

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNİN KAOTİK YAPISI
VE KONTROLÜ: BOZULABİLİR ÜRÜNLER İÇİN BİR
MODEL ÖNERİSİ**

**DOKTORA TEZİ
Neslihan AÇIKGÖZ**

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Gültekin ÇAĞIL

Mayıs 2021

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNİN KAOTİK YAPISI
VE KONTROLÜ: BOZULABİLİR ÜRÜNLER İÇİN BİR
MODEL ÖNERİSİ**

DOKTORA TEZİ

Neslihan AÇIKGÖZ

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 03 / 05 /2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Üye

Üye

E Üye

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Neslihan AÇIKGÖZ

03.05.2021

TEŞEKKÜR

Yükseköğrenim eğitimim boyunca yardımlarını esirgemeyen, beni yönlendiren ve teşvik eden değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Gültekin ÇAĞIL'a, her zaman bakış açıları ile bize ışık tutmuş, cesaretlendirmiş kıymetli hocam Prof. Dr. Orhan TORKUL'a, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Yılmaz UYAROĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her alanında bana destek olan ve motive eden sevgili eşim Şehzat AÇIKGÖZ ile tüm aileme, yavrularım Ata ve Mehmet Efe'ye ve hep yanımda olup yardımlarını eksik etmeyen çok değerli arkadaşım Dr. Elif Elçin GÜNAY'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLOLAR LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımı ve Amaç.....	2
1.2. Araştırmanın Kapsamı ve Sınırlılıkları.....	2
1.3. Literatüre Katkısı.....	3

BÖLÜM 2.

KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Kaos Teorisini Bir Tedarik Zinciri Yönetim Metodolojisi Olarak Kullanan Çalışmalar.....	9
2.2. Tedarik Zincirinin Tamamını Etkileyen Temel Fonksiyonlardaki Karmaşıklığı Kaotik Bakış Açısı ile Ele Alan Çalışmalar.....	10
2.3. Matematiksel Modellenmiş Tedarik Zinciri Sistemlerinin Dinamik Davranışlarını İnceleyen Çalışmalar.....	12
2.4. Tedarik Zinciri Yönetimi Sisteminde Kaotik Senkronizasyon ve Kontrolü ile İlgili Çalışmalar.....	14

BÖLÜM 3.

TEDARİK ZİNCİR MODELLERİNDE KAOTİK ANALİZ.....	15
3.1. Kaotik Tedarik Zinciri Modelleri ve Durum Değişkenlerinin	15

İncelenmesi.....	
3.2. Tedarik Zincirinde Kaotik Analiz.....	20
3.2.1. Denge noktaları.....	20
3.2.2. Jakobian matrisi ve özdeğerler.....	21
3.2.3. Çatallanma diyagramları.....	23
3.2.4. Lyapunov üstelleri.....	24
3.2.5. Durum değişkenlerinin geometrisi.....	26
3.3. Doğrusal Kontrol Parametresi Kullanılarak Kaotik Tedarik Zincirinin Kararlılığının Sağlanması.....	28
3.4. Güvenlik Stoğu Etkisinin Poincare Kesiti ile Doğrulanması.....	35
3.5. Yeni Bir Hiperkaotik Tedarik Zinciri Modeli.....	37
3.6. Yeni Hiperkaotik Tedarik Zincirinin Aktif Kontrolü.....	40
3.7. Kesirli Üslü Kaotik Tedarik Zinciri Modeli.....	44

BÖLÜM 4.

BOZULABİLİR ÜRÜNLER İÇİN YENİ BİR KAOTİK TEDARİK ZİNCİRİ MODELİ, KAOTİK ANALİZİ VE KONTROLÜ.....

4.1. Yeni Bir Kaotik Tedarik Zinciri Modeli.....	47
4.1.1. Varsayımlar.....	47
4.1.2. Notasyonlar.....	48
4.1.3. Talep miktarı.....	49
4.1.4. Envanter seviyesinin belirlenmesi.....	50
4.1.5. Üretim miktarının belirlenmesi.....	51
4.1.6. Bozulabilir ürünler için genel tedarik zinciri modeli.....	51
4.2. Yeni Önerilen Tedarik Zinciri Modelinin Kaotik Analizi.....	52
4.3. Yeni Kaotik Tedarik Zinciri Modelinin Aktif Kontrol Yöntemi ile Senkronizasyonu.....	56

BÖLÜM 5.

SONUÇ VE ÖNERİLER.

KAYNAKLAR

ÖZGEÇMİŞ	72
----------------	----

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Tedarik zincirinde kamçı etkisi.....	4
Şekil 3.1. Tedarik zinciri sistemi çatallanma grafiği.....	24
Şekil 3.2. Lyapunov üstelleri grafiği	25
Şekil 3.3. Kaos durumundaki (a) x değerlerinin (b) y değerlerinin (c) z değerlerinin histogram grafikleri.....	26
Şekil 3.4. Kaos durumunda (a) x değerlerinin, (b) y değerlerinin, (c) z değerlerinin otokorelasyon grafikleri.....	27
Şekil 3.5. Kaos durumunda (a) x değerlerinin, (b) y değerlerinin, (c) z değerlerinin spektral grafikleri.....	28
Şekil 3.6. u kontrol parametresi eklenmiş tedarik zinciri sisteminin benzetim modeli.....	29
Şekil 3.7. (a) u=10 için (b) u=42,8 için ve (c) u=70 için y-z faz portleri.....	30
Şekil 3.8. (a) u=10 için (b) u=42,8 için ve (c) u=70 için z değişkenine ait histogram grafikleri.....	31
Şekil 3.9. (a) u=10 için (b) u=42,8 için ve (c) u=70 için z değişkenine ait otokorelasyon grafikleri.....	32
Şekil 3.10. z değişkeninin (a) u=10 için (b) u=42,8 için ve (c) u=70 için güç spektrum grafikleri.....	33
Şekil 3.11. z üretim miktarı değişkenine ait benzetim verilerinin 4 farklı durum (u=0, u=10, u=42,8 ve u=70) için zaman serileri grafiği.....	34
Şekil 3.12. Güvenlik stoğu eklenmiş 3 aşamalı bir tedarik zinciri ağı.....	35
Şekil 3.13. (a) u=10 için (b) u=42,8 için ve (c) u=70 için u parametresi eklenmiş tedarik zinciri sisteminin Poincare kesiti grafikleri.....	36
Şekil 3.14. Hiperkaotik tedarik zinciri sistemine ait (a) x-h, (b) y-h, (c) z-h ve (d) x-y-h faz portreleri.....	38
Şekil 3.15. Hiperkaotik tedarik zinciri sisteminde (a) x, (b) y , (c) z ve (d) h değişkenlerine ait zaman serisi grafikleri.....	39

Şekil 3.16. $s=1,2$ için hiperkaotik tedarik zinciri sistemine ait (a) x-y-u (b) x-y-z 3 boyutlu faz portreleri.....	39
Şekil 3.17. Yönetici ve uygulayıcı sistemlerin durum değişkenlerinin ve bu değişkenler arasındaki farkların (hataların) zamana bağlı değişim grafikler.....	43
Şekil 3.18. Hata vektörlerinin zamana bağlı değişimi.....	44
Şekil 3.19. (a) $q_1 = 1, q_3 = 1, q_2 = 0,98$ (b) $q_1 = 1, q_3 = 1, q_2 = 0,97428610498$ ve (c) $q_1 = 1, q_3 = 1, q_2 = 0,8$ durumunda tedarik zinciri faz portreleri.....	45
Şekil 3.20. (a) $q_1 = q_3 = q_2 = 1$, ve (b) $q_1 = q_3 = 1, q_2 = 0.98$ için iki boyutlu x-z faz portreleri.....	46
Şekil 3.21. $q_1 = q_3 = q_2 = 1$ ve $q_1 = q_3 = 1, q_2 = 0.98$ için y stok verilerine ait zaman serisi grafikleri.....	46
Şekil 4.1. (a) $d=0,302$ (b) $d=0,323$ (c) $d=0,33202$ için yeni tedarik zinciri modeline ait 3 boyutlu faz portreleri.....	52
Şekil 4.2. $d=(0.302; 0.323; 0.33202)$ için yeni tedarik zinciri modeli x değişkenine ait histogram grafikleri.....	52
Şekil 4.3. Yönetici ve uygulayıcı sistemlerin durum değişkenlerinin ve bu değişkenler arasındaki farkların (hataların) zamana bağlı değişim grafikleri.....	53
Şekil 4.4. Hata vektörlerinin zamana bağlı değişimi.....	54
Şekil 4.5. m stoktaki bozulma oranı parametresinin $[-2;0,5]$ aralığındaki çatalanma grafiği.....	54
Şekil 4.6. m stoktaki bozulma oranı parametresinin $[-5;5]$ aralığındaki Lyapunov Üstelleri Grafiği.....	55
Şekil 4.7. Yönetici ve uygulayıcı sistemlerin durum değişkenlerinin ve bu değişkenler arasındaki farkların (hataların) zamana bağlı değişim grafikleri.....	59
Şekil 4.8. Hata vektörlerinin zamana bağlı değişimi	59

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Literatürde dinamik davranışlarında kaotik yapının görüldüğü ya da zincir içerisinde kaosu etkileyen tedarik zinciri parametreleri.....	5
Tablo 2.2. Literatürdeki çalışmalarda kaotik davranışların incelenmesinde kullanılan yöntemler	6
Tablo 2.3. Literatürde bir tedarik zinciri sistemindeki karmaşık davranışları kaos kuramı bakış açısı ile ele alarak inceleyen çalışmalar.....	8
Tablo 4.1. Modeli tanımlamak için kullanılan notasyonlar.....	48

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kaotik Tedarik Zinciri, Hiperkaos, Kesirli Üslü Dinamik Modeller, Poincare Kesiti, Aktif Kontrol, Bozulabilir Ürünler

Tedarik zinciri hammadde tedarikinden, üretime, dağıtımdan, son kullanıcıya ürün teslimine ve hatta satış sonrası hizmetlere kadar süreç içerisindeki her bir elemanın birbirine bağlandığı bir ağlar bütünüdür. Tedarik zinciri dinamik ve yaşayan bir sistem olduğundan zamana bağlı değişen birçok faktörün etkisi altındadır ve bu durum da daha dikkatli yönetilmesini gerekli kılmaktadır. Zinciri oluşturan elemanlar arasında bir uyum ve bir işbirliği vardır. Zinciri etkileyen, makine hazırlık süreleri, çalışan operatörlerin iş yapma becerileri, ani servis dışı kalmaları, müşteri talebi gibi birçok faktördeki öngörülemezlik sistemde ani dalgalanmalara ve bir kelebek etkisiyle büyük zararlara sebep olabilmektedir. Bu bozucu etkiler ile oluşan sistemdeki karmaşıklık; kestirilemeyen, başlangıç koşullarına hassas bağımlılık gösteren kaotik davranışlar ile kendini göstermekte ve kaos kuramı ile açıklanabilmektedir.

Bu çalışmada ele alınan problem, bir Tedarik Zincirinde, sistemi olumsuz etkileyebilecek veya sistemin çökmesine neden olabilecek etkenlerin varlığını ortaya koymak ve sistemin kaotik yapısını incelemek olarak alınmaktadır. Amaç ise bir tedarik zincirinde, sistemi olumsuz etkileyebilecek veya sistemin çökmesine neden olabilecek değişkenleri belirleyerek dinamik davranışlarını incelemek ve bir kontrol tekniği yardımıyla sistemin kaotik durumdan kararlı duruma geçmesini sağlamak şeklinde ifade edilebilir.

Çalışma aşağıdaki metodolojik adımları içermektedir: (i) tedarik zinciri dinamik modellerinin ve durum değişkenlerinin incelenmesi, (ii) tedarik zincirinde kaosun varlığının tespiti, (iii) sistemin kaostan düzenli duruma geçmesinin sağlanması için bir kontrol yönteminin uygulanması, (iv) modele yeni bir değişken ekleyerek sistemin hiperkaosa gittiğinin ispatlanması, (v) modelin farklı kesirli üstlerdeki dinamik davranışının incelenmesi, (vi) yeni bir tedarik zinciri dinamik denkleminin tasarlanması ve kaotik analizlerinin yapılması, (vii) yeni kaotik tedarik zinciri modelinin aktif kontrol yöntemi kullanılarak kontrolünün sağlanması.

Çalışma ile Kaotik Tedarik Zinciri modeline eklenen bir durum değişkeninin sistemi hiperkaotik duruma sokabildiği ve hiperkaotik tedarik zinciri sisteminin de bir kontrol yöntemi kullanılarak kararlı hale getirilebildiği ortaya konmuştur. Ayrıca bozulabilir ürünler için tedarik zincirinin dinamik denklemlerle modelini ilk kez oluşturularak kaotik analizleri yapılmış ve aktif kontrol yöntemi ile kararlı duruma geçmesi sağlanmıştır.

CHAOTIC STRUCTURE AND CONTROL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT: A MODEL PROPOSED FOR PERISHABLE PRODUCTS

SUMMARY

Keywords: Chaotic Supply Chain, Hyperchaos, Fractional Ordered Dynamic Models, Poincare Section, Active Control

The supply chain is a set of networks where each element, from raw material procurement to production, distribution, product delivery to the end-user, and even after-sales services, is connected to each other. Since the supply chain is a dynamic and living system, it is under the influence of many factors that change with time, requiring more careful management. There are harmony and cooperation between the elements that form the chain. The unpredictability of many factors affecting the chain, such as machine preparation times, working skills of the operators, sudden out-of-service, customer demand, can cause fluctuations in the system and major damages due to a butterfly effect. The complexity in the system created by these disruptive effects manifests itself with chaotic behaviors that are unpredictable and sensitive to initial conditions and can be explained by chaos theory.

The problem addressed in this study is to reveal factors that may negatively affect the system or cause the system to collapse and examine its chaotic nature. This study aims to determine the dynamic behavior of a supply chain by identifying variables that may adversely affect the system or cause the system to crash and ensure that the system becomes stable from a chaotic state with a control technique.

The study includes the following methodological steps: (i) examining supply chain dynamic models and state variables, (ii) detecting the presence of chaos in the supply chain, (iii) implementing a control method to ensure that the system changeover from chaos to a regular state, (iv) proving that the system has shifted to hyperchaos by adding a new variable to the model, (v) examining the dynamic behavior of the model at different fractional orders, (vi) designing a new supply chain dynamic equation and analyzing its chaotic behavior, (viii) ensuring the control of the new chaotic supply chain model using active control method.

In this study, it was revealed that a state variable added to the chaotic supply chain model could make the system hyperchaotic, and the hyperchaotic supply chain system could be stabilized using a control method. In addition, the dynamic equation model of the supply chain for perishable products was created for the first time, a chaotic analysis was made, and it was ensured that the system became steady with the active control method.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Tedarik zinciri üreticiler, dağıtıcılar, tedarikçiler ve perakendeciler gibi ticari kuruluşların bir arada entegre şekilde çalıştıkları bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Bu birliktelik hammadde temini, ürüne dönüştürme ve son kullanıcıya ürünün ulaştırılması başta olmak üzere birçok amaca hizmet eder. Bu entegre dinamik sistemin düzenli çalışabilmesi için zincirin her bir elemanı hatasız işlemelidir ki bu da rekabet edilebilirliği artırmaktadır. Tedarik zinciri dinamik ve yaşayan bir sistemdir. İşletme içerisinde çalışan operatörlerin iş yapma becerilerinden ani servis dışı kalmalarına ve makine hazırlık sürelerine kadar birçok faktördeki değişkenlik sistemi etkileyecektir. Talep, müşteri tatmini, müşteri satın alma karar sürecinde etkilendiği faktörler, ulusal ya da uluslararası meydana gelen/gelebilecek olaylar, doğa olayları gibi kesin olarak belirlenemeyen birtakım faktörleri de unutmamak gerekir. Yukarıda sayılan ve sayılmayan tüm bu faktörler sistemin olağan veya beklenen davranışlar sergilemesini engelleyebilme, hatta sistemin çökmesine sebep olabilme yeteneğine sahiplerdir. Böyle iç ve dış çevre şartları altındaki bir sistemin olağan davranışlarındaki bozulma durumlarını belirlemek ve bu bozulmalar ile karşı karşıya gelmeden sistemi kontrol altına almak büyük önem kazanmaktadır. Kaos teorisi bozucu etkiler ile oluşan sistemdeki karmaşıklığı açıklayabilmek, sistemin kaotik, yarı kaotik veya periyodik durumunu ortaya koymak ve sistemi kontrol altına almaya yardımcı olmaktadır. Böylelikle sistemdeki enerji, para ve zaman kayıpları önlenmiş olacaktır.

Bu çalışmada Bölüm 1.1 ve Bölüm 1.2’de problem ve amaç tanımlanmış, araştırmanın kapsamı ve sınırlılıkları ortaya konmuştur. Bölüm 1.3’te ise çalışmanın literatüre katkısı vurgulanmaktadır.

Bölüm 2’de tedarik zincirinde kaos konusu üzerine yapılmış çalışmalar özetlenmektedir. Bölüm 3 ise literatürdeki kaotik tedarik zinciri modellerinin incelenmesini ve kaotik analizlerini içermektedir. Bölüm 3.3’te bir tedarik zinciri modeline yeni bir parametre eklenmiş ve tedarik zinciri sisteminin kararlı duruma geçmesi sağlanmıştır. Bölüm 3.4’te ise Poincare kesiti ile kararlı duruma geçildiği doğrulanmıştır. Hiperkaotik ve kesirli üslü tedarik zinciri modelleri yine bu bölümde incelenmiştir.

Bozulabilir ürünler için yeni bir kaotik tedarik zinciri modeli Bölüm 4’te sunulmuş, kaotik analizleri yapılarak aktif kontrol yöntemi ile kararlı duruma geçebileceği ortaya konmuştur.

Bölüm 5’te yapılan kaotik analizlerin sonuçlarının ve uygulanan kontrol yönteminin tedarik zinciri açısından önemi vurgulanmış ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

1.1. Problemin Tanımı ve Amaç

Bu çalışmada ele alınan problem; tedarik zinciri dinamik sisteminde, öngörülemez bozucu etkilere sahip faktörler nedeniyle, sistemin kararlı hal yapısından uzaklaşarak, sürekli hal dengesinden çıkması ve düzensiz yapı gösteren kaotik davranışlar sergilemesi ve bozulabilir ürün kategorisi içerisinde yer alan narenciye ürünlere ait tedarik zincirinin dinamik davranışlarının daha önce incelenmemiş olması şeklinde tanımlanabilir. Bu çalışmayı yapmaktaki amaçlarımız ise; (i) Bir takım öngörülemez değişkenlerin olumsuz ve hatta yıkıma sebep olabilecek etkileri altındaki bir tedarik zinciri sisteminin dinamik davranışlarını incelemek, (ii) Davranış Değişim Düzeni kontrol tekniği yardımıyla sistemin kaotik durumdan kararlı duruma geçmesini sağlamak, (iii) Daha hassas bir modelleme yapabilmek için kesirli dereceden değişimleri incelemek, (iv) Bozulabilir ürünler için yeni bir tedarik zincirini dinamik denklem yaklaşımıyla analiz etmek, aktif kontrol tekniği ile senkronizasyonu sağlamak.

1.2. Araştırmanın Kapsamı ve Sınırları

Araştırmada modellenen Tedarik Zinciri talep, stok ve üretim miktarı durum değişkenlerinin davranışlarını ve ilişkilerini kapsamaktadır. Tedarik zinciri modeli bozulabilir ürünlerden narenciye ürünleri ile sınırlandırılmıştır. Bu kapsamda Tedarik Zinciri, Kaos teorisinin bakış açısı ile ele alınmış ve matematiksel modelin dinamik davranışları analiz edilmiştir ve tedarik zinciri modeli ilk defa aktif kontrol yöntemi ile senkronizasyonu yapılmıştır.

1.3. Literatüre Katkısı

Çalışmanın literatüre katkıları aşağıda sıralanmaya çalışılmıştır:

- Dinamik bir tedarik zinciri modeline eklenen güvenlik stoğu parametresi ile sistem kaotik durumdan düzenli duruma geçtiği görülmüş ve güvenlik stoğunun işletmeler açısından önemi, kaos teorisi bakış açısı ile vurgulanmıştır.
- Kaotik Tedarik Zinciri modeline talep denklemini artıracak şekilde eklenen ve edinme eğilimi ile talebin çarpımına eşit olan tüketicinin alım gücü durum değişkeninin sistemi hiperkaotik duruma sokabildiği ortaya konmuştur.
- Kontrol yöntemleri kullanılarak kaotik ve hiperkaotik Tedarik Zinciri sistemlerinin kararlı hale geçebildiği ortaya konmuştur.
- Kaotik durumdan kararlı hale geçerken değişkenlere ait otokorelasyon grafiklerindeki dalgalı yapının daha istikrarlı hale dönüşmesi, histogram grafiklerinde çok modlu yapıdan tek modlu yüksek frekanslı bir yapıya geçişi ve güç spektrum grafiklerindeki pik sayılarının azalması bulguları ile kaotik zaman serisi analizlerine de katkı sağlanmıştır.

- Bozulabilir ürünler için tedarik zincirinin dinamik denklemlerle modeli ilk kez oluşturulmuş ve bu modelin kaotik davranışları incelenmiştir.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kaos, düzensiz ve her an öngörülemez bir geleceğe dönüşebilecek (Kurt ve Kasap, 2020) davranışlar olarak tanımlanabilir. Başlangıç koşullarındaki küçük değişikliklere büyük oranda hasasiyet göstermesi (Singh ve Singh, 2002) ve sistemde büyük etkilere neden olması kaotik davranışların önemli özellikleri arasında sayılabilir. Bu durum kaos teorisinde “kelebek etkisi” olarak anılır. Tedarik zincirinde ise bu olgu bir kamçı hareketinde olduğu gibi müşteri talebindeki küçük değişimlerin tedarikçide oluşturduğu büyük dalgalanmalar ile kendini gösterir. Kamçı etkisi olarak tanımlanan bu durum Şekil 2.1.’de net bir şekilde görselleştirilmiştir. Kamçı etkisinin nedenleri arasında; talep tahminlerinde yapılan hataların (Forrester, 1961) yanı sıra, verilen siparişlerdeki (Houlihan, 1987), sipariş teslim sürelerindeki (Burbidge, 1991), fiyatlardaki (Lee ve ark., 1997a, 1997b) ve operatörün iş yapışındaki (Grabinski, 2008) belirsizlikler ve dalgalanmalar sayılabilir.



Şekil 2.1. Tedarik zincirinde kamçı etkisi

Tablo 2.1. Literatürde tedarik zincirinde kaotik davranışlara sebep olan parametreler (Açıkgöz ve Çağıl, 2019)

Parametre	Referans
Stok	Dong,2014; Stapleton ve ark., 2006; Wilding, 1998a; Wu ve Zhang, 2007; Wilding, 1998b; Larsen ve ark. 1998; Ma ve Feng, 2008; Hwarng ve Xie, 2008
Üretim stratejisi	Dong,2014
Talep miktarı ve talep tahmini	Stapleton ve ark., 2006; Hwarng ve Yuan, 2014; Wu ve Zhang, 2007; Ma ve Pu, 2011; Levy, 1994; Ma ve Feng, 2008; Hwarng ve Xie, 2008
Ürün tasarımı	Stapleton ve ark. 2006
Fiyat	Li ve Ma, 2014; Wu ve Zhang, 2007; Ma ve Feng, 2008
Kuyrukta bekleyen ürün/malzemeler	Kumara ve ark., 2003
Sevkiyat oranı	Wilding, 1998a
Hizmet düzeyi	Wilding, 1998a
Maliyet	Wilding, 1998a; Ma ve Pu, 2011
Kar maksimizasyonu	Agiza ve Elsadany, 2004
Planlama ve tahminleme	Levy, 1994
Sipariş ve sipariş politikaları	Wilding, 1998b; Hwarng ve Xie, 2008
Tedarik süresi	Hwarng ve Xie, 2008

Literatürde, tedarik zinciri içerisindeki belirsizlik nedenleri ile kaos teorisi açısından önemi üzerine yapılmış birçok çalışma mevcuttur (Ma and Feng, 2008). Bu çalışmalarda temel bulgu belirsizliğe sebep olan faktörlerin etkisi ile sistemde kaotik davranışlar görünmesi olmuştur. Tablo 2.1.'de bu çalışmalarda ele alınmış tedarik zincirinde kaotik davranışlara sebep olan parametreler verilmiştir.

Tablo 2.1.'de verilmiş olan parametrelerin sebep olduğu tedarik zincirinde meydana gelen kaotik davranışları inceleyebilmek için kullanılan grafik ve nicel yöntemler Tablo 2.2.'de özetlenmiştir. Bununla birlikte Hilborn çalışmasında (1994) dinamik davranışları incelemekte; güç spektrumu, çatallanma, faz uzayı ve zaman serisi grafikleri gibi görsel olarak daha kullanışlı olan grafik yöntem ile birlikte; fraktal ve kapasite boyutu, entropi, lyapunov üsteli gibi örneklenebilecek nicel yöntemlerin bulunduğunu da belirtmiştir. Tablo 2.2.'ye göre kaotik davranışların analizinde özellikle zaman serileri grafikleri, çatallanma diyagramı ve Lyapunov üsteli kullanılmaktadır.

Tablo 2.2. Literatürdeki çalışmalarda kaotik davranışların incelenmesinde kullanılan yöntemler (Açıkgöz ve Çağıl, 2019)

Yazar(lar)	Yayın Tarihi	Çatalanma Diyagramı	Lypunov Üsteli	Güç Spekturumu	İstatiksel Analiz	Kaotik Çeker	Zaman Serisi	Faz Diyagramı	Yanlış Yakın Komşu	Kolmogorov Entropisi
Horns, A.,	1989									x
Deshmukh	1993		x		x			x		
Beaumariage, T., Kempf, K.,	1994						x			
Feichtinger, G., Hommes, C.H., Herold, W.,	1994	x								
Thiel, D.,	1996	x					x			
Wilding	1997		x							
Jayanthi, S., Sinha, K.K.,	1998		x		x		x			
Wilding, R.D.a	1998		x		x	x	x		x	
Wilding, R.D.b	1998		x		x	x	x		x	
Larsen E.R., Morecroft J.D.W. ve Thomsen J.S.,	1999		x							
Katzorke I., Pikovsky, A.,	2000		x		x					
Charpentier P., Alfaro, M.,	2001	x		x	x					
Reyes	2002						x			
Schmitz, J.P.M., Beek, D.A. van, Rooda, J.E.	2002						x			
Kumara, S. R. T., Ranjan, P., Surana, A.,& Narayanan, V.	2003	x		x						
Chryssolouris, G., Giannelos, N., Papakostas, N., Mourtzis, D.	2004							x		
Agiza, H.N. ve Elsadany, A.A.	2004	x	x			x				
Bruzzzone A.G., Revetria R., Simeoni S., Viazzo S. ve Orsoni A.,	2004	x								
Alfaro, M.D., Sepulveda, J.M.	2006		x	x	x	x				
Wu Y. ve Zhang D.Z.,	2007		x							
Papakostas, N., Mourtzis, D.	2007	x	x							
Benaissa, K., Diep, D.ve Dolgui, A.	2008	x								
Bachlaus, M., Tiwari, M. K. ve Shankar, R.,	2008	x	x				x			
Grabinski, M.,	2008	x	x							
Ma J. ve Feng Y.,	2008	x	x							
Hwarng H.B. ve Xie N.	2008		x							
AnneK. R., Chedjou J.C. ve Kyamakya K.,	2009	x						x		
Bartholdi III, J.J., Eisenstein, D.D. ve Lim, Y.F.	2009		x				x			
Sun, Y. , Babovic, V., Chan, E.S.,	2010									x
J. Ma ve X. Pu	2011	x	x			x				
Ramírez ve Peña,	2011						x			
Guo Y. ve Ma J	2013	x		x						
Wang G. ve Ma J.	2013	x	x			x				

Tablo 2.2. (Devamı)

Yazar(lar)	Yayın Tarihi	Çatalanma Diyagramı	Lypunov Üsteli	Güç Spektrumu	İstatiksel Analiz	Kaotik Çeker	Zaman Serisi	Faz Diyagramı	Yanlış Yakın Komşu	Kolmogorov Entropisi
Macdonald J.R., Frommer I.D. ve Karaesmen I.Z.	2013	x					x			
Alfaro, M.D., Sepúlveda, J.M. ve Ulloa, J.A.	2013		x	x	x					
Ma J., Chen B.	2014	x	x	x						
Ma J. ve Wang H.	2014	x	x							
Li T. ve Ma J.	2014	x								
Dong M.A.	2014	x	x	x	x					
Hwarng H.B. ve Yuan X.	2014		x							
Ma J., Li, Q	2014	x	x	x		x				
Sajid, M., Almufadi, F. ve Jahanzaib, M., Göksu A., Kocamaz U.E. ve Uyaroğlu Y., Junhai Ma , Fang Zhang	2015		x				x	x		
Wandong Lou 1, Junhai Ma ve Xueli Zhan	2015	x	x			x				
	2016	x	x			x				
Junhai Ma and Fengshan Si	2016	x	x	x		x				
Zhihui Han 1, Junhai Ma , Fengshan Si ve Wenbo Ren	2016	x	x			x	x			
Junhai Ma , Lei Xie	2017	x	x				x			
Junhai Ma ve Wandong Lou	2017	x	x				x			
Junhai Ma , Hao Ren , Miao Yu ve Meihong Zhu	2018	x	x			x				x
Hamid Norouzi Nav, Mohammad Reza Jahed Motlagh ve Ahmad Makui	2018		x				x	x		
Jianwei Chang1 ve Liuwei Zhao	2018	x	x							
Gültekin Çağıl ve Neslihan Açıkgöz	2018						x	x		

Bir tedarik zinciri sistemindeki karmaşık davranışları kaos kuramı bakış açısı ile ele alarak incileyen az sayıda çalışma yapılmış olmakla birlikte Tablo 2.3.'te bu çalışmalar içeriklerine göre gruplandırılmıştır.

Tedarik zincirinin sahip olduğu karmaşık yapı, içerdiği halkaların sayısı, bu halkalar arasındaki varlık ve bilginin akışı ve bunların tamamını etkileyen faktörler nedeni ile oluşmaktadır. Tedarik zincirinin içinde barındırdığı doğrusal olmayan ve öngörülemez faktörler sebebi ile davranışları tam anlamıyla kestirilemez. Birbirleri ile etkileşim içerisindeki tüm tedarik zinciri bileşenleri zamana göre değişir ki bu

tedarik zincirinin dinamik bir sistem olmasını sağlar. Bununla birlikte kaotik sistemlerin ortak özelliği olan davranışlardaki öngörülemez olma durumuna karşın çok az sayıdaki çalışma yalnızca kısa süreli tahminler yapılabileceği üzerinde durmaktadır.

Tablo 2.3. Literatürde bir tedarik zinciri sistemindeki karmaşık davranışları kaos kuramı bakış açısı ile ele alarak inceleyen çalışmalar (Açıkgöz ve Çağıl, 2019)

Grup no	Grup adı	Referans makale ve tezler
1	Bir tedarik zinciri yönetim metodolojisi olarak kaos teorisinin kullanılması	Bruzzone A.G., Revetria R., Simeoni S., Viazzo S. ve Orsoni A.,(2004); Reyes (2002)
2	Talep tahmini, stok yönetimi, ürün tasarımı gibi zincirin tamamını etkileyen temel fonksiyonlardaki karmaşıklığın kaos bakış açısı ile yorumlanması ve anlamlandırılması	Wilding, R. D., (1998b); Wilding, R.D. (1998a); Grabinski, (2008); Stapleton et al., (2006); Levy,(1994); Hwang and Xie, (2008); Guo Y. ve Ma J., (2013); Wang G. and Ma J., (2013); Wildings(1997) ; Macdonald J.R., Frommer I.D. ve Karaesmen I.Z.,(2013); Drew, S., Joe, B. H., & Jonathan, R. R. (2006)
3	Farklı şekilde modellenmiş tedarik zinciri sisteminin dinamik davranışlarının incelenmesi	Kumara, S. R. T., Ranjan, P., Surana, A., & Narayanan, V. (2003); Wu Y. ve Zhang D.Z., (2007); Ma J. ve Feng Y., (2008); Dong M.A.,(2014); Larsen E.R., Morecroft J.D.W. ve Thomsen J.S., (1999); Agiza, H.N., Elsadany, A.A. (2004); J. Ma, X. Pu (2011); Hwang H.B. ve Xie N., (2008); Anne K. R., Chedjou J.C. ve Kyamakya K.,(2009); Ramirez ve Peña,(2011); Hwang H.B. ve Yuan X., (2014); Li T. ve Ma J., (2014); Ma J. ve Wang H., (2014)
4	Tedarik zinciri yönetimi sistemi kaos senkronizasyonunun ve kontrolünün araştırılması	Tirandaz H., Aminabadi S. S., Tavakoli H., (2017); Göksu A., Kocamaz U.E. ve Uyaroğlu Y., (2015); Kocamaz U.E., Taşkın H. , Uyaroğlu Y., Göksu A., (2016); Z. Lei, Y. Li and Y. Xu, (2006)

Kaosun vazgeçilmezi doğrusal olmama durumu ise tedarik zinciri içerisinde de kendini göstermektedir. Bu konuda Grabinski (2008) maliyet optimizasyonu denklemleri ile eğer-sonra kararlarının doğrusal olmadığını savunmaktadır. Hwang ve Xie (2008) ise sistemde karar vermenin kaotik bir davranış olduğu konusuna katılmakla birlikte sipariş politikalarının da kaotik davranışlarda etkili olduğunu vurgulamıştır. Wilding'e göre (1998b) 4 aşamalı bir tedarik zinciri içerisinde siparişler ve envanter miktarları kaotik özelliktedir. Wilding bir başka çalışmasında (1998a) maliyet ile hizmet düzeyi arasında doğrusal olmayan artan bir eğri ile ifade edilebilecek bir ilişki olduğunu belirtmiş, envanter seviyesinin sevkiyat oranını etkileyerek dolaylı olarak hizmet düzeyini etkileyeceğini göstermiştir.

Firmalar talep tahminindeki değişkenlikle başa çıkabilmek için stratejik derecede önemli olan planlama fonksiyonu üzerinde özellikle durmaktadırlar. Müşteri satınalma kararı verirken kendi açısından birtakım faktörlerin etkisindedir. Bu subjektif etkiler talebi belirsiz ve kestirilemez yapar. Karmaşıklık da tam olarak, her bir müşterinin karar verme sürecinin belirlenmesindeki zorluklarla başlar. Bunu müşteri sayınız ile orantılı olarak birbirine benzemeyen karar süreçlerini öngörmeye çalışmak ve talep planlaması yapmakla karmaşıklık daha da artar (Stapleton et al., 2006). Kaotik sistemler faz protrelerinde görselleştirildiği gibi aynı noktayı ikinci kez kesmeyen bir yapıdadır. Bu durumda kısa süreli tahminler yapılabilir de uzun süreli tahminlerden söz edilemez. Levy (1994) çalışmasında talepteki belirsizliğin zamanla kaotik davranış gösterdiğini vurgulamıştır.

2.1. Kaos Teorisini Bir Tedarik Zinciri Yönetim Metodolojisi Olarak Kullanan Çalışmalar

Bruzzone ve arkadaşlarına göre (2004) lojistik ve sanayi üretiminde yöneticiler, performansları geliştirmek ve maliyetleri azaltmak için stokastik olayların etkisi ile ilgilenmek zorundadır. Bu araştırmanın temelinde, kritik sonuçlardan kaçınmak veya azaltmak amacıyla, endüstriyel işlemlerde kaotik kaynakları belirlemek için bir benzetim tabanlı metodoloji geliştirilmiştir. Metodoloji, problemin ortaya konmasından başlayarak ve kaotik davranışlara sebep olan risklerin belirlenmesi ve bunların etkilerini analiz etmeyi içerir. Çalışmada sistemin kontrol edilemez durumlarını ortaya koymak için kaos kuramının kullanılabilmesi belirtilmiştir. Problem tanımlama ve risk değerlendirme ile bir acil durum planı tahmini yapılmıştır. Bu çalışmada yazarlar, dağıtık kimyasal işleme lojistiği ile ilgili bir üretim sorunu ele alan gerçek bir sanayi örneği için metodolojiyi göstermektedirler.

Reyes (2002)'in çalışmasının temel amacı ise bir küçük marketin tedarik zincirinde ürün çoğalması ve ürün ikamesi etkilerini modellemektir. Çalışmada, tedarik zincirinde iyileştirmeler için bir metodoloji olarak kaos teorisi tartışılmıştır. Çalışma dört aşamaya ayrılmaktadır. İlk aşamada müşterinin satın alma davranışından

kaynaklanan ürünü ikamesi ve ürün çoğalması etkilerini dikkate alarak teorik elde edilen talep fonksiyonu geliştirilmiştir. İkinci aşamada elde edilen talep fonksiyonunu içeren bir raf alanı tahsisi modeli formüle edilmiştir. Üçüncü aşama bakkal perakende mağaza envanter kontrol politikaları incelenmiş ve ürünün ikamesi ve ürün geçiş potansiyel etkilerini dahil ederek yeni sipariş noktası modelleri önerilmiştir. Son olarak, dördüncü aşama tedarik zinciri üzerinde stok politikalarının etkilerinin kavramsal bir tartışması sunulmuştur. Çalışmada küçük bir marketteki tedarik zincirinin başlangıç koşullarına karşı hassasiyet gösterdiğinde deterministik kaos bulunabileceği tartışılmıştır.

2.2. Tedarik Zincirinin Tamamını Etkileyen Temel Fonksiyonlardaki Karmaşıklık Kaotik Bakış Açısı ile Ele Alan Çalışmalar

Wilding çalışmasında (Wilding, 1998a) 1950'li yılların sonundan itibaren tedarik zincirleri içinde dahili olarak kullanılan sistemlerin, sipariş sisteme geçerken talep ve envanterlerde salınımlara yol açabileceğini fark etmiş ve belirsiz geç teslimatların sipariş iptallerine ve envantere artan bir bağımlılığa yol açabileceğini belirtmiştir. İşletmeleri oluşturulan dinamikleri stabilize etmekteki çabalarına rağmen, sanayi hala belirsizliği yüksek derecede yaşamaktadır. Belirsizliği geleneksel yaklaşımlarla azaltmadaki başarısızlık kısmen kaos teorisi ile açıklanabilir. Çalışmada deterministik kaos tanımlanmıştır ve kaotik sistemlerin bazı temel özelliklerini sergileyen tedarik zincirleri açıklanmıştır. Bu temel özellikler kaos başlangıç koşullarına duyarlılık göstermesi, “kararlılık adaları (Islands of Stability)”nın varlığı ve desen oluşturmasıdır. Bu özelliklerin yönetim ve tedarik zinciri tasarımı için etkileri kısaca tartışılmıştır. Kaos kuramında kesin bir kural vardır; dinamiklerini düzenleyen rastgele terimleri yoktur, Kaos deterministiktir, içlerinde şans unsurunun bulunmadığı sabit kurallar tarafından oluşturulur. Deterministik kaos terimi buradan gelir. Teorik olarak, sistem tahmin edilebilirdir fakat pratikte birçok nedenin doğrusal olmayan etkileri sistemi daha az öngörülebilir hale getirir.

Grabinski (2008), kaosun temel özelliklerinden kelebeğin kanat etkisini, forklift sürücüsünün kahvaltayı bitirme zamanındaki ağırlığının tedarik zincirinin tamamına

etki etmesi şeklinde örneklendirmiştir. Bu nedenle aynı hava tahminlerinde olduğu gibi, tedarik zinciri yönetiminde de en azından uzun süreli tahminlerin mümkün olmayacağını savunmaktadır. Bundan dolayı işletmeler tedarik zincirini yönetebilmeleri için kaos teorisinden faydalanmaları gerektiğini belirtmektedir.

Wu ve Zhang (2007) çalışmalarında üç katmanlı tedarik zinciri sisteminde müşteriler ve tedarikçiler arasındaki etkileşimin benzetim modeli sunulmuştur. Yapılan çalışmanın amacı, tedarikçi ile müşteri arasındaki etkileşimin tedarik zinciri davranışı üzerine etkisini göstermektir. Benzetim modeline göre, “müşteriler tedarikçi tarafından yapılan fiyat indirimi teklifine cevap verir ve tedarikçi tutulan stoğa göre fiyat ayarı yapar” kuralı mevcuttur. Çalışma, bir perakendeci, imalatçı ve müşterilerden oluşan üç aşamalı bir müşteri-tedarikçi sistemi üzerine inşa edilmiştir. Müşteriler perakendeciden ürün satın alır, müşterilerinin talebi perakendeci tarafından sunulan fiyata bağlıdır, perakendeci önceki satışa dayalı talep tahmini yapar ve buna bağlı olarak üreticiye yeni bir sipariş verir, üretici perakendecinin siparişi kadar üretir, ancak, üretici kapasitesini aşan miktar ile sipariş kabul etmez. Fiyat indiriminde müşteri ile tedarikçi arasındaki etkileşimin bir modeli ile benzetim sonucunda, sistemin davranışı ve sistemin kısıtları dikkate alınarak hem doğrusal olmayan hem de doğrusal talepte deterministik kaos sergilediği görülmüştür. Kaotik davranışın talep-indirim fonksiyonu doğrusal görünüyor olsun ya da olmasın var olduğu bulunmuştur ve böylece sınırlamalar veya kısıtların kaotik davranış sergilemekte önemli bir rol oynadığı sonucuna varılmıştır. Modelin çekicileri çevre ve başlangıç durumları ile hareket ettiği bulunmuştur.

Guo ve Ma (2013) makalelerinde üretici ve bir perakendeci ile kapalı-döngü tedarik zinciri sistemi için fiyat tabanlı bir oyun modeli kurulmuştur. İşletmelerin karar verme temeli olarak marjinal fayda maksimizasyonunu hedeflediği varsayılmıştır. Sayısal benzetim ile çatallanma, kaos ve sürekli güç spektrumu gibi karmaşık dinamik olaylar analiz edilmiştir. Son olarak, sistem parametrelerinin etkileri analiz edilmiş ve bununla ekonomi perspektifinden karmaşık doğrusal olmayan dinamikler davranışı açıklanmıştır.

2.3. Matematiksel Modellenmiş Tedarik Zinciri Sistemlerinin Dinamik Davranışlarını İnceleyen Çalışmalar

Ma ve Wang (2014) çalışmalarında, bir üretici ve bir perakendeciden oluşan ürün geri kazanımı, bir kapalı döngü tedarik zincirini ele almışlardır. Perakendeci ürünün geri toplanmasından sorumlu ve üretici ürün geri kazanımından sorumludur. Farklı karar kriterlerine göre oyun modelleri geliştirilmiştir. Çatallanma, kaos ve başlangıç değerlerine hassasiyeti gibi dinamik olaylar, çatallanma diyagramları ve en büyük Lyapunov üsteli (LLE) aracılığıyla analiz edilmiştir.

Li ve Ma (2014) diğer çalışmaların yaptığından farklı olarak hem ağ kanalında hem de geleneksel kanalda fiyat kararını veren çift kanallı perakendeciye ele almıştır. Modelde denge noktalarının yerel kararlılığı incelenmiş, dinamik davranışları ve özellikleri tanımlamak için sayısal benzetim yapılmıştır. Çalışmada, fiyat kararı veren çift kanallı perakendeci dikkate alınarak dinamik sistemin çatallanma teorisi kullanılmıştır. Sonuçta, kaos ortaya çıktığında, bu sistemin istikrarının kırıldığı bulunmuştur. Böylece düzensiz, anormal ve öngörülemez bir pazar oluşmaktadır. Ayrıca, fiyat kararı geleneksel kanal ile sistemi daha istikrarlı hale; ağ kanalında sistemi daha az kararlı hale getirmiştir. Pazar kaotik durumdayken, gecikme kararı kullanarak geleneksel ya da ağ kanallarının herhangi birinde sistem kararlılığı üzerinde bir etkisi olmaktadır.

Dong (2014), çalışmasında siparişe göre ve stoğa üretim şeklinde iki farklı üretim stratejisi altında iki tedarik zinciri modeli oluşturmuştur. Karmaşık bir sistem olarak tedarik zincirinin belirli koşullar altında çatallanma (bifurcation) ve Kaos gibi dinamik özelliği Lyapunov katsayısı, güç spectrumu (power spectrum) ve korelasyon boyutu hesaplanarak analiz edilmiştir. Tedarik zincirinde kamçı etkisinin sebepleri ve önlemleri Kaos teorisi ve başlangıç koşullarına bağımlılık özelliği vurgulanarak tartışılmıştır.

Agiza (2004), oyuncularını farklı stratejilere sahip doğrusal olmayan kesikli zamanlı düopol oyununun dinamiklerini incelenmiş, biri sınırlı rasyonel ve diğeri

uyarlanabilir beklenti ile düşünen farklı beklentilere sahip iki oyuncu düşünülmüş, dengenin kararlılık koşulları tartışılmış, oyunun dinamiklerinin model parametrelerine nasıl bağlı olduğu gösterilmiş, Kaotik özellikler Lyapunov üstleri, başlangıç koşullarına hassas bağımlılık ve fraktal boyut ile gösterilmiştir.

Kumara (2003) ise kuyruk modeli ve lojistiğe etkileri üzerinde durmuştur. Örnek bir Tedarik Zinciri ele alınmış ve davranışları incelenmiştir. Belirli giriş değerlerinde sistemin kaotik davranış sergilediği görülmüştür.

Ma ve Pu (2011), farklı beklentilere sahip firmalar ile karakterize edilmiş ikinci dereceden talep fonksiyonuna sahip bir pazarın olduğu ve firmanın toplam maliyet fonksiyonunu kullandığı üç satıcı ve çok alıcıya sahip üç boyutlu doğrusal olmayan fark denklemleri ile modellemişlerdir. Ayrıca sayısal benzetim ile üç satıcı ve çok alıcıya sahip (triopol) oyun modelinin parametrelerindeki değişimin kaotik davrandığını göstermişlerdir. Çalışmada sistemin, Lyapunov üstelleri çatallanma diyagramları ve fraktal boyutu gösterilmiştir.

Hwang ve Yuan (2014)'ün çalışmasının içeriğinde bir dağıtım modeli kurulmuş, zaman serisine kaos analizinin uygulanması durumunu incelenmiştir. Lyapunov üstelleri hesaplanmış ve grafiklendirilmiştir. Çalışmada, Yarı-kaos (quasi-chaos) kavramı üzerinde durulmuştur. Yarı-kaos, bilinmeyen ya da stokastik girdiden üretilen zaman serilerinde Lyapunov üstelleri tarafından sergilenen sayısal olarak kaos benzeri davranışlar olarak tanımlanmıştır. Benzetim kısmında, sistem dinamiklerinin kaos karakteristiklerinde talep türü, talep süreci ve tedarik zinciri düzeyinde verimli etkileri araştırmak için farklı senaryolar geliştirilmiştir. Sonuçta stokastik ve deterministik talep sürecinin iki kategorisi arasındaki kaos karakterizasyonunda net bir ayırım gösterdiği bulunmuştur. Aynı zamanda stokastik talep süreçleri ve doğrusal olmayan dinamikler arasındaki etkileşimin karmaşık olduğu vurgulanmıştır.

2.4. Tedarik Zinciri Yönetimi Sisteminde Kaotik Senkronizasyon ve Kontrolü ile İlgili Çalışmalar

Kocamaz ve ark. (2016) çalışmalarında Yapay Sinir Ağı tabanlı denetleyicilerle kaotik tedarik zincirinin denetimini ve Uyarlanabilir Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi tabanlı denetleyicilerle farklı başlangıç koşullarına sahip iki özdeş kaotik tedarik zincirinin senkronizasyonunu göstermişlerdir. Doğrusal geri besleme ve aktif kontrol sinyallerinin sırasıyla kontrol ve senkronizasyon elde etmek için kullanıldığı bir hibrit akıllı kontrol modeli tasarlanmıştır. Bu iki kontrolör modele göre eğitilmişlerdir.

Tirandaz ve ark. (2017), bir finans kaotik sisteminin davranışını özdeş veya özdeş olmayan senkronizasyonla senkronize etmek için doğrusal bir geri bildirim denetleyicisi tasarlamışlardır.

Göksu ve ark. (2016) çalışmalarında matematiksel modele dayalı olarak kaotik bir tedarik zinciri yönetim sisteminin senkronizasyonunu ve kontrolünü sunmaktadırlar. Bu amaçla, iki özdeş kaotik tedarik zinciri yönetim sisteminin senkronizasyonu için aktif kontrolörler uygulanmış, sistemin kontrolünü sağlamak için ise doğrusal geribildirim kontrolörleri tasarlanarak doğrusal olmayan tedarik zinciri yönetim sistemine eklenmiştir.

BÖLÜM 3. TEDARİK ZİNCİR MODELLERİNDE KAOTİK ANALİZ

3.1. Kaotik Tedarik Zinciri Modelleri ve Durum Değişkenlerinin İncelenmesi

Tedarik zinciri yönetiminin ana amacı çevrim zamanını azaltmak, müşteri tatminini artırmak, stok ve faaliyet maliyetlerini düşürmektir. Bu amaçları gerçekleştirmek için sistem optimizasyonu ve kontrolünün sağlanması gereklidir ki bunun temelinde öncelikle sistemi modellemek yatar. Tedarik zincirini modellemede çeşitli alternatif metotlar önerilmiştir (Sarimveis ve ark., 2008). Ekonomik oyun-teorik model (Agiza, 2004), deterministik dinamik model (Kumara, 2003; Blanchini, 2001; Blanchini, 1997; Das ve Abdel-Malek, 2003; Lin et al., 2004; Simon, 1952; Towill, 1982; Vassian, 1955), stokastik model (Gallego ve van Ryzin, 1994) doğrusal olmayan dinamik model (Zhang ve ark., 2006; , Anne ve ark., 2009 ; Dong, 2014; Mondal, 2019), benzetim modeli (Wu ve Zhang,2007; Larsen ve ark., 1999) örnek olarak verilebilir. Modelleri oluşturan karar değişkenleri talep miktarı ile üretim miktarı (Dong, 2014) olarak alınabildiği gibi; stok, fiyat ve talep (Wu ve Zhang, 2007) ya da talep, stok, üretim miktarı (Zhang ve ark., 2006; Anne ve ark., 2009; Mondal, 2019) olarak da alınmıştır. Tedarik zinciri modellemede ele alınan bu sistem dinamikleri ürün tipine göre, incelenen probleme göre, zincirin büyüklüğüne göre vb. değişiklik göstermektedir.

Tedarik zinciri, karmaşık, dinamik ve doğrusal olmayan bir sistem olarak ifade edilebilir (Yavuz, 2014). Yapısını oluşturan farklı elemanlar ve bu elemanlar arasındaki ilişkiler arttıkça karmaşıklığı artmaktadır. Yaşayan bir organizma olarak tanımlanabilirler, davranışlarındaki zamana bağlı değişim onların dinamik yapılarını ortaya koyar. Sistem içerisindeki talep gibi birtakım parametrelerdeki öngörülemezlik onları doğrusal olmayan bir yapıya dönüştürür. Tüm bu özellikler dikkate alındığında bir tedarik zincirinin davranışlarını incelemek için dinamik

sistemler teorisi kullanılabilir. Dinamik modelleme, belli bir zaman dilimi içerisinde sistemin davranışını ortaya koyamaya çalışan bir modelleme tekniği olarak açıklanabilir. Sistem matematiksel olarak diferansiyel denklemler yardımıyla modellenir.

Literatürde dinamik doğrusal olmayan tedarik zinciri modelleri aşağıda özetlenmiştir.

Model 1. İlk model Zhang ve ark. (2006)'a ait çalışmada yer almaktadır. Bu çalışmada, model 4 varsayım üzerine oturtulmuştur.

Varsayım 1: Talep bilgisi tedarik zinciri bağlantıları boyunca iletildiğinden, 1 birim gecikme olur. Yani, $(i+1)$ dönemi ile bağlantılı bilgi dağıtıcıları ve üreticileri, i 'inci dönemde müşterilerin veya distribütörlerin istediği şeydir. Bu arada, zaman gecikmesi bilgi bozulmasına neden olur.

Varsayım2: Cari dönemde ürünler için talep edilen x_i miktarı, önceki dönemde piyasa talebinin, $my_{i-1}-nx_{i-1}$, ne kadarının tatmin edildiği ile etkilenir. $my_{i-1}-nx_{i-1}$ ifadesinde, y_{i-1} , distribütörlerin bir önceki dönemde tedarik edebileceği miktardır (veya bir önceki dönemin envanteri olarak da alınabilir). m , distribütörlerin teslimat verimliliğidir. n , memnun müşteri talebi oranı olarak alınmıştır.

Varsayım3: Distribütörler, cari dönemdeki stok miktarlarına ürünlerin talep miktarları'ndan $(rx_{i-1}$ bozulmuştur) bozulma miktarı $(x_{i-1}z_{i-1})$ çıkarılarak karar verirler. Burada r , bozulma katsayısıdır.

Varsayım 4: Cari dönemde üretilen ürün miktarı z_i distribütörlerin verdiği sipariş $(x_{i-1}y_{i-1})$ ile üreticilerin güvenlik stoğunun (kz_{i-1}) toplamına bağlıdır. Burada k , güvenlik stoğu katsayısıdır.

Yukarıdaki varsayımlar altında önerilen model aşağıda verilmiştir:

$$\begin{aligned}
x_i &= my_{i-1} - nx_{i-1} \\
y_i &= rx_{i-1} - x_{i-1}z_{i-1} \\
z_i &= x_{i-1}y_{i-1} + kz_{i-1}
\end{aligned}
\tag{3.1}$$

Model 2. İkinci model M.A. DONG (2014)'un önerisidir. Bu modelin dayandığı hipotezler;

Hipotez 1: t+1 durumundaki ürünün satış hacmi, t aşamasında müşterinin sahipliği ve tüketim miktarına dayanmaktadır.

Satış hacminin artmasıyla ürünün pazar doygunluğu artmaktadır ve bu daha sonraki satışları yeniden hesaplatır.

$$X_{t+1} = ky_t \tag{3.2}$$

$$k = k_1 - k_2y_t \tag{3.3}$$

X_{t+1} : t+1 durumundaki talep miktarı ($X_{t+1} < 0$ ise müşterilerin reddetmesi veya bıkmaması olarak tanımlanır)

y_t : t durumunda sahip olma miktarı (t anındaki üretim miktarı)

k : potansiyel müşterilere, müşterilerin elinde bulundurma miktarlarının etki derecesini ifade eder

k_1 : ($k_1 > 0$) Pazar kapasitesi

k_2 : ($0 \leq k_2 \leq 1$) Pazar doyumu

Hipotez 2: Müşterilerin talep bilgilerinin satıcıdan üreticiye iletimi sırasında bir birimlik bir zaman gecikmesi vardır. Yani, t+1 aşamasında imalatçı tarafından ele alınan talep bilgisi, t. dönemdeki bilgidir. Gecikme bilgi bozulmasına neden olur. Tedarik zincirinin her bir düğümündeki karar vericiler genellikle aldığı talep bilgisini işler ve bir sonraki gecikme ve bozulma ile sonuçlandılar. Bu makul ise, matematiksel denklemi şu şekilde tanımlanabilir.

$$y_{t+1} = x_t - k_3 x_t \quad (3.4)$$

y_{t+1} : t+1 durumunda üretim miktarı ($y_{t+1} < 0$, müşterileri ürüne duyduğu bıkkınlıktan kaynaklanan sanal üretim miktarını yansıtır) bilginin gecikmesi nedeniyle ancak t evresindeki talep miktarına göre üretilebilir.

k_3 : Talep bilgisi gecikmesinden kaynaklanan bilgi bozulmasıdır. ($k_3 < 0$ ise üreticiler için talep miktarı büyümüş demektir. $k_3 \geq 0$ ise talep miktarı küçülmüş demektir.)

Üretim stratejisi olarak iki strateji ele alınmıştır. Stoğa Üretim, müşterinin talebine ve emniyet stoğuna göre üretim planını ve satınalma (tedarik) planının yapıldığı stratejiyi göstermektedir. Siparişe Üretim, doğrudan müşterinin talebine göre ve güvenlik stoğu dikkate alınmadan üretim stratejisidir.

Stoğa üretim altındaki tedarik zinciri modeli

$$\begin{aligned} X_{t+1} &= k_1 y_t + k_2 y_t^2 \\ Y_{t+1} &= (1 - k_3) x_t - k_4 y_t \end{aligned} \quad (3.5)$$

k_4 =güvenlik stoğu katsayısı

Siparişe üretim altında tedarik zinciri modeli

$$\begin{aligned} X_{t+1} &= k_1 y_t + k_2 y_t^2 \\ Y_{t+1} &= (1 - k_3) x_t \end{aligned} \quad (3.6)$$

Model 3. İncelenen üçüncü model Anne ve ark. (2009)'na aittir. Çalışmada, temel olarak, bilgi bozulmasını, perakendeci sipariş memnuniyetini ve güvenlik stoğunu kapsayan daha fazla karmaşıklık sergileyen doğrusal olmayan bir tedarik zinciri modeli oluşturmaya odaklanılmıştır. Çalışma varsayımları aşağıdaki şekilde verilmiştir:

Sipariş miktarı sadece ne kadar envanteriniz olduğuna değil aynı zamanda ne kadar para vermek istediğinize de bağlıdır. Satıcıdaki sipariş miktarı, önceki sipariş sırasında talebin karşılanma oranına bağlıdır. Dağıtıcının, diğerlerinin yanı sıra, alınan siparişlerde oluşabilecek bilgi bozulma oranını dikkate alması gerekir. Üreticinin, küçük üretim partilerini önlemek için güvenlik stoğu k 'yı belirlemesi gerekir. Perakendecinin cari zamandaki sipariş miktarı, distribütör ile lineer olarak birleştirilir ve önceki dönemde ne kadar talebin karşılandığından etkilenir. Distribütör, üretici ve perakendeci arasındaki bağımlılık doğrusal değildir. Aslında, distribütör siparişini vermeden önce perakendeci ve üreticinin kombine etkisini, yani ikinci dereceden etkiyi (quadratic coupling) dikkate alması gerekir. Bunun dışında distribütörün, satıcıdan alınan sipariş bilgilerinin bozulabileceğini de dikkate alması gerekir. Üretici biriminden gelen üretim miktarı tipik olarak distribütörün siparişlerine ve güvenlik stokuna bağlıdır. Bununla birlikte, distribütörün siparişleri yine perakendecinin siparişlerine bağlıdır, yani üreticinin üretim kararlarını vermeden önce perakendeci ve distribütörün birlikte etkisini dikkate alması gerekir. Bu varsayımlar altında önerilen model aşağıdaki şekildedir:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= my - (m + 1)x \\ \dot{y} &= rx - y - xz \\ \dot{z} &= xy + (k - 1)z\end{aligned}\tag{3.7}$$

Bu modelde; m : perakendecide müşteri talebi memnuniyeti oranı, r : perakendeci tarafından talep edilen ürünlerin bilgi bozulma oranı, k : üreticinin güvenlik stok katsayısı, x : perakendecinin cari dönemde talep ettiği ürün miktar, y : dağıtıcıların cari dönemde tedarik edebildiği ürün miktarı, z : siparişe bağlı cari dönemde üretilen ürün miktarını göstermektedir.

Çalışmada, piyasadaki davranışlar doğada doğrusal olmadığından dış kaynaklı bozulmaların doğrusal olmadığını düşündüklerinden modelini bu bozulmaları da ekleyerek aşağıdaki şekilde geliştirmiştir:

$$\dot{x} = \sigma(y - x) + d_1\tag{3.8}$$

$$\dot{y} = rx - y - xz + d_2$$

$$\dot{z} = xy + bz + d_3$$

Burada d_i ($i = 1, 2, 3$) dış sapmaları temsil etmektedir.

Model 4. Dördüncü incelenen model ise Sayantani Mondal (2019)'un önerisidir. Mondal, Zhang'ın modelindeki bir malın envanterinin talebine bağlı olduğu varsayımına karşılık, bunun tersini yani, bir mal talebinin envanterine bağlı olduğunu varsaymış ve modeli buna göre değiştirmiştir.

$$\dot{x} = \frac{my}{1 + ay} - nx$$

$$\dot{y} = rx - \frac{py}{1 + ay} - xz \quad (3.9)$$

$$\dot{z} = xy - kz$$

Burada a : stok artışı ile talebin doyma oranını, p : stokların talep değişikliklerinin etkisini göstermektedir.

3.2. Tedariz Zincirinde Kaotik Analiz

3.2.1. Denge noktaları

Bir denge noktası, zaman içinde sabit olan diferansiyel bir denklem çözümüdür.

Denklem (3.10) 'un denge noktaları aşağıdaki gibi bulunur:

$$10.1y - 10.1x = 0$$

$$28.2x - y - xz = 0$$

$$xy + (-8/3 - 1.3)z = 0$$

(3.10)

Denklem (3.10)' un çözümü aşağıdaki gibi üç denge noktasını verir:

$$E_1 = (-8.98, -8.98, 27.2)$$

$$E_2 = (8.98, 8.98, 27.2)$$

$$E_3 = (0, 0, 0)$$

En az bir özdeğerin gerçek kısmının pozitif olması kaosu varlığını gösterir.

3.2.2. Jakobian matrisi ve özdeğerler

Denklem (3.1)'un Jakobian matrisi x, y ve z yerine yukarıda bulduğumuz denge noktası $E_1 = (-8.98, -8.98, 27.2)$ değerleri konularak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$J_1 = \begin{bmatrix} -10,1 & 10,1 & 0 \\ 28,2 - z & -1 & -x \\ y & x & -89/30 \end{bmatrix}$$

$$J_1 = \begin{bmatrix} -10,1 & 10,1 & 0 \\ 28,2 - 27,2 & -1 & 8,98 \\ -8,98 & -8,98 & -89/30 \end{bmatrix}$$

Bu matristen elde edilen özdeğerler bilgisayar programı yardımıyla aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\lambda_1 = -14,1665$$

$$\lambda_2 = 0,0499 + 10,7230i$$

$$\lambda_3 = 0,0499 - 10,7230i$$

λ_1 'in negatif bir reel sayı olduğu, λ_2 ve λ_3 'ün ise pozitif gerçek kısımlara sahip karmaşık sayılar olduğu görülmektedir.

Denklem (3.1)'un Jakobian matrisi x, y ve z yerine yukarıda bulduğumuz denge noktası $E_2 = (8.98, 8.98, 27.2)$ değerleri konularak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$J_2 = \begin{bmatrix} -10,1 & 10,1 & 0 \\ 28,2 - z & -1 & -x \\ y & x & -89/30 \end{bmatrix}$$

$$J_2 = \begin{bmatrix} -10,1 & 10,1 & 0 \\ 28,2 - 27,2 & -1 & -8,98 \\ 8,98 & 8,98 & -89/30 \end{bmatrix}$$

$$|A - \lambda/3| = \begin{bmatrix} -10,1 - \lambda/3 & 10,1 & 0 \\ 28,2 - 27,2 & -1 - \lambda/3 & -8,98 \\ 8,98 & 8,98 & -\left(\frac{89}{30}\right) - \lambda/3 \end{bmatrix}$$

Bu matrizen elde edilen özdeğerler bilgisayar programı yardımıyla aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\lambda_1 = -14,1665$$

$$\lambda_2 = 0,0499 + 10,7230i$$

$$\lambda_3 = 0,0499 - 10,7230i$$

Benzer şekilde, λ_1 negatif bir gerçektektir. λ_2 ve λ_3 pozitif gerçektektir kısımlara sahip karmaşık sayılardır.

Denklem (3.1)'un Jakobian matrisi x , y ve z yerine yukarıda bulduğumuz denge noktası $E_3 = (0, 0, 0)$ değerleri konularak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$J_3 = \begin{bmatrix} -10,1 & 10,1 & 0 \\ 28,2 - z & -1 & -x \\ y & x & -89/30 \end{bmatrix}$$

$$J_3 = \begin{bmatrix} -10,1 & 10,1 & 0 \\ 28,2 - 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -89/30 \end{bmatrix}$$

Bu matristen elde edilen özdeğerler bilgisayar programı yardımıyla aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\lambda_1 = -23,0292$$

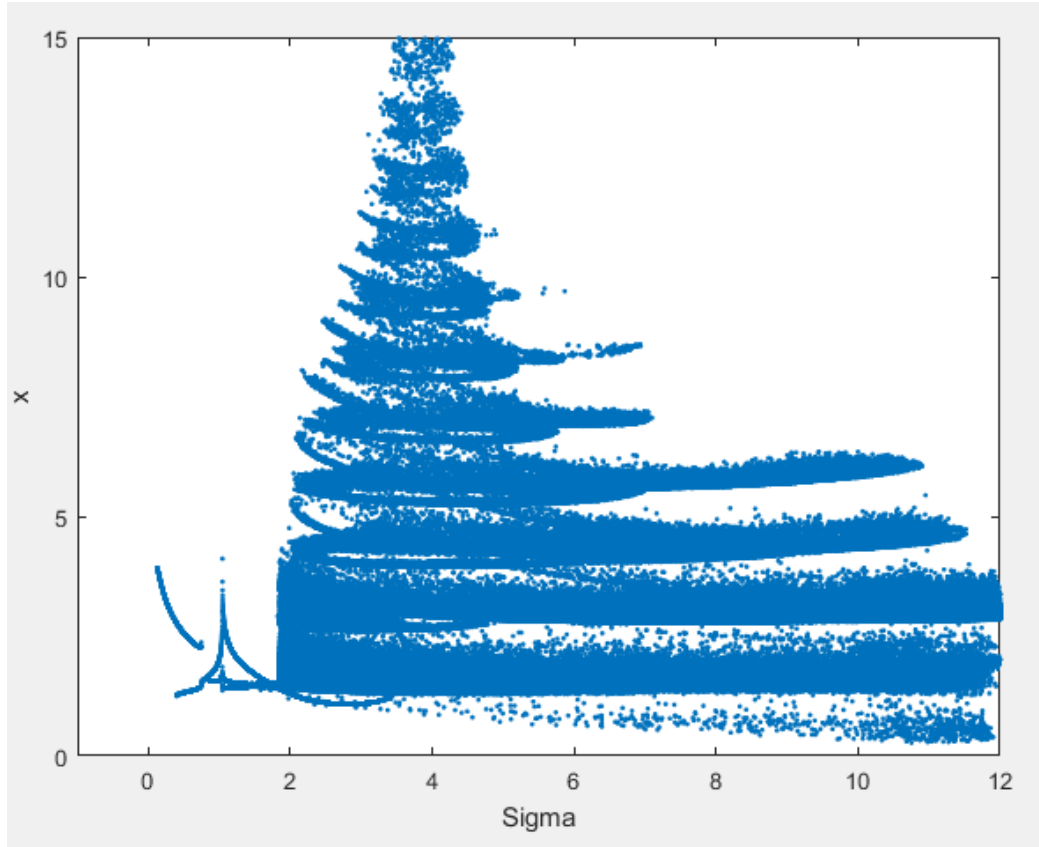
$$\lambda_2 = 11,9292$$

$$\lambda_3 = -2,9667$$

λ_1 ve λ_3 'ün negatif, λ_2 ise pozitif bir gerçek sayıdır.

3.2.3. Çatallanma diyagramları

Genel olarak, dinamik bir sistemde bir parametrenin değişmesi diferansiyel sistemi değiştirir. Bir denge kararsız hale gelebilir ve periyodik bir çözüm ortaya çıkabilir veya yeni bir kararlı denge görünebilir ve önceki dengeyi kararsız hale getirebilir. Bu değişikliklerin meydana geldiği parametrenin değeri "çatallanma değeri" olarak bilinir ve değişen parametre "çatallanma parametresi" olarak bilinir. Çatallanma diyagramı da bu parametrenin verilen aralığında aldığı değerlere karşın sistemin denge noktalarındaki değişimlerini göstermektedir.



Şekil 3.1. Tedarik zinciri sistemi çatallanma grafiği

Şekil 3.1.'deki çatallanma grafiği sigma parametresinin [0-12] aralığındaki 0,01 adım sayısı kullanılarak hesaplanan denge noktalarındaki değişimi göstermektedir.

3.2.4. Lyapunov üstelleri

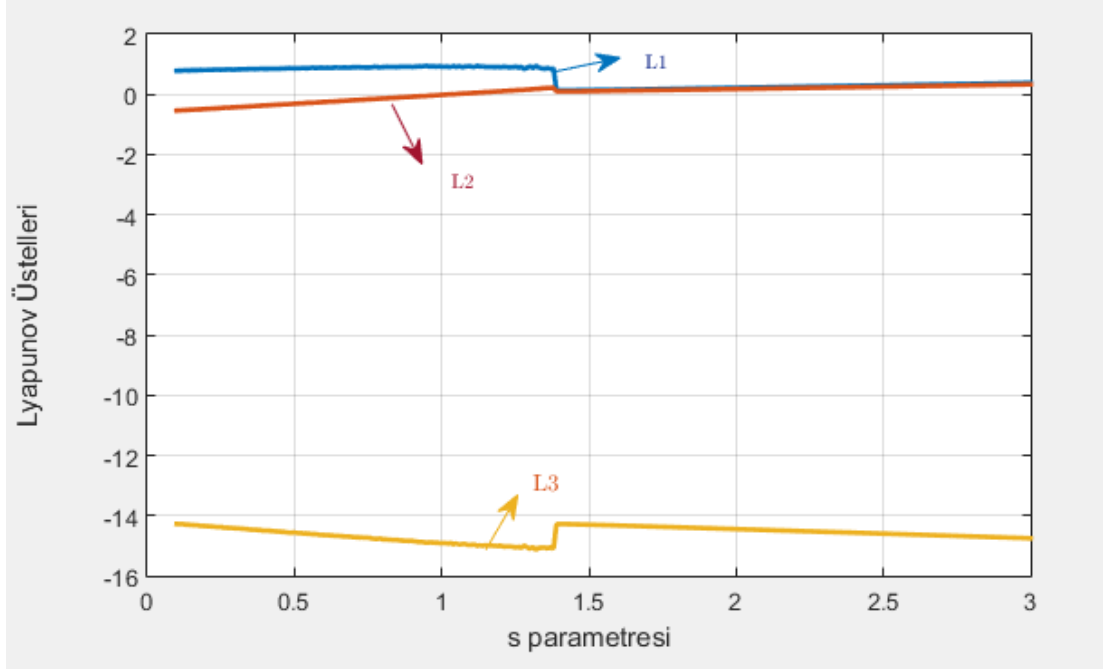
Lyapunov, sistemin kaotik bileşenler içerip içermediğini belirlemek için kullanılan bir matematiksel analiz yöntemidir. Üç boyutlu dinamik bir sistemde, üç Lyapunov üsteli vardır ve eğer bu üsteller pozitif, sıfır ve negatif değerlere sahipse, sistem kaotik davranış sergiler (Wolf ve Swift,1985).

Hesaplanan Lyapunov üstelleri ve grafiği aşağıda verilmiştir:

$$L_1=0,9121$$

$$L_2=0,003$$

$$L_3=-14,80$$



Şekil 3.2. Lyapunov Üstelleri Grafiği

Şekil 3.2.'de sarı, mavi ve kırmızı olarak gösterilen çizgiler Lyapunov üstelleridir. Buna göre, envanter durum denklemindeki y değişkeninin katsayısı s $[0,5-1,4]$ aralığında bir değer aldığı anda sistem kaotik davranış sergilemektedir.

Kaplan ve Yorke'nin (1979, 1983) araştırmalarının sonuçları, bilgi boyutunun Lyapunov üstelleri ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, bilgi boyutuna Kaplan-Yorke boyutu veya Lyapunov boyutu denir.

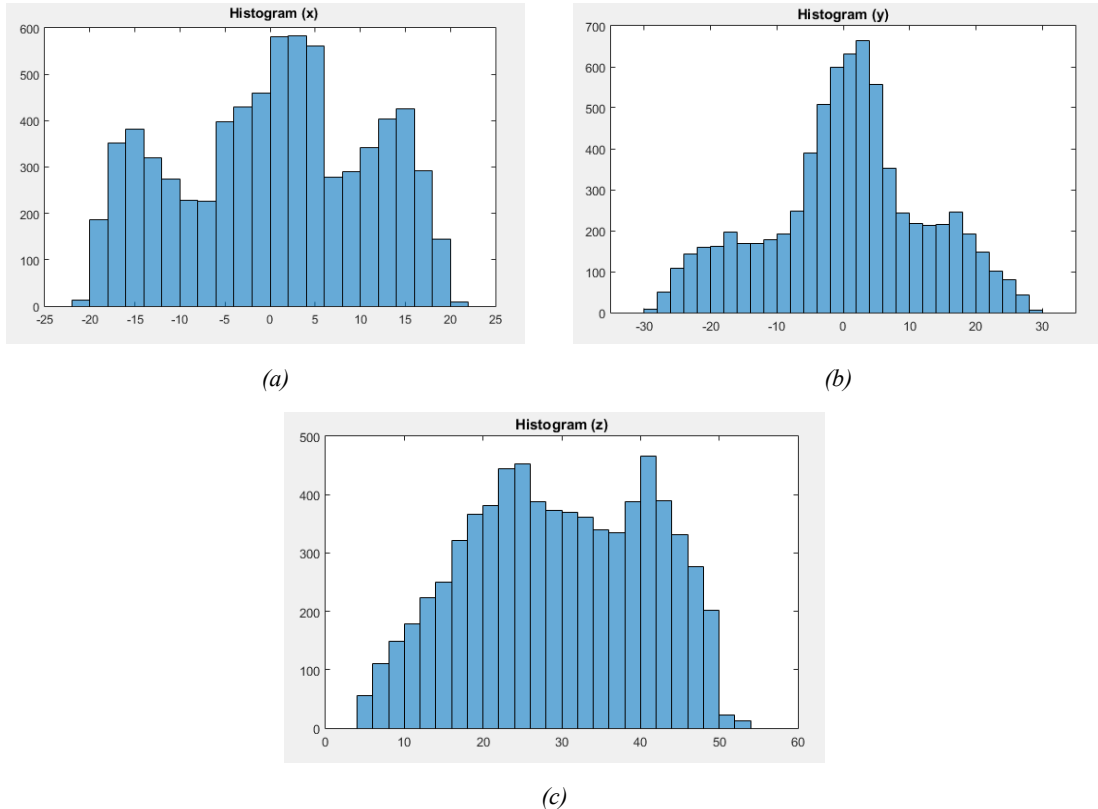
$$j + \frac{1}{|L_{j+1}|} \sum_{i=1}^j L_i = 2 + \frac{L_1 + L_2}{|L_3|} = 2 + \frac{0,9121 + 0}{|-14,80|} = 2,0616$$

Teoride olduğu gibi, Kaplan-Yorke kriterinin 2 ile 3 aralığında elde edilmesi sistemin kaotik davranış sergilediğini göstermektedir.

3.2.5. Durum değişkenlerinin geometrisi

Bu çalışmada, bir benzetim programı kullanılarak simüle edilen model sonuçları alınarak, kaotik davranış sergileyen sistemin x , y ve z durum değişkenlerinin geometrik yapısı histogram, otokorelasyon, spektral grafik ve faz diyagramları ile incelenmiştir.

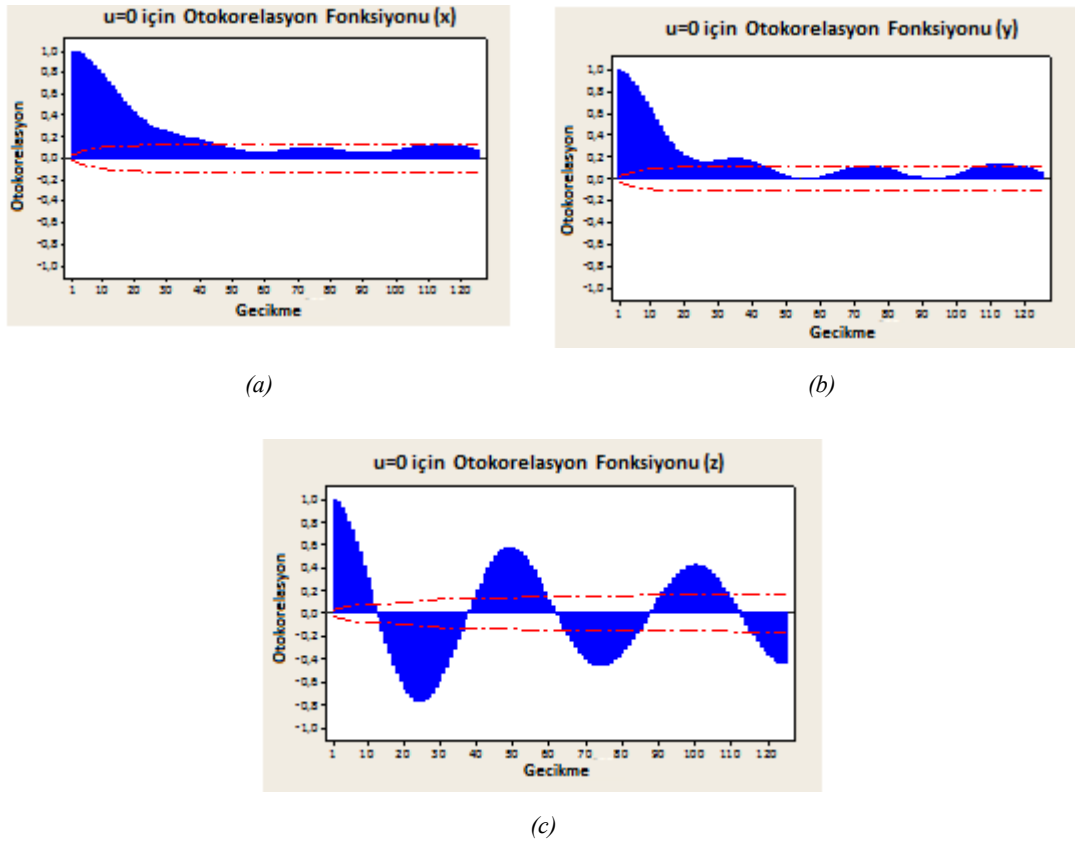
Şekil 3.3.'deki histogram grafiklerine göre x , y ve z benzetim değerlerinin farklı ortalamalarla simetrik dağılımlara sahip olduğu görülmektedir. Talep değişkeninin (x) değerlerinin çok modlu bir biçime sahip olduğu Şekil 3.3.a ile gösterilmiştir. Stok miktarı (y) değerlerinin normal dağılıma uygun bir yapıda olduğu, üretim miktarı (z) değerlerinin ise çift modlu olduğu görülmektedir.



Şekil 3.3. Kaos durumundaki (a) x değerlerinin (b) y değerlerinin (c) z değerlerinin histogram grafikleri

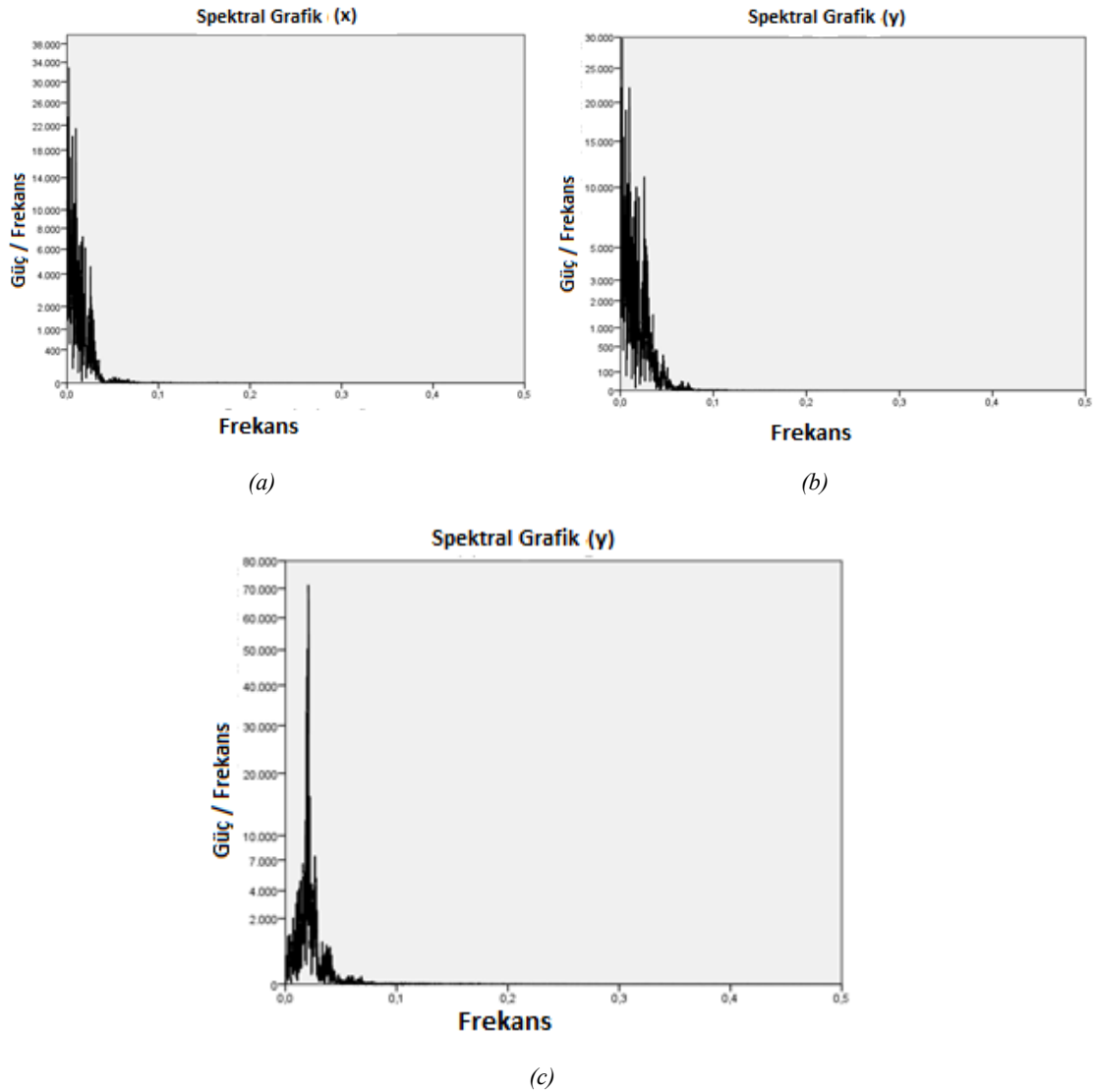
Otokorelasyon, zaman veya uzayda listelenen gözlem dizilerinin birimleri arasındaki ilişkidir. Benzetim modeli ile üretilen rastgele değişkenler için otokorelasyon değeri sıfır olmalıdır.

Şekil 3.4.'de x, y ve z durum değişkenlerinin ardışık değerleri arasında pozitif bir otokorelasyon olduğu görülmektedir. Otokorelasyonun varlığı, benzetim verilerinin ardışık değerleri arasındaki bağımlılığı gösterir. Bu nedenle, sistemin bir sonraki aşaması bir önceki aşamaya bağlıdır. Bu, sonraki envanter seviyesinin, önceki dönemin envanter seviyesiyle ilişkili olduğu anlamına gelir.



Şekil 3.4. Kaos durumunda (a) x değerlerinin, (b) y değerlerinin, (c) z değerlerinin otokorelasyon grafikleri

Serilerin baskın frekanslarını göstermek için kullanılan grafikler spektral grafikler ya da periodogramlar olarak isimlendirilir. Şekil 3.5.'e göre baskın tepe alanı "x" için 0 ile 0,025 arasında oluşur, "y" için 0 ile 0,04 arasında, kaos durumlarında "z" için 0,01 ile 0,03 arasındadır. Sistem kaosa yaklaştıkça baskın zirve (pik) sayısı artar.



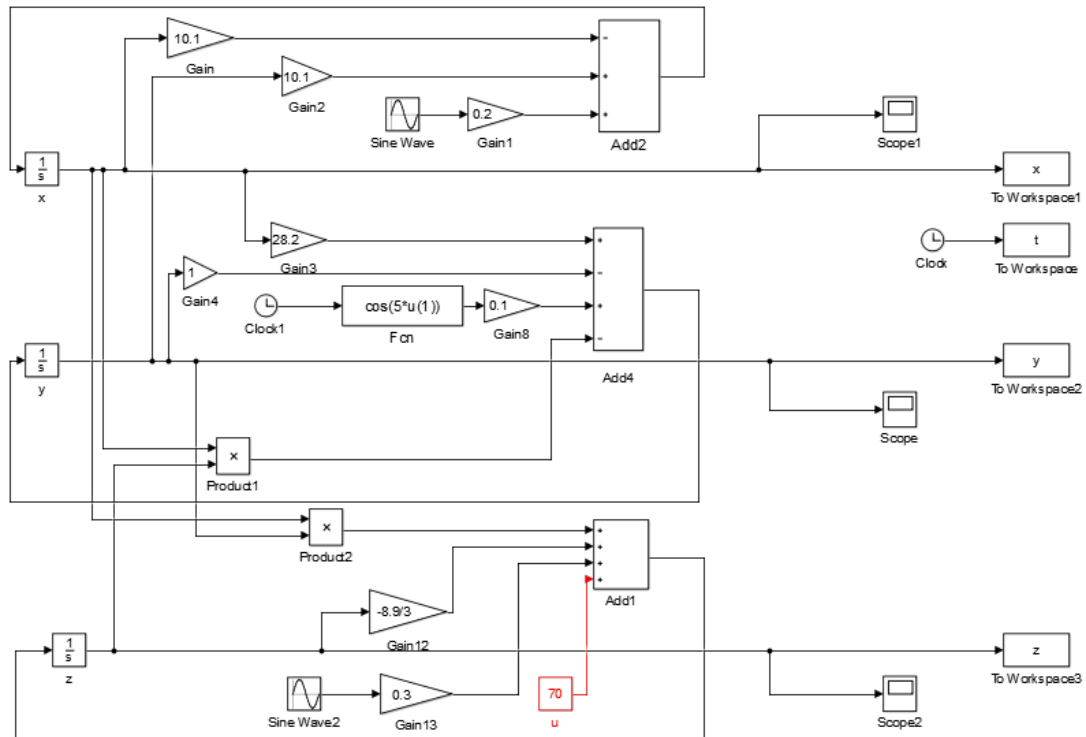
Şekil 3.5. Kaos durumunda (a) x değerlerinin, (b) y değerlerinin, (c) z değerlerinin spektral grafikleri

3.3. Doğrusal Kontrol Parametresi Kullanılarak Kaotik Tedarik Zincirinin Kararlılığının Sağlanması

Literatürde dinamik sistemlerin kontrolünde pasif kontrol, aktif kontrol ve geribildirim kontrolü gibi birçok farklı yöntem kullanılmıştır (Kocamaz ve ark., 2016; Kocamaz ve ark., 2017; Kocamaz ve ark., 2018; Gökçe ve Uyaroglu, 2017). Çalışmanın bu bölümünde, Davranış Değişim Düzeni (Forming Mechanism) şeklinde tanımladığımız doğrusal bir kontrol parametresi yardımıyla sistem kontrol edilmiştir.

Kontrol parametresi 'u' olarak alınmış olan sistemin matematiksel modeli denklem (3.11) ile verilmiştir.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= (m + \delta_m)y - (n + 1 + \delta_n)x + d_1 \\ \dot{y} &= (r + \delta_r)x - y - xz + d_2 \\ \dot{z} &= xy + (k - 1 - \delta_k)z + d_3 + u \end{aligned} \quad (3.11)$$

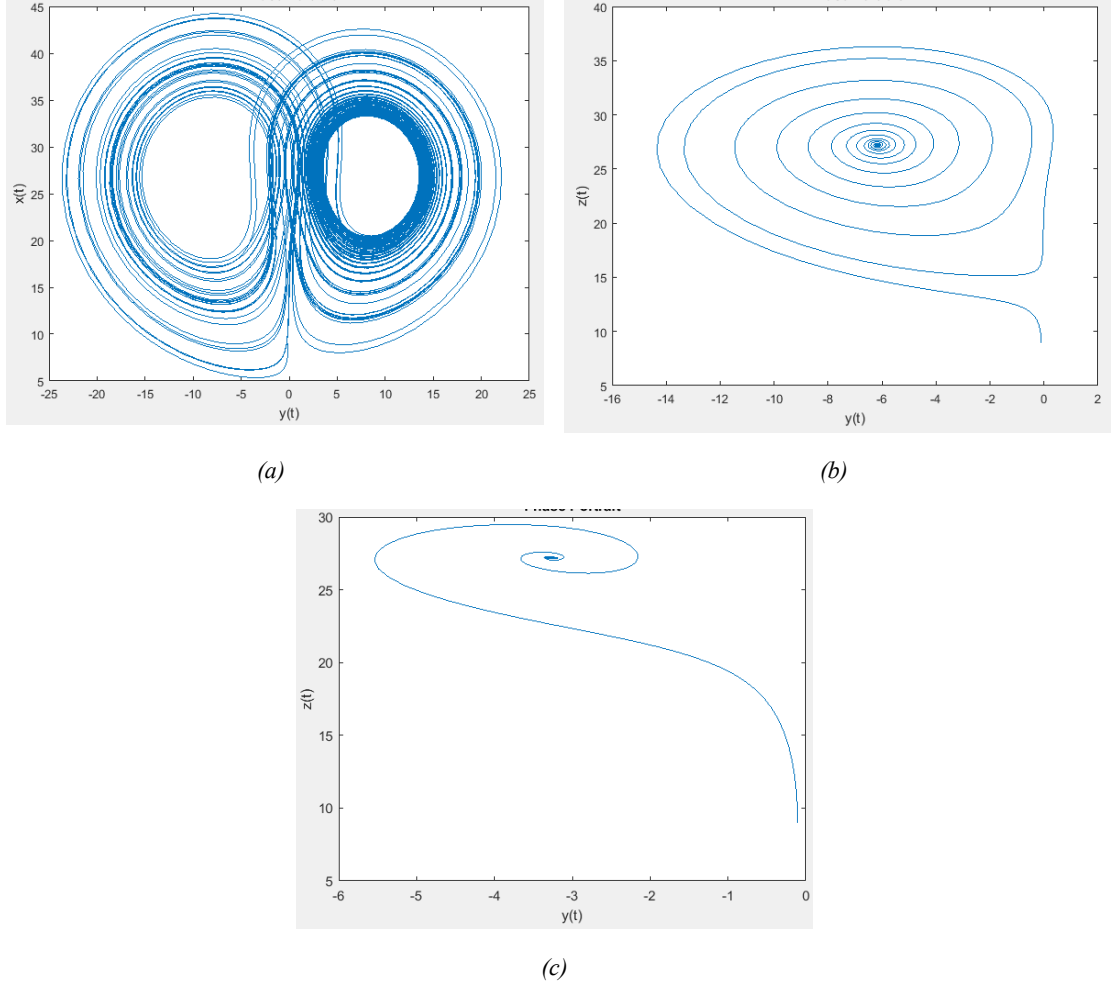


Şekil 3.6. u kontrol parametresi eklenmiş tedarik zinciri sisteminin benzetim modeli

Sistemin kaotik davranışı, "u" parametresinin farklı değerleri dikkate alınarak etkin bir şekilde kontrol edilmiştir. "Davranış Değişim Düzeni" uygulanmış tedarik zincirinin benzetim modeli Şekil 3.6.'da gösterilmektedir. Farklı u değerlerine göre sistemin benzetim programı ile elde edilen çözüm kümesi kullanılarak kaotik kararlı duruma geçişi Şekil 3.7.'deki faz portreleri ile göstermektedir. Şekil 3.7.'deki faz düzlemi aracılığıyla, sistemin dinamik davranışı aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

- $10 < u < 42,8$ Aralığında kaotik durum

- $42,8 \leq u \leq 70$ Aralığında asimptotik kararlı
- $70 < u$ için sistem sabit noktada kararlı

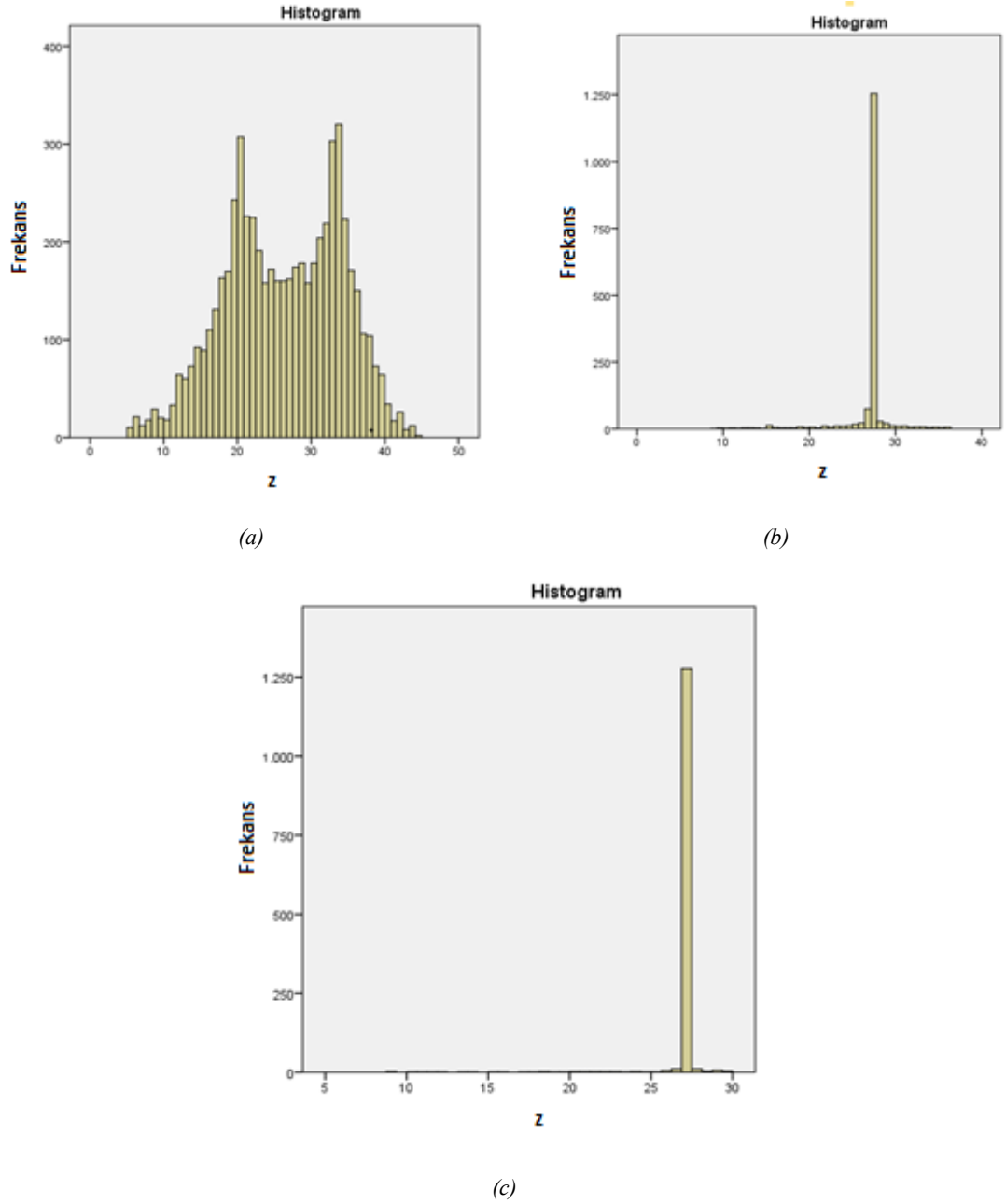


Şekil 3.7. (a) $u=10$ için (b) $u=42,8$ için ve (c) $u=70$ için y-z faz portleri

"u" kontrol parametresinin verilen değerleri birim başına değişimi göstermektedir. Bu değerlerdeki değişim ile sistemin kaotik durumdan kararlı durumuna geçtiği görülmektedir. Bu sonuca göre, u kontrol parametresinin kaos kontrolünde etkili olduğunu göstermiştir.

Şekil 3.8.'deki histogram grafikleri, z değişkeni örnek alınarak hazırlanmıştır ve sistemin kararlı hale geldiğinde z değerlerinin birbirine yaklaştığını gösterir. Kaotik durumda ise, $u = 10$ iken, histogramın bimodal olduğu yani iki moda sahip olduğu Şekil 3.8.a.'da görülmektedir. Şekil 3.8.b. ve Şekil 3.8.c.'de verilen histogramlara

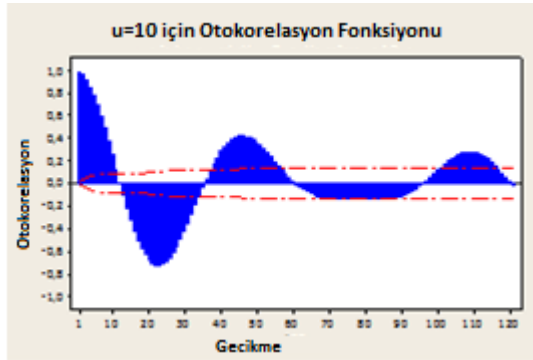
göre ise $u=70$ ve $u=42,8$ için seri sola çarpıktır ve z değerlerinin birbirine benzemeye başlayarak bu değerlere ait sıklığın arttığı anlaşılmaktadır.



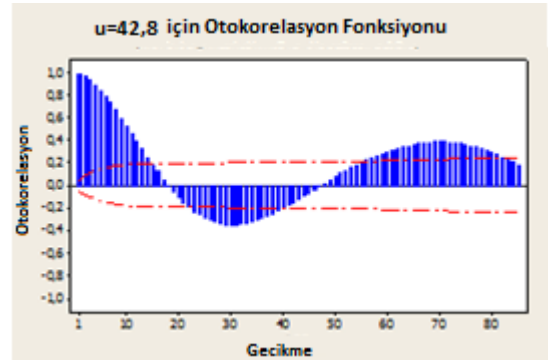
Şekil 3.8. (a) $u=10$ için (b) $u=42,8$ için ve (c) $u=70$ için z değişkenine ait histogram grafikleri

Şekil 3.9.'daki otokorelasyon fonksiyonları grafikleri, benzetim sonucunda elde edilen üretim miktarları (z) için bir istatistik programı kullanılarak oluşturulmuştur. otokorelasyon fonksiyonları grafiklerinde, kritik değerler, otokorelasyonun istatistiksel önemi $\alpha = 0,05$ için kırmızı çizgilerle verilmiştir.

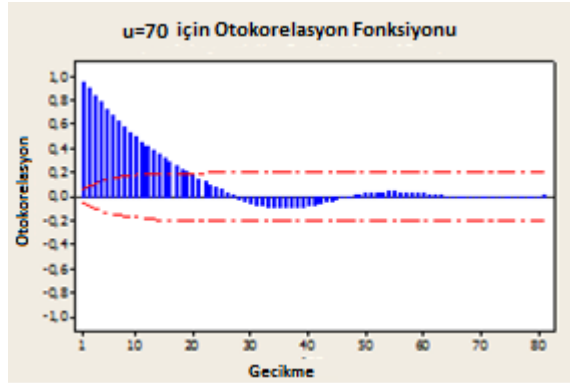
- $u = 10$ için (Şekil 3.9.a.) otokorelasyonun oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Ancak ikinci çevrimden sonra genlik azalma eğilimine geçmektedir.
- $u = 42,8$ için, frekans 30'a yükselmektedir. Artmış gecikme, düşük seviyeli bir periyodunu gösterir.
- $u = 70$ için, otokorelasyon üstel azalma ile 20'inci gecikmeden itibaren otokorelasyon ortadan kalktığı görülmektedir.



(a)



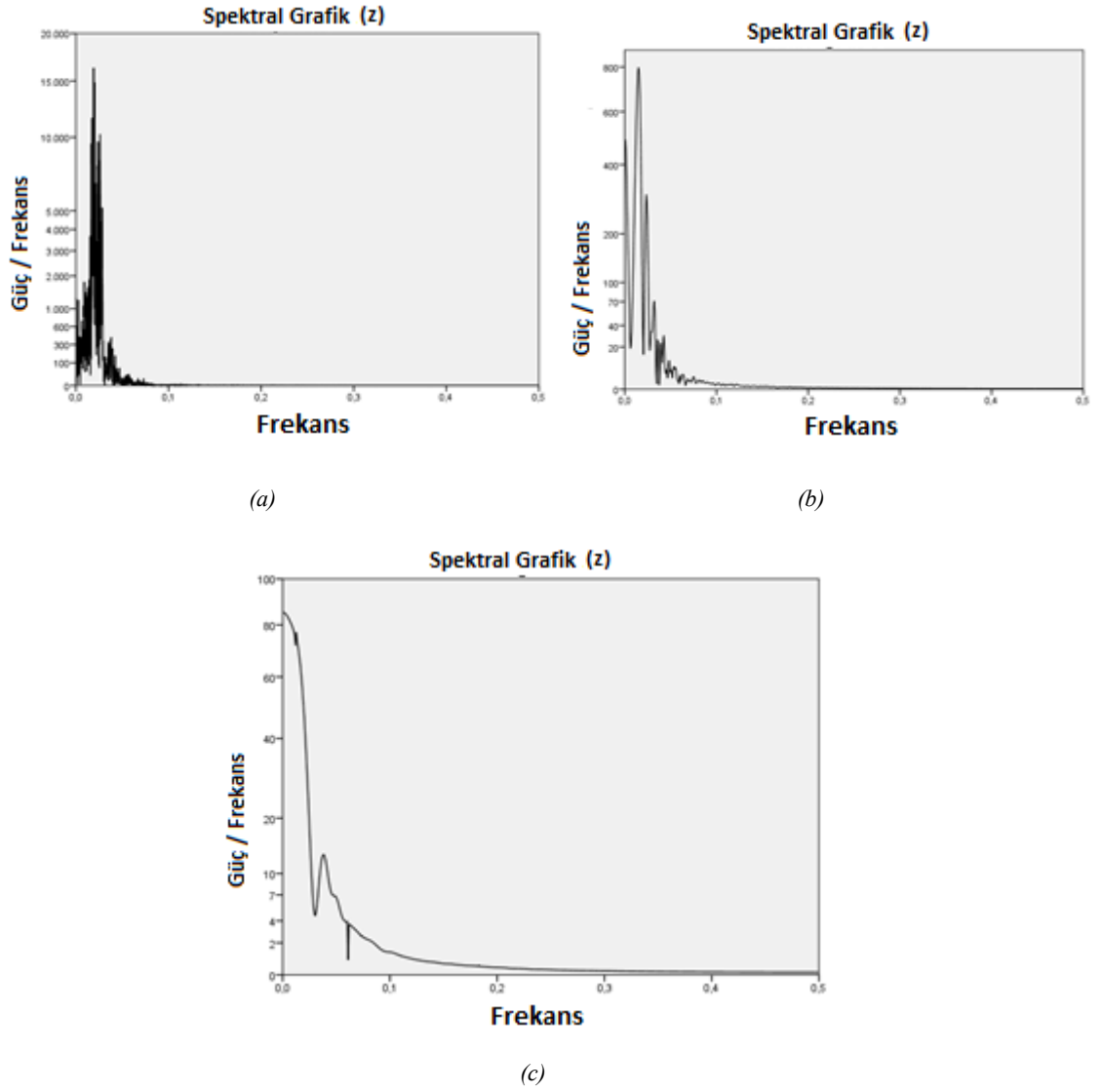
(b)



(c)

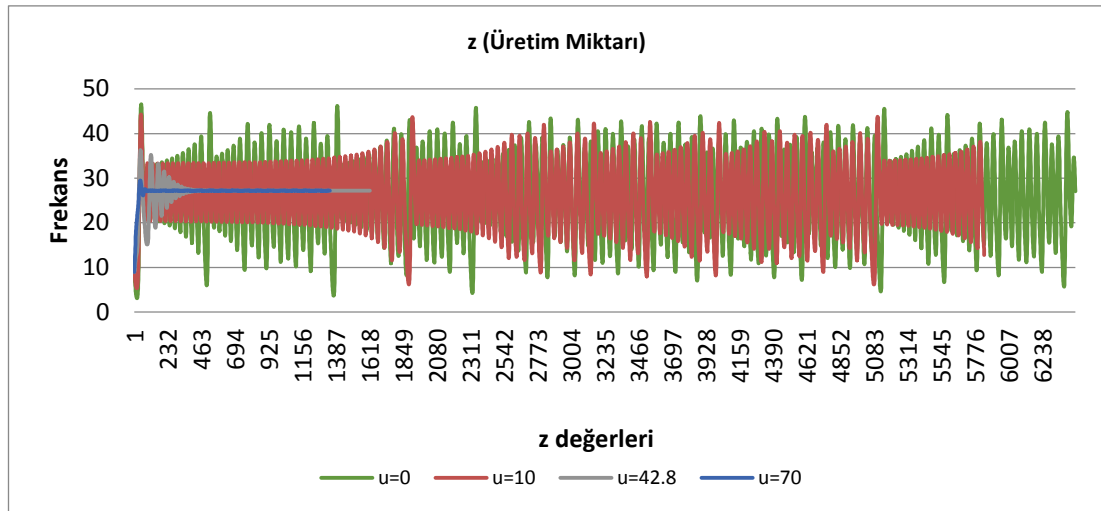
Şekil 3.9. (a) $u=10$ için (b) $u=42,8$ için ve (c) $u=70$ için z değişkenine ait otokorelasyon grafikleri

Benzetim sonuçlarından elde edilen z değişkeninin Şekil 3.10.'da gösterilen periodogram grafiklerinde, periyod katmanı arttıkça tepe noktaların frekans ve sayısının arttığı görülmektedir. Gleick (2005) tarafından da belirtildiği gibi spektrum grafiği, yeni periyod katmanları oldukça, birçok tepe noktası ile dolmaktadır.



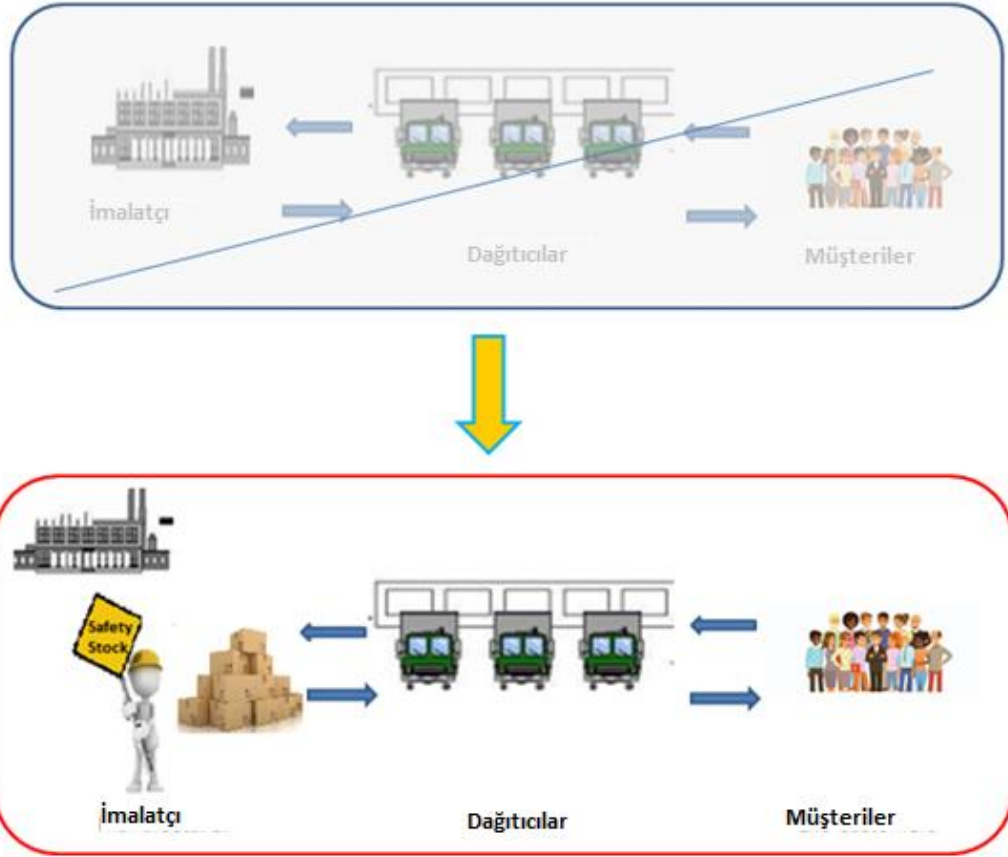
Şekil 3.10. z değişkeninin (a) $u=10$ için (b) $u=42,8$ için ve (c) $u=70$ için güç spektrum grafikleri

"u" kontrol parametresinin farklı değerleri için, üretim miktarı değerlerinin zamana bağlı değişimi Şekil 3.11.'de gösterilen bir çizgi grafikte sunulmuştur. Sistemin kaos durumundaki z değerleri yeşil renkte ve kararlı durumdaki z değerleri ise mavi çizgi ile gösterilir. Bu şekle göre u kontrol parametresinin etkisiyle üretim miktarındaki düzensiz formun yerini normal bir forma bıraktığı görülmektedir.



Şekil 3.11. z üretim miktarı değişkenine ait benzetim verilerinin 4 farklı durum ($u=0$, $u=10$, $u=42,8$ ve $u=70$) için zaman serileri grafiği

Sistemin kaotik davranışını ortadan kaldırmak ve üretim miktarını arttırmak için kullanılan u kontrol parametresi "emniyet stoğu" olarak belirlenmiştir. Çünkü ani talep artışlarında üretim miktarını artıran, işletmeler tarafından kontrol edilmesi gereken ve sistem esnekliği kabiliyetini büyük ölçüde etkileyen doğrusal bir parametredir. Bu bulgulara göre, üç kademeli tedarik zinciri ağı ilave güvenlik stoğu Şekil 3.12.'de gösterilmektedir.



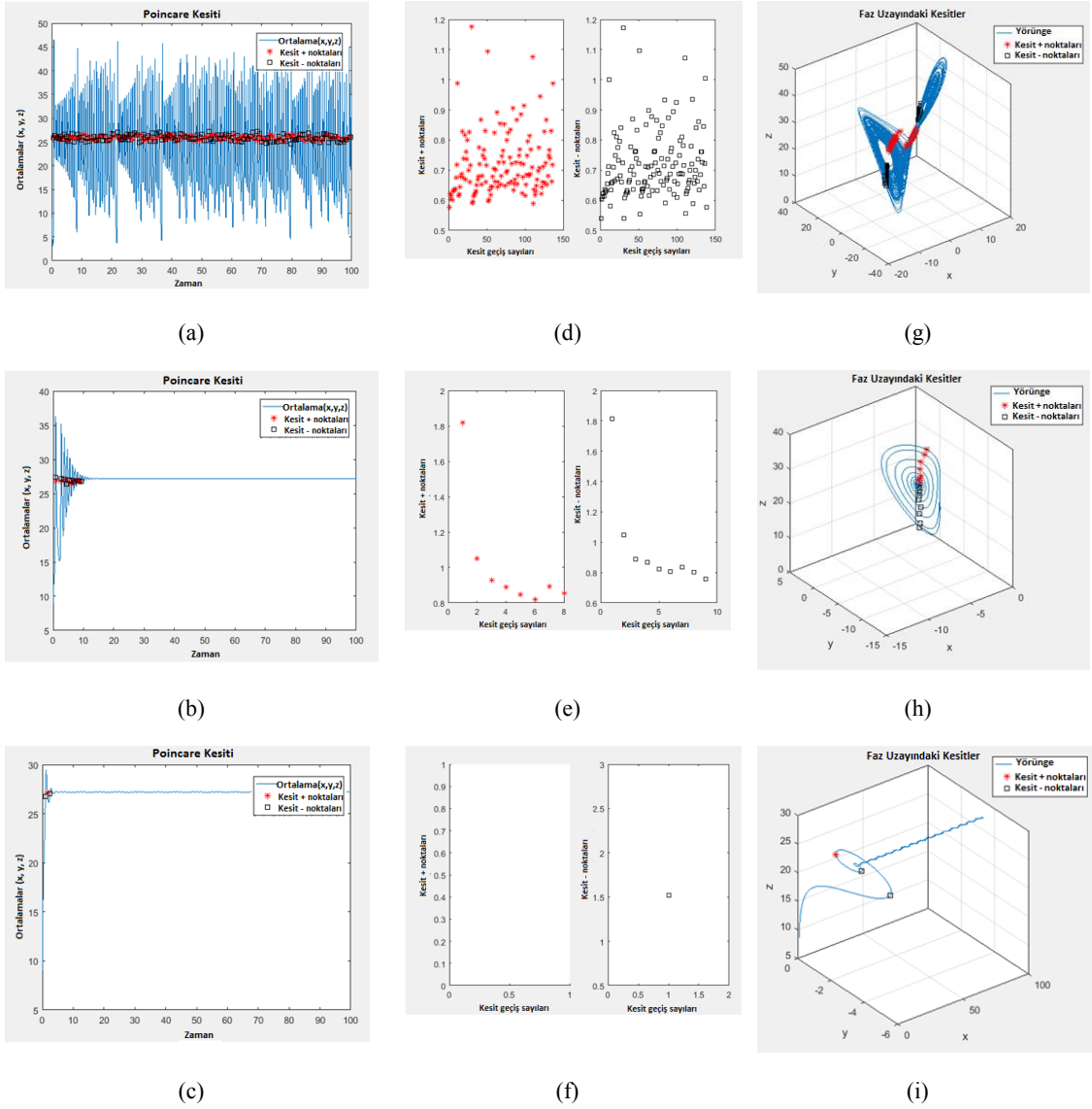
Şekil 3.12. Güvenlik stoğu eklenmiş 3 aşamalı bir tedarik zinciri ağı

3.4. Güvenlik Stoğu Etkisinin Poincare Kesiti ile Doğrulanması

Üç boyutlu durum alanı için Poincare kesiti, bir Poincare yüzeyi, yani iki boyutlu bir düzlem seçilerek ve belirli bir yörüngenin yüzeyden geçtiği noktaların kaydedilmesiyle oluşturulur. Üç boyutlu tedarik zinciri sisteminin dinamik davranışı, iki boyutlu bir Poincare kesiti aracılığıyla incelenmiştir (Şekil 3.13.g., Şekil 3.13.h., Şekil 3.13.i.).

Poincare tarafından daha yüksek boyutlu uzaylarda yörüngeleri incelemek için önerilen açıklama $g: P \rightarrow \dot{P}$ şeklindedir, burada x noktası $g(x)$ noktasına bağlanır. P düzlemi yörüngeleri geçerse ve x bir yörüngenin düzlemi bir yönde kestiği nokta ise, düzlemle ikinci kez kesişen bir sonraki nokta, $g(x)$ olarak tanımlanan birincinin görüntüsüdür. Bu şekilde, tam yörüngeler yerine uçtaki noktalar izlenir.

Yukarıdaki tanımlardan yola çıkarak Poincare kesiti, sistemde oluşan tüm yörüngeleri takip etmek yerine belirli bir noktadan iki boyutlu bir kesit olarak sistemin davranışını ortaya çıkarmada önemlidir.



Şekil 3.13. (a) $u=10$ için (b) $u=42,8$ için ve (c) $u=70$ için u parametresi eklenmiş tedarik zinciri sisteminin Poincare kesiti grafikleri

Şekil 3.13., sistemin dinamik yapısı hakkında önemli bilgiler vermektedir. Bölüm 3.3'te, kaotik tedarik zinciri sistemini izlemek için kontrol parametresinin farklı değerlerindeki sistem yapısı incelenmiştir. Bu aşamada, kontrol parametresi u 'nun farklı değerleri için sistemin 3 boyutlu faz portrelerinde iki boyutlu bir Poincare kesiti alınır (Şekil 3.13.g., Şekil 3.13.h., Şekil 3.13.i.). Şekil 3.12.d., Şekil 3.13.e. ve

Şekil 3.13.f.'deki yörüngelerin yönüne göre, “-” işareti Poincare kesitine girişi, “+” işareti çıkışı gösterir. Şekil 3.13.a., Şekil 3.13.b. ve Şekil 3.13.c.’de ise sistemin kaotik ve kararlı hal davranışları zaman serileri ile sunulmuştur. Bu grafikler ile sistemin karmaşık bir yapıdan düzenli bir yapıya dönüştüğü görülmektedir.

3.5. Yeni Bir Hiperkaotik Tedarik Zinciri Modeli

Hiperkaotik sistemlerin davranışı ve analizi, yalnızca tek bir pozitif Lyapunov üsteli olan kaotik sistemlerin durumundan çok daha karmaşıktır (Barri ve ark., 2015). Bunun iki sebebi vardır: birincisi hiperkaotik durum için dördüncü boyuta ihtiyaç vardır, ikincisi ise birden fazla yayılma yönünün varlığı, sistemin daha geniş bir çatalanmaya sahip olmasını sağlar. Aslında hiperkaos, üç boyutlu bir akış içerisindeki iki boyutun dördüncü boyut yoluyla yeniden farklı yönde (ikinci bir yönde) genişlemesi olarak tanımlanabilir.

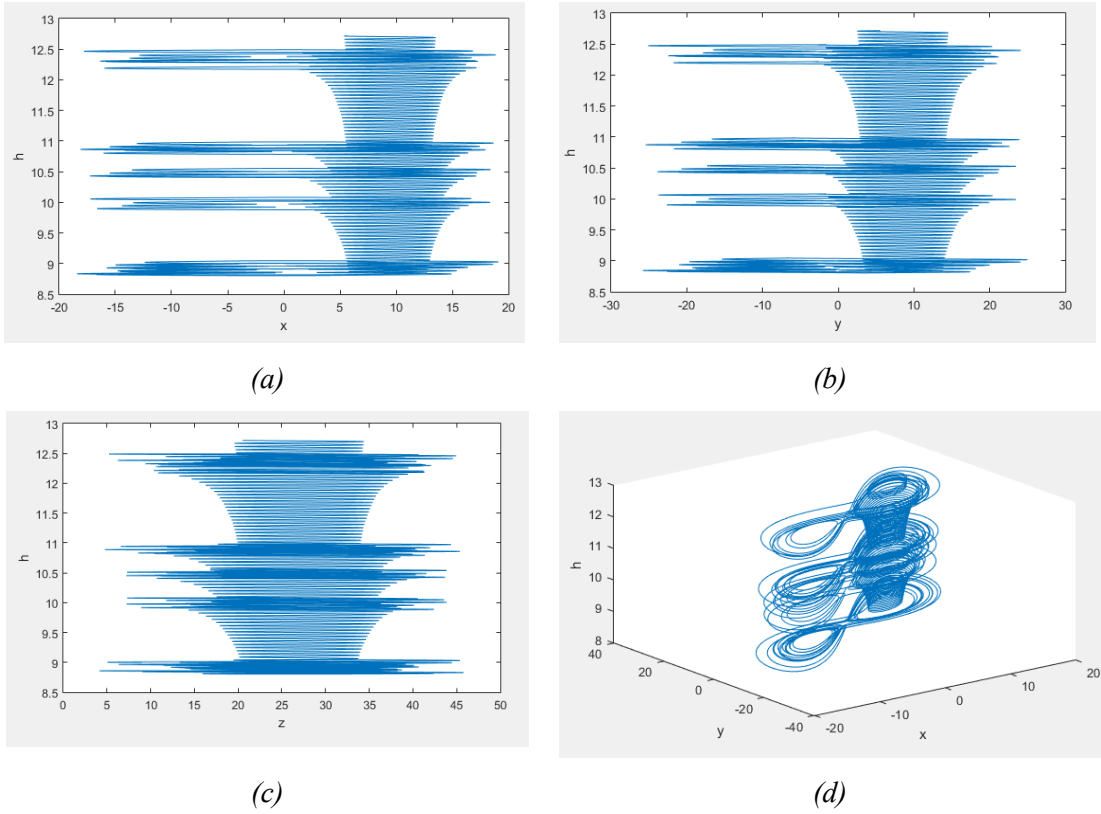
Son zamanlarda hiperkaos, araştırmacıların dikkatini çekmiştir (Wu ve Chen, 2010). Rössler sistemi haricinde, kaotik bir sisteme bir geribildirim denetleyicisi getirerek oluşturulan birçok sürekli hiperkaotik sistem bulunmuştur (Cafagna ve Grassi, 2003; Qi ve ark., 2008).

Çalışmanın bu bölümünde "h" şeklinde tanımladığımız yeni bir terim birinci denkleme eklenmiş ve dört boyutlu doğrusal olmayan dinamik sistem denklem 3.12 şeklinde elde edilmiştir:

$$\begin{aligned}
 \dot{x} &= (m + \delta m)y - (n + 1 + \delta n)x + d_1 + h \\
 \dot{y} &= (r + \delta r)x - y - xz + d_2 \\
 \dot{z} &= xy + (k - 1 - \delta k)z + d_3 \\
 \dot{h} &= sx
 \end{aligned}
 \tag{3.12}$$

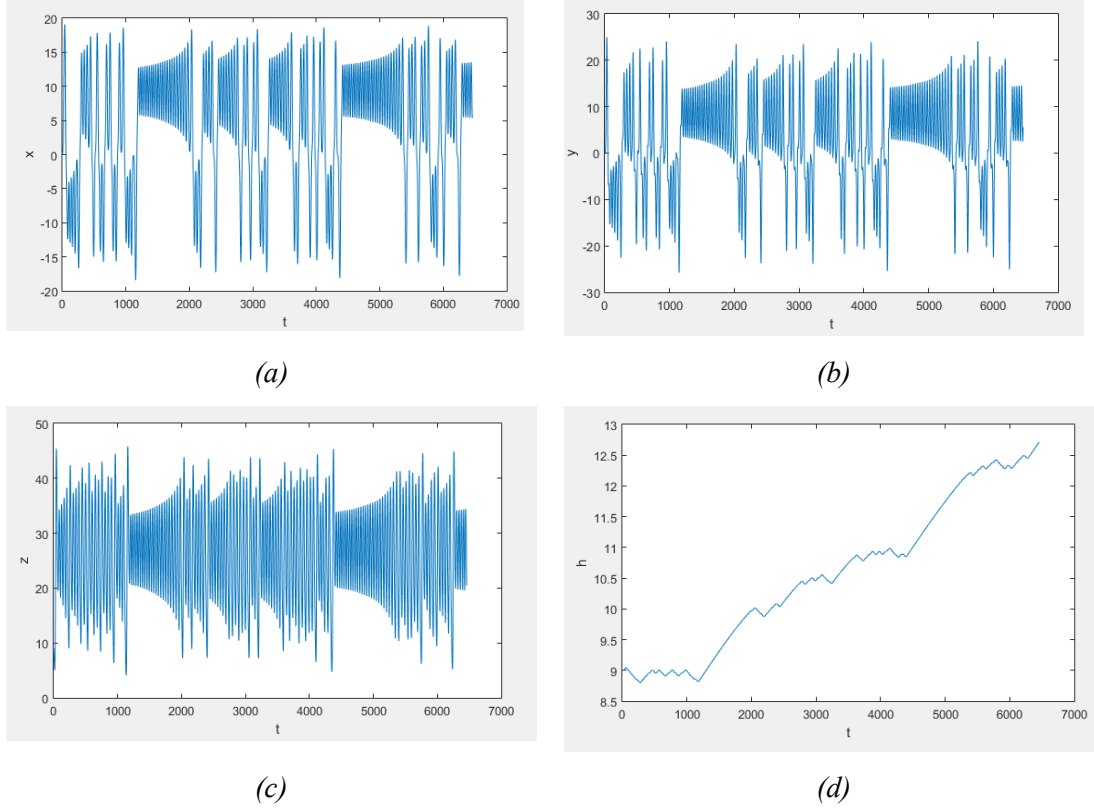
burada "s" yeni bir sabit değerdir.

Çalışmada ele alınan kaotik tedarik zinciri sistemine eklenen h değişkeni ile ortaya çıkan yeni modelde x , y ve z ' ye ait başlangıç değerleri sırasıyla $0; -0,11$ ve 9 şeklinde alınmakla birlikte yeni eklenen değişkenin başlangıç değeri $h(0)=9$ ve $s=0,01$ alındığında sistemin hiperkaotik davranış sergilemektedir. Hiperkaotik tedarik zinciri sistemine ait 2 boyutlu $(x-h)$, $(y-h)$, $(z-h)$ ile 3 boyutlu (x, y, h) faz portresi Şekil 3.14.'te gösterilmektedir. Şekillerde de görüldüğü gibi h değişkeninin eklenmesiyle tedarik zinciri sistemi çok katmanlı kaotik bir davranış sergilemektedir.



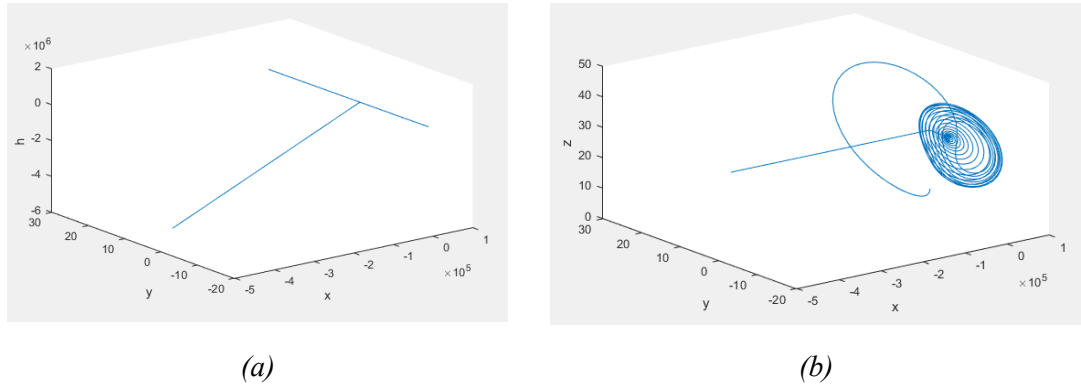
Şekil 3.14. Hiperkaotik tedarik zinciri sistemine ait (a) $x-h$, (b) $y-h$, (c) $z-h$ ve (d) $x-y-h$ faz portreleri

Şekil 3.15.'de ise hiperkaotik tedarik zinciri sisteminin değişkenlerine ait zaman serileri verilmiştir.



Şekil 3.15. Hiperkaotik tedarik zinciri sisteminde (a) x , (b) y , (c) z ve (d) h değişkenlerine ait zaman serisi grafikleri

$s > 1.2$ değerleri için sistemin hiperkaotik çıkarak kararlı duruma doğru yaklaştığı Şekil 3.16.'da görülmektedir.



Şekil 3.16. $s=1,2$ için hiperkaotik tedarik zinciri sistemine ait (a) x - y - z (b) x - y - z 3 boyutlu faz portreleri

Özet olarak bu bölümde, dördüncü parametre $s=0,01$ alındığında, tedarik zinciri sisteminin hiperkaotik davranış sergilediği gözlemlenmiştir. Üç boyutlu hiperkaotik çekicinin faz uzayı portreleri benzetim programı kullanılarak elde edilmiştir.

Tedarik zinciri modelinde talep denkleminde bu yeni terimin eklenmesi ile sistemde çok katmanlı kaotik davranış görülmesi önemli bulunmuştur. 1. denkleminde h ' in denkleme eklenme biçimi dikkate alınır, yeni eklenen " h " teriminin artışından talebin etkilendiği görülecektir. Zaman serisi grafiğinde (Şekil 3.15.d.) de görüldüğü gibi bu etki talep ile pozitif yönde olması bakımında h değişkeni "müşteri sadakati" olarak tanımlanmıştır. Müşteri sadakati, talebi etkileyen önemli bir faktör olmakla birlikte belirlenemez ve öngörülemez özelliği bakımından sistemde kaotik davranışların sergilenmesinde payı olacağı düşünülmektedir. Bu düşünceyi de faz portresi ile hiperkaotik davranışın gösterildiği Şekil 3.14.d. desteklemektedir.

Artan müşteri sadakatinin bir sonucu olarak kaotik yapı yerini kararlı hale bırakmaktadır.

3.6. Yeni Hiperkaotik Tedarik Zincirinin Aktif Kontrolü

Bir ana sistem (yönetici) olarak kabul edilen kaotik bir sistem ve bir bağımlı (uyguşayıcı) sistem olarak kabul edilen başka bir özdeş sistem göz önüne alındığında, bunların dinamik davranışları, bağımlı sistem bir kontrol girişi tarafından çalıştırıldığında, bir geçici olaydan sonra aynı olabilir. Kaotik sistemlerin senkronizasyon prensibi olarak; aktif kontrol, pasif kontrol, doğrusal olmayan geri besleme yöntemi, uyarlamalı kontrol yöntemi, anti-senkronizasyon yöntemi ve kayan mod kontrol yöntemi gibi birçok yöntem geliştirilmiştir. Bölüm 3.5'te elde edilen hiperkaotik tedarik zinciri sisteminin kaos senkronizasyonu için (Bai ve Lonngren, 1998)'da tanıtılan aktif kontrol yöntemi kullanılmıştır. Buna göre yönetici ve uygulayıcı sistemi aşağıda tanıtılmıştır:

Yönetici sistem:

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_1 &= 10,1y_1 - 10,1x_1 + 0,2 \sin(t) + h_1 \\
 \dot{y}_1 &= 28,2x_1 - y_1 - x_1z_1 + 0,1 \cos(5t) \\
 \dot{z}_1 &= x_1y_1 + (8,9/3)z_1 + 0,3 \sin(t) \\
 \dot{h}_1 &= 0,01x_1
 \end{aligned} \tag{3.13}$$

Uygulayıcı system:

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_2 &= 10,1y_2 - 10,1x_2 + 0,2 \sin(t) + h_2 + u_1 \\
 \dot{y}_2 &= 28,2x_2 - y_2 - x_2z_2 + 0,1 \cos(5t) + u_2 \\
 \dot{z}_2 &= x_2y_2 + (8,9/3)z_2 + 0,3 \sin(t) + u_3 \\
 \dot{h}_2 &= 0,01x_2 + u_4
 \end{aligned} \tag{3.14}$$

Yanıt sisteminde bulunan u_1, u_2, u_3, u_4 aktif kontrol fonksiyonlarıdır. Kontrol sinyallerinin birincil amacı, uygulayıcı sistemin senkronizasyonu sağlamak için gerekli olan yönetici sistemi takip etmesini sağlamaktır.

Durum değişkenleri için hata aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$\begin{aligned}
 e_1 &= x_2 - x_1 \\
 e_2 &= y_2 - y_1 \\
 e_3 &= z_2 - z_1 \\
 e_4 &= h_2 - h_1
 \end{aligned} \tag{3.15}$$

Aktif kontrol tasarımı prosedürlerini takiben, yönetici ve uygulayıcı sistem denklemleri ile hata tanımları kullanarak hata dinamikleri elde edilir.

$$\begin{aligned}
 \dot{e}_1 &= 10,1e_2 - 10,1e_1 + e_4 + u_1 \\
 \dot{e}_2 &= 28,2e_1 - e_2 - (x_2z_2 - x_1z_1) + u_2 \\
 \dot{e}_3 &= (x_2y_2 - x_1y_1) + (8,9/3)e_3 + u_3 \\
 \dot{e}_4 &= 0,01e_1 + u_4
 \end{aligned} \tag{3.16}$$

Hata dinamiklerine göre kontrol fonksiyonları aşağıdaki şekilde yeniden tanımlanmıştır:

$$\begin{aligned}
 u_1 &= v_1 \\
 u_2 &= (x_2z_2 - x_1z_1) + v_2 \\
 u_3 &= -(x_2y_2 - x_1y_1) + v_3 \\
 u_4 &= v_4
 \end{aligned} \tag{3.17}$$

Böylece hata dinamiği denklemi (3.16) aşağıdaki gibi olur:

$$\begin{aligned}
 \dot{e}_1 &= 10,1e_2 - 10,1e_1 + e_4 + v_1 \\
 \dot{e}_2 &= 28,2e_1 - e_2 + v_2 \\
 \dot{e}_3 &= -(8,9/3)e_3 + v_3 \\
 \dot{e}_4 &= 0,01e_1 + v_4
 \end{aligned} \tag{3.18}$$

Aktif kontrol yönteminde, hata dinamiklerini (3.18) kontrol edecek sabit bir A matrisi seçilir.

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} = A * \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \end{bmatrix} \tag{3.19}$$

Kararlı bir kapalı döngü sistemi elde etmek için denetleyici katsayıları A_{ij} 'ler elde etmek için bir çok seçenek vardır.

$$A = \begin{bmatrix} 9,1 & -10,1 & 0 & -1 \\ -28,2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{5,9}{3} & 0 \\ -0,01 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \tag{3.20}$$

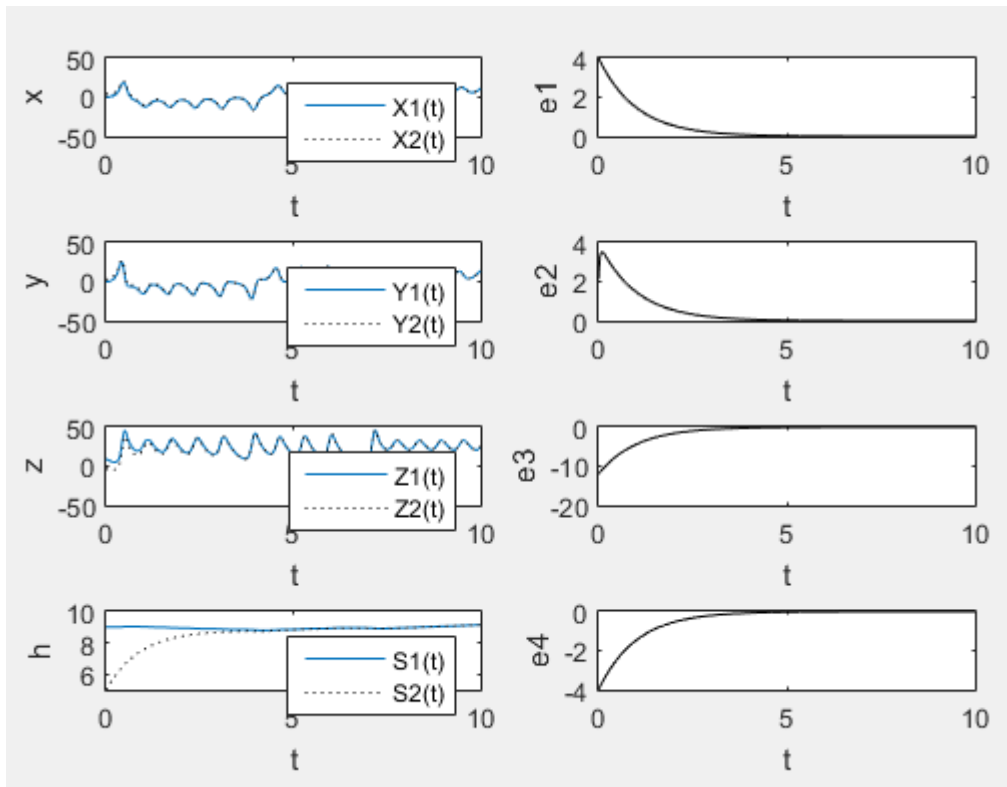
Hata dinamik denklemleri ve kontrol fonksiyonları aşağıda verilmiştir:

$$\begin{aligned}
 \dot{e}_1 &= -e_1 \\
 \dot{e}_2 &= -e_2 \\
 \dot{e}_3 &= -e_3 \\
 \dot{e}_4 &= -e_4
 \end{aligned} \tag{3.21}$$

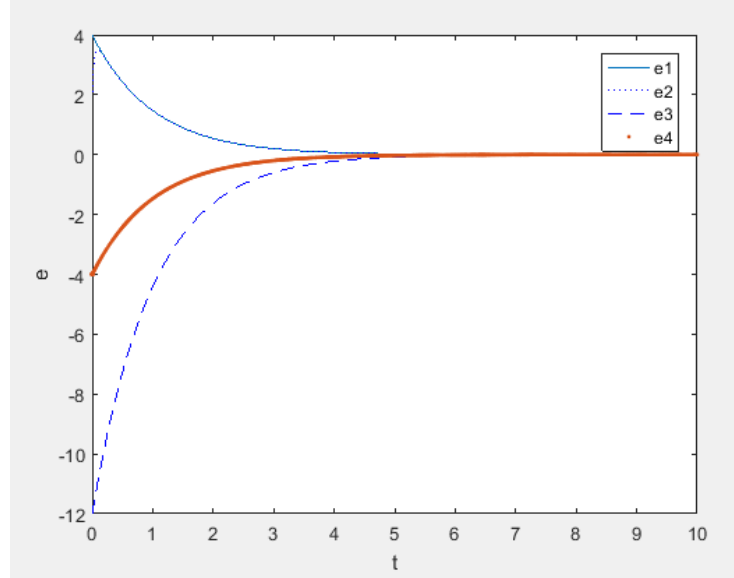
$$\begin{aligned}
 u_1 &= 9,1e_1 - 10,1e_2 - e_4 \\
 u_2 &= (x_2z_2 - x_1z_1) - 28,2e_2 \\
 u_3 &= -(x_2y_2 - x_1y_1) + 5,9/3e_3 \\
 u_4 &= -0,01e_1 - e_4
 \end{aligned} \tag{3.22}$$

Simüasyon modeli kullanılarak sayısal denemeler yapılmış olup, yönetici ve uygulayıcı sistemlerin başlangıç koşulları sırasıyla, $x_1(0)=10$, $y_1(0)=-0,10$, $z_1(0)=9$, $h_1(0)=9$ ve $x_2(0)=4$, $y_2(0)=4$, $z_2(0)=-3$, $h_2(0)=5$ şekilde alınmıştır. Önerilen yöntemi doğrulamak için sayısal sonuçlar grafiksel olarak verilmiştir.

Şekil 3.17.'de yönetici ve uygulayıcı sistemlerin durum değişkenlerinin zaman yanıtları sunulmuştur. Şekil 3.17. x_1 ve x_2 , y_1 ve y_2 , z_1 ve z_2 , h_1 ve h_2 ' ile hata vektörlerinin zamana bağlı değişimlerini vermektedir. Şekil 3.18.'de daha detaylı görüldüğü gibi $t=0$ anında kontrol sinyalleri etkinleştirilir. Kontrol sinyalleri etkinleştirildikten sonra, hata vektörleri hızla sifira yakınlaşmaktadır. $t=4$ anından itibaren hata 0 olmaktadır. Buna göre aktif kontrolörün yönetici ve uygulayıcı sistemlerini senkronize ettiği görülmektedir.



Şekil 3.17. Yönetici ve uygulayıcı sistemlerin durum değişkenlerinin ve bu değişkenler arasındaki farkların (hataların) zamana bağlı değişim grafikleri



Şekil 3.18. Hata vektörlerinin zamana bağlı değişimi

Bu çalışma, kaotik sistemlerin aktif kontrol aracılığıyla senkronizasyonunun gerçekleştiğini göstermektedir. Sayısal sonuçlar, geliştirilmiş aktif kontrol yönteminin geçerliliğini ve etkililiğini doğrulamaktadır.

3.7. Kesirli Üslü Kaotik Tedarik Zinciri

Fiziksel sistemlerde matematiksel modellemenin amacı, bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisini incelemektir. Bağımsız değişkendeki çok küçük değişikliklere karşı sistemin tepkisini sergilemek için türevlere ihtiyaç duyulmuştur. Sistemi daha etkin ve gerçekçi modellemek için kesirli mertebeden diferansiyel denklemler kullanılmaktadır. Bu, türevlerin üslerinin bir tam sayıdan farklı olabileceği anlamına gelir.

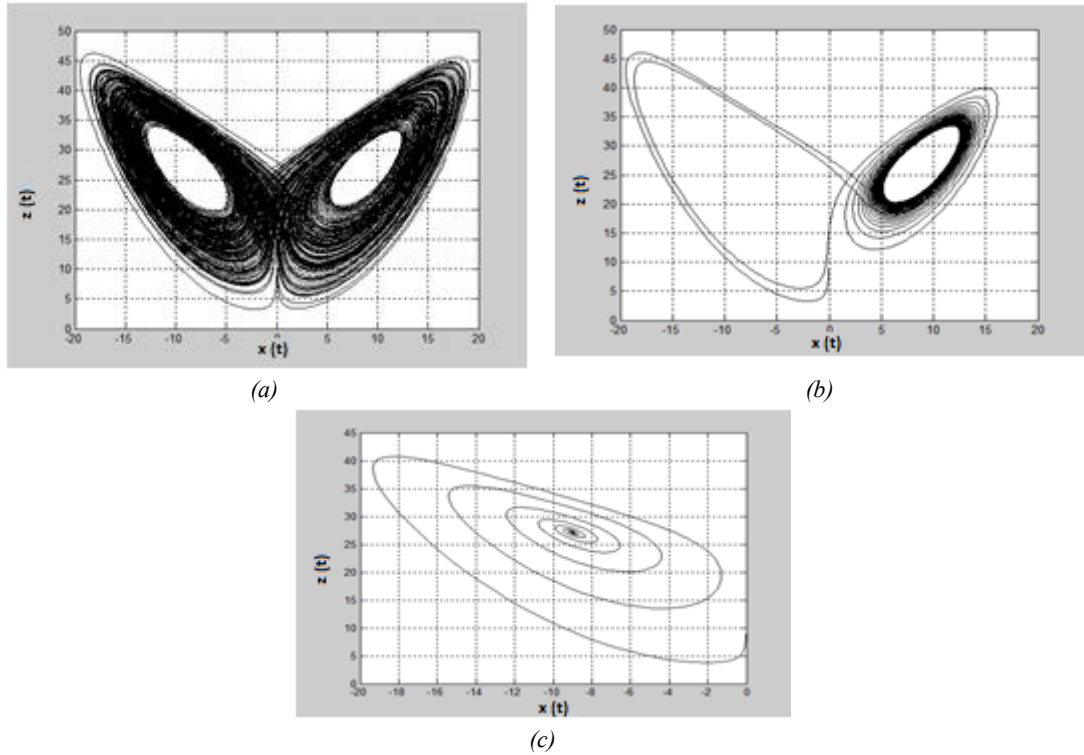
Bu bölümde kesirli üslü diferansiyel denklemler, tedarik zinciri için talep, envanter ve üretim miktarları olan sistemin temel dinamiklerini daha gerçekçi modellemek için kullanılmıştır.

$$\frac{d^{q_1}x}{dt^{q_1}} = (m + \delta m)y - (n + 1 + \delta n)x + d_1 \quad (3.23)$$

$$\frac{d^{q_2}x}{dt^{q_2}}=(r+\delta r)x-y-xz+d_2$$

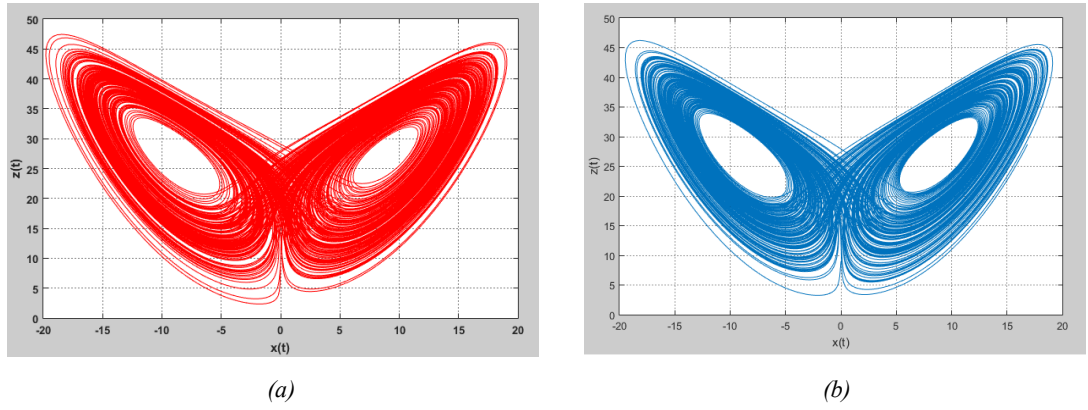
$$\frac{d^{q_3}x}{dt^{q_3}}=xy+(k-1-\delta k)z+d_3$$

$q_1=1$, $q_3=1$ ile $q_2=0,98$, $q_2=0,97428610498$ ve $q_2=0,8$ olduğu durumlarda, sistem sırasıyla kaotik, tek spiralli, asimptotik olarak kararlı davranış gösterir. Faz portreleri Şekil 3.19.'da gösterilmektedir.

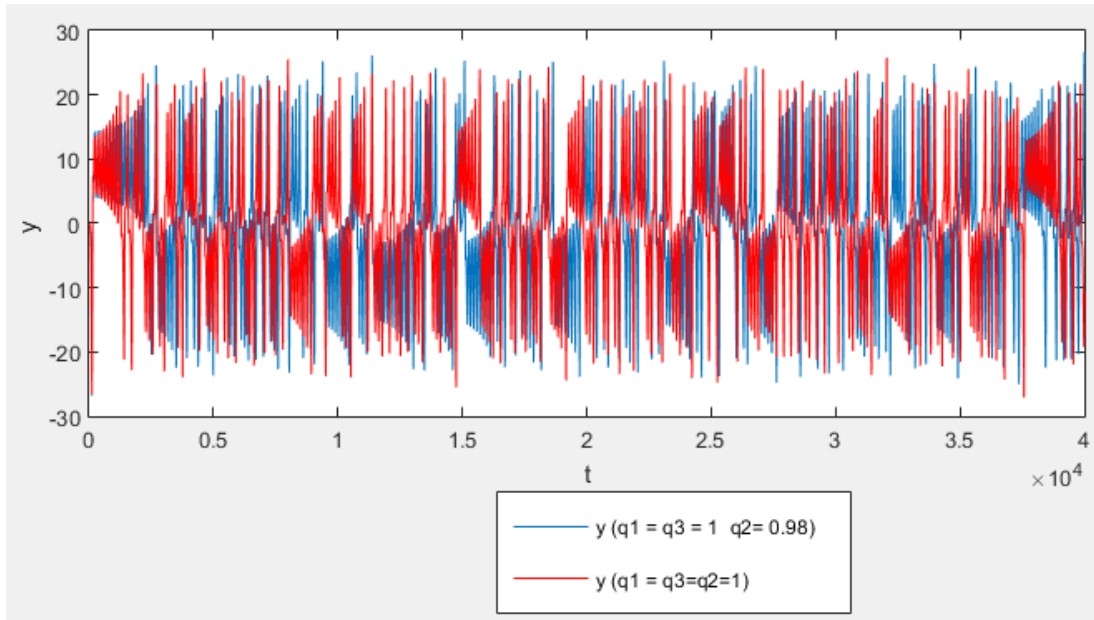


Şekil 3.19. (a) $q_1=1$, $q_3=1$, $q_2=0,98$ (b) $q_1=1$, $q_3=1$, $q_2=0,97428610498$ ve (c) $q_1=1$, $q_3=1$, $q_2=0,8$ durumunda tedarik zinciri faz portreleri

Benzetim sonuçlarına göre diferansiyel denklem sisteminde q_1 , q_2 , q_3 1'e yaklaştıkça sistem kaotik davranış sergilemektedir. Herhangi iki denklemin üs değerlerinin 1'e eşit olması koşuluyla, üçüncü denklemin üs değeri 1'den küçük olduğunda sistem kararlı duruma yaklaşmaktadır. Talep, yapısı gereği tedarik zincirinin davranışını tahmin edilemez hale getirir. İşletmeler, talebi kontrol altına almak için çeşitli stratejiler kullansalar da talebi tam olarak tespit edemezler. Bu nedenle, tedarik zincirinin kaotik davranışı, envanter ve üretim miktarı değişkenleri ile kararlılığa dönüştürülebilir.



Şekil 3.20. (a) $q_1 = q_3 = q_2 = 1$, ve (b) $q_1 = q_3 = 1$ $q_2 = 0.98$ için iki boyutlu x-z faz portreleri



Şekil 3.21. $q_1 = q_3 = q_2 = 1$ ve $q_1 = q_3 = 1$, $q_2 = 0.98$ için y stok verilerine ait zaman serisi grafikleri

Şekil 3.20. ve Şekil 3.21. aynı denklem sisteminin farklı üsler ile faz uzayında birbirine benzer gibi görüldüğünü, fakat zaman serileri grafiği ile aslında birbirinden çok farklı değerler üretildiğini açıkça göstermiştir. Bu durum, bir modelde kesirli üs kullanmanın gerçek verilere daha yakın tahminlerin yapılabilmesine olanak sağladığını kanıtlamaktadır.

BÖLÜM 4. BOZULABİLİR ÜRÜNLER İÇİN YENİ BİR KAOTİK TEDARİK ZİNCİRİ MODELİ, KAOTİK ANALİZİ VE KONTROLÜ

4.1. Yeni Bir Kaotik Tedarik Zinciri Modeli

Gıda tedarik zincirleri, üretim, işleme, dağıtım ve hatta elemeyi kapsayan küresel ağlardır (Yu and Nagurney, 2013) ve bozulabilir ürünlerin tedarik zinciri diğerlerinden daha karmaşık ve daha kararsızdır (Wang, 2011). Ayrıca tedarik zincirinin her bağlantısı kendi envanterini yönetmesi ve birbirleri arasındaki iletişim eksikliği, tedarikçinin bozulma ve talep bilgilerinin gecikmesine, dolayısıyla tüketici ihtiyaçlarının hızlı ve doğru bir şekilde karşılanamamasına neden olur (Wang, 2011).

Çalışmanın bu bölümünde, sistem dinamiklerinin, ilgili proseslere bağlı olarak her bir ürün tipi, örneğin gıda, yağ, tüketici ürünleri vb. için değişir (Anne et al., 2009) varsayımından hareketle bozulabilir ürünlere ait tedarik zinciri modeli üzerinde odaklanılmıştır.

Önerilen tedarik zinciri modeli aşağıdaki varsayımlar ve gösterimlerle geliştirilmiştir:

4.1.1. Varsayımlar

- Tedarik zinciri, yetiştirici (tedarikçi), gıda işleyici (üretici) ve müşteriden oluşan çok aşamalı bir yapıdadır.
- Hammaddenin bitmiş ürün oranı 1:1'dir.
- Rastgele ömürlü bozulabilen ürünler, depolama ortamı dahil çeşitli faktörlere bağlı olarak önceden bilinmeyen ve değişken olan bir raf ömrüne sahiptir (Nagare ve Dutta, 2012). Çalışmada ürünlerin belirli ve sabit bir yaşam süresine

sahip olduğu varsayılmaktadır (Khorasani ve Almasifard, 2017). Bu nedenle bozulma hızları parametreleri kullanılmıştır.

- Ömrü dolan ürünler sistemden çekilmekte yani atılmakta olup bozulma süresi belirsizdir [Raafat,1991]. Modelde stok bozulma hızı olarak tanımlanarak sistemden çıkarılması sağlanmıştır. Ayrıca müşteriye ulaştığında bozulacak ürünler, Gıda işleyici tarafından müşteriye gönderilmemektedir. Bunlar da üretimde bozulma hızı olarak sistemden çıkarılmaktadır.
- Yaşam süresi boyunca ürünlerin değerinde herhangi bir azalma meydana gelmediği varsayılmaktadır. Bu nedenle modelde değer değişimiyle ilgili herhangi bir parametre verilmemiştir.
- Talep belirsizdir. Bu belirsizlik müşterilerin memnuniyet oranı ve müşteri doyumunu parametrelerinden kaynaklanır.
- Gıda işleyici, sonsuz kaynağa sahip bir tedarikçiden (üretici) siparişlerini karşılamaktadır.
- Model bozulabilir ürünlerden narenciye kategorisi ile sınırlandırılarak tedarik zinciri modeli oluşturulmuştur.
- Fiyat tedarik zincirinde bozulabilir ürünlerin satılmasında önemli bir faktördür. Ancak, alan kısıtlamaları nedeniyle, bu çalışma tedarik zincirinde fiyat değişikliklerini dikkate almamaktadır. Bu nedenle fiyatın talebi etkilemediği varsayılmıştır.
- Bozulma hızı deterministik ve sabittir. Yaşam çevrimi sırasında bozulan ürünlerin onarımı yoktur.

4.1.2. Notasyonlar

Modelde kullanılan notasyonlar Tablo 4.1.' de verilmiştir.

Tablo 4.1. modeli tanımlamak için kullanılan notasyonlar

Sembol	Anlam
$x(t)$	t anındaki talep miktarı
$y(t)$	t anındaki stok miktarı (bitmiş paketleme yapılmış ürün stoğu)
$z(t)$	t anındaki üretim miktarı
k	bozulma miktarı
m	stoktaki ürünün bozulma hızı
n	üretimdeki ürünün bozulma hızı

Tablo 4.2. (Devamı)

Sembol	Anlam
S	müşteri memnuniyet oranı
d	müşteri doyumu ($0 \leq d \leq 1$). (Müşteri talebinin tamamı karşılanmış olsa dahi istediği kalitede ihtiyacı olan şekilde talebinin karşılanmış olması da müşteri memnuniyetini etkileyecektir.)

x, y, z durum değişkenlerini; m, n, d parametreleri temsil etmektedir. Talep, stok miktarı ve üretim miktarı fonksiyonları aşağıda tanımlanmıştır:

Talep (x) = f (üretim miktarı(z), stok miktarı(y), müşteri memnuniyet oranı(s))

Stok miktarı (y) = f (talep(x), üretim miktarı(z), bozulma hızı(m, n), stok miktarı(y))

Üretim miktarı (z) = f (talep(x), stok(y))

4.1.3. Talep miktarı

($t+1$). Döneme ait talep bir önceki dönemdeki üretim miktarımıza ve müşteri memnuniyet oranı çarpımına bağlıdır.

$$x_{t+1} = (z_t + y_t) * s \quad (4.1)$$

Müşteri memnuniyet oranı, müşterinin talebinin firma tarafından karşılanma oranına bağlı olmaktadır. Yani firmanın üretim kapasitesinin talebin ne kadarını karşıladığına bağlı olarak müşteri memnuniyeti sağlanmış olur. Müşteri talebinin tamamı karşılanmış olsa dahi istediği kalitede ihtiyacı olan şekilde talebinin karşılanmış olması da müşteri memnuniyetini etkileyecektir. Buna göre, müşteri memnuniyeti talep karşılama oranı ile müşteri doyumunun birlikte etkisi olarak alınmıştır.

$$s = \left(\frac{z_t + y_t}{x_t} \right) * d \quad (4.2)$$

Böylece denklem aşağıdaki şekli alacaktır:

$$x_{t+1} = (z_t + y_t) * s = (z_t + y_t) * \left(\frac{z_t + y_t}{x_t} \right) * d \quad (4.3)$$

Buna göre yukarıda talep miktarını veren fark denklemine ait sürekli form aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$\dot{x} = -x + (z + y) * \left[\left(\frac{z + y}{x} \right) * d \right] \quad (4.4)$$

4.1.4. Envanter seviyesinin belirlenmesi

Literatüründeki stok yönetimi ile ilgili modellerde talep, sınırsız ömre sahip ürünün yaşından bağımsız kabul edilmektedir. Ancak, bozulabilir ürünler kısa ömürlüdür ve bu varsayım geçerli olmamakla birlikte, ürün yaşı ile talep doğrudan ilişkilidir (Kaya,2016). Özellikle yaş sebze-meyve üretim ve işlenmesinde ürünün toplanması, iletilmesi, işlenmesi veya bekletilmesi gibi süreç adımları sırasında üründe bozulmalar olabilmektedir. Bu bozulmalar özellikle envanter seviyesi için önem arz etmektedir.

Denklem (4.5)'te mevcut envanter seviyesi, üretim miktarından talep miktarı ile bozulma miktarının çıkarılmasıyla elde edilir.

$$y_{t+1} = z_t + y_t - x_t - k_t \quad (4.5)$$

Bozulma miktarı (k) ise aşağıda verildiği gibi, üretimdeki bozulma miktarı ile stoktaki bozulma miktarının toplamına eşittir. Farklı bozulabilir yiyeceklerde bozulma hızı önemli ölçüde değişir. Örneğin, konserve yiyeceklerin kalitesi yavaş yavaş azalırken, taze balık ve şarküteri ürünleri birkaç saat içinde bozulabilir. Bu nedenle, bozulma hızı yenileme politikasını ve fiyatlandırma stratejisini büyük ölçüde etkileyebilir (Yang et al., 2017).

$$k_t = m.y_t + n.z_t \quad (4.6)$$

Buna göre yukarıda envanter seviyesini veren fark denklemi

$$y_{t+1} = z_t + y_t - x_t - (m.y_t + n.z_t) \quad (4.7)$$

$$y_{t+1} = (1 - n)z_t + (1 - m)y_t - x_t \quad (4.8)$$

şeklindedir ve bu fark denkleminin sürekli formu aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$\dot{y} = (1 - n)z - my - x \quad (4.9)$$

4.1.5. Üretim miktarının belirlenmesi

Üretim miktarı talep seviyesi ile stok miktarı farkından elde edilir.

$$z_{t+1} = x_{t+1} - y_{t+1} + m * y_t \quad (4.10)$$

Buna göre yukarıda üretim miktarını veren fark denklemi (4.10)'a ait sürekli form aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$\dot{z} = x - (1 - m) * y - z \quad (4.11)$$

4.1.6. Bozulabilir ürünler için genel tedarik zinciri modeli

$$\begin{aligned} \dot{x} &= -x + (z + y) * \left[\left(\frac{z + y}{x} \right) * d \right] \\ \dot{y} &= -x - m * y + (1 - n) * z \\ \dot{z} &= x - (1 - m)y - z \end{aligned} \quad (4.12)$$

Burada;

$x_{t+1} < 0$, arzın önceki dönemde müşteri talebinden daha az olduğunu göstermektedir.

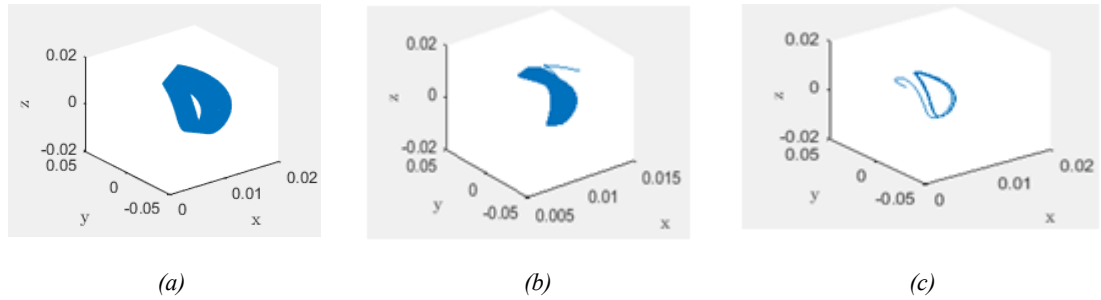
$y_{t+1} < 0$, pazar talebinin üretim ve stok miktarından fazla olduğunu, kapasitenin artması gerektiğini ifade etmektedir.

$z_{t+1} < 0$, olması aşırı stok veya geri dönüş durumlarını ifade etmekte ve dolayısıyla yeni üretimin olmadığını göstermektedir.

Ele alınan tedarik zinciri; yetiştirici, gıda işleyici ve müşteriden oluşan üç aşamalı bir yapıdadır. Yaş sebze-meyve üretim ve işlenmesinde ürünün toplanması, iletilmesi,

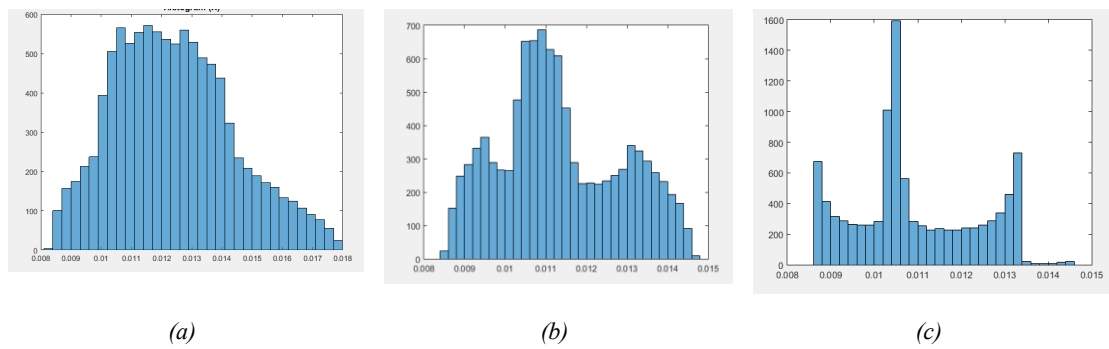
işlenmesi veya bekletilmesi gibi süreç adımları sırasında üründe bozulmalar olabilmektedir. Yukarıda bahsi geçen diğer tedarik zinciri dinamik modellerinden en önemli farkı bu bozulma hızlarının stok miktarını ve dolayısıyla üretim miktarı ile talep miktarlarını etkilemesi nedeniyle modele eklenmiş olmasıdır.

4.2. Yeni Önerilen Tedarik Zinciri Modelinin Kaotik Analizi



Şekil 4.1. (a) $d=0,302$; (b) $d=0,323$; (c) $d=0,33202$ için yeni tedarik zinciri modeline ait 3 boyutlu faz portreleri

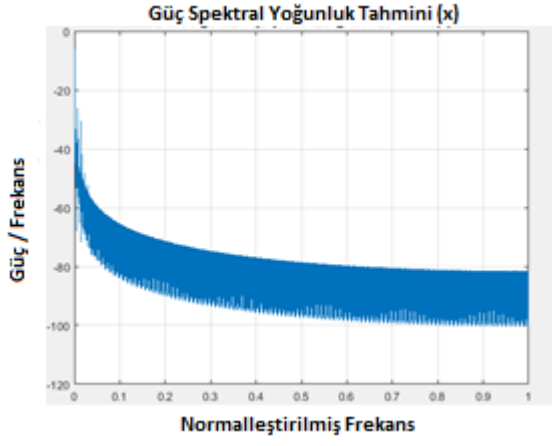
Benzetim sonuçlarında; x (talep), y (stok miktarı), z (üretim miktarı) durum değişkenlerinin başlangıç değerleri $x(0)=0,013$, $y(0)=-0,01$, $z(0)=0,01$ ve model parametreleri $d=0,302$, $m=-1,04$, $n=-10,4005$ değerlerinde iken sistemin kaotik durum sergilediği, d değeri arttıkça kaotik yapıdan uzaklaştığı Şekil 4.1.'deki faz portreleri ile görülmektedir.



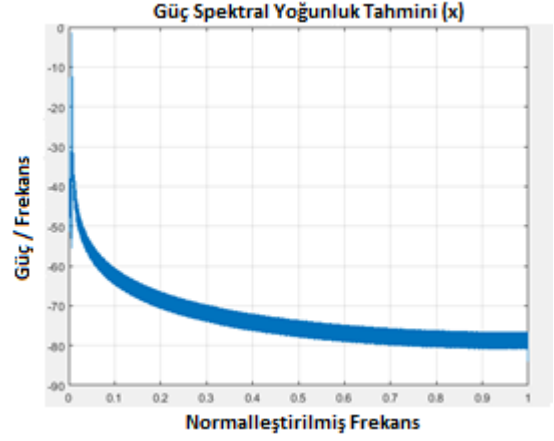
Şekil 4.2. $d=(0,302; 0,323; 0,33202)$ için yeni tedarik zinciri modeli x değişkenine ait histogram grafikleri

Şekil 4.2.'de de görüldüğü gibi sistem kaotik kararlı duruma geçerken x talep değişkenine ait değerlerin belli aralıklarda daha yüksek frekanslarla değerler aldığı

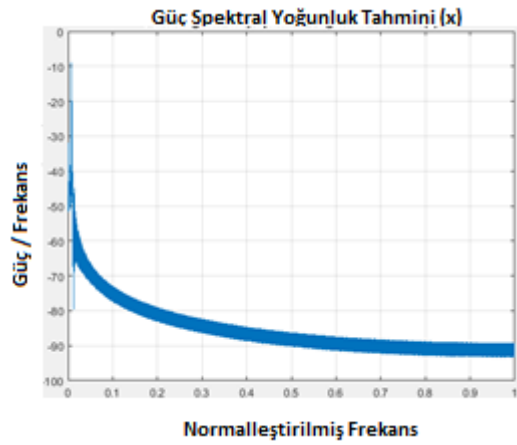
görülmektedir. Şekil 4.3. ise düzenli duruma geçen sistemdeki pik sayılarının azalmış olduğunu kanıtlamaktadır.



(a)

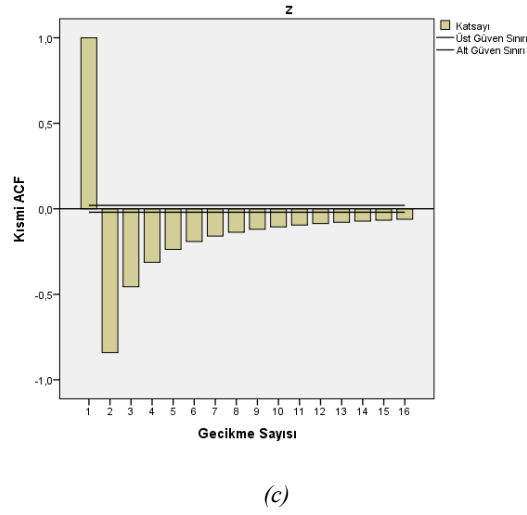
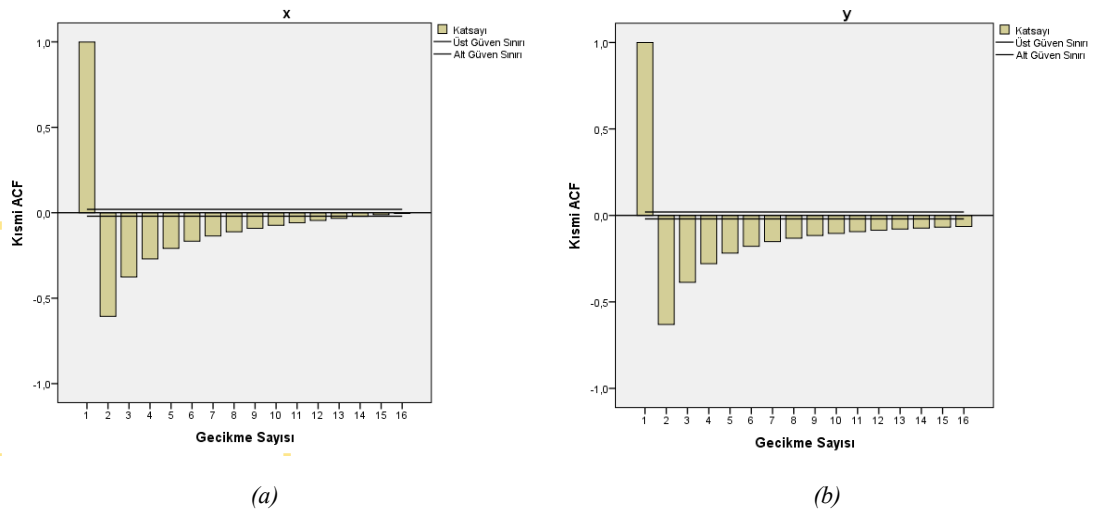


(b)

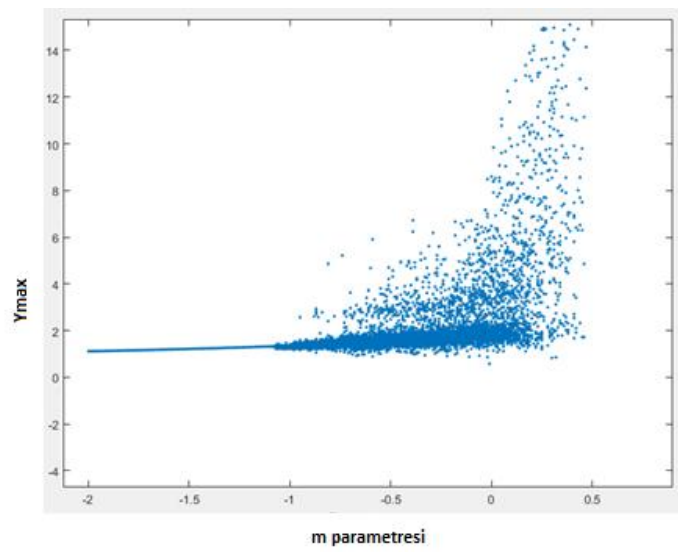


(c)

Şekil 4.3. $d=(0.302; 0.323; 0.33202)$ için yeni tedarik zinciri modeli x değişkenine ait güç spektrumları grafikleri

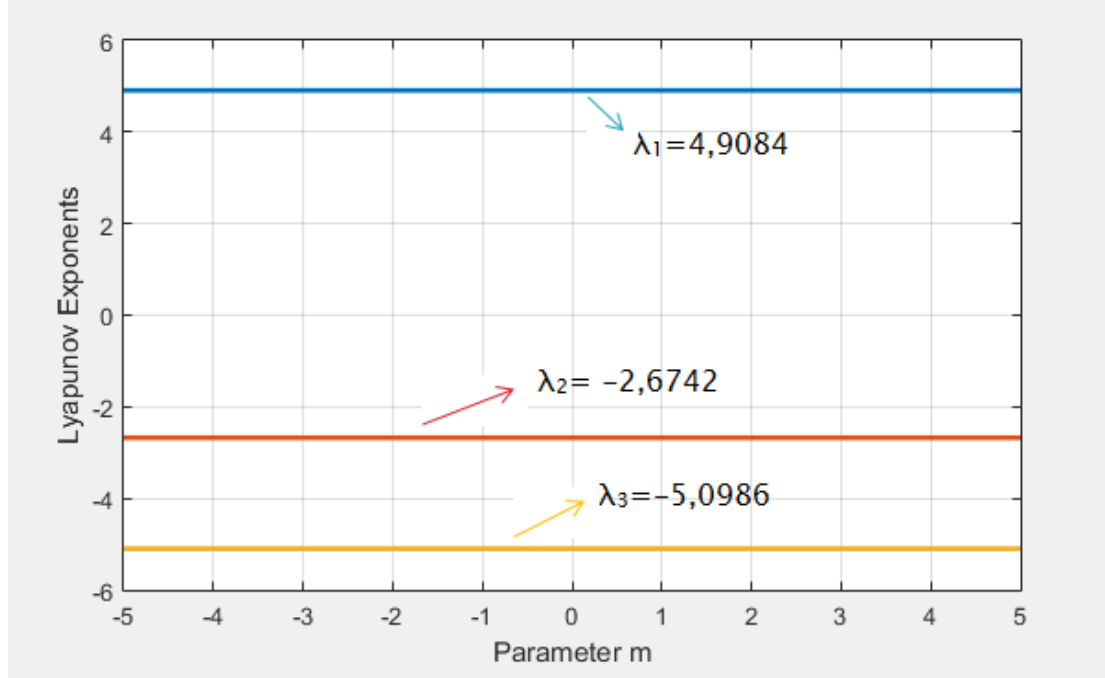


Şekil 4.4. $d=(0,302; 0,323; 0,33202)$ için yeni tedarik zinciri modeli x değişkenine ait otokorelasyon grafikleri



Şekil 4.5. m stoktaki bozulma oranı parametresinin $[-2;0,5]$ aralığındaki çatallanma grafiği

Şekil 4.5.'deki çatallanma grafiği m parametresinin $[-2;0,5]$ aralığındaki $0,01$ adım sayısı kullanılarak hesaplanan denge noktalarındaki değişimi vermektedir.



Şekil 4.6. m stoktaki bozulma oranı parametresinin $[-5;5]$ aralığındaki Lyapunov Üstelleri Grafiği

Bir dinamik modelin davranışını faz uzayında incelendiğinde izlediği yola yörünge denir. Bir yörünge'nin en yakınındaki konşu yörüngeden ne derece uzaklaştığının bir ölçütü olarak Lyapunov Üsteli kullanılmaktadır. Eğer Lyapunov üsteli pozitif ise yörüngelerin önce birbirine çok yakın olduğu ve gittikçe uzaklaştığı anlaşılır. Bu pozitif değer nicel olarak arttıkça yörüngelerin uzaklaşma oranı da artmış olur. Lyapunov üstelinin negatif değer alması uzak olan yörüngelerin zamanla birbirlerine yaklaştığını gösterir. Üstel değerindeki artış karmaşıklık derecesini yani öngörülemez olduğunu gösterir. Üç boyutlu bir faz uzayında en az bir pozitif Lyapunov üsteline sahip sistemin kaotik davranış sergilediği söylenir (Shin ve Hammond, 1998). Şekil 4.6.'da da görüldüğü gibi $\lambda_1=4,9084$, $\lambda_2=-2,6742$ ve $\lambda_3=-5,0986$ ile bir Lyapunov üstelinin pozitif olduğu görülmekte ve yeni tedarik zinciri sisteminin verilen başlangıç şartları ve parametre değerleri ile kaotik yapıda olduğunu kanıtlamaktadır.

4.3. Yeni Kaotik Tedarik Zinciri Modelinin Aktif Kontrol Yöntemi ile Senkronizasyonu

Buna göre yönetici ve uygulayıcı sistem aşağıda tanımlanmıştır:

Yönetici sistem

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -x_1 + (z_1 + y_1) * \left[\left(\frac{z_1 + y_1}{x_1} \right) * 0,302 \right] \\ \dot{y}_1 &= -x_1 + 1,04 * y_1 + 11,4005 * z_1 \\ \dot{z}_1 &= x_1 - 2,04 * y_1 - z_1 \end{aligned} \quad (4.13)$$

Uygulayıcı sistem

$$\begin{aligned} \dot{x}_2 &= -x_2 + (z_2 + y_2) * \left[\left(\frac{z_2 + y_2}{x_2} \right) * 0,302 \right] + u_1 \\ \dot{y}_2 &= -x_2 + 2,04 * y_2 + 11,4005 * z_2 + u_2 \\ \dot{z}_2 &= x_2 - 2,04 * y_2 - z_2 + u_3 \end{aligned} \quad (4.14)$$

Yanıt sisteminde bulunan u_1 , u_2 , u_3 aktif kontrol fonksiyonlarıdır. Kontrol sinyallerinin birincil amacı, uygulayıcı sistemin senkronizasyonu sağlamak için gerekli olan yönetici sistemi takip etmesini sağlamaktır.

Durum değişkenleri için hata aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$\begin{aligned} e_1 &= x_2 - x_1 \\ e_2 &= y_2 - y_1 \\ e_3 &= z_2 - z_1 \end{aligned} \quad (4.15)$$

Aktif kontrol tasarımı prosedürlerini takiben, yönetici ve uygulayıcı sistem denklemleri ile hata tanımları kullanarak hata dinamikleri elde edilir.

$$\begin{aligned} \dot{e}_1 &= -e_1 + (e_3 + e_2) * \left[\left(\frac{e_3 + e_2}{e_1} \right) * 0,302 \right] + u_1 \\ \dot{e}_2 &= -e_1 + 2,04 * e_2 + 11,4005 * e_3 + u_2 \end{aligned} \quad (4.16)$$

$$\dot{e}_3 = e_1 - 2,04 * e_2 - e_3 + u_3$$

Hata dinamiklerine göre kontrol fonksiyonları aşağıdaki şekilde yeniden tanımlanmıştır:

$$\begin{aligned} u_1 &= - \left((e_3 + e_2) * \left[\left(\frac{e_3 + e_2}{e_1} \right) * 0,302 \right] \right) + v_1 \\ u_2 &= v_2 \\ u_3 &= v_3 \end{aligned} \quad (4.17)$$

Böylece hata dinamiği denklemi (4.16) aşağıdaki gibi olur:

$$\begin{aligned} \dot{e}_1 &= -e_1 + v_1 \\ \dot{e}_2 &= -e_1 + 2,04 * e_2 + 11,4005 * z + v_2 \\ \dot{e}_3 &= e_1 - 2,04 * e_2 - e_3 + v_3 \end{aligned} \quad (4.18)$$

Aktif kontrol yönteminde, hata dinamiklerini (4.18) kontrol edecek sabit bir A matrisi seçilir.

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix} = A * \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

Kararlı bir kapalı döngü sistemi elde etmek için denetleyici katsayıları A_{ij} 'ler elde etmek için bir çok seçenek vardır. Burada, senkronize durumun kararlılığı için Routh-Hurwitz kriterlerini karşılayan aşağıdaki matris işleme alınmıştır:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & -3,04 & -11,4005 \\ -1 & 2,04 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.20)$$

Özdeğerlerin ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$) negatif olması koşuluyla hesap kolaylığı için ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$) = (-1, -1, -1) seçilmiştir.

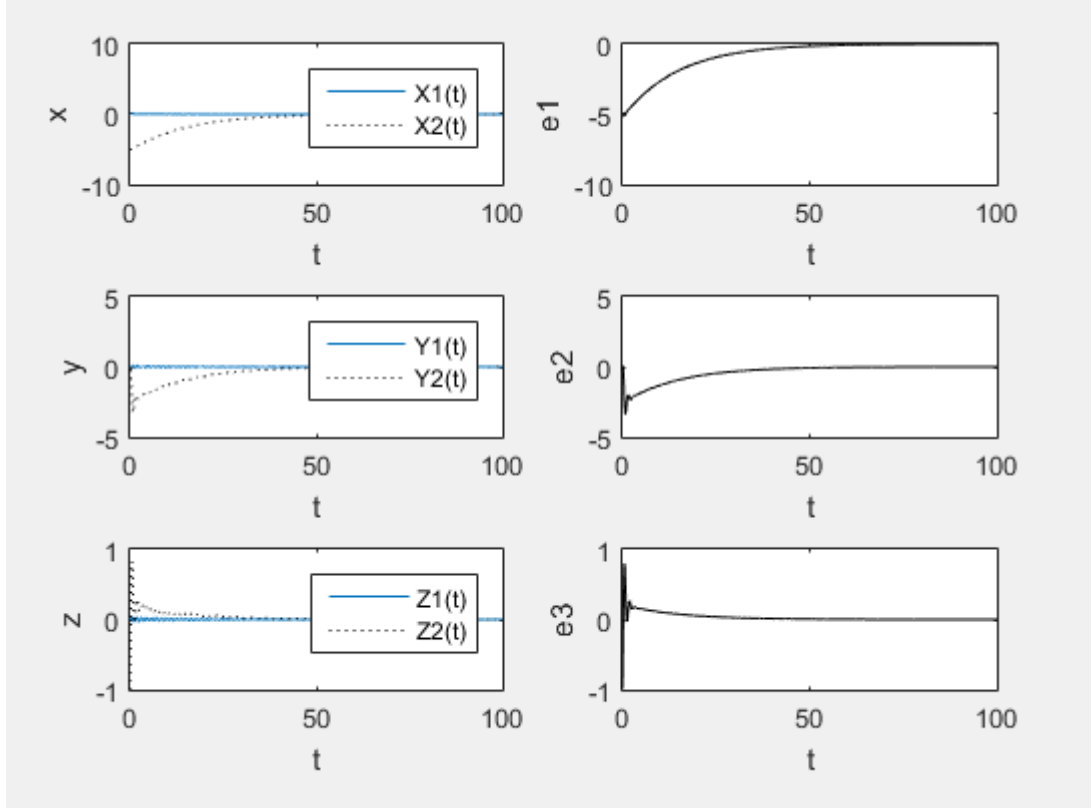
Hata dinamik denklemleri ve kontrol fonksiyonları aşağıda verilmiştir:

$$\begin{aligned}
\dot{e}_1 &= -e_1 \\
\dot{e}_2 &= -e_2 \\
\dot{e}_3 &= -e_3
\end{aligned} \tag{4.21}$$

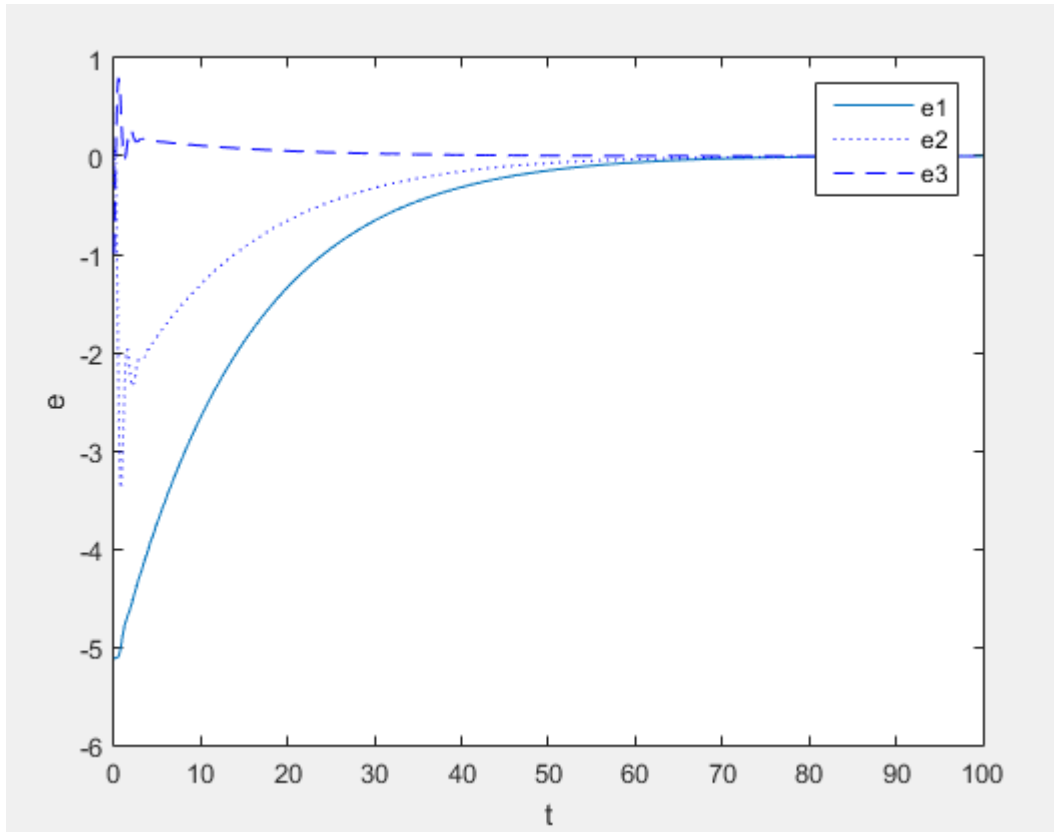
$$\begin{aligned}
u_1 &= - \left((e_3 + e_2) * \left[\left(\frac{e_3 + e_2}{e_1} \right) * 0,302 \right] \right) \\
u_2 &= e_1 - 3,04 * e_2 - 11,4005 * e_3 \\
u_3 &= -e_1 + 2,04 * e_2
\end{aligned} \tag{4.22}$$

Benzetim programı kullanılarak sayısal denemeler yapılmış olup, yönetici ve uygulayıcı sistemlerin başlangıç koşulları sırasıyla, $x_1(0)=0,12$, $y_1(0)=-0,01$, $z_1(0)=-0,01$ ve $x_2(0)=-5$, $y_2(0)=-0,3$, $z_2(0)=-1$ şekilde alınmıştır. Önerilen yöntemi doğrulamak için sayısal sonuçlar grafiksel olarak verilmiştir.

Şekil 4.7.'de yönetici ve uygulayıcı sistemlerinin durum değişkenlerinin zaman yanıtları gösterilmiştir. Yine Şekil 4.7., x_1 ve x_2 , y_1 ve y_2 , z_1 ve z_2 ile hata vektörlerinin zamana bağlı değişimlerini vermektedir. Şekil 4.8.'de daha detaylı görüldüğü gibi $t=0$ anında kontrol sinyalleri etkinleştirilir. Kontrol sinyalleri etkinleştirildikten sonra, $t=50$ anından itibaren hata vektörleri hızla sifıra yaklaşmaktadır. Buna göre aktif kontrolörün yönetici ve uygulayıcı sistemlerini senkronize ettiği görülmektedir.



Şekil 4.7. Yönetici ve uygulayıcı sistemlerin durum değişkenlerinin ve bu değişkenler arasındaki farkların (hataların) zamana bağlı değişim grafikleri



Şekil 4.8. Hata vektörlerinin zamana bağlı değişimi

Bu çalışma, kaotik sistemlerin aktif kontrol aracılığıyla senkronizasyonunun gerçekleştiğini göstermektedir. Sayısal sonuçlar, genelleştirilmiş aktif kontrol yönteminin geçerliliğini ve etkililiğini doğrulamaktadır.

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dinamik ve karmaşık bir yapıya sahip Tedarik Zinciri sistemi, belirsizlik kaynaklarının neden olduğu kaotik davranışlar sergilemektedir. Yaşayan bir Tedarik Zinciri için bu karmaşık davranışlar, pazarda rekabet gücünü azaltır, maliyetleri artırır ve hatta sistemin çok kısa sürede çökmesine bile neden olabilir. Yalnızca “insan faktörü” bile çalışan rolü ile işletme içerisinden, müşteri rolü ile işletme dışından sistemin dengeli yapısını aniden bozabilmektedir. Bunun gibi birçok faktör sayılabilir. İşte bu gibi bozucuların Tedarik Zinciri sisteminin kararlılığına etkilerini, Kaos Teorisi bakış açısı ile sistemin dinamik davranışlarını inceleyerek ortaya koymak mümkündür. Geliştirilen kontrol yöntemleri sayesinde kontrol parametresi eklenmiş sistemin değişen şartlar altındaki davranışlarının tespiti sağlanmakta ve sistem belirsizliğe karşı korunabilmektedir. Böylelikle sistemdeki enerji, para ve zaman kayıpları önlenmesi sağlanabilmektedir.

Tedarik Zinciri sistemlerinde kaotik yapıları inceleyen alan araştırması (Açıkgöz ve Çağıl, 2019), kaosun ortaya konmasında en çok zaman serileri, çatallanma diyagramları, ve Lypunov üstelinin kullanıldığını göstermektedir. Ayrıca bu çalışmaların; 1) Tedarik Zincirinde Kaos Teorisinin bir metodoloji olarak kullanılması, 2) Tedarik Zinciri fonksiyonlarındaki karmaşıklığın kaos teorisi ile açıklanması, 3) Değişik şekillerde tasarlanmış Tedarik Zinciri modellerinin dinamik davranışlarının incelenmesi, 4) Tedarik Zincirinin kaos kontrolü ve senkronizasyonunun araştırılması şeklinde dört farklı başlık altında toplandığı görülmüştür. Bu tez çalışmasının 2’inci, 3’üncü ve 4’üncü kategoriyi de kapsamı bakımından literatüre önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmada ele alınan genel üç boyutlu Tedarik Zinciri modelinin $L_1=0,9121$, $L_2=0,003$, $L_3= -14,8$ şeklinde hesaplanan Lyapunov üstelleri, sistemin faz uzayındaki

yörüngelerin birbirinden uzaklaşıp yaklaşma miktarlarını göstermekte olup en az bir “+” üstel kaosu varlığını kanıtlamaktadır. Ayrıca Lyapunov üstelleri arasındaki Kaplan-Yorke Lyapunov boyutu 2,0616 olarak hesaplanmıştır. Kaplan-Yorke kriterinin 2 ile 3 aralığında elde edilmesi de sistemin kaotik davranış sergilediğini ayrıca göstermektedir.

Tedarik Zinciri modelinin benzetim sonuçlarına göre, kaotik davranış sergileyen sistemin x (talep), y (stok) ve z (üretim miktarı) durum değişkenlerinin geometrik yapısı histogram, otokorelasyon, spektral grafik ve faz diyagramları ile incelenmiştir. Sistemin kaotik davranışı, “Davranış Değişim Düzeni” şeklinde tanımlanan bir doğrusal kontrol parametresi yardımıyla kararlı hale getirilmiştir. Kullanılan u kontrol parametresi üretim miktarı denkleminde üretim miktarını artıran nitelikte pozitif etkisi olup "emniyet stoğu" olarak belirlenmiştir. Bu parametre; ani talep artışlarında üretim miktarını artıran, işletmeler tarafından kontrol edilebilen ve sistemin esneklik kabiliyetini büyük ölçüde etkileyen doğrusal bir parametredir. Sisteme eklenen emniyet stoğu parametresi [10-42,8] aralığında iken sistem çift periyod, [42,8-70] aralığında asimptotik kararlı, [70-90] aralığında ise sistemin yörüngelerinin sabit bir noktaya yakınsadığı görülmektedir. Sabit üretim miktarı modeli sistem kararlılığı için bir ihtiyaç olduğundan, kaotik durumda (u=10 için) üretim miktarı değişkeninin histogram grafiği frekansı 300 olan iki modlu bir yapı oluştururken, kararlı duruma geçen sistem (u=70 için) frekansı 1250 olan tek modlu yapıya dönüşmüştür.

Kaotik durumda üretim miktarlarında görülen ve 1 ile -0,8 aralığında değişen yüksek otokorelasyon, kararlı durumda azalarak 30'uncu gecikme ile ortadan kalkmıştır. Sistem kararlı hale gelirken, spektral grafiklerdeki tepe değerlerinin sırasıyla 8000, 450, 50 şeklinde azalması artık faz uzayındaki periyod sayısının azalmış olduğunu kanıtlar niteliktedir.

Çalışmada ayrıca üç boyutlu Tedarik Zinciri sisteminde güvenlik stoğu etkisi, iki boyutlu bir Poincare kesiti aracılığıyla incelenmiştir. Şekil 3.13.'de görüldüğü gibi Poincare yüzeyi ile kesişen yörünge sayısı kaotik durumda 150'dir ve sistem kararlı

durumda olduğunda bu sayı 1'e düşmektedir. Ayrıca verilen zaman serilerinde sistemin çeşitli zaman aralıklarında kaotik süreçlerle kesintiye uğramış periyodik davranışlardan, tahmin edilebilir düzgün harekete geçtiği ve kısa bir süre sonunda ($t=10$ anından itibaren) sabit bir noktaya geldiği görülmektedir.

Müşteri sadakati, talebi etkileyen önemli bir faktör olmakla birlikte belirlenemez ve öngörülemez özelliği bakımından sistemin kaotik yapısını etkileyeceği düşünülmüştür ve bu nedenle ele alınan modele yeni bir durum değişkeni olarak eklenmiştir. Önerilen yeni 4 boyutlu Tedarik Zinciri sisteminin dinamik davranışları incelendiğinde, Tedarik Zinciri sistemine yeni eklenen "müşteri sadakati" durum değişkeninin sistemde çok katmanlı kaotik (hiperkaotik) davranış görülmesine neden olduğu ortaya çıkmıştır. Müşteri sadakatının artmasının, sistemin kaotik yapıdan kararlı duruma dönüşmesine neden olduğu faz portreleri ile gösterilmiştir.

Yeni önerilen hiperkaotik Tedarik Zinciri sisteminin kaos senkronizasyonu için aktif kontrol yöntemi kullanılmıştır. $t=0$ anında kontrol sinyali etkinleştirilmiştir ve bundan sonra hata vektörlerinin hızla sifira yakınlaştığı, $t=4$ anından itibaren ise hatanın sıfır olduğu görülmüştür. Buna göre aktif kontrolörün yönetici ve uygulayıcı sistemlerini senkronize ettiği ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada ele alınan Tedarik Zinciri Sistemi, daha etkin ve gerçekçi modellenebilmesi için türevlerin üslerinin bir tamsayıdan farklı olarak, kesirli mertebeden diferansiyel denklemler şeklinde yeniden tasarlanmıştır. $q_1 = 1$, $q_3 = 1$ ile $q_2 = 0,98$, $q_2 = 0,97428610498$ ve $q_2 = 0,8$ olduğu durumlarda, sistem sırasıyla kaotik, tek spiralli, asimptotik olarak kararlı davranış göstermiştir. Benzetim sonuçlarına göre diferansiyel denklem sisteminde q_1 , q_2 , q_3 1'e yaklaştıkça sistem kaotik davranış sergilemektedir. Herhangi iki denklemin üs değerlerinin 1'e eşit olması koşuluyla, üçüncü denklemin üs değeri 1'den küçük olduğunda sistem kararlı duruma yaklaşmaktadır. Talep, yapısı gereği tedarik zincirinin davranışını tahmin edilemez hale getirir. İşletmeler, talebi kontrol altına almak için çeşitli stratejiler kullansalar da talebi tam olarak tespit edemezler. Bu nedenle, "Tedarik Zincirinin

Kaotik davranışı, envanter ve üretim miktarı değişkenleri ile kararlılığa dönüştürülebilir" sonucu, bu çalışmanın önemli çıktılarından birisidir.

Yapılan çalışmalarda Tedarik Zinciri sistemi genel bir model olarak ele alınmış olmasına rağmen sistem dinamikleri, ilgili proseslere bağlı olarak her bir ürün tipi; örneğin gıda, yağ, tüketici ürünleri vb. için değişmektedir. Buna göre çalışmanın son bölümünde bozulabilir ürünlere ait bir Tedarik Zinciri modeli önerilmiş, kaotik davranışları incelenmiş ve aktif kontrol yöntemi ile senkronizasyonu sağlanmıştır. Önerilen yeni Tedarik Zinciri modelinde müşteri doyumunu $d=0,302$ olduğu durumda sistemin kaotik davranış sergilediği görülmüştür. $d=(0,302; 0,323; 0,33202)$ için sistem incelenmiş d değerindeki küçük bir artışın sistemi kararlı duruma yaklaştığı ortaya konulmuştur. Böylelikle bozulabilir ürünlere ait bir dinamik sistemin müşteri doyumuna hassas bağımlı olduğu görülmüştür.

Yeni önerilen modelde kaos senkronizasyonu için aktif kontrol yöntemi kullanılmıştır. Başlangıç anında kontrol sinyalleri etkinleştirilmiş olup $t=50$ anından itibaren hata vektörleri hızla sifıra yaklaşmaktadır. Buna göre $t=70$ ile birlikte aktif kontrolörün yönetici ve uygulayıcı sistemlerini senkronize ettiği görülmektedir.

Özetle çalışma dinamik bir tedarik zinciri sistemi modellenmesinden başlayarak kaotik davranışların ortaya konmasına ve kontrol yöntemleri uygulamalarına kadar çeşitli konuları içermesi bakımından tedarik zinciri sistemlerinin kaotik yapısını inceleyen araştırmacılar için bir örnek oluşturmaktadır.

Bu çalışmanın devamı niteliğindeki gelecek çalışmalarda, bozulabilir ürünler için modellenen yeni tedarik zinciri sistemi senkronizasyonunda farklı kontrol teknikleri kullanılabileceği gibi farklı sektörler veya farklı ürün tiplerine ait dinamik tedarik zinciri modelleri geliştirilebilir ve kaotik davranışları analiz edilebilir.

KAYNAKLAR

- Açıkgöz, N., Çağıl, G. 2019. Tedarik Zincirinde Kaos: Bir Literatür Taraması. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 7(3): 449-466.
- Agiza, H.N., Elsadany, A.A. 2004. Chaotic dynamics in nonlinear duopoly game with heterogeneous players. *Appl. Math.Comput.*, 149(3): 843–860.
- Alfaro, M.D., Sepulveda, J.M. 2006. Chaotic behavior in manufacturing systems, *Int. J. Production Economics*, 101(1): 150–158.
- Alfaro, M.D., Sepúlveda, J.M., Ulloa, J.A. 2013. Forecasting Chaotic Series in Manufacturing Systems by Vector Support Machine Regression and Neural Networks. *Int J Comput Commun*, 8(1): 8-17.
- Anne, K.R., Chedjou, J.C., Kyamakya, K. 2009. Bifurcation analysis and synchronisation issues in a three-echelon supply chain. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 12(5): 347–362.
- Bachlaus, M., Tiwari, M. K., Shankar, R. 2008. Sequencing of parts on single-stage multifunctional machining systems using a chaos-embedded simulated annealing algorithm. *International Journal of Production Research*, 46(12): 3387–3413.
- Bai, E.W., Lonngren, K.E. 1998. Synchronization of two Lorenz systems using active control. *Chaos, Solitons & Fractals*, 9: 1555-61.
- Barri, R., Martínez, M.A., Serrano, S., Wilczak, D. 2015. When chaos meets hyperchaos: 4D Rössler model. *Physics Letters A*, 379(38): 2300-2305.
- Bartholdi III, J.J., Eisenstein, D.D., Lim, Y.F. 2009. Deterministic Chaos in a Model of Discrete Manufacturing. *Naval Research Logistics (NRL)*, 56(4): 293-299.
- Beaumariage, T., Kempf, K. 1994. The Nature and Origin of Chaos in Manufacturing Systems. *Proceedings of 1994 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference and Workshop (ASMC)*, Cambridge, 169–174.
- Benaissa, K., Diep, D., Dolgui, A. 2008. Emergent chaotic behaviour in agent based manufacturing systems. *IEEE 17th Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises, USA*, 24-25
- Blanchini, F., Miani, S., Pesenti, R., Rinaldi, F., Ukovich, W. 2001. Robust control of production-distribution systems. *Perspectives in Robust Control, Lecture Notes in Control and Information Sciences*, Berlin, 13–28.
- Blanchini, F., Rinaldi, F., Ukovich, W. 1997. A network design problem for a distribution system with uncertain demands. *SIAM Journal of Optimization*, 7: 560–578.

- Bruzzone, A.G., Revetria, R., Simeoni, S., Viazzo, S., Orsoni, A. 2004. Anticipating the Chaotic Behaviour of Industrial Systems Based on Stochastic, Event-Driven Simulations. *Computing Anticipatory Systems: CASYS'03 — Sixth International Conference, AIP Conference Proceedings*, 718 (1): 557-565.
- Burbidge, J. L. 1991. Period batch control (PBC) with GT – the way forward from MRP. *BPCIS Annual Conference, Birmingham*.
- Cafagna, D., Grassi G. 2003. New 3D-scroll attractors in hyperchaotic Chua's circuits forming a ring. *Int. J. Bifurc. Chaos*, 13: 2889–2903.
- Chang, J., Zhao, L. 2013. *Supply Chain with the Remanufactured Products*. China: Chool of Finance and Economics, Jiangsu Üniversitesi.
- Charpentier, P., Alfaro, M. 2001. Chaos in Manufacturing Systems : Study of Different Cases, *Physics(AIP) Conference Proceedings*, 573(1): 216-228.
- Chryssolouris, G., Giannelos, N., Papakostas, N., Mourtzis, D. 2004. Chaos Theory in Production Scheduling. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 53(1): 381–383.
- Çağıl, G., Açıkgöz, N. 2018. Yeni bir 4-boyutlu tedarik zinciri sisteminde hiperkaos. *Sakarya University Journal of Science*, 22(2): 799-805.
- Das, S.K. Abdel-Malek, L. 2003. Modeling the flexibility of order quantities and lead-times in supply chains. *International Journal of Production Economics*, 85: 171–181.
- Deshmukh, A. V. 1993. *Complexity And Chaos In Manufacturing Systems*, ProQuest Dissertations and Theses, Purdue Üniversitesi, Doktora Tezi.
- Dong, M.A. 2014. Research On Supply Chain Models And Its Dynamical Character Based On Complex System View. *Journal of Applied Science*, 14(9): 932-937.
- Drew, S., Joe, B. H., Jonathan, R. R. 2006. Enhancing supply chain solutions with the application of chaos theory. *Supply Chain Management: An International Journal*, 11 (2): 108 – 114.
- Forrester, J. 1961. *Industrial Dynamics*, MIT Yayınları.
- Frederickson, P., Kaplan, J., Yorke, E., Yorke, J. 1983, The Lyapunov Dimension of Strange Attractors. *J. Diff. Eqs.*, 49 (2):185–207.
- Gallego, G., van Ryzin, G. 1994. Optimal dynamic pricing of inventories with stochastic demand over finite horizons. *Management Science*, 40 (8): 999–1020.
- Gleick, J. 2005. *Chaos*, Ankara, Tübitak Yayınları.
- Gökçe, K., Uyaroğlu, Y. 2017. An Adaptive Neural Network Control Scheme for Stabilizing Chaos to the Stable Fixed Point. *Information Technology and Control*, 46(2):219-227.
- Göksu, A., Kocamaz, U.E., Uyaroğlu, Y. 2015. Synchronization and control of chaos in supply chain management. *Computers & Industrial Engineering*, 86: 107–115.
- Grabinski, M. 2008. *Chaos – limitation or even end of supply chain management*. High Speed Flow of Material, Information and Capital, İstanbul.

- Guo, Y., Ma, J. 2013. Research on game model and complexity of retailer collecting and selling in closed-loop supply chain. *Applied Mathematical Modelling*, 37:5047–5058.
- Han, Z., Ma, J., Si, F., Ren, W. 2016. Entropy Complexity and Stability of a Nonlinear Dynamic Game Model with Two Delays. *Entropy*, 18(9):317-333.
- Hilborn, R. C. 1994. *Chaos and nonlinear dynamics: an introduction for scientists and engineers*. Oxford Üniversitesi Yayınları, New York.
- Horns, A. 1989. Job Shop Control under Influence of Chaos Phenomena, *IEEE International Symposium on Intelligent Control*, Albany, NY, ABD, 227-232.
- Houlihan, J. B. 1987. International Supply Chain Management. *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, 17(2): 51-66.
- Hwang H.B., Xie N. 2008. Understanding supply chain dynamics: A chaos perspective. *European Journal of Operational Research* 184: 1163–1178.
- Hwang H.B., Yuan X. 2014. Production, Manufacturing and Logistics Interpreting supply chain dynamics: A quasi-chaos perspective. *European Journal of Operational Research* 233: 566–579.
- Jayanthi, S., Sinha, K.K. 1998. Innovation implementation in high technology manufacturing: A chaos-theoretic empirical analysis. *Journal of Operations Management*, 16: 471–494.
- Kaplan, J., Yorke, J. 1979, Chaotic behaviour of multidimensional difference equations. In Peitgen, H. O.; Walther, H. O. *Functional Differential Equations and the Approximation of Fixed Points*. Lecture Notes in Mathematics. 730. Berlin: Springer. 204–227.
- Katzorke I., Pikovsky, A. 2000. Chaos and Complexity in a Simple Model of Production Dynamics. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 5: 179-187.
- Kaya, O. 2016. Kısa Ömürlü Ürünler İçin Koordineli Bir Stok ve Fiyat Yönetimi Modeli, *Anadolu University Journal of Science and Technology A- Applied Sciences and Engineering*, 17(2): 423 – 437.
- Khorasani, S. T., Almasifard, M. 2017. An Inventory Model with Quantity Discount Offer Policy for Perishable Goods in the Two-Level Supply Chain. *International Journal of Engineering and Technology*, 9(4): 2828-2834.
- Kocamaz, U.E., Goksu, A., Uyaroglu, Y., Taskin, H. 2018. Controlling Hyperchaotic Finance System with Combining Passive and Feedback Controllers. *Information Technology And Control*, 47(1): 45-55.
- Kocamaz, U.E., Taskin, H., Uyaroglu, Y., Goksu, A. 2016. Control and synchronization of chaotic supply chains using intelligent approaches. *Computers & Industrial Engineering* , 102: 476-487.
- Kocamaz, U.E., Uyaroglu, Y., Kizmaz, H. 2017. Controlling hyperchaotic Rabinovich system with single state controllers: Comparison of linear feedback, sliding mode, and passive control methods. *Optik* , 130: 914-921.

- Kumara, S. R. T., Ranjan, P., Surana, A., & Narayanan, V. 2003. Decision making in logistics: A chaos theory based approach. *CIRP Annals*, 52(1): 381–384.
- Kurt, E., Kasap, R. 2020. *Karmaşanın Bilimi Kaos*. Nobel yayınları, Ankara.
- Larsen, E.R., Morecroft, J.D.V., Thomsen, J.S. 1999. Complex behaviour in a production-distribution model. *European Journal of Operational Research*, 119: 61-74.
- Lee, H. L., Padmanabhan, V., Whang, S. 1997a. Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect. *Management Science*, 43(4): 546-558.
- Lee, H. L., Padmanabhan, V., Whang, S. 1997b. The Bullwhip Effect in Supply Chains. *Sloan Management Review*, 38(3): 93-102.
- Lei, Z., Li Y., Xu Y. 2006. Chaos Synchronization of Bullwhip Effect in a Supply Chain. 2006 International Conference on Management Science and Engineering, Lille, 557-560.
- Levy, D. 1994. Chaos Theory And Strategy: Theory, Application, And Managerial Implications. *Strategic Management Journal*, 15:167-178.
- Li T., Ma J. 2014. Complexity analysis of the dual-channel supply chain model with delay decision. *Nonlinear Dynamics*, 78 (4): 2617-2626.
- Lin, P.-H., Wong, D.S.-H., Jang, S.-S., Shieh, S.-S., Chu, J.-Z. 2004. Controller design and reduction of bullwhip for a model supply chain system using z-transform analysis. *Journal of Process Control*, 14: 487–499.
- Lou, W., Ma, J., Zhan, X. 2016. Bullwhip Entropy Analysis and Chaos Control in the Supply Chain with Sales Game and Consumer Returns. *Entropy*, 19(2): 64.
- Ma J. , Wang H. 2014. Complexity analysis of dynamic noncooperative game models for closed-loop supply chain with product recovery. *Applied Mathematical Modelling* 38: 5562–5572.
- Ma J., Chen B. 2014. The Complexity Uncertain Analysis about Three Differences Old and New Product Pricing Oligarch Retailers Closed-Loop Supply Chain. *Abstract and Applied Analysis*, 2014: 1-11.
- Ma J., Feng Y. 2008. The Study of the Chaotic Behavior in Retailer’s Demand Model. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2008: 1-12.
- Ma J., Li, Q. 2014. The Complex Dynamics of Bertrand-Stackelberg Pricing Models 2014: 1-14.
- Ma J., Pu X. 2011. Complex dynamics in nonlinear triopoly market with different expectations. *Discrete Dyn. Nat. Soc.*, 2011:1-12.
- Ma, J., Xie, L. 2017. The impact of loss sensitivity on a mobile phone supply chain system stability based on the chaos theory. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 55: 194-205.
- Ma, J., Si, F. 2016. Complex Dynamics of a Continuous Bertrand Duopoly Game Model with Two-Stage Delay. *Entropy* 18(7):266

- Ma, J., Zhang , F. 2015. Research on the complex features about adual-channel supply chain with a faircaring retailer. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 30(1): 151-167.
- Ma, J., Ren, H., Yu, M., Zhu, M. 2018. Research on the Complexity and Chaos Control about Closed-Loop Supply Chain with Dual-Channel Recycling and Uncertain Consumer Perception. *Complexity*, 2018(9):1-13.
- Macdonald, J.R., Frommer, I.D., Karaesmen, I.Z. 2013. Decision making in the beer game and supply chain performance. *Oper Manag Res.*, 6:119–126.
- Mondal, S. 2019. A new supply chain model and its synchronization behaviour. *Chaos, Solitons and Fractals*, 123: 140–148.
- Nagare, M., Dutta, P. 2012. Continuous Review Model for Perishable Products with Inventory Dependent Demand. *Proceedings of the International Multiconferance of Engineers and Computer Scientists 2012, Vol II, Mart 14-16, Hong Kong.*
- Nav, H. N., Makui, A., and Jahed, M. R., Motlagh. 2018. Modeling And Analyzing The Chaotic Behavior In Supply Chain Networks: A Control Theoretic Approach. *American Institute of mathematical sciences*, 14(3): 1123-1141
- Papakostas, N., Mourtzis, D. 2007. An Approach for Adaptability Modeling in Manufacturing –Analysis Using Chaotic Dynamics. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 56(1):491–494.
- Qi, G.Y., Van Wyk, M.A., Van Wyk, B.J., Chen, G.R. 2008. On a new hyperchaotic system. *Phys. Lett. A.*, 372: 124–136.
- Raafat, F. 1991. Survey of Literature on Continuously Deteriorating Inventory Models. *Journal of the Operational Research Society*, 42(1): 27-37.
- Ramírez, S.A., Peña, G.E. 2011. Analysis of Chaotic Behaviour in Supply Chain Variables. *J. econ. finance adm. sci.*, 16(31): 85-106.
- Reyes, P.M. 2002. Integrating The Effects Of Product Substitution And Proliferation Into Grocery Supply Chain Decisions. *Texas Üniversitesi, Arlington, Doktora Tezi.*
- Sajid, M., Almufadi, F., Jahanzaib, M. 2015. Chaotic Behavior in a Flexible Assembly Line of a Manufacturing System. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 5(6): 891-894.
- Sarimveis, H., Patrinos, P., Tarantilis, C. D., Kiranoudis, C. T. 2008. Dynamic modeling and control of supply chain systems: A review. *Computers & Operations Research*, 35: 3530 – 3561.
- Schmitz, J.P.M., Beek, D.A. van, Rooda, J.E. 2002. Chaos in Discrete Production Systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 21(3): 236-246.
- Shin, K., Hammond, J.K. 1998. The instantaneous lyapunov exponent and its application to chaotic dynamical systems. *Journal of Sound and Vibration*, 218(3): 389-403.
- Simon, H.A. 1952. On the application of servomechanism theory to the study of production control. *Econometrica*, 20: 247–268.

- Singh, H, Singh, A. 2002. Principles of Complexity and Chaos Theory in Project Execution: A New Approach to Management. *Cost Engineering*, 44 (12): 23:33.
- Stapleton, D., Hanna, J.B., Ross, J.R. 2006. Enhancing Supply Chain Solutions with the Application of Chaos Theory. *Supply Chain Management*, 11(2): 108-114.
- Sun, Y. , Babovic, V., Chan, E.S. 2010. Multi-step-ahead model error prediction using time-delay neural networks combined with chaos theory. *Journal of Hydrology*, 395: 109–116.
- Thiel, D. 1996. Instabilities and deterministic chaos in just in time production systems: Comparison between Neutral Networks Stimulation and Continuous Stimulation. *Proceedings of the International system dynamics conference*, 549-552.
- Tirandaz, H., Aminabadi, S. S., Tavakoli, H. 2017. Chaos synchronization and parameter identification of a finance chaotic system with unknown parameters, a linear feedback controller. *Alexandria Engineering Journal*, 57(3): 1519-1529.
- Towill, D.R. 1982. Optimisation of an inventory system and order based control system. *International Journal of Production Research*, 20: 671–687.
- Vassian, H.J. 1955. Application of discrete variable servo theory to inventory control. *Operations Research*, 3: 272–282.
- Wang, G., Ma, J. 2013. Modeling And Complexity Study Of Output Game Among Multiple Oligopolistic Manufacturers in The Supply Chain System. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 23(3).
- Wang, W. 2011. Analysis of Bullwhip effects in Perishable Product Supply Chain-Based on System Dynamics Model. *Fourth International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, 1018-1021.
- Wilding, R.D. 1997. An Investigation into Sources of Uncertainty within Industrial Supply Chains; Amplification, Deterministic Chaos & Parallel Interactions. *Warwick Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Doktora Tezi*.
- Wilding, R. 1998b. The supply chain complexity triangle: uncertainty generation in the supply chain. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 28 (8): 599–616.
- Wilding, R.D. 1998a. Chaos Theory: Implications for supply chain management. *International Journal of Logistics Management*, 9(1): 43-56.
- Wolf, A., Swift, J.B., Swinney, H.L., Vastano, J.A. 1985. Determining Lyapunov Exponents from a Time Series. *Physica* 16: 285-317.
- Wu, W., Chen, Z. 2010. Hopf bifurcation and intermittent transition to hyperchaos in a novel strong four-dimensional hyperchaotic system. *Nonlinear Dyn*, 60: 615–630.
- Wu, Y. , Zhang, D. Z. 2007. Demand fluctuation and chaotic behavior by interaction between customers and suppliers. *International Journal of Production Economics*, 107(1): 250–259.

- Yavuz, V. 2014. Tedarik Zinciri Yönetiminde Simülasyon Kullanımı. Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2 (3).
- Yu, M., Nagurney, A. 2013. Competitive food supply chain networks with application to freshproduce. *European Journal of Operational Research*, 224(2): 273-282.
- Zhang, L., Li, Y.-J., Xu, Y.-Q. 2006. Chaos synchronization of bullwhip effect in a supply chain. *ICMSE '06, International Conference on Management Science and Engineering*, 557–560.