



TEKNOFEST 2022
ROKET YARIŞMASI
Orta İrtifa Kategorisi
Kritik Tasarım Raporu (KTR)
Uçuş Benzetimi Raporu (UBR)
Sunuşu

İçindekiler Tablosu

Kinematik ve Dinamik Denklemler	2
Atmosfer Modeli	3
Motor Modeli	4
Aerodinamik Model	5
Benzetim Yapısı	6
Benzetimin Doğrulanması	7
Benzetim Sonuçları	8
Referanslar	11

2.1 Kinematik ve Dinamik Denklemler

- **Hız denklemleri**

$$v_{xi} = v_i * \cos \theta_i, v_{yi} = v_i * \sin \theta_i$$

$$h = \frac{v_i^2 * \sin^2 \theta_i}{2g}, R = (v_i * \cos \theta_i) * 2t_c^{[3]}$$

Programa girilen hız verisi formüllerde kullanılmak üzere yatay ve dikey olarak ayrılmaktadır. Yatay hızı bulmak için kosinüs ile çarpılarak dikey hız ise sinüs ile çarpılarak elde edilir. Hava sürtünmesi ve rüzgâr ihmal edildiği için formüle dahil edilmemiştir.

- **İvme denklemleri**

$$a = \frac{F}{m}$$

$$\alpha(t) = \frac{dV(t)}{dt^2}$$

- **Konum denklemleri**

$$h = \frac{v_i^2 * \sin^2 \theta_i}{2g}, R = (v_i * \cos \theta_i) * 2t_c^{[3]}$$

Elde edilmesi istenen iki tane konum bilgisi bulunmaktadır. Bunlardan birisi tepe noktası, diğeri ise yatayda alınan mesafe bilgisidir. Rokete dikeyde etkiyen tek kuvvet yer çekimi olduğundan dolayı, roket belli bir irtifaya ulaştıktan sonra serbest düşüşe geçecektir. İlk hareketinden yere düşüşüne kadar ki geçen süre toplam uçuş süresini vermektedir. Yatayda ise rokete etkiyen herhangi bir kuvvet bulunmadığından dolayı yatayda sabit hız ile hareket etmektedir. Bu hızı roketin uçuş süresi ile çarptığımızda ise yatayda alınan mesafe bulunmaktadır.

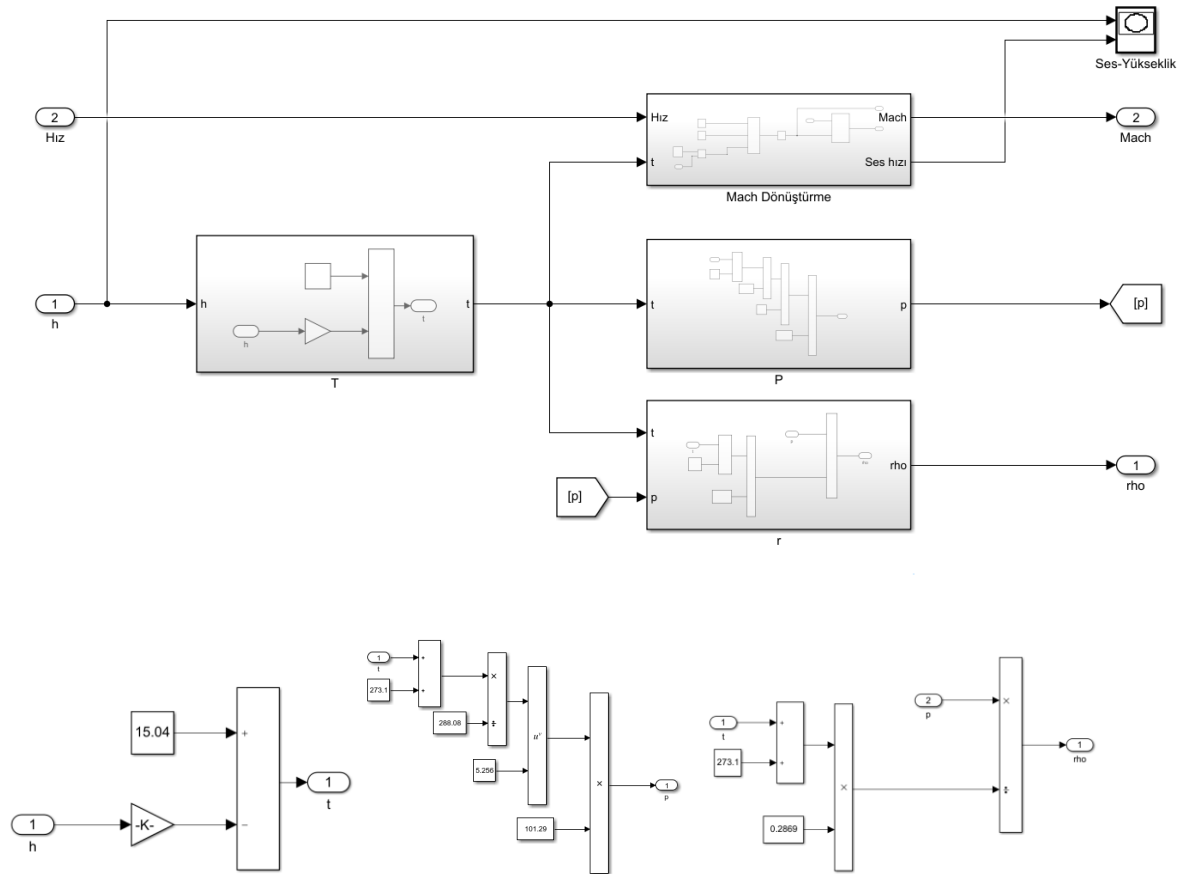
- **Uçuş yolu açısı**

$$v_{xi} = v_i * \cos \theta_i, v_{yi} = v_i * \sin \theta_i$$

$$1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{Radyan}^{[3]}$$

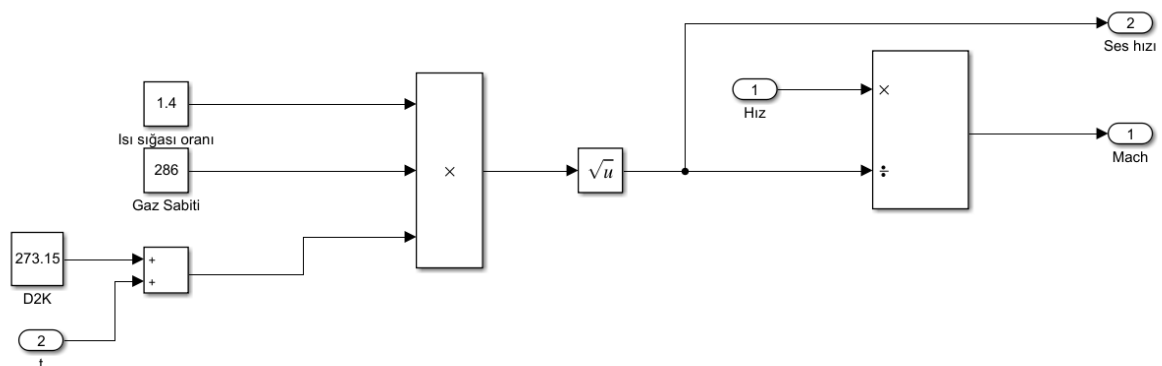
Verilen uçuş yolu açısı programa girildikten sonra hız bilgilerini elde etmek için kullanılır. Program hesaplamayı radyan cinsinden yaptığı için girilen uçuş yolu açısı radyan cinsine çevrilmektedir.

2.2 Atmosfer Modeli



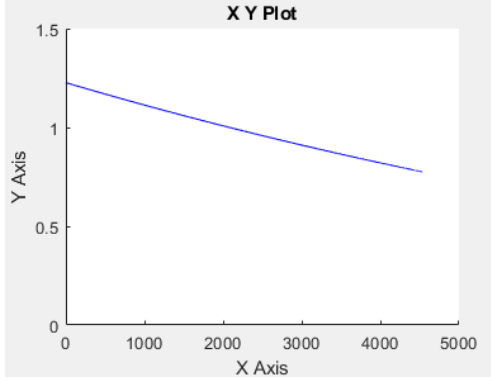
NASA'nın kaynaklarından elde edilen atmosfer modelinde, roketin 11000 metre üstüne çıkma ihtimali olmadığından dolayı irtifanın 11000 metrenin altında olan formülleri kullanılmıştır. Kullanılan formüller Simulink üzerinde modellenerek İrtifa (h) girdisi sağlandığında, çıktı olarak hava yoğunluğu ve sıcaklık elde edilmektedir.

$$T = 15.04 - 0.00649h, p = 101.29 * \left[T + \frac{273.1}{288.08} \right]^{5.256}, \rho = p / (0.2869 * (t + 273.1))$$

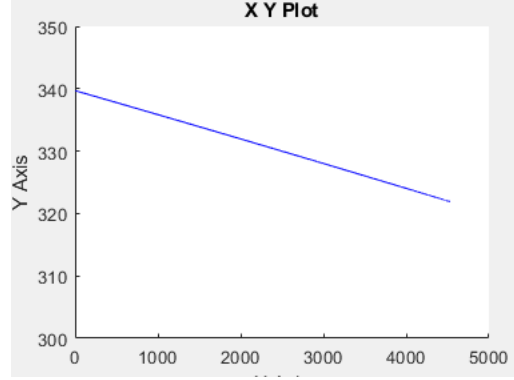


Elde edilen sıcaklık ve hava yoğunluğu değerleri mach sayısını hesaplamak için de kullanılmaktadır.

$$\text{Mach Sayısı} = \frac{\text{Obje Hızı}}{\text{Ses Hızı}}$$

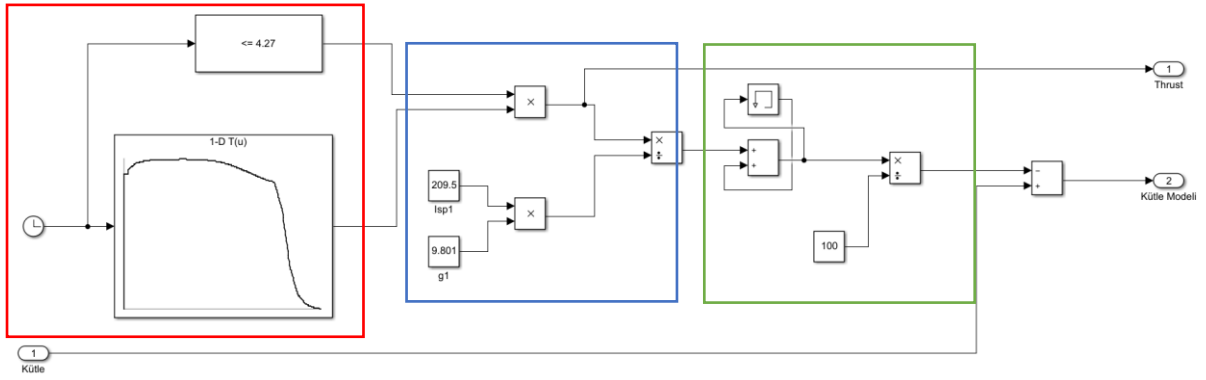


Şekil 1 ses hızı-deniz seviyesi yüksekliği



Şekil 2 yoğunluk-deniz seviyesi yüksekliği

2.3 Motor Modeli



Motor modelini oluşturmak için verilen itki değerleri Matlab workspace içerisine aktarılmıştır.

Kırmızı karede İtki değerleri “Lookup Table” bloğuna tanımlandıktan sonra zaman girdisi de bağlanmıştır. Böylece zamana göre oluşan itki değeri çıktı olarak alınmaktadır. Yakıtın bittiğini programa anlatabilmek için oluşturulan tablonun üstünde bulunan “Compare to Constant” bloğu bağlanmıştır. Bloğa giren zaman verisi 4.27den küçük olduğu sürece “1” çıktısı vermektedir. 4.27den büyük olduğu durumda ise “0” çıktısı vermektedir. Böylece motorun yanma süresi bittiğinde tablodan çıkan değer 0 ile çarpılarak itki değeri bitirilmiş olmaktadır.

Mavi kare içerisinde ise motorun atılan kütle debisi (m-dot) hesaplaması yapılmaktadır. Formüle göre m-dot’u hesaplamak için itki kuvveti, Isp ve yer çekimine bölünür. Buradan birim zamanda atılan yakıt hesaplanır.

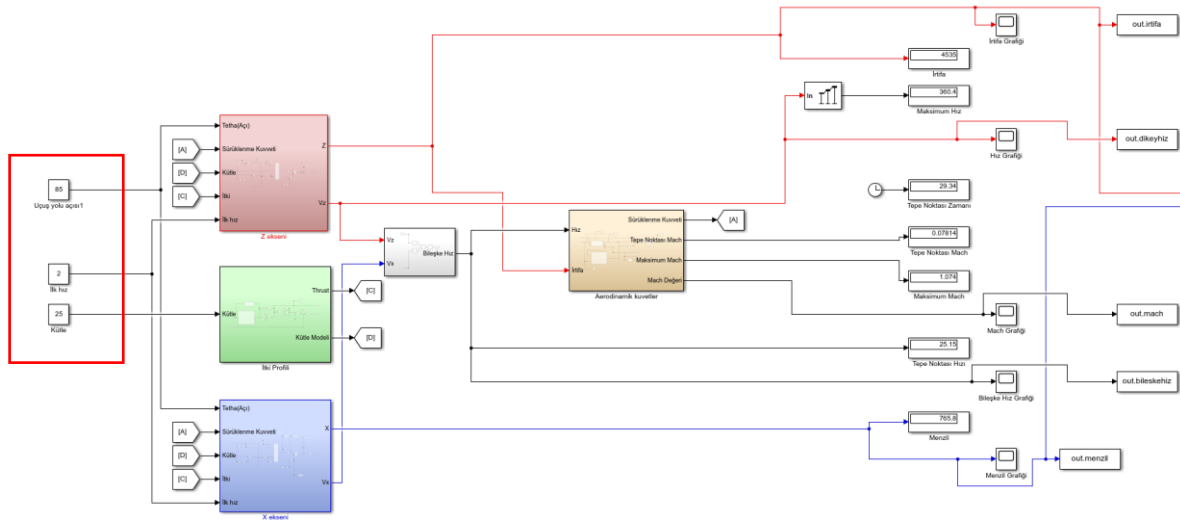
Yeşil kare içerisinde alınan çıktı “memory” bloğu ile toplanır. Bu bloğun çıktısı bir önceki girdisidir. Böylece atılan kütle zamanla toplanır. Bu çıktı 100 ile bölünerek kg haline çevrilir.

En sonda ise Girilen kütle değerinden atılan yakıt zamanla düşülür.

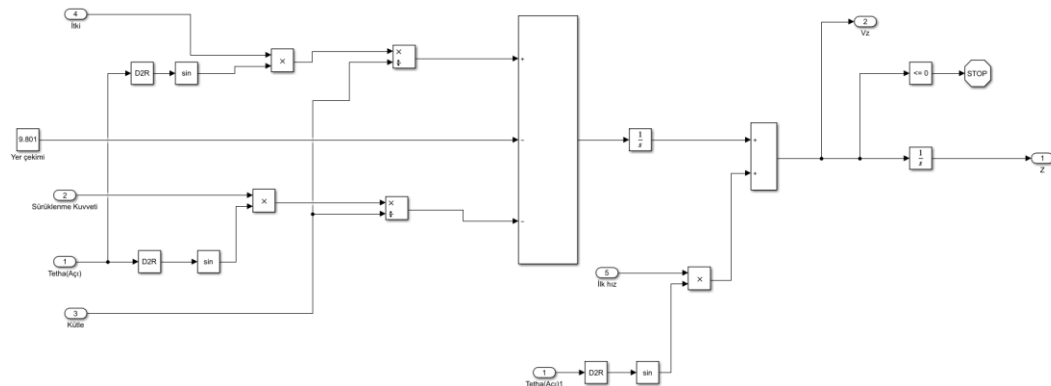
Elde edilen değerler tabloda verilmiştir.

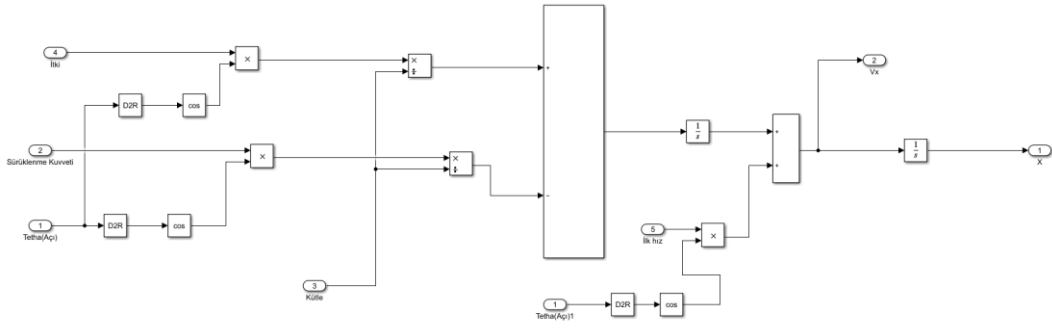
	0.1 Mach	0.5 Mach	0.8 Mach	1 Mach
0 m	0.65	0.54	0.56	0.57
1500 m	0.67	0.55	0.57	0.58
3000 m	0.68	0.56	0.58	0.60

2.5 Benzetim Yapısı



Uçuş benzetimi simulinkte yukarıdaki bulunan fotoğraftaki gibi modellenmiştir. Kırmızı çerçeve içine alınan bölümde koşulları girmektediriz. Uçuş yolu açısı ilk hız ve kütle bilgisi girilmektedir. Girilen değerler X, Z eksenleri ve itki profili kısmına girmektedir. En sağ kısımda ise çıktılarımız bulunmaktadır.

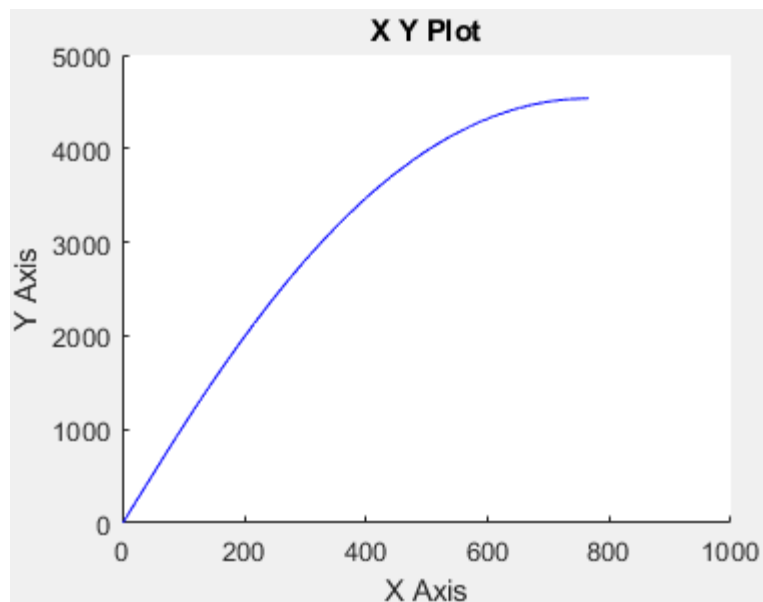




Burada ise $F=ma$ formülü uygulanarak itki, yer çekimi ve sürüklenme kuvveti ivme(a) olarak girilmektedir. İtki ivmesi artı, diğer ivmeler eksi olarak girilmiştir. İvmenin integrali alınarak hız, hızın integrali alınarak konum bilgisi elde edilmiştir. İlk hız değerimiz ilk integralden hemen sonra dahil edilmiştir. Yatay yönde yer çekimi ivmesi bulunmadığı için dahil edilmemiştir.

2.6 Benzetim Doğrulaması

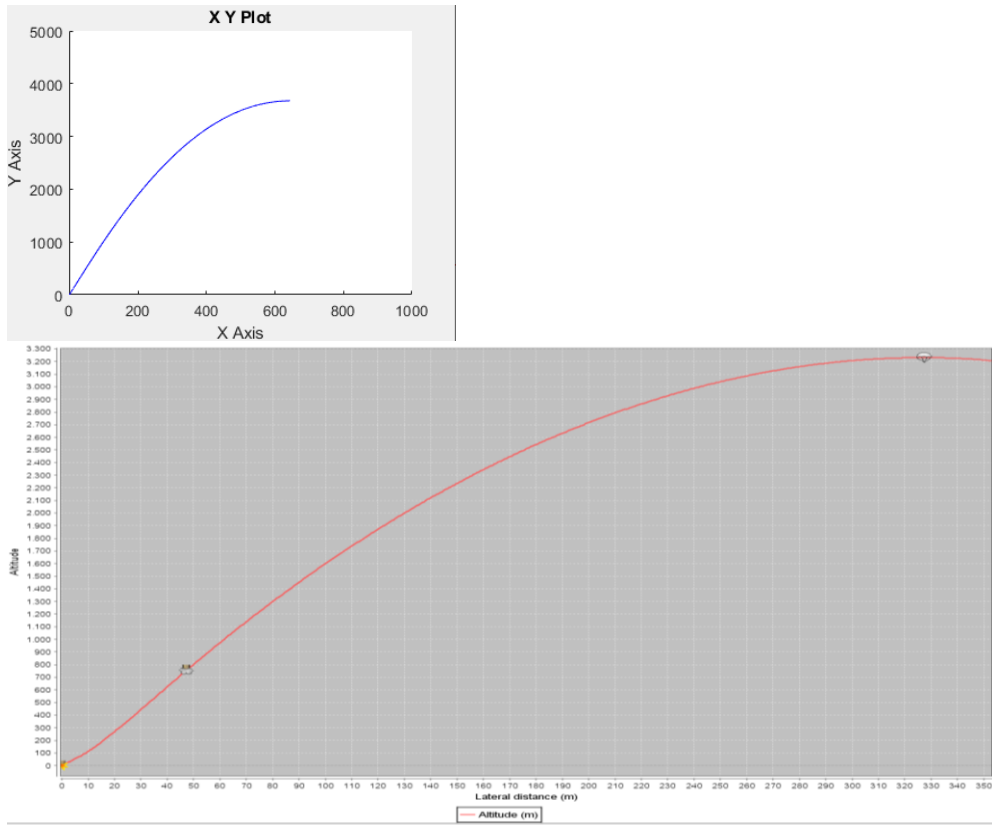
	Değer
Maksimum Mach Sayısı [-]	1.074
Tepe Noktası Pozisyonu [m]	[765.8, 0, 4535,]
Tepe Noktası Hızı (bileşke) [m/s]	25.15
Tepe Noktası Mach Sayısı [-]	0.07814
Tepe Noktası Zamanı [s]	29.34



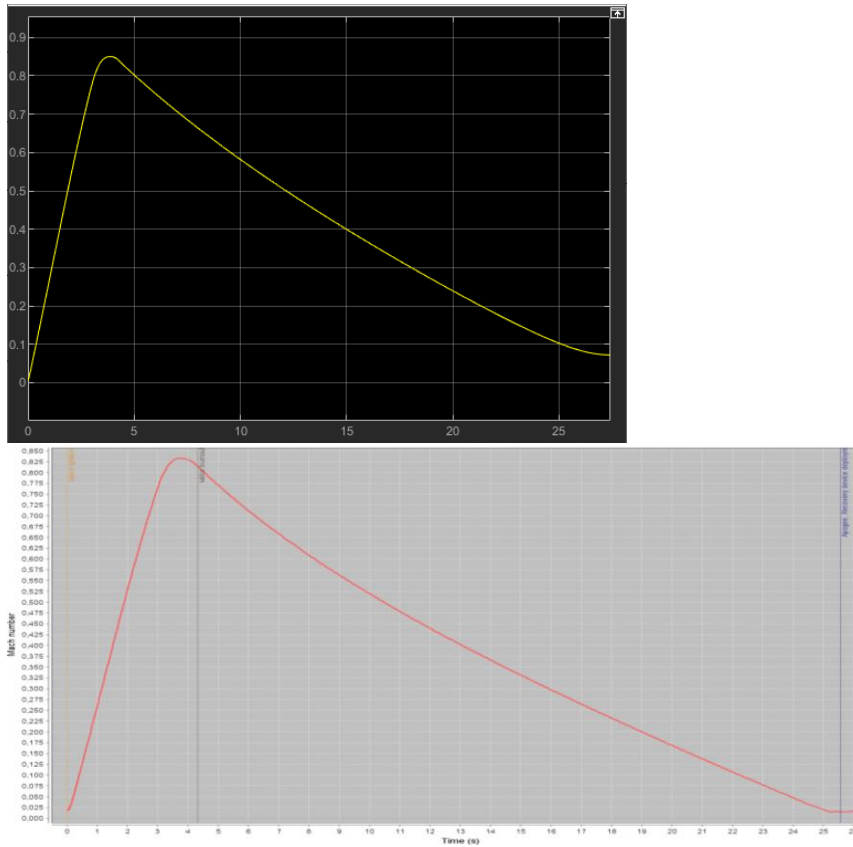
2.7 Benzetim Sonuçları

	OpenRocket Değeri (a)	Benzetim Değeri (b)	Yüzdece Fark (b-a)/a*100
Maksimum Mach Sayısı [-]	0.833	0.85	%2
Tepe Noktası Pozisyonu [m]	[290, 0, 3232.5,]	[643.9, 0, 3675,]	[%55 , %0, %12 ,]
Tepe Noktası Hızı (bileşke) [m/s]	11.25	23.5	%52
Tepe Noktası Mach Sayısı [-]	0.019	0.072	%73
Tepe Noktası Zamanı [s]	25.72	27.42	%6

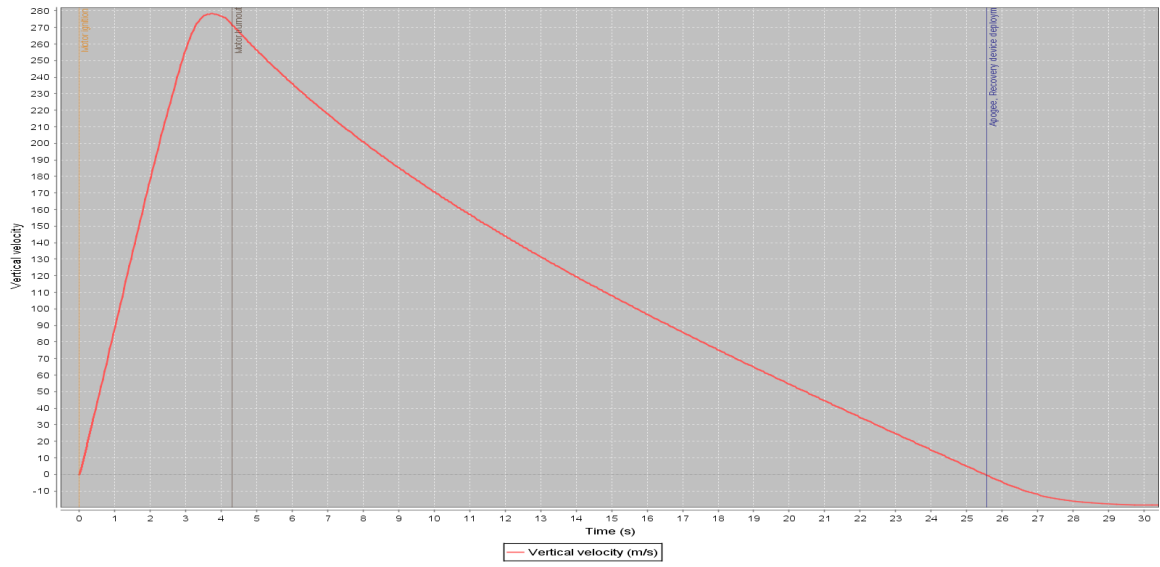
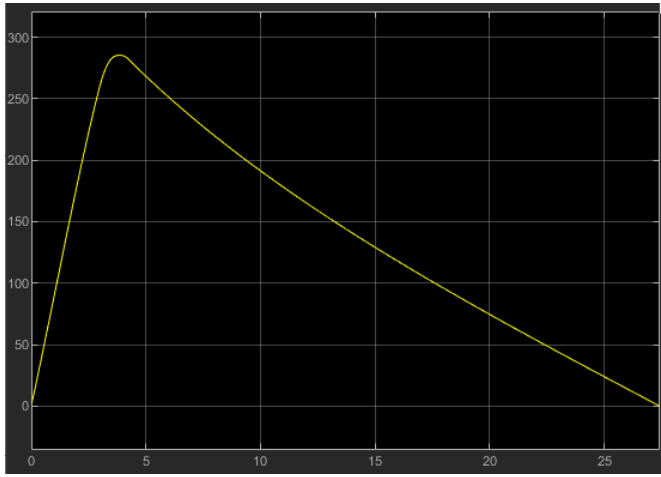
Menzil-irtifa



Mach-Zaman Grafiđi



Dikey Tırmanma Hızı-Zaman



REFERANSLAR

- [1]Difference between kinematics and dynamics. (2015, Ekim 3). Difference Between. <https://www.differencebetween.info/difference-between-kinematics-and-dynamics>
- [2]Parinam, H. R. (2022, Şubat 4). Difference between kinematics and dynamics. Mechanical Education. <https://www.mechanicaleducation.com/2021/12/difference-between-kinematics-and-dynamics.html>
- [3]Kayalı, Ö. (2020, Aralık 21). Eğik Atış Hareketi - Formüller. Rasyonalist Bilim. <https://rasyonalist.org/yazi/egik-atis-hareketi-konu-ornek-soru-cozum/>
- [4]Katıların mekaniğine ait dallar. (2021, Aralık 18). Makine Eğitimi. <https://www.makinaegitimi.com/katilarin-mekanigine-ait-dallar-statik-kinematik-dinamik/>
- [6] Ideal rocket equation. (2021, May 13). NASA Glenn Research Center. <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/rocket/rktpow.html>
- [7] Specific impulse. (2021, May 13). NASA Glenn Research Center. <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/rocket/specimp.html>
- [8] Mass flow rate. (2021, May 13). NASA Glenn Research Center. <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/rocket/mflchk.html>
- [9] Speed of sound. (2021, May 13). NASA Glenn Research Center. <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/sound.html>
- [10] Mach number. (2021, May 13). NASA Glenn Research Center. <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/mach.html>
- [11] Ratios of specific heat of gases. (n.d.). The Engineering ToolBox. https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-ratio-d_608.html