

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MATEMATİK ANABİLİM DALI**



**BİR TEKNOLOJİ BAĞIMLILIK MODELİNİN OPTİMAL
KONTROLÜ**

SANEM SAKARYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Derya AVCI (Tez Danışmanı)
Prof. Dr. Duygu DÖNMEZ DEMİR
Doç. Dr. Beyza Billur İSKENDER EROĞLU**

BALIKESİR, HAZİRAN - 2025

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Bir Teknoloji Bağımlılık Modelinin Optimal Kontrolü**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Sanem SAKARYA

ÖZET

BİR TEKNOLOJİ BAĞIMLILIK MODELİNİN OPTİMAL KONTROLÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
SANEM SAKARYA
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MATEMATİK ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. DERYA AVCI)

BALIKESİR, HAZİRAN – 2025

Bu tezde, bireyler arasındaki teknoloji bağımlılığı dinamiklerini tanımlamak amacıyla bir epidemiyolojik model geliştirilmiştir. Toplum, beş alt gruba ayrılmıştır: Duyarlı bireyler (S), Az Kullanıcılar (L), Yoğun Kullanıcılar (H), Zihinsel Olarak Yıpranmış Bireyler (B) ve İyileşmiş Bireyler (R). Bu gruplar arasındaki geçişler, adi diferansiyel denklemler sistemi ile modellenmiş ve bağımlılık davranışının evrimsel süreci matematiksel olarak analiz edilmiştir.

Modelin formülasyonunun ardından, bağımlı birey sayısını azaltmak ve müdahale stratejilerinin maliyetini en aza indirmek amacıyla bir optimal kontrol problemi oluşturulmuştur. Dört kontrol fonksiyonu tanımlanmış ve gerekli optimallik koşulları klasik optimal kontrol teorisi temel alınarak türetilmiştir.

Sayısal çözüm için İleri-Geri Süpürme yöntemi uygulanmıştır. Kontrol stratejilerinin bağımlılık dinamikleri üzerindeki etkinliğini değerlendirmek amacıyla sayısal simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kontrol stratejilerinin uygulanmasının sistem davranışını önemli ölçüde iyileştirdiğini; bağımlı birey sayısını azalttığını ve iyileşen birey sayısını artırdığını göstermektedir. Bu çalışmanın bulguları, teknoloji bağımlılığına karşı etkili müdahale stratejilerinin geliştirilmesine yönelik değerli içgörüler sunmaktadır.

ANAHTAR KELİMELELER: Epidemiyolojik modelleme, optimal kontrol, teknoloji bağımlılığı

Bilim Kod / Kodları :20406

Sayfa Sayısı : 43

ABSTRACT

**OPTIMAL CONTROL OF A TECHNOLOGY ADDICTION MODEL
MSC THESIS
SANEM SAKARYA
BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
MATHEMATICS
(SUPERVISOR: PROF. DR. DERYA AVCI)**

BALIKESİR, JUNE - 2025

In this thesis, an epidemiological model is developed to describe the dynamics of technology addiction among individuals. The population is divided into five compartments: Spreaders (S), Light Users (L), Heavy Users (H), Bad Mental (B), and Recovered individuals (R). The transitions between these compartments are modeled by a system of ordinary differential equations, and the evolutionary process of addiction behavior is analyzed mathematically.

Following the formulation of the model, an optimal control problem is constructed to reduce the number of addicted individuals and to minimize the cost of intervention strategies. Four control functions are introduced, and the necessary optimality conditions are derived based on classical optimal control theory.

For the numerical solution, the Forward-Backward Sweep method is applied. Numerical simulations are conducted to evaluate the effectiveness of the control strategies on the addiction dynamics. The results demonstrate that the application of control strategies significantly improves the system behavior by decreasing the number of addicted individuals and increasing the number of recovered individuals. The findings of this study provide valuable insights for developing effective intervention strategies against technology addiction.

KEYWORDS: Epidemiological modelling, optimal control, technology addiction

Science Code / Codes : 20406

Page Number : 43

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÖNSÖZ	viii
1. GİRİŞ	1
2. ÖN BİLGİLER	3
2.1 Matematiksel Epidemiyolojiye Bir Bakış	3
2.2 Optimal Kontrolle İlgili Bazı Tanım ve Teoremler	5
3. TEKNOLOJİ BAĞIMLILIĞININ DİNAMİKLERİ	9
3.1 Model Formülasyonu	10
4. TEKNOLOJİ BAĞIMLILIĞININ OPTİMAL KONTROLÜ	16
4.1 SLHBR Modeli için Optimal Kontrol Stratejileri.....	17
4.1.1 $u_1(t)$: Duyarlı bireyler (S) için önleyici dijital farkındalık stratejisi	17
4.1.2 $u_2(t)$: Az/orta düzey kullanıcılar (L) için bireysel dijital denge rehberliği	17
4.1.3 $u_3(t)$: Yoğun kullanıcılar (H) için bilişsel-davranışçı müdahale stratejisi	17
4.1.4 $u_4(t)$: Bağımlı bireyler (B) için klinik rehabilitasyon stratejisi	18
4.2 Gerekli Optimallik Koşulları	20
5. TEKNOLOJİ BAĞIMLILIĞI İÇİN NÜMERİK SONUÇLAR VE TARTIŞMA 23	
5.1 Kontrollü ve Kontrolsüz Modellerin Karşılaştırılması	23
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	39
7. KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	43

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 4.1 : Teknoloji bağımlılığına yönelik SLHBR modelinde durumlar arasıgeçiş ve kontrollerin gösterimi	18
Şekil 5.1 : u1 kontrol stratejisinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	24
Şekil 5.2 : u2 kontrol stratejisinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	25
Şekil 5.3 : u3 kontrol stratejisinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	26
Şekil 5.4 : u4 kontrol stratejisinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	27
Şekil 5.5 : u1 ve u2 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	28
Şekil 5.6 : u1 ve u3 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	29
Şekil 5.7 : u1 ve u4 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	31
Şekil 5.8 : u2 ve u3 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	32
Şekil 5.9 : u2 ve u4 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	33
Şekil 5.10 : u3 ve u4 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	34
Şekil 5.11 : u1, u2 ve u3 kontrol stratejilerinin S,L,H,B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ilekarşılaştırması.....	35
Şekil 5.12 : u1, u3 ve u4 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	36
Şekil 5.13 : u2, u3 ve u4 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	37
Şekil 5.14 : u1, u2, u3,u4 kontrol stratejilerinin S,L,H,B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ilekarşılaştırması.....	38

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1: Teknoloji bağımlılığı sürecinde kullanılan SLHBR kompartmanlarının açıklamaları tablosu.	11
Tablo 3.2: Sistemde bulunan teknoloji bağımlısı bireyler için parametre tablosu.	12
Tablo 4.1: Teknoloji bağımlılığı için optimal kontrol stratejileri tablosu.	16

SEMBOL LİSTESİ

N	: Toplam birey sayısı
S	: Zamanla değişen duyarlı birey sayısı
L	: Zamanla değişen düşük/orta düzey kullanıcı sayısı
H	: Zamanla değişen yoğun teknoloji kullanıcı sayısı
B	: Zamanla değişen tükenmiş birey sayısı
R	: Zamanla değişen iyileşmiş birey sayısı
α	: S bireylerinin L kompartmanına geçiş oranı
β	: L bireylerinin H kompartmanına geçiş oranı
γ	: H bireylerinin L kompartmanına dönüş oranı
δ	: H bireylerinin B kompartmanına geçiş oranı
ϵ	: B bireylerinin L kompartmanına dönüş oranı
k	: S ile L etkileşim katsayısı
q	: S ile H etkileşim katsayısı
c	: L ile H etkileşim katsayısı
p	: H bireylerinin kendi aralarındaki etkileşim katsayısı
λ_1	: Yardımcı durum değişkeni
Ω	: Kontrol stratejilerinin uygulama maliyetini belirleyen ağırlık katsayısı
\mathbb{R}^n	: n boyutlu reel uzay
\mathcal{H}	: Hamilton fonksiyonu
\mathcal{L}	: Anlık maliyeti temsil eden Lagrange fonksiyonu
J	: Amaç fonksiyonu
Φ	: Nihai maliyet fonksiyonu
t	: Zaman değişkeni
t_0	: Başlangıç zamanı
t_f	: Bitiş zamanı

KISALTMALAR LİSTESİ

- AB** : Avrupa Birliđi
APA : Amerikan Psikoloji Derneği
CDC : Amerika Birleşik Devletleri Hastalık Kontrol ve Korunma Merkezleri
DSM-5 :Amerikan Psikiyatri Birliđi tarafından yayımlanan Ruhsal Bozuklukların Tanısal ve İstatistiksel El Kitabı -- 5.Baskı
ICT : Bilgi ve İletişim Teknolojileri
ICTD : Bilgi Teknolojisi Bağımlılığı
OECD : Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
PMP : Pontryagin Maksimum Prensibi
SLHB : Duyarlı-Az/Orta Kullanıcı-Yoğun Kullanıcı-Tükenmiş Bireyler
SLHBR: SLHB modeline yeni kontrol eklenm eklenmiş hali
WHO : Dünya Sağlık Örgütü

ÖNSÖZ

Bu tez, teknolojinin hayatlarımızda giderek daha fazla yer kapladığı bir dönemde, teknolojiyle kurulan ilişkinin bireyler üzerindeki etkilerini anlamaya ve bu alanda çözüm üretmeye yönelik bir çabanın ürünüdür. Matematiksel modelleme yoluyla bu sorunu ele almak, hem bilimsel hem de toplumsal bir sorumluluk duygusuyla şekillenmiştir. Sunulan çalışmanın, farkındalık çabalarına küçük de olsa bir katkı sağlamasını diliyorum.

Süreç boyunca bilgi, sabır ve yaklaşımıyla bana yol gösteren; akademik rehberliği kadar insani yönüyle de ilham veren danışmanım Sayın Prof. Dr. Derya Avcı'ya en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Desteği ve yaklaşımı, bu çalışmanın şekillenmesinde çok değerliydi.

Desteğini her zaman yanımda hissettiren, kıymetli arkadaşım Aylin Yetim'e de gönülden teşekkür ederim.

Hayatımın her adımında olduğu gibi, bu süreçte de ailem koşulsuz destekleriyle yanımda oldu. Sonsuz sevgileri, sessiz güçleri ve bana duydukları inanç, bu yolculuğu mümkün kıldı. Kendilerine tüm kalbimle teşekkür ediyorum.

Balıkesir, 2025

Sanem Sakarya

1. GİRİŞ

Bulaşıcı hastalıkların toplumlar üzerindeki etkilerini anlamak amacıyla geliştirilen epidemiyolojik modeller, zamanla sosyal davranışların yayılım süreçlerinin incelenmesinde de etkili bir yöntem haline gelmiştir. Kermack ve McKendrick tarafından geliştirilen klasik SIR modeli, bireylerin zaman içerisinde sağlıklı, enfekte veya iyileşmiş gibi farklı sağlık durumları arasında geçişlerinin matematiksel olarak modellendiği ilk sistematik çalışmalardan biri olmuştur [1]. Bu gelişme, yalnızca biyolojik hastalıkların değil, bireyler arası sosyal etkileşimle yayılan bilgi, davranış ve teknoloji kullanım alışkanlıklarının da matematiksel yöntemlerle analiz edilebileceğini göstermiştir.

Son yıllarda teknolojinin hızlı gelişimiyle birlikte, bireylerin dijital cihazlara, internete ve özellikle sosyal medya platformlarına olan bağımlılığı, toplumlarda ciddi sosyal ve psikolojik sorunlara yol açmıştır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) 2018 yılında, teknoloji bağımlılığı kavramını resmî olarak sağlık alanında bir bozukluk olarak tanımlamış ve bu durumun küresel ölçekte genç nüfus başta olmak üzere toplum sağlığını tehdit ettiğini vurgulamıştır [2]. Amerikan Psikoloji Derneği (APA) tarafından yayımlanan Ruhsal Bozuklukların Tanısal ve İstatistiksel El Kitabı – 5. Baskı (DSM-5) eklerinde de internet bağımlılığına ilişkin tanımlamalara yer verilmiş, ancak teknoloji bağımlılığı gibi yeni nesil bağımlılık türlerinin daha kapsamlı matematiksel modellerle analiz edilmesi gerektiği belirtilmiştir [3].

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, teknoloji bağımlılığı üzerine önemli psikolojik ve davranışsal analizlerin bulunduğu görülmektedir. Örneğin, Young [4] internet bağımlılığı kavramını ilk tanımlayan araştırmalardan birini gerçekleştirmiş ve bağımlılığın bireysel düzeydeki etkilerine dikkat çekmiştir. Ancak çalışmasında, toplumsal etkileşim ağları üzerinden bağımlılığın yayılım dinamiklerini ele almamış, bireyler arasındaki bulaşıcı etkiler modele dahil edilmemiştir. Benzer şekilde Kuss ve Griffiths [5] tarafından yapılan bir çalışmada sosyal medya bağımlılığı, bireysel risk faktörleri temelinde analiz edilmiş, ancak sosyal bulaşma mekanizmaları matematiksel bir model çerçevesinde incelenmemiştir. Anderson ve Jiang [6] tarafından yapılan kapsamlı bir araştırma ise, gençlerin teknoloji kullanım alışkanlıklarının arttığını göstermiş, fakat bu artışın toplum içindeki dinamik etkileri üzerine zamana bağlı matematiksel bir analiz sunulmamıştır. Bu durum, teknoloji bağımlılığının bireyler arası sosyal etkileşim yoluyla yayılma potansiyelinin, mevcut

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Bir Teknoloji Bağımlılık Modelinin Optimal Kontrolü**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Sanem SAKARYA

ÖZET

BİR TEKNOLOJİ BAĞIMLILIK MODELİNİN OPTİMAL KONTROLÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
SANEM SAKARYA
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MATEMATİK ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. DERYA AVCI)
BALIKESİR, HAZİRAN – 2025

Bu tezde, bireyler arasındaki teknoloji bağımlılığı dinamiklerini tanımlamak amacıyla bir epidemiyolojik model geliştirilmiştir. Toplum, beş alt gruba ayrılmıştır: Duyarlı bireyler (S), Az Kullanıcılar (L), Yoğun Kullanıcılar (H), Zihinsel Olarak Yıpranmış Bireyler (B) ve İyileşmiş Bireyler (R). Bu gruplar arasındaki geçişler, adi diferansiyel denklemler sistemi ile modellenmiş ve bağımlılık davranışının evrimsel süreci matematiksel olarak analiz edilmiştir.

Modelin formülasyonunun ardından, bağımlı birey sayısını azaltmak ve müdahale stratejilerinin maliyetini en aza indirmek amacıyla bir optimal kontrol problemi oluşturulmuştur. Dört kontrol fonksiyonu tanımlanmış ve gerekli optimallik koşulları klasik optimal kontrol teorisi temel alınarak türetilmiştir.

Sayısal çözüm için İleri-Geri Süpürme yöntemi uygulanmıştır. Kontrol stratejilerinin bağımlılık dinamikleri üzerindeki etkinliğini değerlendirmek amacıyla sayısal simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kontrol stratejilerinin uygulanmasının sistem davranışını önemli ölçüde iyileştirdiğini; bağımlı birey sayısını azalttığını ve iyileşen birey sayısını artırdığını göstermektedir. Bu çalışmanın bulguları, teknoloji bağımlılığına karşı etkili müdahale stratejilerinin geliştirilmesine yönelik değerli içgörüler sunmaktadır.

ANAHTAR KELİMELELER: Epidemiyolojik modelleme, optimal kontrol, teknoloji bağımlılığı

ABSTRACT

**OPTIMAL CONTROL OF A TECHNOLOGY ADDICTION MODEL
MSC THESIS
SANEM SAKARYA
BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
MATHEMATICS
(SUPERVISOR: PROF. DR. DERYA AVCI)**

BALIKESİR, JUNE - 2025

In this thesis, an epidemiological model is developed to describe the dynamics of technology addiction among individuals. The population is divided into five compartments: Spreaders (S), Light Users (L), Heavy Users (H), Bad Mental (B), and Recovered individuals (R). The transitions between these compartments are modeled by a system of ordinary differential equations, and the evolutionary process of addiction behavior is analyzed mathematically.

Following the formulation of the model, an optimal control problem is constructed to reduce the number of addicted individuals and to minimize the cost of intervention strategies. Four control functions are introduced, and the necessary optimality conditions are derived based on classical optimal control theory.

For the numerical solution, the Forward-Backward Sweep method is applied. Numerical simulations are conducted to evaluate the effectiveness of the control strategies on the addiction dynamics. The results demonstrate that the application of control strategies significantly improves the system behavior by decreasing the number of addicted individuals and increasing the number of recovered individuals. The findings of this study provide valuable insights for developing effective intervention strategies against technology addiction.

KEYWORDS: Epidemiological modelling, optimal control, technology addiction

Science Code / Codes : 20406

Page Number : 43

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÖNSÖZ	viii
1. GİRİŞ	1
2. ÖN BİLGİLER	3
2.1 Matematiksel Epidemiyolojiye Bir Bakış.....	3
2.2 Optimal Kontrolle İlgili Bazı Tanım ve Teoremler	5
3. TEKNOLOJİ BAĞIMLILIĞININ DİNAMİKLERİ	9
3.1 Model Formülasyonu	10
4. TEKNOLOJİ BAĞIMLILIĞININ OPTİMAL KONTROLÜ	16
4.1 SLHBR Modeli için Optimal Kontrol Stratejileri.....	17
4.1.1 $u_1(t)$: Duyarlı bireyler (S) için önleyici dijital farkındalık stratejisi	17
4.1.2 $u_2(t)$: Az/orta düzey kullanıcılar (L) için bireysel dijital denge rehberliği	17
4.1.3 $u_3(t)$: Yoğun kullanıcılar (H) için bilişsel-davranışçı müdahale stratejisi	17
4.1.4 $u_4(t)$: Bağımlı bireyler (B) için klinik rehabilitasyon stratejisi	18
4.2 Gerekli Optimallik Koşulları	20
5. TEKNOLOJİ BAĞIMLILIĞI İÇİN NÜMERİK SONUÇLAR VE TARTIŞMA 23	
5.1 Kontrollü ve Kontrolsüz Modellerin Karşılaştırılması	23
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	39
7. KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	43

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 4.1 : Teknoloji bağımlılığına yönelik SLHBR modelinde durumlar arasıgeçiş ve kontrollerin gösterimi	18
Şekil 5.1 : u1 kontrol stratejisinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	24
Şekil 5.2 : u2 kontrol stratejisinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	25
Şekil 5.3 : u3 kontrol stratejisinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	26
Şekil 5.4 : u4 kontrol stratejisinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	27
Şekil 5.5 : u1 ve u2 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	28
Şekil 5.6 : u1 ve u3 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	29
Şekil 5.7 : u1 ve u4 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	31
Şekil 5.8 : u2 ve u3 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	32
Şekil 5.9 : u2 ve u4 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	33
Şekil 5.10 : u3 ve u4 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	34
Şekil 5.11 : u1, u2 ve u3 kontrol stratejilerinin S,L,H,B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ilekarşılaştırması.....	35
Şekil 5.12 : u1, u3 ve u4 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	36
Şekil 5.13 : u2, u3 ve u4 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ile karşılaştırması.....	37
Şekil 5.14 : u1, u2, u3,u4 kontrol stratejilerinin S,L,H,B ve R kompartmanlarına etkisinin kontrolsüz ve kontrollü model ilekarşılaştırması.....	38

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1: Teknoloji bağımlılığı sürecinde kullanılan SLHBR kompartmanlarının açıklamaları tablosu.	11
Tablo 3.2: Sistemde bulunan teknoloji bağımlısı bireyler için parametre tablosu.	12
Tablo 4.1: Teknoloji bağımlılığı için optimal kontrol stratejileri tablosu.	16

SEMBOL LİSTESİ

N	: Toplam birey sayısı
S	: Zamanla değişen duyarlı birey sayısı
L	: Zamanla değişen düşük/orta düzey kullanıcı sayısı
H	: Zamanla değişen yoğun teknoloji kullanıcı sayısı
B	: Zamanla değişen tükenmiş birey sayısı
R	: Zamanla değişen iyileşmiş birey sayısı
α	: S bireylerinin L kompartmanına geçiş oranı
β	: L bireylerinin H kompartmanına geçiş oranı
γ	: H bireylerinin L kompartmanına dönüş oranı
δ	: H bireylerinin B kompartmanına geçiş oranı
ϵ	: B bireylerinin L kompartmanına dönüş oranı
k	: S ile L etkileşim katsayısı
q	: S ile H etkileşim katsayısı
c	: L ile H etkileşim katsayısı
p	: H bireylerinin kendi aralarındaki etkileşim katsayısı
λ_1	: Yardımcı durum değişkeni
Ω	: Kontrol stratejilerinin uygulama maliyetini belirleyen ağırlık katsayısı
\mathbb{R}^n	: n boyutlu reel uzay
\mathcal{H}	: Hamilton fonksiyonu
\mathcal{L}	: Anlık maliyeti temsil eden Lagrange fonksiyonu
J	: Amaç fonksiyonu
Φ	: Nihai maliyet fonksiyonu
t	: Zaman değişkeni
t_0	: Başlangıç zamanı
t_f	: Bitiş zamanı

KISALTMALAR LİSTESİ

- AB** : Avrupa Birliđi
APA : Amerikan Psikoloji Derneği
CDC : Amerika Birleşik Devletleri Hastalık Kontrol ve Korunma Merkezleri
DSM-5 :Amerikan Psikiyatri Birliđi tarafından yayımlanan Ruhsal Bozuklukların Tanısal ve İstatistiksel El Kitabı -- 5.Baskı
ICT : Bilgi ve İletişim Teknolojileri
ICTD : Bilgi Teknolojisi Bağımlılığı
OECD : Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
PMP : Pontryagin Maksimum Prensibi
SLHB : Duyarlı-Az/Orta Kullanıcı-Yoğun Kullanıcı-Tükenmiş Bireyler
SLHBR: SLHB modeline yeni kontrol eklenm eklenmiş hali
WHO : Dünya Sağlık Örgütü

ÖNSÖZ

Bu tez, teknolojinin hayatlarımızda giderek daha fazla yer kapladığı bir dönemde, teknolojiyle kurulan ilişkinin bireyler üzerindeki etkilerini anlamaya ve bu alanda çözüm üretmeye yönelik bir çabanın ürünüdür. Matematiksel modelleme yoluyla bu sorunu ele almak, hem bilimsel hem de toplumsal bir sorumluluk duygusuyla şekillenmiştir. Sunulan çalışmanın, farkındalık çabalarına küçük de olsa bir katkı sağlamasını diliyorum.

Süreç boyunca bilgi, sabır ve yaklaşımıyla bana yol gösteren; akademik rehberliği kadar insani yönüyle de ilham veren danışmanım Sayın Prof. Dr. Derya Avcı'ya en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Desteği ve yaklaşımı, bu çalışmanın şekillenmesinde çok değerliydi.

Desteğini her zaman yanımda hissettiren, kıymetli arkadaşım Aylin Yetim'e de gönülden teşekkür ederim.

Hayatımın her adımında olduğu gibi, bu süreçte de ailem koşulsuz destekleriyle yanımda oldu. Sonsuz sevgileri, sessiz güçleri ve bana duydukları inanç, bu yolculuğu mümkün kıldı. Kendilerine tüm kalbimle teşekkür ediyorum.

Balıkesir, 2025

Sanem Sakarya

1. GİRİŞ

Bulaşıcı hastalıkların toplumlar üzerindeki etkilerini anlamak amacıyla geliştirilen epidemiyolojik modeller, zamanla sosyal davranışların yayılım süreçlerinin incelenmesinde de etkili bir yöntem haline gelmiştir. Kermack ve McKendrick tarafından geliştirilen klasik SIR modeli, bireylerin zaman içerisinde sağlıklı, enfekte veya iyileşmiş gibi farklı sağlık durumları arasında geçişlerinin matematiksel olarak modellendiği ilk sistematik çalışmalardan biri olmuştur [1]. Bu gelişme, yalnızca biyolojik hastalıkların değil, bireyler arası sosyal etkileşimle yayılan bilgi, davranış ve teknoloji kullanım alışkanlıklarının da matematiksel yöntemlerle analiz edilebileceğini göstermiştir.

Son yıllarda teknolojinin hızlı gelişimiyle birlikte, bireylerin dijital cihazlara, internete ve özellikle sosyal medya platformlarına olan bağımlılığı, toplumlarda ciddi sosyal ve psikolojik sorunlara yol açmıştır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) 2018 yılında, teknoloji bağımlılığı kavramını resmî olarak sağlık alanında bir bozukluk olarak tanımlamış ve bu durumun küresel ölçekte genç nüfus başta olmak üzere toplum sağlığını tehdit ettiğini vurgulamıştır [2]. Amerikan Psikoloji Derneği (APA) tarafından yayımlanan Ruhsal Bozuklukların Tanısal ve İstatistiksel El Kitabı – 5. Baskı (DSM-5) eklerinde de internet bağımlılığına ilişkin tanımlamalara yer verilmiş, ancak teknoloji bağımlılığı gibi yeni nesil bağımlılık türlerinin daha kapsamlı matematiksel modellerle analiz edilmesi gerektiği belirtilmiştir [3].

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, teknoloji bağımlılığı üzerine önemli psikolojik ve davranışsal analizlerin bulunduğu görülmektedir. Örneğin, Young [4] internet bağımlılığı kavramını ilk tanımlayan araştırmalardan birini gerçekleştirmiş ve bağımlılığın bireysel düzeydeki etkilerine dikkat çekmiştir. Ancak çalışmasında, toplumsal etkileşim ağları üzerinden bağımlılığın yayılım dinamiklerini ele almamış, bireyler arasındaki bulaşıcı etkiler modele dahil edilmemiştir. Benzer şekilde Kuss ve Griffiths [5] tarafından yapılan bir çalışmada sosyal medya bağımlılığı, bireysel risk faktörleri temelinde analiz edilmiş, ancak sosyal bulaşma mekanizmaları matematiksel bir model çerçevesinde incelenmemiştir. Anderson ve Jiang [6] tarafından yapılan kapsamlı bir araştırma ise, gençlerin teknoloji kullanım alışkanlıklarının arttığını göstermiş, fakat bu artışın toplum içindeki dinamik etkileri üzerine zamana bağlı matematiksel bir analiz sunulmamıştır. Bu durum, teknoloji bağımlılığının bireyler arası sosyal etkileşim yoluyla yayılma potansiyelinin, mevcut

psikolojik ve sosyolojik çalışmalarla yeterince açıklanamadığını ve bu alanda matematiksel modelleme çalışmalarına olan ihtiyacın giderek arttığını göstermektedir [7]. Özellikle bağımlılık davranışının zamanla evrilen aşamalara sahip olması (duyarlı bireyler, az/orta düzeyde kullanıcı, yoğun kullanım, tükenmiş bireyler), geleneksel bireysel analizlerin ötesinde, toplumsal düzeyde dinamik modeller geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır [8].

Bu tez çalışması, yukarıda belirtilen literatürdeki boşluklardan hareketle, teknoloji bağımlılığı dinamiklerini zamana bağlı epidemiyolojik bir model çerçevesinde sistematik olarak tanımlamayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda, bireyler teknolojiye duyarlı bireyler (S), az/orta düzeyde kullanıcılar (L), yoğun kullanıcılar (H), tükenmiş bireyler (B) ve iyileşmiş bireyler (R) olmak üzere beş ayrı sınıfa ayrılmıştır. Bireyler arası geçişler sosyal etkileşimler, kullanım yoğunluğu ve iyileşme süreçlerine bağlı olarak zaman değişkenli bir diferansiyel denklem sistemi ile modellenmiştir [8].

Ayrıca, teknoloji bağımlılığı sürecinin kontrol altına alınabilmesi amacıyla dört farklı kontrol stratejisi incelenmiş ve bu stratejilerin etkisi optimal kontrol teorisi kullanılarak analiz edilmiştir. Hamilton fonksiyon kurulmuş, gerekli optimallik koşulları ortaya konulmuş ve kontrol stratejilerinin model üzerindeki etkileri sayısal simülasyonlarla değerlendirilmiştir.

Tezin devamında, öncelikle epidemiyolojik modelleme ve optimal kontrol teorisinin temel kavramları sunulacaktır [9]. Ardından, önerilen kontrollü model tanımlanacak; ve optimal kontrol problem formüle edilip optimallik koşullarını ifade eden Euler-Lagrange denklemleri elde edilecektir. Son bölümde, kontrol stratejilerinin etkinliği sayısal simülasyonlar aracılığıyla değerlendirilip, elde edilen sonuçlar tartışılacak ve çalışmanın bulguları özetlenecektir.

Bu çalışma, teknoloji bağımlılığı gibi modern sosyal yayılım süreçlerinin matematiksel olarak anlaşılmasına katkıda bulunmayı ve toplum sağlığı açısından daha etkili müdahale stratejilerinin geliştirilmesine bilimsel bir temel oluşturmayı hedeflemektedir.

2. ÖN BİLGİLER

Bu bölümde tezin gelecek bölümlerinde kullanılacak olan temel tanım, teorem ve ön bilgilere yer verilecektir. Literatürde, bulaşıcı hastalıkların zamanla değişen dinamiklerini açıklamak amacıyla geliştirilen matematiksel modellemeler önemli bir yer tutmaktadır. Bu modellerden hareketle, teknoloji bağımlılığı gibi sosyal bulaş niteliği taşıyan olguların da benzer yaklaşımlarla analiz edilebileceği öne sürülmektedir. Bu doğrultuda, söz konusu süreçlerin modellenmesine yönelik uygun tanım ve yapıların sistematik biçimde sunulması amaçlanmıştır. Aynı zamanda, bu modellerin optimal kontrol kuramıyla nasıl desteklenebileceği sunulmuştur. Bu bağlamda, kullanılan modelleme yaklaşımları, epidemiyolojik sistemlerin temel dinamikleri ve optimal kontrol teorisinin matematiksel ilkeleri bu bölümde ayrıntılı biçimde ele alınmaktadır.

2.1 Matematiksel Epidemiyolojiye Bir Bakış

Epidemiyolojik modelleme literatürü, modern matematiksel biyolojinin doğuş noktalarından biridir. 1927 yılında Kermack ve McKendrick tarafından geliştirilen SIR modeli [1], enfeksiyonların toplum içindeki yayılım dinamiklerini açıklamak üzere tasarlanmış ve bireyleri Duyarlı (susceptible, S), Enfekte (Infected, I) ve İyileşen (Recovered, R) kategorilerine ayırarak zamanla bu kategoriler arasındaki geçişleri diferansiyel denklemlerle ifade etmiştir. Söz konusu model, enfeksiyonların yayılma hızını, zirve zamanını ve bulaşın etkilerini öngörmeyi mümkün kılmaktadır.

Ancak SIR modeli, her bireyin aynı hızla enfekte olabileceği ve bağışıklığın kalıcı olduğu gibi basitleştirici varsayımlar içerdiğinden, pek çok hastalık sürecini yansıtmakta yetersiz kalmıştır. Bu sınırlamaları aşmak için zamanla yeni model yapıları geliştirilmiştir. Örneğin, enfeksiyonun bulaşmadan önce bir kuluçka dönemi barındırdığı durumlarda SEIR modeli devreye girmiştir. Bu modelde, enfekte olmadan önce geçen süreç "Exposed (E)" kompartmanı ile temsil edilerek, özellikle COVID-19 ve benzeri viral enfeksiyonlar gibi asemptomatik bulaş taşıyan hastalıklar için gerçekçi bir yapı sağlanmıştır [10]. Bireylerin bağışıklıklarının zamanla azalabileceği gerçeği ise SIRS modelinin geliştirilmesine yol açmıştır. Bu modelde, iyileşmiş bireylerin belirli bir sürenin ardından yeniden duyarlı hale gelebildiği varsayılmış ve özellikle grip gibi mevsimsel enfeksiyonlar için uygun bir yapı sunulmuştur [11]. Bebeklerin annelerinden doğuştan kazandığı bağışıklığı hesaba katmak üzere geliştirilen MSIR modeli ise maternal bağışıklık etkisini modellemiş ve erken yaş

hastalıklarının değerlendirilmesinde kullanılmıştır [12]. Bu evrimsel gelişmeler, tek bir modelin tüm hastalık süreçlerini açıklamakta yeterli olmadığını ve model yapılarının hastalığın biyolojik ve sosyal doğasına göre şekillendirilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymuştur [13]. Bu bağlamda, yaşa göre heterojen bulaş modelleri gibi detaylandırılmış yapılar da geliştirilmiş; örneğin Hethcote [14], yaş gruplarına göre bulaşma oranlarının değişimini ele alan modeller ortaya koymuştur.

Epidemiyolojik modeller zamanla yalnızca enfeksiyonların değil, bireylerin davranışlarının da topluluk içinde nasıl yayıldığını inceleyebilecek şekilde genişletilmiştir. Ferguson [15] bireylerin sosyal mesafeyi artırmasının grip pandemisinin seyrini önemli ölçüde değiştirdiğini matematiksel olarak göstermiştir. Poletti ve diğ. [16] bireylerin risk algılarına dayalı olarak davranışlarını değiştirdiklerini ve bunun bulaşma parametrelerine doğrudan etki ettiğini ileri sürmüştür. Funk ve diğ. [17] ise medya aracılığıyla yayılan bilgilerin birey davranışlarını etkileyerek yayılım dinamiklerine müdahale ettiğini ortaya koymuştur. Del Valle ve diğ. [18], davranış değişikliklerinin toplu kampanyalar aracılığıyla yayılabileceğini ve bilgilendirici müdahalelerin bulaşıcı hastalıkların yayılımını yavaşlattığını gösteren modeller üretmiştir. Bu gelişmelerin ardından, sosyal bulaş kuramı kapsamında davranışların da tıpkı enfeksiyonlar gibi bireyler arasında yayılabileceği fikri gelişmiştir [10]. Christakis ve Fowler [19], 12.000 birey üzerinde yürütülen ve 32 yıl süren Framingham Heart Study'den elde edilen verilerle, bir kişinin arkadaş çevresinde obez bireylerin bulunmasının, kendi obez olma olasılığını %57 oranında artırdığını göstermiştir. Sonraki çalışmalarında, depresyon ve uyku alışkanlıkları gibi davranışların da sosyal ağlar aracılığıyla yayılabildiğini ortaya koymuştur [20, 21].

Sonuç olarak, bireylerin yalnızca fiziksel hastalıklara değil, davranışsal eğilimlere de maruz kalabileceği; bu durumun da sosyal etkileşim ağı içinde bulaş benzeri bir süreçle işlediği anlaşılmıştır. Sosyal bulaş kavramı, teknoloji bağımlılığı gibi bireysel gibi görünen ancak sosyal bağlamdan bağımsız olmayan davranışların modellenmesinde güçlü bir kuramsal temel sunmaktadır.

Zara ve Monteiro tarafından geliştirilen SLHB modeli, sosyal bulaş yaklaşımlarını teknoloji bağımlılığına uyarlayan dört kompartmanlı bir modeldir [8]. Bu modelde bireyler S (duyarlı teknoloji kullanmayan bireyler), L (az/orta düzey kullanıcı), H (yoğun kullanıcı) ve B (tükenmişlik yaşayan bireyler) olmak üzere dört durumsal kategoriye ayrılmıştır. Modelde

duyarlı bireylerin sosyal temas yoluyla L durumuna geçmesi, L bireylerinin alışkanlık kazanan kullanıcılara dönüşerek H kompartmanına geçmesi ve yoğun teknoloji kullanımı sonucu tükenmişlik yaşayan bireylerin B kompartmanına geçmesi matematiksel olarak modellenmiştir.

Zara ve Monteiro'nun [8] modeli bu tez çalışmasında optimal kontrollerin etkisinin incelendiği temel modeldir. İleriki kısımlarda bu model kontrollü olarak ele alınacaktır.

2.2 Optimal Kontrolle İlgili Bazı Tanım ve Teoremler

Farklı disiplinlerde sistem davranışlarının modellenmesi ve yönlendirilmesi üzerine yapılan çalışmalar, temelde ortak bir olguyu merkezine alır: belirli bir hedef doğrultusunda en iyi sonuca ulaşma çabası. Bu çaba, kimi zaman canlıların çevresel koşullara uyum sağlayan davranışlarıyla, kimi zaman bireylerin rasyonel seçimleriyle ya da teknik sistemlerin sınırlı kaynaklarla en yüksek verimi hedeflemesiyle kendini gösterir. Tüm bu süreçler, değişen koşullar altında bir sistemin belirli amaçlar doğrultusunda optimize edilmesi gerekliliğinde birleşir.

Buradaki temel soru şudur: Bir sistem, mevcut seçenekler arasından en iyi çıktıyı üretecek şekilde nasıl yönetilebilir? Bu soruya verilen matematiksel yanıt, 20. yüzyılın ortalarında temelleri atılan ve giderek gelişerek disiplinler arası bir uygulama alanı kazanan optimal kontrol teorisidir [22].

Optimal kontrol, yalnızca bir fonksiyonun eniyilenmesiyle sınırlı kalmaz; aynı zamanda bu fonksiyonun zamana bağlı dinamik sistemler üzerindeki etkilerini yöneten kontrol stratejilerinin belirlenmesini amaçlar. Bu yönüyle, klasik varyasyonel hesabın bir adım ötesine geçen güçlü bir kuramdır [22, 23].

Optimal kontrol teorisinin epidemiyolojik modeller üzerine çeşitli uygulamaları vardır. Örneğin, diyabet hastalarında bireysel glikoz seviyelerine uygun insülin dozlarının ayarlanması [19], elektrikli araçlarda batarya tüketiminin en aza indirilmesi [24], kanser tedavisinde kemoterapi ve radyoterapi protokollerinin optimize edilmesi [25] ve ekolojik sistemlerde sürdürülebilir kaynak yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi [26] ve benzeri çalışmalar [27, 28] optimal kontrolün disiplinler arası uygulamalarıdır.

Günümüzde ise teknoloji bağımlılığı, ekran süresi yönetimi ve dijital dikkat dağınıklığı gibi davranışsal sorunlara yönelik modellerde de optimal kontrol uygulamaları giderek artan ilgiye sahiptir. Bu tür sosyal sistemlerde, bireyin maruz kaldığı dijital etkiler ile bilinçli müdahale stratejileri arasındaki etkileşim, zamana bağlı dinamik yapılarla modellenir. Optimal kontrol yaklaşımı ise bu tür sosyal problemlerle mücadele stratejilerinin matematiksel model üzerindeki formülasyonu ile ilgilenir [8].

Bir optimal kontrol probleminde temel amaç, sistemin zamanla değişen yapısına uygun olarak, önceden tanımlanmış bir amaç fonksiyonunu optimize edecek (maksimize veya minimize) kontrol fonksiyonlarını belirlemektir. Performans ölçütü, çoğunlukla maliyet fonksiyonu ya da amaç fonksiyoneli olarak adlandırılır ve sistemin başarımlı düzeyini sayısal olarak ifade eder [22].

Optimal kontrol problemleri genel olarak şu yapıyı içerir:

- i. Sistemin zamanla değişen durumunu belirleyen durum değişkenleri,
- ii. Sisteme dışsal olarak etki eden kontrol fonksiyonları,
- iii. Sistemin davranışını tanımlayan diferansiyel denklemler,
- iv. Belirli başlangıç/bitiş koşulları, kısıtlamalar ve amaç fonksiyonu çerçevesinde, performans indeksini maksimize edilmesi (örneğin fayda artışı) ya da minimize edilmesi (örneğin maliyet azaltımı).

Bu çok boyutlu yapı sayesinde optimal kontrol teorisi, bireysel davranışların sistematik olarak yönlendirildiği sosyal modellerde güçlü bir yöntem olarak öne çıkmaktadır [8]. Bu tez kapsamında optimal kontrol teorisi yaklaşımıyla geliştirilen teknoloji bağımlılığı modeli de, bireyin dijital alışkanlıklarının dinamik bir sistem olarak ele alındığı ve bu sistemin cevabının dört farklı kontrol stratejisi ile yönlendirildiği bir yapıyı temsil etmektedir. Modelin S, L, H, B kompartmanlarına (durum değişkenleri) ve dört farklı kontrol değişkenine bağlı olarak tanımlanan maliyet fonksiyonu minimize edilmeye çalışılarak bağımlılık düzeyinin azaltılması hedeflenmektedir. Böylece optimal kontrol teorisi, yalnızca matematiksel çözümlenmeye imkân tanıyan bir araç değil; aynı zamanda dijital çağın karmaşık davranışsal problemlerine yönelik çözüm odaklı, bütüncül ve stratejik bir yaklaşım sunmaktadır [8].

Matematiksel olarak bir optimal kontrol probleminin temel bileşenleri zamana bağlı $x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))^T \in \mathbb{R}^n$ durum ve $u(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_n(t))^T \in \mathbb{R}^n$ kontrol değişkenleridir [17,18]. Problem, aşağıdaki amaç fonksiyonunu optimize etmek üzerine kurulur:

$$J(u) = \int_{t_0}^{t_f} \mathcal{L}(x(t), u(t), t) dt + \phi(t_f). \quad (2.1)$$

öyle ki problemin kısıtını temsil eden diferansiyel denklem ve başlangıç koşulu şöyledir:

$$x'(t) = f(x(t), u(t), t), \quad x(t_0) = x_0. \quad (2.2)$$

(2.1) ve (2.2) ile verilen genel haldeki optimal kontrol problemine Bolza tipi optimal kontrol problemi denir. Buradaki ϕ nihai maliyet fonksiyonunu temsil eder. Bu yapıdaki $\mathcal{L}(x, u, t)$, sistemin çalışma süresi boyunca biriken anlık maliyet fonksiyonudur. Optimizasyonun amacı, bu toplam maliyeti minimize edecek $u^*(t) \in U = \{u(t) | u(t) \text{ Lebesgue ölçülebilir, } 0 \leq u(t) \leq 1\}$ optimal kontrol fonksiyonunu bulmaktır.

Optimal kontrol problemlerinin çözümünde temel yöntem, sistem dinamiklerine ve amaç fonksiyonuna bağlı olarak ortaya çıkan gerekli optimallik koşullarını çözmektir [9,22, 23].

1950'lerin ortalarında Lev Pontryagin ve ekibi tarafından geliştirilen Pontryagin'in maksimum ilkesi, optimal çözüm için gereklilik koşullarını veren bir yaklaşımdır. Bu prensip ile bir optimal kontrol problemi bir tür Lagrange çarpanları sistemi olarak ele alınır ve nümerik olarak çözülür [9,22,23]. $\lambda(t) \in \mathbb{R}^n$ Lagrange çarpanı yani yardımcı durum değişkeni olmak üzere gerekli optimallik koşulları aşağıda verilen Hamilton fonksiyonu yardımıyla hesaplanır:

$$\mathcal{H}(x(t), \lambda(t), u(t), t) = \mathcal{L}(x(t), u(t), t) + \lambda^T(t) f(x(t), u(t), t) \quad (2.3)$$

Buna göre, eğer $u^*(t)$ kontrol fonksiyonu ve $x^*(t)$ durum fonksiyonu, (2.1) ve (2.2)'de

tanımlanan kontrol sistemi için optimal bir çözüm oluşturuyorsa, o hâlde parçalı türevlenebilir bir $\lambda(t)$ yardımcı durum değişkeni vardır ve bu değişken

$$\mathcal{H}(t, x(t), \lambda(t), u(t)) \leq \mathcal{H}(t, x^*(t), \lambda(t), u^*(t)) \quad (2.4)$$

eşitsizliğini her $t \in [t_0, t_f]$ anında tüm $u(t)$ kontrolleri için sağlar. Burada Hamilton fonksiyonu:

$$\mathcal{H} = f(t, x(t), u(t)) + \lambda(t)g(t, x(t), u(t)) \quad (2.5)$$

şeklinde ve yardımcı durum değişkenini $\lambda(t)$ 'yi veren diferansiyel denklem şöyledir:

$$\lambda'(t) = - \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial x}(t, x^*(t), u^*(t), \lambda(t)), \quad \lambda(t_f) = 0. \quad (2.6)$$

Optimal kontrol fonksiyonu $u^*(t)$, her $t \in [t_0, t_f]$ anında Hamilton fonksiyonunu minimize eden kontroldür.

Ayrıca optimal kontrolün belirlenebilmesi için, Hamilton fonksiyonunun kontrol değişkenine göre kısmi türevinin sıfır olması gerekmektedir. Bu durumda gerekli optimallik koşulu şu şekilde ifade edilir:

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u}(t, x^*(t), \lambda(t), u^*(t)) = 0 \quad (2.7)$$

Bu koşul altında elde edilen kontrol fonksiyonu, sistemin zamanla değişen davranışına en uygun müdahale biçimini temsil eder.

3. TEKNOLOJİ BAĞIMLILIĞININ DİNAMİKLERİ

Teknoloji bağımlılığı, bireylerin dijital içeriklerle olan etkileşiminin kontrolsüz şekilde artması sonucu zihinsel, sosyal ve fiziksel açıdan işlevsellik kaybına neden olan, davranışsal temelli bir bozukluktur. Bu sorun yalnızca bireysel bir eğilim değil, aynı zamanda toplumsal yayılım potansiyeline sahip bir fenomen olarak ele alınmalıdır. Dijital medya kullanımının sosyal ağlar aracılığıyla hızla yayılması, bireylerin davranışlarının yalnızca kendi tercihlerine değil, aynı zamanda çevresel faktörlere de bağlı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, teknoloji bağımlılığı süreçlerinin modellenmesinde yalnızca bireysel geçişlerin değil, sosyal etkileşimlerin ve kontrol stratejilerinin de dikkate alınması gereklidir.

Bu tez çalışmasında, Zara ve Monteiro tarafından geliştirilen dört kompartmanlı SLHB modeli temel alınarak, kontrol stratejilerinin etkisiyle teknoloji bağımlılığından iyileşen bireyleri temsil eden yeni bir sınıf eklenmiş ve böylece beş kompartmanlı SLHBR modeli önerilmiştir.

SLHB modeli, bireyler arasındaki geçişleri birinci mertebeden diferansiyel denklemlerle tanımlamakta ve bu geçişlerin hem kendiliğinden hem de sosyal etkileşime dayalı biçimde gerçekleşebileceğini varsaymaktadır. Zara ve Monteiro, bu modeli analitik olarak incelemiş; sistemin tek bir endemik denge noktasına sahip olduğunu ve bu noktanın Jacobian matrisine ait özdeğerler aracılığıyla yerel asimptotik kararlılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca farklı parametre senaryoları altında gerçekleştirilen nümerik simülasyonlarla, teknoloji bağımlılığı davranışının uzun vadeli seyri değerlendirilmiş ve bu davranışın toplumsal düzeyde kalıcı hale gelebileceği gösterilmiştir. Buna ek olarak COVID-19 pandemisi nedeniyle uygulanan ev içi izolasyonun, teknoloji kullanımının bireyler üzerindeki olumsuz etkilerini daha da kötüleşmiş olabileceğini ifade etmiştir. Bu değerlendirme, teknoloji bağımlılığının yalnızca bireysel bir sorun değil, aynı zamanda sosyal etkileşim yoluyla yayılan ve halk sağlığı açısından önemli sonuçlar doğurabilecek bir olgu olduğunu desteklemektedir.

Bu tezde geliştirilen SLHBR modeli ise, Zara ve Monteiro'nun yaklaşımını bir adım ileriye taşıyarak, kontrol stratejilerinin etkisiyle bağımlılıktan iyileşen bireyleri temsil eden yeni bir kompartman eklenmesiyle oluşturulmuştur. Model, bireyleri davranışsal eğilimlerine ve teknoloji kullanımı düzeylerine göre sınıflandırmakta; zamanla bu gruplar arasındaki

geçişleri hem bireysel eğilimler hem de sosyal etkileşimler temelinde tanımlamaktadır. Ayrıca, kontrol stratejileriyle bu geçişlerin ne ölçüde yönlendirilebileceği matematiksel olarak analiz edilmiştir. Bu genişletilmiş model, yalnızca bağımlılık davranışının yayılımını anlamayı değil, aynı zamanda bu süreci kontrol altına alabilecek müdahale stratejilerinin etkinliğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Modelin temel hedefleri şunlardır:

- i. Bireylerin teknoloji kullanım davranışlarını zaman içinde nasıl değiştirdiğini incelemek,
- ii. Bağımlılığın yayılma hızını ve yönünü anlamak,
- iii. Müdahale stratejilerinin hangi aşamada ve hangi kullanıcı tipinde daha etkili olduğunu belirlemek,
- iv. Belirli davranış gruplarının sistem içindeki etkilerini kontrol etmek ve toplumsal dengeyi sağlamaktır.

3.1 Model Formülasyonu

Temel model aşağıdaki biçimdedir:

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\alpha S(t) - kS(t)L(t) - qS(t)H(t),$$

$$\frac{dL(t)}{dt} = \alpha S(t) + kS(t)L(t) + qS(t)H(t) - \beta L(t) - cL(t)H(t) + \gamma H(t) + \epsilon B(t),$$

$$\frac{dH(t)}{dt} = \beta L(t) + cL(t)H(t) - qS(t)H(t) - \gamma H(t) - \delta H(t) - pH(t)^2,$$

$$\frac{dB(t)}{dt} = \delta H(t) + pH(t)^2 - \epsilon B(t), \quad (3.1)$$

öyle ki toplam popülasyon $N(t) = S(t) + L(t) + H(t) + B(t)$ dir. Bu model, bireylerin dijital teknolojiyle temas sürecindeki davranışsal evrimini temsil eder. Her kompartman, yalnızca bir kullanıcı tipini değil, aynı zamanda bir geçiş potansiyelini, bir risk düzeyini ve sistem içindeki etki alanını taşır.

Tablo 3.1: Teknoloji bağımlılığı sürecinde kullanılan SLHBR kompartmanlarının açıklamaları

Kompartmanlar	Açıklama
S	Teknolojiye henüz maruz kalmamış, duyarlı bireyler
L	Teknolojiyle sınırlı etkileşimde bulunan, düşük/orta düzey kullanıcılar
H	Teknolojiyi yoğun ve kontrolsüz kullanan bireyler
B	Aşırı kullanım sonucu zihinsel/sosyal tükenmişlik
R	Müdahale ile davranışsal olarak regüle edilmiş bireyler (Yeniden Kazandırılan Bireyler)

Modelin ilk evresi olan $S(t)$, henüz teknolojiyle doğrudan temas etmemiş, ancak çevresel ya da bireysel faktörlerle etkilenme potansiyeli taşıyan duyarlı bireyleri kapsar. Bu bireyler sistemin maruziyet eşiğinde duran, herhangi bir sosyal etkileşim ya da içsel motivasyonla kullanıcı haline gelebilecek olan grup olarak modellenmiştir. Onların teknolojiyi nasıl, ne zaman ve kimin etkisiyle kullanmaya başladıkları, tüm sistemin yayılım dinamiğini belirleyen ilk kırılma noktasıdır [8, 29].

İkinci düzey olan $L(t)$, teknolojiyle sınırlı düzeyde ilişki kuran bireyleri tanımlar. Bu bireyler sosyal medya, çevrimiçi oyunlar veya dijital içeriklerle etkileşim hâlinde olmakla birlikte, henüz bağımlılık geliştirmemişlerdir. Günlük hayatlarını sürdürebilmekte, işlevselliğini büyük ölçüde koruyabilmektedirler. Ancak bu grup, sistemde en hassas geçiş alanını temsil eder. Hem ağır kullanıma kayabilme hem de doğru müdahale ile regülasyon alanına yönlendirilebilme potansiyelleri bakımından modelin kritik bileşenidir [8, 30].

Üçüncü kompartman $H(t)$, teknolojiyi yoğun ve kontrolsüz biçimde kullanan bireyleri içerir. Bu bireyler için teknoloji kullanımı artık alışkanlık değil, dürtüsel kontrolsüzlük içeren bir davranış biçimi haline gelmiştir. Zamanlarının önemli bir kısmı dijital ortamlarda geçmekte; ilişkileri, akademik ya da mesleki başarıları, hatta sağlık durumları bundan etkilenmektedir. Sistem açısından en yayılım etkili grup H grubudur. Aynı zamanda çöküşe en yakın grup oldukları için hem davranışsal hem yapısal müdahale açısından öncelikli değerlendirilmesi gereken bileşendir [8,31].

$B(t)$ kompartmanı, modelin bozulma ve tükenmişlik evresini temsil eder. Aşırı teknoloji kullanımı sonucu zihinsel, sosyal ve fiziksel olarak ciddi düzeyde etkilenmiş bireylerden oluşur. Uyku bozuklukları, dikkat dağınıklığı, akademik ya da mesleki performansta düşüş, sosyal izolasyon gibi semptomlar bu grubun temel karakteristikleridir. Buradaki bireyler

artık yalnızca bağımlı değil, bağımlılığın doğrudan sonucu olan çöküş hâlinindedir. Onların sisteme katkısı, yayılımdan çok sistemin iç yükünü temsil eder [8,32].

Modelin diğerlerinden yapısal olarak ayrılan son kompartmanı R(t), klasik modellerdeki “iyileşmiş” birey tanımının ötesinde, davranışsal müdahaleyle yeniden düzenlenmiş bireyleri kapsar. Bu bireyler, sistemin dışına çıkmış değildir; ancak kontrollü müdahale mekanizmaları sayesinde risk düzeyleri düşürülmüş ve yayılım zincirinden ayrıştırılmışlardır. R grubundaki bireyler hâlen sistemin parçasıdır, ancak yayılımın motoru olmaktan çıkmışlardır. Terapi, farkındalık çalışmaları, dijital detoks programları gibi stratejik araçlar sayesinde bu gruba yönlendirilen bireyler, toplum sağlığı açısından bir güvenlik tamponu görevi görmektedir. Bu beşli yapı sayesinde SLHBR modeli, yalnızca bağımlılık davranışını anlamakla kalmaz; aynı zamanda bu davranışı yönlendirebilme, düzenleyebilme ve uzun vadede dengeye taşıyabilme kapasitesine sahip bir sistem formülasyonu sunar. Kompartmanların birbirleriyle olan geçiş ilişkileri, modelin temel dinamiğini oluştururken; R kompartmanı sayesinde yalnızca doğanın akışına bırakılmış bir sistem değil, insan iradesiyle yönlendirilebilecek bir yapı kurgulanmıştır.

SLHBR modelinde her bir parametre, bireylerin davranışsal geçişlerini yönlendiren temel birer yapı taşıdır. Bu parametreler yalnızca oran değerleri değil; sistemin yapısal karakterini belirleyen, dinamiklerin hızını ve yönünü tayin eden işlevsel göstergelerdir. Her birinin modeldeki varlığı, hem gerçek hayattaki teknoloji bağımlılığı süreçlerinin davranışsal temsili, hem de matematiksel olarak sistemin analiz edilebilirliğini sağlayan bileşenler olarak düşünülmelidir.

Tablo 3.2: Sistemde bulunan teknoloji bağımlısı bireyler için parametre tablosu

Parametreler	Açıklama	Değerler
α	S'den L'ye geçiş oranı	0.1
β	L'den H'a geçiş oranı	0.1
δ	H'den B'ye geçiş oranı	0.05
γ	H'den L'ye geçiş oranı	0.1
ϵ	B'den L'ye geçiş oranı	0.07
k	S ile L'nin etkileşimi sonucu L'ye geçiş katsayısı	1
q	S ile H'nin etkileşimi sonucu L'ye geçiş katsayısı	1
c	L ile H'nin etkileşimi sonucu H'ye geçiş katsayısı	1
p	H ile H'nin etkileşimi sonucu L'ye geçiş katsayısı	0

α , teknolojiyle hiç teması olmayan veya çok sınırlı olan bireylerin, kendi içsel merakları, ihtiyaçları ya da gündelik yaşamdaki doğal yönelimleri sonucu teknoloji kullanmaya başlamalarını temsil eder. Bu geçiş, herhangi bir dış baskı veya sosyal etkileşim olmadan, bireyin kendi karar verme süreçlerinin bir sonucudur. Gerçek yaşamda bu, örneğin bir öğrencinin ödevlerini yapmak için internete girmesiyle başlayan, zamanla alışkanlığa dönüşen kullanımı ifade eder. Modelde α 'nın değeri arttıkça, teknolojiyle hiç teması olmayan bireylerin L kompartmanına geçme hızı da artar. Bu da sistemde yayılımın dış müdahale olmaksızın nasıl başlayabileceğini göstermesi açısından önemlidir. Bu parametre, dijital çağda bireyin kendi başına “maruziyet” geliştirme hızını yansıtır [8,29].

β , L kompartmanındaki bireylerin zamanla teknoloji kullanım düzeylerini artırarak bağımlılığa doğru kaymalarını ifade eder. Bu parametre, bireyin kullanım davranışının kendi iç süreçleriyle bozulmaya başlamasını temsil eder. Örneğin bir bireyin sosyal medyada geçirdiği sürenin giderek artması, ders çalışmaktan ya da uykudan fedakârlık yapmasına yol açıyorsa, bu geçiş başlamış demektir. Modelde β 'nin yüksek olması, sistemin daha kısa sürede ağır kullanıcılar grubunu büyütmesine neden olur. Bu, kullanım davranışındaki tolerans gelişimi, dopamin bağımlılığı, ekran başında geçirilen sürenin artması gibi psikolojik süreçlerle ilişkilidir. İlgili kurum ve kuruluşlar için bu parametre, erken müdahale edilmezse hafif kullanıcıların hızla yüksek risk grubuna kayabileceğini gösteren bir uyarıdır [8, 30].

δ , yoğun teknoloji kullanımının zamanla bireyde fiziksel, zihinsel ya da sosyal tükenmişlik yaratma hızını ifade eder. Bu süreç, uyku düzeninin bozulması, dikkat eksikliği, sosyal izolasyon gibi belirtilerle başlar ve kronikleşerek bireyin işlevselliğini azaltır. Bu parametre, H grubunun ne kadar süre içinde B grubuna düşeceğini belirler. Yüksek bir δ değeri, bağımlılığın bireyi hızla tükettiğini ve sistemde daha fazla “müdahale edilmezse çöküş” olacağını ifade eder. Bu nedenle δ , toplum sağlığı açısından kritik eşiği temsil eder [8,32].

γ , tükenmiş bireylerin (B grubundakilerin) iyileştirilmiş, düzenlenmiş bireyler grubuna (R kompartmanına) geçiş hızını temsil eder. Bu geçiş, yalnızca bireyin kendi çabalarıyla değil, dışsal müdahale mekanizmaları sayesinde gerçekleşir. Psikolojik destek, dijital detoks, terapi uygulamaları, sosyal destek ağları gibi düzenleyici stratejiler bu geçişin temelini oluşturur. Modelde γ 'nin yüksek olması, sistemdeki çöküş evresindeki bireylerin yeniden regülasyon alanına kazandırılma potansiyelinin yüksek olduğunu gösterir. Bu durum,

sistemin iyileşebilirliğini ve sürdürülebilirliğini artırır. Aynı zamanda bu parametre, kamu sağlığı açısından stratejik müdahale politikalarının sayısal karşılığı olarak değerlendirilir. Bu sayede bireylerin yalnızca tüketim sarmalına kapılması değil, bu sarmaldan sağlıklı biçimde çıkabilmeleri de model kapsamında ifade edilir [8, 33].

ϵ parametresi, tükenmişlik evresine (B) ulaşmış bireylerin zamanla kısmen toparlanarak teknoloji kullanım seviyesini azaltması ve düşük/orta düzey kullanıcı grubuna (L) yeniden geçiş yapma oranını temsil eder. Bu süreç, tamamen iyileşip regülasyon (R) evresine geçemeyen bireylerin, terapi, sosyal destek ya da kendi içsel farkındalıklarıyla teknoloji kullanımını belli ölçüde sınırlandırarak tekrar işlevsel bir düzeye ulaşmasını ifade eder. Gerçek yaşamda bu, dijital detoks sonrası kullanım süresini azaltan, ancak hala belli düzeyde teknolojiyle etkileşimde kalan bireylerde gözlemlenebilir. ϵ 'nin yüksek olması, sistemde tamamen iyileşmeden ama çöküşten uzaklaşarak orta risk düzeyine dönen bireylerin oranının fazla olduğunu gösterir. Bu parametre, modelde davranışsal geri kazanımın ve teknolojiyle kontrollü etkileşimin matematiksel karşılığını oluşturur [8, 33].

p , yoğun kullanıcıların (H grubundakilerin) birbirleriyle kurdukları etkileşim sonucu çöküşe (B kompartmanına) düşme risklerinin arttığını ifade eder. Matematiksel olarak bu etki genellikle H^2 şeklinde modellenir; yani yoğun kullanıcıların sayısı arttıkça birbirlerini daha hızlı şekilde olumsuz etkileyip tükenmişlik seviyesine çekme ihtimalleri artar. Gerçek yaşamda bu, örneğin aşırı sosyal medya kullanan bireylerin benzer bireylerle sürekli temasta kalmasıyla, birbirlerinin ekran süresini artırması, sağlıksız davranışları normalleştirmesi ve birlikte sosyal izolasyona yönelmesiyle açıklanabilir. p 'nin değeri sistemde yüksekse, bu durum toplu dijital tüketim gruplarında (örneğin bağımlılık grupları, 7/24 oyun oynanan çevrim içi ortamlar) bireysel tükenişin hızla sistemsel bir çöküşe evrilmesini gösterir [8, 31].

k , L grubundaki bireylerin S grubundaki bireylerle etkileşimde bulunarak onları teknolojiye yönlendirme etkisini ifade eder. Bu etkileşim çoğunlukla zararsız görünse de, toplumda teknolojik alışkanlıkların sosyal yollarla yayıldığını gösteren temel mekanizmadır. Matematiksel olarak bu parametre $S \cdot L$ çarpımı ile birlikte çalışır; bu da hem duyarlı hem de hafif kullanıcı sayısının yayılımda çarpan etkisine sahip olduğunu gösterir. Bu nedenle k , modelde yayılımın sosyal yüzünü temsil eder: dijital davranışlar bulaşıcıdır [8, 29].

q, ağır kullanıcıların duyarlılar üzerindeki etkisini gösterir. Ağır kullanıcıların maruz kaldığı bireyler, yalnızca kullanıma başlamaz, aynı zamanda doğrudan daha hızlı bozulma riskiyle tanışır. Çünkü bu kişilerle kurulan ilişki, bireyin teknolojiye sadece alışmasını değil, ona bağımlı hale gelmesini hızlandırabilir. Bu nedenle q, k'ya göre daha sert ve riskli bir geçişi temsil eder. Ağır kullanıcıların toplumdaki rolü sadece kendi çöküşleri değil, aynı zamanda başkalarını da bozan etkileridir. Bu parametre, kamu politikası açısından H grubunun yayılmasının önüne geçilmesi gerektiğini sayısal olarak destekler [8,31].

c, hafif kullanıcıların ağır kullanıcılarla etkileşimden dolayı teknolojiye bağımlı hale gelme hızlarını belirler. Özellikle sosyal medya ortamlarında yoğun içerik tüketen bireylerle zaman geçiren bireyler, kendilerini de benzer bir kullanım kalıbına adapte eder. Bu parametre, bağımlılığın yalnızca bireysel bir süreç olmadığını, aynı zamanda sosyal normlarla şekillendiğini gösterir. Modelde c'nin artması, L grubunun H grubuna daha hızlı geçmesine neden olur ve bu durum sistemin çöküşe daha hızlı evrilmesine yol açar. Bu geçişin sosyal olarak tetiklenen yönü, dijital toplulukların risk potansiyelini artırır. tükenmişlik durumuna düşme olasılığını temsil eder. Örneğin çevrim içi oyunlarda veya sosyal medyada birbirini teşvik eden iki bireyin bağımlılığı daha hızlı ilerler ve içlerinden biri ciddi psikolojik zarar görebilir. Bu parametre H·H terimi ile ifade edilir; bu da yoğun kullanıcıların kendi içlerinde bir çarpan etkisi oluşturduğunu gösterir. Sistem açısından p, toplu dijital tüketim alanlarında (örneğin forumlar, bağımlılık grupları, TikTok akımları) bireylerin zarar görme riskinin daha yüksek olduğunu ifade eder [8, 32].

4. TEKNOLOJİ BAĞIMLILIĞININ OPTİMAL KONTROLÜ

Teknoloji kullanımının, bireyler üzerinde davranışsal düzeyde yarattığı olumsuz etkiler, yalnızca bireyin değil, aynı zamanda toplumun dijital refahı açısından da kritik bir sorun alanına dönüşmüştür. Bu tezde optimal kontrolü geliştirilen model, Zara ve Monteiro [8] tarafından ortaya konan SLHB modelidir. Dört farklı kontrol değişkeni göz önüne alınarak modele teknoloji bağımlılığın tamamen kurtulan R(t) kompartmanı eklenmiştir. Böylece model SLHBR modeline dönüşmüştür:

$$\begin{aligned}\frac{dS(t)}{dt} &= -\alpha S(t) - kS(t)L(t) - qS(t)H(t) - u_1(t)S(t), \\ \frac{dL(t)}{dt} &= \alpha S(t) + kS(t)L(t) + qS(t)H(t) - \beta L(t) - cL(t)H(t) + \gamma H(t) + \epsilon B(t) \\ &\quad - u_2(t)L(t), \\ \frac{dH(t)}{dt} &= \beta L(t) + cL(t)H(t) - qS(t)H(t) - \gamma H(t) - \delta H(t) - pH(t)^2 - u_3(t)H(t), \\ \frac{dB(t)}{dt} &= \delta H(t) + pH(t)^2 - \epsilon B(t) - u_4(t)B(t), \\ \frac{dR(t)}{dt} &= u_1(t)S(t) + u_2(t)L(t) + u_3(t)H(t) + u_4(t)B(t).\end{aligned}\tag{4.1}$$

Zara ve Monteiro'nun modeline uyarlanan optimal kontrol stratejileri aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Tablo 4.1: Teknoloji bağımlılığı için optimal kontrol stratejileri tablosu

Stratejiler	Açıklama
u_1	Dijital Farkındalık Stratejisi
u_2	Dijital Rehberlik Stratejisi
u_3	Bilişsel-Davranışsal Müdahale Stratejisi
u_4	Klinik Rehabilitasyon Stratejisi

Sırasıyla her bir kontrol fonksiyonun teknoloji bağımlılığı üzerindeki etkilerini özetleyelim.

4.1 SLHBR Modeli için Optimal Kontrol Stratejileri

4.1.1 $u_1(t)$: Duyarlı bireyler (S) için önleyici dijital farkındalık stratejisi

Teknolojiyle henüz doğrudan temas kurmamış ya da nötr bir dijital davranış düzeyine sahip bireyler için en etkili müdahale biçimi, maruz kalma gerçekleşmeden önce yapılan farkındalık çalışmalarıdır. Bu bağlamda medya okuryazarlığı, dijital haklar ve riskler eğitimi, ekran süresi bilinci gibi önleyici stratejiler aracılığıyla bireyler, bağımlılık döngüsüne hiç girmeden regülasyon alanına yönlendirilebilir. Wartella ve diğ. [34], okul temelli dijital farkındalık programlarının çocuklar ve gençler üzerindeki koruyucu etkilerini sistematik olarak ortaya koymuştur. Benzer şekilde Domoff ve diğ. [29], ebeveyn katılımlı dijital medya eğitimlerinin çocukların teknolojiyle ilişkisinde koruyucu bir tampon işlevi gördüğünü vurgulamıştır. Bu nedenle $u_1(t)$, yalnızca bulaşıcı yayılımı kırmakla kalmaz, aynı zamanda daha üst davranış evrelerine geçişi yapısal olarak engeller.

4.1.2 $u_2(t)$: Az/orta düzey kullanıcılar (L) için bireysel dijital denge rehberliği

Teknoloji kullanımına hafif ya da orta düzeyde başlamış bireyler için kritik nokta, bu kullanımın kontrol altında tutulması ve öz-düzenleme becerilerinin artırılmasıdır. Gentile ve diğ. [30], orta düzey kullanıcıların ekran süresi ve kullanım alışkanlıkları üzerinde yapılan bireysel müdahale çalışmalarının, bağımlılığa geçiş oranlarını anlamlı ölçüde azalttığını göstermiştir. Özellikle bilişsel farkındalık kazandırma, alternatif sosyal etkinlik önerileri ve dijital diyet programları bu gruba uygulanabilecek başlıca araçlardır. Ko ve diğ. [33], lise çağındaki bireylerde uygulanan rehberlik temelli dijital kontrol uygulamalarının, teknolojiye yönelik bağımlı davranış geliştirme eğilimini önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuştur. Dolayısıyla $u_2(t)$ stratejisi, riski düşük düzeyde olan bireylerin erken safhada yönlendirilmesi için etkili ve önceki bilimsel çalışmalarla desteklenen bir müdahale yoludur [32].

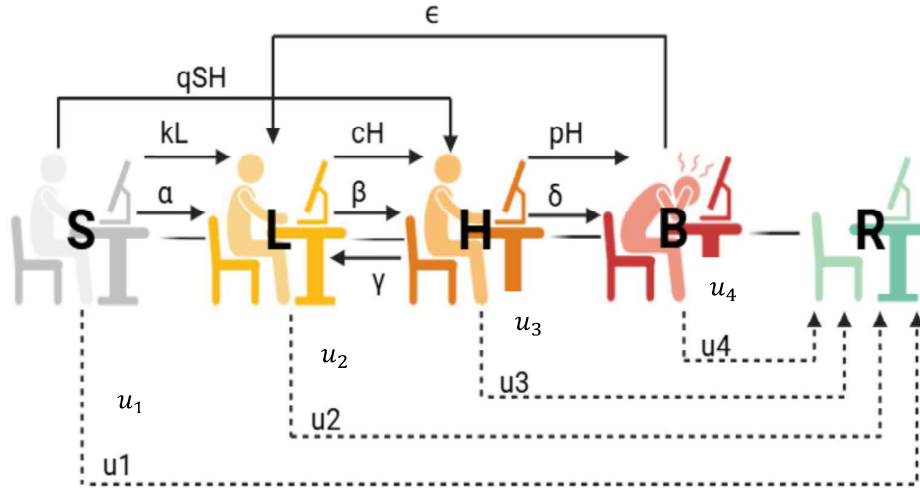
4.1.3 $u_3(t)$: Yoğun kullanıcılar (H) için bilişsel-davranışçı müdahale stratejisi

Teknolojiye olan kullanım sıklığı artmış ve bireyin günlük yaşam işlevselliğini etkilemeye başlamışsa, yalnızca farkındalık çalışmaları yeterli olmayacaktır. Bu gruba uygulanan müdahaleler, daha derinlemesine psikolojik yapıların değişimini hedeflemelidir. Kuss ve Griffiths [31], internet bağımlılığı ve yoğun dijital kullanım davranışlarına yönelik olarak bilişsel-davranışçı terapilerin (CBT) etkinliğini net biçimde ortaya koymuştur. Bu yaklaşımlar; düşünce-kullanım döngüsünü kırmak, bireyin teknolojiye yüklediği anlamı yeniden yapılandırmak ve kontrol duygusunu güçlendirmek üzerine kuruludur. Ayrıca Liu

ve diğ. [37], sosyal medya ve dijital oyun kullanımına bağlı olarak gelişen yoğun kullanım alışkanlıklarında, bireysel psikolojik destek programlarının olumlu etkilerini göstermiştir. Bu nedenle $u_3(t)$, yalnızca zararı azaltmaya değil, aynı zamanda davranışın yeniden çerçevenmesine yönelik bir stratejidir.

4.1.4 $u_4(t)$: Bağımlı bireyler (B) için klinik rehabilitasyon stratejisi

Aşırı teknoloji kullanımının bireyin zihinsel sağlığını doğrudan etkilediği durumlarda, yani bağımlılık düzeyine ulaşmış bireylerde ise artık profesyonel klinik müdahaleler kaçınılmazdır. Beard [32], internet bağımlılığı tanımları üzerine yaptığı çalışmada, bu bireylerin yalnızca davranışsal değil, psikiyatrik destek süreçlerine de ihtiyaç duyulduğunu vurgulamıştır. Montag ve Walla [7], dijital bağımlılık düzeyindeki bireylerin davranışsal tedavi yanında sosyal entegrasyon programlarına da dahil edilmesinin, kalıcı iyileşme için temel olduğunu savunmuştur. Bu doğrultuda $u_4(t)$, bilişsel terapi, rehabilitasyon, destek grupları ve gerekirse farmakolojik müdahale gibi araçların kullanılabilirdiği çok yönlü bir strateji olarak modellenmiştir [32, 33].



Şekil 4.1: Teknoloji bağımlılığına yönelik SLHBR modelinde durumlar arası geçiş ve kontrollerin gösterimi

Modelde tanımlanan dört strateji, bireylerin mevcut davranışsal düzeylerinden, müdahale uygulanmış bireylerin yer aldığı $R(t)$ kompartmanına yönlendirilmesi amacıyla yapılandırılmıştır. Böylece sistem, yalnızca kompartmanlar arası geçişlerin izlendiği dinamik bir yapı olmaktan çıkarak zamana bağlı ve maliyet etkinliği göz önüne alınan

kontrol müdahalelerinin optimize edildiği dinamik bir optimal kontrol problemine dönüşmektedir. Bu doğrultuda tanımlanan amaç fonksiyonu:

$$J(S, L, H, B, t, u_1, u_2, u_3, u_4) = \min \int_0^{t_f} \left[S(t) + L(t) + H(t) + B(t) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^4 \Omega_i u_i^2(t) \right] dt, \quad (4.2)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada Ω_i olarak verilen katsayı pozitif ağırlık sabitleridir. Amaç fonksiyonundaki kontrol strajilerinin maliyetini belirleyen katsayılardır.

Şimdi Pontryagin'in Maksimum İlkesi takip edilerek optimallik koşullarını belirlemek için Hamilton fonksiyonunu tanımlayalım:

$$\mathcal{H}(S, L, H, B, R, \lambda_i, u_i, t) = \mathcal{L}(S, L, H, B, u_i, t) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^5 \lambda_i(t) f_i(S, L, H, B, R). \quad (4.3)$$

Bu ifadede f_i , her bir durum değişkeninin zamana göre değişimini tanımlayan sistem dinamikleridir.

Hamilton fonksiyonundaki $\mathcal{L}(S, L, H, B, u_i, t)$ terimi ise, kontrol stratejilerine bağlı maliyet bileşenlerini içeren Lagrange fonksiyonudur ve aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$\mathcal{L}(S, L, H, B, u_i, t) = S(t) + L(t) + H(t) + B(t) \frac{1}{2} [\Omega_1 u_1^2(t) + \Omega_2 u_2^2(t) + \Omega_3 u_3^2(t) + \Omega_4 u_4^2(t)]$$

O halde (4.2) Hamilton fonksiyonun açık ifadesi şu şekildedir:

$$\begin{aligned} \mathcal{H} = & S(t) + L(t) + H(t) + B(t) + \frac{1}{2} (\Omega_1 u_1^2(t) + \Omega_2 u_2^2(t) + \Omega_3 u_3^2(t) + \Omega_4 u_4^2(t)) \\ & + \lambda_1(t) [-\alpha S(t) - kS(t)L(t) - qS(t)H(t) - u_1(t)S(t)] \\ & + \lambda_2(t) [\alpha S(t) + kS(t)L(t) + qS(t)H(t) - \beta L(t) - cL(t)H(t) + \gamma H(t) \\ & + \epsilon B(t) - u_2(t)L(t)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +\lambda_3(t)[\beta L(t) + cL(t)H(t) - qS(t)H(t) - \gamma H(t) - \delta H(t) - pH(t)^2 - u_3(t)B(t)] \\
& +\lambda_4(t)[\delta H(t) + pH(t)^2 - \epsilon B(t) - u_4(t)B(t)] \\
& +\lambda_5(t)[u_1(t)S(t) + u_2(t)L(t) + u_3(t)H(t) + u_4(t)B(t)]. \tag{4.4}
\end{aligned}$$

4.2 Gerekli Optimallik Koşulları

(3.2)-(3.6) denklem sistemi ile (4.1) amaç fonksiyonu için gerekli optimallik koşulları aşağıdaki teorem ile verilecektir.

Teorem 4.1: SLHBR sistemine ait optimal kontrol problemi kapsamında,

$$(S^*(t), L^*(t), H^*(t), B^*(t), R^*(t)),$$

durum değişkenleri ile

$$(u_1^*, u_2^*, u_3^*, u_4^*),$$

optimal kontrol fonksiyonları, amaç fonksiyonu (4.1)'in minimize edilmesiyle elde edilen çözümleri oluştursun. Bu durumda, Pontryagin'in Maksimum Prensibi temel alınarak tanımlanan Hamilton fonksiyona göre, her bir durum değişkeni için tanımlanan yardımcı durum değişkenleri

$$(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5),$$

tanımlanır. Bu yardımcı değişkenler, aşağıda verilen diferansiyel denklemleri sağlamalıdır:

$$\begin{aligned}
\frac{d\lambda_1(t)}{dt} &= -\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial S} = -\{1 + \lambda_1(t)[- \alpha S^*(t) - kL^*(t) - qH^*(t) - u_1^*(t)] \\
& +\lambda_2(t)[\alpha S^*(t) + kL^*(t) + qH^*(t)] \\
& +\lambda_5(t)u_1^*(t)\},
\end{aligned}$$

$$\frac{d\lambda_2(t)}{dt} = -\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial L} = -\{1 - \lambda_1(t)kS^*(t)$$

$$\begin{aligned}
& -\lambda_2(t)[+\beta + cH^*(t) + u_2^*(t)] \\
& +\lambda_3(t)[\beta + cH^*(t)] \\
& +\lambda_5(t)u_2^*(t) \}, \\
\frac{d\lambda_3(t)}{dt} &= -\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial H} = -\{1 - \lambda_1(t)qS^*(t) \\
& +\lambda_2(t)[qS^*(t) - cL^*(t) + \gamma] \\
& +\lambda_3(t)[-qS^*(t) - \gamma - \delta - 2pH^*(t) - u_3^*(t)] \\
& +\lambda_4(t)[\delta + 2pH^*(t) + \lambda_5(t)u_3^*(t)]\}, \\
\frac{d\lambda_4(t)}{dt} &= -\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial B} = -\{1 + \lambda_2(t)\epsilon \\
& +\lambda_4(t)[- \epsilon - u_4^*(t)] \\
& +\lambda_5(t)u_4^*(t)\}, \\
\frac{d\lambda_5(t)}{dt} &= -\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial R(t)} = 0. \tag{4.5}
\end{aligned}$$

Ayrıca, optimal kontrol fonksiyonlarını veren optimallik koşulları aşağıda verilmektedir:

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u_1(t)} = \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u_2(t)} = \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u_3(t)} = \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u_4(t)} = 0. \tag{4.6}$$

Bu koşulların açık ifadesi şöyledir:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u_1(t)} &= \Omega_1 u_1(t) - \lambda_1(t)S(t) + \lambda_5(t)S(t) = 0, \\
\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u_2(t)} &= \Omega_2 u_2(t) - \lambda_2(t)L(t) + \lambda_5(t)L(t) = 0,
\end{aligned}$$

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u_3(t)} = \Omega_3 u_3(t) - \lambda_3(t)H(t) + \lambda_5(t)H(t) = 0,$$

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u_4(t)} = \Omega_4 u_4(t) - \lambda_4(t)B(t) + \lambda_5(t)B(t) = 0. \quad (4.7)$$

$\lambda_i(t_f)=0$ sınır koşulları olmak üzere optimal kontrol fonksiyonları $u_1^* = u_1^*(t)$, $u_2^* = u_2^*(t)$, $u_3^* = u_3^*(t)$, $u_4^* = u_4^*(t)$ aşağıdaki biçimde elde edilir:

$$u_1^*(t) = \max \left\{ \min \left\{ \frac{(\lambda_1 - \lambda_5)S^*(t)}{\Omega_1}, 1 \right\}, 0 \right\},$$

$$u_2^*(t) = \max \left\{ \min \left\{ \frac{(\lambda_2 - \lambda_5)L^*(t)}{\Omega_2}, 1 \right\}, 0 \right\},$$

$$u_3^*(t) = \max \left\{ \min \left\{ \frac{(\lambda_3 - \lambda_5)H^*(t)}{\Omega_3}, 1 \right\}, 0 \right\},$$

$$u_4^*(t) = \max \left\{ \min \left\{ \frac{(\lambda_4 - \lambda_5)B^*(t)}{\Omega_4}, 1 \right\}, 0 \right\}. \quad (4.8)$$

Burada $\lambda_i = \lambda_i(t)$, $i = 1, 2, 3, 4$ olacak şekilde ifade edilmiştir.

5. TEKNOLOJİ BAĞIMLILIĞI İÇİN NÜMERİK SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, optimallik koşulları belirlenmiş olan SLHBR mdeline ait kontrollü ve kontrolsüz çözümler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir. Grafikler Python programı yardımıyla oluşturulmuş, optimal kontrol stratejilerinin nümerik çözümü için İleri–Geri Süpürme Yöntemi uygulanmıştır. Sayısal analizler, Python programlama dili (sürüm 3.13) kullanılarak gerçekleştirilmiş; çözüm sürecinde vektörel işlemler için numpy kütüphanesi, grafiksel görselleştirme için matplotlib.pyplot, klasik çözüm kıyaslamaları için ise scipy.integrate kütüphanesi kullanılmıştır. $t \in [0, 40]$ zaman aralığı 1000 eşit parçaya bölünerek sistem sabit adımlı Euler yöntemiyle çözülmüş; kontrollü ve kontrolsüz sistemler 50 iterasyon boyunca izlenerek grafiklerle analiz edilmiştir.

5.1 Kontrollü ve Kontrolsüz Modellerin Karşılaştırılması

SLHBR modelinin davranışını analiz edebilmek için öncelikle Zara ve Monteiro [8] tarafından önerilen SLHB modelinin kontrolsüz çözümü temel senaryo olarak alınmıştır. Bu model, teknoloji bağımlılığı sürecini dört kompartman S, L, H, B üzerinden açıklamakta ve herhangi bir müdahale uygulanmadığı durumda sistemin nasıl evrildiğini göstermektedir.

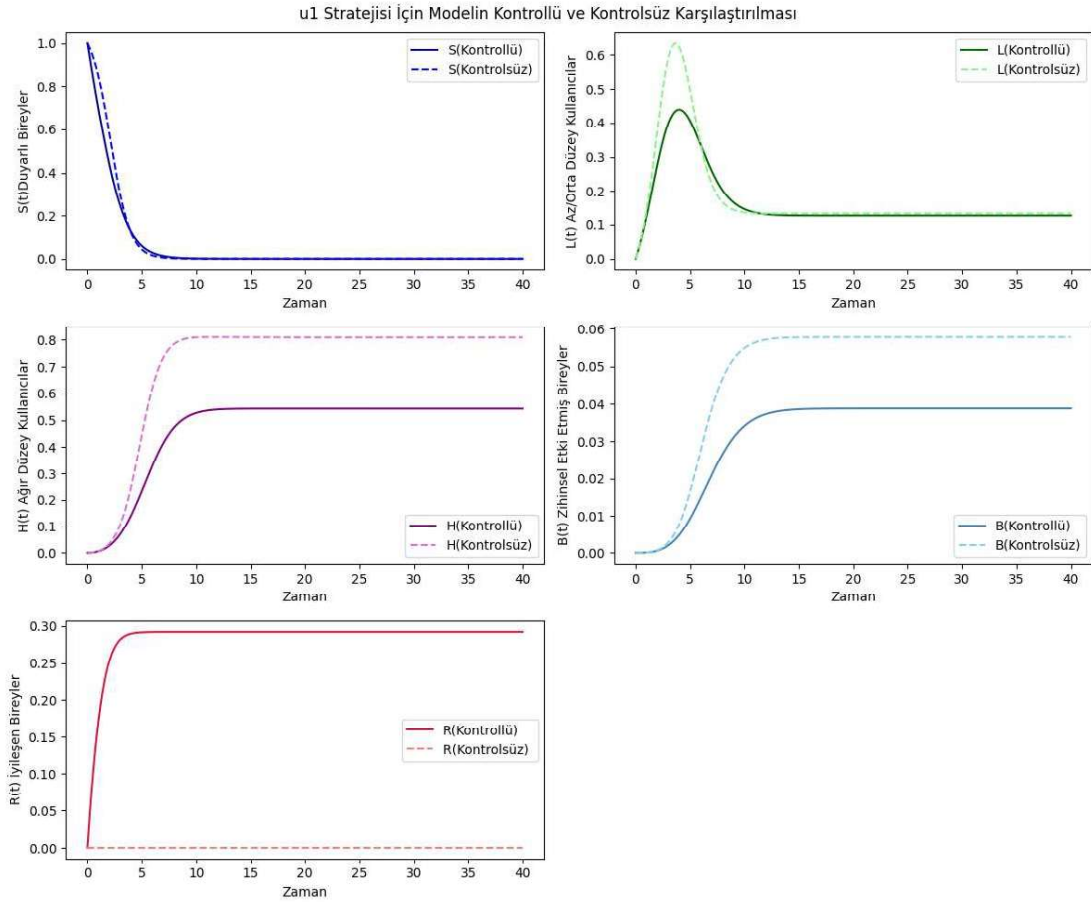
Simülasyonlar, Zara ve Monteiro'nun [8] çalışmasında yer alan $S(0) = 1, L(0) = 0, H(0) = 0, B(0) = 0$ başlangıç koşulları ve Tablo 3.1'de kullanılan $\alpha = 0.1, \beta = 0.1, \delta = 0.05, \gamma = 0.1, \epsilon = 0.07, k = 1, q = 1, c = 1, p = 0$ parametre değerlerine göre gerçekleştirilmiştir.

Bu kontrolsüz durumda yapılan simülasyonlarda, özellikle $H(t)$ (yoğun kullanıcılar) ve $B(t)$ (tükenmiş bireyler) gruplarında zamanla artış olduğu görülmüştür. Bu da modele herhangi bir müdahale olmadığında, teknoloji bağımlılığının giderek yaygınlaştığını ve bireylerin olumsuz etkilenmeye başladığını göstermektedir.

Bu tez kapsamında önerilen SLHBR modeli, beşinci kompartman olarak iyileşmiş bireyler (R) sınıfını da içerecek şekilde yapılandırılmış ve bu model üzerine dört farklı kontrol stratejisi tanımlanarak optimal kontrol uygulanmıştır. Amaç, bağımlı birey sayısını azaltmak ve iyileşen birey oranını artırmaktır. Bu kontrol stratejilerinin amacı, bağımlı birey sayısını azaltmak ve iyileşen bireylerin sayısını artırmaktır. Simülasyonlarda kullanılan maliyet

fonksiyonu için tüm kontrol fonksiyonlarına ait ağırlık katsayıları $\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3, \Omega_4 = 0.03$ olarak alınmıştır.

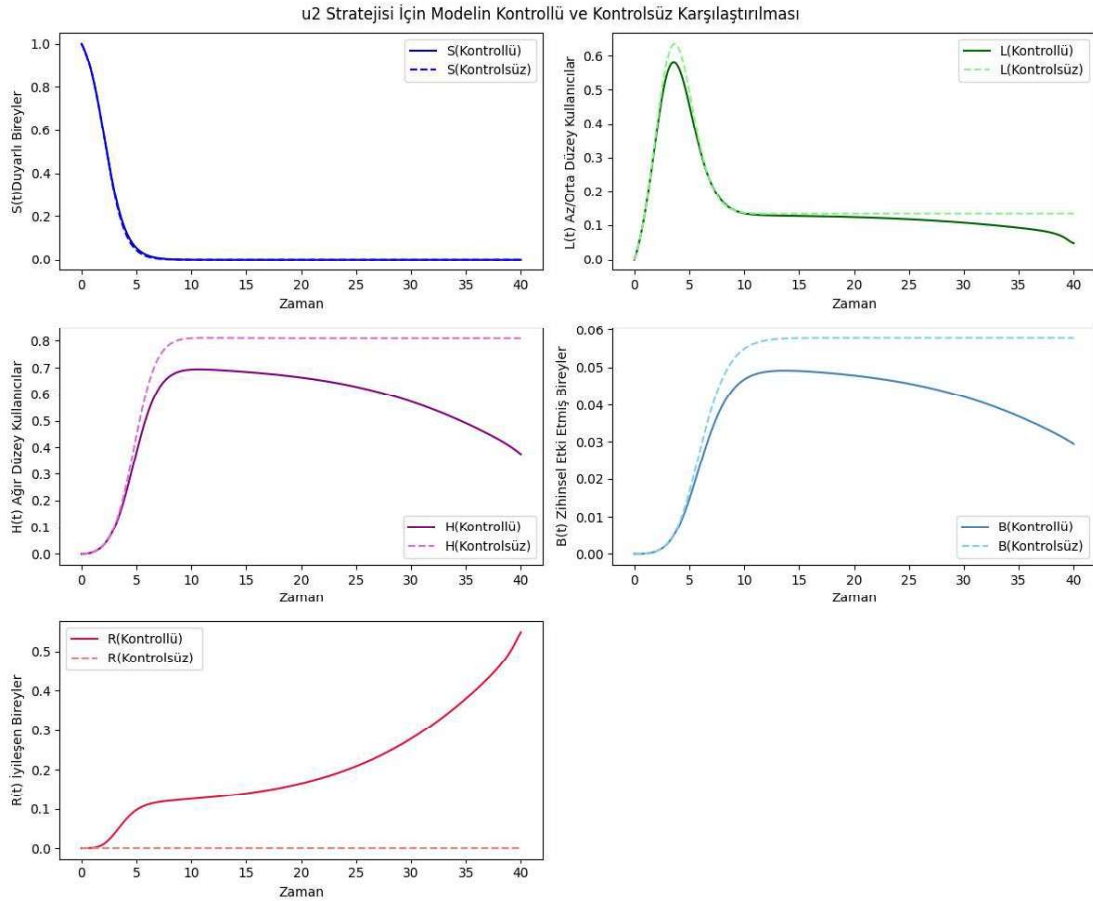
Bu değerlere göre elde edilen sonuçlar aşağıda grafiklerle gösterilecek ve yorumlanacaktır:



Şekil 5.1: u_1 kontrol stratejisinin S, L, H, B ve R kompartmanları üzerindeki etkisinin kontrollü ve kontrolsüz model karşılaştırması

Şekil 5.1, dijital farkındalık temelli $u_1(t)$ kontrol stratejisinin SLHBR kompartmanları üzerindeki etkilerini kontrolsüz modelle karşılaştırmalı olarak göstermektedir. S kompartmanındaki bireyler, her iki senaryoda da 10. günde %5'in altına düşerek benzer bir azalma eğilimi gösterirken, L kompartmanında kontrolsüz durumda %60'a ulaşan birey oranı, kontrol stratejisiyle %40'ın altına çekilmiş ve pik zamanı erkene alınmıştır. H grubunda, ağır düzey kullanıcı oranı kontrolsüz modelde %90'a dayanırken, kontrol stratejisiyle bu değer %60'ta sabitlenmiştir. Benzer biçimde, zarar görmüş bireyleri temsil eden B kompartmanında kontrolsüz modelde %6'ya varan artış, kontrol stratejisiyle %3.5

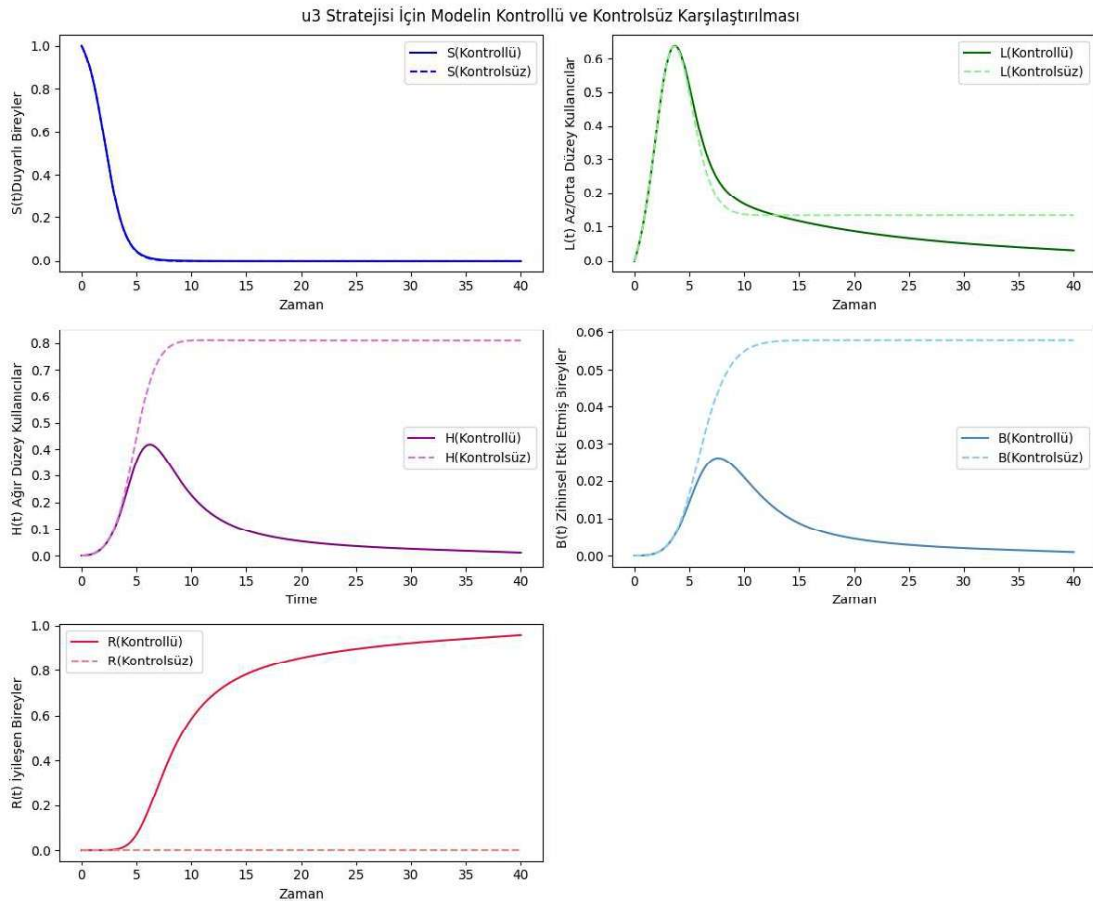
düzeyinde sınırlı kalmıştır. En belirgin fark ise R kompartmanında gözlemlenmektedir; kontrolsüz senaryoda neredeyse sıfıra yakın kalan regülasyon kazanmış birey oranı, kontrol uygulandığında 10. günden itibaren belirgin şekilde yükselerek %30 seviyelerine ulaşmaktadır. Bu bulgular, $u_1(t)$ stratejisinin duyarlılık aşamasında sınırlı etki yaratmasına rağmen, bağımlılık evrelerinin yoğunlaştığı H ve B kompartmanlarında bireylerin sayısını anlamlı düzeyde azaltarak zararı önlediğini ve R kompartmanında sağladığı artışla sistemsel bir iyileşme ve dönüşüm sağladığını ortaya koymaktadır.



Şekil 5.2: u_2 kontrol stratejisinin S, L, H, B ve R kompartmanları üzerindeki etkisinin kontrollü ve kontrolsüz model karşılaştırması

Şekil 5.2, u_2 kontrol stratejisinin model üzerindeki etkilerini göstermektedir. S grubunda kontrol stratejisinin etkisi sınırlı olup, her iki senaryoda da birey oranı 10. günden sonra %5'in altına düşerek benzer bir azalma göstermektedir. L grubunda ise kontrolsüz modelde %55'e kadar çıkan birey oranı, kontrol uygulamasıyla %45'te sınırlanmış ve daha erken bir stabilizasyona ulaşılmıştır. H grubunda kontrol stratejisi, %85'e yükselen ağır kullanıcı oranını yaklaşık %75 seviyesinde sabitleyerek anlamlı bir düşüş sağlamıştır. B grubunda

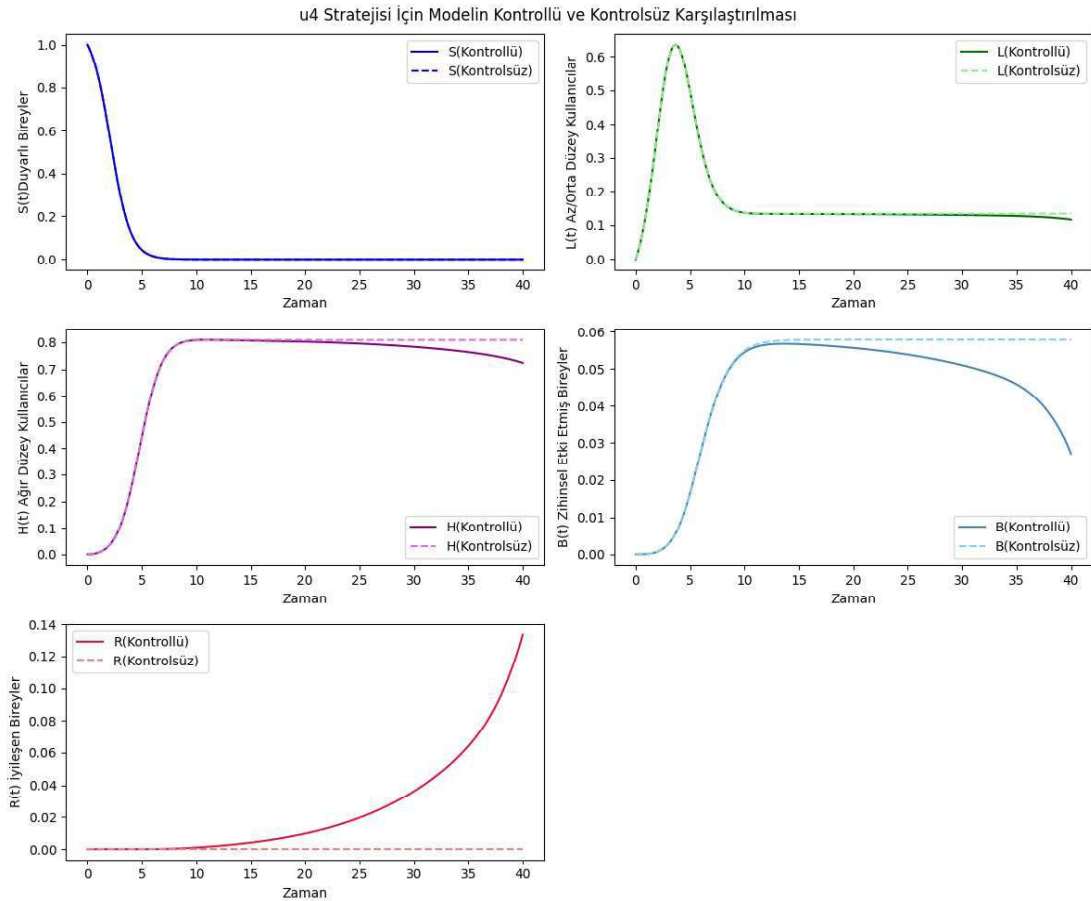
kontROLSÜZ durumda %5.5 düzeyinde kalan birey oranı, kontrol uygulandığında %4'te sınırlanmış ve zamanla düşüş eğilimi göstermiştir. R kompartmanında ise kontROLSÜZ senaryoda anlamlı bir artış gözlenmezken, kontrol stratejisiyle birey oranı istikrarlı bir şekilde artarak %35'e ulaşmıştır. Bu sonuçlar, u_2 stratejisinin teknoloji maruziyeti sonrası ortaya çıkan bağımlılık davranışlarını azaltmada ve regülasyona geçişi hızlandırmada etkili olduğunu, ancak başlangıç evresindeki bireyler üzerinde sınırlı bir etkisi bulunduğunu göstermektedir.



Şekil 5.3: u_3 kontrol stratejisinin S, L, H, B ve R kompartmanları üzerindeki etkisinin kontrollü ve kontROLSÜZ model karşılaştırması

Şekil 5.3, $u_3(t)$ kontrol stratejisinin model üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. S grubunda kontrol stratejisi uygulanıp uygulanmaması neredeyse aynı sonuçları vermiş, birey oranı her iki senaryoda da 10. gün itibariyle %5'in altına inmiştir. L kompartmanında ise kontROLSÜZ modelde %50'yi aşan birey oranı kontrolle birlikte %35 civarında tutulmuş, bu fark özellikle ilk 10 gün içerisinde belirginleşmiştir. H grubunda kontROLSÜZ modelde %80'e ulaşan ağır kullanıcı oranı, kontrol stratejisi sayesinde %30'a kadar düşürülmüş; bu etki 10.

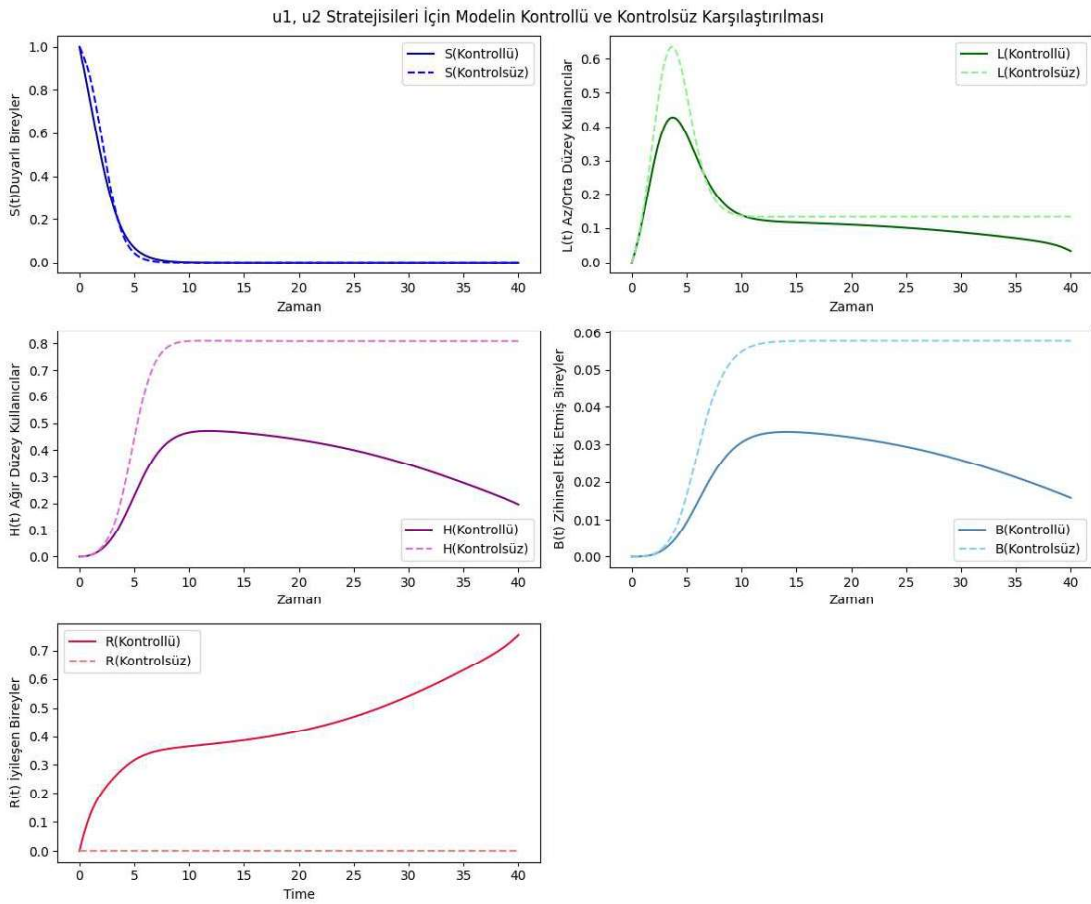
günden itibaren stabil seyretmiştir. B grubunda ise %5.5 düzeyinde sabit kalan kontrolsüz eğriye karşın, kontrol stratejisi uygulanan modelde bu oran %1'in altına çekilmiştir. R grubunda ise kontrolsüz senaryoda değişim gözlenmezken, kontrol uygulanan modelde birey oranı 40. gün itibarıyla %95'e ulaşmış ve bu durum stratejinin etkili bir davranışsal regülasyon sağladığını göstermiştir. Sonuç olarak, $u_3(t)$ stratejisi özellikle ağır kullanıcıların azaltılması ve iyileşme oranının artırılması açısından güçlü bir etki ortaya koymakta, L ve B düzeyinde de önemli kazançlar sağlamaktadır.



Şekil 5.4: u_4 kontrol stratejisinin S, L, H, B ve R kompartmanları üzerindeki etkisinin kontrollü ve kontrolsüz model karşılaştırması

Şekil 5.4, yalnızca $u_4(t)$ stratejisinin uygulandığı senaryoda model dinamiklerinde oluşan değişimleri gözler önüne sermektedir. S ve L kompartmanlarında kontrolün etkisi minimum düzeyde olup, kontrolsüz senaryo ile neredeyse üst üste binmiş eğriler gözlemlenmektedir. Bu durum, duyarlı bireylerin sistemden ayrılış hızında ve düşük/orta düzey kullanıcı oranlarında anlamlı bir farklılık yaratılmadığını göstermektedir. H kompartmanında da

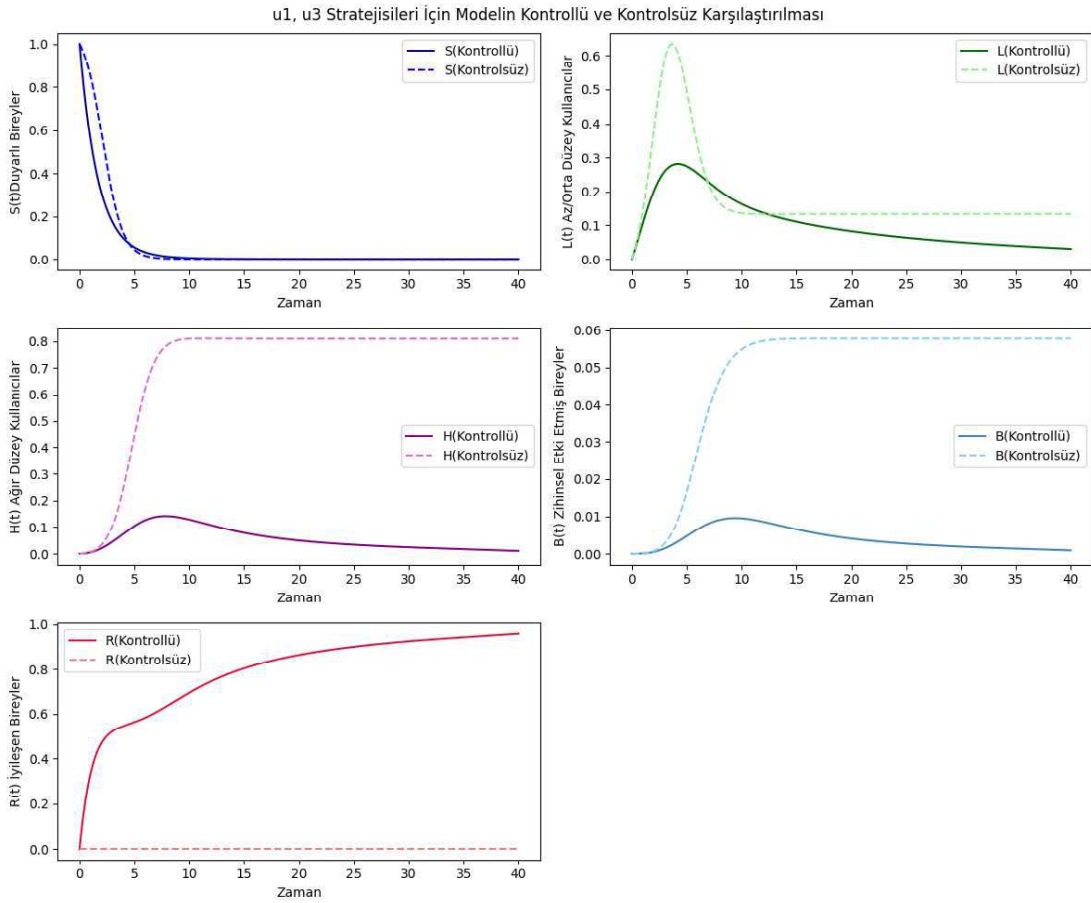
benzer şekilde %80 düzeyindeki ağır kullanıcı oranı her iki senaryoda da korunmuş ve kontrol uygulamasının bu gruba etkisi sınırlı kalmıştır. B bireylerinde %5,5'lik kontrolsüz sabitliğe karşılık, kontrol uygulamasıyla bu oran %4,5 düzeyine çekilmiş; ancak etki önceki stratejilere kıyasla oldukça zayıf kalmıştır. R kompartmanında ise dikkat çekici bir artış gözlemlenmiş, kontrol uygulanan modelde iyileşmiş birey oranı %12'yi aşarak, stratejinin temel etkisini yalnızca bu kompartmanda gösterdiği anlaşılmıştır. Dolayısıyla, $u_4(t)$ stratejisi yayılımın engellenmesi veya bağımlılık seviyelerinin düşürülmesi açısından zayıf kalırken, iyileşme sürecini destekleyici sınırlı bir fayda sağlamaktadır.



Şekil 5.5: u_1, u_2 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanları üzerindeki etkisinin kontrollü ve kontrolsüz model karşılaştırması

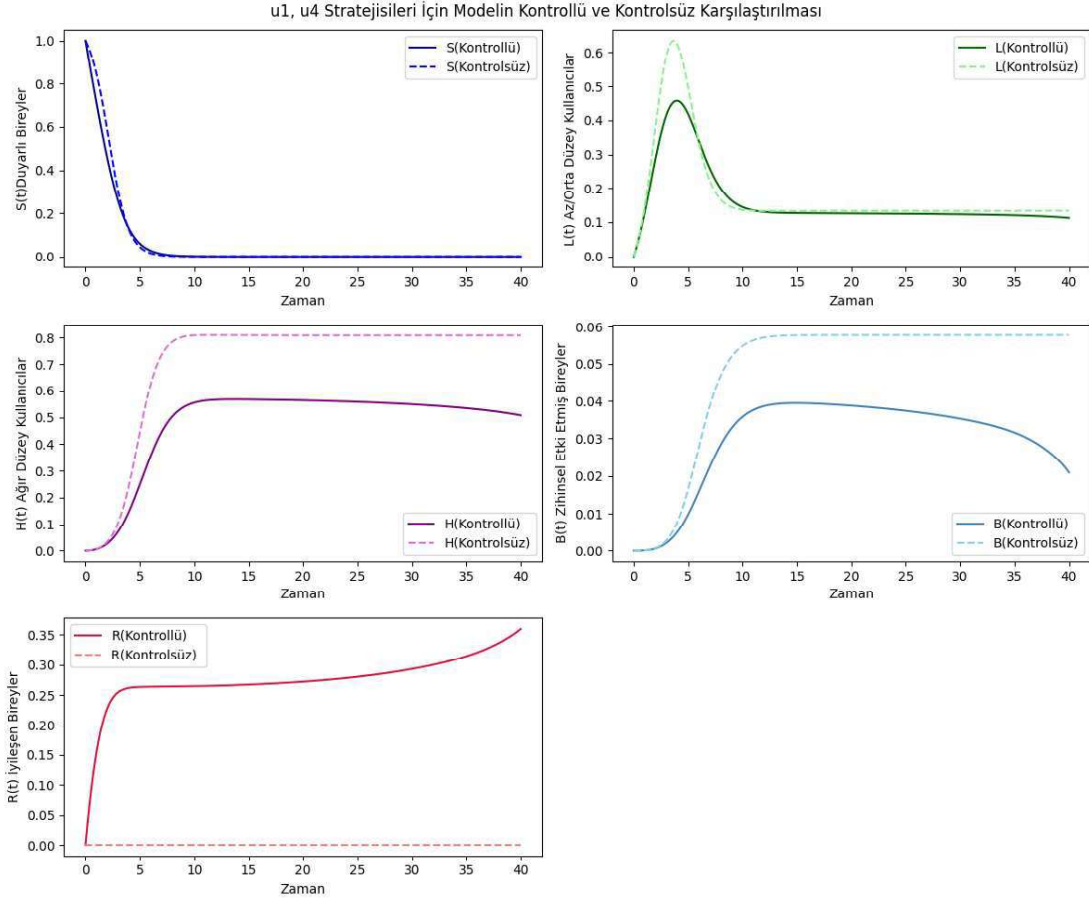
Şekil 5.5, $u_1(t)$ ve $u_2(t)$ kontrol stratejilerinin birlikte uygulandığı durumda model dinamiklerinde meydana gelen değişimleri gözler önüne sermektedir. S kompartmanındaki duyarlı bireylerin oranı kontrolle birlikte daha erken sürede sifira yaklaşırken, kontrolsüz modelde bu azalış daha yavaş gerçekleşmiştir; bu durum, kontrol stratejilerinin yayılımın

başlangıcını hızla bastırmada etkili olduğunu göstermektedir. L kompartmanında yaklaşık %45 seviyesinden başlayan kullanıcı oranı kontrolsüz modelde sabitlenirken, kontrol uygulanan modelde %15 düzeyine gerilemiştir; bu düşüş, düşük/orta düzey kullanıcıların kontrol stratejileriyle sistemden daha hızlı uzaklaştığını ortaya koymaktadır. H bireylerinin oranı kontrolsüz senaryoda %80 seviyesine ulaşırken, kontrolle bu oran %40 civarında sınırlanmıştır; bu durum, $u_1(t)$ ve $u_2(t)$ stratejilerinin ağır bağımlı bireylerin birikmesini önemli ölçüde engellediğini göstermektedir. B kompartmanında, kontrolsüz modelde %5,5 düzeyine ulaşan zihinsel etkilenmiş birey oranı kontrolle %3 seviyesine çekilmiş ve bu düşüş, stratejilerin bilişsel etkilenimi azaltmada da etkili olduğunu kanıtlamıştır. Son olarak, R kompartmanında kontrol uygulanan modelde iyileşmiş birey oranı %7,5 seviyesine ulaşırken, kontrolsüz modelde bu oran neredeyse sabit kalmıştır. Bu bulgular, $u_1(t)$ ve $u_2(t)$ stratejilerinin yayılımı baskılama, bağımlılık seviyesini azaltma ve iyileşmeyi teşvik etme konusunda oldukça etkili ve dengeli bir yaklaşım sunduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 5.6: u_1, u_3 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanları üzerindeki etkisinin kontrollü ve kontrolsüz model karşılaştırması

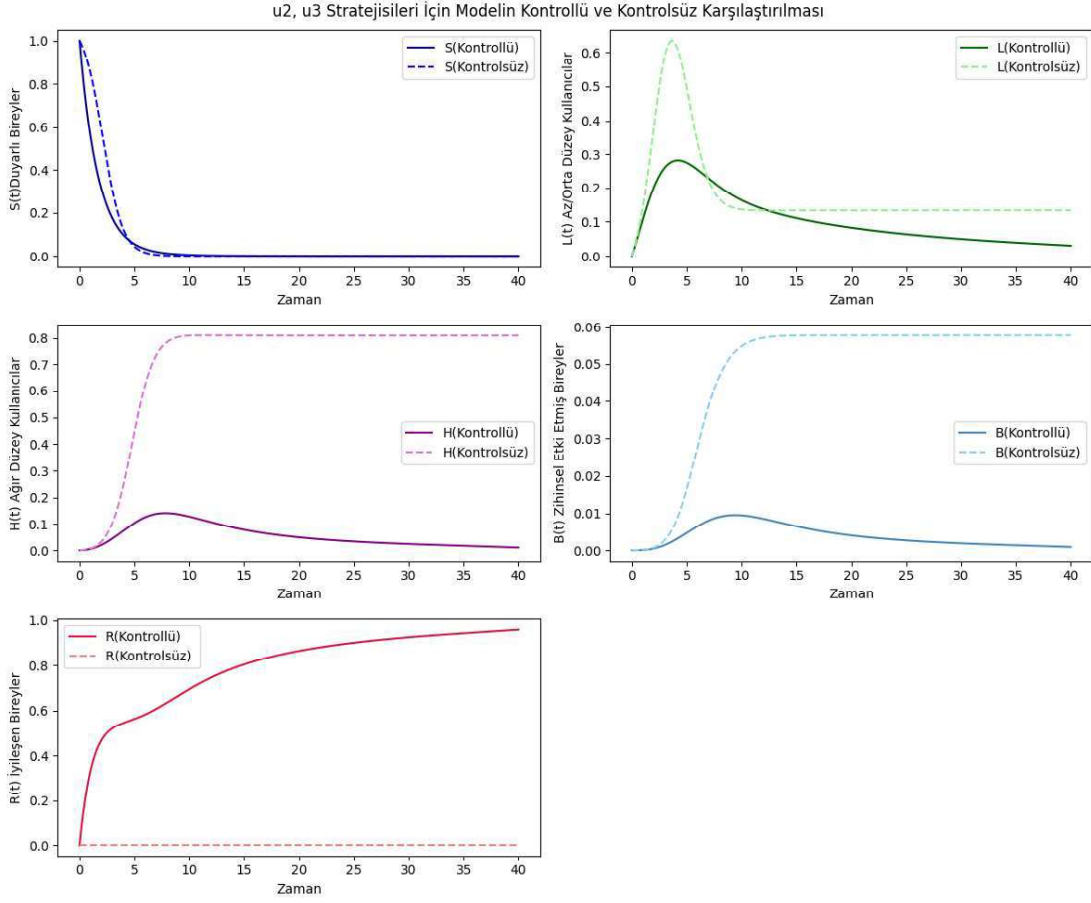
Şekil 5.6, u_1 ve u_3 kontrol stratejilerinin birlikte uygulandığı durumda sistemdeki dinamikleri detaylı biçimde yansıtmaktadır. S kompartmanındaki birey oranı her iki durumda da hızlı bir azalma gösterse de, kontrollü modelde bu azalış daha erken tamamlanarak yayılımın etkin şekilde bastırıldığını göstermektedir. L kompartmanında başlangıçta %55 düzeyine ulaşan kullanıcı oranı, kontrolsüz modelde yüksek seviyede sabitlenmişken, kontrol uygulanan modelde %15'in altına düşerek, bu strateji kombinasyonunun sonuçları, u_1 ve u_3 stratejilerinin bir arada uygulanmasının, hem yayılımı hem de etkilenmeyi özellikle düşük/orta düzey kullanıcıları sistemden uzaklaştırmada etkili olduğunu ortaya koymuştur. H kompartmanında kontrolsüz durumda %80'e ulaşan ağır kullanıcı oranı, kontrollü modelde %20'nin altına çekilmiş, böylece u_1 ve u_3 stratejilerinin ileri düzey bağımlılığı önemli ölçüde engellediği görülmüştür. B kompartmanında ise zihinsel etkilenme kontrolsüz modelde %5,5 seviyesinde kalıcı hale gelirken, kontrolle bu oran %2 seviyelerine düşmüştür. Son olarak R kompartmanında, kontrol stratejilerinin uygulanmasıyla birlikte iyileşmiş birey oranının zamanla artarak %95 düzeyine ulaşması dikkat çekmektedir. Bu baskılayarak davranışsal dönüşümün etkin biçimde desteklendiğini göstermektedir.



Şekil 5.7: u_1, u_4 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanları üzerindeki etkisinin kontrollü ve kontrolsüz model karşılaştırması

Şekil 5.7, u_1 ve u_4 kontrol stratejilerinin eş zamanlı uygulanmasının sistem üzerindeki etkilerini kontrolsüz modelle karşılaştırmalı biçimde sunmaktadır. S kompartmanındaki duyarlı birey oranı, her iki senaryoda da azalma eğilimi göstermekte olup, kontrollü modelde bu düşüş daha erken bir zamanda tamamlanarak yayılımın önüne geçilmiştir. L kompartmanındaki az/orta düzey kullanıcıların oranı kontrolsüz modelde %40'ın üzerinde sabitlenirken, kontrol stratejileriyle bu oran %10 seviyelerine kadar düşmüştür. H kompartmanında, kontrol uygulanmayan senaryoda %75'e kadar çıkan ağır kullanıcı oranı, u_1 ve u_4 stratejilerinin etkisiyle %40'ın altında kalmıştır. B kompartmanındaki zihinsel etkilenme düzeyi kontrolsüz modelde %5'i aşarken, kontrolle birlikte bu oran %3'e düşerek psikolojik etki düzeyinde de önemli bir azalma sağlanmıştır. Son olarak R kompartmanında, kontrol stratejilerinin uygulanması, bireylerin iyileşme oranını %30'un üzerine taşımıştır. Bu bulgular, u_1 ve u_4 stratejilerinin birlikte uygulanmasının, bireylerin

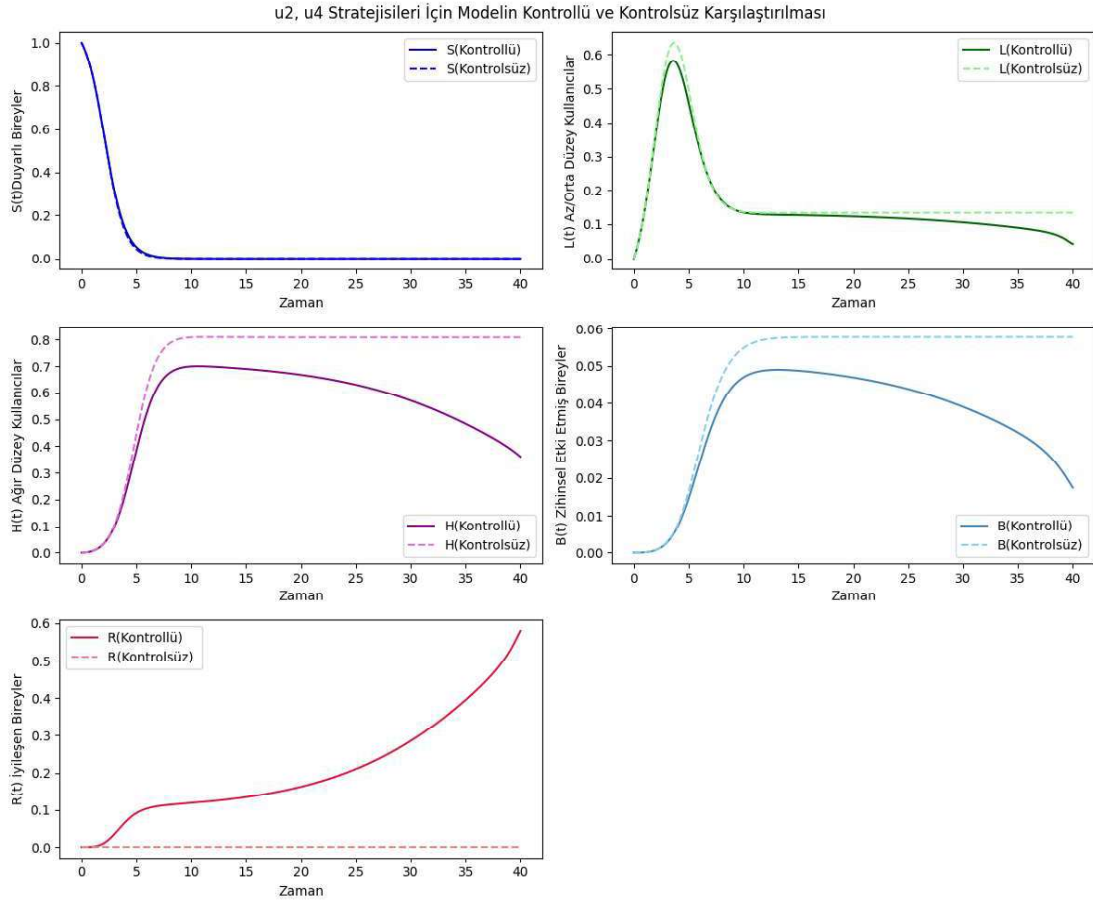
davranışsal dönüşümünü destekleyerek hem yayılımı hem de zihinsel etkilenmeyi başarıyla sınırladığını göstermektedir.



Şekil 5.8: u_2, u_3 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanları üzerindeki etkisinin kontrollü ve kontrolsüz model karşılaştırması

Şekil 5.8’de, u_2 ve u_3 kontrol stratejilerinin eş zamanlı olarak uygulanmasının model üzerindeki etkisi, kontrolsüz senaryo ile karşılaştırmalı biçimde sunulmuştur. Duyarlı birey oranı (S), kontrol stratejileriyle daha hızlı bir şekilde sıfıra yaklaşarak bulaşın önüne geçildiğini göstermektedir. L kompartmanında, kontrolsüz durumda %50’yi aşan az/orta düzey kullanıcı oranı, kontrol stratejileri sayesinde %10’un altına düşürülmüştür. H kompartmanında, ağır kullanıcı oranı kontrolsüz modelde %75 civarına ulaşırken, kontrollü modelde bu oran %25’in altında kalmıştır. B kompartmanındaki zihinsel etkilenme düzeyi kontrol stratejileriyle neredeyse yarı yarıya azalmış; %6 seviyesinden %3 civarına gerilemiştir. R kompartmanında ise kontrol stratejileri, iyileşen birey oranını ciddi biçimde artırmış ve modelin iyileştirici etkisini vurgulamıştır. Bu sonuçlar, u_2 ve u_3 stratejilerinin

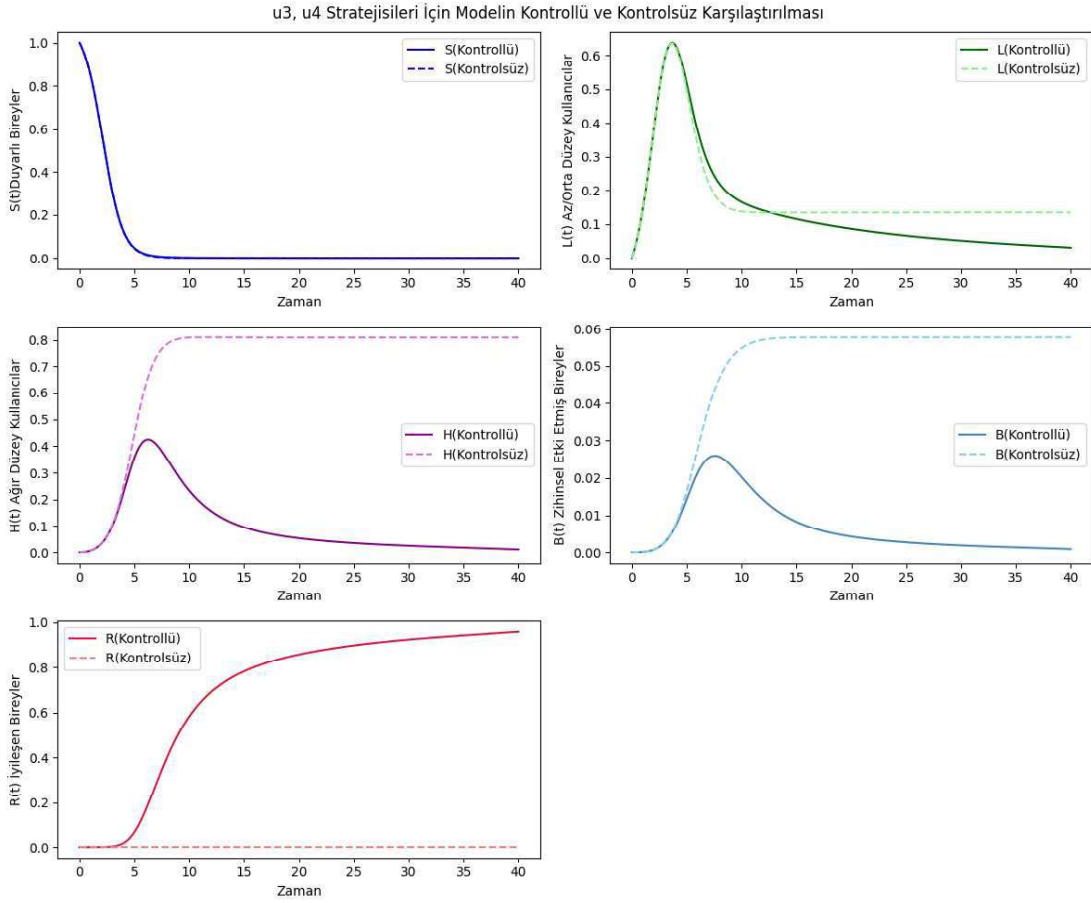
birlikte uygulanmasının, hem bağımlılık düzeyini düşürmede hem de iyileşmeyi hızlandırmada etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.9: u_2, u_4 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanları üzerindeki etkisinin kontrollü ve kontrolsüz model karşılaştırması

Şekil 5.9’da, u_2 ve u_4 kontrol stratejilerinin birlikte uygulanmasının model üzerindeki etkisi sunulmaktadır. Duyarlı bireylerin (S) oranı, her iki senaryoda da kısa sürede sıfıra yaklaşmakta, ancak kontrollü modelde bu süreç daha hızlı gerçekleşmektedir. L kompartmanında kontrol stratejileri, az/orta düzey kullanıcıların zirve yoğunluğunu düşürerek, sistem üzerindeki yükü azaltmaktadır. H kompartmanında, ağır düzey kullanıcı oranı kontrolsüz modelde sabit bir seviyede kalırken, kontrollü senaryoda bu oran belirli bir noktadan sonra azalma eğilimi göstermektedir. B kompartmanında, kontrol stratejileri zihinsel etkilenme düzeyini sınırlı da olsa azaltmakta, özellikle pik sonrası düşüşte fark yaratmaktadır. R kompartmanında ise kontrol stratejilerinin etkisiyle iyileşen birey oranında gözle görülür bir artış sağlanmaktadır. Bu bulgular, u_2 ve u_4 stratejilerinin birlikte

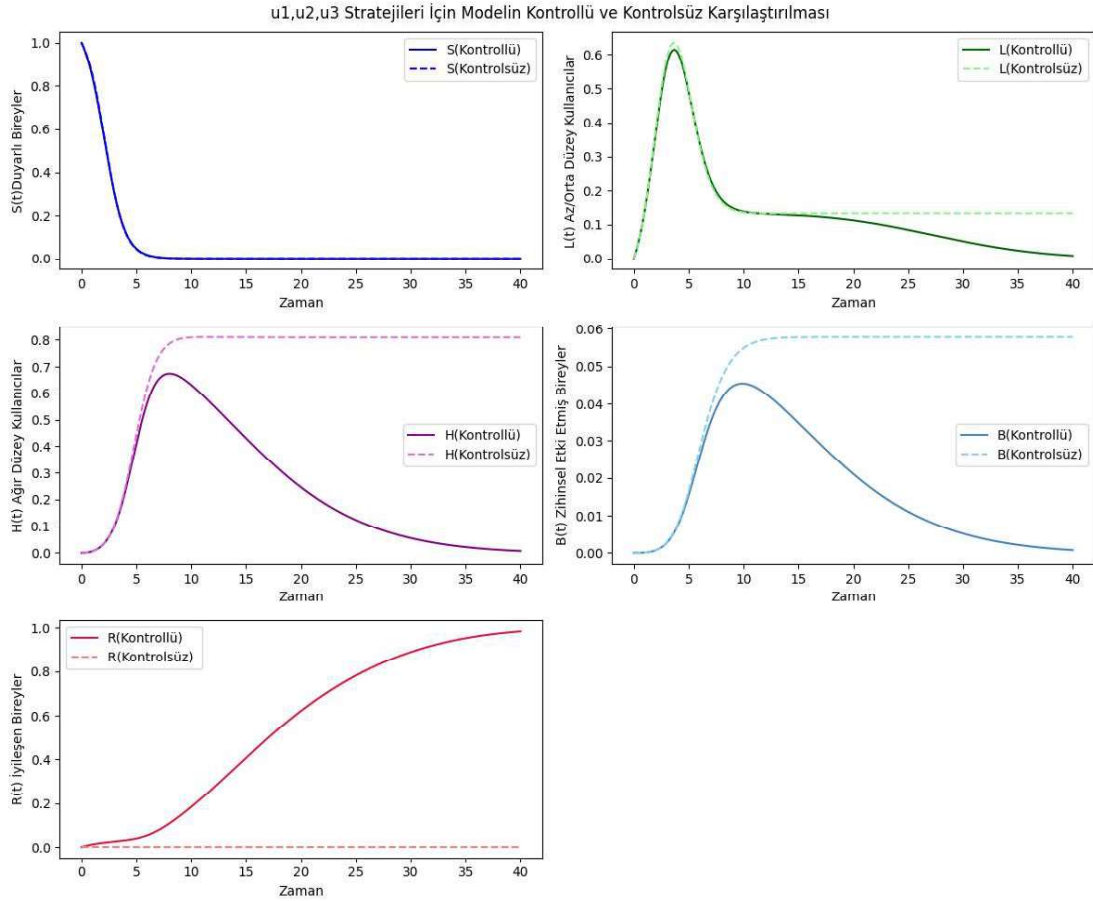
uygulanmasının hem ağır kullanım hem de zihinsel etki üzerinde regülatif bir rol oynadığını göstermektedir.



Şekil 5.10: u_3, u_4 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanları üzerindeki etkisinin kontrollü ve kontrolsüz model karşılaştırması

Şekil 5.10'da, u_3 ve u_4 kontrol stratejilerinin eşzamanlı uygulanmasının modelin dinamiklerine etkisi değerlendirilmektedir. S kompartmanında duyarlı bireylerin oranı, her iki senaryoda da hızla düşerken, kontrol stratejilerinin bulaşmayı daha erken evrede baskıladığı gözlemlenmektedir. L kompartmanında, kontrol stratejileri enfekte bireylerin tepe değerini düşürerek sistem üzerindeki yükü azaltmaktadır. H kompartmanında, kontrolsüz durumda artış eğilimi gösteren ağır düzey kullanıcı oranı, kontrol mekanizmalarıyla birlikte belirli bir zirveden sonra düzenli biçimde azalmaktadır. B kompartmanındaki zihinsel etkilenme kontrolsüz senaryoda daha kalıcı ve yüksek düzeydeyken, kontrollü modelde bu etkinin sınırlandırıldığı ve zamanla azaldığı görülmektedir. R kompartmanında ise, kontrol stratejilerinin etkisiyle iyileşme oranında belirgin bir artış

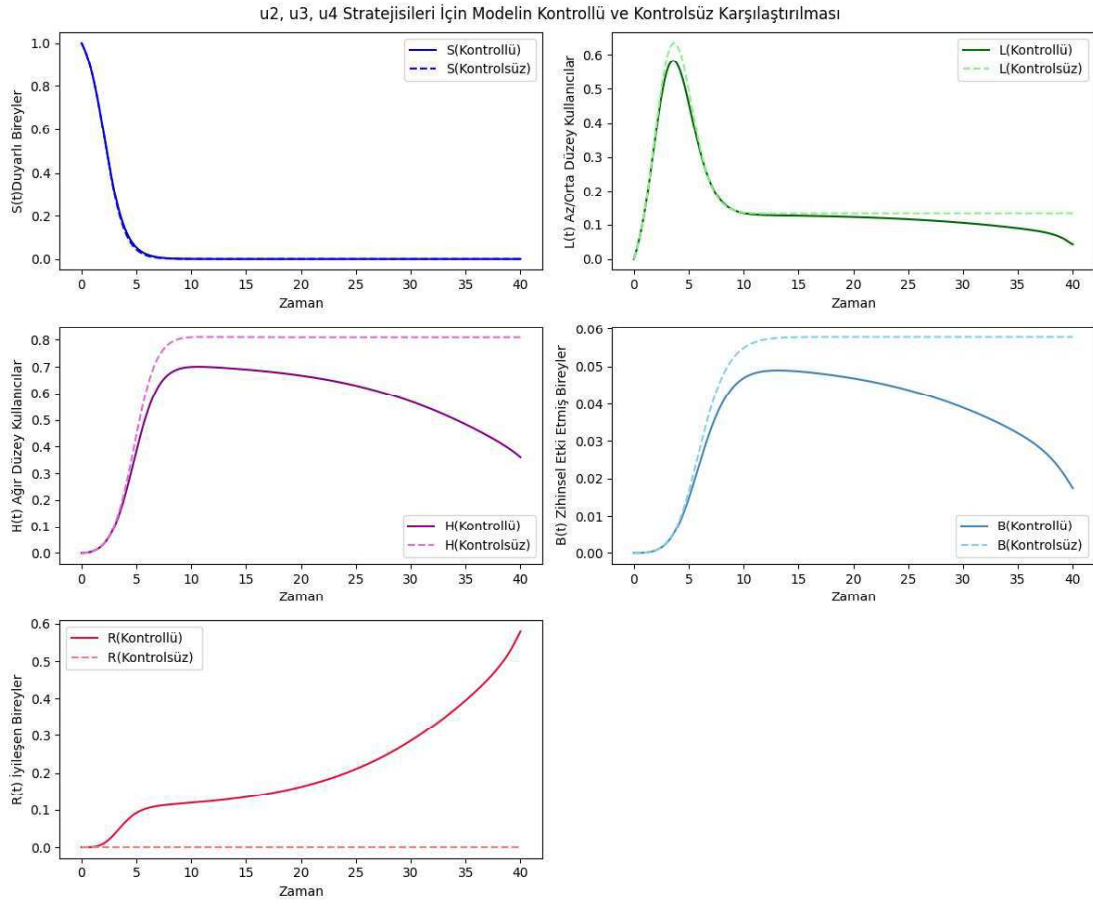
sağlanmış, sistemin regülasyon kapasitesi güçlendirilmiştir. Sonuç olarak, u_3 ve u_4 stratejilerinin kombinasyonu hem zihinsel hem davranışsal düzeyde iyileşmeyi desteklemekte, ağır kullanım ve kalıcı etki riskini azaltmaktadır.



Şekil 5.11: u_1, u_2, u_3 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanları üzerindeki etkisinin kontrollü ve kontrolsüz model karşılaştırması

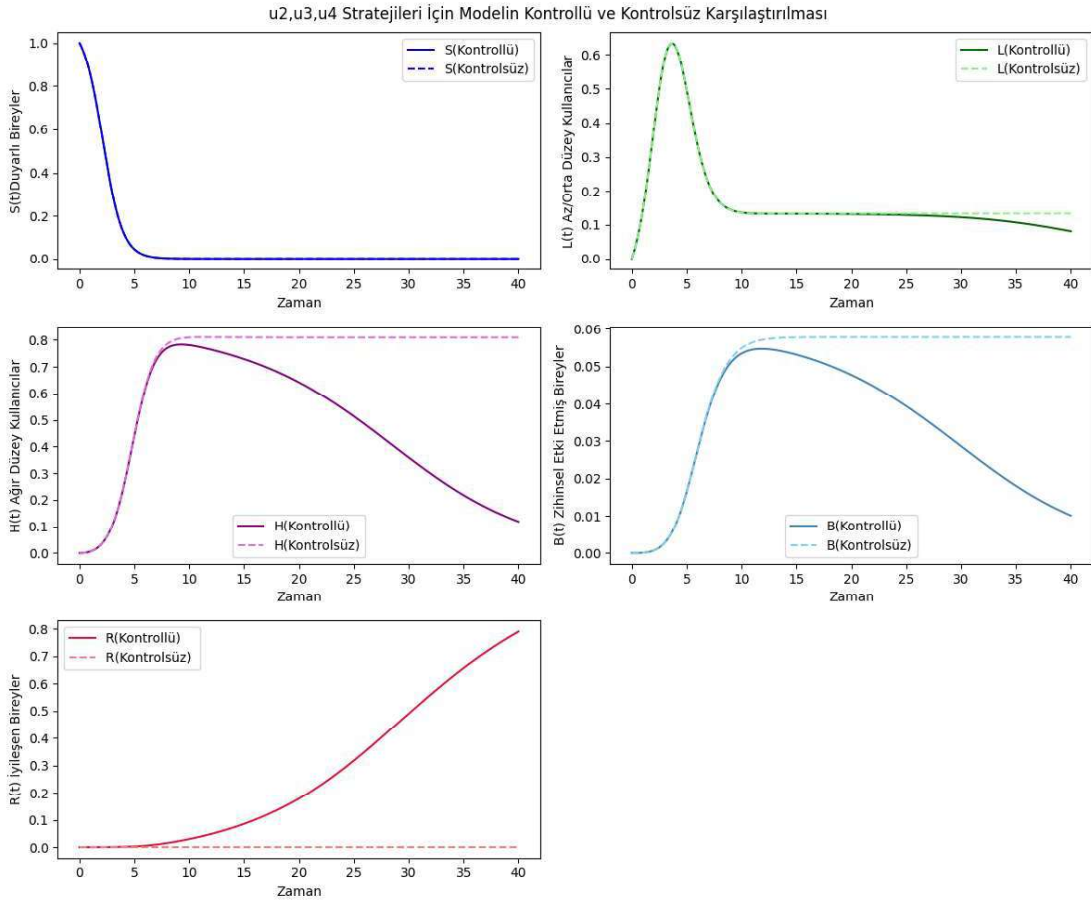
Şekil 5.11’de, u_1, u_2 ve u_3 kontrol stratejilerinin birlikte uygulanmasının model üzerindeki etkileri gösterilmektedir. S (duyarlı bireyler) kompartmanında hem kontrollü hem kontrolsüz modellerde hızlı bir düşüş gözlenmektedir. Ancak iki eğri neredeyse çakışmaktadır; bu da stratejilerin S grubunun korunmasına doğrudan bir etkisi olmadığını, bulaşmanın başlangıçta hızla yayıldığını ve kontrolün daha çok sonraki aşamalarda devreye girdiğini göstermektedir. L (az/orta düzey kullanıcılar) kompartmanında kontrol stratejileri sayesinde bireylerin sistemde kalış süresi azalmış, geçişler hızlanmıştır. H (ağır kullanıcılar) kompartmanında tepe noktasından önemli ölçüde düştüğü görülmektedir; bu, kontrol stratejilerinin bağımlılığın derinleşmesini engellediğini gösterir. B (zihinsel etkilenme) kompartmanında kontrolsüz modelde daha kalıcı ve yüksek düzeyde bir etki izlenirken, kontrol stratejileri bu etkiyi azaltmış ve süresini kısaltmıştır. R (iyileşen bireyler)

kompartmanında ise kontrol stratejileri etkisini net şekilde göstermekte, kontrolsüz modelde neredeyse hiç birey iyileşmezken kontrollü modelde önemli bir iyileşme oranı elde edilmiştir.



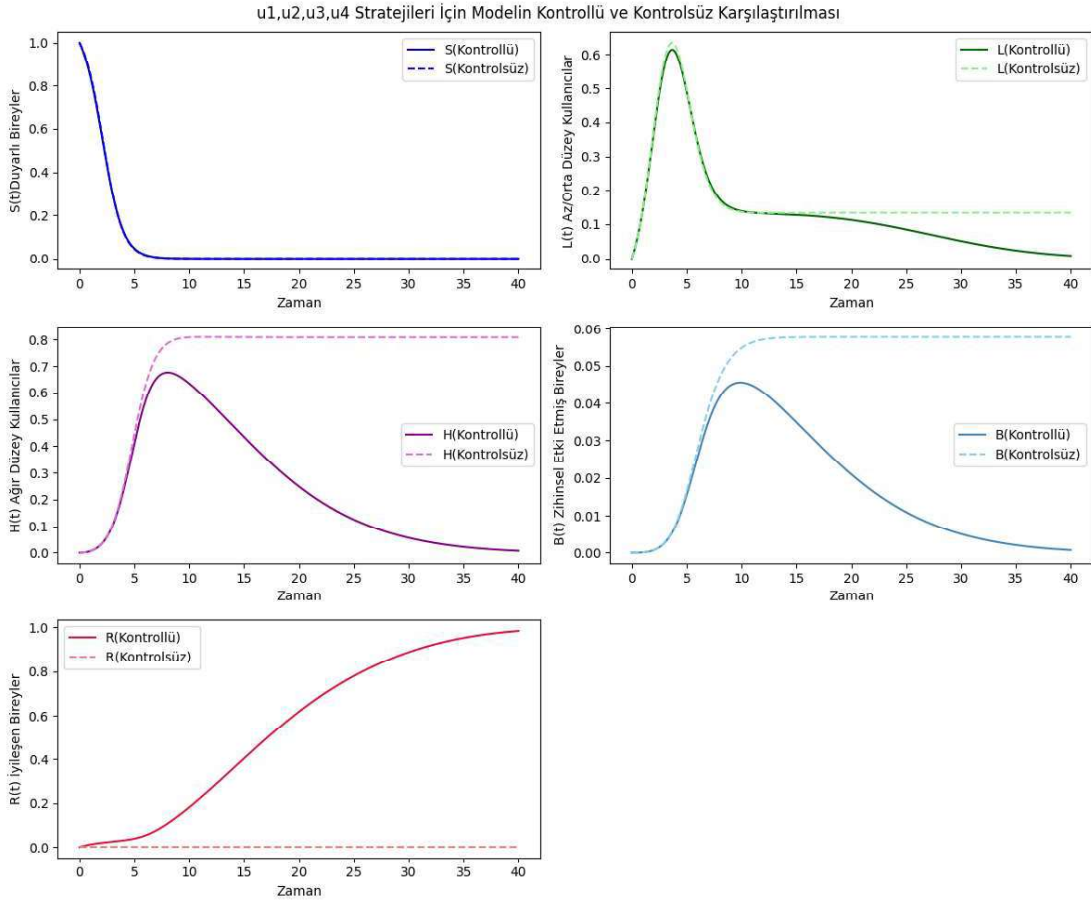
Şekil 5.12: u_1, u_3, u_4 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanları üzerindeki etkisinin kontrollü ve kontrolsüz model karşılaştırması

Şekil 5.12, u_1, u_3 ve u_4 kontrol stratejilerinin birlikte uygulanmasının sistem dinamikleri üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. Kontrollü senaryoda S kompartmanındaki bireyler daha hızlı sistem dışına çıkarken, L ve H kompartmanlarında bağımlılığın şiddeti ve süresi belirgin şekilde azalmıştır. Özellikle H seviyesindeki azalmanın erken ve düşük zirve ile sınırlanması, ilerleyici bağımlılığın engellendiğini göstermektedir. B kompartmanında zihinsel etkilenmenin süresi ve yoğunluğu kontrolle birlikte azalmış, en belirgin fark ise R kompartmanında gözlemlenmiş; kontrol stratejileriyle iyileşen birey sayısında anlamlı bir artış sağlanmıştır. Bu bulgular, seçilen strateji kombinasyonunun bağımlılık döngüsünü kırmak ve iyileşmeyi desteklemek açısından etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.13: u_2, u_3, u_4 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanları üzerindeki etkisinin kontrollü ve kontrolsüz model karşılaştırması

Şekil 5.13'te, u_2, u_3 ve u_4 kontrol stratejilerinin birlikte uygulanmasının sistem dinamikleri üzerindeki etkisi gözlemlenmektedir. S kompartmanında hızlı bir azalma gerçekleşmiş, bu durum bireylerin sisteme dahil olmadan önce başarıyla müdahale edildiğini göstermektedir. L kompartmanında ise kontrol ve kontrolsüz durumlar arasında fark minimal düzeyde kalmıştır. H kompartmanındaki zirve kontrolle birlikte daha düşük seviyede gerçekleşmiş, bireylerin yüksek bağımlılık düzeyine ilerleme olasılığı azaltılmıştır. B kompartmanında zihinsel etkilenme oranında sınırlı da olsa düşüş gözlemlenmiş, R kompartmanında ise kontrol stratejilerinin uygulanmasıyla birlikte iyileşen birey sayısı kademeli olarak artmıştır. Bu durum, özellikle u_2 'nin katkısıyla tedavi sürecine erişimin artırıldığını ve uzun vadede olumlu sonuçlar elde edildiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 5.14: u_1, u_2, u_3, u_4 kontrol stratejilerinin S, L, H, B ve R kompartmanları üzerindeki etkisinin kontrollü ve kontrolsüz model karşılaştırması

Şekil 5.14'te u_1, u_2, u_3 ve u_4 kontrol stratejilerinin birlikte uygulanmasıyla modelin tüm kompartmanlarında belirgin iyileşmeler gözlemlenmektedir. S kompartmanında duyarlı bireylerin hızlıca azaldığı ve bu azalışın kontrolsüz duruma göre daha etkin şekilde gerçekleştiği görülmektedir. L kompartmanında erken dönemde zirve yapıldıktan sonra kontrol sayesinde belirgin bir düşüş yaşanmakta, H kompartmanında ise kontrolle birlikte yüksek bağımlılık düzeyine ulaşan birey oranı sınırlandırılmaktadır. B kompartmanında zihinsel etkilenme seviyesi daha düşük kalmış, R kompartmanında ise en yüksek artış bu strateji setiyle sağlanmıştır. Bu sonuçlar, tüm stratejilerin birlikte uygulanmasının sistemdeki yayılımı baskılamada ve iyileşme oranını artırmada en etkili yaklaşım olduğunu ortaya koymaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, teknoloji bağımlılığı dinamiklerini daha kapsamlı biçimde açıklayabilmek amacıyla Zara ve Monteiro [8] tarafından önerilen SLHB modeli temel alınarak, bireylerin davranışsal dönüşüm süreçlerini de içeren yeni bir SLHBR modeli geliştirilmiştir. Özgün katkı olarak, modele $R(t)$ adlı yeni bir kompartman eklenmiş ve bu kompartman bireylerin dışsal müdahaleler sonucunda teknoloji bağımlılığı davranışlarını düzenlemeye yönelik geçişlerini temsil edecek şekilde tanımlanmıştır. Ayrıca, sistemdeki yayılımı kontrol altına almak üzere dört farklı kontrol stratejisi u_1, u_2, u_3, u_4 entegre edilmiştir. Bu kontrol stratejileri bireylerin farkındalığını artırma, riskli alışkanlıkları azaltma, tedavi süreçlerini güçlendirme ve yeniden düzenleme davranışlarını desteklemeye yöneliktir.

Nümerik sonuçlar, söz konusu stratejilerin birlikte uygulanmasının sistemin genel dinamikleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiler yarattığını ortaya koymuştur. Özellikle u_1, u_2, u_3 stratejilerinin kombinasyonu, bağımlı ve yüksek riskli birey oranlarında dikkate değer azalmalar sağlamış; duyarlı birey sayısını sınırlı tutarak yayılımın erken evrede kontrol altına alınmasını kolaylaştırmıştır. Dördüncü stratejinin u_4 dahil edilmesiyle ise, bireylerin davranışsal dönüşümüne karşılık gelen $R(t)$ kompartmanında önemli bir yükselme sağlanmıştır. Bu durum, dört stratejinin birlikte uygulanmasının sistemin iyileştirici kapasitesini en üst seviyeye taşıdığını ve yalnızca semptomları değil, davranışsal temelleri de hedef alan bütüncül bir müdahale yapısına imkân sunduğunu göstermektedir.

Modelin daha ileri düzeyde uygulanabilirliğini sağlamak amacıyla, gelecekte gerçek saha verileri kullanılarak parametre tahmini yapılması önerilmektedir. Bu süreçte, geçiş katsayılarının sistem davranışına en uygun şekilde belirlenmesi; örneğin en küçük kareler, maksimum olabilirlik veya Bayesyen yöntemler ile gerçekleştirilerek, modelin ampirik doğruluğu ve simülasyonların güvenilirliği artırılabilir. Ayrıca, zamanla değişen veya periyodik olarak uygulanan kontrol stratejilerinin de sisteme entegrasyonu ile, modelin kontrol hassasiyetinin daha esnek ve gerçekçi biçimde değerlendirilmesi mümkün olacaktır. Bu tez, hem uygulamalı matematik hem de toplumsal davranış modellemesi açısından özgün katkılar sunmaya adaydır.

7. KAYNAKLAR

- [1] **W. O. Kermack and A. G. McKendrick**, "A contribution to the mathematical theory of epidemics," *Proc. R. Soc. Lond. A Math. Phys. Sci.*, vol. 115, no. 772, pp. 700–721, 1927.
- [2] **H. J. Rumpf, S. Achab, J. Billieux, H. Bowden-Jones, N. Carragher, Z. and Demetrovics**, "Including gaming disorder in the ICD-11: The need to do so from a clinical and public health perspective: Commentary on: A weak scientific basis for gaming disorder: Let us err on the side of caution (van Rooij *et al.*, 2018)," *J. Behav. Addict.*, vol. 7, no. 3, pp. 556–561, 2018.
- [3] **A. Shah, N. Banner, C. Heginbotham, and B. Fulford**, "American Psychiatric Association (2013) Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 5th edn.," *CNS Spectrums*, vol. 21, no. 5, pp. 9, 2014.
- [4] **K. S. Young**, "Internet addiction: The emergence of a new clinical disorder," *Cyberpsychol. Behav.*, vol. 1, no. 3, pp. 237–244, 1998.
- [5] **D. J. Kuss and M. D. Griffiths**, "Social networking sites and addiction: Ten lessons learned," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 14, no. 3, p. 311, 2017.
- [6] **M. Anderson and J. Jiang**, "Teens, social media & technology 2018," *Pew Research Center*, no. 31, pp. 1673–1689, 2018.
- [7] **C. Montag and P. Walla**, "Carpe diem instead of losing your social mind: Beyond digital addiction and why we all suffer from digital overuse," *Cogent Psychol.*, vol. 3, no. 1, p. 1157281, 2016.
- [8] **M. C. Zara and L. H. Monteiro**, "The negative impact of technological advancements on mental health: An epidemiological approach," *Appl. Math. Comput.*, vol. 396, p. 125905, 2021.
- [9] **S. Lenhart and J. T. Workman**, *Optimal Control Applied to Biological Models*. Boca Raton, FL, USA: Chapman and Hall/CRC, 2007.
- [10] **M. Y. Li and J. S. Muldowney**, "Global stability for the SEIR model in epidemiology," *Math. Biosci.*, vol. 125, no. 2, pp. 155–164, 1995.
- [11] **F. Brauer, C. Castillo-Chavez, and Z. Feng**, *Mathematical Models in Epidemiology*. New York, NY, USA: Springer, 2019.
- [12] **R. M. May**, *Infectious Diseases of Humans: Dynamics and Control*. Oxford, UK: Oxford Univ. Press, 1991.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [13] **H. W. Hethcote**, "Modeling heterogeneous mixing in infectious disease dynamics," in *Models for Infectious Human Diseases: Their Structure and Relation to Data*, vol. 6, pp. 215, 1996.
- [14] **H. W. Hethcote and P. van den Driessche**, "Some epidemiological models with nonlinear incidence," *J. Math. Biol.*, vol. 29, no. 3, pp. 271–287, 1991.
- [15] **N. M. Ferguson**, "Strategies for mitigating an influenza pandemic," *Nature*, vol. 103, pp. 5935–5940, 2006.
- [16] **P. Poletti, M. Ajelli, and S. Merler**, "Risk perception and effectiveness of uncoordinated behavioral responses in an emerging epidemic," *Math. Biosci.*, vol. 238, no. 2, pp. 80–89, 2012.
- [17] **S. Funk, M. Salathé, and V. A. A. Jansen**, "Modelling the influence of human behaviour on the spread of infectious diseases: a review," *J. R. Soc. Interface*, vol. 7, no. 50, pp. 1247–1256, 2010.
- [18] **S. Del Valle, H. Hethcote, J. M. Hyman, and C. Castillo-Chavez**, "Effects of behavioral changes in a smallpox attack model," *Math. Biosci.*, vol. 195, no. 2, pp. 228–251, 2005.
- [19] **N. A. Christakis and J. H. Fowler**, *Connected: The Surprising Power of Our Social Networks and How They Shape Our Lives*. London, UK: Hachette, 2009.
- [20] **J. N. Rosenquist, J. H. Fowler, and N. A. Christakis**, "Social network determinants of depression," *Mol. Psychiatry*, vol. 16, no. 3, pp. 273–281, 2011.
- [21] **S. C. Mednick, N. A. Christakis, and J. H. Fowler**, "The spread of sleep loss influences drug use in adolescent social networks," *PLoS ONE*, vol. 5, no. 3, e9775, 2010.
- [22] **D. S. Naidu**, *Optimal Control Systems*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2018.
- [23] **D. G. Hull**, *Optimal Control Theory for Applications*. New York, NY, USA: Springer, 2013.
- [24] **A. Sciarretta, M. Back, and L. Guzzella**, "Optimal control of parallel hybrid electric vehicles," *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 12, no. 3, pp. 352–363, 2004.
- [25] **A. Houston, C. Clark, J. McNamara, and M. Mangel**, "Dynamic models in behavioural and evolutionary ecology," *Nature*, vol. 332, no. 6159, pp. 29–34, 1988.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [26] **U. Ledzewicz and H. Schättler**, "Optimal bang-bang controls for a two-compartment model in cancer chemotherapy," *J. Optim. Theory Appl.*, vol. 114, pp. 609–637, 2002.
- [27] **L. Bolzoni, E. Bonacini, C. Soresina, and M. Groppi**, "Time-optimal control strategies in SIR epidemic models," *Math. Biosci.*, vol. 292, pp. 86–96, 2017.
- [28] **R. S. Parker, F. J. Doyle, and N. A. Peppas**, "A model-based algorithm for blood glucose control in type I diabetic patients," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 46, no. 2, pp. 148–157, 2002.
- [29] **S. E. Domoff et al.**, "A naturalistic study of child and family screen media and mobile device use," *J. Child Fam. Stud.*, vol. 28, pp. 401–410, 2019.
- [30] **D. A. Gentile et al.**, "Pathological video game use among youths: a two-year longitudinal study," *Pediatrics*, vol. 127, no. 2, pp. e319–e329, 2011.
- [31] **D. Kuss and M. D. Griffiths**, *Internet Addiction in Psychotherapy*. Springer, 2014.
- [32] **K. W. Beard**, "Internet addiction: A review of current assessment techniques and potential assessment questions," *Cyberpsychol. Behav.*, vol. 8, no. 1, pp. 7–14, 2005.
- [33] **C. Montag and P. Walla**, "Carpe diem instead of losing your social mind: Beyond digital addiction and why we all suffer from digital overuse," *Cogent Psychol.*, vol. 3, no. 1, p. 1157281, 2016.
- [34] **A. R. Lauricella, E. Wartella, and V. J. Rideout**, "Young children's screen time: The complex role of parent and child factors," *J. Appl. Dev. Psychol.*, vol. 36, pp. 11–17, 2015.
- [35] **C. H. Ko, J. Y. Yen, C. S. Chen, C. C. Chen, and C. F. Yen**, "Psychiatric comorbidity of internet addiction in college students: an interview study," *CNS Spectr.*, vol. 13, no. 2, pp. 147–153, 2008.
- [36] **D. A. Gentile et al.**, "Protective effects of parental monitoring of children's media use: A prospective study," *JAMA Pediatr.*, vol. 168, no. 5, pp. 479–484, 2014.
- [37] **W. M. Liu, S. A. Levin, and Y. Iwasa**, "Influence of nonlinear incidence rates upon the behavior of SIRS epidemiological models," *J. Math. Biol.*, vol. 23, pp. 187–204, 1986.

ÖZGEÇMİŞ

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/ Matematik	2022-2025
Lisans	Karabük Üniversitesi/ Matematik	2016-2021
Lise	Zeytinliova Anadolu Lisesi	2009-2013

Sempozyumlar

D.Avcı and S. Sakarya, "An Optimal Control Strategy to Reduce the Gadget Addiction," International *E-Conference on Mathematical and Statistical Science: A Selçuk Meeting (ICOMSS 2023)* Konya, Turkey, May 05-07, 2023 (Özet Bildiri/Sözlü Sunum).

D.Avcı and S. Sakarya, "How to Determine the Optimal Strategies to Eliminate the Harmful Effects of Technology Addiction?," *Conference on Mathematics in Engineering and Science (CMES 2024)* Şanlıurfa, Turkey, May 17-19, 2024 (Özet Bildiri/Sözlü Sunum) [**Tezden Türetilmiştir**].

D. Avcı and S. Sakarya, "An Artificial Intelligence Approach to Parameter Estimation for an Addiction Model," *Proc. 3rd Int. Conf. on Applied Mathematics in Engineering (ICAME'24)*, Balıkesir, Turkey, June 26-28, 2024 (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) [**Yayın Aşamasında**].