



TEKNOFEST 2022

ROKET YARIŞMASI

Orta İrtifa Kategorisi

Uçuş Benzetimi Raporu (UBR)

Konuralp Roket Takımı

GÖKTÜRK 10.000

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	3
KİNEMATİK DENKLEMLER	4
ATMOSFER MODELİ	5
➤ Hava yoğunluğu – Deniz seviyesi yüksekliği grafiği (0 m – 10000 m):	5
➤ Ses hızı – Deniz seviyesi yüksekliği grafiği (0 m – 10000 m):	5
MOTOR MODELİ	6
➤ İtke kuvveti – Zaman grafiği:	6
➤ Atılan Kütle – Zaman grafiği:	6
BENZETİM YAPISI	8
BENZETİMİN DOĞRULANMASI	12
BENZETİM SONUÇLARI	13
BAŞVURULAR	14

ÖNSÖZ

Teknofestin roket dalında yapacağı yarışmanın Kritik Tasarım Raporu (KTR) için hazırlanan bu Uçuş Benzetim Raporunda; roketin hareket ve konum değişikliği matematiksel olarak incelenip bilgisayar ortamında uygun yazılım dili kullanılarak sanal benzetime tabii tutulmuştur. Benzetim yapılırken rapor için yayımlanan kurallara dikkat edilmiş ve her aşamada, kurallarda da belirtildiği üzere, roket kütleli olarak kabul edilerek dinamik kuvvetler işleme tabii tutulmuştur. Hesaplamalarda kullanılan denklemler, benzetim aşamalarında kullanılan kodlar ve benzetim sonucunda elde edilen grafikler, detaylı ve net bir şekilde ilgili başlıklar altında belirtilmiştir. İlgili denklemlerde kullanılan ve ihmal edilen parametreler grafik halinde belirtilmiş; özellikleriyle beraber kullanım -duruma göre kullanmama- sebepleri açıklanmıştır. Son olarak incelenen ve fikir alınan kaynaklar "Başvurular" başlığı altında belirtilmiştir. Titizlikle tamamlandığına inandığımız bu rapor hazır hale getirilerek bilginize sunulmuştur.

Konuralp Roket Takımı olarak mutlu ve sağlıklı yarışma süreci geçirmeyi temenni ediyoruz.

KONURALP ROKET TAKIMI

KİNEMATİK DENKLEMLER

Serbestlik derecesi (degree of freedom, kısaca dof) öteleme ve dönme (moment) hareketlerinin totalde kaç eksen boyunca yapılabileceğini yansıtan bir bilgidir. Uçuş benzetim rapor şablonunda belirtildiği üzere roket için 2 serbestlik derecesi (2 dof) baz alınarak hareket edilmiştir. Roket sadece x-z düzleminde hareket ettiği için sadece öteleme hareketi yapacaktır bu sebeple roket momenti yapılan hesaplamalara dahil edilmeyecektir. ÖTR raporunda istenilenlere ek olarak benzetim yapılırken roket motorunun itki kuvveti ve aerodinamik sürüklenme kuvvetleri benzetime dahil edilmiştir. İrtifaya göre değişen; yoğunluk gibi değerler, sabit alınmayıp değişken değerleri grafiğe dökülerek benzetime dahil edilmiştir. Benzetime ait denklemler çıkarılırken, $F = m \times a$ prensibi baz alınmıştır (İnger, 2010). Özet olarak benzetimde izlenilecek yollar ve nihai denklemler şu şekilde olacaktır:

1. Öncelikle bahsi geçen prensipten yararlanılarak her eksen için ivme denklemi elde edilir

$$a_x = \frac{F_{toplaml,x}}{m} \quad a_z = \frac{F_{toplaml,z}}{m}$$

2. Daha sonra elde edilen denklemlerin integrali alınarak hız denklemleri belirlenir:

$$\int a_x dt = \int \frac{F_{toplaml,x}}{m} = \dot{u} \quad \int a_z dt = \int \frac{F_{toplaml,z}}{m} = \dot{w}$$

3. Hız denkleminin integrali alınarak konuma ait denklemler elde edilir:

$$\ddot{u} = \frac{F_{toplaml,x}}{m} \quad \ddot{w} = \frac{F_{toplaml,z}}{m}$$

4. Z ekseninde değişen hız X eksenindeki değişen hıza oranlanır ve çıkan sonucun artan değeri alınırsa uçuş yolu açısı belirlenebilir:

$$\tan^{-1} = \frac{\dot{w}}{\dot{u}}$$

5. Denkleme eklenen aerodinamik sürüklenme kuvveti şu şekilde hesaplanır:

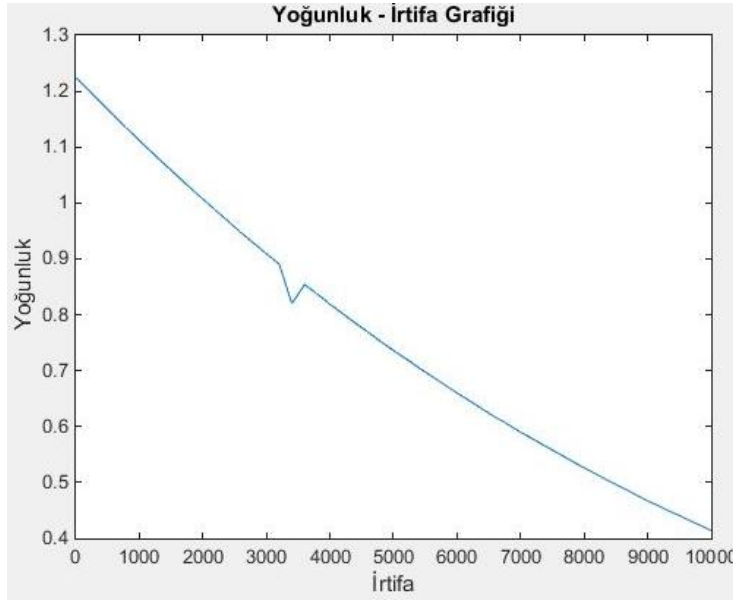
$$\frac{1}{2} \times \rho \times S \times V^2 \times C_d \quad S: \text{Alan}, V: \text{Hız}, C_d: \text{Sürüklenme katsayısı değerlerini belirtir.}$$

6. X eksenini doğrultusunda olan kuvvetler de $F_{toplaml,x} = F_{itki} - F_{aero}$ denklemi ile belirlenerek nihai denklemler simülasyon ekranına taşınır.

ATMOSFER MODELİ

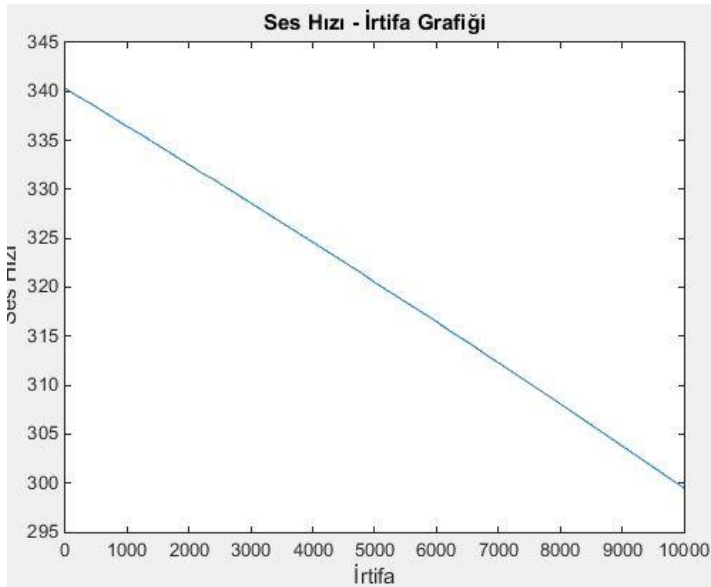
Atmosfer modeli başlığı altında yoğunluk ve ses hızı değişkenlerinin irtifaya göre değerleri alınırken termodinamik tablolarından faydalanılmıştır (Tablo A-16). Tablodan elde edilen veriler MATLAB 2014 yazılım dili ile grafiğe dökülmüştür. Kullanılan kodlara ve grafiklere ait ekran görüntüsü başlıkları ile birlikte belirtilmiştir:

➤ **Hava yoğunluğu – Deniz seviyesi yüksekliği grafiği (0 m – 10000 m):**



```
%irtifa yoğunluk grafiği  
plot(irtifa,rho);  
title('Yoğunluk - İrtifa Grafiği');  
xlabel('İrtifa');  
ylabel('Yoğunluk');
```

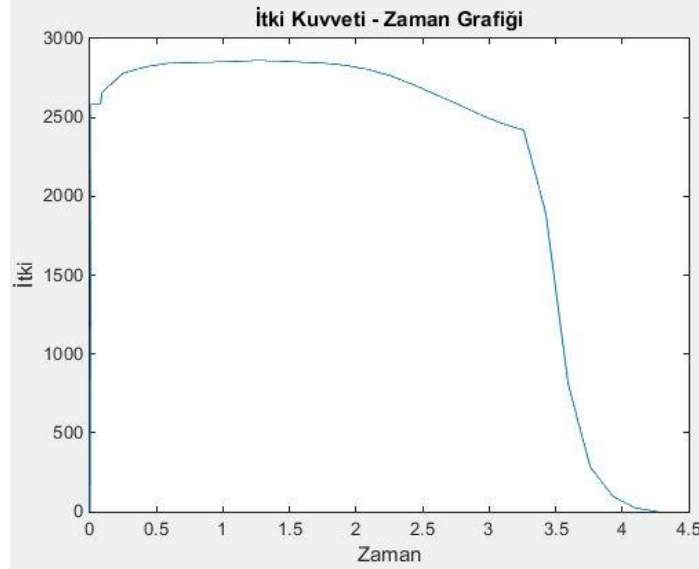
➤ **Ses hızı – Deniz seviyesi yüksekliği grafiği (0 m – 10000 m):**



```
%irtifa ses hızı grafiği  
plot(irtifa,ses_hizi);  
title('Ses Hızı - İrtifa Grafiği');  
xlabel('İrtifa');  
ylabel('Ses Hızı');
```

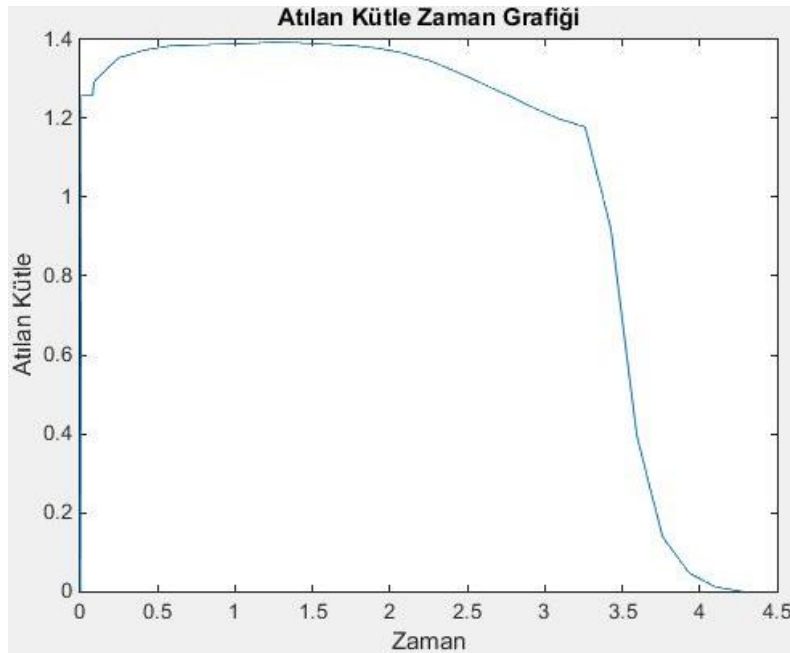
MOTOR MODELİ

- **İtki kuvveti – Zaman grafiği:** Motora ait zamana bağlı itki verileri kullanılarak grafik çizilmiştir. Verilmeyen değerler için ara değerlendirme işlemi yapılmıştır.



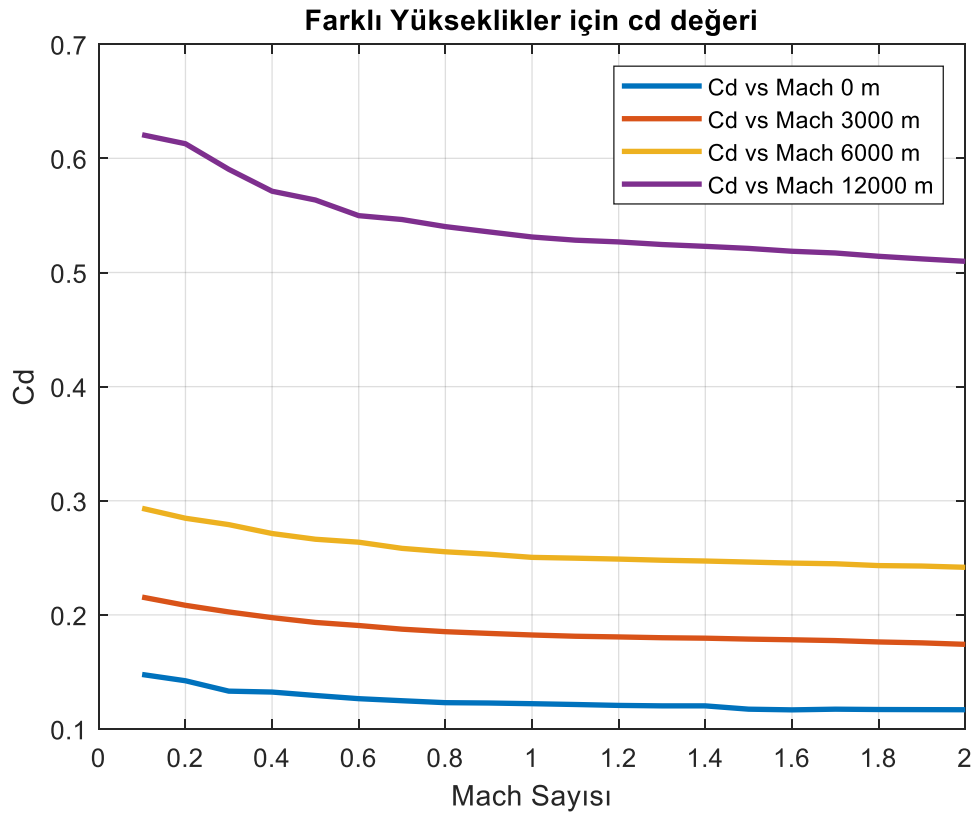
- **Atılan Kütle – Zaman grafiği:** Kütlesel debiyi belirlemek için motorun yanma süresi boyunca etki ettiği itki kuvveti kullanılmıştır. Kullanılmasına karar verilen denklemler ilgili yazılımı dili yardımıyla grafiğe dökülmüştür. Yer çekimi değeri "9,801", I_{sp} değeri ise "209,5" olarak alınmıştır (KORKMAZ & YAMAN, 2022).

$$\dot{m} = \frac{F_{itki}}{g \times I_{sp}} \quad g: \text{Yer çekimi} \left(\frac{m}{s^2} \right), I_{sp}: \text{Özgül itki (s)}, \dot{m}: \text{Kütlesel debi} \left(\frac{kg}{s} \right)$$



AERODİNAMİK MODEL

0 m		3000 m		6000 m		12000 m	
Cd	Mach	Cd	Mach	Cd	Mach	Cd	Mach
0,1478	0,1	0,2156	0,1	0,2934	0,1	0,6207	0,1
0,1423	0,2	0,2084	0,2	0,2847	0,2	0,6128	0,2
0,1332	0,3	0,2026	0,3	0,2791	0,3	0,5904	0,3
0,1324	0,4	0,1976	0,4	0,2713	0,4	0,5712	0,4
0,1294	0,5	0,1934	0,5	0,2663	0,5	0,5635	0,5
0,1266	0,6	0,1907	0,6	0,2637	0,6	0,5498	0,6
0,1248	0,7	0,1875	0,7	0,2583	0,7	0,5464	0,7
0,1231	0,8	0,1853	0,8	0,2553	0,8	0,5402	0,8
0,1228	0,9	0,1838	0,9	0,2532	0,9	0,5356	0,9
0,1222	1,0	0,1824	1,0	0,2504	1,0	0,5311	1,0
0,1215	1,1	0,1813	1,1	0,2497	1,1	0,5283	1,1
0,1207	1,2	0,1807	1,2	0,2489	1,2	0,5268	1,2
0,1203	1,3	0,1800	1,3	0,2479	1,3	0,5245	1,3
0,1203	1,4	0,1796	1,4	0,2472	1,4	0,5229	1,4
0,1174	1,5	0,1788	1,5	0,2463	1,5	0,5211	1,5
0,1168	1,6	0,1782	1,6	0,2454	1,6	0,5186	1,6
0,1174	1,7	0,1775	1,7	0,2448	1,7	0,5171	1,7
0,1171	1,8	0,1763	1,8	0,2432	1,8	0,5142	1,8
0,1170	1,9	0,1755	1,9	0,2428	1,9	0,5119	1,9
0,1169	2,0	0,1742	2,0	0,2417	2,0	0,5098	2,0



```

figure;

plot(x.Mach,x.Cd_0)

hold on;

plot(x.Mach,x.Cd_3000)

plot(x.Mach,x.Cd_6000)

plot(x.Mach,x.Cd_12000)

xlabel('Mach Sayısı')

ylabel('Cd')

grid on;

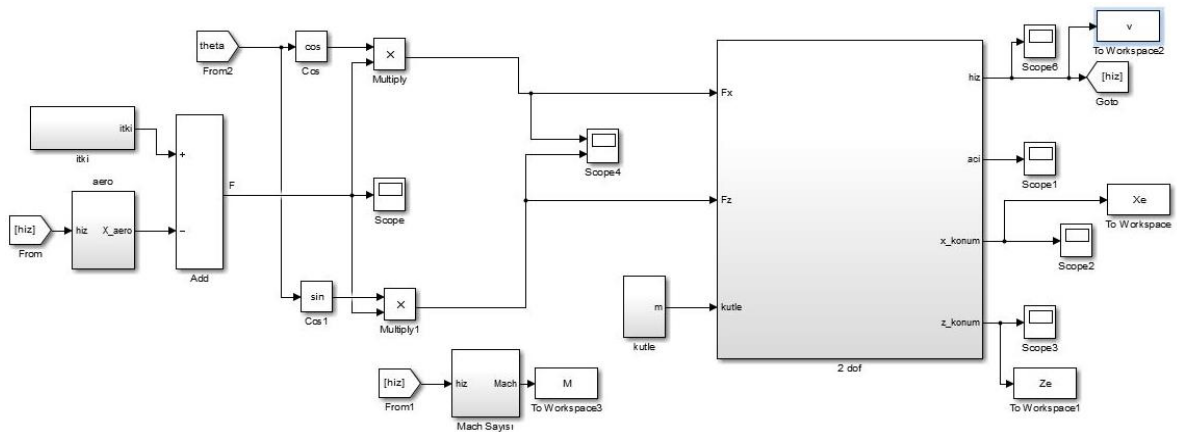
legend('Cd vs Mach 0 m','Cd vs Mach 3000 m','Cd vs Mach 6000 m','Cd vs Mach 12000 m')

title('Farklı Yükseklikler için cd değeri')

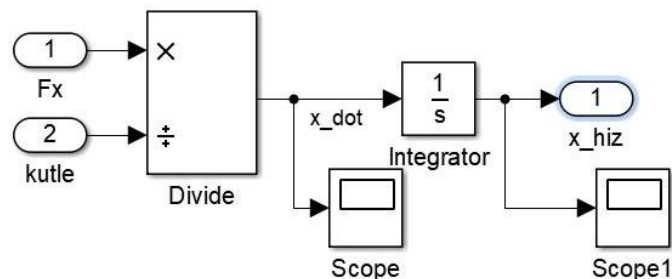
```

BENZETİM YAPISI

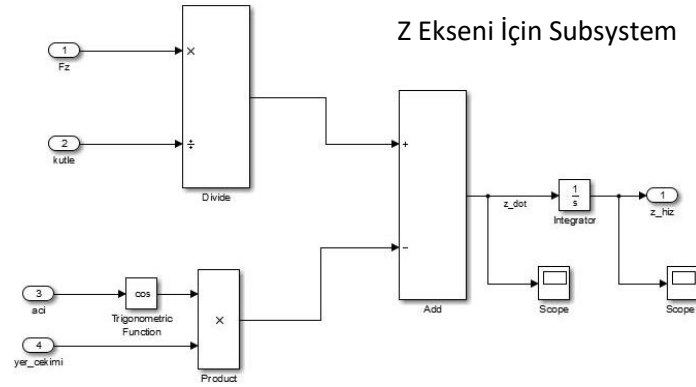
Benzetim öncesi yapılan kinematik analiz sonucunda uygulanması gereken denklemler belirlendikten sonra benzetimin, MATLAB/SimülinK aracı ile yapılmasına karar kılındı. İtki ve aerodinamik sürüklenme kuvvetinin de dahil edildiği benzetime ait genel bloklar şu şekildedir:



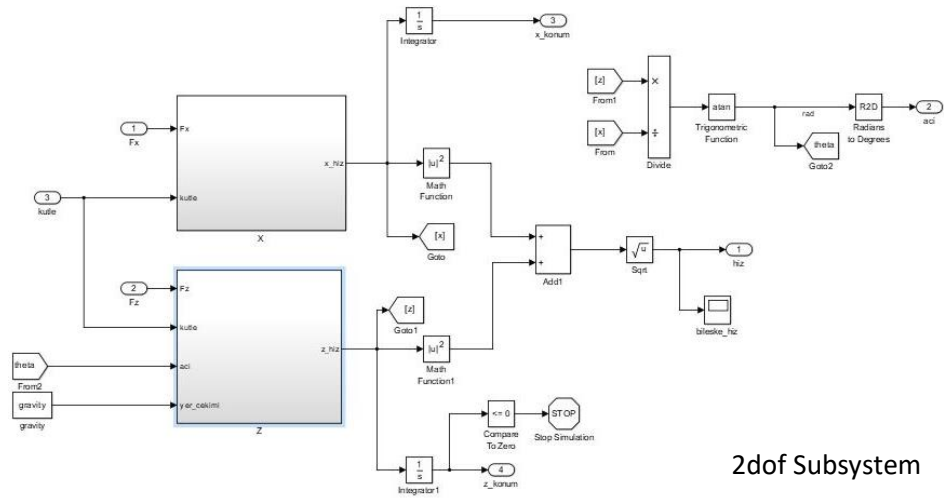
- ❖ X ve Z eksenlerine ait subsytem oluşturularak gerekli denklemler grafiğe dökülerek "2dof" adlı subsytem içine alındı.



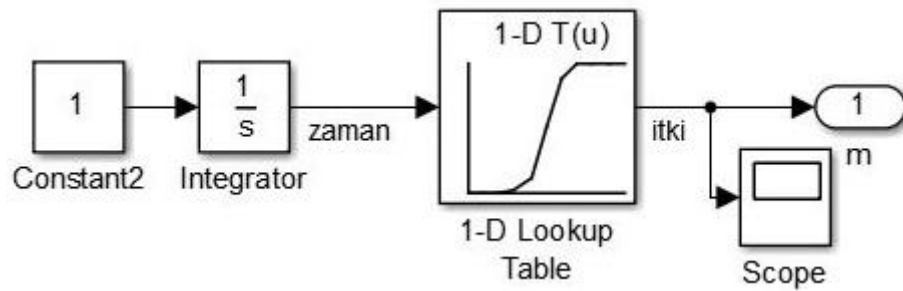
X Eksenini İçin Subsystem



- ❖ "2dof" subssystem'den ivme, konum, hız ve açı değerleri elde edilerek çıktı verildi. Gereken yerlerde bu subssystem'e ait çıktılar kullanıldı.



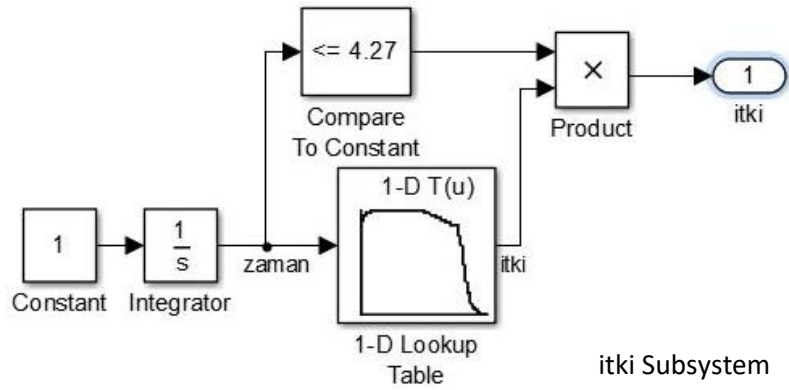
2dof Subsystem



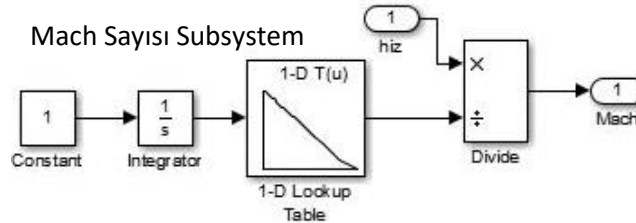
- ❖ "kütü" adlı subssystem'de ise değişen kütle'nin grafiği oluşturuldu.

kutle Subsystem

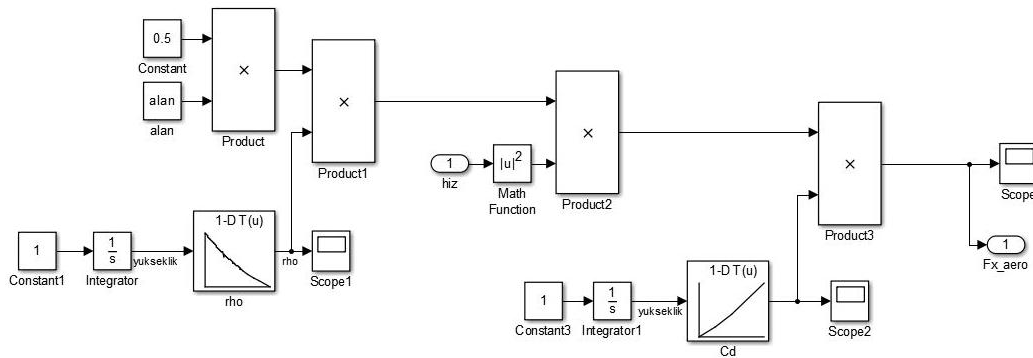
- ❖ "itki" subsystem'de ise zamana bağlı oluşan itki grafiği oluşturularak interpolasyon yapıldı.



- ❖ "Mach Sayısı" subsystemi ile mach değerleri elde edilip M adlı değişkene atandı.



- ❖ "aero" subsystem ile aerodinamik sürüklenmenin oluşturduğu kuvvet belirlendi ve denklemde gerekli yerde kullanıldı.



- ❖ Gözlenmesi gereken çıkışlara "Scope" elemanı eklenerek değerlerin grafiğe dönüştürülmesi sağlanmıştır.
- ❖ Ayrıca elle girilmesi, hesaplanması gereken veriler kod olarak yazılmıştır:

```
clear all; clc;

%kütlet hesapı
m = 25;
m_grain = 4.659;
time = 4.27;
m_dot = m_grain / time;
for i=1:1000
    m(i+1) = m(i) - m_dot;

    if i > 4
        m(i) = 25 - m_grain;
    end
end

%degerler1
degerler = xlsread('itki.xlsx');
zaman = degerler(:,1);
itki = degerler(:,2);
tetha = (85 * pi) / 180;

%degerler2
rho = [1.1120 1.112 1.090 1.069 1.048 1.027 1.007 0.987 0.967 0.947 0.928 0.909
0.891 0.82 0.854 0.837 0.819 0.802 0.785 0.769 0.752 0.736 0.721 0.705 0.690
0.675 0.660 0.646 0.631 0.617 0.604 0.590 0.526 0.467 0.414 0.312];
irtifa = [980 1000 1200 1400 1600 1800 2000 2200 2400 2600 2800 3000 3200 3400
3600 3800 4000 4200 4400 4600 4800 5000 5200 5400 5600 5800 6000 6200 6400
6600 6800 7000 8000 9000 10000 12000];
ses_hizi = [336.4000 336.4 335.7 334.9 334.1 333.3 332.5 331.7 331.0 330.2 329.4
328.6 327.8 327.0 326.2 325.4 324.6 323.8 323.0 322.2 321.4 320.5 319.7 318.9
318.1 317.3 316.5 315.6 314.8 314.0 313.1 312.3 308.1 303.8 299.5 295.1];

%alan hesap
d = 0.14;
alan = (pi * d^2) / 4;
hiz = 2;

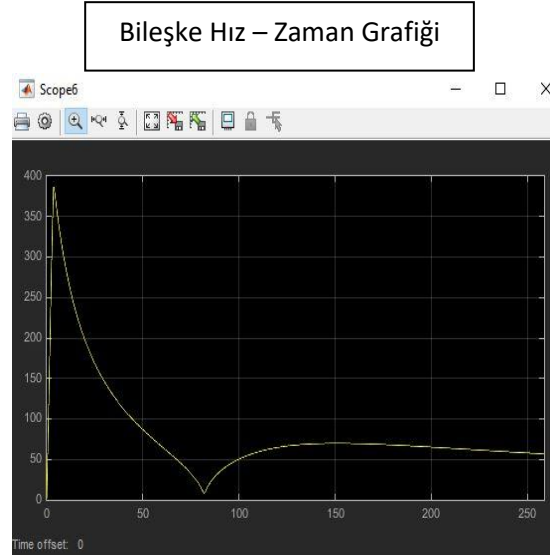
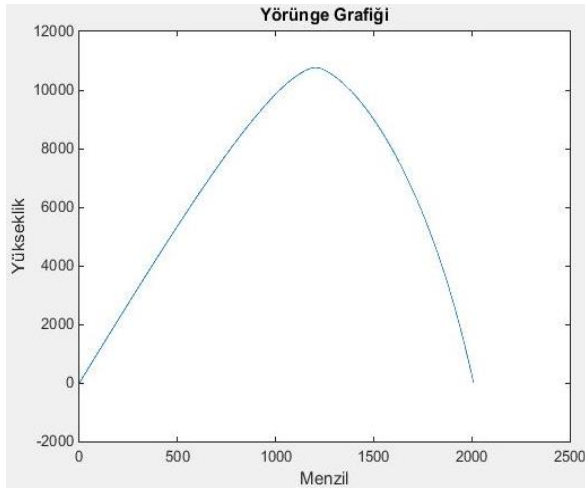
%Cd degerleri
Cd = [0.3359 0.3468 0.3592 0.3923];
irtifa2 = [0 3000 6000 12000];

%yer cekimi
gravity = 9.801;
```

Değişkenler, yeri geldiğinde roketimize ait verilerle güncellenmiştir.

BENZETİMİN DOĞRULANMASI

Benzetim doğrulaması yapılırken Uçuş Benzetimi Yönergesinde verilen Tablo1 ve Tablo2 değerleri kullanılarak ilk bileşke hız değeri 2 m/s ve açı değeri 85° olarak alınmıştır. Ayrıca rakım 980 m verildiği için ses hızı, sürüklenme katsayısı ve yoğunluk değerleri için interpolasyon yapılarak bahsi geçen veriler ilgili irtifa değerinden itibaren alınmıştır. İşlem sonucunda 980 m irtifa için hava yoğunluğu "1.1120", ses hızı ise "336.4000" olarak belirlenip işleme konulmuştur. Z konumu 0 değerine geldiğinde simülasyon durdurulmuştur. Elde edilen veriler şu şekildedir:



	Değer
Maksimum Mach Sayısı [-]	1.1504
Tepe Noktası Pozisyonu [m]	10769,e+4
Tepe Noktası Hızı (bileşke) [m/s]	386,98
Tepe Noktası Mach Sayısı [-]	0,0254
Tepe Noktası Zamani [s]	81,85

BENZETİM SONUÇLARI

BAŞVURULAR

İnger, E. (2010). *Roket ve Füze Mühendisliği*. Ankara: Palme Yayıncılık.

KORKMAZ, S., & YAMAN, H. (2022, Ocak 31). Kriyojenik Hidrojen Yakıtlı 100 kN İtki Kapasiteli Bir Roketin RPA Programı ile Kavramsal Tasarım ve Analizi. s. 166-167.