



Article Info/Makale Bilgisi

✓Received/Geliş:21.04.2022 ✓Accepted/Kabul:05.06.2022

DOI:10.30794/pausbed.1107306

Research Article/Araştırma Makalesi

Tursun, M. ve Aksu, İ. (2022). "Sistem Dinamiği Yaklaşımı ve Sosyal Bilimlerde Kullanımı", *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2022 Sayı 51: Özel sayı 1, Denizli, ss. 071-086.

SİSTEM DİNAMIĞI YAKLAŞIMI VE SOSYAL BİLİMLERDE KULLANIMI*

Mehmet TURSUN**, İbrahim AKSU***

Öz

Sistem dinamiği, olaylar arasındaki karmaşık ilişkileri ve bu ilişkiler arasındaki doğrusal olmayan bağlantıları inceleyen, matematik, fizik, mühendislik, kentleşme gibi alanların yanı sıra, sosyal bilimlerde de kullanılan dinamik bir analiz yöntemidir. Sistem dinamikleri, analize konu problemin mevcut durumunu doğru değerlendirip modelleme imkanı vermekte ve problemi farklı senaryolar altında test edebilme olanağı sunmaktadır. Bu durum, karar alma süreçlerini kolaylaştırmakta ve yöneticilere, çağın getirdiği dinamizme ayak uydurma imkanı sağlamaktadır. Çalışmada, son yıllarda sosyal bilimlerde etkili bir şekilde kullanılan sistem dinamiği yaklaşımı ve sistem dinamiğinin temelini oluşturan sistem düşüncesi ayrıntılı şekilde açıklanmıştır. Sonrasında, sistem dinamiği ile ilgili literatür incelemesi yapılarak, sosyal bilimlerde yapılmış çalışmalara değinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Sistem düşüncesi, Sistem dinamiği, Sosyal bilimler, Araştırma, Karar alma.*

SYSTEM DYNAMICS APPROACH AND ITS USAGE IN SOCIAL SCIENCES

Abstract

System dynamics is a dynamic analysis method that examines the complex relationships between events and the nonlinear connections between these relationships and is used in social sciences as well as in fields such as mathematics, physics, engineering, and urbanization. System dynamics provides the opportunity to accurately evaluate and model the current state of the problem subject to analysis and offers the opportunity to test the problem under different scenarios. This facilitates decision-making processes and provides managers with the opportunity to keep up with the dynamism of the age. In the study, the system dynamics approach, which has been used effectively in social sciences in recent years, and the system thinking that forms the basis of system dynamics are explained in detail. Afterward, a literature review on system dynamics was made and studies in social sciences were mentioned.

Keywords: *Systems thinking, System dynamics, Social sciences, Research, Decision making.*

*Bu çalışma, İnönü Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme ABD, Muhasebe Finansman Bilim Dalı'nda Mehmet TURSUN tarafından tamamlanan ve BAP birimi tarafından SDK-2019-1834 proje numarası ile desteklen, "Sistem Düşüncesine Dayalı Muhasebe Eğitiminin Öğrencilerin Öğrenme Yaklaşımları, Tutumları ve Akademik Başarılarına Etkisi" adlı doktora tezinden türetilmiştir.

** Dr., Adıyaman Üniversitesi Kahta MYO. ADIYAMAN.

E-posta: mtursun@adiyaman.edu.tr, (<https://orcid.org/0000-0001-9731-2198>)

*** Prof. Dr., İnönü Üniversitesi, İİBF. MALATYA.

e-posta:ibrahim.aksu@inonu.edu.tr, (<https://orcid.org/0000-0002-3903-9338>)

1. GİRİŞ

Teknoloji, nüfus ve ekonomik faaliyetler gibi birçok alanda yaşanan dinamizm, dünyamızı da etkilemektedir. Söz konusu değişimlerin başında iklim, iletişim teknolojisindeki değişim ve çevre kirliliği gelmektedir. Tüm bu gelişmelere bakıldığında modern zamanın en büyük değişiminin değişim olduğu görülmektedir. Bu değişimlerin bazıları insan hayatını kolaylaştırırken bazıları ise birçok kişi, nesne ve ortama zarar vermektedir. İnsanlar bütüncül bir dünya görüşüne sahip olsalardı, sistemin bir bütün olarak uzun vadeli çıkarları ile uyumlu hareket edeceklerdi ve bu da dünyaya daha az zarar verecekti. Sistem düşüncesine sahip olmak, olaylara bütüncül bir bakış açısı ile bakmaya olanak vermektedir. Sistem dinamiği, karmaşık sistemleri öğrenmeyi olanaklı kılacak yöntemleri geliştirmeye yardımcı olur. Ancak karmaşık dinamik sistemler hakkında bilgi sahibi olmak matematik modeller oluşturabilmekten daha başka teknik beceriler de gerektirmektedir. Sistem dinamiği, karmaşık sistemlerin davranışları ile ilgilenen, matematik, fizik ve mühendislik alanında geliştirilen doğrusal olmayan dinamikler ve bunların geri bildirim döngülerinin kontrolünde kullanımının yanı sıra, insan davranışlarına da uygulanabilen, bilişsel ve sosyal psikoloji, ekonomi ve diğer sosyal bilimleri de içine alan bir yöntemdir (Serman, 2000: 4-5).

Sistem dinamiği 1970'li yıllardan sonra sosyal bilimlerde kullanılmaya başlanmıştır. Başta işletme ve ekonomi olmak üzere sosyal bilimlerin birçok alanında uygulanmasına öncülük eden, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nden (MIT) Profesör Jay Forrester, sistem dinamiği problemlerini hızlı ve kolay bir şekilde çözmeye imkân verecek özelliklerde bilgisayar benzetim dillerini tanımlamıştır. Böylece, sistem dinamiği yaklaşımı şehir planlama, dünyanın geleceği ile ilgili senaryolar ve sosyal ve ekonomik sistemlerin modellemesinde de kullanılmaya başlamasıyla ortaya çıkan ve sistemlerin dinamik ve denetlenebilirliği ile ilgilenen yönetim biliminin bir dalı olma özelliği kazanmıştır (Coyle, 1996: 2-3).

Çalışmada, son yıllarda sosyal bilimlerde etkili bir şekilde kullanılan sistem dinamiği yaklaşımı ve sistem dinamiğinin temelini oluşturan sistem düşüncesi ayrıntılı şekilde açıklanmıştır. Sonrasında, sistem dinamiği ile ilgili literatür incelemesi yapılarak, sosyal bilimlerde yapılmış çalışmalara değinilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Sistem dinamiği yaklaşımı işletme, ekonomi, çevre, ziraat, mühendislik, gayrimenkul (kentleşme) ve eğitim gibi birçok bilim dalında kullanılmaktadır. Sosyal bilimlerde sistem dinamiği yaklaşımıyla yapılmış pek çok araştırma bulunmaktadır. Bu bölümde sosyal bilimlerde yapılan araştırmalara yer verilmiştir.

Sosyal bilimlerde yapılan temel araştırmaların birisi Forrester (1969) tarafından yapılan Şehir Dinamiği (Urban Dynamics) çalışmasıdır. Bu çalışmada, şehir ekonomisi, ev fiyatları ve bunlar arasındaki dengenin sağlanmasına yönelik modeller kullanılmaktadır.

Bir başka çalışmada Forrester (1971), Dünya Dinamiği (World Dynamics) modelini oluşturmuştur. Bu model, dünyada sosyal ve ekonomik düzen bozulmaya başladığı zamanlarda geliştirilmiştir. Modelde, nüfus, kirlenme, tarımsal çıktı gibi değişkenler arasında ilişkiden hareketle farklı formatta bir diyagram kullanılmıştır. Çalışmada, değişkenler arasındaki ilişkilerden hareketle sistem dinamiği simülasyonunun yapılabilmesi için denklemler geliştirilmiştir.

Yamaguchi (2003)'deki çalışmasında, sistem dinamiği ve muhasebe sisteminin temel prensiplerini birleştirerek muhasebe sistem dinamikleri prensiplerini ortaya koymuştur. Sonrasında finansal durum tablosu, gelir tablosu ve nakit akış tablosunu sistem dinamikleri prensiplerine göre modellemiştir. Çalışmada nakit akım tablosunun sistem dinamikleri prensiplerine göre modellenmesinde önemli olduğu vurgulanmıştır. Çalışma sonucunda, şirketlerin daha iyi yönetilebilmesi için finansal tabloların iyi anlaşılması şart iken, sistem dinamiklerinin daha iyi yönetim stratejileri için dinamik modelleme ve simülasyon becerileri sunduğu belirtilmiştir.

Pala ve Vennix (2005) lisans düzeyinde verilen sistem dinamikleri eğitiminin sistem düşüncesi görev performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırmada, 13 hafta süren sistem dinamikleri eğitimi öncesi ve sonrasında deney grubu ve kontrol grubu öğrencilerine, belirlenen üç konuda verilen görev performansları değerlendirilmiştir. Verilen üç görevden ikisinde sistem dinamiği eğitiminin görev performansı üzerinde olumlu etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Melse (2006) çalışmasında finansal muhasebe modelinin temel prensiplerini ortaya koymuştur. Çalışmada muhasebe denkleminin özellikleri, sistem dinamiği modelinin geliştirilmesinde esas alınmıştır. Formel analizler ile muhasebe denkleminin zamana bağlı ve dinamik özelliklerini ifade etmek suretiyle denklem sibernetik bir model olarak yeniden tanımlanmıştır. Bu şekilde ifade edilen muhasebe denklemi, çift taraflı kayıt yönteminin iki boyutunu ifade eden dinamik bir stok ve akış modeli olarak tanımlanmıştır. Muhasebe modelinin operasyonel ve dünya dinamiklerini ifade eden modeller ile birleştirilmesi durumunda finansal dinamiklerin de simülasyonlarının yapılabileceğini öne sürmüştür. Böylece çalışmada hem finansal muhasebe hem de yönetim muhasebesinin gereklerini karşılayabilecek dinamik bir işletme modelinin tasarımının mümkün olduğu belirtilmiştir. Çalışmada ayrıca, dinamik muhasebe modellerinin kontrol ve stratejik planlama amaçlı kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Nuhoğlu (2008) eğitimde sistem dinamiği yaklaşımının öğrencilerin fen ve teknoloji dersine yönelik tutumları, problem çözme becerileri, başarıları, grafik çizme ve analiz etme becerileri ile sebep-sonuç ilişkisini anlama becerileri üzerindeki etkisini ölçmek amacıyla ilköğretim 7. sınıf öğrencileri üzerinde bir çalışma yapmıştır. 2007-2008 öğretim yılı güz döneminde, İstanbul ilindeki 81 okulda ön test-son test kontrol gruplu deneysel desen kullanılarak yapılan çalışmadan elde edilen veriler, betimsel istatistik, bağımlı ve bağımsız t- testi ile analiz edilerek yorumlanmıştır. Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre, sistem dinamiği yaklaşımının öğrencilerin problem çözme, grafik çizme ve analiz etme, sebep-sonuç ilişkilerini anlayabilme becerilerine ve başarılarına olumlu katkıda bulunmaktadır.

Subroto ve Bivona (2009) küçük ve orta büyüklükteki işletmelerin sistem dinamiği modellerini kullanarak iş planlamasını desteklemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada bilanço, gelir tablosu ve nakit akım tablosu gibi finansal raporların sistem dinamiğine dayalı modelleri tasarlanmıştır. Çalışmada özellikle, adım adım bir sistem dinamiği model oluşturma süreci kullanılarak girişimcilerin, şirketin finansal ve finansal olmayan sonuçlarının altında yatan neden-sonuç ilişkilerinin bu yolla daha iyi anlayabileceği vurgulanmıştır. Yazarlar sistem dinamiğine dayalı modelleme yaklaşımının karar vericilerin bilanço kalemleri ile ilgili anlayışlarını arttıracakını ifade etmişlerdir.

Aksu (2013a) sistem dinamiklerini kullanarak nakit bütçesi modeli oluşturmuş ve modelin farklı senaryolar altında gösterdiği tepkileri analiz etmiştir. Çalışmada modelin, işletmelere herhangi bir andaki nakit durumunu tespit etme imkanı sunduğu, varsa nakit ihtiyacının tutarı ve süresi hakkında bilgi verdiği belirtilmiştir. Ayrıca, oluşturulan nakit bütçesi modelinin üretim maliyetlerinin hesaplanmasından, maliyet hacim kar analizlerine kadar yönetimin ihtiyaç duyduğu pek çok muhasebe konusunda kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Aksu (2013b) muhasebe bilim dünyasına stratejik maliyet yönetimi aracı olarak sistem dinamiği yaklaşımının kullanılabilirliğini göstermek amacıyla bir çalışma yapmıştır. Çalışmada, sistem dinamiği yaklaşımının sistem perspektifi ve iş performansını arttıran politikalar tasarlama fırsatı sunması nedeniyle stratejik maliyet yönetiminin bir aracı olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Çalışmada ayrıca, sistem dinamikleri modelleri ile farklı senaryolardaki olası değişiklikleri ve davranış biçimlerini izlemenin mümkün olabileceği, dolayısıyla yöneticilerin, faaliyetler gerçekleşmeden önce stratejik kararlarda kullanılan bilgileri elde edebileceği ve bu bilgiler ışığında, işletmelerin hedeflerini gerçekleştirmek için uygun politikalar üretebileceği ifade edilmiştir.

Guerra vd., (2014) tek kademeli çok ürünlü kanban (üretim ortamında malzeme hareketlerinin kontrolü amacıyla kullanılan bir çizelgeleme yaklaşımı) sistemini farklı talep düzeyleri altında sistem dinamikleri yaklaşımıyla modelleyerek test etmişlerdir. Çalışmada, reel sosyo-ekonomik dinamikler ve küresel ölçekteki agresif rekabetten dolayı, şirketlerin organizasyon yapılarını, stratejik hedeflerini ve karar alma süreçlerini sık sık yenileme durumunda kaldığı belirtilmiştir. Ayrıca, sistem dinamiği yaklaşımının firmalara yönetim sorunlarını daha iyi anlama, aynı zamanda proaktif bir davranışı destekleme ve değişikliklere hızlı ve etkili bir adaptasyon imkanı sağladığı ifade edilmiştir.

Aksu vd., (2014) çalışmalarında, işletmelerin birçoğunun karşılaştığı sorunlar için çözüm yolları araştırmak amacıyla, gecikme ve geri bildirimlerin gösterilebildiği dinamik bir simulasyon yöntemi olan sistem dinamiği yaklaşımı ile genel bir üretim işletmesi modeli oluşturmuş ve farklı senaryolar için değişkenlerin trendlerini gözlemlemiştir. Çalışmada, sistem dinamiği modellemesi ile alınacak kararların işletmeye etkisi dinamik olarak model üzerinde gösterile bilindiği gibi, diğer birtakım yöntemlerle kıyaslandığında işletme faaliyetlerine etki

edebilecek neredeyse tüm değişkenleri de göz önünde bulundurarak gerçek duruma çok yakın sonuçlar verdiği ifade edilmiştir. Çalışma sonucunda, işletme bütçelerinin oluşturulması, gider dağıtımının daha rasyonel bir hale getirilmesi, işletme performanslarının tahmin edilmesi gibi daha pek çok alanda sistem dinamiğinden faydalanılabileceği belirtilmiştir.

Sihombing (2017) Endonezya'daki bir yol projesinin proje finansmanı ve risk modellemesini sistem dinamiği yaklaşımıyla analiz etmiştir. Çalışmada, proje finansmanı ve risk modellemesinde sistem dinamiklerinin kullanımının geleneksel analiz tekniklerinden daha avantajlı olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca sistem dinamiği yaklaşımıyla hazırlanan proje finansmanı ve risk modellemeleri analizlerinin güven verdiği ve kullanıcıların politika geliştirmelerine yardımcı olduğu, dolayısıyla proje finansmanı ve risk modellemelerinde analitik bir stratejisi olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Fisher (2018) ortaöğretim düzeyindeki matematik dersinde yaklaşık bir yıl süren sistem dinamiği modellemesine dayalı bir öğretim uygulaması gerçekleştirmiştir. Bu uygulamayla, ortaöğretim düzeyindeki okulların çeşitli derslerinde 20 yılı aşkın bir süredir uygulanan sistem dinamiği modelleme yaklaşımını değerlendirmiştir. Çalışmada bir eğitim öğretim yılı (dokuz ay) boyunca öğrencilere matematik dersinde sistem dinamiği modelleme tasarımı ve uygulanması ile ilgili eğitim verilmiştir. Eğitimin sonunda öğrenciler oluşturdukları modellerin uygulamalarını yaparak modelin ayrıntılarını açıklamışlardır. Çalışma sonucunda, model oluşturma sürecinin aktif öğrenme sürecinin önemli bir parçası olduğunun gözlemlendiği vurgulanmıştır.

Bozиков vd., (2018) çalışmalarında, Hırvatistan'da bulunan Zagreb Üniversitesi Tıp Fakültesi'ne bağlı Andrija Stampar Halk Sağlığı Okulu'ndaki eğitim, öğretim ve araştırma projelerinde sistem dinamiği modellemesinin uygulanmasındaki deneyimleri ve başarıları gözden geçirmişlerdir. Araştırmada öğrencilerin lisans mezuniyet projelerinde, yüksek lisans ve doktora çalışmalarında kullandıkları sistem dinamiği modellemeleriyle projelerini ve tezlerini tamamladıkları, sonrasında bu çalışmalarını bildiri veya makale olarak yayımladıkları belirtilmiştir. Çalışmada, sistem düşüncesi ve modelleme yaklaşımının, öğrencilerin mezuniyet tezlerinin bir parçası olan projelerini araştırmalarında, dinamik sistem davranışının daha iyi anlaşılmasını sağladığının kanıtlandığı belirtilmiştir.

Ateskan ve Lane (2018) Türkiye'de bir mesleki gelişim programı sırasında öğretmenlerin sistem düşünme becerilerinin değerlendirilmesi amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Ülkenin farklı yerlerinden otuz dokuz öğretmenin katıldığı mesleki gelişim programı sekiz ay boyunca devam etmiştir. Öğretmenlerin sistemsel düşünme becerileri atölye öncesi ve sonrası anket ve kavram haritaları ile analiz edilmiştir. Çalışmada, atölye öncesi ve sonrası öğretmenlerin sistemsel düşünme ölçeği puanları arasında istatistiksel olarak pozitif anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Ayrıca kavram haritası analizinde katılımcıların çevre, ekonomi ve sosyal adalet gibi kavramlarla ilgili daha fazla desteğe ihtiyaç duyduklarını belirtilmiştir.

Khan, Qureshi, & Davidsen (2020), sermaye yapısı politikasının firma değeri üzerindeki etkisini sistem dinamiği yaklaşımıyla analiz etmişlerdir. Firma değeri maksimizasyonu amacıyla yapılan çalışmada, bir petrol firması için operasyonel ve finansal süreçleri içeren sistem dinamiğine dayalı bir kurumsal planlama modeli geliştirilmiş ve model çeşitli senaryolarla simüle edilmiştir. Sermaye yapısındaki borç yüzdesindeki artışın firma değerini arttırdığı tespit edilmiştir. Bu sonucun ana nedeni olarak borçlanma maliyetlerinin öz kaynak maliyetlerinden daha düşük olması gösterilmiştir.

Giorgino vd., (2020) yılında yaptıkları çalışmada, kurumsal muhasebe raporlarında sunulan nitel bilgilerin değerlendirilmesinde sistem dinamiklerinin rolünü araştırmışlardır. Yazarlar makalenin, yönetim muhasebesi alanında sistem dinamiklerinin uygulanmasına ilişkin önceki literatürün genişletilmesine katkıda bulunduğunu ve kurumsal raporlama uygulamalarına yeni bir bakış açısı getirdiğini ifade etmişlerdir. Araştırmada, özellikle sistem dinamiklerinin muhasebede kullanılmasının entegre raporlama bilgilerinin yeni bilgilere dönüştürülmesine önemli katkılar sağlayabileceği vurgulanmıştır.

Nuhoğlu (2020) fen dersinde sistem dinamiği ile modellemenin öğrenme üzerindeki etkilerini ve sistem dinamikleri ile modelleme sırasında uygulanan tümevarım ve tümdengelim öğrenme yöntemlerinin öğrencilerin problem çözme becerileri üzerinde herhangi bir etkisinin olup olmadığını incelemiştir. Çalışma sonucunda

öğrencilerin problem çözme becerilerinde istatistiksel olarak pozitif yönlü anlamlı farklılıklar gözlenmiştir. Ayrıca, tümevarım deney grubundaki öğrencilerin problem çözme becerilerinin tümdengelim deney grubundaki öğrencilerin problem çözme becerilerine göre daha yüksek ortalama puanlara sahip olduğu ve sistem dinamiği yaklaşımının öğrencilerin problem çözme becerilerini geliştirmede önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir.

Pierson (2020) sistem dinamiği modellerinde muhasebe raporlarının işlevsel hale getirilmesi amacıyla kapsamlı bir muhasebe modeli sunmuştur. Çalışmada, muhasebe raporlama sürecini sistem dinamikleri çerçevesinde oluşturan ve gelecekte bu modellemeleri kullanacak kişilerin bu yapıları projelerine dâhil etmelerine olanak tanıyan bir modelin geliştirildiği belirtilmiştir. Pierson çalışmasında ayrıca, oluşturulan bu modelin, muhasebe bilgilerinin raporlamasını işlevsel olarak temsil eden sistem dinamiğine dayalı projelerin sayısını artıracaklarını iddia etmiştir.

Literatür incelemesine genel olarak bakıldığında, sistem dinamiğinin karar alma süreçlerinde etkili sonuçlar verdiği görülmektedir. Bir olayın sebeplerini ve sistemi oluşturan ilişkileri anlamada başarılı olan sistem dinamikleri, bu yönüyle eğitim amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Son yıllarda sosyal bilimlerde birçok alanda kullanılan sistem dinamiğinin, işletmelerin karar alma süreçlerinde oldukça yoğun kullanılmaya başlandığı görülmektedir.

3. SİSTEM DİNAMIĞI YAKLAŞIMI

Esas itibarıyla sistem dinamiği yaklaşımının temeli, sistem düşüncesine dayanmaktadır. Bu nedenle, sistem dinamiğini açıklamadan önce sistem düşüncesini ve felsefi altyapısına değinmek gerekmektedir.

Sistem düşüncesi kavramı, İngilizce literatürde “Systems Thinking” olarak yer alan bir düşünme yaklaşımıdır. Bilimsel düşünme ve gerçeği bulma uğraşının temelinde yaşamı güvenilir ve rahat kılma ve evreni anlama ihtiyacı bulunmaktadır. Yaşamı güvenilir ve rahat kılma; insanlığın varoluşundan beri nesilden nesile aktarılan çeşitli deneyimleri ve becerileri kapsayan teknik bir geleneği kapsamaktadır. Dünyayı anlama; insanoğlunun duygularını, inançlarını ve düşüncelerini bünyesinde toplayan kültürel geleneği kapsamaktadır. Aynı zamanda uygulama ve teori olarak da ifade edilen bu iki gelenek, zaman zaman değişik isimlerle ifade edilmiştir. Deneye ve gözleme (ampirizm) dayanan tümevarımcı yöntem bilimin uygulama yönü olarak ifade edilirken, akla (rasyonalizm) ve mantığa dayanan tümdengelimci yöntem ise bilimin teorik yönü olarak ifade edilmiştir. Bilimsel düşünme ve araştırma çabasının yoğunluk kazandığı Rönesans sonrası dönemde, her iki geleneğin etkili bir şekilde birlikte kullanımı ile modern bilimin önü açılmıştır. Bu iki geleneği birleştiren ve pozitif mekanik paradigmanın kurucusu Newton’dur. Newton bilimin konusunu maddi dünya ile sınırlayarak evrenin işleyişini mekanik kurullarla açıklamış, tümevarım ve tümdengelim yöntemlerini birleştirerek, 20. yüzyılın başlarına kadar bilimin tüm yönlerine egemen olan pozitif-mekanik bilimin yöntemini belirlemiştir (Erkenekli, 2011: 39).

Newton’un mekanik bilimi pek çok başarıya imza atmıştır. Ancak, sanayileşme ve kentleşmenin artmasıyla ortaya çıkan yeni ve büyük toplumsal problemlere pozitif-mekanik bilimin cevap vermekte yetersiz kalmasıyla, sosyal bilimlerde organik paradigmaya başvurulmuştur. Maddenin yerine organizmayı ve ilke olarak mekaniğin yerine biyolojik (organizmik) ilkeleri ele alan organik düşünce, sistem düşüncesi ve sistem dinamiklerinin temelini oluşturmuştur. Organizmik düşüncenin, mekanik düşünceden farklı olan iki temel prensibi bulunmaktadır. Sistem düşünürleri tarafından günümüzde de kullanılmaya devam eden bu iki temel prensip, değişim (dinamizm) ve bütünsellik ilkeleridir. Bütünsellik ilkesi, mekanik düşüncenin her şeyin parçalarına bölünüp (indirgenip) anlaşılacağına ilişkin analitik ilkesinden ayrıştığını göstermektedir. Değişim (dinamizm) ilkesi ise, mekanik düşüncenin her şeyin sabit, istikrarlı ve statik bir şekilde olduğu ilkesinden ayrıştığını göstermektedir. Sanayi devrimiyle birlikte etkisi azalmaya başlayan ve 20. yüzyılın başlarına kadar etkin olan Newton’un pozitif-mekanik paradigmasını sarsan ve yerine yeni bilimsel yöntemleri kullanan bilimsel gelişmeler olmuştur. Bu bilimsel gelişmeler İzafiyet, Kuantum ve Kaos kuramlarının mekanik fiziğin kurallarının her zaman geçerliliğinin olmadığını ortaya koyması şeklinde gerçekleşmiştir. Sistem düşüncesi temellerini organizmik düşünce ve kaos teorisinden almaktadır (Erkenekli, 2011: 39-40).

Sistem düşüncesinin tarihsel gelişiminin 1940’lı yıllarda başladığı görülmektedir. Bu tarihten sonra problemlerin çözümünde sistem bütünlüğünün göz önüne alınması ve problemi oluşturan parçaların bir bütünlük içerisinde incelenmesi gerektiği görüşü benimsenmiştir. Çoğunlukla canlı sistemler üzerinde araştırmalar yapan biyologlar

tarafından ortaya atılan bu düşünce, makine çağının bitişi (1940) sistem çağının başlangıcı olarak belirtilmektedir (Tabak vd., 2011: 73).

Sistem düşüncesi teorisinin temelleri Avusturyalı biyolog Ludwig Von Bertalanffy tarafından atılmıştır. Bertalanffy 1968 yılında "General Systems Theory" adlı kitabını yayımlayarak sistem düşüncesi alanında öncü bir şahsiyet olduğunu ispat etmiştir. Sistem düşüncesi Russell Ackoff'un ve Jay Forrester gibi birçok bilim insanının özel ilgisini çekmiştir. Sistem düşüncesinin birçok alanda yaygınlaşması için farklı disiplinlerden (iktisat, fizyoloji, fizik ve biyoloji) bir araya gelen Ludwin Von Bertalanffy, K. Boulding, A. Repoport ve R. Gerard gibi bilim insanları, sistem düşüncesinin birçok farklı disiplinlerde geliştirilmesi amacıyla "Genel Sistem Teorisi Derneği" kurmuşlardır. Tüm bu gelişmeler sistem düşüncesinin fiziksel ve doğal bilimlerin yanında, sosyal bilimler alanında da çeşitli disiplinlerin bir arada düşünülmesine ve yeni disiplinlerin oluşmasına katkıda bulunmuştur (Haines, 2021: 10; Tabak vd., 2011: 73).

Sistem düşüncesinin bugüne kadar birçok tanımı yapılmıştır. Sistem düşüncesi teorisini ortaya atan Bertalanffy sistem düşüncesini; parçalar arasındaki ilişkileri anlayıp bütünü görme disiplini şeklinde tanımlamıştır. Yine bir başka tanıma göre sistem yaklaşımı; bütünsel bir bakış açısıyla parçalar arasındaki ilişkilere odaklanarak, problem ile ilgili tüm yönleri hesaba katarak, problemi çözme yaklaşımı olarak ifade edilmektedir (Taşdelen, 2016: 28; Tecim, 2004: 79).

Sistem, belirli bir amacı gerçekleştirmek için tutarlı bir şekilde organize olmuş birbirine bağlı parçaların bütünüdür. Bu tanım dikkatli bir şekilde incelendiğinde, bir sistemde üç bileşenin bulunması gerektiği anlaşılır. Bunlar; sistemin parçalarını oluşturan unsurlar, unsurlar arası bağlantılar ve ortak bir amacın bulunmasından oluşmaktadır (Meadows, 2008: 11). Sistemlerin bir veya birden çok amaca ulaşmak için aralarında bağlantıları olan, birden çok bileşenden oluşan bir bütün olduğu dikkate alındığında, sistemlerin söz konusu üç unsuruna bütünlük unsurunu da eklemek gerekmektedir. Bu durumda sistemlerin dört önemli ögesinden bahsedilmektedir. Bu ögeler aşağıda daha yakından incelenmiştir (Meadows, 2008: 11; Aksu, 2013a: 81).

Birden Çok Bileşen: Bir sistem bileşen adı verilen birden fazla parçadan oluşmaktadır. Bu parçalar sistemin fiziksel veya kavramsal yapısına bağlı olarak değişik özelliklerde olabilir ve farklı isimler alabilirler. Örneğin bir futbol takımında, sistemin unsurları olarak oyuncular, antrenörler, oyun kuralları, top, saha ve hakemler sayılabilir. Burada oyuncular, antrenörler, hakemler, top ve saha sistemin fiziksel bir bileşeni iken, oyun kuralları sistemin kavramsal bir bileşeni konumundadır.

Bileşenler Arası Bağlantılar: Sistemi oluşturan en önemli özelliklerden birisi de bileşenler arasında anlamlı bağlantıların olmasıdır. Bu bağlantılar bileşenleri bir yığın olmaktan kurtararak sistemin bir bütün olmasına olanak tanımaktadır. Bu bağlantılara örnek olarak, futbol takımında teknik direktörün talimatları, oyuncuların birbiriyle iletişimleri, hakemin ve oyuncuların oyun kurallarını uygulaması vb. verilebilir.

Amaç: Bütün sistemler en az bir amacı gerçekleştirmek için vardır. Bileşenler ve bileşenler arası bağlantılar ortak amaç veya amaçları yerine getirdikleri zaman sistem olma özelliğini kazanırlar. Dolayısıyla ortak amaç olmadan bir sistemden bahsetmek mümkün değildir. Örneğin futbol takımının amacı, maçı kazanmak, sezonu en iyi konumda bitirmek, para kazanmak, eğlenmek ve eğlendirmek şeklinde sıralanabilir.

Bileşenlerin Oluşturduğu Bir Bütün: Bir sistemin bileşenleri ve bileşenler arası bağlantılarının ortak bir amaç doğrultusunda hareket etmeleri sisteme bütünlük özelliğini kazandırmaktadır. Burada "bütün" sözcüğü, tam olma anlamından ziyade, bileşenleri aracılığı ile birlikte hareket etme şeklinde açıklanabilir. Örneğin bir futbol takımı, sadece bileşenlerinin olması ile takım özelliğini kazanamaz. Takım olabilmek için bileşenler arasında bağlantılar ve amaç birliğinin de olması gerekmektedir.

Sistemi oluşturan bileşenlerinde altında da parçalar veya bileşenler olabilir. Bu parçalar alt sistem olarak adlandırılmaktadır. Örneğin bir kurumda üretim yönetimi bir sistem olarak değerlendirilirse; tedarik zinciri, personel yönetim sistemi, araştırma geliştirme, bakım onarım vb. sistemler üretim yönetimi sisteminin alt sistemi konumundadırlar. Dolayısıyla, her sistem belirli sistemlerden oluşabileceği gibi, her sistem kendisinden daha büyük bir sistemin alt sistemi de olabilir. Sistemlerin kendi bileşenleri ile olduğu gibi kendi alt sistemleriyle fonksiyonel bağlantısı bulunmaktadır (Tecim, 2004: 83)

Sistemler literatürde çok farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Ancak sistemlerin temelde iki sınıflandırmaya tabi tutuldukları görülmektedir. Bunlar; sistemlerin çevreleriyle olan ilişkilerine göre “Açık ve Kapalı Sistemler”, sistemlerin zamanla olan ilişkisi bakımından “Statik ve Dinamik Sistemler” dir.

Açık ve Kapalı Sistemler: Açık sistemler, sistem ile sistemin var olduğu dış çevre arasında enerji, bilgi ve materyal alışverişinin bulunduğu sistemler şeklinde açıklanabilir. Bu sistemler girdi olarak aldıkları materyalleri işlem süreci içerisinde değişime uğratarak oluşturdukları çıktıları çevrelerine ihraç ederler. Açık sistemlerin durağan bir yapısı yoktur. Bu sistemler dinamik bir süreç içerisinde değişim, gelişim ve büyümeye açık olarak kendi varlıklarını sürdürmeye çalışırlar. Kendilerini oluşturan unsurların yapıları üzerinde etkin olan açık sistemler çevrelerine de uyum sağlarlar (Tabak vd., 2011: 78-79; Tecim, 2004: 83; Aksu, 2013a: 82-83).

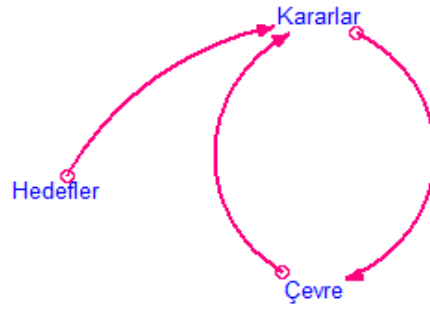
Kapalı sistemler, sistem ile çevresi arasında herhangi bir ilişki olmadan faaliyetlerini sürdüren mekanik özelliklere sahip sistemlerdir. Örneğin, evren kapalı bir sistem olarak düşünülebilir. Kurmalı bir saatin, ilk kurulmasından , sonraki kurulma süresine kadarki süre içerisinde kapalı bir sistem şeklinde çalışması, kapalı sistemlere verilebilecek başka bir örnektir. Kapalı sistemler kendi içinde uyumlu olarak çalışırlar. Açık sistemler ise kendi içinde uyumlu olmakla birlikte kendi çevreleriyle de uyumlu olmak durumundadırlar (Tabak vd., 2011: 79; Tecim, 2004: 83).

Statik ve Dinamik Sistemler: Statik sistem herhangi bir hareketliliğin ve olayın meydana gelmediği sistemlerdir. Bir sistemin unsurları arasındaki ilişkiler sabit kalıyorsa, yani değişkenlik göstermiyorsa bu sistem statik sistem olarak kabul edilebilir. Örneğin birçok parçadan oluşan masa statik bir sistem olarak görülebilir. Her zaman manyetik kuzey kutbunu gösteren pusula statik sistemin özelliklerine sahip bir başka örnek olarak ifade edilebilir (Ackoff, 1971: 663).

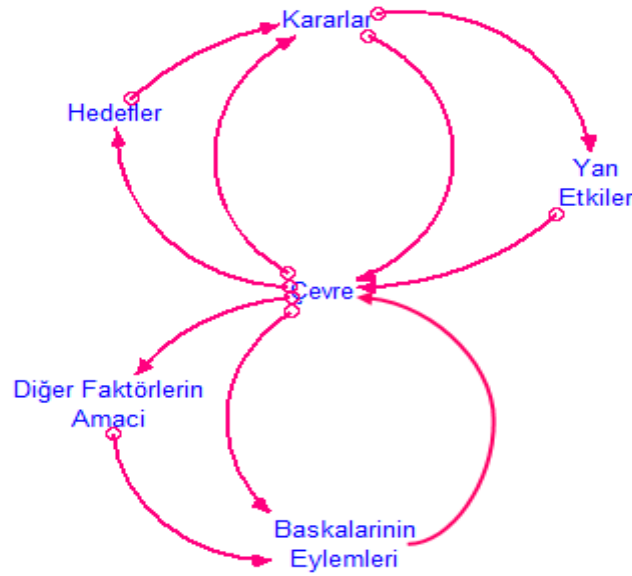
Dinamik sistem kendisini oluşturan unsurların kendi aralarında zaman içinde değişim gösterdiği durumların meydana geldiği sistemlerdir. Farklı hızlarda ileri veya geri hareket edebilen otomobil dinamik sisteme örnek verilebilir. Aslında tüm canlı ve maddi sistemler dinamiktir. Belli bir zaman aralığında sabit kalan ve statik sistemler olarak ifade edilen maddeler, belli bir süre sonra değişime uğramaktadırlar. Sadece zihnimizde olan, maddi olmayan ve ideal şekline kavuşmuş olan matematikteki geometrik figürler statik sistemler olarak ifade edilebilir (Schaefer, 1989: 7).

Sistem Dinamiği 1940’lı yıllarda, matematiksel ve istatistiksel teknikler başlangıçta askeri alanlardaki problemlerin çözümünde, sonrasında ise endüstriyel alanda ve iş dünyasında sıklıkla kullanılmıştır. Bu yöntemler yönetim bilimleri disiplini içerisinde birçok araştırma ve ders kitabına konu olacak şekilde yaygınlaşmıştır. 1960’lı yılların başlarında, bu kontrol sistemlerinin işletmelere uygulanması sonucunda önemli ölçüde başarı sağlandığı görülmüştür. İş dünyasının birçok probleminin çözümünde kontrol teorisi kavramının kullanılabileceğini keşfeden Massachusetts Teknoloji Enstitüsü’nden Profesör Jay Forrester olmuştur. Jay Forrester daha sonra kontrol teorisinin matematik tekniklerinin mühendislik problemlere göre çok daha karmaşık olan yönetilebilir sistemlere uygulanamayacağını keşfetmiştir. Daha sonra Forrester, sistem dinamiği problemlerini hızlı ve kolay bir şekilde çözmeye imkân verecek özelliklerde bilgisayar benzetim dillerini tanımlamıştır. Sistem dinamiği yönteminin şehir planlama, dünyanın geleceği ile ilgili senaryolar ve sosyal ve ekonomik sistemlerin modellenmesinde de kullanılmaya başlamasıyla ortaya çıkan ve yönlendirilmiş sistemlerin dinamik ve denetlenebilirliği ile ilgilenen yönetim biliminin bir dalı olma özelliği kazanmıştır. Nihayetinde sistem dinamiklerinin belirli bazı sorunlarla başa çıkmak için güçlü ve mükemmel bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır (Coyle, 1996: 2-3).

Sistem dinamiği tek yönlü bakış açısının aksine müdahalelere tepki veren, geri bildirim fonksiyonu olan sistemlerdir. Tek yönlü bakış açısına göre belirlediğimiz durum ile arzu ettiğimiz hedeflerimiz arasındaki fark problem olarak tanımlanır. Problem olarak tanımlanan sorunu çözmek için çeşitli seçenekler değerlendirilerek bir karar verilir. Verilen kararın sonucunda problem ortadan kalkabilir veya devam eder (Sterman, 2000: 10). Oysa gerçek sistemlerde faaliyet sonuçlarımız ileride karşılaşacağımız yeni durumları oluştururlar. Bu yeni durum bizim problemi analiz etme şeklimizi ve vereceğimiz kararları değiştirir. Faaliyetlerimizde beklenmedik yan etkiler oluşur. Bir önceki günün çözümleri bu günün problemleri haline dönüşür. Verdiğimiz kararların sonucu ortaya çıkan çıktılarını oluşturan geribildirim süreçlerini anlamadan, problemler ve olağandışı olaylar karşısında yapabileceğimiz tek şey, sözkonusu olaylara tepki vermek olacaktır (Aksu, 2013a: 93). Şekil 1’de sistem dinamiğinin geri bildirim temelli bakış açısı gösterilmiştir.



Kararlarımız çevremizi değiştirerek yeni durumlara (problemlere) yol açar.



Şekil 1: Geri Bildirim Temelli Bakış Açısı

Kaynak: (Aksu, 2013a: 93).

3.1. Sistem Dinamiğinde Modelleme

Modelleme, dünyamızda gerçekte var olan sorunların belirlenmesi ve bu sorunların çözülmesinde kullanılan bilimsel bir araçtır. Modelleme, öğrenme sürecinin bir parçası olarak hem gerçekte var olan hem de zihinsel modellerin hipotezlerini, testlerini ve düzeltmelerini sürekli olarak formüle eden aşamalardan oluşur. Bu süreç doğrusal olmayan işlemlerden müteşekkildir. Sistem dinamiğinde simülasyonu olmayan modeller üzerindeki analizler eksik kabul edilmektedir. Örneğin günümüzde yeni bir uçak tasarlamak, modelleme ve simülasyon olmadan neredeyse imkansızdır (Sterman, 2000: 83).

Başarılı, işe yarar bir modellemeyi garanti eden herhangi bir yol haritası bulunmamaktadır. Ancak modelleme faaliyetinin başarıya ulaşması için yaratıcılığın yanında modelleme yapan kişi ile modellemeye ihtiyaç duyan kişi arasında sağlıklı ve açık bir iletişim gerekmektedir. Modelleme sürecinde sistemi oluşturan parçalar ve bu parçalar arasındaki etkileşimin kuralları ortaya konduktan sonra, bu yapı ya da kurallar değiştiğinde sistemin davranışının da buna bağlı olarak nasıl değişeceği ortaya konmaya çalışılır. Bir sistemi bütünüyle modellemeye çalışmak karmaşık ve anlaşılabilir bir model yapısını karşımıza çıkaracağı için hatalı olur. Modellemeyi faydalı kılan şey, kapsamlı ve karmaşık bir sistemi basitleştirerek gerçeği kavrayabileceğimiz bir temsil oluşturmaktır. Modelleme sürecinin aşamaları Tablo 1’de görüldüğü gibi beş adımda incelenmiştir (Çelik ve Yılmaz, 2011: 273-278).

Tablo 1: Modelleme Sürecinin Aşamaları

1	<p style="text-align: center;">Problemin Belirlenmesi (Sınırların Tespiti)</p> <p>Bu aşamada aşağıdaki sorulara cevap aranır: Konunun Seçimi: Problem nedir? Niçin bir problemdir? Anahtar Değişkenler: Modelde düşünülmesi gereken anahtar değişkenler ve kavramlar nelerdir? Zaman Ufku: Ne kadar uzaktaki bir geleceği öngörmeliyiz? Problemin sınırlarının tespiti için ne kadar geçmişe gidilmelidir? Dinamik Problemin Tanımı (Başvuru şekilleri, grafikleri vb.): Anahtar değişkenler ve kavramların geçmiş davranışları nasıldı? Gelecekte bu değişkenler ve kavramlar nasıl bir davranış sergileyebilirler?</p>
2	<p style="text-align: center;">Dinamik Hipotezlerin Formülasyonu</p> <p>Başlangıç Hipotezin Üretimi: Problemleri davranışla ilgili mevcut teoriler nelerdir? Modelin İçsel Formülasyonu: Sistem Dinamiklerini içsel geri bildirim döngüsü ilişkileriyle anlatan dinamik bir hipotezlerin formüle edilmesi. Haritalandırma: Başlangıç hipotezlerinin, anahtar değişkenlerin, başvuru şekillerinin ve diğer mevcut verilerin nedensel yapı haritalarının oluşturulması. Bu haritalardan bazıları şunlardır; Model sınır diyagramları, Alt sistem diyagramları, Nedensel döngü diyagramları, Stok ve akış haritaları, Politika yapı diyagramları, Diğer kolaylaştırıcı araçlar.</p>
3	<p style="text-align: center;">Bir Simülasyon Modelinin Oluşturulması</p> <p>Yapının ve yapıyı oluşturan karar kurallarının belirlenmesi. Parametrelerin, dinamik ilişkilerin ve başlangıç durumlarının belirlenmesi. Simülasyon modelinin, modelin amacı ve sınırlılıkları yönünden test edilmesi.</p>
4	<p style="text-align: center;">Testlerin Yapılması</p> <p>Referans Noktalarıyla Karşılaştırmaların Yapılması: Geliştirilen model ile amaçlanan model arasında uyum var mı? Uç (aşırı) Değerlere Karşı Dayanıklılık: Modelimiz uç şartlar altında değerlendirildiğinde gerçekçi davranış sergiliyor mu? Duyarlılık: Model, parametrelerdeki, başlangıç koşullarındaki ve model sınırlarındaki belirsizliğe karşı nasıl davranıyor?</p>
5	<p style="text-align: center;">Politika Tasarımı ve Değerlendirilmesi</p> <p>Senaryoların Belirlenmesi: Hangi çevresel koşullar ortaya çıkabilir? Politika Tasarımı: Gerçek dünyada hangi yeni karar kuralları, stratejileri ve yapıları denenebilir? Bunlar modelde nasıl temsil edilebilirler? Neden-Sonuç Analizi: Politikaların etkileri nelerdir? Duyarlılık Analizi: Oluşturulan politika önerileri, değişik senaryolar ve belirsizlik durumlarında nasıl sonuç vermektedir? Politikaların Etkileşimleri: Politikalar birbirlerini etkilemekte midir? Sinerjiler veya etkileşimlerini yok eden durumlar mevcut mudur?</p>

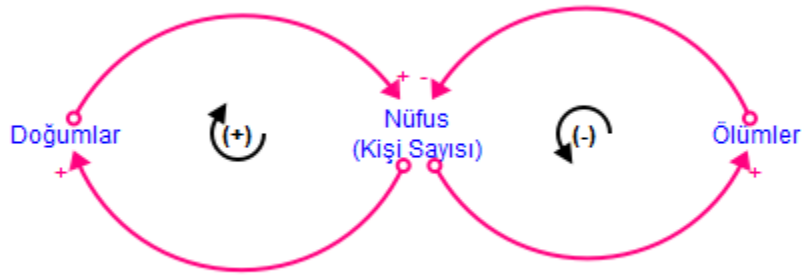
Kaynak: (Sterman, 2000: 86) kaynağından uyarlanmıştır.

3.2. Sistem Dinamiğinin Araçları

Sistem dinamiğinin yapısı stok ve akış diyagramları, geribildirim ve nedensel döngü diyagramları ile sistemin fiziksel yapısının içindeki unsurların karar alma süreci ile etkileşiminin neden olduğu doğrusal olmayan bağlantıları içerir. Ayrıca sistem dinamiğinin yapı elemanlarıyla birlikte kullanılan sistem davranışının zamana bağlı değişim grafikleri ve bilgisayar benzetimi (simülasyonları) sistem dinamiği elemanları arasında yer almaktadır. Sistem dinamiği elemanları aşağıda ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

3.2.1. Nedensel Döngü Diyagramları

Sistem dinamiklerinin en önemli özelliklerinden birisi, sistemin unsurları arasında bir iletişimin ve geri bildirim var olmasıdır. Bir sistemin çevresinden çeşitli girdiler alan ve belirli bir işleme sürecinden geçtikten sonra yine çevresine çıktı olarak veren bir özelliğinin olması, ayrıca sistemin çevresi ile uyumlu bir şekilde işlemesi mekanizması sayesinde olmaktadır. Sistem dinamiği modelinde geri bildirimler Şekil 2’de gösterilen stok ve akışın yanında “dönüştürücü” ve “bağlayıcı” araçları kullanılarak yapılmaktadır. Dönüştürücüler, modelde akış değerlerini hesaplamak için gereken değerleri ya da formülleri tutmakta kullanılmaktadır. Şekil 3 incelendiğinde yıllık doğum oranı ve yıllık ölüm oranının dönüştürücüler vasıtasıyla modele eklendiği görülmektedir. Bağlayıcılar ise, model araçları arasındaki ilişkilerin modele tanımlanmasında, dolayısıyla geri bildirimlerde sıkça kullanılan modelin önemli öğelerinden birisidir. İki tür geri bildirim döngüsü vardır. Birincisi, geri bildirim eylemlerin birbirini güçlendirdiği pozitif (pekiştirici) geri bildirim. İkincisi, geri bildirim döngülerinden birinin diğerinin etkisini yok ettiği negatif (dengeleyici) geri bildirim döngüsüdür. (Forrester, 2009: 7; Tabak vd., 2011: 92; Fisher, 2018: 5).



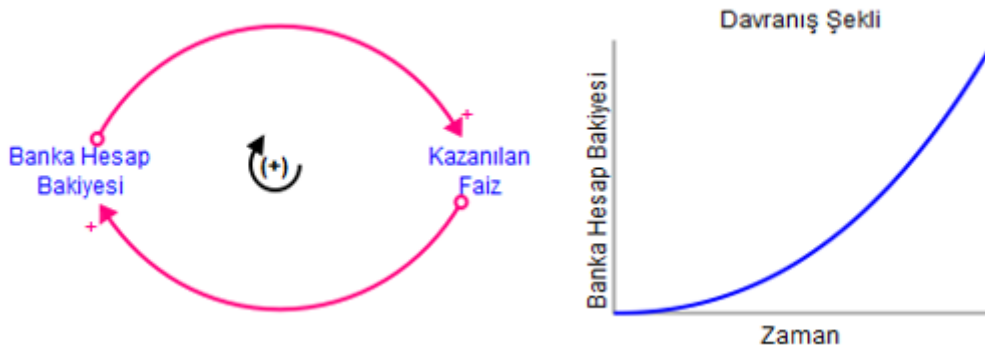
Şekil 4: Geri bildirimli (Nedensel) Döngü Diyagramı

Kaynak: (Söyler, 2006: 29) kaynağından uyarlanmıştır.

Şekil 4’te doğum oranına bağlı olarak doğumlar arttıkça nüfus artmaktadır. Nüfus arttıkça doğumlar artar, bu durum pekiştirici (P) geri bildirimli döngü olarak adlandırılır. Diğer taraftan, nüfus arttıkça ölümler artar, ölümler arttıkça da nüfus azalır, bu durum dengeleyici (D) geri bildirimli döngü olarak adlandırılır.

a) Pekiştirici (Pozitif) Geri Bildirim Döngüleri

Pozitif geri bildirim döngüleri bir önceki verinin üzerine eklenerek aynı yönde hareket eden, kartopu gibi büyüyen ve dönüşüme pozitif ivme kazandıran bir hareket mekanizmalarıdır. Pozitif geri bildirim döngülerinde, sapma daha büyük sapmalara meydan verecek şekilde artar. Örneğin, sistemin stok seviyesi olarak bankaya yatırılan para miktarı olarak kabul edilirse, stok seviyesi dönemsel olarak anaparaya eklenen faiz ödemeleri ile büyür. Şekil 5’te gösterildiği gibi kazanılan faiz tutarı stok seviyesindeki büyüme ivmesini etkileyen bir değişkendir. Pozitif geri bildirim döngüleri (P) veya (+) ile gösterilir (Coyle, 1996: 8; Söyler, 2006: 21; Tabak vd., 2011: 93).

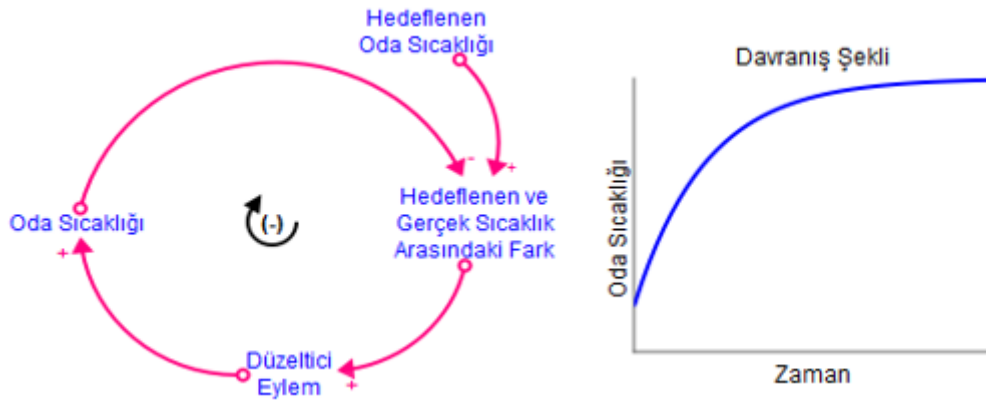


Şekil 5: Pekiştirici (Pozitif) Geri bildirim Döngüleri

Kaynak: (Kirkwood, 1998: 9) kaynağından uyarlanmıştır.

b) Dengeleyici (Negatif) Geri Bildirim Döngüleri

Negatif geri bildirim döngülerinin işleyiş şekli, sistemde hedeflenen seviye ile gerçekleşen seviye arasında fark oluştuğunda, bu farkın giderilmesi için bazı eylemlerin devreye girmesi biçimindedir. Bu eylemler, istikrar sağlayarak sistemin bir düzen içerisinde devam etmesini sağlar. Merkezi ısıtma sistemleri negatif geri bildirim döngülerine örnek verilebilir. Şekil 6'da gösterildiği gibi oda sıcaklığı hedeflenen (istenen) ısının altında kalırsa, hedeflenen oda sıcaklığıyla gerçek oda sıcaklığı arasında bir fark oluşmaktadır. Bu durumda ısıtmada kullanılan kombi devreye girer ve istenilen oda sıcaklığı yakalandığında otomatik olarak kapanır. Oda sıcaklığı belirtilen derecenin altına inmesi durumunda kombi tekrar devreye girerek sıcaklık düzeyinin sürekli bir dengede kalması sağlanmaktadır. Sıcaklık seviyesi tamamen sabit kalmayabilir, ancak kabul edilebilir bir aralıkta kalır. Bu tür dengeleyici (hedef arama) düzenleme döngüsüne dengeleyici geri bildirim döngüsü denir ve (D) veya (-) ile gösterilir (Meadows, 2008: 27-30; Coyle, 1996: 8).

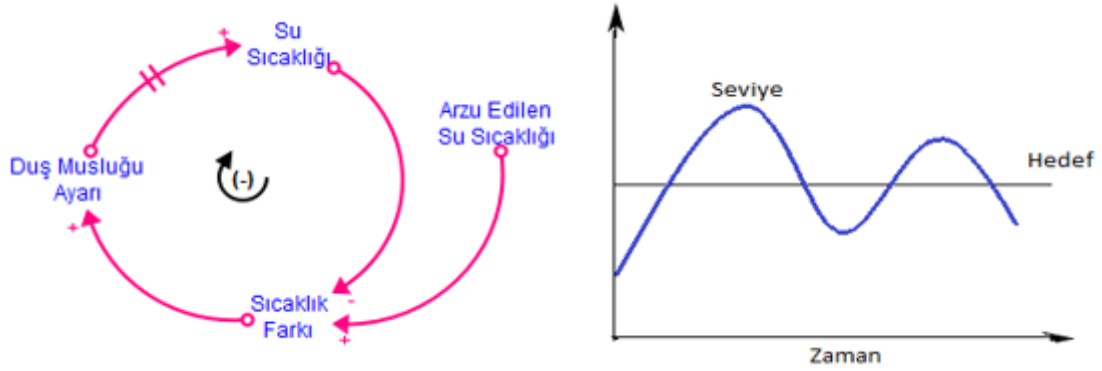


Şekil 6: Dengeleyici (Negatif) Geri Bildirim Döngüleri

Kaynak: (Aksu, 2013a: 103) kaynağından uyarlanmıştır.

c) Gecikmeler (Delays)

Neredeyse bütün sistemlerde bulunan gecikmeler sistem dinamiğinin üçüncü temel unsurudur. Gecikme, sistemin unsurları arasındaki iletişimde geçen süre olarak açıklanabilir. Hemen hemen tüm geri bildirim süreçlerinde bir çeşit gecikme bulunmaktadır. Bazı gecikmeler, kararsızlık ve salınım yaratarak sistemin işleyiş düzenini tehlikeye sokabilir. Bazı gecikmeler ise sistem üzerinde fark edilir ve zamanında sorun giderilerek sistemin olası aksaklıkları önlenmiş olur. Örneğin yemek yeme ile tok hissetmek arasında bir gecikme bulunmaktadır. Yemeği bırakmamız gerektiğinde henüz tok hissetmiyoruz, bu nedenle gereğinden fazla yemek yiyoruz. Konut piyasasındaki talebi karşılamak için yeni bir inşaat projesinin başlatılması ile tamamlanması arasındaki gecikme, emlak piyasasında aşırı konut stoğunun oluşmasına neden olabilmektedir. Şekil 7'de duş alınacak suyun sıcaklığını ayarlama yaşanan gecikme gösterilmiştir. Sıcak su açıldıktan sonra on saniye boyunca su soğuk kalır. Bu sürede içinde eylemimize yanıt alamadığımız için sıcak su sıcaklığını yükseltmeye devam ederiz. Sonunda sıcak su geldiğinde, musluktan istediğimiz seviyenin üstünde bir sıcaklıkla karşılaşırız. Sonrasında, su sıcaklığını düşürmeye başlarız ancak su seviyesi istediğimiz seviyenin biraz altına düştüğünden seviyeyi biraz yükseltiriz ve nihayet istediğimiz seviyeyi yakalamış oluruz (Senge, 2004: 76).

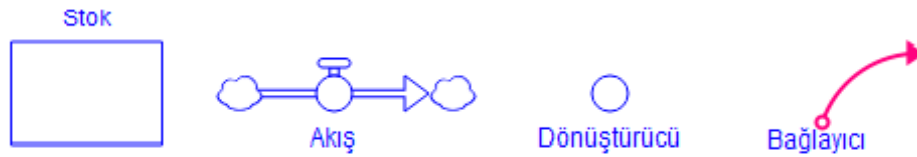


Şekil 7: Sistem Dinamiklerinde Gecikme

Kaynak: (Senge, 2004: 76) kaynağından uyarlanmıştır.

3.2.2. Stok Akış Diyagramları

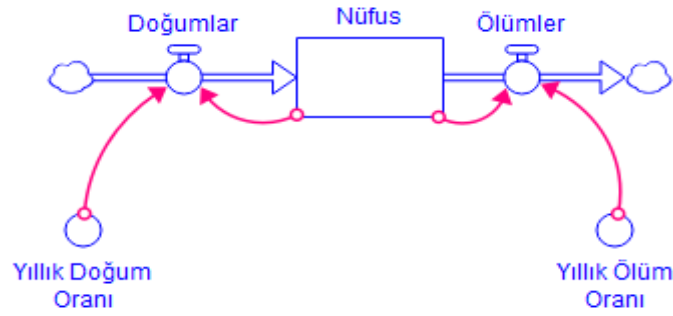
Sistem dinamiğine göre tüm dinamik davranışlar stok (stock) ve akışlardan (flow) meydana gelir. Sistem dinamiği modeli oluşturulurken kullanılan dört temel modelleme aracının sembolleri Şekil 2’de gösterilmektedir. Stok sembolü modelde değerini izlemek istediğimiz değişken veya değişkenleri temsil etmek için kullanılır. Stoklar sistemin mevcut durumunu ortaya koyan, artan veya azalan birikimlerdir. Örneğin kasadaki para, bir şehirdeki nüfus “stok” olarak ifade edilebilir. Akışlar ise stok seviyesinde değişim meydana getiren elemanlardır. Örneğin bir şehirdeki nüfus için, stok seviyesini arttıran akış doğum sayısı iken, stok seviyesini düşüren akış ise ölüm sayısıdır (Fisher, 2018: 5).



Şekil 2: Sistem Dinamiği Modelleme Araçları

Kaynak: (Fisher, 2018: 5).

Sistem dinamiği ile oluşturulmuş basit bir nüfus modeli Şekil 3’te gösterilmiştir. Modelde nüfus “stok” olarak gösterilirken, doğumlar nüfusu artıran “akış”, ölümler ise nüfusu azaltan “akış” olarak ifade edilmiştir. Doğumlar mevcut nüfusun yıllık doğum oranıyla çarpımıyla hesaplanmaktadır. Aynı şekilde ölümler de mevcut nüfusun yıllık ölüm oranıyla çarpımıyla belirlenmektedir. Yıllık doğum ve ölüm sayıları modelde stok olarak ifade edilen nüfus sayısını artırmakta veya azaltmaktadır.



Şekil 3: Sistem Dinamiği Modelleme Araçları Bağlantıları

Kaynak: (Fisher, 2018: 6) kaynağından uyarlanmıştır.

3.2.3. Doğrusal Olmayan Bağlantılar

Sistem dinamiğinin karmaşık bir yapısı bulunmaktadır. Karmaşık dinamik sistemleri oluşturan unsurlardan biri de doğrusal olmayan bağlantılardır. Bir akış değişkeni ile stok değişkeninin doğru orantılı olması durumunda, akış ile stok arasında doğrusal bir ilişki vardır. Ancak dinamik sistemlerde genellikle karar vermeyi etkileyen çeşitli faktörler vardır ve bu faktörlerin stokla doğrusal bir ilişkisi yoktur. Doğrusal olmayan bağlantılar aynı zamanda karar verme sürecinde birden fazla faktörün etkileşime girmesinin sonucunda ortaya çıkar. Dinamik sistemlerdeki geri bildirim döngüleri, sistemdeki doğrusal olmayan ilişkileri temsil eder. Örneğin, bir akışın iki farklı stok değişkeninin etkileşimine bağlı olması veya akışın stok değişkeniyle ters orantılı olması, doğrusal olmayan bir ilişki olarak nitelendirilebilir. Doğal ve beşeri sistemler yüksek düzeyde dinamik karmaşıklığa ve doğrusal olmayan bağlantılara sahiptir (Doğança, 2013: 8; Nuhoğlu, 2008: 28).

3.2.4. Davranışın Zamana Bağlı Değişim Grafikleri

Dinamik sistemlerdeki davranış biçimleri, bu davranışı oluşturan temel yapılardan kaynaklanmaktadır. Bu yapılar, stok ve akış diyagramları, geri bildirim döngüleri ile sistemin fiziksel yapısının içinde hareket eden faktörlerin etkileşimindeki doğrusal olmayan bağlantılardan oluşur. Dinamik sistemlerdeki temel davranış biçimleri, bunları oluşturan geri bildirim yapıları ile açıklanır. Bu biçimler pozitif geri bildirim döngüsü ile oluşan üstel büyüme, negatif geri bildirim döngüsü tarafından oluşturulan hedef arama ve negatif geri bildirim döngüsü ile zaman gecikmelerinden oluşan osilasyondan (dalgalanmadan) oluşmaktadır. S şeklindeki büyüme ve daha karmaşık davranış biçimleri, bu davranışı oluşturan temel yapıların doğrusal olmayan bağlantılarından kaynaklanmaktadır (Sterman, 2000: 107).

a) Üstel Büyüme

Üstel büyüme, pozitif (kendi kendini güçlendiren) geri bildirim döngülerinden kaynaklanır. Miktar büyüdükçe net artışlar artar, bu da miktarı daha da arttırarak hızlı büyümeye olanak verir. Şekil 5'te gösterildiği gibi üstel büyümenin yapı davranışına, kartopunun yuvarlandıkça büyümesi veya bankaya yatırılan vadeli mevduattaki artış örnek gösterilebilir. Bankaya ne kadar fazla para yatırırsanız, dönem sonunda mevduat hesabınıza o kadar fazla faiz eklenir. Bu da sonraki dönemde daha fazla faiz kazanarak paranızı arttırmanız anlamına gelir. Pozitif geri bildirim döngüleri artma yönünde olabildiği gibi azalma yönünde de olabilir. İşletmenin nakit ihtiyacını gidermek için banka kredisi çekmesi ve vade sonunda geri ödemede bulunabilmesi için tekrar banka kredisine başvurması azalma yönündeki üstel büyüme örneğidir. (Senge, 2004: 67; Söyler, 2006: 37).

b) Hedef Arama

Pozitif geri bildirim döngüleri sistemden sapmaları arttırarak ve değişimi güçlendirerek büyüme üretirken, negatif geri bildirim döngüleri sistemi belirli bir dengede tutmaya çalışır. Negatif geri bildirim döngüleri sistemin durumunu hedeften uzaklaştıran durumlara karşı koyarak bir denge ve durağanlık arar. Şekil 6'de gösterildiği gibi, ısınmada kullanılan kombilerde su ısı istenilen seviyeye ulaştığında otomatik olarak kapanır. Isı istenilen

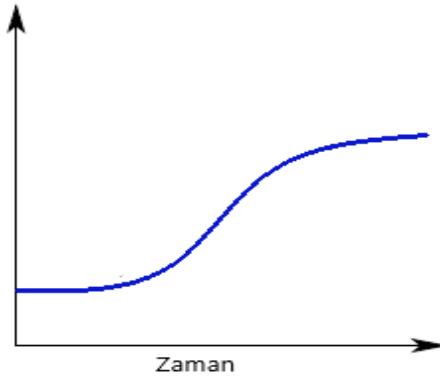
seviyenin altına indiğinde ise, kombi tekrar çalışmaya başlar. Böylelikle ısı seviyesi belirli bir noktada dengede kalmaktadır (Aksu, 2013a: 103).

c) Osilasyon (Dalgalanma)

Osilasyon (Dalgalanma) dinamik sistemlerde gözlemlenen üçüncü temel davranış biçimidir. Hedef arama davranışında olduğu gibi dalgalanmalar da negatif geri bildirim döngülerinden kaynaklanır. Bu davranış biçiminde sistemin durumu hedefi ile karşılaştırılır ve sistemde var olan herhangi bir tutarsızlığın giderilmesi için düzeltici önlemler alınır. Bu davranış biçiminin hedef çizgisinin yukarı ve aşağı yönde sürekli aşılması, negatif geri bildirim döngülerinde önemli zaman gecikmelerinin varlığından kaynaklanır. Şekil 7’de duş sıcaklığını ayarlama da yaşanan gecikme ile oluşan osilasyon yapısı gösterilmiştir (Senge, 2004: 76).

d) S Şeklinde Büyüme

Hiçbir sistemde miktar sonsuza dek büyüyemez (veya azalamaz), sonunda bir veya daha fazla kısıt büyüme durdurur. Bu davranış şekli pekiştirici ve dengeleyici geri bildirim döngülerinin aynı yapı içerisinde kullanılmasıyla oluşmaktadır. Yaygın olarak gözlenen bu davranış şekline S-şekilli büyüme denir. Bu davranış şeklinde büyüme ilk önce üstel bir şekilde artar, daha sonra sistemin birtakım kısıtlardan dolayı artış hızı yavaşlar ve bir denge noktasına ulaşır. Örneğin piyasaya yeni çıkan bir mala müşteri ilgisinin başlangıçta yüksek olması ile hızla yükselen satışlar, belirli bir süre sonra ürünün bazı müşteriler nezdinde popülaritesini kaybetmesiyle ürün satışları azalmaya başlar ve belirli bir noktada dengede kalır (Kirkwood, 1998: 37). Şekil 8’de S şeklinde büyüme yapısı ve davranış şekli gösterilmiştir.



Şekil 8: S Şeklinde Büyüme Yapısı ve Davranışı

Kaynak: (Kirkwood, 1998: 12) kaynağından uyarlanmıştır.

4. SONUÇ

Sistem dinamikleri ve onun dayandığı felsefi temel olan sistem düşüncesi, günümüzde sonuç odaklı çözümlerin yetersiz kaldığını, süreç odaklı dinamik çözümlere ihtiyaç bulunduğunu ortaya koymaktadır. Sosyal bilimlerde analizlerin büyük bir kısmı değişkenler arasında doğrusal bir ilişki varsayımına dayanarak yapılmaktadır. Oysa değişkenler arası ilişkiler çoğu zaman doğrusal olmayan bağlantılar içermektedir. Sistem dinamikleri karmaşık ilişkilerden oluşmaktadır. Bu karmaşıklık, dinamik sistemlerde doğrusal olmayan bağlantılardan kaynaklanmaktadır. Doğrusal olmayan bağlantılar birden fazla faktörün etkileşime girmesiyle ortaya çıkmaktadır. Sistem dinamikleri karmaşık ilişkileri modelleme imkanı vermektedir. Bu durum, olayları zamanında ve doğru anlayabilmeyi kolaylaştırmakta ve dinamik bir analiz imkanı vermektedir. Böylece, değişen koşullar ve durumlar daima analizin bir parçası olmakta ve ortaya çıkan yeni durumlar daha hızlı değerlendirilebilmektedir.

Sonuç olarak sistem dinamikleri yaklaşımı; analize konu problemin tüm yönlerini görebilmede, problemi oluşturan tüm unsurları ve birbirleriyle olan ilişkileri anlayabilmede etkili bir analiz metodudur. Sistem dinamikleri, analize konu problemin mevcut durumunu doğru değerlendirip modelleme imkanı vermekte ve problemi farklı senaryolar altında test edebilme olanağı sunmaktadır. Bu durum, karar alma süreçlerini kolaylaştırmakta ve yöneticilere, çağın getirdiği dinamizme ayak uydurma imkanı sağlamaktadır.

Kaynaklar

- Ackoff, R. L. (1971). Towards A System of Systems Concepts. *Management Science*, 17(11), 661-671.
- Aksu, İ. (2013a). Bütçelemde Sistem Dinamiği Yaklaşımı Nakit Bütçesi Modeli. *Medipres*, Malatya.
- Aksu, İ. (2013b). System Dynamics Approach as A Tool of Strategic Cost Management. *The International Journal of Social Sciences*, 15(1), 18-30.
- Aksu, İ., Söyler, H. & Eren, M. (2014). Üretim İşletmesi Sistem Dinamiği Modeli. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 14(28), 69-104.
- Bozиков, J., Relic, D., & Dezelic, G. (2018). Use of System Dynamics Modeling in Medical Education and Research Projects. *Building Continents of Knowledge in Oceans of Data: The Future of Co-Created Health*, 830-834.
- Bureš, V. (2015). Comparative Analysis of System Dynamics Software Packages. *International Review on Modelling and Simulations*, 8(2), 245-255.
- Coyle, R. G. (1996). Advanced Modelling. In *System Dynamics Modelling* (pp. 297-305). Springer US.
- Çelik, B., ve Yılmaz, C. (2011). iThink ile Dinamik Sistemlerin Modellenmesi. B. Çelik, M. Erkenekli, H. Şeşen ve M. Polat içinde, *Sistem Dinamikleri*. Ankara: Detay Yayıncılık.
- Doğança, Z. (2013). Designing System Based Environmental Instruction Program and Evaluating Its Effects on Seventh Grade Students. İstanbul: Unpublished Doctoral Thesis.
- Erkenekli, M. (2011). Bilimsel Yöntemlerin Tarihi ve Sistem Dinamiklerinin Doğuşu. B. Çelik, M. Erkenekli, H. Şeşen ve M. Polat içinde, *Sistem Dinamikleri*. Ankara: Detay Yayıncılık.
- Fisher, D. M. (2018). Reflections on teaching system dynamics modeling to secondary school students for over 20 years. *Systems*, 6(2), 12.
- Forrester JW. (1969). *Urban Dynamics*. MIT Press, Cambridge, MA
- Forrester, J. W. (1971). *World dynamics*. Wright-Allen Press.
- Forrester, J. W. (1996). System Dynamics and K-12 Teachers. A Lecture at the University of Virginia School of Education. Cambridge. 04 27, 2020 tarihinde <http://mit.ucu.ac.ug/NR/rdonlyres/Sloan-School-of-Management> adresinden alındı.
- Forrester, J. W. (2009). Some Basic Concepts in System Dynamics. https://www.cc.gatech.edu/classes/AY2018/cs8803cc_spring/research_papers/Forrester-SystemDynamics.pdf adresinden alındı.
- Giorgino, M. C., Barnabè, F., & Kunc, M. (2020). Integrating qualitative system dynamics with accounting practices: The case of integrated reporting and resource mapping. *Systems Research and Behavioral Science*, 37(1), 97-118.
- Guerra, L., Murino, T., & Romano, E. (2010). A System Dynamics Model for a Single-Stage Multi-Product Kanban Production System. *Recent Advances in Automation & Information*, 171-176.
- Haines, S. (2021). 50 One-Minute Tips For Leaders: Using The Systems Thinking Approach.
- Khan, A., Qureshi, M. A., & Davidsen, I. P. (2020). A System Dynamics Model of Capital Structure Policy for Firm Value Maximization. *Systems Research and Behavioral Science*, 1-14.
- Kirkwood, C. W. (1998). *System Dynamics Methods: A Quincy Introduction*. College of Business, Arizona State University, 126.
- Meadows, D. H. (2008). *Thinking in Systems*. London: Earthscan Publishing.
- Melse, E. (2006). The Financial Accounting Model from A System Dynamics' Perspective. Available at SSRN 1081620.
- Nuhoğlu, H. (2008). İlköğretim Fen ve Teknoloji Dersinde Sistem Dinamiği Yaklaşımının Tutuma, Başarıya ve Farklı Becerilere Etkisinin Araştırılması. Ankara: Yayınlanmamış Doktora Tezi.
- Nuhoğlu, H. (2020). The Effect of Deduction and Induction Methods Used in Modelling Current Environmental Issues with System Dynamics Approach in Science Education. *Participatory Educational Research*, 7(1), 111-126.

- Pala, Ö., & Vennix, J. A. (2005). Effect of System Dynamics Education on Systems Thinking Inventory Task Performance. *System Dynamics Review: The Journal of the System Dynamics Society*, 21(2), 147-172.
- Pierson, K. (2020). Operationalizing Accounting Reporting in System Dynamics Models. *Systems*, 8(1), 9.
- Schaefer, G. (1989). *Systems Thinking in Biology Education* (No. 33). Division of Science Technical and Environmental Education, Unesco.
- Senge, P. M. (1990). *The Art and Practice of the Learning Organization*.
- Sihombing, L. B. (2017). Project Finance and Risk Modeling Using a System Dynamics Approach: A Toll Road Project. *Malaysian Journal of Industrial Technology*, 2(2), 86-93.
- Söyler, H. (2006). *Sistem Dinamiği Yaklaşımı ile Malatya İlinin Sosyo-Ekonomik Gelişim Projeksiyonu*. Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı.
- Sterman, J. (2000). *Business Dynamics*. Mc Graw-Hill, Inc.
- Subroto, A., & Bivona, E. (2009). Supporting Small Medium Enterprises Planning Through the Use of A step-by-step System Dynamics Model Building Process. Available at SSRN 1778082.
- Tabak, A., Sığı, Ü., Polat, M., Şeşen, H., & Çelik, B. (2011). *Yönetim Bilimi Açısından Sistem Teorisi*. B. Çelik, M. Erkenecli, H. Şeşen ve M. Polat içinde, *Sistem Dinamikleri*. Ankara: Detay Yayıncılık.
- Taşdelen, Ö. (2016). *Biyoloji Öğretmen Adaylarının Sistem Düşüncesi ve Biyolojik Mantık Yaklaşımlarına Yönelik Algı ve Becerilerinin Değerlendirilmesi*. Gazi Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ankara.
- Tecim, V. (2004). *Sistem Yaklaşımı ve Soft Sistem Düşüncesi*. Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 19(2), 75-100.
- Yamaguchi, K. (2003). *Principle of Accounting System Dynamics—Modeling Corporate Financial Statements*. In *Proceedings of the 21st International Conference of the System Dynamics Society*.

Beyan ve Açıklamalar (Disclosure Statements)

1. Bu çalışmanın yazarları, araştırma ve yayın etiği ilkelerine uyduklarını kabul etmektedirler (The authors of this article confirm that their work complies with the principles of research and publication ethics).
2. Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir (No potential conflict of interest was reported by the authors).
3. Bu çalışma, intihal tarama programı kullanılarak intihal taramasından geçirilmiştir (This article was screened for potential plagiarism using a plagiarism screening program).