

ELE 515
MATLAB İLE BİLGİSAYARLI KONTROL
2022-23/II, PROJE RAPOR

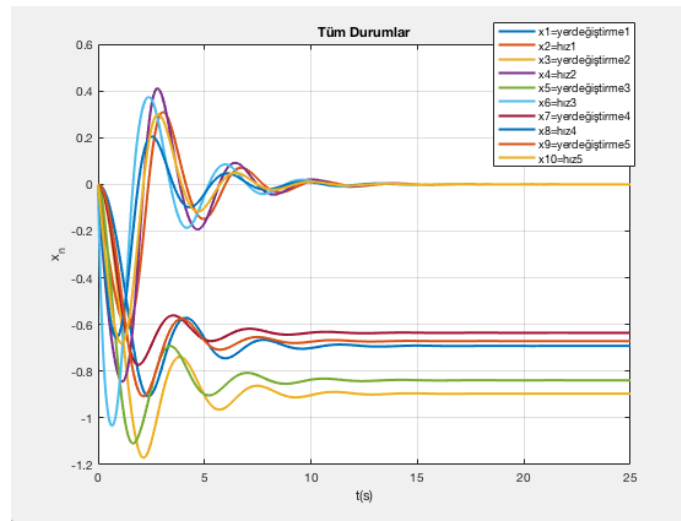
Adı	Doruk
Soyadı	Bilgi
Öğrenci No	221211041
Tarih	01.05.2023

İçindekiler

1. PROJE.....	3
Referanslar	13

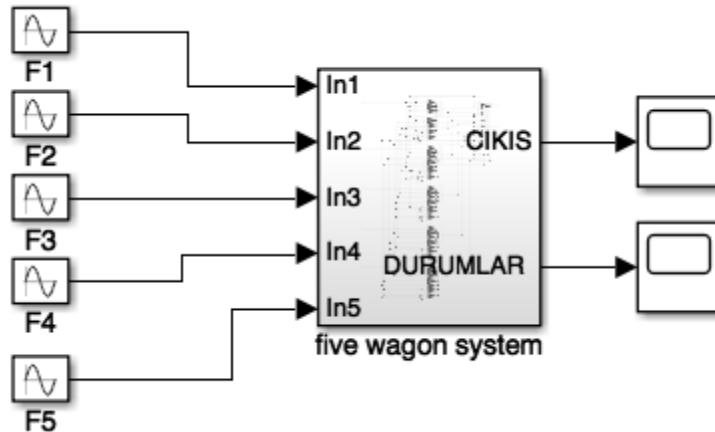
1. PROJE

Projenin 1. Bölümünde verilmiş olan 5'li vagon sisteminin MATLAB ve Simulink ortamlarında simülasyonları yapılmıştır. (https 1) İlk olarak sistemin parametreleri (kütle, yay sabitleri, amortisör sabitleri) ve sistemin durumlarının (her vagon için yer değiştirme, hız) türev denklemleri "five_wagon_system" isimli fonksiyon altında oluşturulmuştur. Sonrasında F1, F2, F3, F4 ve F5 kuvvet girişleri için soruda verilmiş olan denklemin parametreleri (delta, omega) girilerek "Fn" kuvvet bileşenleri " $F1 = \delta_1(\omega_1 * t)$ " şeklinde oluşturulmuştur. Tanımlanan beş adet giriş için "u" giriş vektörü " $u = [F1 \ F2 \ F3 \ F4 \ F5]$ " şeklinde oluşturulmuştur. Sonrasında sistemin ilk durumları "x0" vektörüne " $x0 = [0;0;0;0;0;0;0;0;0;0]$ " şeklinde kaydedilmiştir. Oluşturulmuş olan diferansiyel durum denklemleri "ode45" fonksiyonu ile " $[t,x] = \text{ode45}(@\text{five_wagon_system}, \text{tspan}, x0, [], u)$ " şeklinde çözdürülmüştür. Sistemin durumları zamana karşı Şekil-1'de gösterildiği gibi çizdirilmiştir.

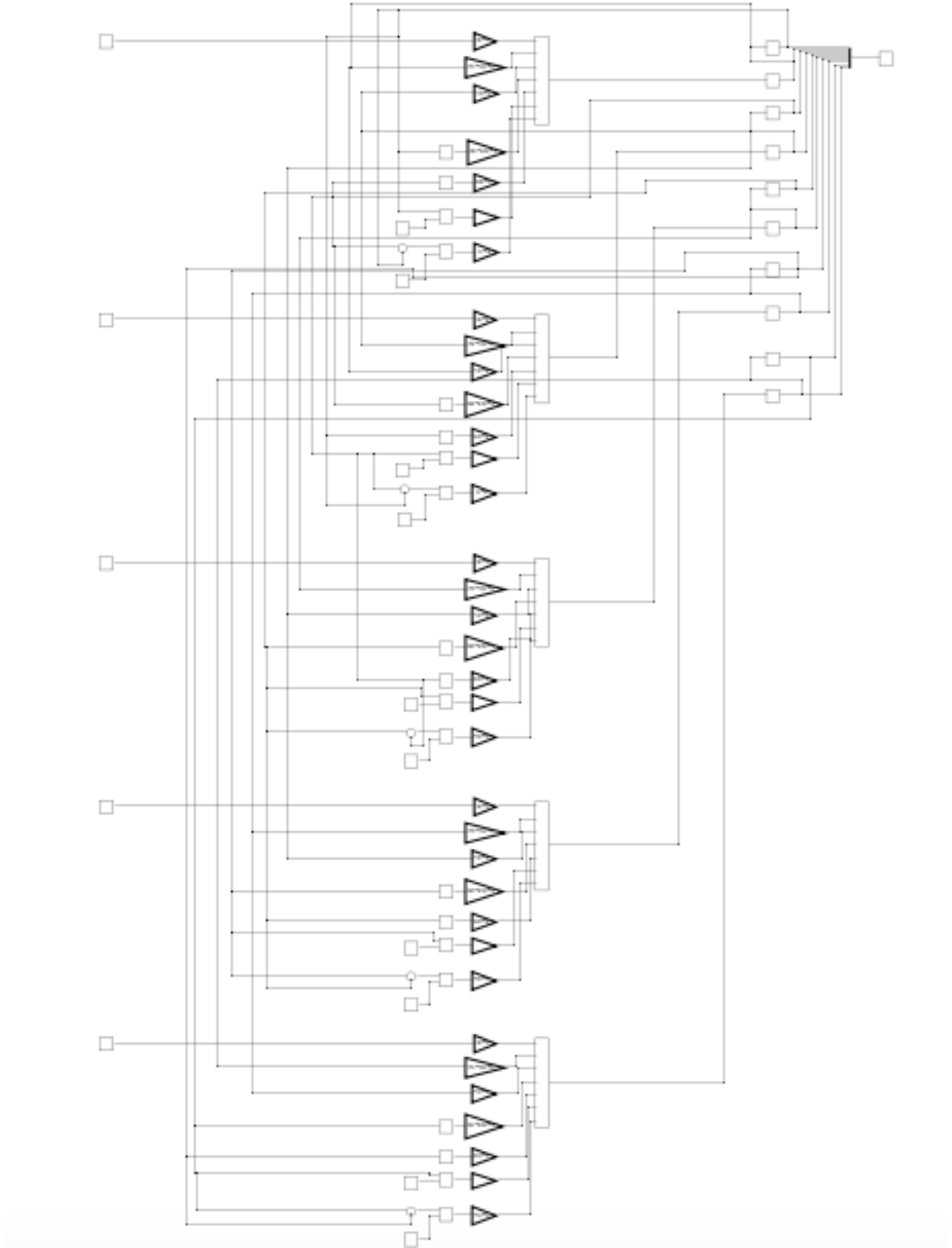


Şekil 1: Tüm Durumlar

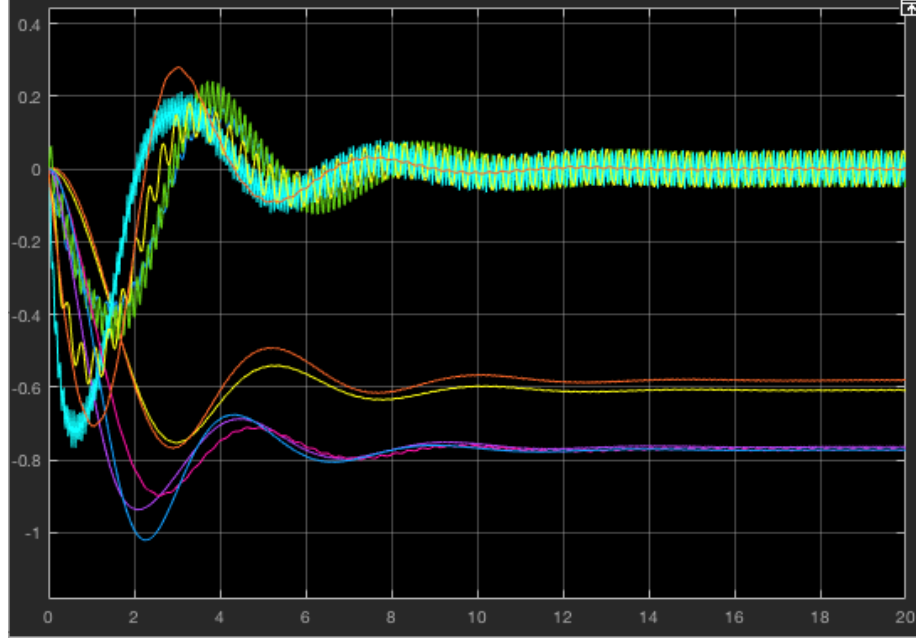
Sonrasında sistem Simulink altında "integrator", "gain", "sin wave", "sum", "math function" ve "exponential" blokları tarafından Şekil-3'te gösterildiği üzere tasarlanmıştır. "F1", "F2", "F3", "F4" ve "F5" girişlerine karşılık sistemin durumları Şekil-4'te gösterildiği gibi çizdirilmiştir. Çizdirilen grafikler incelendiğinde MATLAB ve Simulink ortamlarında ayrı ayrı yapılmış olan tasarımların tutarlı olduğu görülmektedir. İlgili grafikler incelendiğinde [0 25] zaman aralığı altında vagonların hız ve yer değiştirme durumlarının (sistem durumlarının) ve üçüncü vagonun yer değiştirmesinin (sistem çıkışının) analizi yapılabilmektedir.



Şekil 2: five wagon sistem



Şekil 3: "five_wagon_system"

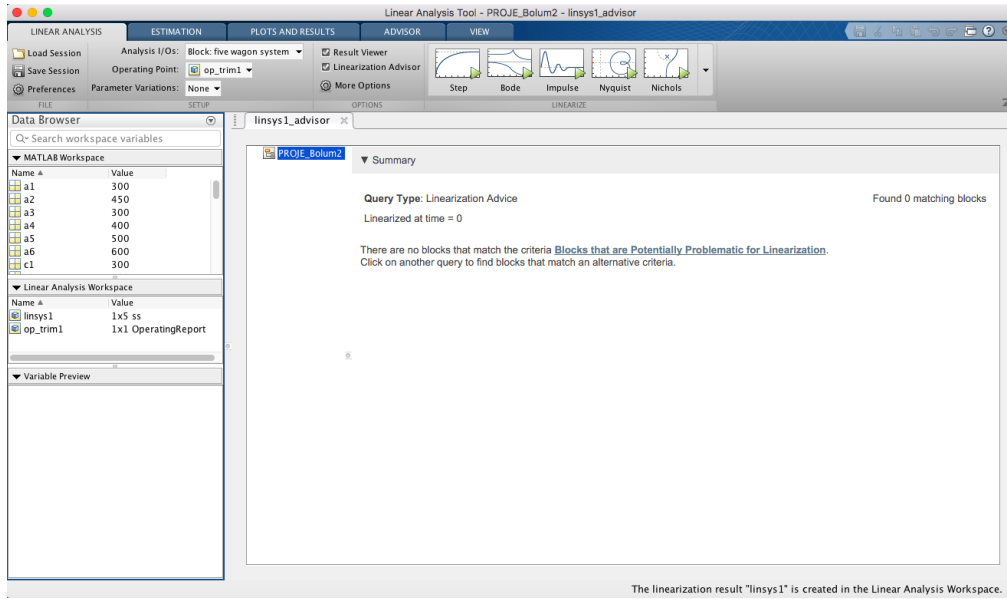


Şekil 4: Tüm Durumlar

Projenin 2. Kısımında ilk olarak sistem Simulink ekranında bulunan analiz sekmesinden erişilen “Linear Analysis Tool” ile “five_wagon_system” alt sistemi Şekil-4, Şekil-5, Şekil-6’da gösterildiği gibi “op_trim1” çalışma noktası etrafında doğrusallaştırılmıştır ve doğrusal sistemin durum uzayı gösterimi elde edilmiştir. ([https2](#), [https3](#))

Edit: op_trim1				
Optimizer Output				
Details				
State				
State	Desired Value	Actual Value	Desired dx	Actual dx
PROJE_Bolum2/five wagon system /Integrator				
State - 1	[-Inf , Inf]	-0.60842	0	0
PROJE_Bolum2/five wagon system /Integrator1				
State - 1	[-Inf , Inf]	0	0	6.0028e-07
PROJE_Bolum2/five wagon system /Integrator2				
State - 1	[-Inf , Inf]	-0.58126	0	8.7042e-20
PROJE_Bolum2/five wagon system /Integrator3				
State - 1	[-Inf , Inf]	8.7042e-20	0	6.9929e-07
PROJE_Bolum2/five wagon system /Integrator4				
State - 1	[-Inf , Inf]	-0.76448	0	0
PROJE_Bolum2/five wagon system /Integrator5				
State - 1	[-Inf , Inf]	0	0	-4.3583e-07
PROJE_Bolum2/five wagon system /Integrator6				
State - 1	[-Inf , Inf]	-0.77169	0	0
PROJE_Bolum2/five wagon system /Integrator7				
State - 1	[-Inf , Inf]	0	0	1.9422e-10
PROJE_Bolum2/five wagon system /Integrator8				
State - 1	[-Inf , Inf]	-0.77271	0	0
PROJE_Bolum2/five wagon system /Integrator9				
State - 1	[-Inf , Inf]	0	0	5.3175e-12

Şekil 5: Uygun çalışma noktasının belirlenmesi.



Şekil 6: Doğrusallaştırma işlemi.

```

linsys1 1x5
val =
A =
      Integrator  Integrator1  Integrator2  Integrator3  Integrator4  Integrator5
Integrator      0            1            0            0            0            0
Integrator1    -2.936        -1.667        0.932        0.6667        0            0
Integrator2      0            0            0            1            0            0
Integrator3     0.5442         1        -2.359        -1.5            0            0
Integrator4      0            0            0            0            0            1
Integrator5      0            0        0.2571         4        -9.039        -5

B =
      five wagon s  five wagon s  five wagon s  five wagon s  five wagon s
Integrator      0            0            0            0            0            0
Integrator1     0.003333        0            0            0            0            0
Integrator2      0            0            0            0            0            0
Integrator3      0            0.005        0            0            0            0
Integrator4      0            0            0            0            0            0
Integrator5      0            0            0.01        0            0            0

C =
      Integrator  Integrator1  Integrator2  Integrator3  Integrator4  Integrator5
five wagon s      0            0            0            0            1            0

D =
      five wagon s  five wagon s  five wagon s  five wagon s  five wagon s
five wagon s      0            0            0            0            0            0

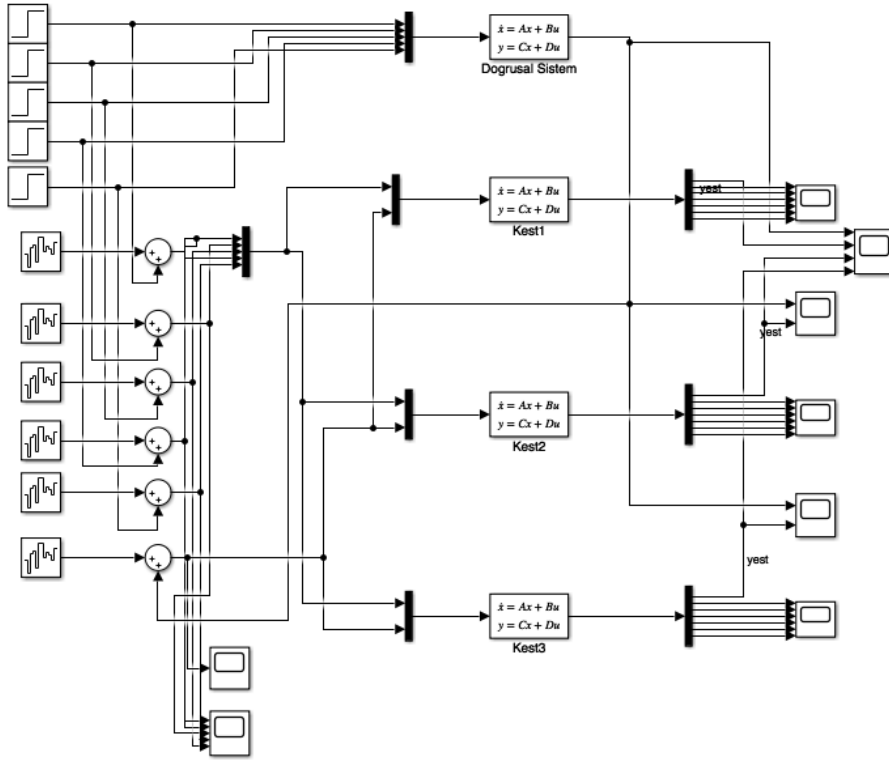
Name: Linearization around the operating point "op_trim1"
Continuous-time state-space model.

```

Şekil 7: Doğrusal Sistemin Durum Uzayı

Doğrusal sistemin durum uzayı elde edildikten sonra doğrusal sistemin A,B,C,D matrisleri MATLAB altında tanımlanmıştır ve doğrusal sistem "G", "G=ss(A,B,C,D)" şeklinde elde edilmiştir. Doğrusal sisteme Kalman Filtresi tasarlanabilmesi için giriş-çıkış gürültülerinin modele eklenebilmesi adına tümlşik sistem "sysTum", "sysTum=ss(A,[B B],C,[D D])" şeklinde oluşturulmuştur. Sonrasında Kalman Filtresi ölçüm ve proses gürültülerini temsil eden parametreler "Q1" ve "R1" değişkenlerine sırasıyla "diag([1 1 1 1 1])" ve "1" değerleri kaydedilerek "Kest1" filtresi "Kest1=kalman(sysTum,Q1,R1)" şeklinde tasarlanmıştır. Sonrasında proses gürültüsü sabit tutularak, ölçüm gürültüsü sırasıyla "0.00001" ve "0.00005" girilerek "Kest2" ve "Kest3" filtreleri de tasarlanmıştır. (https 4) "Kest1", "Kest2", "Kest3" ve Doğrusal Sistem durum uzayı Simulink ortamında durum uzayı bloğu kullanılarak A, B, C, D matrislerine sırasıyla örneğin "Kest1.A", "Kest1.B", Kest1.C" ve "Kest1.D" girilmesiyle oluşturulmuştur. Doğrusal sistem durum uzayı parametreleri de aynı şekilde durum uzayı bloğuna kaydedilmiştir. Oluşturulan Kalman Filtre blokları ve doğrusal sistem Şekil-8'de gösterildiği gibi oluşturulmuştur. "Band-Limited White Noise" blokları kullanılarak 1 standart sapma değerinde giriş-

ıkış gürültüleri sistemin birim basamak girişine ve çıkışına eklenerek filtre bloklarının girişine verilmektedir.

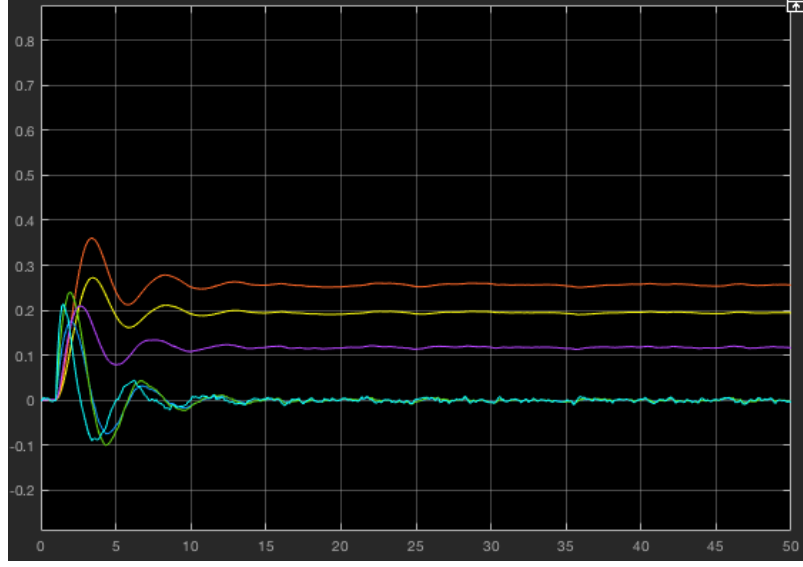


şekil 8: Doğrusal Sistem ve Kalman Filtreleri Test

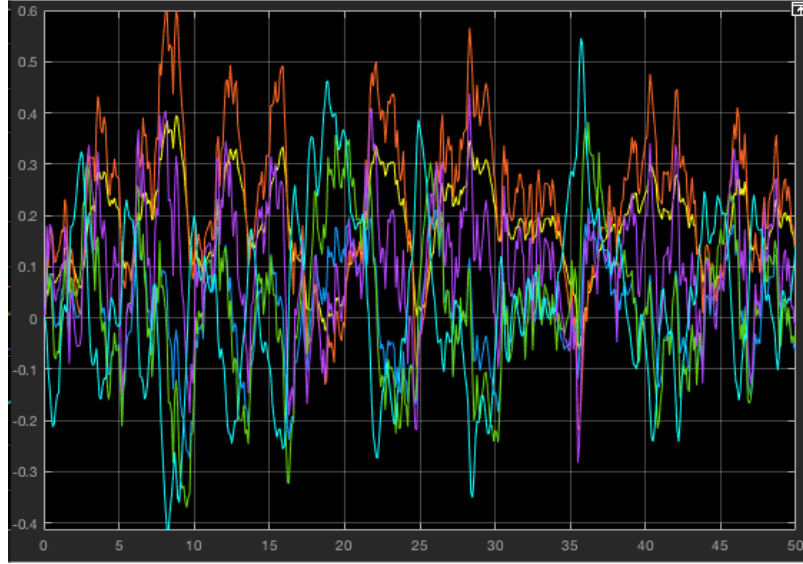
Farklı filtre parametre değeriinde oluşturulmuş olan “Kest1”, “Kest2” ve “Kest3” filtrelerinin ıkışları yani Kalman ıkış tahminleri ve sistemin gürültüsüz çıkışı st üste şekil-9’da gösterildiği gibi çizdirilmiştir. “Kest1” ıkış tahmini diğer tahminlerden daha başarılıdır. Gürültülü giriş ve gürültülü çıkış altında en doğru tahmin “Kest1” ile sağlanmaktadır. Filtrelerin durum tahminleri ise “Kest1”, “Kest2”, “Kest3” filtre modelleri için sırasıyla şekil-10, şekil-11 ve şekil-12’de gösterildiği gibi çizdirilmiştir. lm gürültüsü “R=1” için giriş-çıkış gürültüleri altında en doğru sistem çıkışı ve sistem durumları tahminleri elde edilmektedir. “R=0.0001” değeriinde Kest2 filtresi filtreler içinde giriş-çıkış gürültüleri altında en kötü tahmini yapmaktadır. “Q” parametresi sabit tutularak “R” parametresinin değiştirilmesi sonucunda filtre performansları gözlemlenmektedir.



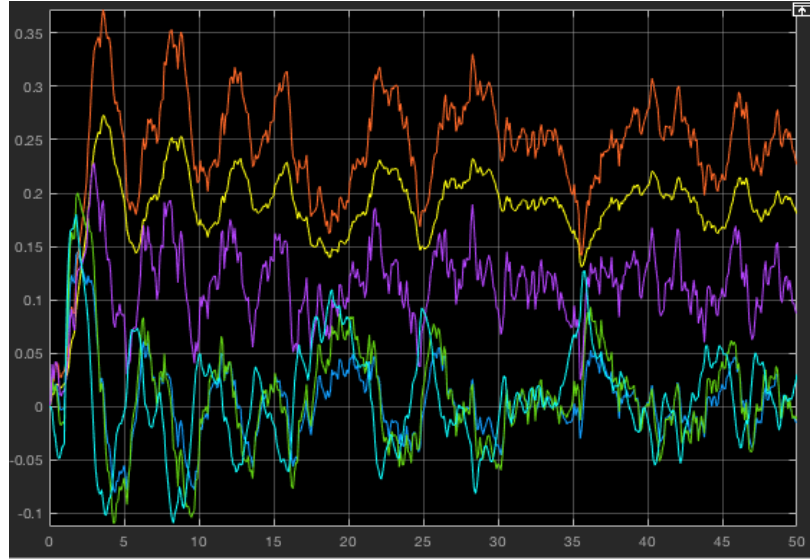
şekil 9: Kalman ıkış Tahminleri ve Sistem ıkışı ($y = x_5$)



Şekil 10: Kest1 Durum Tahminleri

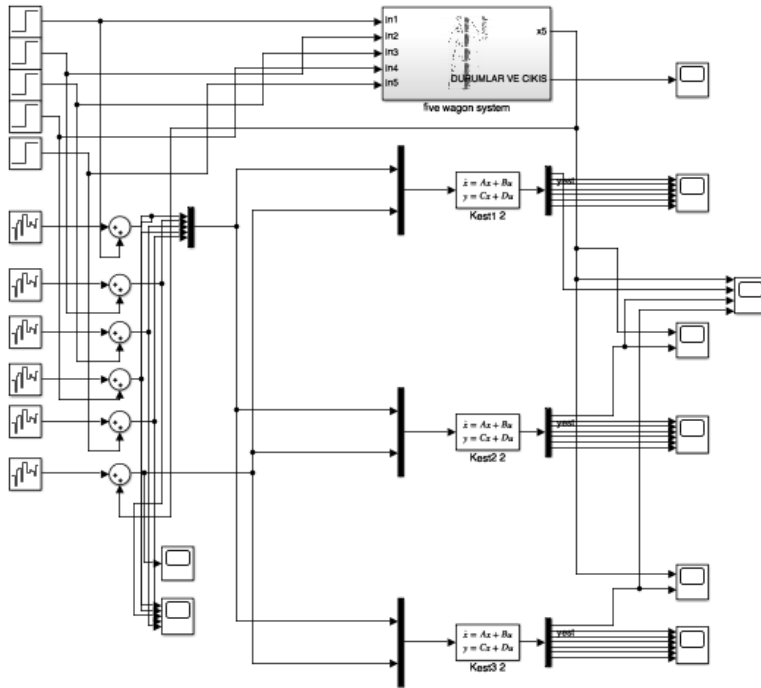


Şekil 11: Kest2 Durum Tahminleri

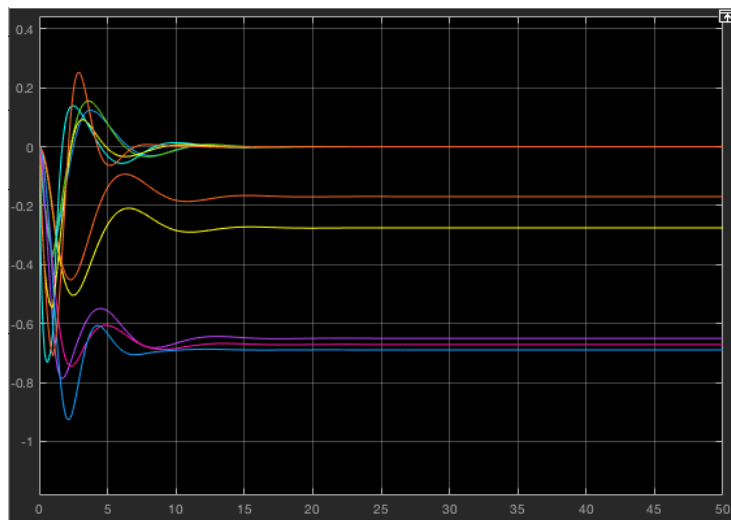


Şekil 12: Kest3 Durum Tahminleri

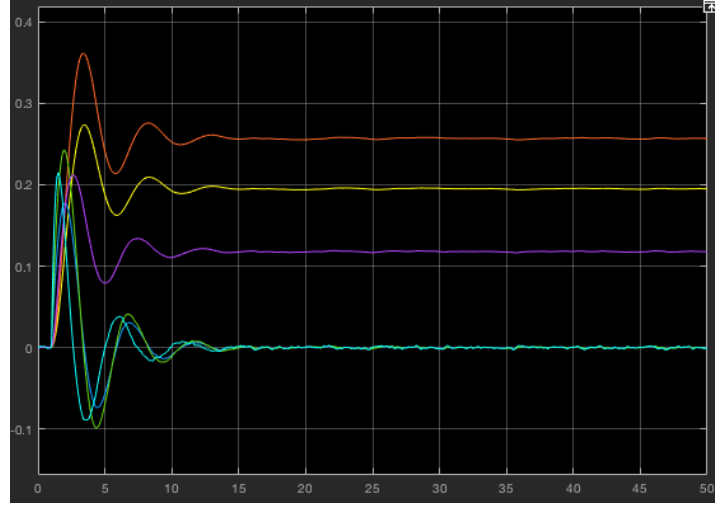
Projenin 2. Kısımının devamında ise doğrusal olmayan “five wagon system” sistemi alt modülüne Şekil-13’te gösterildiği gibi Kest1, Kest2, Kest3 filtreleri uygulanmaktadır. Doğrusal olmayan sistemin gürültüsüz giriş-çıkışlar altında durumları Şekil-14’te gösterilmektedir. Kest1, Kest2, Kest3 filtreleri uygulandıktan sonraki durum tahminleri ise Şekil-15, Şekil-16, Şekil-17’de gösterilmektedir. Üç filtrenin çıkış tahminleri ve doğrusal olmayan sistemin çıkışı üst üste Şekil-18’de gösterildiği gibi çizdirilmiştir. 0.1 standart sapmalı giriş-çıkış gürültüleri altında doğrusal olmayan sistemin birim basamak girişi altında en iyi durum ve çıkış tahmini “Kest1” filtresi tarafından elde edilmiştir. Sonuç olarak filtre modellerinin doğrusal sistem ve doğrusal olmayan sistem üzerindeki çıkış ve durum tahminleri analiz edilmiştir. Doğrusal olmayan sistem üzerinde “Kest1” Kalman Filtresi modelinin kullanılmasına karar verilmiştir. “Q” parametresi sabit tutularak “R” parametresinin değiştirilmesi sonucunda filtre performansları gözlemlenmektedir.



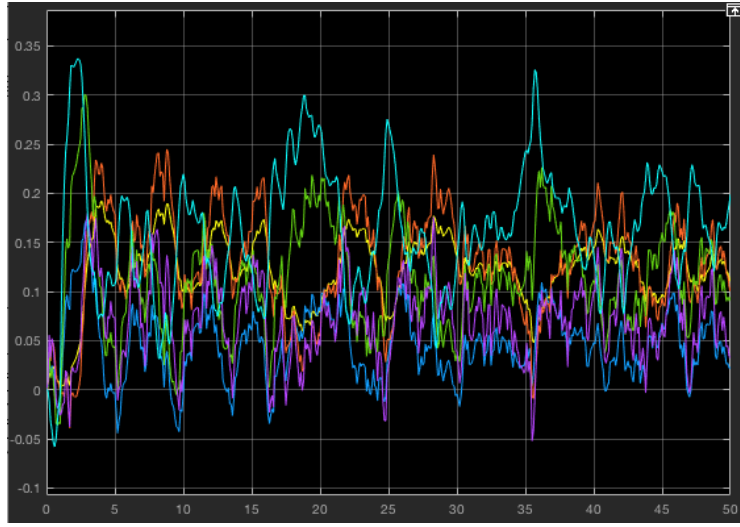
Şekil 13: Doğrusal Olmayan Sistem ve Kalman Filtreleri Test



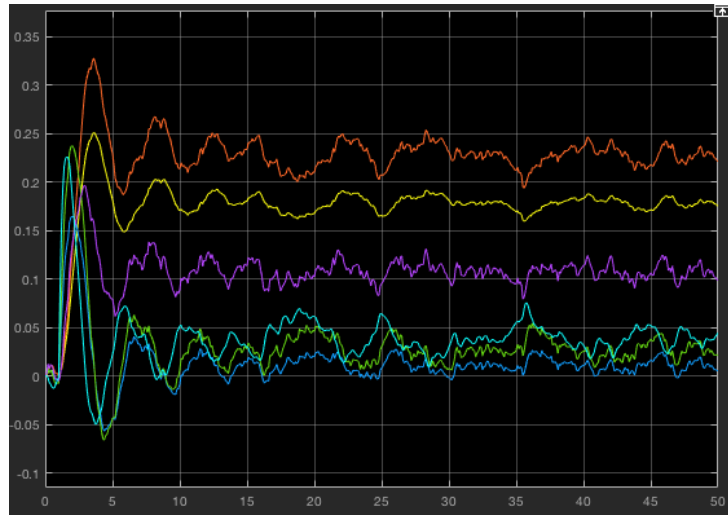
Şekil 14: Doğrusal Olmayan Sistem Tüm Durumlar



Şekil 15: Kest1 Durum Tahminleri

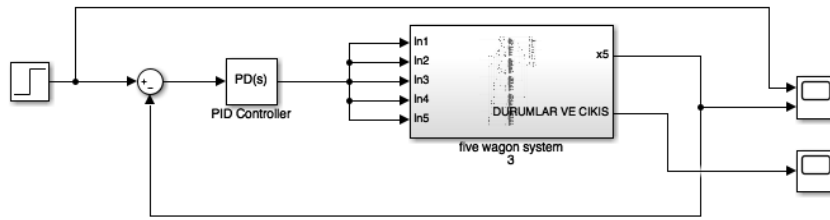


Şekil 16: Kest2 Durum Tahminleri



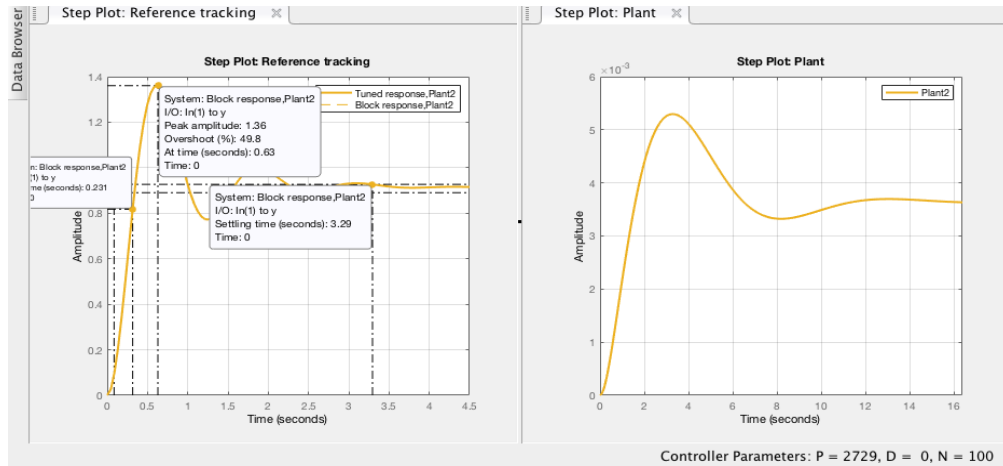
Şekil 17: Kest3 Durum Tahminleri

Projenin 3. Kısımında ise doğrusal olmayan “five wagon system” sistemi için PID kontrolcü bloğu kullanılarak kapalı çevrim sistemi Şekil-18’de gösterildiği gibi oluşturulmuş olup birim basamak girişi altında sistemin durumları ve çıktısı gözlemlenmektedir. Kontrolcü bloğu parametreleri Şekil-19 ve Şekil-20’de gösterildiği gibi “PID Tuner App” tarafından ayarlanmaktadır. Sistem uygulama tarafından doğrusallaştırılmaktadır ve kontrolcü tasarımı doğrusal sisteme göre yapmaktadır. Bunu yaparken scope ekranından yapılan değişiklikler takip edilmektedir ve doğrusal olmayan sistem için uygun olan kontrolcü ayarlanmaktadır. Şekillerde gösterildiği üzere sistemin birim basamak referans takip hatası birden küçük olması ve bunu yaparken aşımının %40-%50 arasında olması, yükselme zamanının 0.3 saniyeden küçük olması ve oturma zamanının 3-5 saniye arasında olması durumları PD-Kontrolcü ile sağlanmaktadır. Blok parametreleri kaydedildikten sonra kapalı çevrim sisteminin birim basamak cevabı Şekil-21, birim basamak girişi altında sistem durumlarının cevabı ise Şekil-22’de gösterilmektedir. İstenilen parametrelerde kontrolcü bloğu tasarlanmış olup doğrusal olmayan sistem kontrolü sağlanmaktadır.

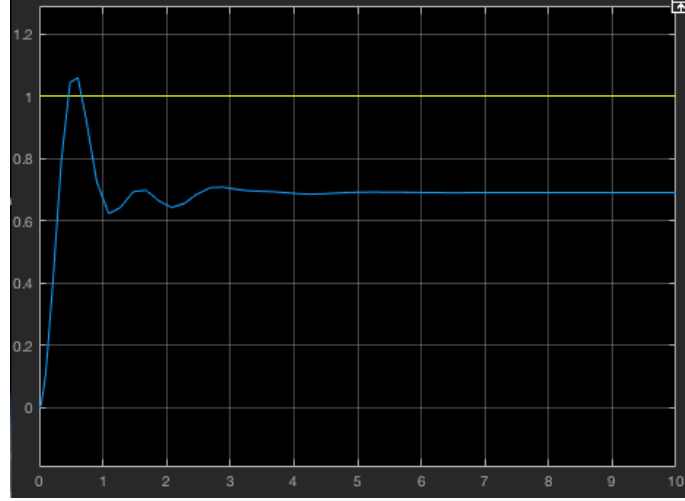


Şekil 18: Kest3 Durum Tahminleri

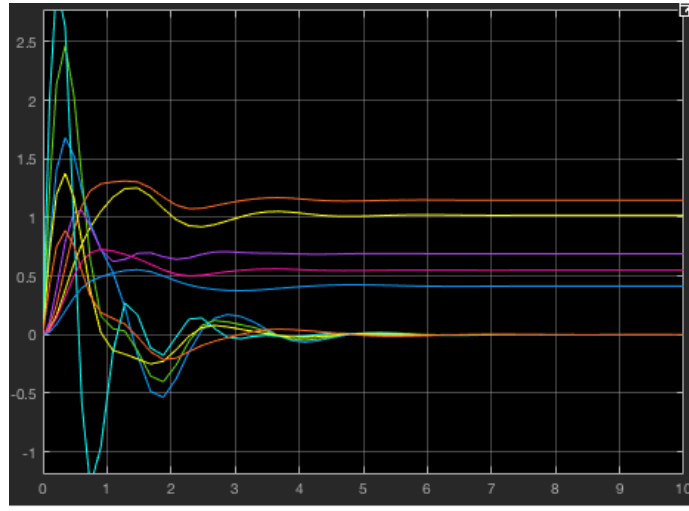
Şekil 19: PID Blok parametrelerinin “PID Tuner App” tarafından oluşturulması.



Şekil 20: “PID Tuner App” ile birim basamak cevabının ayarlanması.



Şekil 21: Kapalı Çevrim Sistemi birim basamak cevabı.



Şekil 22: Doğrusal olmayan sistemin durumlarının birim basamak cevabı.

Referanslar

1. https://www.researchgate.net/publication/26354302_Chaos_in_a_Two-Degree_of_Freedom_Duffing_Oscillator (https1)
2. https://www.mathworks.com/help/slcontrol/examples.html?category=linearization-basics&s_tid=CRUX_topnav (https2)
3. <https://www.mathworks.com/help/slcontrol/ug/modellinearizer-app.html> (https3)
4. <https://www.mathworks.com/help/control/ref/ss.kalman.html#d124e84607> (https4)