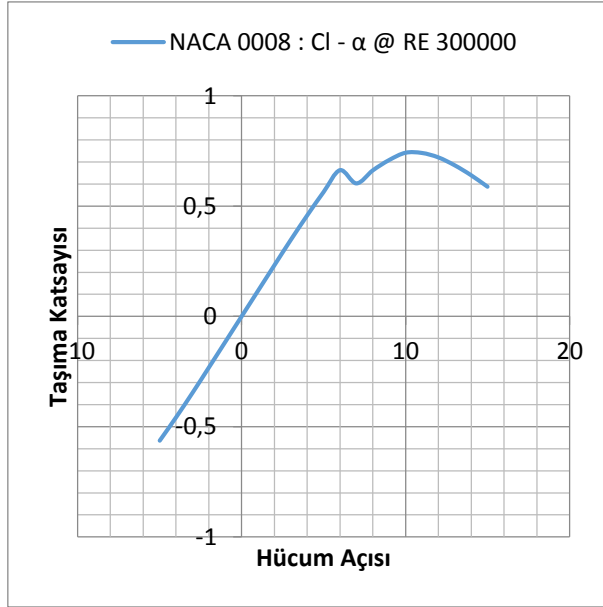
Kanat ve kuyruk profilleri için bilindik, üretilebilir ve düşük Reynolds sayısında iyi değerler çıkaran profiller öngörülmüştür. Hemen kabaca yapılan araştırmada, dört haneli “Naca” ailesinden, kanat ve kuyruk için sırasıyla 4415 ve 0012 profilleri uygun görülmüştür. Uçağın görevi gereği, uçuş süresinin hemen hemen tamamında seyir uçuşu yapılacağı ve aşırı hareketlerden kaçınılacağı göz önünde bulundurularak, sürüklemenin azaltılması amacıyla, kanat profili Naca4410 ve kuyruk (yatay ve dikey) profili Naca0008 olarak seçilmiştir. Seçilen profillerin; seyir uçuşu ( $Re \approx 300000$ ) şartlarındaki taşıma, sürüklenme ve moment katsayılarının hücum açısıyla değişimi ile alakalı değer ve çizelgeler EK.3’te verilmiştir. Kanat ve kuyruk profillerinin taşıma katsayısının hücum açısıyla değişimi ( $C_L \sim \alpha$ ), sırasıyla Şekil 3.10’da ve Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.10. Naca4410 -  $Cl \sim \alpha$



Şekil 3.11. Naca4410 profili görünümü

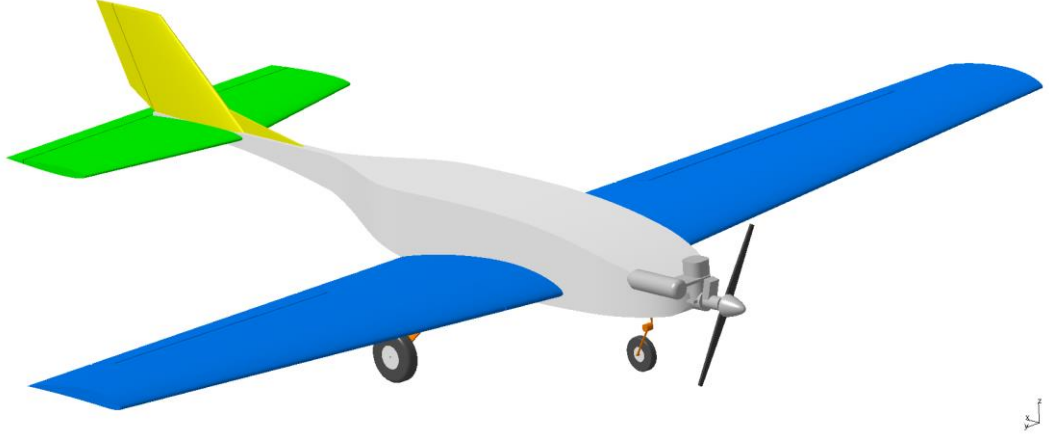


Şekil 3.12. Naca0008 -  $Cl \sim \alpha$

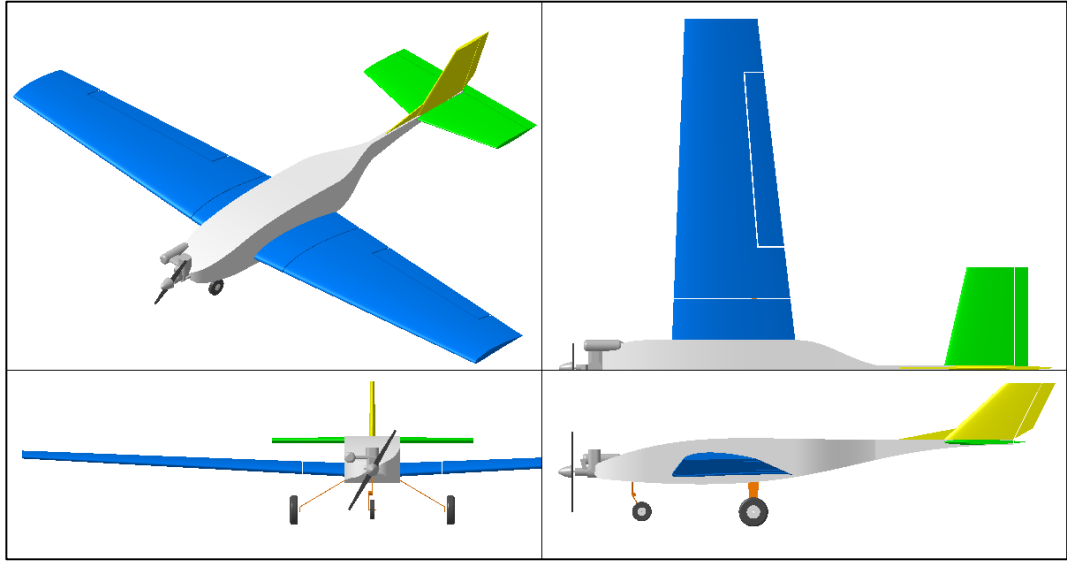


Şekil 3.13. Naca0008 profili görünümü

Boyutlandırma ve geometri belirleme çalışmalarının sonucunda varılan değerler ile taslak bir çizim yapılmıştır. Tasarımın mevcut aşamadaki durumuna ilişkin görseller Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.14. Taslak çizim - Çapraz görünüm



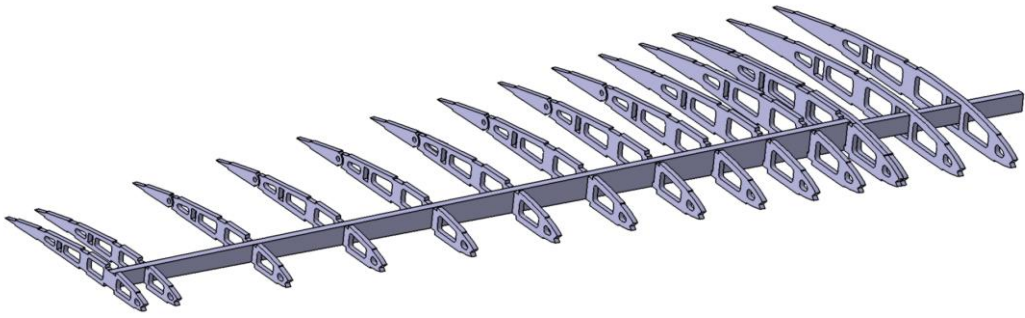
Şekil 3.15. Taslak çizim – Tüm görünümler

### 3.5. Bileşen ve Numune Üretimi

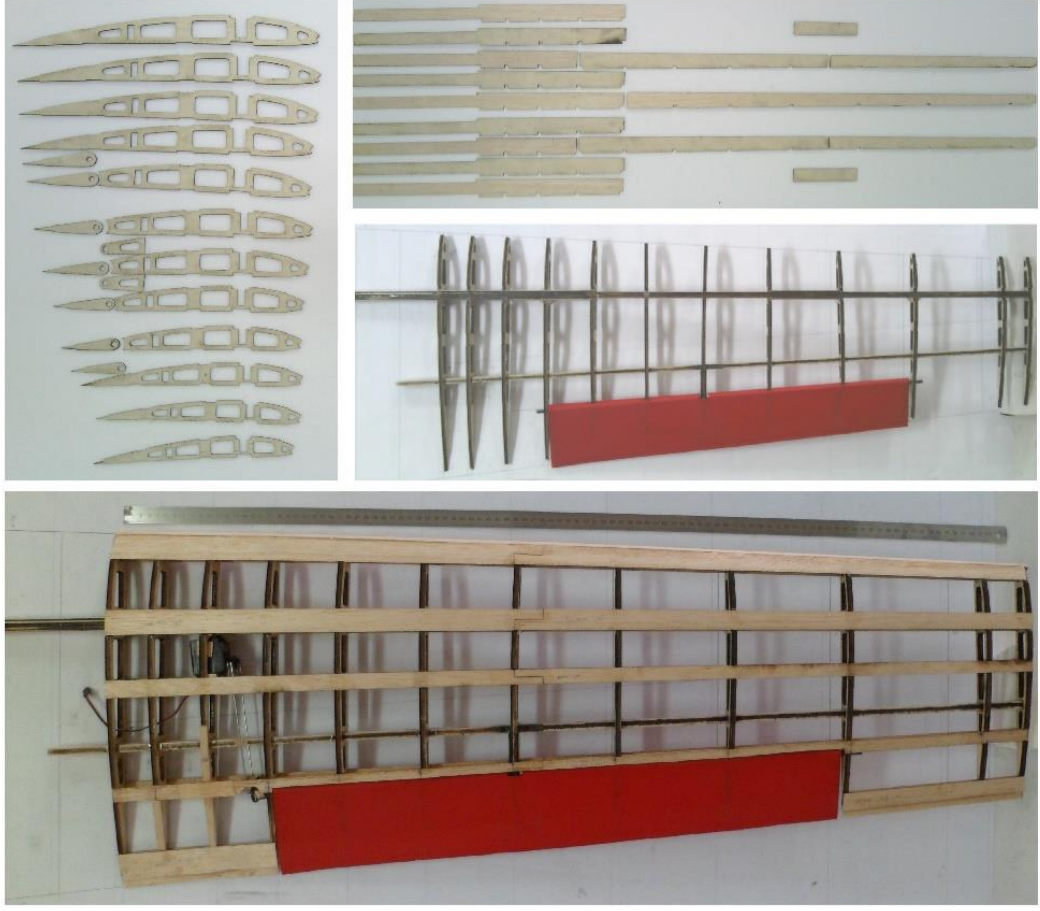
İlk tasarım çalışmaları sonucunda, uçağın kalkış ağırlığı 6 kg civarında tahmin edilmiştir. Kuramsal olan tahmin değerini doğrulamak veya düzeltmek amacıyla, uçağın bileşenleri olarak düşünülen bazı yapıların tamamı, bazı yapıların ise ölçekli numuneleri üretilmiştir. Üretim çalışmalarının dönütleri sayesinde, uçağın ilk örnek ağırlığı belirlenmiş ve ağırlık merkezi hesabı mümkün hale gelmiştir.

Uçağın üzerinde taşıyacağı donanım ve faydalı yük hem özel hem de pahalıdır. Bu sebepten, uçağın ana yapısal bileşenleri olan gövde ve kanadın tasarımı ve malzeme seçimi; mukavemeti ve darbe dayanımı yüksek olacak şekilde yapılmıştır. Uçağın gövdesi için iskelet üzerine sağlam kompozit kabuk bir yapı, kanadın iskeleti için ise ağırlığına göre mukavemet değerleri çok iyi olan huş kontrplak levhaların balsa levhalar ile birlikte kullanılmasına karar verilmiştir. Böylelikle, bileşen ağırlıklarının ve ağırlık merkezinin kesin tespiti için ilk örnek bir kanat ve çeşitli kompozit malzeme numuneleri üretilmiştir.

Kanat için detay tasarım ve çizim çalışmaları yapılmış, taşıyıcı kirişler üzerine oturan kanat kesitleri ile bu kesitlerin üzerinde kanat boyunca uzanan kaplama desteklerinden oluşan kanat iskeleti oluşturulmuştur. Kanadın iskelet tasarım çizimi, üretim aşamaları, ilk örneği sırasıyla Şekil 3.16, Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de; ağırlık bileşenleri Çizelge 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.16. Kanat iskelet tasarımı



Şekil 3.17. Kanat iskelet üretimi

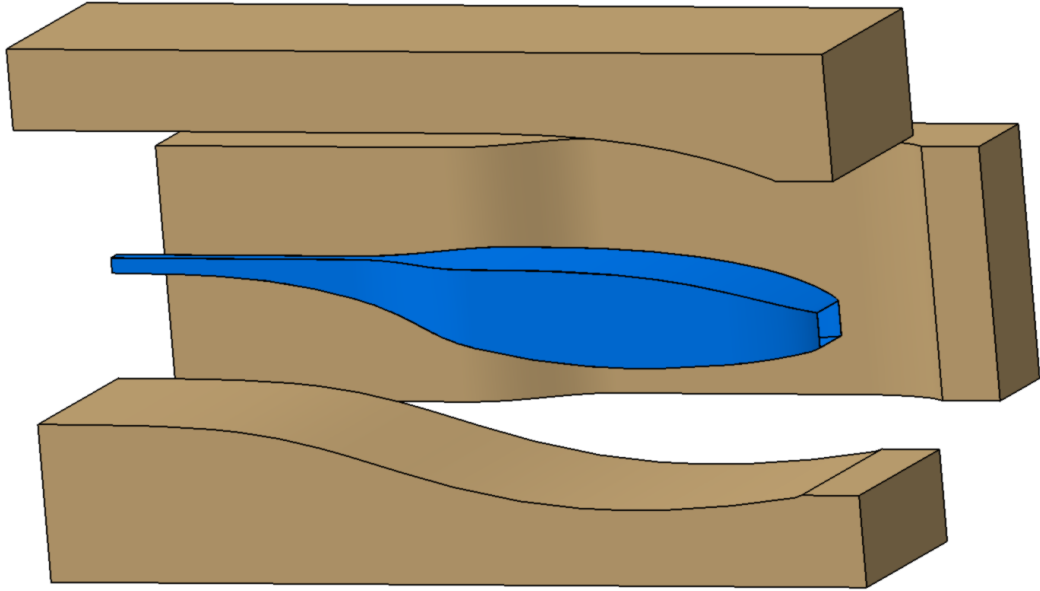


Şekil 3.18. Kanat ilkörneği görünümleri

**Çizelge 3.9.** Kanat ilkörnek ağırlık bileşenleri

Kanat Bileşenleri	gram	%
Taşıyıcı Yapılar	211,5	% 33
Teşkil Yapıları	240,5	% 38
Eyleyici	56	% 9
Kaplama	68	% 11
Yapıştırıcı ve Hata	64	% 10
Toplam	640	% 100

Gövde için detay tasarım ve çizim çalışmaları yapılmış, kompozit kabuk yapı içerisinde birleştirici kesitler ve bölümlendirmeler ile yekpare davranacak bir ürün hedeflenmiştir. Gövdenin kabuk çizimi ve buna uygun kompozit kalıplarının çizimi yapılmıştır. Bu çizim yardımı ile kabuk yapının yüzey alanı tespit edilmiş ve kompozit malzeme numunelerinin birim alan yoğunlukları ile çarpılarak gövdenin ağırlık tahmininde kullanılmıştır. Numune üretimi sayesinde gelecek tasarımlar için de bir çapa noktası oluşturulmuştur. Numunelere ait özellikler EK.4'te verilmiştir. Gövdenin kabuk çizimi Şekil 3.19'da, kabuk yüzey alanları Çizelge 3.10'da, numune görselleri Şekil 3.20'de, gövde ağırlık bileşenleri Çizelge 3.11'de verilmiştir.

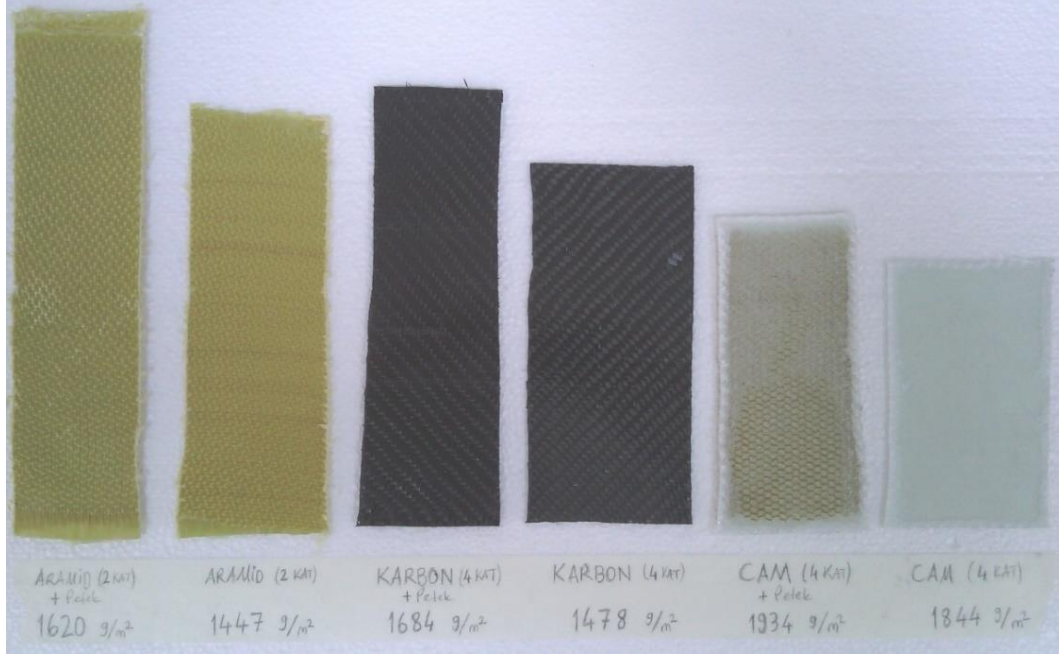


**Şekil 3.19.** Gövdenin kabuk çizimi ve kalıplar



Çizelge 3.10. Kabuk yüzey alanları

Alanlar	m <sup>2</sup>	adet	toplam	
Üst Kabuk	0,183	1	0,183	m <sup>2</sup>
Alt Kabuk	0,184	1	0,184	m <sup>2</sup>
Yan Kabuk	0,166	2	0,332	m <sup>2</sup>
TOPLAM			0,698	m <sup>2</sup>



Şekil 3.20. Kompozit numuneler

Çizelge 3.11. Gövde ilkörnek ağırlık bileşenleri

Bileşenler	gram
Kabuk Yapı	1135
Açıklıklar	-162
Birleştirme	100
Kesitler	100
Bağlantılar	100
Egzoz Uzatması	142
Toplam	1415

Böylelikle, ilk tasarım çalışmalarında donanım ağırlıklarının belirlenmesine ilave olarak; üretim çalışmaları sayesinde uçağın ve bileşenlerinin ilk örnek ağırlığı gerçek ve doğru bir biçimde tespit edilmiştir. Kalkış ağırlığı tahmin değeri ile üretim çalışmaları sonucu bulunan değer arasında %3 fark vardır. Böylelikle tahmin

yöntemi ve değerinin kabul edilebilir doğrulukta olduğu görülmüştür. Bulunan değerlere göre uçağın ağırlık bileşenleri Çizelge 3.12'deki gibi güncellenmiştir.

**Çizelge 3.12.** Uçak ilkörnek ağırlık bileşenleri

$W_s$	3115 g	% 54
$W_p$	1000 g	% 17
$W_f$	750 g	% 13
$W_a$	550 g	% 9
$W_{pl}$	400 g	% 7
$W_0$	5815 g	% 100

### 3.6. Tarafsız Nokta – Ağırlık Merkezi

Boyutlandırma çalışmalarıyla birçok özelliği belirlenen uçağın istenen seyir uçuşu şartlarındaki boylamasına kararlılık durumu; gövdenin ve dikey kuyruğun katkısı ihmal edilip kuramsal veriler kullanılarak araştırılmıştır. Taşıma-ağırlık dengesinden kanat ve kuyruk tespit açıları arasındaki bağıntı bulunmuştur. Ağırlık merkezi etrafındaki moment hesabı incelemesiyle, tarafsız nokta (neutral point) konumu belirlenmiştir. Sonuca göre derinleştirilen incelemede, kanat ve kuyruk tespit açılarına göre değişen kararlılık şartı için ağırlık merkezi konumları belirlenmiştir. Böylelikle, tasarımın kararlılık durumu ve ağırlık merkezi konumu tespit edilmiştir.

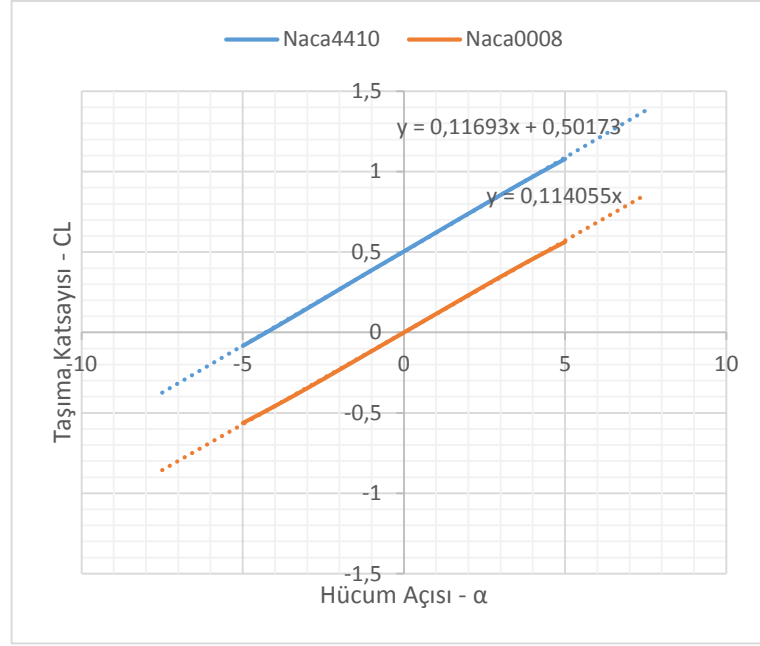
Taşıma-ağırlık dengesi denklem (3.4)'te görüldüğü üzere kurulup, istenen seyir uçuşu şartları ve uçak özellikleri denklem (3.5)'te yerine konulduğunda mevcut tasarım için geçerli olan denklem (3.6) bulunmuştur.

$$W = L_w + L_{ht} \quad (3.4)$$

$$W = q(S_w C_{L_w} + S_{ht} C_{L_{ht}}) \quad (3.5)$$

$$\frac{W}{qS_w} = C_{L_w} + \frac{S_{ht}}{S_w} C_{L_{ht}} \quad (3.6)$$

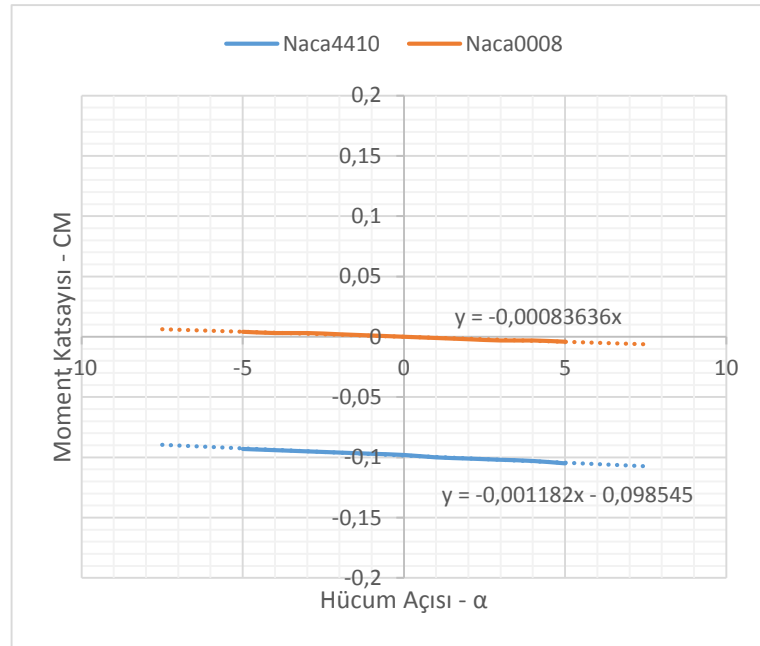
Hem taşıma-ağırlık, hem de moment dengesi hesabı için kanat ve kuyruk katsayılarının hücum açısıyla değişiminin denkliklerine ihtiyaç vardır. Hücum açısı değeri -5 ile +5 arasındaki veriler derlenerek kanat ve kuyruk, taşıma ve moment katsayılarının hücum açısına göre değişim bağıntıları Şekil 3.21 ve Şekil 3.22'de görüldüğü gibi bulunmuştur.



Şekil 3.21. Naca4410 ve Naca0008 - CL ~  $\alpha$  bağıntıları

$$C_{L_w} = 0,11693\alpha + 0,50173 \quad (3.7)$$

$$C_{L_{ht}} = 0,114055\alpha \quad (3.8)$$



Şekil 3.22. Naca4410 ve Naca0008 - CM ~  $\alpha$  bağıntıları

$$C_{M_w} = -0,001182\alpha - 0,098545 \quad (3.9)$$

$$C_{M_{ht}} = -0,00083636\alpha \quad (3.10)$$

Taşıma-ağırlık dengesi sonucu bulunan denklem (3.6) kullanılarak istenen seyir uçuşu şartlarını sağlayacak değerler yerine konulduğunda, kanat ve kuyruk taşıma katsayıları arasındaki ilişkiyi ifade eden denklem (3.11) bulunmuştur. Taşıma katsayılarının hücum açısına göre değişimi ifadeleri (3.7) ve (3.8) ile (3.11) birlikte değerlendirildiğinde denklem (3.12) bulunur. Böylelikle yapılan hesaplamalarla, kanat ve kuyruk tespit açıları arasındaki ilişki ortaya çıkarılmış; seyir uçuşu için gerekli asgari tespit açıları Çizelge 3.13'te görüldüğü üzere belirlenmiştir.

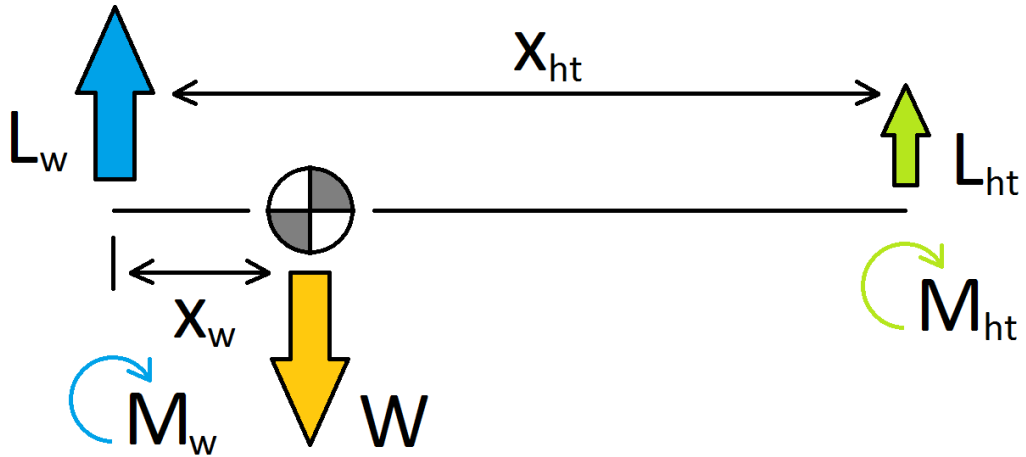
$$0,607 = C_{L_w} + 0,266C_{L_{ht}} \quad (3.11)$$

$$\alpha_{0_{ht}} = -4,53457\alpha_{0_w} + 4,088115 \quad (3.12)$$

Çizelge 3.13. Asgari taşıma katsayıları ve tespit açıları

Asgari	Taşıma Katsayısı	Tespit Açısı
Kanat	0,6071	0,9015
Yatay Kuyruk	0,0000	0,0000

Boylamasına moment hesabı için kabuller ve ihmaller çerçevesinde olmak üzere, Şekil 3.23'te etkenleri görülen denklem (3.14) kurulmuş; değişkenler yerine konulduğunda denklem (3.15) haline gelmiştir. Taşıma-ağırlık dengesi araştırmasından gelen sınır koşulları gözetilerek değişen hücum açıları ( $\alpha$ ) ve ağırlık merkezi konumu ( $x_w/c_w$ ) değerlerinde moment hesabı yapılmıştır.



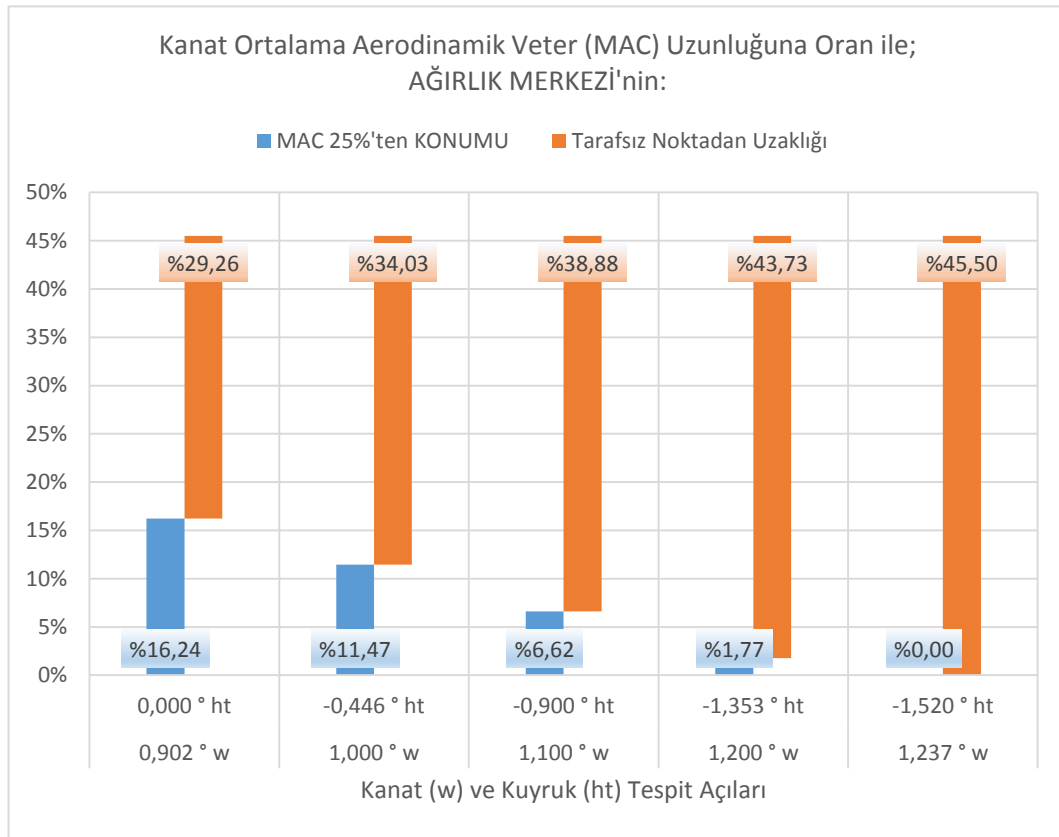
Şekil 3.23. Boylamasına moment hesabında etkenler

$$M_{CG} = L_w x_w + M_w - L_{ht}(x_{ht} - x_w) + M_{ht} \quad (3.14)$$

$$M_{CG} = (qS_w c_w) \left[ \frac{x_w}{c_w} C_{L_w} + C_{M_w} - \frac{x_{ht} S_{ht}}{c_w S_w} C_{L_{ht}} + \frac{x_w S_{ht}}{c_w S_w} C_{L_{ht}} + \frac{c_{ht} S_{ht}}{c_w S_w} C_{M_{ht}} \right] \quad (3.15)$$

$$C_M = \left[ \frac{x_w}{c_w} C_{L_w} + C_{M_w} - \frac{x_{ht} S_{ht}}{c_w S_w} C_{L_{ht}} + \frac{x_w S_{ht}}{c_w S_w} C_{L_{ht}} + \frac{c_{ht} S_{ht}}{c_w S_w} C_{M_{ht}} \right] \quad (3.16)$$

Kapsamlı hesaplamalara göre; ağırlık merkezi etrafındaki moment değerinin hücum açısıyla değişmediği konum yani tarafsız nokta değeri 45,5% olarak bulunmuştur. Hesaplamalar, EK.5'te detayları görüldüğü üzere iletmiş ve tasarımın mevcut hali için, taşıma-ağırlık dengesi ile kararlılık şartını sağlayan tespit açılarına bağlı ağırlık merkezi konumu bilgileri Şekil 3.24'te verilmiştir.

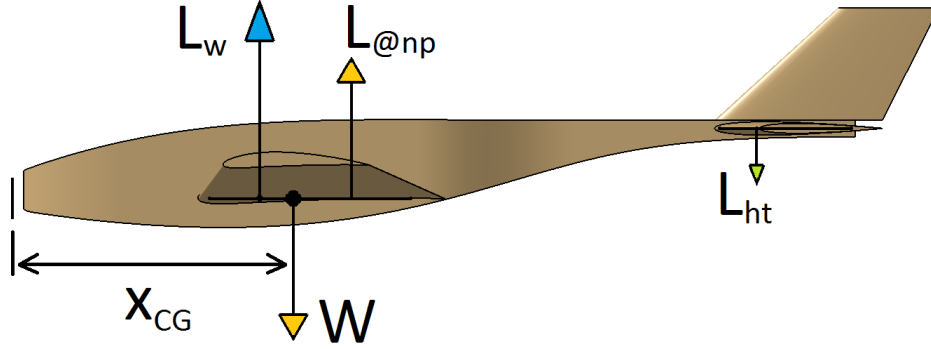


Şekil 3.24. Kararlılık şartını sağlayan durumlar

Asgari sürükleme üretimi için, tespit açılarının da asgari olması gerektiği düşünülür, ağırlık merkezinin tarafsız noktaya uzaklığının arttıkça uçağın tepkisinin katılaştığı [9] hatırlanırsa, kararlılık şartını sağlayan ilk durum, tespit açılarının ve ağırlık merkezinin konumunun belirlenmesi için seçilmiştir.

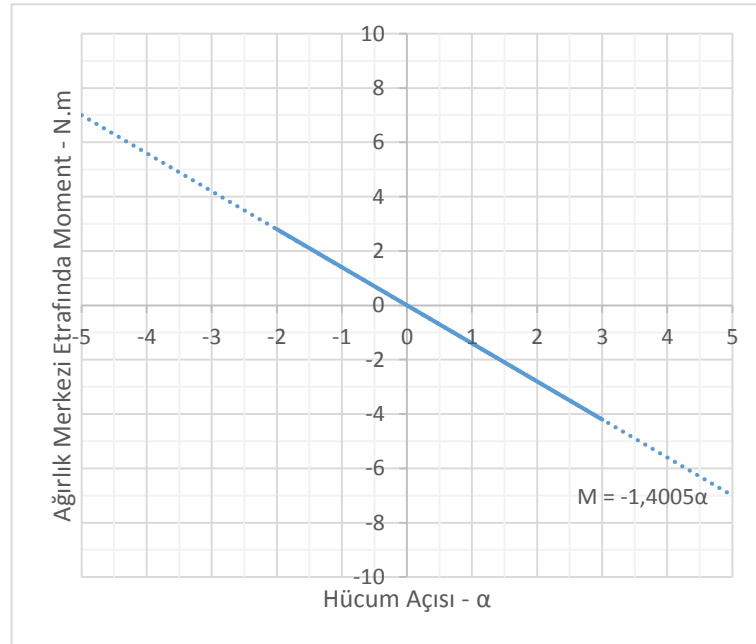
Böylelikle; kanat tespit açısı 0,902° olurken, yatay kuyruk tespit açısı 0° olarak kaydedilmiştir. Ağırlık merkezinin kanat çeyrek veter konumundan uzaklığı 58mm

olurken, uçağın burnundan uzaklığı 498mm olmaktadır. Nihai ve makul bir değer olarak, ağırlık merkezinin uçağın burnundan uzaklığı ( $x_{CG}$ ) Şekil 3.25'te görsel biçimde verildiği üzere 500mm değerinde seçilmiş ve uçağın bileşenleri ile donanımları; EK.6'da detayları verilen ağırlık merkezi hesabına göre konumlandırılmıştır.



Şekil 3.25. Ağırlık merkezi konumu

Belirlenen ağırlık merkezi ve tarafsız nokta konumlarına, kanat ve kuyruk tespit açılarına göre tasarımın seyir uçuşu şartlarındaki moment-hücum açısı değişimi Şekil 3.26'da verilmiştir. Eğri uydurma işlemiyle birlikte momentin açıyla değişiminin denklemi (3.17) bulunmuştur.



Şekil 3.26. Ağırlık merkezi etrafındaki moment

$$M_{CG} = -1,4005\alpha \quad (3.17)$$

### 3.7. Tasarım Çıktıları

Tasarım çalışmaları sonucunda ortaya çıkan uçağın genel özellikleri derlenmiş ve aşağıdaki çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 3.14. Tasarımın genel özellikleri

Kanat Yüklemesi	W/S	7,22	kg/m <sup>2</sup>
Açıklık Oranı	A	6,57	
Seyir Hızı	V <sub>c</sub>	14,32	m/s
Kalkış Ağırlığı	W	5815	g
Kanat Alanı	S	0,805	m <sup>2</sup>
Kanat Açıklığı	b	2,3	m
Ortalama Veter	c <sub>m</sub>	0,35	m
Hava Yoğunluğu	ρ	1,135	kg/m <sup>3</sup>
Taşıma Katsayısı	C <sub>L</sub>	0,609	

Çizelge 3.15. Kanat ve kuyruk özellikleri

		Kanat	Yatay Kuyruk	Dikey Kuyruk
Açıklık	b	2,3 m	0,35 m	0,2 m
Ortalama Veter	c <sub>m</sub>	0,35 m	0,26 m	0,24 m
Kök Veter	c <sub>r</sub>	0,44 m	0,3 m	0,3 m
Uç Veter	c <sub>t</sub>	0,26 m	0,22 m	0,18 m
Alan	S	0,805 m <sup>2</sup>	0,091 m <sup>2</sup>	0,048 m <sup>2</sup>
Açıklık Oranı	A	6,57	1,35	0,83
Daralma Oranı	λ	0,6	0,73	0,6
Düzlem Açısı	Γ	3 °	0 °	0 °
Ok Açısı	Λ	0 °	12,87 °	47,72 °
Profil		Naca4410	Naca0008	Naca0008
Tespit Açısı	α <sub>0</sub>	0,9015 °	0 °	0 °

Çizelge 3.16. Ağırlık merkezi ve tarafsız nokta konumları

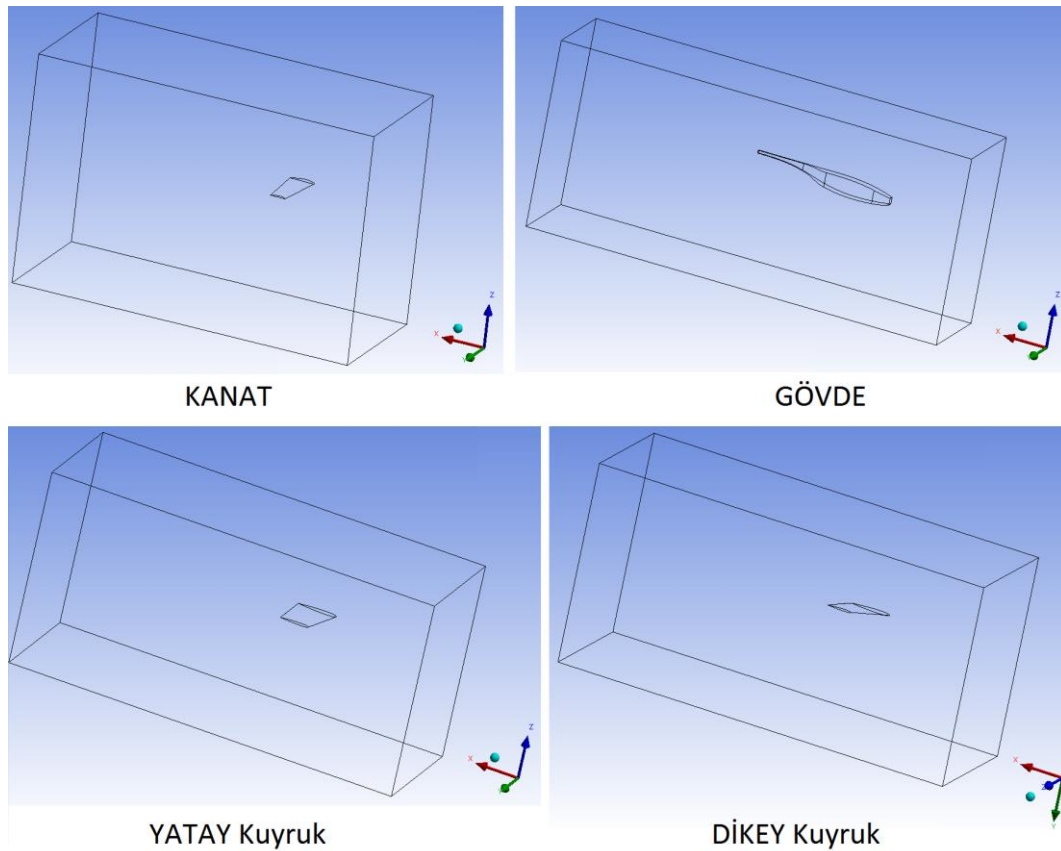
Konum	Kanat %25 MAC	Burundan
Kanat %25 MAC	0 mm	440 mm
Ağırlık Merkezi	60 mm	500 mm
Tarafsız Nokta	160 mm	600 mm

#### 4. ANALİZ

Tasarım çalışmaları sonucu ilkörnek özellikleri belirlenen uçağın aerodinamik başarımının daha doğru belirlenebilmesi ve uçak bileşenlerinin birbiri arasındaki etkileşimin ortaya çıkarılması amacıyla hem bileşen hem de bütün uçak seviyesinde HAD analizleri kurgulanmış ve koşturulmuştur. Tüm modellerde, makul şekilde karşılaştırma yapabilmek adına, serbest akım hızının bileşenlere ve uçağa göre hücum açısı  $0^\circ$ ; kanat ve kuyruk tespit açıları  $0^\circ$  olarak verilmiştir.

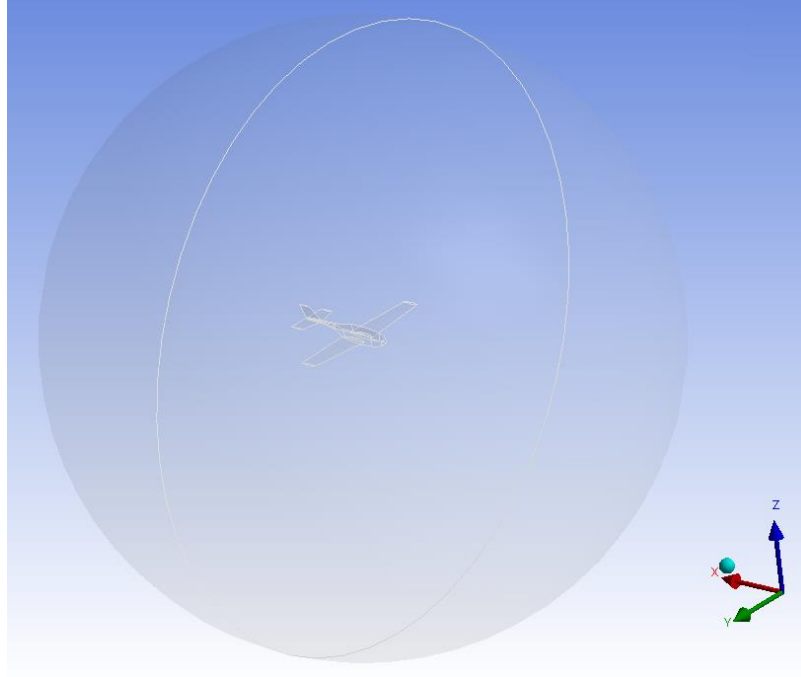
##### 4.1. Kontrol Hacimleri

Uçağın bileşenleri (kanat, gövde, yatay ve dikey kuyruk); giriş ve çıkışı olan, simetri düzlemine ve sürtünmesiz duvarlara sahip dikdörtgen prizma şeklindeki kontrol hacimlerinde modellenmiştir. Bütün uçak; simetri düzlemi veya sürtünmeli/sürtünmesiz duvarı olmayan, sadece girişe ve çıkışa sahip küresel bir kontrol hacminde modellenmiştir. Böylelikle, eleman sayısı azaltılmış ve duvar etkileri bertaraf edilmiştir.



Şekil 4.1. Bileşen kontrol hacimleri





Şekil 4.2. Bütün uçak kontrol hacmi

#### 4.2. Çözüm Ağları

Tüm kontrol hacimlerine, Çizelge 4.1’de görülen yöntem ve nicelikler ile özdeş biçimde çözüm ağı atılmıştır. Analizler, bileşenlerin tekil ve bütünlenmiş halleri arasındaki farkı karşılaştırma amacıyla kurgulandığından, yüksek hassasiyet ve doğrulukta kuvvet (ve katsayılar) bulunması amaç dışıdır. Bu sebeple, çözüm ağlarının özdeşliği, kalitesinden çok daha önemlidir. Buna rağmen, Çizelge 4.2’de nicelikleri görüldüğü üzere, çözüm ağları mümkün olduğunca uygun ve kaliteli biçimde oluşturulmuştur. Çözüm ağlarına ait örnek görseller EK.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çözüm ağı yöntemi

Yüzeyde Boyut	2mm
Yüzeyde Azami Boyut	%5 Kontrol Hacmi
Hacimde Asgari Boyut	2mm
Hacimde Azami Boyut	%10 Kontrol Hacmi
Büyüme Bağıntısı	Açık : Sabit
Büyüme Oranı	1,1
Yakınlık Merkezi	İyi
Yumuşatma	Yüksek
Geçişler	Yavaş

**Çizelge 4.2.** Çözüm ağı özellikleri

	Kanat	Gövde	Yatay Kuyruk	Dikey Kuyruk	Uçak
Kontrol Hacmi	6x2,5x4m	4,5x1x2	3x1x1,5m	3x1,5x1m	Ø 10 m
Eleman Çeşidi	Tet4	Tet4, Wed6	Tet4, Wed6, Pyr5	Tet4, Wed6, Pyr5	Tet4
Eleman Sayısı	13248817	2550490	4820992	4051316	43720399
Azami Çarpıklık	0,865	0,946	0,999	0,995	0,928

### 4.3. Çözücü Ayarları

Her modele özdeş sınır koşulları uygulanmıştır. Giriş sınır koşulu olarak standart atmosfer ( $\rho=1,225 \text{ kg/m}^3$  and  $P=101325 \text{ Pa}$ ) ve  $16 \text{ m/s}$  serbest akım hızı, hız alığı (velocity inlet) biçiminde girilmiştir. Kontrol hacimlerinde duvar (wall) sınır koşulu tanımları sürtünmesizdir. Çıkış sınır koşulu dışa akış (outflow) biçimindedir. Seçilen  $k$ - $\epsilon$  çalkantı modeli için sınır koşulları; çalkantı kinetik enerjisi:  $k$  (turbulent kinetic energy) ve çalkantı yitim oranı:  $\epsilon$  (turbulent dissipation rate) olarak seçilmiştir [10,11]. Bu değişkenlerin hesaplanmasında denklemler (4.1), (4.2), (4.3), (4.4) ve (4.5) kullanılmıştır. Kuvvet katsayısı hesaplanabilmesi için çözücü ayarlarında referans alan ve uzunlukların da girilmesi gerekmektedir. Böylelikle, hesaplanan ve girilen değerler Çizelge 4.3'te verilmiştir.

$$l_e = 0,07l_c \quad (4.1)$$

$$l = 0,16Re^{-\frac{1}{8}} \quad (4.2)$$

$$c_\mu = 0,09 \quad (4.3)$$

$$k = \frac{3}{2}(UI)^2 \quad (4.4)$$

$$\epsilon = c_\mu^{3/4} k^{3/2} l_e^{-1} \quad (4.5)$$

**Çizelge 4.3.** Model (k-ε) değişkenleri, referans alan ve uzunluklar

	Kanat	Gövde	Yatay Kuyruk	Dikey Kuyruk	Uçak
k	0,4	0,4	0,425	0,432	0,4
ε	1,6	1,6	2,48	2,72	1,6
S (m <sup>2</sup> )	0,4025	0,0185	0,091	0,048	0,805
l (m)	0,358	1,48	0,262	0,245	0,358

Çözücü ayarlarında, standart veya birinci dereceden ayrıklaştırma seçeneği kullanılmıştır. Çözüm ağı kalitesi sınırlı olduğundan, ikinci dereceden ayrıklaştırma yöntemi iraksamaya neden olmaktadır. Mutlak süreklilik izleyicisinin 0,001 değerine ulaştığı yakınsama durumlarında gözlenen tutarsız sonuçlar sebebiyle, yakınsama kararı aerodinamik katsayı izleyicilerine bakılarak verilmiştir. Melez ilk değer atama yöntemi ile koşturmalara başlanmış ve aerodinamik katsayıların sabitlendiği yineleme sayısına ulaşıncaya kadar çözücü koşturulmuştur. Modellerin çözüme ulaştığındaki yineleme sayıları ve süreklilik izleyici değerleri Çizelge 4.4’te verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Koşturmaların yakınsama bilgileri

	Kanat	Gövde	Yatay Kuyruk	Dikey Kuyruk	Uçak
Yineleme Sayısı	793	274	124	111	1025
Süreklilik İzleyicisi	1,32E-04	9,98E-04	8,82E-04	4,21E-04	3,12E-05

#### 4.4. Bulgular ve Gözlemler

Tutarlı sonuç çıkarımı için, tüm bileşenlerin başlangıç noktası (origin); ortalama aerodinamik veterlerinin (MAC) %25’inde konumlandırılmıştır. Kanat ve gövde aynı başlangıç noktasını kullanmaktadır. Bütün uçak modelinde, tüm bileşenler aynı başlangıç noktasını paylaşmışlardır. Böylelikle, taşıma (Z veya L) sürüklenme (X veya D) ve moment (M) verilerinin düzgün şekilde karşılaştırılması mümkün olmuştur.

Modellerin; düzgün (laminar) ve çalkantılı (turbulent) akışlarda, tekil ve bütünleşik durumlarda koşturulması sonucu bulunan, kuvvetler ve momentler ile referans değerlerle hesaplanan katsayılar EK.8’de verilmiştir.

Bulunan sonuçlara göre; bileşenlerin bütünleşmiş durumdaki aerodinamik etkileşimi tekil haldeki başarımlarını bir hayli etkilemektedir.

Mevcut tasarım için, tekil bileşenler bütünlenerek uçağı oluşturduğunda:

- Düzgün akışlı modeller için:
  - Kanadın taşıması artarken, sürüklenme ve moment değerleri azalmıştır.
  - Gövdenin taşıma değeri çok fazla miktarda artmış (eksiden artıya geçmiş), sürüklenme ve moment değeri azalmıştır.
  - Yatay kuyruk sürüklenme değeri artarken, artı moment ve eksi taşıma üretmeye başlamıştır.
  - Dikey kuyruk sürüklenme değeri azalırken, artı moment ve eksi taşıma üretmeye başlamıştır.
- Çalkantılı akışlı modeller için:
  - Kanadın taşıma, sürüklenme ve moment değerleri azalmıştır.
  - Gövdenin taşıma değeri çok fazla miktarda artmış (eksiden artıya geçmiş), sürüklenme ve moment değeri artmıştır.
  - Yatay kuyruk sürüklenme değeri artarken, artı moment ve eksi taşıma üretmeye başlamıştır.
  - Dikey kuyruk sürüklenme değeri azalırken, artı moment ve eksi taşıma üretmeye başlamıştır.

Nitel olarak ifade edilen bu değişimlere ilişkin nicelikler Çizelge 4.5’te ve Çizelge 4.6’da verilmiştir. Tekil ve bütünleşik durumlarda bileşenlerin ürettiğı taşıma, sürüklenme ve moment katsayısı değerleri toplamları Çizelge 4.7’da verilmiştir. Buna göre hesaplanan taşıma/sürüklenme oranları Çizelge 4.8’de görülmektedir. Bulunan taşıma/sürüklenme oranlarının; 0° kanat ve kuyruk tespit açılarında olduğu ve moment dengesinin kurulması için gerekli tespit açılarına göre oluşacak değişimin hesaplanarak gerçek uçuş şartlarındaki taşıma/sürüklenme oranına ulaşılması gerektiğı hatırlanmalıdır.

**Çizelge 4.5.** Tekil ve bütünleşik durumlarda değişimler – Düzgün akış

Düzgün Akış		Tekil --> Bütünleşik	
Bileşenler	Taşıma - $C_L$	Sürüklenme - $C_D$	Moment - $C_M$
Sağ Kanat	%6,1	%-10,7	%-14,6
Sol Kanat	%6,2	%-10,8	%-14,6
Gövde	%258,5	%-17,9	%-80,6
Sağ Kuyruk	-	%5,4	+
Sol Kuyruk	-	%4,4	+
Dik Kuyruk	-	%-16,0	+
<b>Toplam</b>	<b>%12,6</b>	<b>%-11,3</b>	<b>%13,3</b>

**Çizelge 4.6.** Tekil ve bütünleşik durumlarda değişimler – Çalkantılı akış

Çalkantılı Akış		Tekil --> Bütünleşik	
Bileşenler	Taşıma - $C_L$	Sürüklenme - $C_D$	Moment - $C_M$
Sağ Kanat	%-1,2	%-2,8	%-7,4
Sol Kanat	%-1,2	%-2,8	%-7,4
Gövde	%199,6	%-13,1	%-57,4
Sağ Kuyruk	-	%11,4	+
Sol Kuyruk	-	%11,0	+
Dik Kuyruk	-	%-5,1	+
<b>Toplam</b>	<b>%4,6</b>	<b>%-3,8</b>	<b>%12,0</b>

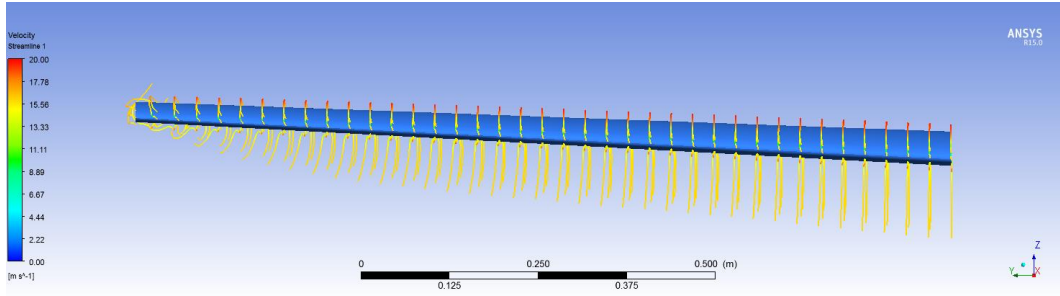
**Çizelge 4.7.** Analiz sonuçlarına göre katsayılar

Durum	Akış	$C_L$	$C_D$	$C_M$
Tekil	Düzgün	0,304	0,035	-0,097
Bütünleşik	Düzgün	0,342	0,031	-0,085
Tekil	Çalkantılı	0,289	0,050	-0,094
<b>Bütünleşik</b>	<b>Çalkantılı</b>	<b>0,302</b>	<b>0,048</b>	<b>-0,083</b>

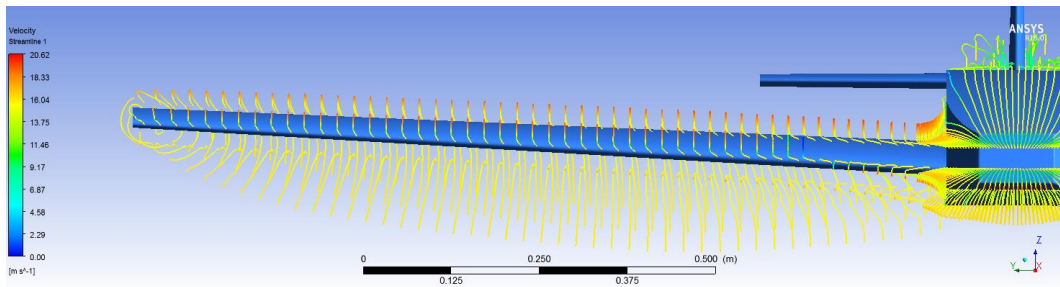
**Çizelge 4.8.** Analiz sonuçlarına göre taşıma/sürüklenme oranları

Durum	Akış	Taşıma/Sürüklenme
Tekil	Düzgün	8,7
Bütünleşik	Düzgün	11,0
Tekil	Çalkantılı	5,8
<b>Bütünleşik</b>	<b>Çalkantılı</b>	<b>6,3</b>

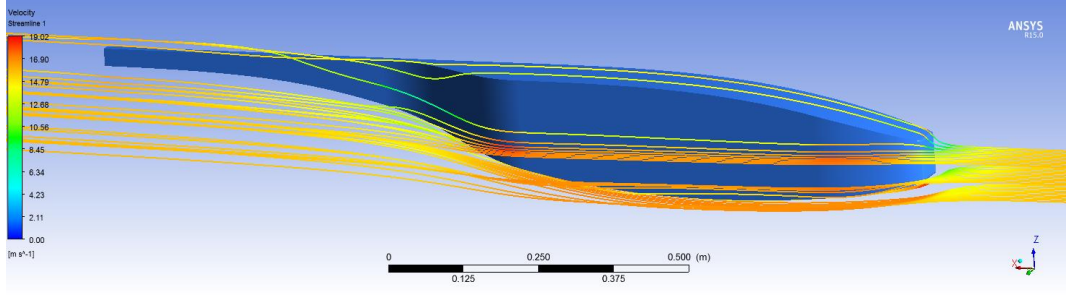
Tekil durumdan bütünleşik duruma geçildiğinde toplamda; taşıma/sürüklenme oranının düzgün akış şartlarında %26,9, çalkantılı akış şartlarında %8,7 arttığı gözlenmiştir. Bu etkin değişimlerin neden kaynaklandığını anlayabilmek adına, tekil ve bütünleşik durumlarda bileşenlerin etrafındaki akış alanı görsel olarak incelenmiştir. Bu amaçla analiz yazılımından alınan görsellerde akış alanındaki bazı değişimler hemen göze çarpmaktadır. Gövde etrafındaki akış, tekil durumda daha yavaş ve yön değiştirmeden akmakta; bütünleşik durumda kanat ile etkileşime girdiğinden daha hızlı ve yön değiştiren bir akışa dönüşmektedir. Kanat etrafındaki akışta tekil halde havanın aşağı bükülme (downwash) dağılımı oldukça düzgün ve kanat ucu girdapları küçük iken; bütünleşik halde diğer bileşenlerin etkisi ile aşağı bükülme dağılımı değişken ve kanat ucu girdabı büyük olmaktadır. Yatay kuyruk bütünleşik durumda havanın aşağı bükülmesinden dolayı eksi hücum açısı kazanmakta ve eksi taşıma oluşturmaktadır. Yatay ve dikey kuyruklar, bütünleşik durumda sürüklenme kuvvetlerinin başlangıç noktasına göre kuvvet koluna sahip olması sebebiyle artı moment oluşturmaktadır. Aşağı bükülen hava akışı dolayısıyla dikey kuyruğun sürüklenme kuvveti yöneyinin dikey bileşeni uçağa eksi taşıma olarak etkimektedir.



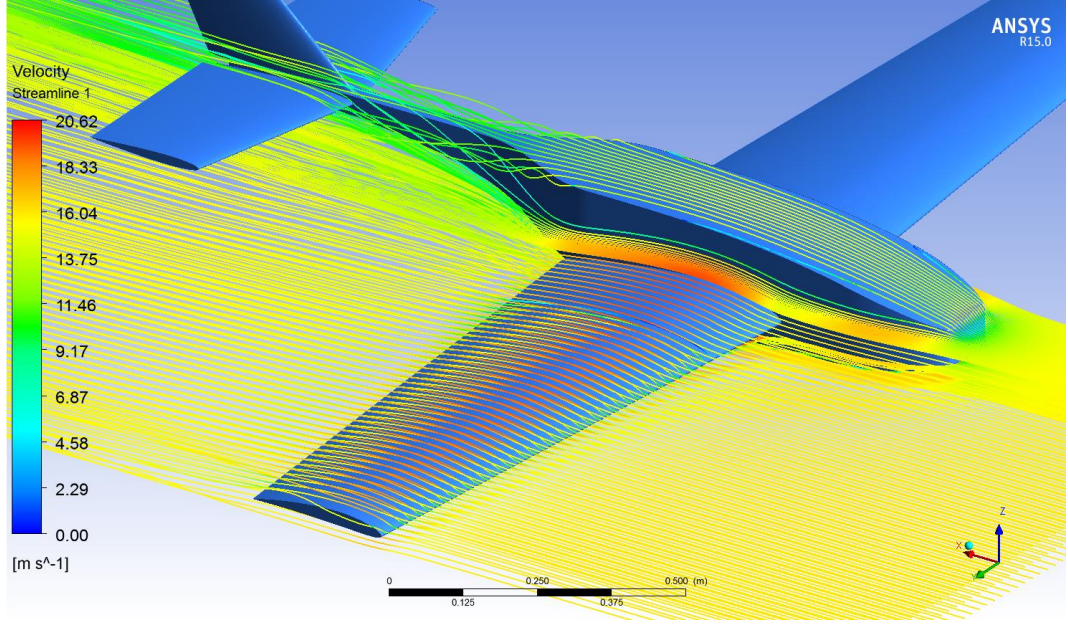
Şekil 4.3. Tekil durumda kanat etrafındaki akım çizgileri



Şekil 4.4. Bütünleşik durumda kanat etrafındaki akım çizgileri



Şekil 4.5. Tekil durumda gövde etrafındaki akım çizgileri



Şekil 4.6. Bütünleşik durumda gövde etrafındaki akım çizgileri

## 5. SEYİR UÇUŞU ENİYİLEŞTİRMESİ

Gözlem İHA sisteminin görev tanımına uygunluğu için gerekli seyir uçuşu koşullarının ortaya konulması ve eniyileştirilmesi amacıyla güç grubunun başarımı, faydalı yükün etkinliği ve görevin icrası birlikte değerlendirilmiştir. Tasarımın üretilebilir ve işletilebilir olması açısından, motor ve kamera seçimi; elde olan ve rağbet gören ürünler gözetilerek yapılmıştır.

Envanterde bulunan “Magnum XLS .61a” motoru; model uçak piyasasında sık rastlanan ve ulaşılabilen bir ürün olması sebebiyle seçilmiştir.

Envanterde mevcut olan “GoPro Hero 3 Black Edition”; piyasada rahat bulunması, kolay kullanımına göre kaliteli görüntü elde edilmesi, yardımcı aksesuar çeşitliliği ve ürüne özel dengeleme sistemine sahip kamera yuvalarının piyasada ulaşılabılır olması sebebiyle, kamera olarak seçilmiştir.

Görev tanımına uygun bir kurgu olarak “belirli bir bölgede arama tarama” hususunda tasarımın ve donanımın başarımı irdelenmiş ve en uygun işletme şartları nicel olarak verilmiştir.

Böylelikle, çalışmanın uygulanabilirliği artırılmıştır fakat hem nitel hem nicel anlamda daha etkin bir sistemin oluşturulabilmesi için daha uygun motor ve kameranın kullanılmasının gerekli olduğu hatırlanmalıdır.

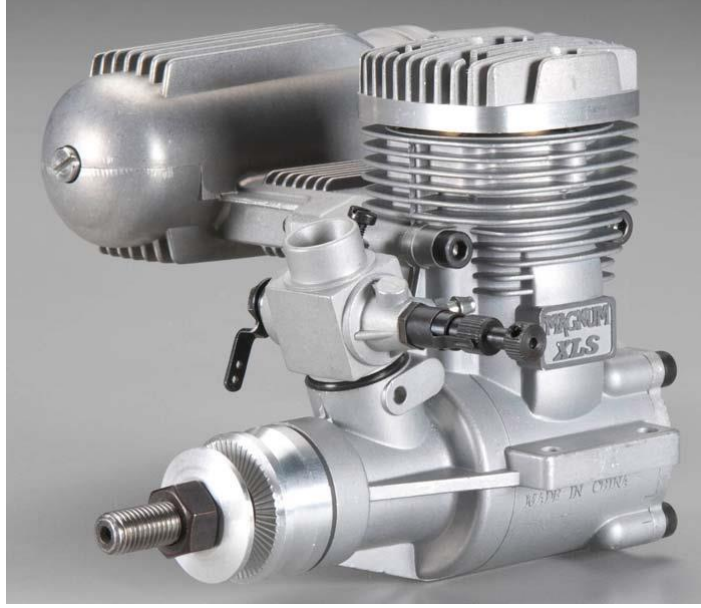
### 5.1. Motor Başarımı

Çalışmada kullanılan motorun genel özellikleri [12] Çizelge 5.1’de, genel görünümü Şekil 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Genel özellikler - Magnum XLS .61a

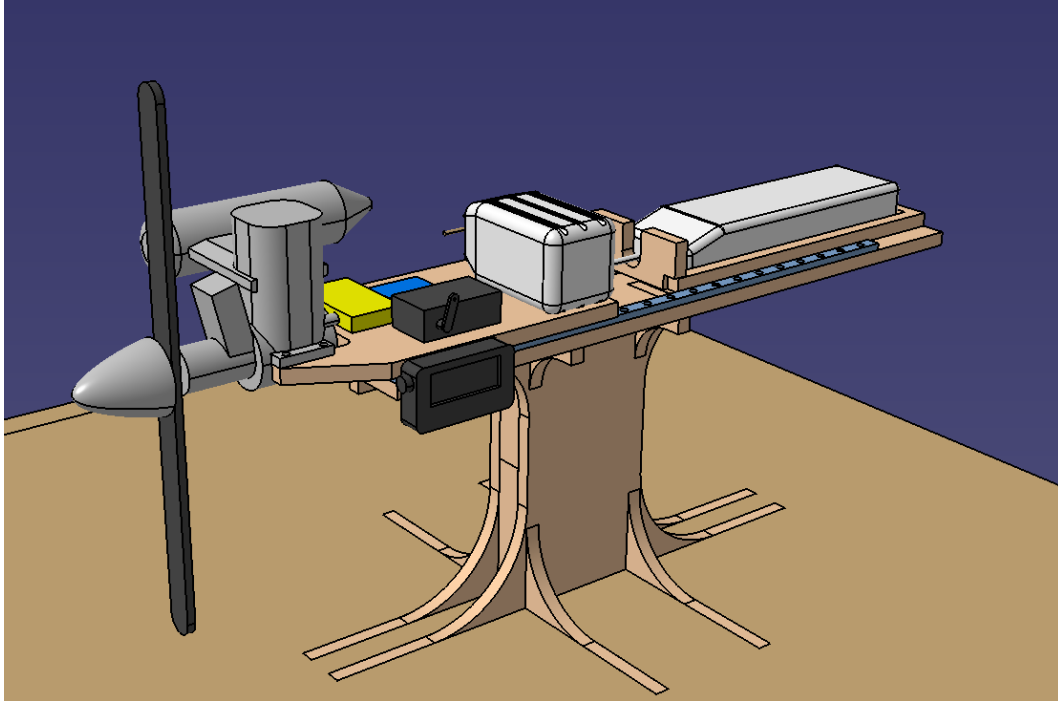
Silindir Hacmi	9,94 cc (0,61 cu.in)
Silindir Çapı	24 mm
Silindir Hareketi	22 mm
Devir Aralığı	2000-16000 dev/dk
Güç Üretimi	1,9 kW @ 16000 dev/dk
Şaft Çapı	8 mm
Ağırlık	675 g





Şekil 5.1. Genel görünüm – Magnum XLS .61a

Detaylı niceliklerine ulaşamadığı için, motorun güç veya itki başarımının tespit edilmesi gerekmiştir. Şaft gücünü ölçebilecek teçhizat bulunmadığından, doğrudan itki ve devir ölçümü yapılabilecek bir düzenek Şekil 5.2’de görüldüğü gibi tasarlanmıştır.



Şekil 5.2. Motor deney düzeneği tasarımı

Yükseltilmiş bir zemin üzerine sabitlenen kuvvetölçer, yine aynı zeminde bulunan rayların üzerinde tek yönde hareket serbestliğe sahip bir başka zemine sabitlenmiş motorun itkisini doğrudan ölçmektedir. Motorun sabitlendiği zeminin yan tarafına tespit edilen devir ölçer pervanesinin devrini doğrudan ölçmektedir. Yakıt deposu, gaz kolu eyleyicisi, alıcı, batarya gibi gereçler de motorun sabitlendiği zemindedir. Üretilen düzenek Şekil 5.3'te görülmektedir.



Şekil 5.3. Motor deney düzeneği

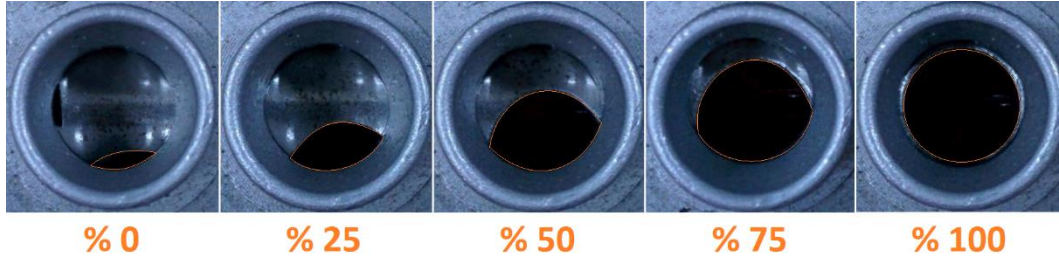
Üreticinin yönergelerine uyularak terbiyesi verilen motorun farklı pervaneler ile durgun ortamda itki deneyleri yapılmıştır. Deneylerin icrası EK.9'da verilen deney kayıt sayfası ile yapılmış; derlenen veriler şeklen EK.10'da verilmiştir. Şartlar ve ölçümler değerlendirildiğinde, en uygun itki değerlerine 33x15cm (13x6in) ahşap pervane<sup>2</sup> ile ulaşıldığı gözlenmiştir. Gaz kolu değerlerine karşılık gelen karıştırıcı durumları Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Seçilen pervaneye ait ölçüm değerleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.

---

<sup>2</sup> Pervanelerin nicel ifadesinde ilk değer çapı, ikinci değer hatveyi gösterir.

Çizelge 5.2. Seçilen pervane ile yapılan deney ölçümleri

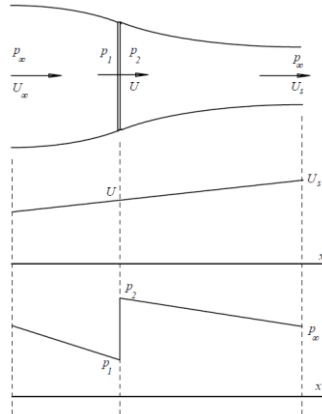
Gaz Kolu %	Devir Miktarı dev/dk	İtki N
0	4425	9,9
25	7560	21,6
50	9200	30,3
75	9975	33,8
100	10250	34,6



Şekil 5.4. Gaz kolu değerlerine karşılık gelen karıştırıcı durumları

Deney düzeneği, üniversite bünyesinde mevcut kapalı devre rüzgâr tünellerinin deney odalarına uyacak şekilde tasarlanmıştır. Elektrik motorlar ile hareketli ortam itki deneyleri yapılabilirken, motorun başarımını etkilemeden egzoz dumanını uzaklaştıracak uygun bir çözüm bulunamadığından; tünellere zarar vermemek adına içten yanmalı motorların hareketli ortam deneyleri yapılamamıştır.

Hareketli ortamda motorun başarımını ölçülemediğinden, pervane özellikleri ve taşıyıcı disk teorisi ile çıkarım yapılması düşünülmüştür. Kuramsal denklemlerden itki değerleri hesaplanabilmesi için gerekli değişkenler mevcut imkânlar ile tespit edilemeyecek niteliktedir.



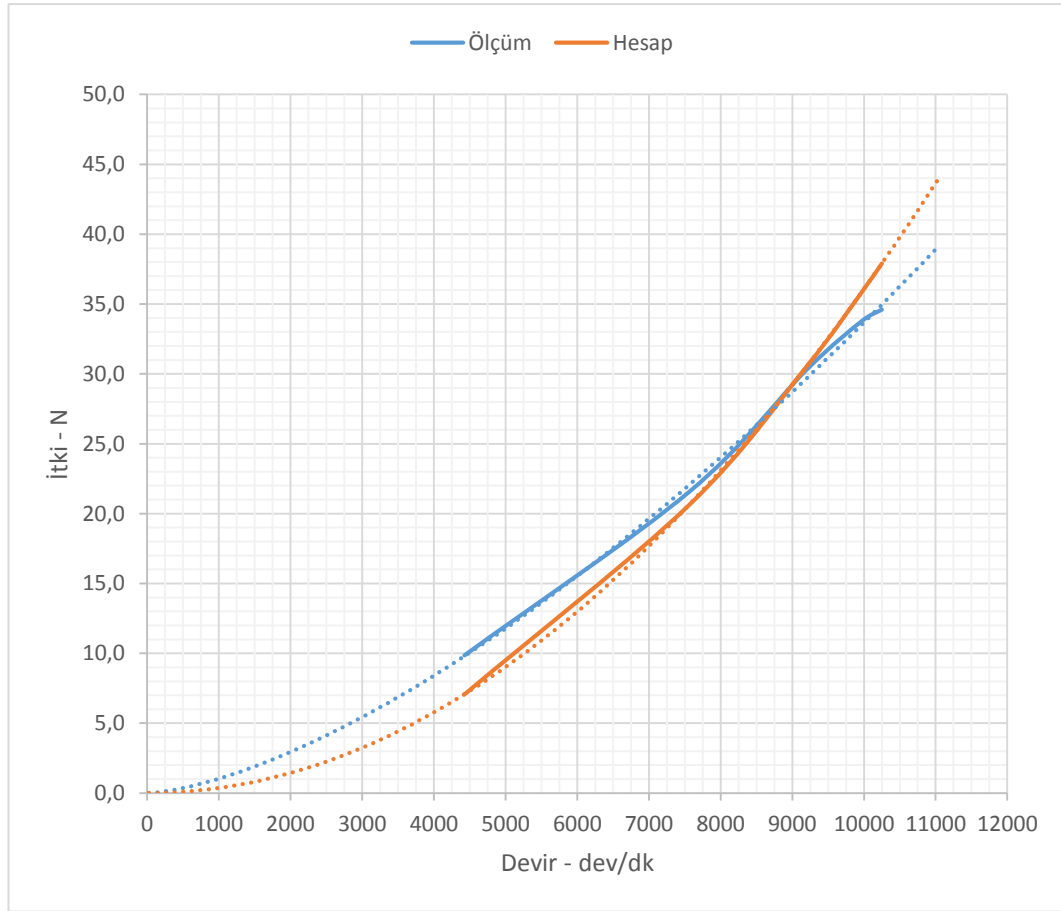
Şekil 5.5. Taşıyıcı disk teorisinde değişkenler

Araştırmalar genişletildiğinde, taşıyıcı disk kuramını temel alan; model uçak pervanelerinin başarımı ile ilgili ve deneysel veriler kullanılarak yapılan bir çalışmada [13], pervane özellikleri ve denemeye dayalı katsayılar yardımıyla gerçeğe yakın değerlere ulaşıldığı görülmüştür. Çalışmanın özeleştirisinde tartışılan hususlar da göz önünde bulundurularak değerlendirildiğinde, önerilen denklemlerin (5.1), (5.2) ve katsayıların kullanılabilir olduğu kanaatine varılmıştır.

$$U = U_{hatve} = devir miktarı * hatve = \frac{dev}{s} m \quad (5.1)$$

$$T = \rho \pi \left(\frac{cap}{2}\right)^2 (U^2 - UU_{\infty}) \left(k_1 \frac{cap}{hatve}\right)^{k_2} \quad (k_1=0,30345 \quad k_2=1,5) \quad (5.2)$$

İlaveten, denklemde (5.2) serbest akım hızı yokmuş gibi hesap yapılarak, bulunan sonuçlar deneylerde ölçülen değerler ile Şekil 5.6'da görüldüğu üzere karşılaştırılmıştır. Kabul edilebilir bir hata oranı gözlendiği için denklemin (5.2) itki hesabında kullanılmasına karar verilmiştir.

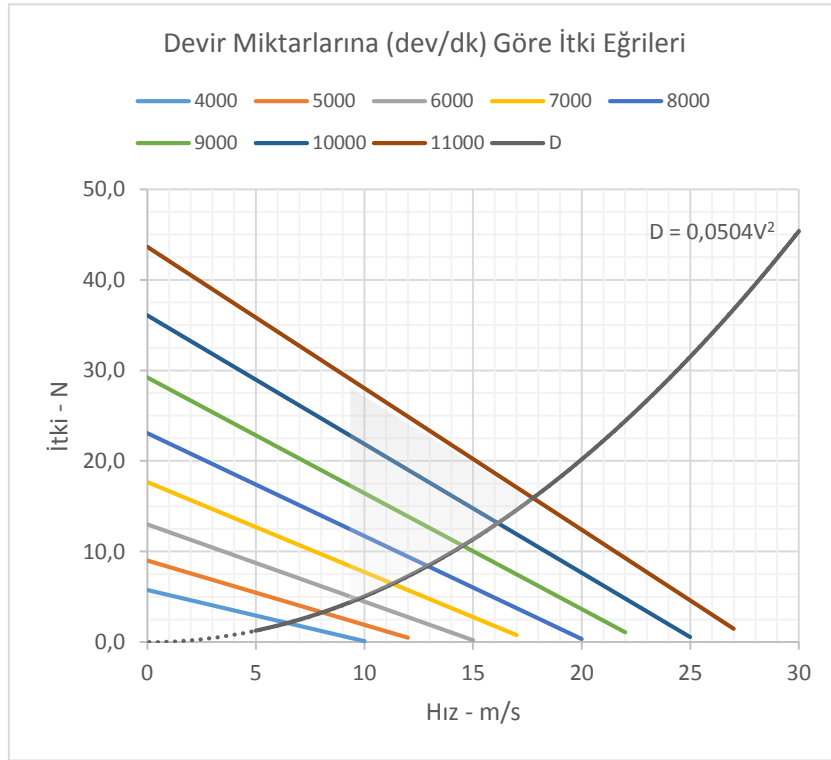


Şekil 5.6. Deney verileri ile hesap sonuçlarının karşılaştırması

İtki hesabı yönteminin belirlenmesinin ardından irtifa ve hıza bağlı olmak üzere,  $W=L$  ve  $T=D$  şartlarını sağlayan ivmesiz seviye uçuşu için taşıma-sürüklenme-itki bağıntıları incelenmiştir. İrtifa ile azalan yoğunluk değerine göre gerekli taşımayı sağlayacak hız değeri hesaplanmıştır. Analizler ve moment hesabı sonucu bulunan taşıma/sürüklenme oranı sayesinde sürüklenme<sup>3</sup> değeri doğrudan bulunmuştur. Hâlbuki ivmesiz seviye uçuşu için gerekli itki değeri hıza ve yoğunluğa göre değişecektir. Gerekli itki değerinin deniz seviyesindeki eşdeğeri denklem (5.3) kullanılarak bulunmuştur. Detaylı hesap çizelgesi EK.11’de verilmiştir.

$$F = F_0 \frac{\rho}{\rho_0} \sqrt{\frac{T_0}{T}} \quad (5.3)$$

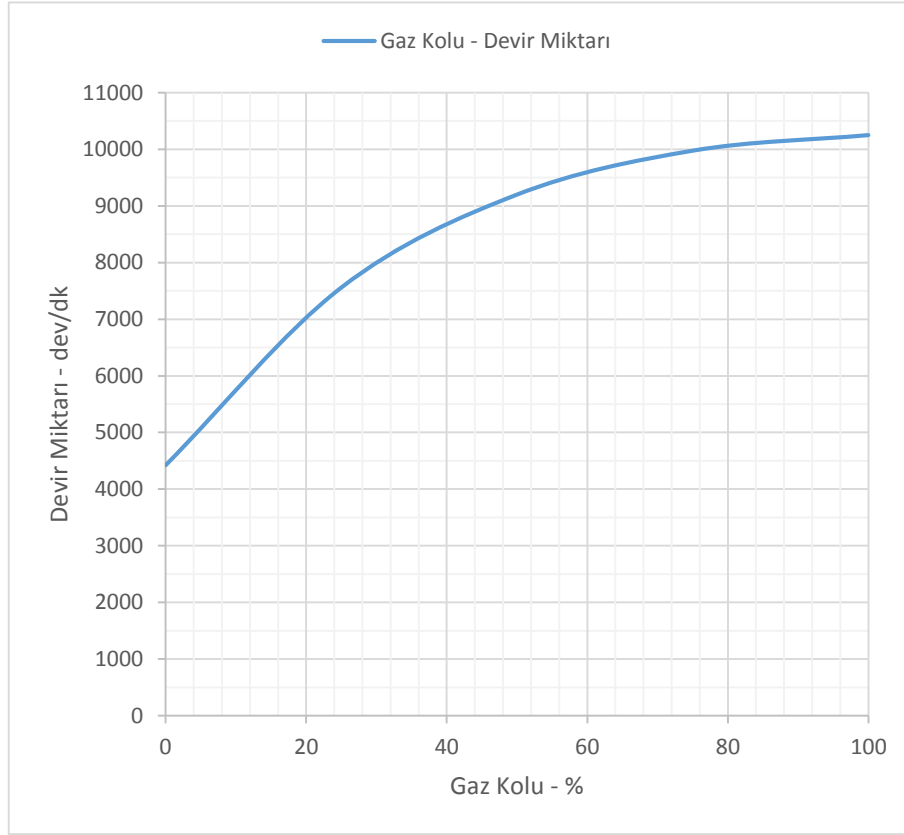
İtki hesap yöntemi sayesinde, gerekli itki değerine karşılık gelen devir miktarı hesaplanabilmiştir. Deniz seviyesinde olmak üzere, seçilen pervanenin devir miktarına göre üreteceği itki değerleri hıza bağlı biçimde sürüklenme değerleri ile birlikte Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Hıza bağlı itki ve sürüklenme değerleri

<sup>3</sup> Sabit ağırlık kabulüne göre ivmesiz seviye uçuşu şartı için sürüklenme değeri sabittir.

Devir miktarı (RPM) ile gaz kolu (GK) arasındaki denklem (5.4), durgun ortam itki deneylerinden gelen ve eğrisi Şekil 5.8’de görülen veriler ile çıkarılmıştır.



Şekil 5.8. Devir miktarına göre gaz kolu değerleri

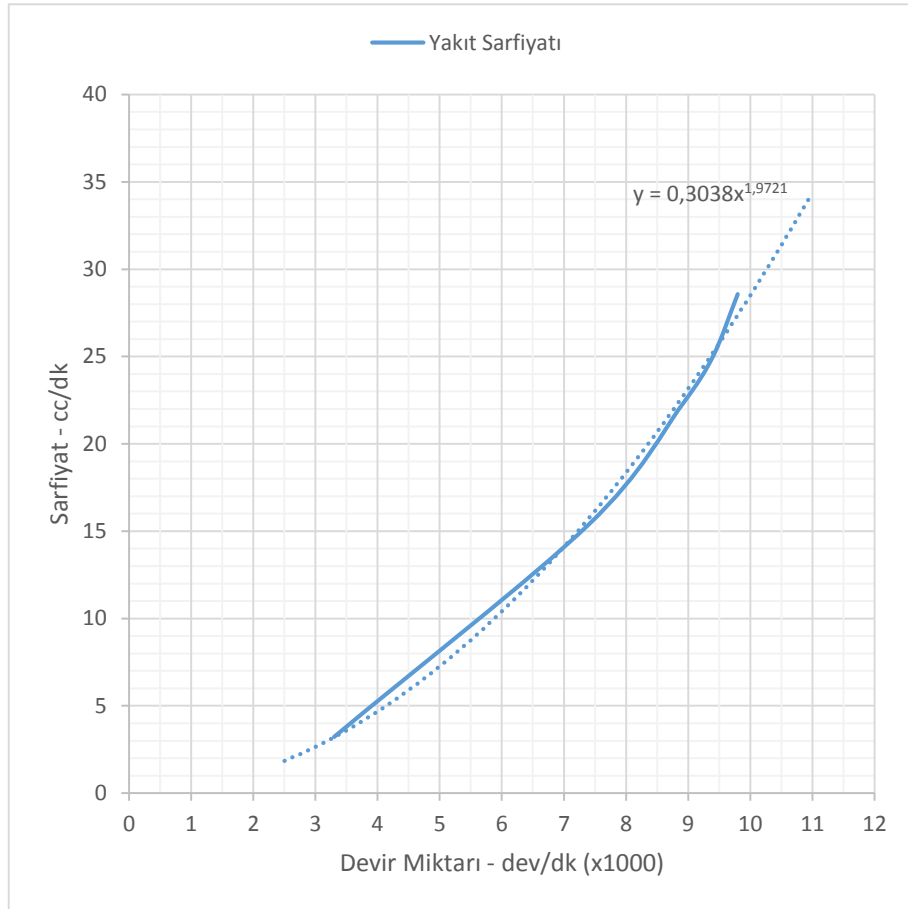
$$DM = 0,005307GK^3 - 1,54857GK^2 + 160,05GK + 4.428,8 \quad (5.4)$$

Belirli miktardaki yakıtın (200cc) çeşitli gaz kolu ayarlarında tükenme zamanı ölçülerek yapılan yakıt sarfiyatı deneyleri sayesinde; devir miktarı ile sarfiyat değerleri arasındaki denklem (5.5) bulunmuştur. Yakıt sarfiyatı deneylerinde kaydedilen veriler Çizelge 5.3’te, yakıt sarfiyatının devir miktarına göre değişimini gösteren eğri Şekil 5.9’da verilmiştir.

Çıkarımlar sonucunda, gerekli itki değerleri için ulaşılması gereken devir miktarı, sonrasında ihtiyaç duyulan gaz kolu ayarı ve nihayetinde tasarımın irtifaya bağlı yakıt sarfiyatı belirlenebilmektedir. Uçuş şartlarına bağlı yakıt sarfiyatının tespiti, görevin icrasının nasıl yapılacağına kararında havada kalma süresi açısından oldukça önemlidir.

Çizelge 5.3. Yakıt sarfiyatı deney sonuçları

Gaz Kolu %	Devir Miktarı dev/dk	Süre dk	Sarfiyat cc/dk
0	3300	62	3,2
25	7400	13	15,4
50	8900	9	22,2
75	9400	8	25,0
100	9800	7	28,6

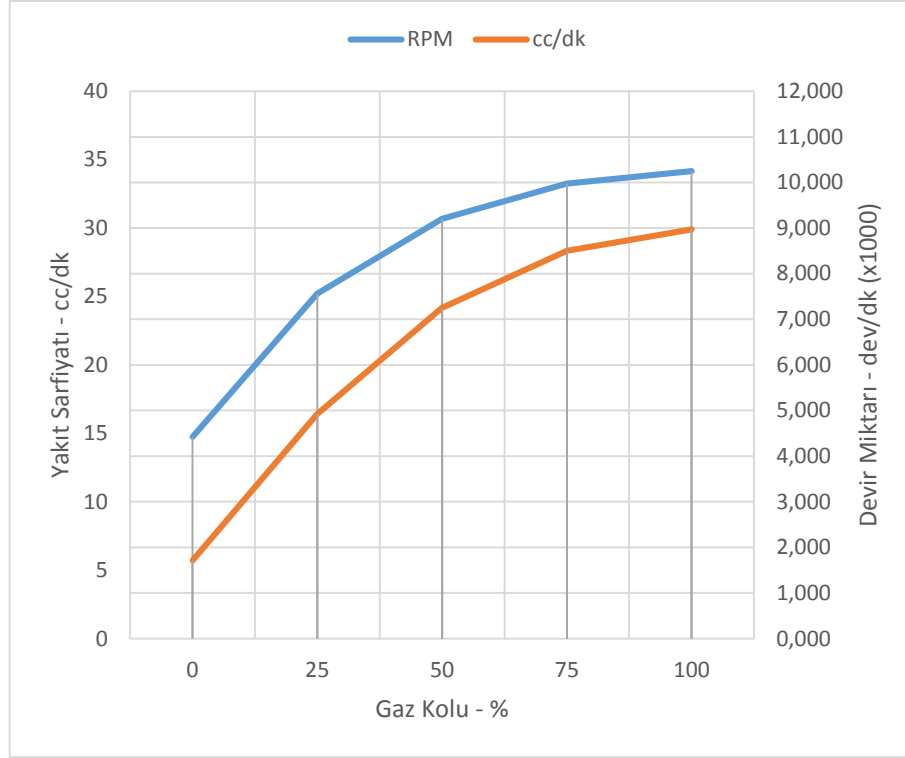


Şekil 5.9. Devir Miktarına göre yakıt sarfiyatı eğrisi

$$YS = 0,3038\left(\frac{DM}{1000}\right)^{1,9721} \quad (5.5)$$

Bağıntılar kullanılarak çıkarılan ilişkiler birleştirilerek değerlendirildiğinde, ivmesiz seviye uçuşu için irtifaya bağlı yakıt sarfiyatı değerlerine ulaşılabilir.

Şekil 5.10'da gaz kolu, devir miktarı ve yakıt sarfiyatı ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Gaz kolu - devir miktarı – yakıt sarfiyatı

Mevcut aşamada, tasarımın motor ve pervane başarımı ile yakıt sarfiyatı kuramsal ve deneysel yöntemler harmanlanarak belirlenmiş olmaktadır. Hesaplamalara göre; tam gaz ile tavan irtifası deniz seviyesinden 3900m, yakıt sarfiyatı da 30cc/dk olmaktadır. Bağlantılar kullanıldığı halde, istenen koşullarda güç grubunun girdileri ve çıktıları hesaplanabilir durumdadır. Aşağıdaki çizelgede anlamlı olduğu düşünülen bazı bulgular Çizelge 5.4’te derlenerek sunulmuştur.

Çizelge 5.4. Derlenen bulgular

Gaz Kolu %	Sarfiyat cc/dk	Devir dev/dk	İtki @ DS N	Hız m/s	İrtifa m	h @ 26 m
%42,7	22,4	8852	10,26	14,33	800	50
%43,1	22,5	8875	10,31	14,36	850	100
%43,6	22,7	8904	10,35	14,40	900	150
%44,5	22,9	8952	10,44	14,47	1000	200
%46,9	23,5	9076	10,72	14,69	1300	500
%51,3	24,6	9280	11,20	15,06	1800	1000
%56,7	25,7	9492	11,71	15,44	2300	1500
%64,3	27,0	9728	12,24	15,84	2800	2000



## 5.2. Görüntü Kalitesi

Çalışmada seçilen kameranın çalışma için anlamlı olacak teknik özellikleri [14] Çizelge 5.5'te ve görünümü (iki eksenli yatağında<sup>4</sup>) Şekil 5.11'de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Teknik özellikler – GoPro Hero 3

Algılayıcı Boyutu	4,55mm (dikey) x 6,17mm (yatay)
Algılayıcı Piksel Boyutu	1,55 µm
Diyafram Açıklığı	f/2.8 (sabit)
Perdeleme Hızı	1/8192 (asgari) - 1/2 veya 1/fps (azami)



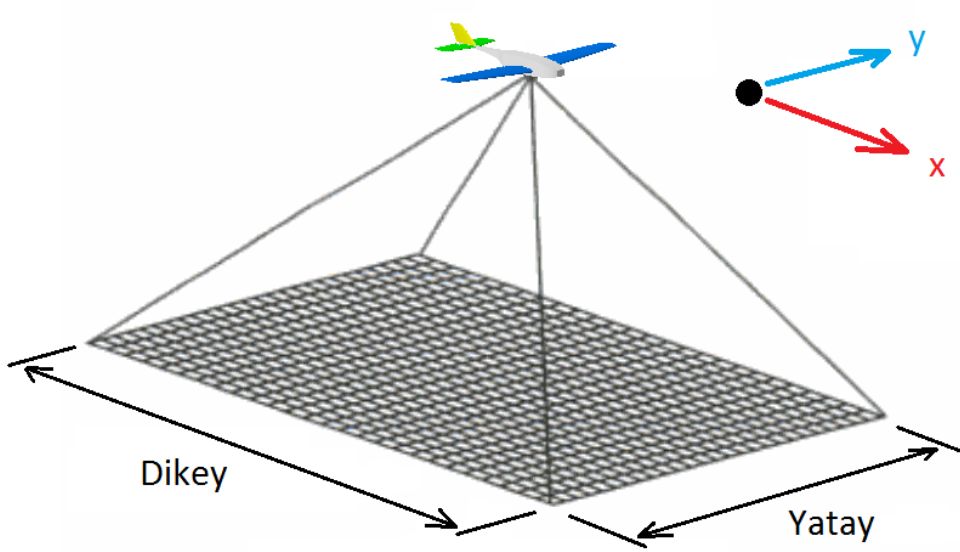
Şekil 5.11. Genel görünüm - GoPro Hero 3 ve 2B yatak

Kameranın odak uzaklığı değerlerine ulaşamamıştır. Eşdeğer olarak kullanılabilir bir büyüklük olarak çeşitli görüntü biçimindeki görüş açısı değerleri Çizelge 5.6'da verildiği gibi kaydedilmiştir.

Çizelge 5.6. Görüş açısı değerleri

Görüntü Biçemi	Dikey	Yatay
4 x 3 - Geniş	94,4 °	122,6 °
4 x 3 - Orta	72,2 °	94,4 °
4 x 3 - Dar	49,1 °	64,6 °
16 x 9 - Geniş	69,5 °	118,2 °
16 x 9 - Orta	55,0 °	94,4 °
16 x 9 - Dar	37,2 °	64,4 °

<sup>4</sup> İki eksenli kamera yatağı, kararlılık destekleyici bir sistem ile bütünleştirildiğinde kameranın açısını istenen değerde sabitleyebilmekte veya istenen yöne çevirebilmektedir. Böylelikle, uçuş süresince kamera tam yere (veya istenen başka bir yöne) doğru bakacak şekilde tutulabilir.



Şekil 5.12. Görüş açıları

Algılayıcı boyutu ve görüş açısı değerleri kullanılarak, sanal olarak da olsa odak uzaklığı değerleri Çizelge 5.7’de görüldüğü üzere hesaplanabilmektedir.

Çizelge 5.7. Hesaplanan odak uzaklığı değerleri

Görüntü Biçemi	Dikey	Yatay
4 x 3 - Geniş	2,11 mm	1,69 mm
4 x 3 - Orta	3,12 mm	2,86 mm
4 x 3 - Dar	4,98 mm	4,88 mm
16 x 9 - Geniş	3,28 mm	1,85 mm
16 x 9 - Orta	4,37 mm	2,86 mm
16 x 9 - Dar	6,76 mm	4,90 mm

İlk incelemelerin sonucunda, görüş açısı orta, görüntü standardı olarak PAL<sup>5</sup>, çözünürlük olarak 1920x1080p, kare hızı olarak 50fps seçilmiştir.

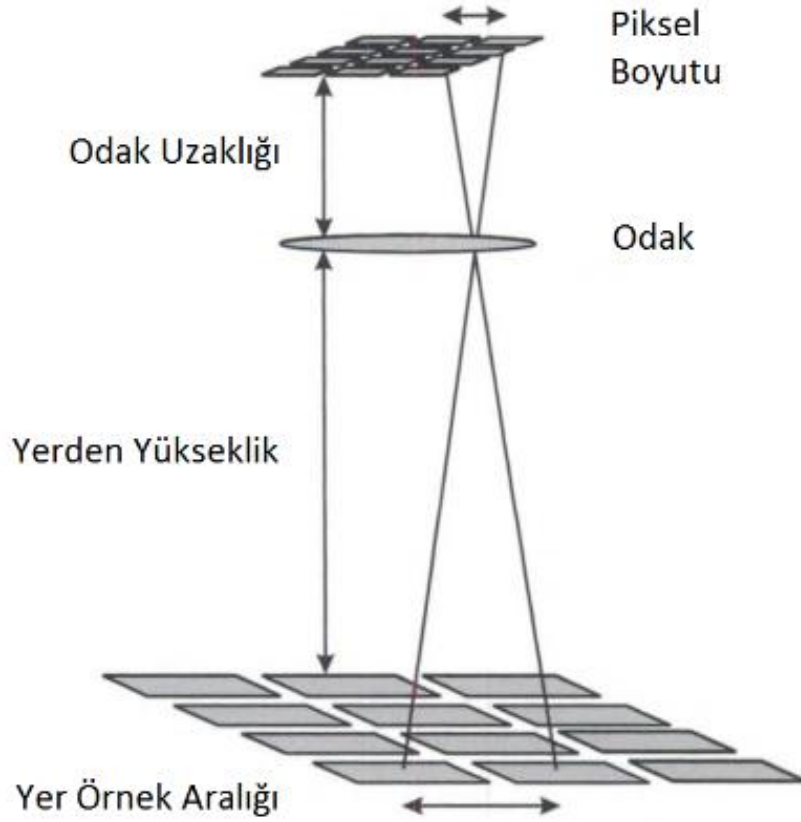
Çizelge 5.8. Görüntü özellikleri

Standart	PAL	
Çözünürlük	1920x1080	piksel
Kare hızı	50	fps

<sup>5</sup> PAL (Phase Alternating Line); Avrupa ve Asya ülkelerinin çoğunda olduğu gibi Türkiye’de kullanılan görüntü standardıdır. Genellikle Amerika kıtasındaki ülkelerin kullandığı NTSC (National Television System Committee) standardından daha yüksek görüntü kalitesine sahiptir.

Görüş açısı ile alakalı ve gözlem yeteneği açısından çok daha önemli bir diğer kavram olan ve Şekil 5.13'te görselleştirilen yer örnek aralığı, kameranın teknik özellikleri ve uçuş irtifasına bağlıdır. Tam yere doğru bakan bir kamera için, yer örnek aralığı; algılayıcı piksel boyutunun ( $p$ ) odak uzaklığına ( $f$ ) oranı ile uçuş irtifasının ( $h$ ) çarpımına eşittir [15].

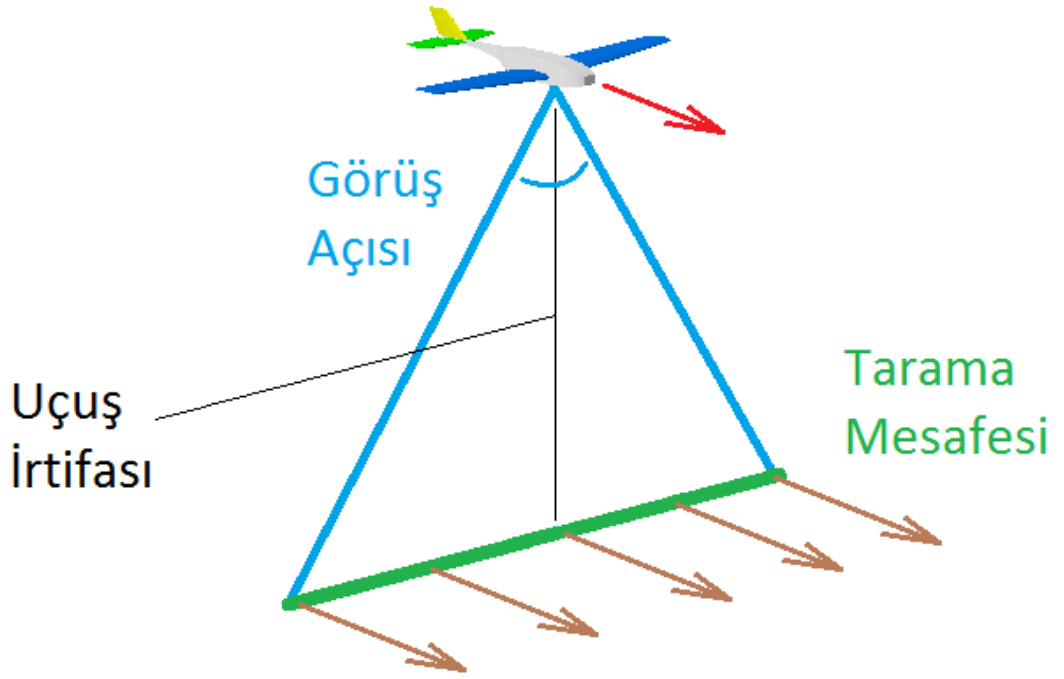
$$YÖA = \frac{p}{f} h \quad (5.6)$$



Şekil 5.13. Yer örnek aralığı

Gözlem yeteneği için ikinci derecede önemli etken Şekil 5.14'de görselleştirilen (yatay) tarama mesafesidir ve anlık görüş açısı ile irtifanın bir sonucudur. Tarama mesafesinin bilinmesi, hava aracının uçuşu sırasında yerde ne kadar büyüklükte bir alanı görebildiğini açıklar. Görüş açısının ( $\alpha_g$ ) yarısının tanjantı tarama mesafesinin ( $TM$ ) yarısının uçuş irtifasına ( $h$ ) oranına eşittir [15].

$$TM = 2 h \tan\left(\frac{\alpha_g}{2}\right) \quad (5.4)$$



Şekil 5.14. Tarama mesafesi

Yer örnek aralığı hesabında, algılayıcı piksel boyutu ve odak uzaklığı; tarama mesafesi hesabında ise görüş açısı sabit olduğuna göre, katsayı çarpanına sahip irtifaya bağlı doğrusal denklemler (5.7), (5.8), (5.9) ve (5.10) kullanılabilir. Hesaplamalar sonucu yerden yüksekliğe bağlı bulunan yer örnek aralığı ve tarama mesafesi değerleri Çizelge 5.9’da verilmiştir.

$$YÖA_{dikey} = 3,55 \times 10^{-4} h \quad (5.7)$$

$$YÖA_{yatay} = 5,43 \times 10^{-4} h \quad (5.8)$$

$$TM_{dikey} = 1,041 h \quad (5.9)$$

$$TM_{yatay} = 2,160 h \quad (5.10)$$

**Çizelge 5.9.** Yer örnek aralıkları ve tarama mesafeleri

Yerden Yükseklik m	Yer Örnek Aralığı			Tarama Mesafesi	
	Dikey cm	Yatay cm	Ortalama cm	Dikey m	Yatay m
100	3,5	5,4	4,5	104	216
200	7,1	10,9	9,0	208	432
300	10,6	16,3	13,5	312	648
400	14,2	21,7	17,9	416	864
500	17,7	27,1	22,4	521	1080
600	21,3	32,6	26,9	625	1296
700	24,8	38,0	31,4	729	1512
800	28,4	43,4	35,9	833	1728
900	31,9	48,8	40,4	937	1944
1000	35,5	54,3	44,9	1041	2160
2000	70,9	108,5	89,7	2082	4320
3000	106,4	162,8	134,6	3123	6479

Arama-tarama görevinin başarı şartı için irdelenmesi gereken bir diğer husus ta aranan nesnenin görüntüde gözlenebilir olmasıdır. Müstakil bir çalışma olabilecek bu konuda kaba varsayımlar ve hesaplar yapılmıştır.

Aranması makul bir nesne olarak insan seçilmiştir. İnsanın, kuşbakışı bir açıdan bakıldığında gerçekte kapladığı alan duruştan duruşa değişmektedir. Ortalama büyüklükte bir insanın duruşuna göre varsayılan boyutları Şekil 5.15'te gösterildiği gibi ölçülerek belirlenmiş ve Çizelge 5.10'da değerleri verilmiştir.

**Çizelge 5.10.** Varsayılan insan boyutları

	En cm	Boy cm	Alan m <sup>2</sup>
Ayakta	50	30	0,150
Yürürken	50	75	0,375
Otururken	55	80	0,440
Yatarken	55	160	0,880
Ortalama	68	68	0,461

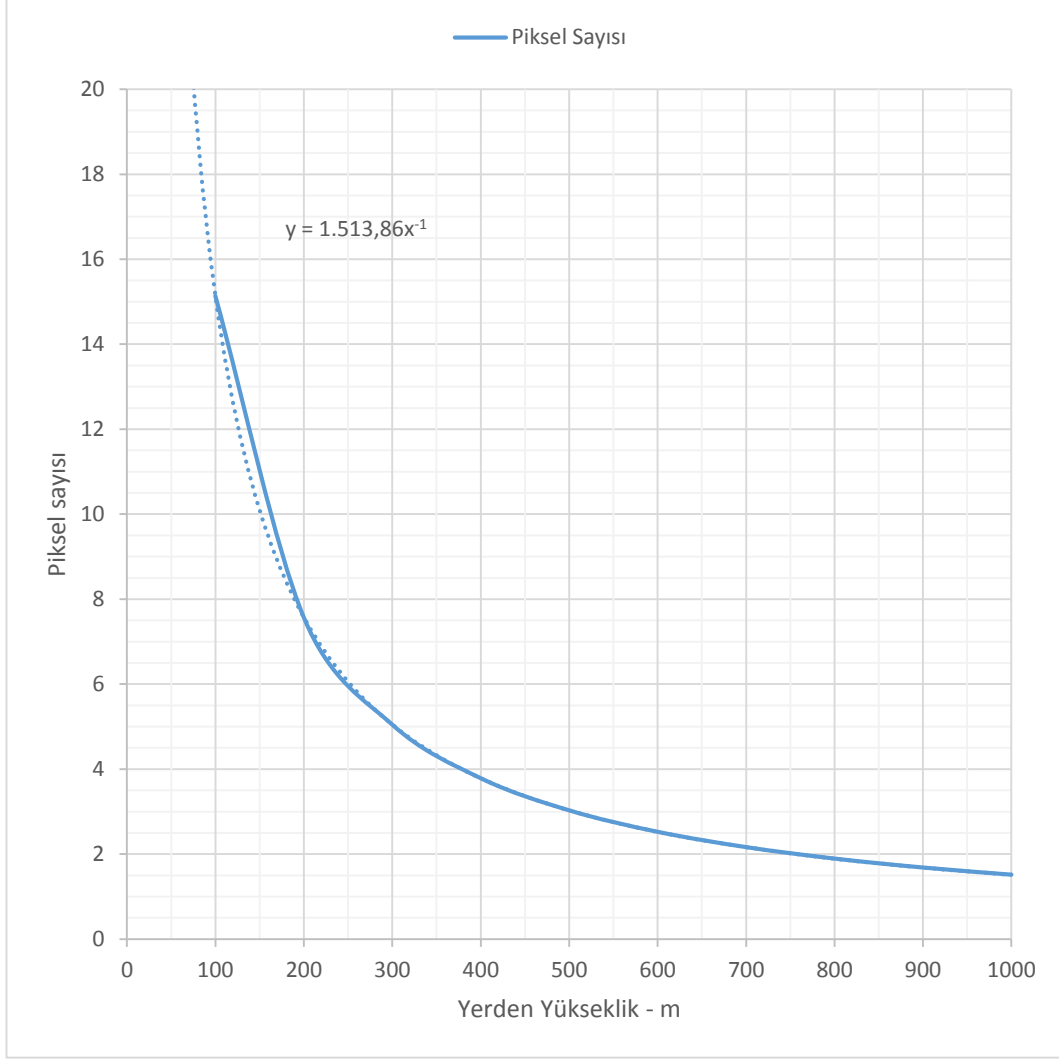


Şekil 5.15. Varsayılan insan boyutları ölçümü

Ortalama büyüklükte (68cm) bir nesnenin görüntüde kaplayacağı piksel sayısı ( $PS$ ) ortalama yer örnek aralığı ( $YÖA$ ) kullanılarak uçuş yüksekliğine ( $h$ ) göre hesaplanmıştır. Çizelge 5.11’de verilen değerlere Şekil 5.16’da görüldüğü gibi eğri uydurularak irtifa ile piksel sayısı arasındaki denklem (5.11) çıkarılmıştır.

Çizelge 5.11. Nesnenin görüntüde kaplayacağı piksel sayısı değerleri

İrtifa m	YÖA cm	Piksel Sayısı
100	4,5	15,1
200	9,0	7,6
300	13,5	5,0
400	17,9	3,8
500	22,4	3,0
600	26,9	2,5
700	31,4	2,2
800	35,9	1,9
900	40,4	1,7
1000	44,9	1,5



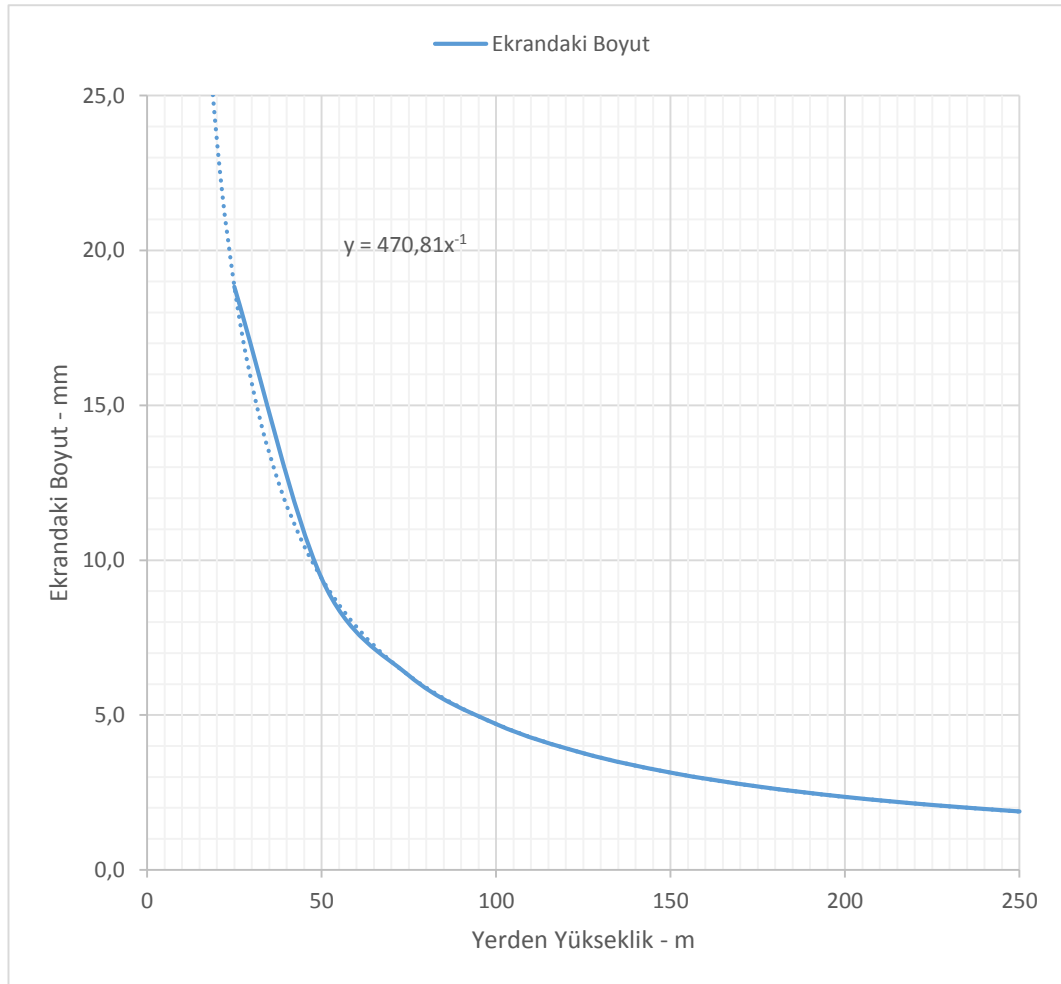
Şekil 5.16. Nesnenin görüntüde kaplayacağı piksel sayısı eğrisi

$$PS = 1513,86h^{-1} \quad (5.11)$$

Nesnenin görüntüde kapladığı piksel sayısı gibi, gözlemci işletenin nesneyi önündeki ekranda ne kadar büyüklükte göreceği de önemlidir. Piyasada -büyük ekran olarak- sıkça rastlanılan 67cm (27in) panellerin piksel aralığı genellikle 0,311mm olarak kaydedilmiştir. Böylelikle, mevcut kamera sistemi ile kaba fakat makul varsayımlar yapılarak, gözlemci işletenin ortalama büyüklükte (68cm) bir nesneyi önündeki (67cm) ekranda ne kadar büyüklükte göreceği hesaplanmıştır. Çizelge 5.12’de verilen değerlere Şekil 5.17’de görüldüğü gibi eğri uydurularak irtifa ile piksel sayısı arasındaki denklem (5.12) çıkarılmıştır.

Çizelge 5.12. Nesnenin ekrandaki boyut değerleri

İrtifa m	Piksel Sayısı	Ekrandaki Boyut mm
25	60,6	18,8
50	30,3	9,4
75	20,2	6,3
100	15,1	4,7
125	12,1	3,8
150	10,1	3,1
175	8,7	2,7
200	7,6	2,4
225	6,7	2,1
250	6,1	1,9



Şekil 5.17. Nesnenin ekrandaki boyut eğrisi

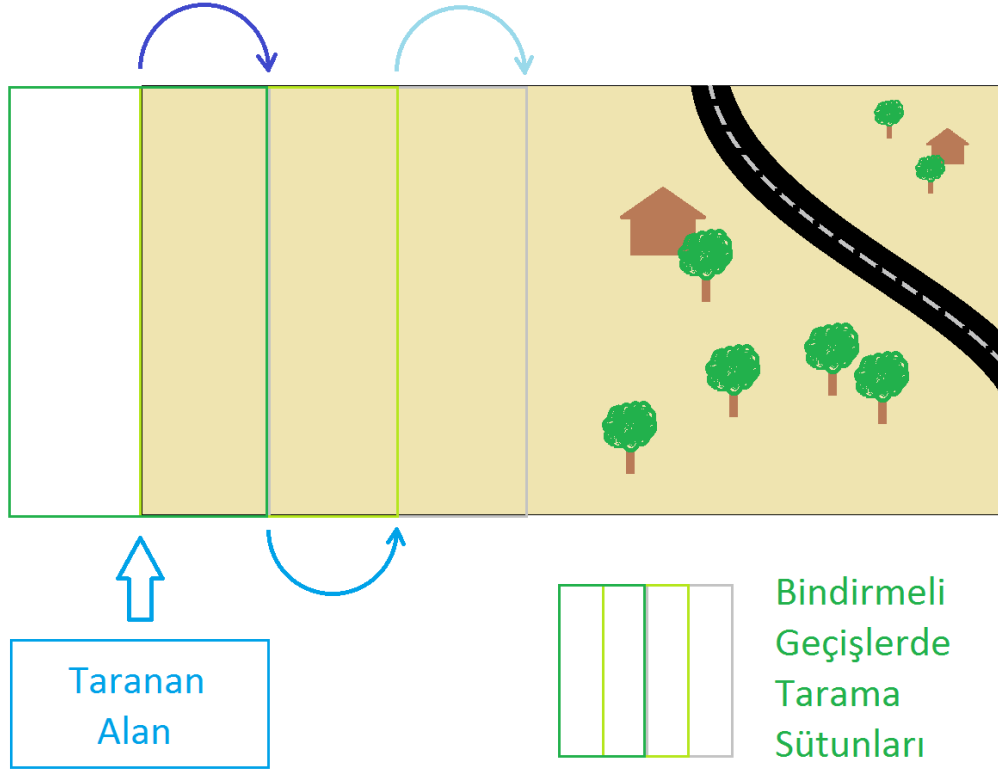
$$EB = 470,81h^{-1} \quad (5.12)$$



Canlandırma ve kıyaslama yapabilmek amacıyla, nesnenin ekrandaki boyutu hususunda 1:1 oranında çizimler yapılmış ve EK.12’de verilmiştir. Sağduyulu bir yaklaşım ile düşünüldüğünde, gözlemci işletenin aranan nesneyi ekranda dikkatli olmak şartıyla tespit edebilmesi için uçuş irtifası (yerden) azami 150 m olmalıdır. Gözlemci işletenin nesneyi oldukça rahat bir şekilde tespit edebilmesi için 50m uçuş irtifası uygun görülmüştür. Tüm bu değerler, mevcut kamera sisteminin teknik özellikleri ve makul işletim şartları düşünülerek hesaplanmıştır. Değişik kamera sistemi ile değişik değerler elde edileceği hatırlanmalıdır.

### 5.3. Görev Başarımı

Belirli bir bölgede arama-tarama olarak ifade edilen görevin icrası için bir kurgu oluşturulmuştur. Farazi dikdörtgen alanı, düz geçişler ve dönüşler ile dolanan uçak; bindirmeli dikey sütun veya yatay satırlar ile görev alanını gezerek, tüm bölgeyi taramış olmaktadır. Arama-tarama görevinin icrası Şekil 5.18’de görselleştirilmeye çalışılmıştır. Sütun veya satırların bindirmeli olması, arama-tarama faaliyetlerinin güvenilirliğini arttırmak amaçlıdır.



Şekil 5.18. Görev kurgusu

Tarama sütun veya satırlarının eni denklem (5.10) bağılı olarak değişmektedir. Görev bölgesinin dolaşılması için gerekli geçiş sayısı ( $GS$ ); dikey veya yatay boyutun (satur veya sütunların bindirme oranı ( $B\%$ ) 50% seçildiği halde) tarama mesafesine ( $TM$ ) bölünmesi ile bulunmuştur. Geçiş sayısının bulunmasıyla birlikte, alan sınırından çıkıp girmek için gerekli dönüş sayısı ( $DS$ ) da bulunmuş olmaktadır. Dönüş gezintisi ( $DG$ ), tarama mesafesi, bindirme oranı ve dönüş sayısı kullanılarak, denklem (5.13)'te görüldüğü gibi bulunmuştur. Görev gezintisi ( $GG$ ) ise, geçiş sayısı ile alan boyutu (yatay veya dikey) çarpılarak seyir (geçiş) gezintisi ( $SG$ ) bulunup, dönüş gezintisine ( $DG$ ) eklenerek bulunmuştur.

$$DG = DS * \left( \pi \left( \frac{TM - (TM * B\%)}{2} \right) \right) \quad (5.13)$$

$$GG = DG + SG \quad (5.14)$$

Değişkenler ve bağıntılar görevin icrası çerçevesinde değerlendirilmiştir. Tarama mesafesi, ekrandaki boyut, seyir hızı ve yakıt sarfiyatı irtifaya bağlıdır. Aranılan nesnenin tespit edilebilmesi için, ekrandaki boyut değerlerine göre belirlenen icra irtifaları yerden 50m, 100m ve 150m olarak seçilmiştir. Görev süresi, görev gezintisinin seyir hızına bölünmesiyle bulunabilir. Görev süresi ile yakıt sarfiyatı çarpılarak gerekli yakıt miktarı bulunabilir. Böylelikle, görevin icrası nicel olarak değerlendirilebilir. Çizelge 5.13'te, 1000x1000m boyutlarında bir alanın tarama görevine ait veriler görülmektedir.

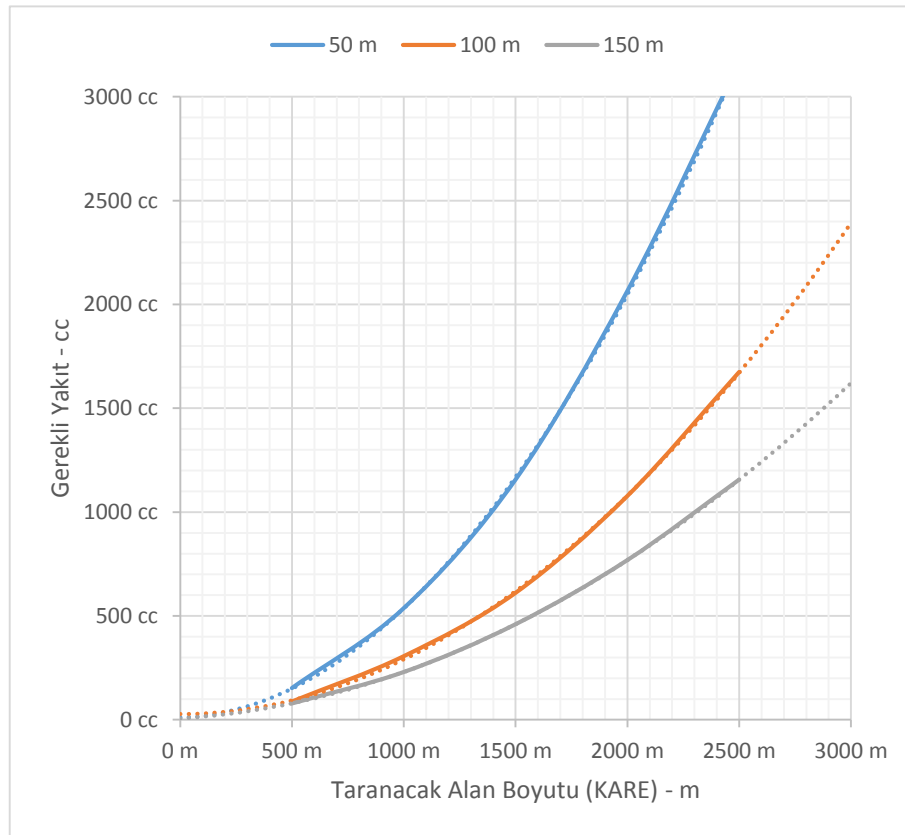
**Çizelge 5.13.** Örnek görev icrası – 1000x1000m alan

İrtifa	50 m	100 m	150 m
Seyir Hızı	14,33 m/s	14,36 m/s	14,40 m/s
Ekrandaki Boyut	10 mm	5 mm	3 mm
Taranan Mesafe	108 m	216 m	324 m
Geçiş Sayısı	19 kez	10 kez	7 kez
Seyir Gezintisi (tek)	1000 m	1000 m	1000 m
Dönüş Gezintisi (tek)	85 m	170 m	254 m
Görev Gezintisi	20612 m	11696 m	8781 m
Görev Süresi	24 dk	14 dk	10 dk
Yakıt Sarfiyatı (anlık)	22,4 cc/dk	22,5 cc/dk	22,7 cc/dk
Yakıt Sarfiyatı (görev)	537 cc	306 cc	230 cc

Çeşitli kare ve dikdörtgen alan boyutlarında görev icraları incelenmiş ve kaydedilmiştir. Bulunan değerlerden, gerekli yakıt miktarı ile alan boyutu değerleri derlenerek aralarındaki bağıntı incelenmiştir. Geçiş sayısını ve dolayısıyla dönüş sayısını azaltıp, dönüş gezintisini kısaltması sebebiyle; uzun kenar doğrultusunda tarama yapılması halinde görev gezintisi değeri ve dolayısıyla gerekli yakıt miktarı azalmaktadır. Taranan alanın boyutları arasında uçuk farklar olmadığı hallerde, dikey veya yatay gezinmelerin görevin icrasını hayati derecede etkilemediği gözlenmiştir. Böylelikle derlenen verilerden, kare şekilli alanlara ait değerler Çizelge 5.14’te, bu değerlere uydurulan eğriler Şekil 5.19’da verilmiştir.

**Çizelge 5.14.** Çeşitli görev icrası nicelikleri

Alan Boyutu		Yakıt Sarfıyatı (görev)				
		500 m	1000 m	1500 m	2000 m	2500 m
İrtifa	50 m	152 cc	537 cc	1156 cc	2064 cc	3165 cc
	100 m	87 cc	306 cc	611 cc	1077 cc	1674 cc
	150 m	79 cc	230 cc	460 cc	769 cc	1156 cc



**Şekil 5.19.** Görev icrası eğrileri

Türetilen eğriler kullanılarak, genel geçer yakıt deposu hacimleri gözetildiğinde; mevcut tasarımın taşıyabileceği yakıt miktarlarında tarayabileceği azami alan boyutları Çizelge 5.15’de verildiği gibi belirlenmiştir. Böylelikle tasarımın görev başarımı anlamındaki işletme şartları ortaya konmuştur. Sunulan gerekli yakıt miktarı değerleri, sadece görev alanında yapılacak tarama faaliyetlerini kapsadığından, görev alanına gidiş ve görevden dönüş sırasında tüketilecek yakıt miktarları ayrıca göz önünde bulundurulmalıdır.

**Çizelge 5.15.** Yakıt miktarlarına göre taranabilecek alanlar

İrtifa	Yakıt Miktarı					
	500 cc		750 cc		1000 cc	
	Boyut	Alan	Boyut	Alan	Boyut	Alan
50 m	965 m	0,931 km <sup>2</sup>	1190 m	1,416 km <sup>2</sup>	1385 m	1,918 km <sup>2</sup>
100 m	1340 m	1,796 km <sup>2</sup>	1655 m	2,739 km <sup>2</sup>	1925 m	3,706 km <sup>2</sup>
150 m	1575 m	2,481 km <sup>2</sup>	1970 m	3,881 km <sup>2</sup>	2315 m	5,359 km <sup>2</sup>

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Doğa araştırması sayesinde, tasarım çalışmalarında oldukça önemli etkenler olan kanat yüklemesi ve açıklık oranı değişkenlerinin doğadaki eğilimi ortaya çıkmıştır. Doğa araştırmasında bulunan ortalama değerler ile deniz seviyesi için yapılan hesapla, taşıma katsayısının kuş uçuşu için ortalama değeri verilmiştir. Kuşlarda göç hızının, seyir hızlarından düşük olması, uçaklarda yüksek menzile ulaşan uçuş hızının verimli uçuş hızından düşük olması durumunu hatırlatmaktadır.

Boyutlandırma tahmininde bulunan ağırlık değerleri ile üretim çalışmaları sonucu bulunan ağırlık değerlerinin birbirine yakınsaması; küçük ölçekli hava araçları için doğa benzetimli tasarım yapılmasının faydalı ve tutarlı olduğu kanaatini doğurmuştur.

HAD analizleri sonuçlarına göre, uçak bileşenlerinin tekil ve bütünleşik hallerinin kuvvet ve moment değerleri arasında, bileşenlerin etkileşimi sonucu farklar oluşmaktadır. Tekil hal ile bütünleşik hal arasındaki fark, çalkantılı akış modeli çerçevesinde; bileşenler odak olarak seçildiğinde çoğu bileşen için olumsuz, uçak odak olarak seçildiğinde olumlu bir değişim olarak gözlenmektedir.

Bütünleşik halde bulunan taşıma/sürüklenme oranının bileşenlerin tekil halde ürettikleri kuvvetlerin toplamıyla hesaplanan orandan yüksek olduğu gözlenmiştir.

Uçak bileşenleri için referans olabilecek nitelikte rüzgâr tüneli deneyleri yapılması, bir çapa noktası gibi davranarak, HAD analizi sonuçlarının tekil halden bütünleşik hale değişimi oranının deney sonuçlarına uygulanmasıyla; uçağın aerodinamik davranışının gerçeğe yakın doğrulukta belirlenmesinde faydalı olabilir. Bütün uçak için deney yapılması bileşenler için deney yapılmasından tabii olarak zordur. HAD analizleriyle bulunan değişim oranı ile bileşenlerin deney sonuçlarının bütün uçağa uzatılması, tasarım çalışmalarında yenilikçi bir yaklaşım olarak kullanılabilir.

Seçilen motorun başarımının belirli çap ve hatvedeki pervanelerde yüksek çıkması, çevre şartlarına da bağlı olmak üzere; her motor için uygun pervane seçilmesinin önemini vurgulamıştır. Aynı boyuttaki pervaneler içinde ahşap malzemedeki mamul olanların başarımının yüksek çıkması hafif ve katı pervanelerin daha verimli olduğu görüşünü desteklemiştir.

Tasarlanıp üretilen motor deney düzeneğinin durgun ortam itki deneyleri için yeterli olduğu gözlenmiştir. Hareketli ortam deneylerinde, motorun başarımını etkilemeden rüzgâr tünellerine zarar vermeyecek şekilde egzoz dumanının uzaklaştırılması, öngörülenden daha karmaşık bir sorun olarak ayrıca bir çalışmanın konusu olabilecek niteliktedir.

Yakıt sarfiyatı deneyleri ve irtifaya bağlı çıkarılan denklikler sayesinde, tasarlanan uçağın görevi icrası sırasında ne kadar yakıt tüketeceği veya ne kadar yakıt ile nasıl bir görev icra edebileceği tahmin edilebilir olmaktadır.

Seçilen kameranın kolay kullanımı yaygınlaşmasının bir nedeni olduğu halde, bir gözlem İHA sistemi için; denetimlerine erişimi kısıtlı ve yetkinliği sınırlı kalmaktadır. Seçilen kameranın başarımı, uçuş irtifası için esas sınırlayıcı etmen olarak kaydedilmiştir.

Arama-tarama görevinin tasarlanan mevcut İHA sistemi ile icrası, yere yakın yüksekliklerde olduğundan, uçağı ve görevi tehlikeye atabilecek engellere çarpma olasılığı mutlaka gözetilmelidir. Görev bölgesini, uzun kenarı doğrultusunda geçişler ile dolaşmak dönüş sayısını azalttığı için daha verimlidir. Olası bir kurgu

olarak, bir arama-kurtarma görevi için, bölgeyi kısa kenarı doğrultusunda dolaşmak, aranan alan yüzdesini kısa sürecek her geçişle daha fazla artıracığından daha etkin olarak düşünülebilir.

Özetle; sıfırdan küçük ölçekli bir gözlem İHA sistemi, doğa araştırmasına göre boyutlandırılmış, tasarlanan uçak HAD analizlerinde koşturulmuş; uçak, motor ve kamera başarımı, bir arama-tarama görev kurgusu çerçevesinde, bir bütün halinde incelenip değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ilerletilmesi adına; alışlagelmiş rakip araştırması yapılarak doğa araştırması ile karşılaştırılabilir, HAD analizlerinde farklı uçak tertiplerinin incelenmesiyle tertiplere göre bileşenlerin etkileşimi araştırılabilir, hıza bağlı motor pervane başarımının deneysel tespitini mümkün kılmak için egzoz dumanı uzaklaştırma düzeneği oluşturulabilir, kamera seçimi karşılaştırmalı başarımların değerlendirmesi ile yapılabilir, görevin icrası konusunda farklı ve düzgün olmayan şekillerde görev alanları incelenebilir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Goraj, Z., Frydrychiewicz, A. ve Jacek Winiecki, J., "Design concept of a high-altitude long-endurance unmanned aerial vehicle" *Aircraft Design*, No:2, 19-44, 1999.
- [2] Frulla, G. ve Cestino, E., "Design, manufacturing and testing of a HALE-UAV structural demonstrator" *Composite Structures*, No:83, 143-153, 2008.
- [3] Nickol, C., Guynn, M., Kohout, L. ve Ozoroski, T., "High Altitude Long Endurance Air Vehicle Analysis of Alternatives and Technology Requirements Development" *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 1050, 2007.
- [4] Goetzendorf-Grabowski, T., Frydrychewicz, A., Goraj, Z. ve Suchodolski, S., "MALE UAV design of an increased reliability level" *Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An international Journal*, No:78(3), 226-235, 2007.
- [5] Capello, E., Guglieri, G. ve Quagliotti, F., "UAVs and simulation: an experience on MAVs" *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, No:81(1), 38-50, 2009.

- [6] Weierman, J. R. ve Jacob, J. D., *Winglet design and Optimization for UAVs*, Doktora Tezi, Oklahoma State University, 2010.
- [7] Pennycuick, C. J., *Modelling the Flying Bird*, Elsevier, 2008.
- [8] Tennekes, H., *The Simple Science of Flight: from Insects to Jumbo Jets*, MIT press, 2009.
- [9] Raymer, D., *Aircraft Design: A Conceptual Approach, Fourth Edition*, AIAA Education Series, 2006.
- [10] George, W. K., *Lectures in Turbulence for the 21st Century*, Chalmers University of Technology, 2009.
- [11] Anonim, *ANSYS Fluent Theory Guide*, ANSYS Inc., 2014.
- [12] Anonim, *Global Hobby Product Owner Manuals*, 2014.  
<http://media.globalhobby.com/manual/210770.PDF>
- [13] Gabriel Staples, *Kişisel Günce*, 2014.  
<http://electricrcaircraftguy.blogspot.com.tr/2014/04/propeller-static-dynamic-thrust-equation-background.html>
- [14] Anonim, *GoPro Hero3 Kamera Özellikleri*, 2014.  
<http://gopro.com/support/articles/hero3-faqs>
- [15] Leachtenauer, J. C., ve Ronald G. D., *Surveillance And Reconnaissance Imaging Systems: Modeling And Performance Prediction*, Artech House, 2001.

## EKLER

1.	Donanım Ağırlıkları	60
2.	Yineleme Hesapları	61
3.	Naca4410 ve Naca0008	62
4.	Kompozit Numuneler	66
5.	Tarafsız Nokta Hesapları	67
6.	Ağırlık Merkezi Hesabı	73
7.	Çözüm Ağı Görselleri	74
8.	Analiz Sonuçları	77
9.	Deney Kayıt Sayfası	78
10.	Patlar Motor Deneyleri	79
11.	Gerekli İtke Hesabı	80
12.	Ekrandaki Boyut Örnekleri	81



## EK.1 - Donanım Ağırlıkları

<i>Donanım</i>	<i>Açıklama</i>	<i>Ağırlık</i>	<i>Adet</i>	<i>Toplam</i>
Patlar Motor + Muffler	Magnum XLS .61a	700 g	1	700 g
Pervane+Spinner	33x15cm Ahşap	50 g	1	50 g
Motor Yatağı	Plastik, ayarlanabilir	150 g	1	150 g
Yakıt Deposu	Plastik, 1000cc	50 g	1	50 g
Yakıt	15% Nitrometan	750 g	1	750 g
Eyleyici	Futaba 3305	50 g	6	300 g
Batarya	2250mAh, 11,1V	160 g	1	160 g
UBEC	5V çıkış	20 g	1	20 g
Alıcı	Futaba	20 g	1	20 g
Kablolar / Bağlantılar	Uzatma kabloları	100 g	1	100 g
Otopilot	APM 2.6 + Ublox	50 g	1	50 g
Telemetri (veri)	3DR veri aktarma	15 g	1	15 g
Telemetri (görüntü)	5,8 GHz	30 g	1	30 g
Anten	3dBi kazançlı	30 g	2	60 g
Görev Kamerası	GoPro Hero3	95 g	1	95 g
Kamera Yuvası	2B kamera yuvası	150 g	1	150 g

**TOPLAM** 2700 g

## EK.2 - Yineleme Hesapları

A 7,2  
W/S 4,28 kg/m<sup>2</sup>  
Vc 14,32 m/s  
ρ 1,135 kg/m<sup>3</sup>  
CL 0,360667

A 7,2  
W/S 7,133333 kg/m<sup>2</sup>  
Vc 14,32 m/s  
ρ 1,135 kg/m<sup>3</sup>  
CL 0,601111

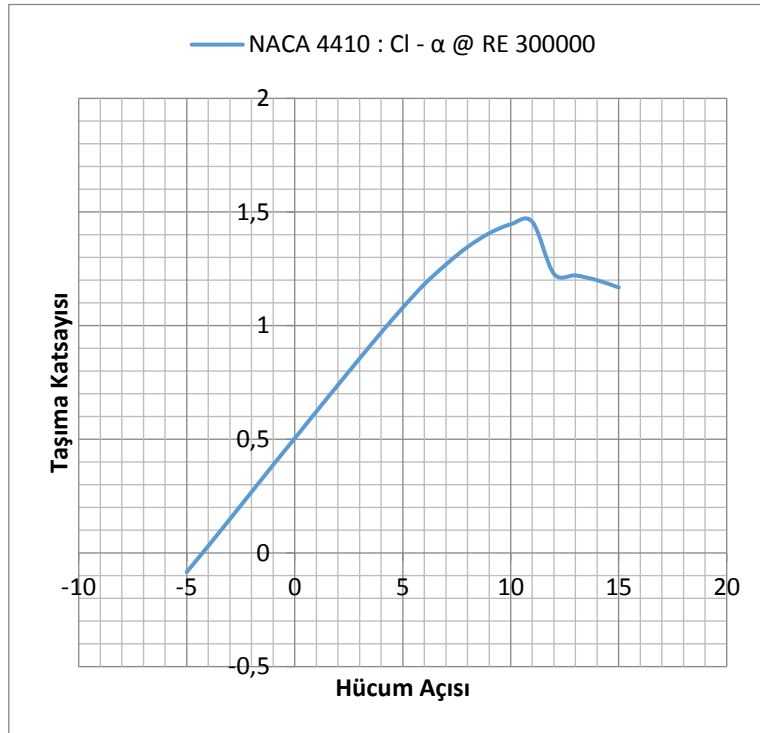
	W kg	b m	S m <sup>2</sup>	W kg		W kg	b m	S m <sup>2</sup>	W kg
1	3,6	1,890711	0,496499	2,125014	1	6	2,279186	0,721484	5,146589
2	2,125014	1,559109	0,337614	1,444988	2	5,146589	2,154791	0,644878	4,600133
3	1,444988	1,353955	0,25461	1,089732	3	4,600133	2,068103	0,594035	4,237449
4	1,089732	1,22117	0,207119	0,886469	4	4,237449	2,006898	0,559394	3,990347
5	0,886469	1,132346	0,178084	0,762201	5	3,990347	1,96327	0,535337	3,818738
6	0,762201	1,07148	0,159454	0,682463	6	3,818738	1,931952	0,518394	3,697879
7	0,682463	1,029032	0,14707	0,629461	7	3,697879	1,909356	0,506339	3,611886
8	0,629461	0,999045	0,138624	0,593309	8	3,611886	1,892993	0,497697	3,550241
9	0,593309	0,977661	0,132753	0,568182	9	3,550241	1,881109	0,491468	3,505808
10	0,568182	0,962306	0,128616	0,550476	10	3,505808	1,872463	0,486961	3,473652
11	0,550476	0,951226	0,125671	0,537871	11	3,473652	1,866162	0,483689	3,450314
12	0,537871	0,9432	0,123559	0,528833	12	3,450314	1,861565	0,481309	3,433338
13	0,528833	0,937371	0,122037	0,522317	13	3,433338	1,85821	0,479575	3,420971
14	0,522317	0,933129	0,120935	0,517601	14	3,420971	1,855758	0,478311	3,411952
15	0,517601	0,930038	0,120135	0,514177	15	3,411952	1,853967	0,477388	3,405368
16	0,514177	0,927783	0,119553	0,511686	16	3,405368	1,852658	0,476714	3,400559
17	0,511686	0,926136	0,119129	0,509872	17	3,400559	1,8517	0,476221	3,397045
18	0,509872	0,924934	0,11882	0,508549	18	3,397045	1,851	0,475861	3,394477
19	0,508549	0,924055	0,118594	0,507583	19	3,394477	1,850488	0,475598	3,392599
20	0,507583	0,923412	0,118429	0,506877	20	3,392599	1,850113	0,475405	3,391225
21	0,506877	0,922942	0,118309	0,506361	21	3,391225	1,849839	0,475265	3,390221
22	0,506361	0,922599	0,118221	0,505984	22	3,390221	1,849639	0,475162	3,389486
23	0,505984	0,922348	0,118156	0,505709	23	3,389486	1,849492	0,475086	3,388949
24	0,505709	0,922164	0,118109	0,505507	24	3,388949	1,849385	0,475031	3,388556
25	0,505507	0,922029	0,118075	0,50536	25	3,388556	1,849306	0,474991	3,388268
26	0,50536	0,921931	0,11805	0,505252	26	3,388268	1,849249	0,474961	3,388058
27	0,505252	0,921859	0,118031	0,505173	27	3,388058	1,849207	0,47494	3,387904
28	0,505173	0,921806	0,118018	0,505116	28	3,387904	1,849176	0,474924	3,387791
29	0,505116	0,921768	0,118008	0,505073	29	3,387791	1,849154	0,474912	3,387709
30	0,505073	0,92174	0,118001	0,505042	30	3,387709	1,849137	0,474904	3,387649
31	0,505042	0,921719	0,117995	0,50502	31	3,387649	1,849125	0,474898	3,387605
32	0,50502	0,921704	0,117991	0,505003	32	3,387605	1,849117	0,474893	3,387572
33	0,505003	0,921693	0,117989	0,504991	33	3,387572	1,84911	0,47489	3,387549
34	0,504991	0,921685	0,117987	0,504982	34	3,387549	1,849105	0,474888	3,387532
35	0,504982	0,921679	0,117985	0,504976	35	3,387532	1,849102	0,474886	3,387519
36	0,504976	0,921675	0,117984	0,504971	36	3,387519	1,849099	0,474885	3,38751
37	0,504971	0,921672	0,117983	0,504968	37	3,38751	1,849098	0,474884	3,387503
38	0,504968	0,921669	0,117983	0,504965	38	3,387503	1,849096	0,474883	3,387498
39	0,504965	0,921668	0,117982	0,504963	39	3,387498	1,849095	0,474882	3,387494
40	0,504963	0,921666	0,117982	0,504962	40	3,387494	1,849094	0,474882	3,387492
41	0,504962	0,921665	0,117982	0,504961	41	3,387492	1,849094	0,474882	3,38749
42	0,504961	0,921665	0,117981	0,50496	42	3,38749	1,849094	0,474882	3,387488
43	0,50496	0,921664	0,117981	0,50496	43	3,387488	1,849093	0,474881	3,387487
44	0,50496	0,921664	0,117981	0,504959	44	3,387487	1,849093	0,474881	3,387487
45	0,504959	0,921664	0,117981	0,504959	45	3,387487	1,849093	0,474881	3,387486
46	0,504959	0,921663	0,117981	0,504959	46	3,387486	1,849093	0,474881	3,387486
47	0,504959	0,921663	0,117981	0,504959	47	3,387486	1,849093	0,474881	3,387485
48	0,504959	0,921663	0,117981	0,504959	48	3,387485	1,849093	0,474881	3,387485
49	0,504959	0,921663	0,117981	0,504959	49	3,387485	1,849093	0,474881	3,387485
50	7,129297	2,460909	0,841121	3,599999	50	1,771226	2,460909	0,841121	6
	oran	b	S	W		oran	b	S	W



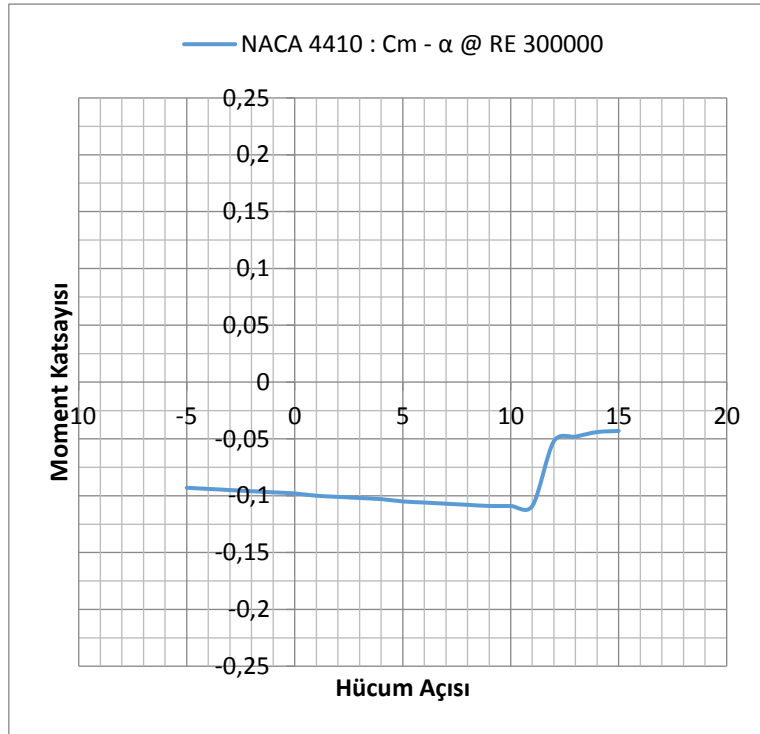
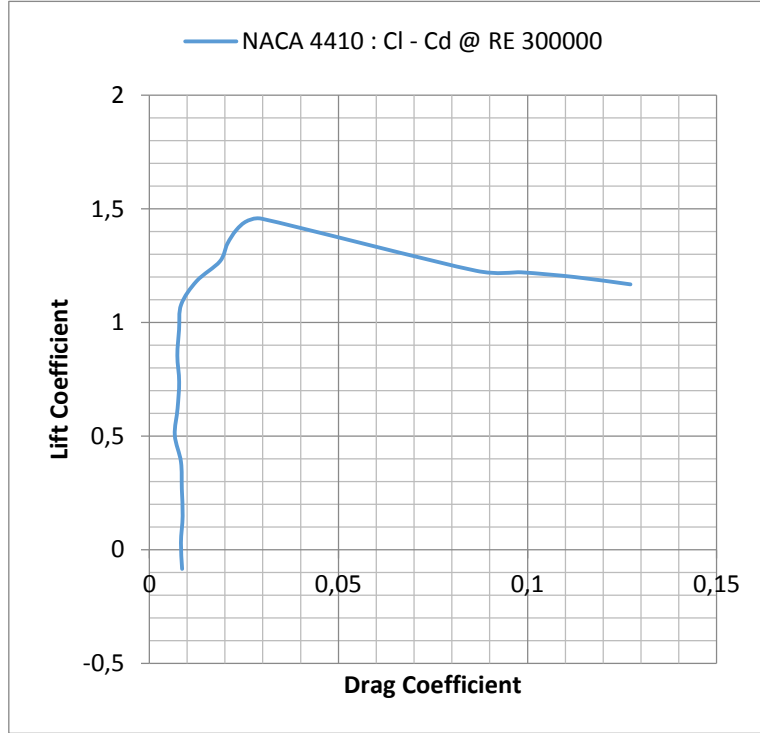
### EK.3 - Naca4410 ve Naca0008

NACA 4410 @ RE 300000

$\alpha$ [°]	Cl [-]	Cd [-]	Cm 0.25 [-]
-5	-0,084	0,00867	-0,093
-4	0,031	0,00836	-0,094
-3	0,149	0,00881	-0,095
-2	0,268	0,00859	-0,096
-1	0,387	0,00837	-0,097
0	0,504	0,00674	-0,098
1	0,622	0,00747	-0,1
2	0,739	0,00789	-0,101
3	0,855	0,00741	-0,102
4	0,969	0,00787	-0,103
5	1,079	0,00842	-0,105
6	1,182	0,01249	-0,106
7	1,269	0,01866	-0,107
8	1,346	0,02062	-0,108
9	1,406	0,02295	-0,109
10	1,446	0,02578	-0,109
11	1,457	0,02965	-0,109
12	1,228	0,08633	-0,052
13	1,221	0,09835	-0,048
14	1,2	0,11258	-0,044
15	1,168	0,12722	-0,043



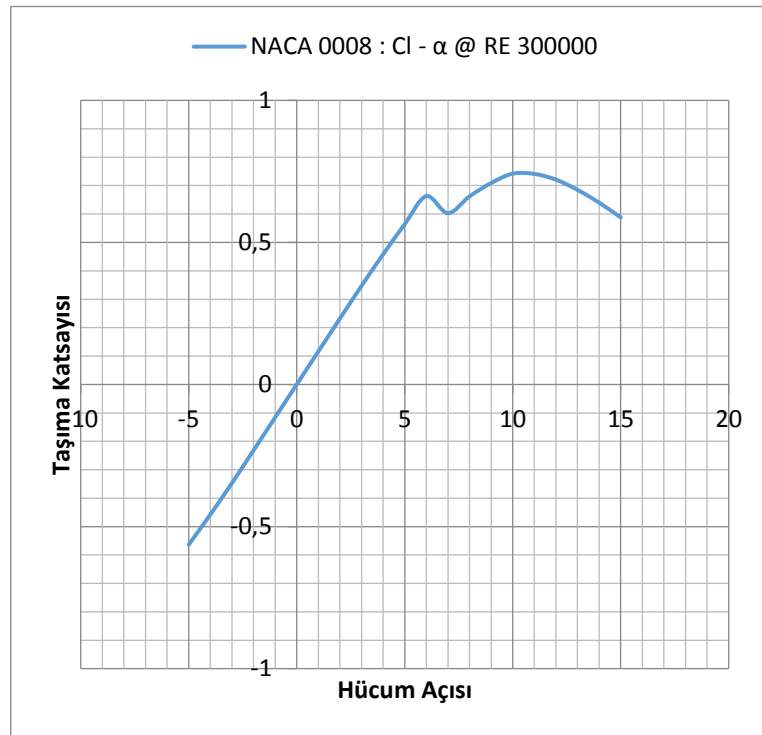
### EK.3 - Naca4410 ve Naca0008



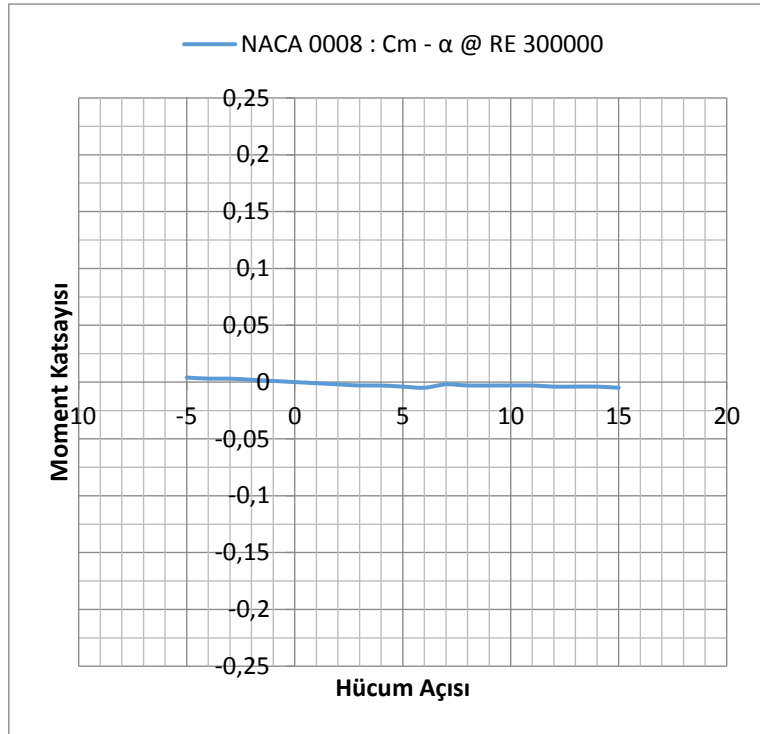
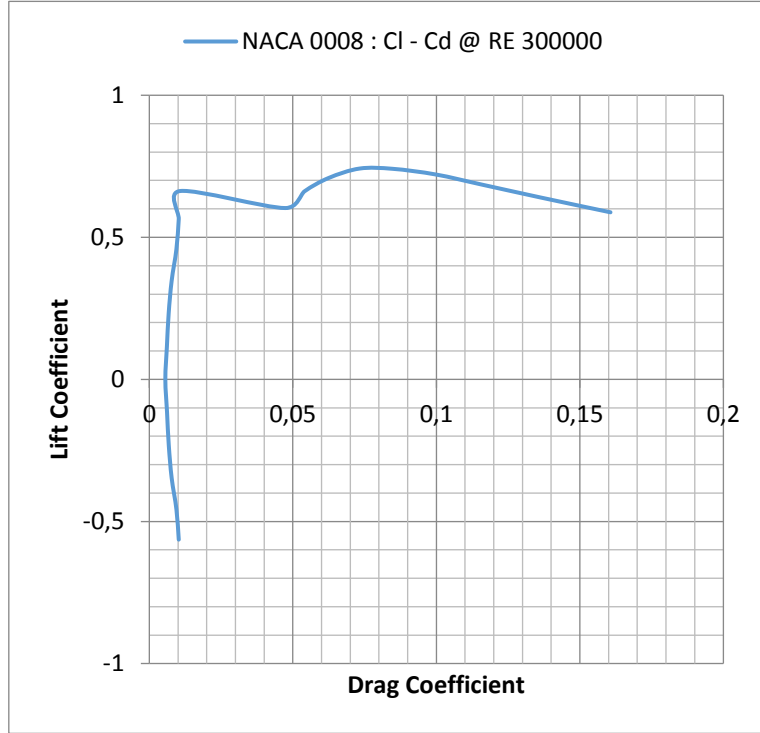
### EK.3 - Naca4410 ve Naca0008

NACA 0008 @ RE 300000

$\alpha$ [°]	Cl [-]	Cd [-]	Cm 0.25 [-]
-5	-0,564	0,01025	0,004
-4	-0,458	0,00945	0,003
-3	-0,347	0,00778	0,003
-2	-0,232	0,00678	0,002
-1	-0,116	0,00617	0,001
0	0	0,00558	0
1	0,116	0,00613	-0,001
2	0,232	0,00674	-0,002
3	0,347	0,00778	-0,003
4	0,458	0,00944	-0,003
5	0,564	0,01025	-0,004
6	0,663	0,01082	-0,005
7	0,603	0,04736	-0,002
8	0,662	0,05409	-0,003
9	0,709	0,06252	-0,003
10	0,742	0,07329	-0,003
11	0,741	0,08484	-0,003
12	0,721	0,09986	-0,004
13	0,685	0,1161	-0,004
14	0,64	0,13637	-0,004
15	0,588	0,16066	-0,005



### EK.3 - Naca4410 ve Naca0008



#### EK.4 - Kompozit Numuneler

Numune Numarası	Elyaf			
	Çeşit	Yoğunluk	Doku	Katman
1	Aramid	300 g/m <sup>2</sup>	Hasır	2
2	Aramid	300 g/m <sup>2</sup>	Hasır	2
3	Cam	280 g/m <sup>2</sup>	Düz	4
4	Cam	280 g/m <sup>2</sup>	Düz	4
5	Karbon	300 g/m <sup>2</sup>	Düz	4
6	Karbon	300 g/m <sup>2</sup>	Düz	4

Numune Numarası	Reçine		Nüve		
	Reçine	Sertleştirici	Çeşit	Yoğunluk	Kalınlık
1	MGS L160	MGS H2605			
2	MGS L160	MGS H2605	Petek	47 g/m <sup>2</sup>	1,5 mm
3	MGS L160	MGS H2605			
4	MGS L160	MGS H2605	Petek	47 g/m <sup>2</sup>	1,5 mm
5	MGS L160	MGS H2605			
6	MGS L160	MGS H2605	Petek	47 g/m <sup>2</sup>	1,5 mm

Numune Numarası	Ağırlık	Alan	Yoğunluk		Kalınlık
	g	cm <sup>2</sup>	g/cm <sup>2</sup>	g/m <sup>2</sup>	mm
1	16,5	114,0	0,1447	1447	1,4
2	20,5	126,5	0,1621	1621	3,1
3	16,6	90,0	0,1844	1844	1,4
4	17,6	91,0	0,1934	1934	2,9
5	17,5	118,4	0,1478	1478	1,3
6	19,7	117,0	0,1684	1684	2,9

Numune Numarası	Elyaf	Reçine	Nüve
	%	%	%
1	41%	59%	
2	37%	60%	3%
3	61%	39%	
4	58%	40%	2%
5	81%	19%	
6	71%	26%	3%

## EK.5 - Tarafsız Nokta Hesapları

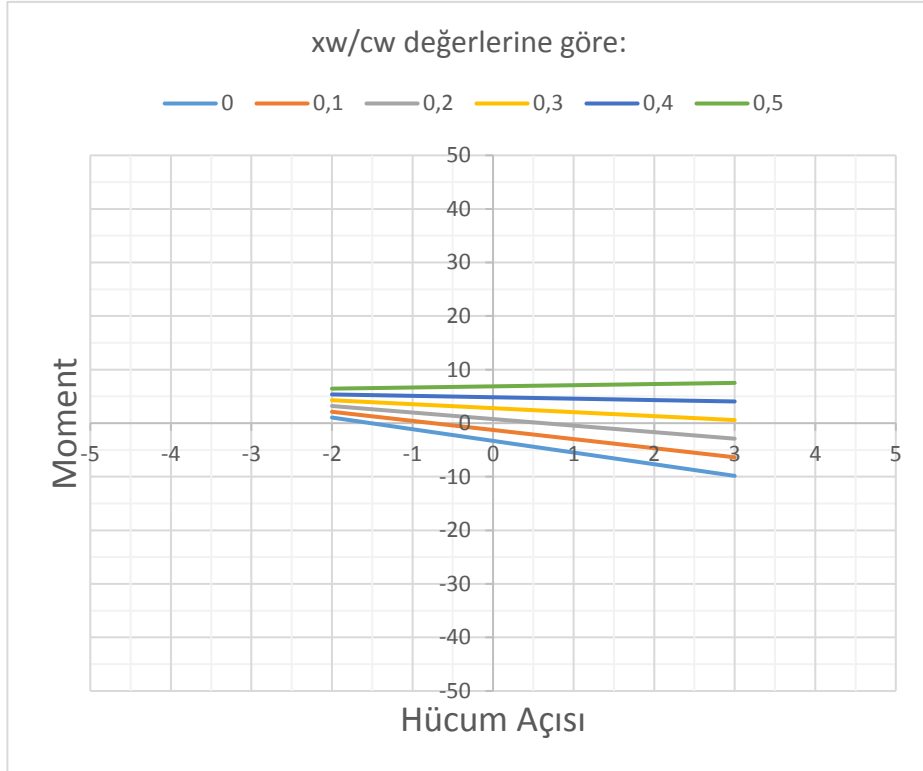
### Hesaplamalarda Kullanılan Değişkenler

$\rho$	1,135	kg/m <sup>3</sup>	
V	14,32	m/s	
q	116,373	N/m <sup>2</sup>	
W	56,8777	N	
Sw	0,805	m <sup>2</sup>	
Sht	0,182	m <sup>2</sup>	
cw	0,358	m	
ct	0,262	m	
$\alpha_{0t}$	-4,53457	$\alpha_{0w}$	4,08811
CLw	0,11693	0,50173	
CMw	-0,00118	-0,09855	
CLht	0,11406		
CMht	-0,00084		
CLw >	0,607	0,000	
$\alpha_w >$	0,9015	0,0000	
xt	0,885	m	
xw/cw	değişken		
xt/cw	2,47207		
ct/cw	0,73184		
St/Sw	0,22609		
q.Sw.cw	33,5375	N.m	



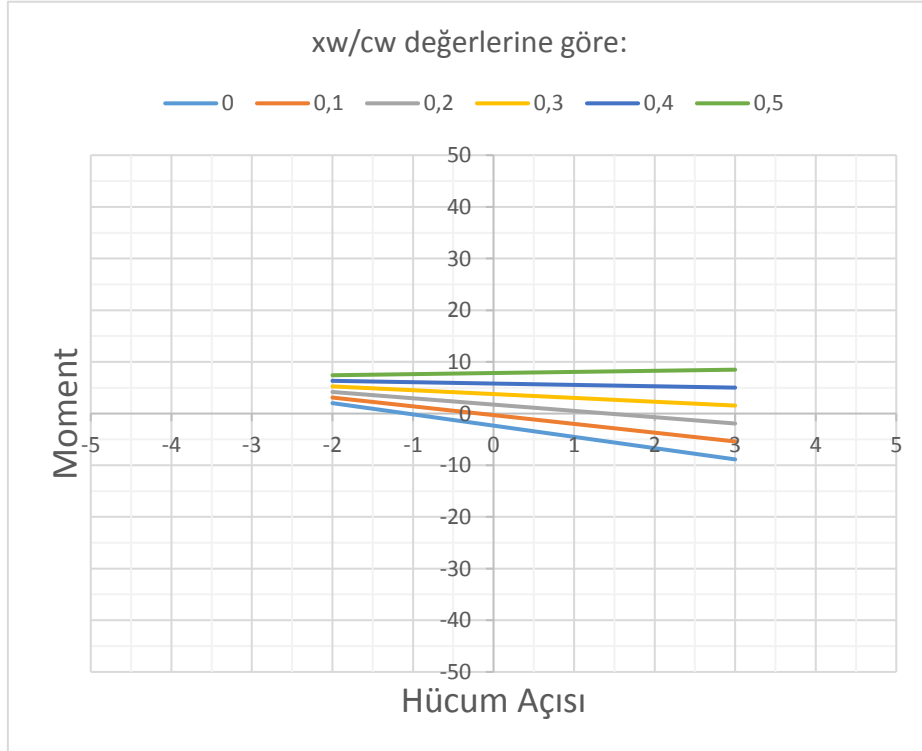
## EK.5 - Tarafsız Nokta Hesapları

$\alpha_{0w}$	0,9015441						
$\alpha_{0t}$	2,526E-08						
$\alpha$	-2	-1	0	1	2	3	
$\alpha_w$	-1,098456	-0,098456	0,9015441	1,9015441	2,9015441	3,9015441	
$\alpha_t$	-2	-1	2,526E-08	1	2	3	
CLw	0,3732875	0,4902175	0,6071475	0,7240775	0,8410075	0,9579375	
CMw	-0,096181	-0,097363	-0,098545	-0,099727	-0,100909	-0,102091	
CLht	-0,22811	-0,114055	2,881E-09	0,114055	0,22811	0,342165	
CMht	-0,000312	-0,00041	-0,000508	-0,000606	-0,000703	-0,000801	
$xw/cw$	Mcg						
0	1,0483323	-1,12972	-3,307772	-5,485824	-7,663876	-9,841928	
0,05	1,5878081	-0,350926	-2,289661	-4,228395	-6,16713	-8,105864	
0,1	2,1272838	0,4278669	-1,27155	-2,970967	-4,670384	-6,369801	
0,15	2,6667595	1,2066601	-0,253439	-1,713539	-3,173638	-4,633737	
0,2	3,2062353	1,9854534	0,7646716	-0,45611	-1,676892	-2,897674	
0,25	3,745711	2,7642467	1,7827824	0,8013181	-0,180146	-1,161611	
0,3	4,2851868	3,54304	2,8008932	2,0587465	1,3165997	0,5744529	
0,35	4,8246625	4,3218333	3,8190041	3,3161749	2,8133456	2,3105164	
0,4	5,3641383	5,1006266	4,8371149	4,5736032	4,3100915	4,0465799	
0,45	5,903614	5,8794199	5,8552257	5,8310316	5,8068375	5,7826433	
0,5	6,4430898	6,6582132	6,8733366	7,08846	7,3035834	7,5187068	
0,55	6,9825655	7,4370064	7,8914474	8,3458884	8,8003293	9,2547703	
0,6	7,5220412	8,2157997	8,9095582	9,6033167	10,297075	10,990834	
0,65	8,061517	8,994593	9,9276691	10,860745	11,793821	12,726897	
0,7	8,600927	9,7733863	10,94578	12,118173	13,290567	14,462961	
0,75	9,1404685	10,55218	11,963891	13,375602	14,787313	16,199024	
0,8	9,6799442	11,330973	12,982002	14,63303	16,284059	17,935088	
0,85	10,21942	12,109766	14,000112	15,890459	17,780805	19,671151	
0,9	10,758896	12,888559	15,018223	17,147887	19,277551	21,407214	
0,95	11,298371	13,667353	16,036334	18,405315	20,774297	23,143278	
1	11,837847	14,446146	17,054445	19,662744	22,271043	24,879341	
$\alpha$	-2	-1	0	1	2	3	
45,50%	5,9575616	5,9572992	5,9570368	5,9567744	5,9565121	5,9562497	
16,24%	2,8010566	1,400533	9,262E-06	-1,400514	-2,801038	-4,201562	



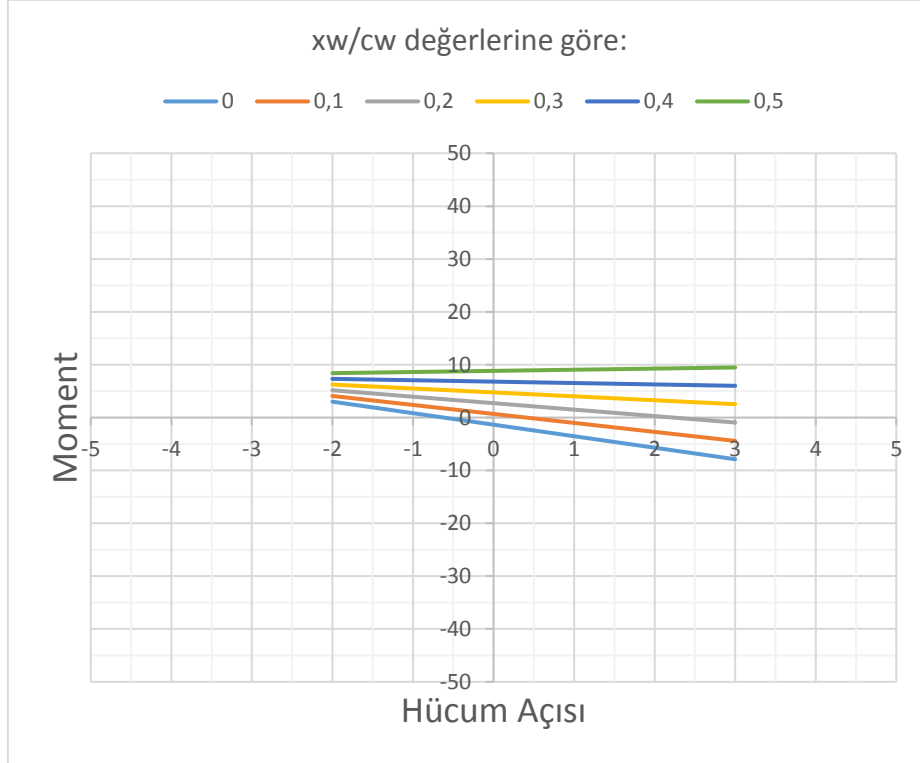
## EK.5 - Tarafsız Nokta Hesapları

$\alpha_{0w}$	1						
$\alpha_{0t}$	-0,446455						
$\alpha$	-2	-1	0	1	2	3	
$\alpha_w$	-1	0	1	2	3	4	
$\alpha_t$	-2,446455	-1,446455	-0,446455	0,5535446	1,5535446	2,5535446	
CLw	0,3848	0,50173	0,61866	0,73559	0,85252	0,96945	
CMw	-0,095653	-0,096835	-0,098017	-0,099199	-0,100381	-0,101563	
CLht	-0,27903	-0,164975	-0,05092	0,0631345	0,1771895	0,2912445	
CMht	-0,000322	-0,00042	-0,000517	-0,000615	-0,000713	-0,000811	
$xw/cw$	Mcg						
0	2,0204397	-0,157612	-2,335664	-4,513716	-6,691768	-8,86982	
0,05	2,5599154	0,6211809	-1,317554	-3,256288	-5,195023	-7,133757	
0,1	3,0993911	1,3999742	-0,299443	-1,99886	-3,698277	-5,397694	
0,15	3,6388669	2,1787675	0,7186681	-0,741431	-2,201531	-3,66163	
0,2	4,1783426	2,9575608	1,7367789	0,5159971	-0,704785	-1,925567	
0,25	4,7178184	3,7363541	2,7548898	1,7734254	0,7919611	-0,189503	
0,3	5,2572941	4,5151474	3,7730006	3,0308538	2,2887071	1,5465603	
0,35	5,7967699	5,2939406	4,7911114	4,2882822	3,785453	3,2826238	
0,4	6,3362456	6,0727339	5,8092223	5,5457106	5,2821989	5,0186872	
0,45	6,8757214	6,8515272	6,8273331	6,8031389	6,7789448	6,7547507	
0,5	7,4151971	7,6303205	7,8454439	8,0605673	8,2756907	8,4908141	
0,55	7,9546728	8,4091138	8,8635547	9,3179957	9,7724366	10,226878	
0,6	8,4941486	9,1879071	9,8816656	10,575424	11,269183	11,962941	
0,65	9,0336243	9,9667004	10,899776	11,832852	12,765928	13,699005	
0,7	9,5731001	10,745494	11,917887	13,090281	14,262674	15,435068	
0,75	10,112576	11,524287	12,935998	14,347709	15,75942	17,171131	
0,8	10,652052	12,30308	13,954109	15,605138	17,256166	18,907195	
0,85	11,191527	13,081874	14,97222	16,862566	18,752912	20,643258	
0,9	11,731003	13,860667	15,990331	18,119994	20,249658	22,379322	
0,95	12,270479	14,63946	17,008441	19,377423	21,746404	24,115385	
1	12,809955	15,418253	18,026552	20,634851	23,24315	25,851449	
$\alpha$	-2	-1	0	1	2	3	
0,455	6,9296689	6,9294065	6,9291442	6,9288818	6,9286194	6,928357	
0,114706	3,2580618	1,6290329	4,023E-06	-1,629025	-3,258054	-4,887083	



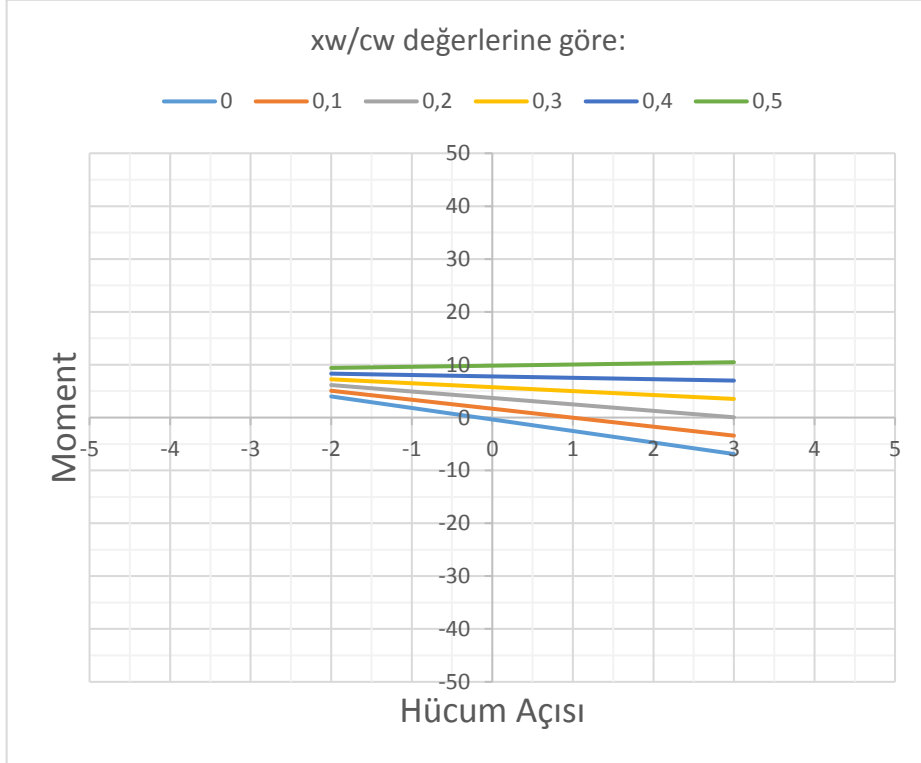
## EK.5 - Tarafsız Nokta Hesapları

$\alpha_{0w}$	1,1						
$\alpha_{0t}$	-0,899912						
$\alpha$	-2	-1	0	1	2	3	
$\alpha_w$	-0,9	0,1	1,1	2,1	3,1	4,1	
$\alpha_t$	-2,899912	-1,899912	-0,899912	0,1000876	1,1000876	2,1000876	
CLw	0,396493	0,513423	0,630353	0,747283	0,864213	0,981143	
CMw	-0,095117	-0,096299	-0,097481	-0,098663	-0,099845	-0,101027	
CLht	-0,33075	-0,216695	-0,10264	0,0114155	0,1254705	0,2395255	
CMht	-0,000332	-0,000429	-0,000527	-0,000625	-0,000723	-0,000821	
xw/cw	Mcg						
0	3,0077923	0,8297402	-1,348312	-3,526364	-5,704416	-7,882468	
0,05	3,547268	1,6085335	-0,330201	-2,268935	-4,20767	-6,146404	
0,1	4,0867437	2,3873268	0,6879099	-1,011507	-2,710924	-4,410341	
0,15	4,6262195	3,1661201	1,7060207	0,2459213	-1,214178	-2,674278	
0,2	5,1656952	3,9449134	2,7241315	1,5033497	0,2825678	-0,938214	
0,25	5,705171	4,7237067	3,7422423	2,760778	1,7793137	0,7978494	
0,3	6,2446467	5,5024999	4,7603532	4,0182064	3,2760596	2,5339129	
0,35	6,7841225	6,2812932	5,778464	5,2756348	4,7728056	4,2699763	
0,4	7,3235982	7,0600865	6,7965748	6,5330632	6,2695515	6,0060398	
0,45	7,8630739	7,8388798	7,8146857	7,7904915	7,7662974	7,7421033	
0,5	8,4025497	8,6176731	8,8327965	9,0479199	9,2630433	9,4781667	
0,55	8,9420254	9,3964664	9,8509073	10,305348	10,759789	11,21423	
0,6	9,4815012	10,17526	10,869018	11,562777	12,256535	12,950294	
0,65	10,020977	10,954053	11,887129	12,820205	13,753281	14,686357	
0,7	10,560453	11,732846	12,90524	14,077633	15,250027	16,422421	
0,75	11,099928	12,51164	13,923351	15,335062	16,746773	18,158484	
0,8	11,639404	13,290433	14,941461	16,59249	18,243519	19,894548	
0,85	12,17888	14,069226	15,959572	17,849919	19,740265	21,630611	
0,9	12,718356	14,848019	16,977683	19,107347	21,237011	23,366674	
0,95	13,257831	15,626813	17,995794	20,364775	22,733757	25,102738	
1	13,797307	16,405606	19,013905	21,622204	24,230503	26,838801	
$\alpha$	-2	-1	0	1	2	3	
0,455	7,9170215	7,9167591	7,9164968	7,9162344	7,915972	7,9157096	
0,066217	3,7222416	1,8611273	1,309E-05	-1,861101	-3,722215	-5,58333	



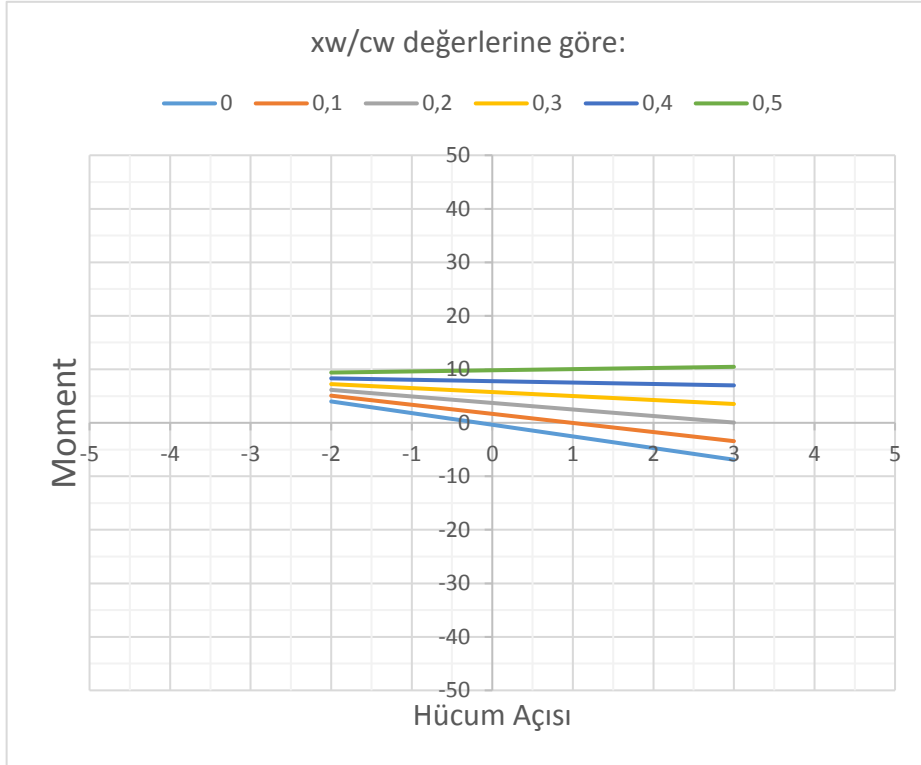
## EK.5 - Tarafsız Nokta Hesapları

$\alpha_{0w}$	1,2						
$\alpha_{0t}$	-1,353369						
$\alpha$	-2	-1	0	1	2	3	
$\alpha_w$	-0,8	0,2	1,2	2,2	3,2	4,2	
$\alpha_t$	-3,353369	-2,353369	-1,353369	-0,353369	0,6466306	1,6466306	
CLw	0,408186	0,525116	0,642046	0,758976	0,875906	0,992836	
CMw	-0,094581	-0,095763	-0,096945	-0,098127	-0,099309	-0,100491	
CLht	-0,382469	-0,268414	-0,154359	-0,040304	0,0737515	0,1878065	
CMht	-0,000341	-0,000439	-0,000537	-0,000635	-0,000733	-0,00083	
$xw/cw$	Mcg						
0	3,9951448	1,8170928	-0,360959	-2,539011	-4,717063	-6,895115	
0,05	4,5346206	2,5958861	0,6571516	-1,281583	-3,220317	-5,159052	
0,1	5,0740963	3,3746794	1,6752624	-0,024154	-1,723571	-3,422988	
0,15	5,6135721	4,1534727	2,6933733	1,2332739	-0,226826	-1,686925	
0,2	6,1530478	4,932266	3,7114841	2,4907023	1,2699204	0,0491385	
0,25	6,6925236	5,7110592	4,7295949	3,7481306	2,7666663	1,785202	
0,3	7,2319993	6,4898525	5,7477058	5,005559	4,2634122	3,5212655	
0,35	7,771475	7,2686458	6,7658166	6,2629874	5,7601582	5,2573289	
0,4	8,3109508	8,0474391	7,7839274	7,5204158	7,2569041	6,9933924	
0,45	8,8504265	8,8262324	8,8020383	8,7778441	8,75365	8,7294559	
0,5	9,3899023	9,6050257	9,8201491	10,035273	10,250396	10,465519	
0,55	9,929378	10,383819	10,83826	11,292701	11,747142	12,201583	
0,6	10,468854	11,162612	11,856371	12,550129	13,243888	13,937646	
0,65	11,00833	11,941406	12,874482	13,807558	14,740634	15,67371	
0,7	11,547805	12,720199	13,892592	15,064986	16,23738	17,409773	
0,75	12,087281	13,498992	14,910703	16,322414	17,734126	19,145837	
0,8	12,626757	14,277785	15,928814	17,579843	19,230871	20,8819	
0,85	13,166232	15,056579	16,946925	18,837271	20,727617	22,617964	
0,9	13,705708	15,835372	17,965036	20,0947	22,224363	24,354027	
0,95	14,245184	16,614165	18,983147	21,352128	23,721109	26,09009	
1	14,78466	17,392959	20,001257	22,609556	25,217855	27,826154	
$\alpha$	-2	-1	0	1	2	3	
0,455	8,9043741	8,9041117	8,9038493	8,903587	8,9033246	8,9030622	
0,017727	4,1864106	2,0932062	1,795E-06	-2,093203	-4,186407	-6,279611	



## EK.5 - Tarafsız Nokta Hesapları

$\alpha_{0w}$	1,2367						
$\alpha_{0t}$	-1,519788						
$\alpha$	-2	-1	0	1	2	3	
$\alpha_w$	-0,7633	0,2367	1,2367	2,2367	3,2367	4,2367	
$\alpha_t$	-3,519788	-2,519788	-1,519788	-0,519788	0,4802119	1,4802119	1,4802119
CLw	0,4124773	0,5294073	0,6463373	0,7632673	0,8801973	0,9971273	0,9971273
CMw	-0,094385	-0,095567	-0,096749	-0,097931	-0,099113	-0,100295	-0,100295
CLht	-0,401449	-0,287394	-0,173339	-0,059284	0,0547706	0,1688256	0,1688256
CMht	-0,000345	-0,000443	-0,000541	-0,000638	-0,000736	-0,000834	-0,000834
$xw/cw$	Mcg						
0	4,3575032	2,1794512	0,0013992	-2,176653	-4,354705	-6,532757	
0,05	4,896979	2,9582445	1,01951	-0,919224	-2,857959	-4,796693	
0,1	5,4364547	3,7370378	2,0376208	0,3382039	-1,361213	-3,06063	
0,15	5,9759305	4,5158311	3,0557317	1,5956323	0,1355329	-1,324567	
0,2	6,5154062	5,2946244	4,0738425	2,8530607	1,6322788	0,4114969	
0,25	7,054882	6,0734176	5,0919533	4,110489	3,1290247	2,1475604	
0,3	7,5943577	6,8522109	6,1100642	5,3679174	4,6257706	3,8836239	
0,35	8,1338334	7,6310042	7,128175	6,6253458	6,1225166	5,6196873	
0,4	8,6733092	8,4097975	8,1462858	7,8827742	7,6192625	7,3557508	
0,45	9,2127849	9,1885908	9,1643967	9,1402025	9,1160084	9,0918143	
0,5	9,7522607	9,9673841	10,182507	10,397631	10,612754	10,827878	
0,55	10,291736	10,746177	11,200618	11,655059	12,1095	12,563941	
0,6	10,831212	11,524971	12,218729	12,912488	13,606246	14,300005	
0,65	11,370688	12,303764	13,23684	14,169916	15,102992	16,036068	
0,7	11,910164	13,082557	14,254951	15,427344	16,599738	17,772132	
0,75	12,449639	13,861351	15,273062	16,684773	18,096484	19,508195	
0,8	12,989115	14,640144	16,291172	17,942201	19,59323	21,244258	
0,85	13,528591	15,418937	17,309283	19,19963	21,089976	22,980322	
0,9	14,068067	16,19773	18,327394	20,457058	22,586722	24,716385	
0,95	14,607542	16,976524	19,345505	21,714486	24,083468	26,452449	
1	15,147018	17,755317	20,363616	22,971915	25,580213	28,188512	
$\alpha$	-2	-1	0	1	2	3	
0,455	9,2667325	9,2664701	9,2662077	9,2659454	9,265683	9,2654206	
0	4,3575032	2,1794512	0,0013992	-2,176653	-4,354705	-6,532757	

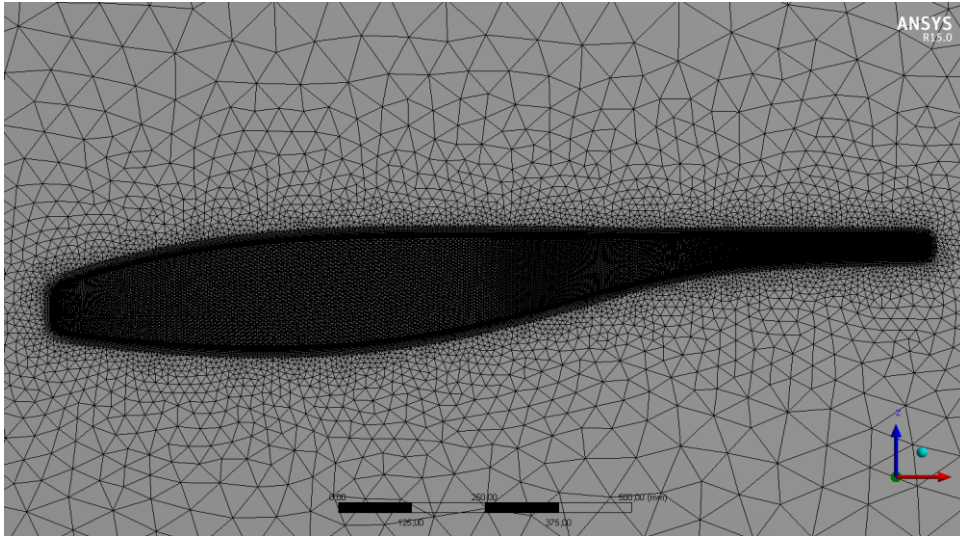
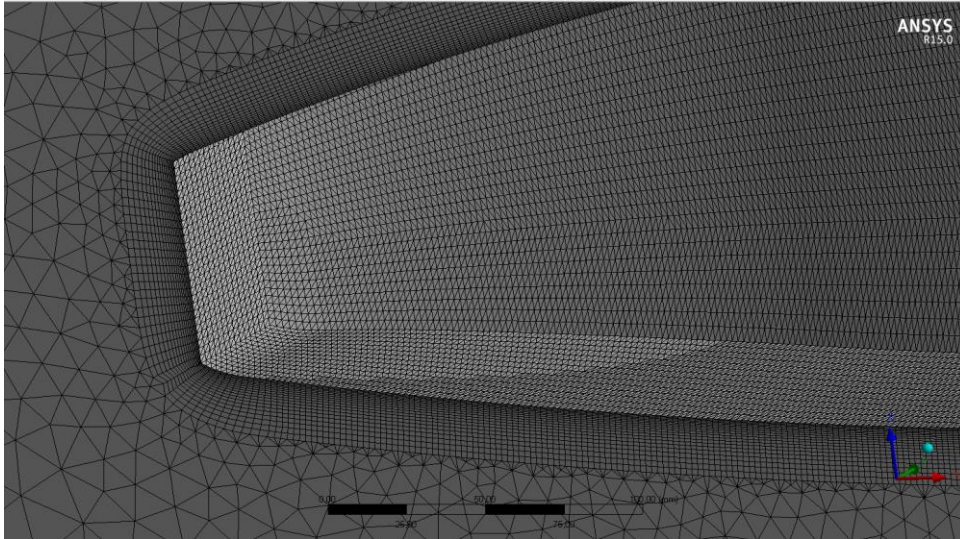
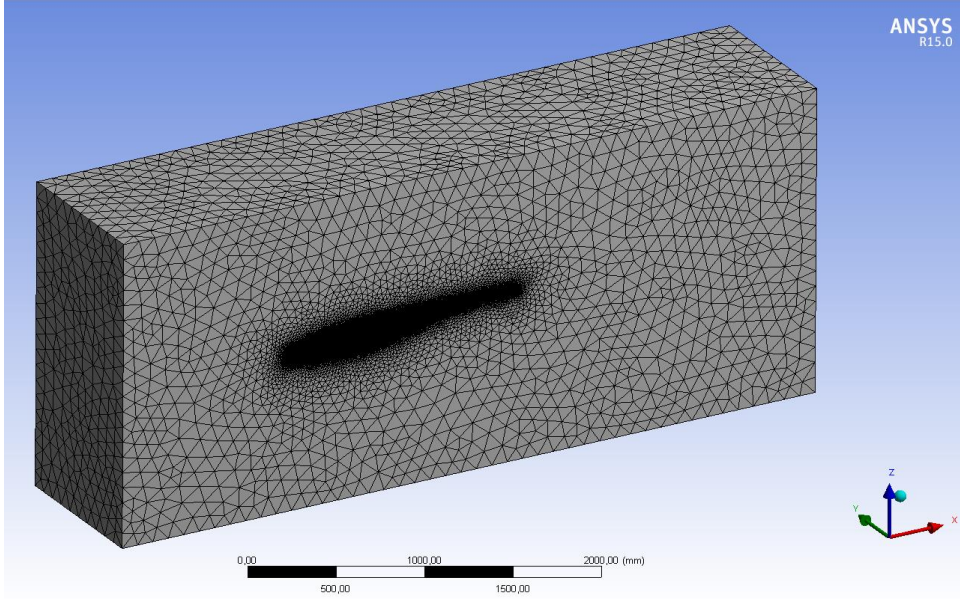


## EK.6 - Ağırlık Merkezi Hesabı

Bileşenler (isim)	Kütle g	Burundan Uzaklık mm	Moment g.mm	
Gövde	1415	600	849000	
Kuyruk (yatay, dikey)	200	1450	290000	
İniş Takımı (ana)	200	600	120000	
İniş Takımı (burun)	100	250	25000	YAPISAL
Kanatlar	1200	550	660000	3115 g
Patlar Motor + Muffler	700	25	17500	
Pervane+Spinner	50	-50	-2500	
Motor Yatağı	150	70	10500	
Yakıt Deposu	50	350	17500	
Yakıt	750	350	262500	GÜÇ + YAKIT
Servo x1 (gaz kolu)	50	200	10000	1750 g
Batarya (2250mAh, 11,1V)	160	600	96000	
UBEC	20	650	13000	
Alıcı	20	650	13000	
Servo x1 (burun dümeni)	50	300	15000	
Servo x2 (kuyruk)	100	1450	145000	
Servo x2 (kanat)	100	500	50000	DONANIM
Kablolar / Bağlantılar	100	550	55000	550 g
Ardupilot	50	500	25000	
Telemetri (veri)	15	600	9000	
Anten	30	650	19500	
Görev Kamerası	95	550	52250	
Telemetri (görüntü)	30	600	18000	
Anten	30	650	19500	GÖREV
Kamera Yuvası ve Devres	150	550	82500	400 g
<b>Toplam Kütle</b>	<b>5815</b>		<b>2872250</b>	<b>TOPLAM</b> <b>5815 g</b>
Ağırlık Merkezi (burundar	494	mm		

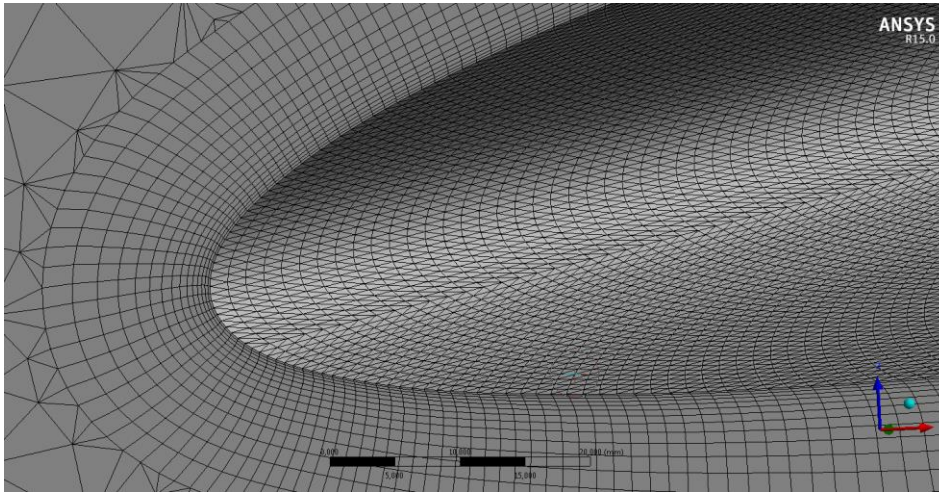
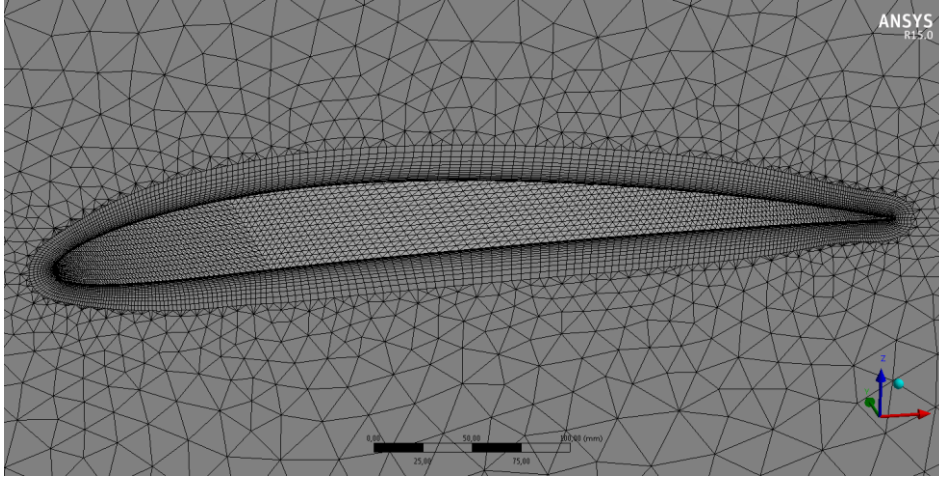
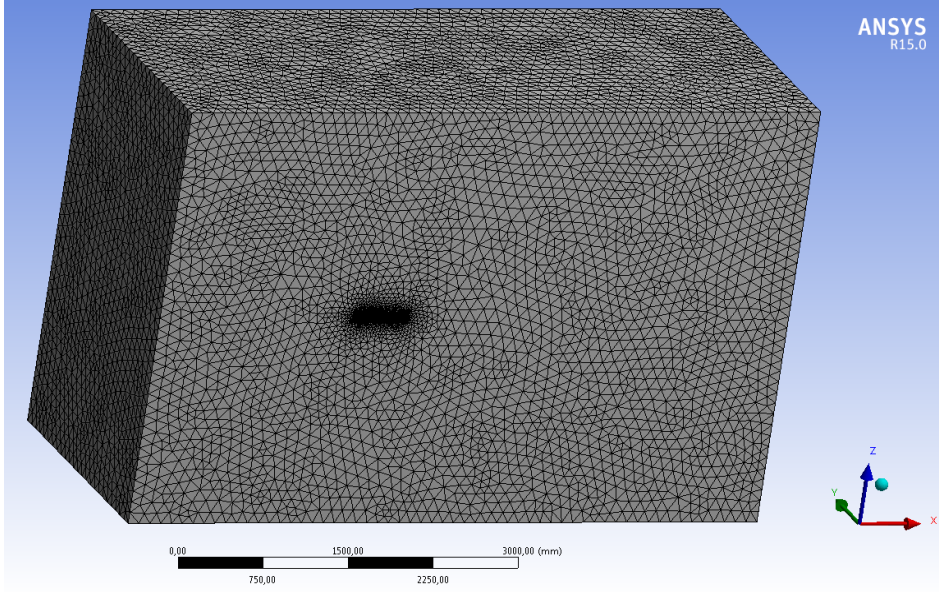
## EK.7 - Çözüm Ağı Görselleri

Gövde - Çözüm Ağı



## EK.7 - Çözüm Ağı Görselleri

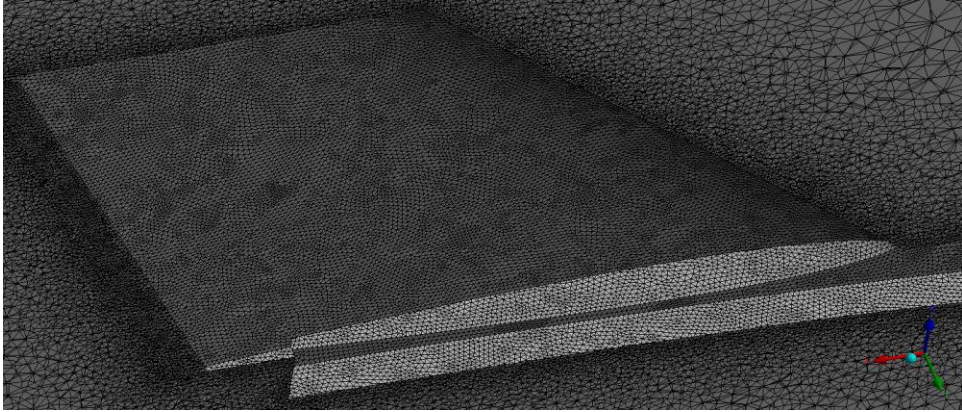
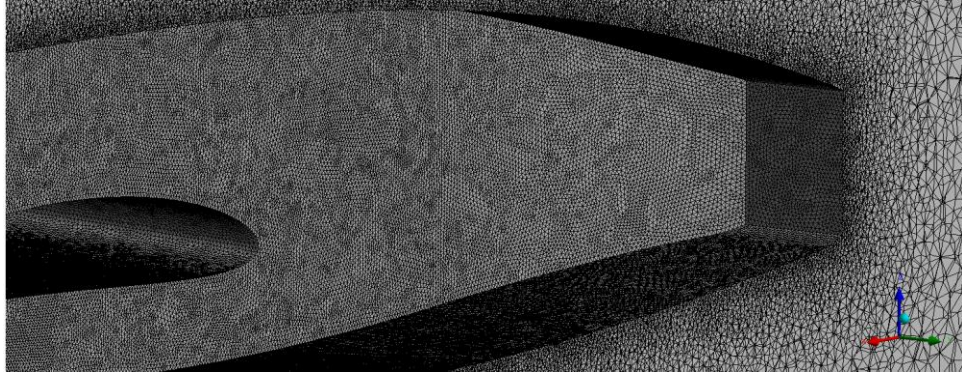
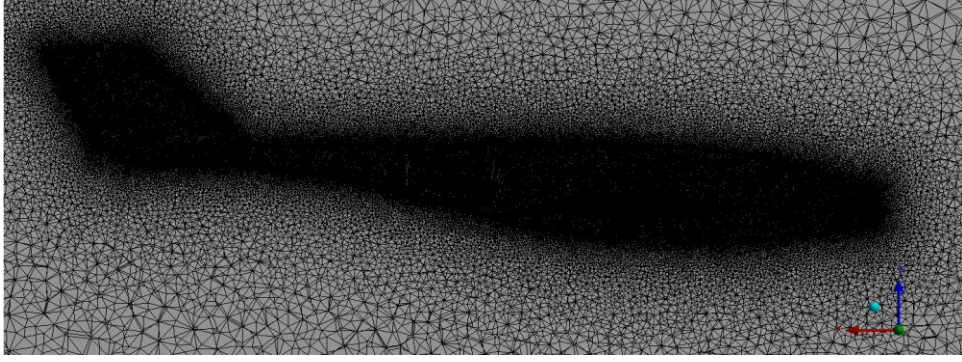
### Kanat - Çözüm Ağı





## EK.7 - Çözüm Ağı Görselleri

### Uçak - Çözüm Ağı



## EK.8 - Analiz Sonuçları

Tekil (Laminar)			
	L	D	M
sag kanat	19,93713	1,546505	-1,991772
sol kanat	19,93713	1,546505	-1,991772
govde	-1,56337	0,942822	-0,419308
sag kuyruk	0,005373	0,153913	-0,000688
sol kuyruk	0,005373	0,153913	-0,000688
dik kuyruk	0,001273	0,077809	0,000683
toplam	38,3229	4,421467	-4,403545

Bütünleşik (Laminar)			
	L	D	M
sag kanat	21,1592	1,38063	-2,28286
sol kanat	21,1662	1,38007	-2,28346
govde	2,47853	0,774156	-0,757174
sag kuyruk	-0,799461	0,162195	0,72286
sol kuyruk	-0,797521	0,160643	0,721087
dik kuyruk	-0,053024	0,065339	0,0602
toplam	43,15392	3,923033	-3,819347

Tekil (Turbulent)			
	L	D	M
sag kanat	19,02731	2,128058	-1,938897
sol kanat	19,02731	2,128058	-1,938897
govde	-1,622828	1,368034	-0,382262
sag kuyruk	0,035523	0,274608	-0,003498
sol kuyruk	0,035523	0,274608	-0,003498
dik kuyruk	0,012346	0,136099	0,001569
toplam	36,51518	6,309466	-4,265484

Bütünleşik (Turbulent)			
	L	D	M
sag kanat	18,7938	2,0685	-2,08201
sol kanat	18,8053	2,06888	-2,08305
govde	1,61591	1,18928	-0,601586
sag kuyruk	-0,482253	0,30604	0,459623
sol kuyruk	-0,481107	0,304851	0,458343
dik kuyruk	-0,070417	0,129115	0,092968
toplam	38,18123	6,066666	-3,755712

	yoğunluk kg/m <sup>3</sup>	hız m/s	alan m <sup>2</sup>	q S 1/2ρV <sup>2</sup> S	uzunluk m	
sag kanat	1,225	16	0,4025	63,112	0,358	sag kanat
sol kanat	1,225	16	0,4025	63,112	0,358	sol kanat
govde	1,225	16	0,018481	2,897742	1,48	govde
sag kuyruk	1,225	16	0,091	14,2688	0,262	sag kuyruk
sol kuyruk	1,225	16	0,091	14,2688	0,262	sol kuyruk
dik kuyruk	1,225	16	0,048	7,5264	0,245	dik kuyruk
toplam	1,225	16	0,805	126,224	0,358	toplam

Tekil (Laminar)			
	L	D	M
sag kanat	0,315901	0,024504	-0,088155
sol kanat	0,315901	0,024504	-0,088155
govde	-0,539513	0,325364	-0,097771
sag kuyruk	0,000377	0,010787	-0,000184
sol kuyruk	0,000377	0,010787	-0,000184
dik kuyruk	0,000169	0,010338	0,000371
toplam	0,30361	0,035029	-0,097449

Bütünleşik (Laminar)			
	L	D	M
sag kanat	0,335264	0,021876	-0,101038
sol kanat	0,335375	0,021867	-0,101064
govde	0,855331	0,267158	-0,176553
sag kuyruk	-0,056029	0,011367	0,193359
sol kuyruk	-0,055893	0,011258	0,192885
dik kuyruk	-0,007045	0,008681	0,032647
toplam	0,341884	0,03108	-0,084521

Tekil (Turbulent)			
	L	D	M
sag kanat	0,301485	0,033719	-0,085814
sol kanat	0,301485	0,033719	-0,085814
govde	-0,560032	0,472103	-0,089133
sag kuyruk	0,00249	0,019245	-0,000936
sol kuyruk	0,00249	0,019245	-0,000936
dik kuyruk	0,00164	0,018083	0,000851
toplam	0,289289	0,049986	-0,094394

Bütünleşik (Turbulent)			
	L	D	M
sag kanat	0,297785	0,032775	-0,092148
sol kanat	0,297967	0,032781	-0,092194
govde	0,557644	0,410416	-0,140274
sag kuyruk	-0,033798	0,021448	0,122946
sol kuyruk	-0,033717	0,021365	0,122603
dik kuyruk	-0,009356	0,017155	0,050417
toplam	0,302488	0,048063	-0,083113

## EK.9 - Deney Kayıt Sayfası

#

Tarih	Saat	Yer

Çalışanlar

Deney			
Çeşit	Pervane	Akım Hızı	Süre

Ortam Şartları			
Sıcaklık	Basınç	Yoğunluk	Nem

Pervane			
Çeşit	Ağırlık	Çap	Hatve

Motor			
İsim	Hacim	Buji	İğne Ayarı

Eksoz		
Çeşit	Çap	Uzunluk

Yakıt			
% NM	% Yağ	Litre	Sarfiyat

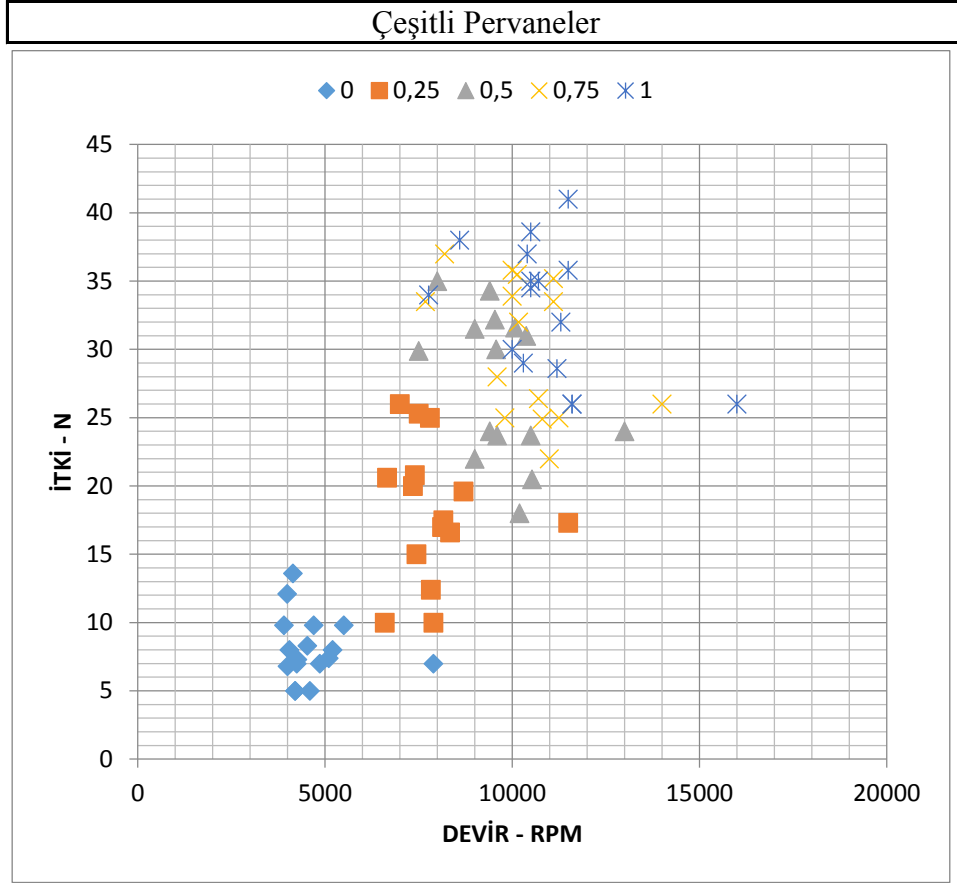
Gaz Kolu	RPM	İtki	Hata +/-
0			
25%			
50%			
75%			
100%			

İlave Açıklamalar

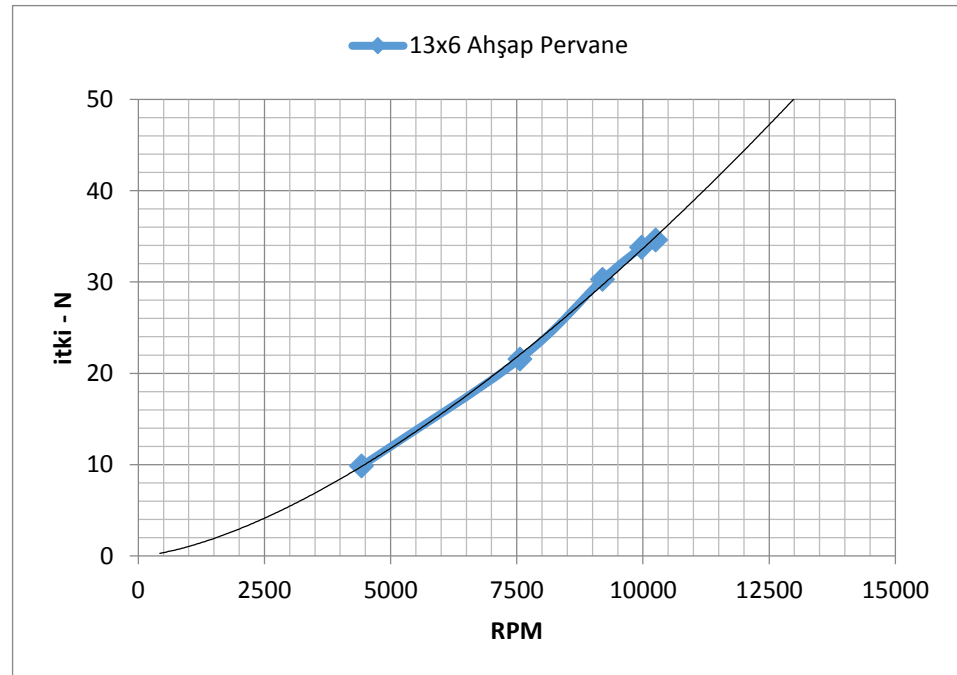
Gözlem - Tecrübe - Tavsiye

--

## EK.10 - Patlar Motor Deneyleri



13x6 Ahşap Pervane					
Gaz Kolu	0	25%	50%	75%	100%
RPM	4425	7560	9200	9975	10250
İtki (N)	9,85	21,55	30,3	33,8	34,6























## EK.11 - Gerekli İtki Hesabı

h m	T K	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\sigma$ $\rho/\rho_0$	$\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)\sqrt{\frac{T_0}{T}}$	V m/s	D N	F0 N	h @26 m
0	288,15	1,225	1,000	1,000	13,78	9,58	9,58	
100	287,50	1,213	0,990	0,992	13,85	9,58	9,66	
200	286,85	1,202	0,981	0,983	13,92	9,58	9,75	
300	286,20	1,190	0,972	0,975	13,98	9,58	9,83	
400	285,55	1,179	0,962	0,967	14,05	9,58	9,91	
500	284,90	1,167	0,953	0,958	14,12	9,58	10,00	
600	284,25	1,156	0,944	0,950	14,19	9,58	10,09	
700	283,60	1,145	0,934	0,942	14,26	9,58	10,17	
800	282,95	1,134	0,925	0,934	14,33	9,58	10,26	0
900	282,30	1,123	0,916	0,926	14,40	9,58	10,35	100
1000	281,65	1,112	0,907	0,918	14,47	9,58	10,44	200
1100	281,00	1,101	0,899	0,910	14,54	9,58	10,53	300
1200	280,35	1,090	0,890	0,902	14,61	9,58	10,62	400
1300	279,70	1,079	0,881	0,894	14,69	9,58	10,72	500
1400	279,05	1,069	0,872	0,886	14,76	9,58	10,81	600
1500	278,40	1,058	0,864	0,879	14,83	9,58	10,91	700
1600	277,75	1,048	0,855	0,871	14,91	9,58	11,00	800
1700	277,10	1,037	0,847	0,863	14,98	9,58	11,10	900
1800	276,45	1,027	0,838	0,856	15,06	9,58	11,20	1000
1900	275,80	1,017	0,830	0,848	15,13	9,58	11,30	1100
2000	275,15	1,006	0,822	0,841	15,21	9,58	11,40	1200
2100	274,50	0,996	0,813	0,833	15,28	9,58	11,50	1300
2200	273,85	0,986	0,805	0,826	15,36	9,58	11,60	1400
2300	273,20	0,976	0,797	0,819	15,44	9,58	11,71	1500
2400	272,55	0,967	0,789	0,811	15,52	9,58	11,81	1600
2500	271,90	0,957	0,781	0,804	15,60	9,58	11,92	1700
2600	271,25	0,947	0,773	0,797	15,68	9,58	12,03	1800
2700	270,60	0,937	0,765	0,790	15,76	9,58	12,13	1900
2800	269,95	0,928	0,757	0,783	15,84	9,58	12,24	2000
2900	269,30	0,918	0,750	0,776	15,92	9,58	12,36	2100
3000	268,65	0,909	0,742	0,768	16,00	9,58	12,47	2200
3100	268,00	0,900	0,734	0,762	16,08	9,58	12,58	2300
3200	267,35	0,890	0,727	0,755	16,17	9,58	12,70	2400
3300	266,70	0,881	0,719	0,748	16,25	9,58	12,81	2500
3400	266,05	0,872	0,712	0,741	16,34	9,58	12,93	2600
3500	265,40	0,863	0,705	0,734	16,42	9,58	13,05	2700
3600	264,75	0,854	0,697	0,727	16,51	9,58	13,17	2800
3700	264,10	0,845	0,690	0,721	16,59	9,58	13,30	2900
3800	263,45	0,836	0,683	0,714	16,68	9,58	13,42	3000
3900	262,80	0,828	0,676	0,707	16,77	9,58	13,54	3100
4000	262,15	0,819	0,669	0,701	16,86	9,58	13,67	3200
4100	261,50	0,810	0,662	0,694	16,95	9,58	13,80	3300
4200	260,85	0,802	0,655	0,688	17,04	9,58	13,93	3400
4300	260,20	0,793	0,648	0,682	17,13	9,58	14,06	3500
4400	259,55	0,785	0,641	0,675	17,22	9,58	14,19	3600
4500	258,90	0,777	0,634	0,669	17,31	9,58	14,33	3700
4600	258,25	0,768	0,627	0,663	17,40	9,58	14,46	3800
4700	257,60	0,760	0,621	0,656	17,50	9,58	14,60	3900
4800	256,95	0,752	0,614	0,650	17,59	9,58	14,74	4000

## EK.12 - Ekrandaki Boyut Örnekleri

### Ekrandaki Boyut Örnekleri

1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	6mm	7mm	8mm	9mm	10mm
									
									
1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	6mm	7mm	8mm	9mm	10mm