



Su Kaynakları Yönetimi İçin Bir Öneri: Sistem Dinamiği *A Suggestion For Water Resources Management: System Dynamics*

Arzu EREN ŞENARAS

Uludağ Üniversitesi
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
Ekonometri Bölümü
Görükle-Nilüfer, Bursa, Türkiye
orcid.org/0000-0002-3862-4551
arzueren@uludag.edu.tr

Özet

Su kaynakları yönetiminin planlanması, gelecek nesillere sağlıklı ve yeterli su bırakabilmesi için önem arz etmektedir. Bu çalışmanın amacı su kaynakları yönetiminde etkin bir politika tasarlamada kullanılabilecek bir yöntem olarak sistem dinamiğinin açıklanmasıdır. Sistem dinamiği; dinamik düşünce ve neden-sonuç düşüncesi gibi birçok önemli düşünce becerisini kullanan disiplinler arası bir problem çözme yoludur. Sistem dinamiği, karmaşık ve etkileşimli konular hakkında anlaşılabilirliği sağlayan çok yönlü bakış açısını birleştirerek öğrenmeyi hızlandırabilen, disipline edilmiş işbirlikçi bir yaklaşımdır.

Anahtar Kelimeler: Su Kaynakları Yönetimi, Sistem Dinamiği, Politikaların Tasarımı.

Abstract

The planning of water resources management is important in order to leave healthy and sufficient water for future generations. The purpose of this study is to explain the system dynamics as a method that can be used to design an effective policy in water resources management. System dynamics is an interdisciplinary problem-solving methodology that utilizes several significant thinking skills such as dynamic thinking and cause-and-effect thinking. System dynamics is a disciplined collaborative approach that could accelerate learning by combining a multifaceted perspective that provides insight into complex and interactive issues.

Keywords: Water Resource Planning, System Dynamics, Policy Design.

1. GİRİŞ

Yeryüzünün $\frac{3}{4}$ 'ünün sularla kaplı olması, dünyada su bolluğu olduğu görünümü veriyorsa da, içilebilir nitelikteki su oranı ancak % 0.74 civarındadır. 18. yüzyılın son çeyreğinde, Sanayi Devrimi başlangıcında 1 milyar olan dünya nüfusu, 1950 yılında 2.5 milyar, 2005 sonunda ise yaklaşık 6.5 milyara ulaşmıştır. Dünya nüfusunun çok hızlı artışı, sanayi ve teknolojinin aşırı gelişmesi, ayrıca çevre bilincinin yeterince yerleşmemesi veya yaygınlaşamaması gibi nedenler dünyada içilebilir su miktarının giderek azalmasına sebep olmaktadır. Bunların yanı sıra, içilebilir su kaynaklarının sorumsuzca kirlenmesi, geri dönüşümü olanaksız sorunların yaşanmasına zemin hazırlamaktadır (Atalık 2006: 20; Dağlı, 2005: 21; Haviland, 2002:504; Akın ve Akın, 2007: 107).

Dünyadaki toplam su miktarı 1,4 milyar km^3 'tür. Bu suların %97,5'i okyanuslarda ve denizlerde tuzlu su olarak, %2,5'i ise nehir ve göllerde tatlı su olarak bulunmaktadır. Bu kadar az olan tatlı su kaynaklarının da %90'ının kutuplarda ve yeraltında bulunması sebebiyle insanlığın kolaylıkla yararlanabileceği elverişli tatlı su miktarının ne kadar az olduğu anlaşılmaktadır. Türkiye'de yıllık ortalama yağış yaklaşık 643 mm olup, yılda ortalama 501 milyar m^3 suya tekabül etmektedir. Bu suyun 274 milyar m^3 'ü toprak ve su yüzeyleri ile bitkilerden olan buharlaşmalar yoluyla atmosfere geri dönmekte, 69 milyar m^3 'lük kısmı yeraltı suyunu beslemekte, 158 milyar m^3 'lük kısmı ise akışa geçerek çeşitli büyüklükteki akarsular vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 69 milyar m^3 'lük suyun 28 milyar m^3 'ü pınarlar vasıtasıyla yerüstü suyuna tekrar katılmaktadır. Ayrıca komşu ülkelerden ülkemize gelen yılda ortalama 7 milyar m^3 su bulunmaktadır. Böylece ülkemizin brüt yerüstü suyu potansiyeli 193 milyar m^3 olmaktadır. Türkiye su zengini bir ülke değildir. Kişi başına düşen yıllık su miktarına göre ülkemiz su azlığı yaşayan bir ülke konumundadır. Kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1.519 m^3 civarındadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2030 yılı için nüfusumuzun 100 milyon olacağını öngörmüştür. Bu durumda 2030 yılı için kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1.120 m^3 /yıl civarında olacağı söylenebilir. Mevcut büyüme hızı, su tüketim alışkanlıklarının değişmesi gibi faktörlerin etkisi ile su kaynakları üzerine olabilecek baskıları tahmin etmek mümkündür. Ayrıca bütün bu tahminler mevcut kaynakların 20 yıl sonrasına hiç tahrip edilmeden aktarılması durumunda söz konusu olabilecektir. Bu sebeple Türkiye'nin gelecek nesillere sağlıklı ve yeterli su bırakabilmesi için kaynakların çok iyi korunup, akılcı kullanılması gerekmektedir (DSİ, 2017).

Suyun tüm dünyadaki canlılığın devamı için vazgeçilmez bir kaynak olduğu düşüncesiyle, Türkiye'nin uzun vadede su kaynaklarına yaklaşımı, su kaynaklarının işlevlerinin ve ekolojik bütünlüklerinin korunması ve akılcı kullanımlarının sağlanması, mevcut su kaynaklarımızın sağlıklı ve yeterli miktarlarda gelecek nesillere aktarılması şeklinde olacaktır (Güner, 2003).

Su kaynakları yönetiminde sistem dinamiği yaklaşımının uygulanmasına ilişkin literatürde yer alan çalışmalardan bazıları aşağıdaki gibidir. d'Hont v.d.(2013), çalışmalarında operasyon yönetiminin Güney Afrika'da Büyük Kirkwood su tedarik sisteminin performansı üzerindeki etkisinin anlaşılmasını derinleştirmek için bir sistem dinamikleri modelleme yaklaşımı benimsemişlerdir. Holmes vd. (2014), çalışmalarında Kirkwood su talebi sistem dinamiği modelini (K-DEM) ele almışlardır. Özellikle K-DEM yapısının tanıtılması amaçlanmaktadır. Evlerin kademeli olarak tam su ve sağlık

hizmetleri alan etkilerini araştırmak; alternatif bir su temini olarak yağmur suyunun kullanılmasını, su talebi yönetim programının olası etkisini tartışmışlardır. Chu (2015), çalışmasında, sistem dinamiği (SD) ve su kaynakları taşıma kapasitesi (WRCC) teorisine dayanan entegre bir su tüketimi modeli geliştirilmiştir. Liby v.d.(2016), çalışmalarında Kuzey Tayland'daki en büyük baraj ve rezervuar olan Bhumibol barajının Stella paket programında basit bir modeli oluşturmuşlardır. Bhumibol barajının akış hızları çeşitli alternatif baraj yönetimi politikaları ve çeşitli alternatif yağışlar için senaryolar incelenmiştir.

2. SİSTEM DİNAMİĞİ

Sistem Dinamiği yaklaşımı 1950'li yıllarda MIT' den Jay Forrester tarafından sosyal bilimlerde, özellikle yönetimdeki karmaşık davranışların bilgisayar benzetimiyle analizi için geliştirilmiştir. Sistem dinamiği karmaşık sistemlerin dinamik davranışlarını anlamaya yarayan bir yöntem olarak sistem düşüncesinin bir şeklidir. Sistem dinamiğinin temelini, sistem yapılarının sistem davranışı ve sistem olaylarına nasıl yol açtıklarını anlamak oluşturmaktadır (Sezen, 2009: 298).

Jay Forrester ilk dinamik modelini General Elektrik'in yöneticileri ile görüşmesi ile kurmuştur. İmalatta, envanterde, iş gücünde ve kardaki büyük dalgalanmalar GE yöneticilerini zorluyordu. Bu dalgalanmalar yöneticilerinin büyük çabalarına rağmen dış güçler ile ilişkiliydi. Özellikle işletme dalgalanmaları gelen siparişler ile ilgiliydi. Jay Forrester yöneticiler ile iletişime geçerek diğer departmanlarda sistemin işleyişini gözlemledi. Geliştirmiş olduğu ilk modelde sistemin analitik olarak izlenemediği düşüncesiyle benzetimin gerekli olduğunu gördü. Haftalık gerçekleştirdiği benzetim ile talebin sabit kabul edildiğinde bile yöneticilerin politikalarıyla firmanın ciddi dalgalanmalar yaşayabileceğini gösterdi. Daha sonra bu problemin bilgisayarlı benzetimini oluşturdu. Daha sonraki çalışmalarında, geribildirim kontrol teorisinin; zor, anlaşılması güç yapıdaki yönetim ve insan sistemlerine nasıl uyarlanabileceğini gösterdi. Elde ettiği ilk sonuçları Harvard Business Review'de makale olarak yayınladı. Daha sonra bu çalışmasını geliştirerek ünlü kitabı "Industrial Dynamics" i yayınladı (Lane ve Sterman, 2011; Ramage ve Shipp, 2009: 100-101).

2.1. Sistem Düşüncesi ve Sistem Dinamiği

Sistem düşüncesi oldukça yaygın kullanılan bir kavram haline gelmiştir. Sistem hakkında düşünmeyi, onu gözlemlemeyi ve onu tanımlamayı anlatır. Sistem davranışını anlamak için dinamik benzetim analizleri yapılması gerekir. Sistem düşüncesinde, yönetim problemlerine ilişkin benzetim oyunları yer alır. Bu oyunlarda karmaşıklığın varlığı açık bir şekilde görülür. Yönetim oyunları karar verme üzerine odaklanırken buna karşılık sistem dinamiği, kararlara rehberlik etmek için politikaların tasarlanmasını ifade etmektedir (Forrester, 2007a:355; Senge,1990).

Sistem düşüncesinin dayandığı üç temel ilke; bütüncül yaklaşım, disiplinler arası yaklaşım ve bilimsel yaklaşımdır. Bütüncül yaklaşım; Aristo'nun "Bütün; parçaların toplamından daha büyüktür" sözünden hareketle, sistemi birbirleriyle etkileşimli bütünlüklerden oluşmuş, çevresiyle etkileşimli bir bütünlük olarak görür. Bütün öğeler birlikte düşünüldüğünde işlevsel bir anlam taşır. Sistemin içerdiği sorunlar birbirinden soyutlanamaz ve birine getirilen çözüm diğerini de etkiler ya da yeni sorunlara yol açabilir. Bütün bilimler felsefenin içindeyken disiplinler arası kişilikler vardı. Günümüzde ise işbölümü – uzmanlaşma yanı sıra bilgi patlaması sonucu bireylerin

değişik bilim dallarına (disiplinlere) ilişkin ayrıntılı bilgi sahibi olabilmesi olanaksız hale gelmiştir. Bu nedenle günümüzde disiplinler arası kişiliklerin yerini takım çalışması almıştır. Disiplinler arası yaklaşım; değişik bilim dallarından uzmanların bir araya gelerek sorunlara farklı açılardan yaklaşıp karar alma ve çözüm üretme çabasıdır. Bilimsel yaklaşım; sorun çözümü sürecinde deneye, gözleme, ussal kanıtlamaya dayalı geliştirilen uygun bilimsel yöntemlerden gerekli ve yeterli düzeyde yararlanma olarak ifade edilebilir (Sezen, 2007: 6).

Sistemi, sınırları belirlenmiş birbiriyle ilişkili elemanların kümesi olarak tanımlayabiliriz (Sezen, 2009: 297). Sistem düşüncesi, kavramsal bir çerçeve olup, sistem bütününe açık bir şekilde görünmesini sağlar ve bunları etkin bir şekilde nasıl değiştirebileceğimizi görmemize olanak sağlar (Senge, 1994: 10).

Sistemlerin karmaşılaşması ile sistemler arası etkileşimler artmıştır. Bu bakımdan sistemde ortaya çıkan sorunlar ve sistem durumu karşılıklı etkileşim halindedirler. Sürekli yeni kavramları barındıran ve değişen bu sistemlerin incelenmesi ve değerlendirilmesinde kullanılacak modellerin;

- Sistemi süreçlerin bir bütünü olarak ele alacak,
- Sistemin davranışını ve davranış değişimlerini takip etmesine olanak tanıyacak,
- Sistemde değişen olguları ve bu olguları tetikleyen durumları yansıtacak,
- Sistemin yeniden tasarlanmasında esneklik sağlayacak biçimde oluşturulması gerekmektedir (Erkut, 1995).

Bir sistemin davranışını tahmin etmek veya altında yatan sorunu açıklamak üzere uygulanan geleneksel analitik yaklaşım, tüm dikkatimizi sistemin anlık durumlarına yoğunlaştırmaktadır. Oysa gerçek dünyada olaylar bu şekilde işlememektedir. Olaylar sistem davranışını belirlememekte, aksine sistemin davranışının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. O zaman davranışın nasıl oluştuğunu incelemek gerekirse, bunun için sistemin elemanları arasındaki etkileşimlerin oluşturduğu sistem yapısının belirlenmesi gerekmektedir. Görüleceği gibi bu yaklaşımda temel olan husus, sistemin elemanları arasındaki etkileşimlerin oluşturduğu bütünü görebilmek ve anlayabilmektir. Kısaca; bugün karşılaştığımız problemlerin daha iyi anlaşılabilmesi için doğrusal nedenselliğin yerine, karşılıklı bağımlılık olgusunun yaklaşımlarımızda yer almasını sağlamamız gerekecektir. Peter Senge'ye göre; bir sistemin özellikleri onu oluşturan parçaların yalıtılmış fonksiyonlarını inceleyerek tanımlanamaz. Her şeyden önce bir sistemin davranışı her parçanın ne yaptığı ile değil, her parçanın diğerleri ile nasıl etkileşimde bulunduğu ile ilgilidir (Ayanoğlu ve Gökçe, 2007).

Sistem teorisinin bir alanı olarak sistem dinamiği, karmaşık sistemlerin dinamik davranışını anlamak için geliştirilmiş bir yöntemdir. Sistem dinamiğinin temel prensibi, sistemin davranışlarının yapısından kaynaklandığı ve sistemin yapısının (bileşenler arasındaki ilişkilerin) bileşenlerin kendileri kadar önemli olduğudur. Çünkü bütünü davranışları çoğu kez bileşenlerin tekil olarak ele alınması ile açıklanamaz; bütünü davranışı, tekil bileşenlerin davranışlarından çok farklı olabilir (Öğüt ve Şahit, 2012: 5).

Sistem düşüncesi; organizasyonel karar ve davranışları içeren sistemleri oluşturan güçlerin, birbiri arasındaki ilişkileri incelemeye yönelik ve onları ortak bir işlevin parçası olarak algılayan metotlar, araçlar ve prensipler topluluğu olarak ifade edilebilir. Sistem düşüncesinin temelinde yatan düşünce, bütün sistemlerin davranış olarak belli

başlı bazı ortak prensipleri takip ettiğidir. Sistem düşüncesi; yeni bir paradigma ve inceleme yöntemi olarak, örgütün çalışmasını daha fazla nasıl geliştirebileceğimize ilişkin düşünce yöntemimizi daha verimli kullanmayı amaçlamaktadır. Dolayısıyla iki anahtar kelime Sistem ve Düşünüş beraberce Sistem Düşünüşünü bir disiplin olarak adlandırmak üzere kullanılmaktadır. Sistem Düşünüşü/Sistem Dinamikleri için bir tanım geliştirmek gerekirse; sistemin alt yapısına ilişkin devamlı artan bir derinlikte anlayış geliştirmek suretiyle sistemin davranışı hakkında güvenilir neticeler çıkarmaya çalışan bilimsel ve sanatsal bir faaliyettir (Ayanoglu ve Gökçe, 2007).

Sistem düşüncesi ve Sistem Dinamiği, iş, politika, sosyo-ekonomik ve çevresel sistemlerin karmaşıklığı ve değişimi altında yatan dinamiklerin, güçlerin açıklanmasına yardımcı olabilen kavramsal ve sayısal modelleme teknikleri ile bilgisayar teknolojisi sağlamaktadır. Sistem dinamiği, politika analizi ve tasarımı, öğrenme ve karar verme için kullanılır (Abdelbari vd., 2015; Maani ve Cavana, 2007).

Sistem dinamiği, zaman içerisinde bir şeylerin nasıl değiştiğiyle ilgilenir. Neredeyse tüm insanlar geçmişin şu anı nasıl oluşturduğuyla ve bugün yapılan eylemlerin geleceği nasıl belirlediğiyle ilgilenir (Forrester, 1995: 16).

Dinamik kavramı, zamanla değişimi işaret eder. Eğer bir şey dinamikse, sürekli olarak değişir. Dinamik bir sistem bu yüzden zamanla değişime yönlendirici etkileşimlerin olduğu bir sistemdir. Sistem dinamiği yaklaşımı zamanla sistemin nasıl değiştiğini anlamak için kullanılan bir yöntemdir. Zamanla değişen bir sistemi oluşturan elemanlar ve değişkenler sistemin davranışı olarak ifade edilir. Amaç değişkenlerin temel davranış biçimini anlamayı, bu davranış biçimine sebep olan etkenleri bulmayı ve sistemin davranışını iyileştirmeyi hedefler. Bu nedenle sistem dinamiklerinin, sistemin zamana bağlı olarak nasıl değişmekte olduklarını açıklayan bir yöntem olduğu söylenebilir. Dinamik sistemlerde, değişkenler birbirlerini eş zamanlı olarak etkilemektedirler (Barlas, 2005a; Ayanoglu ve Gökçe, 2007).

Dinamik karmaşıklık, sosyal ve iş sistemlerini birbirine bağlayan bağlantılardan ve bağımsızlıklardan kaynaklanır. Sistemin bir bölümünde bir değişim meydana geldiğinde, bu değişim daha sonra (er veya geç) başka bir bölümde etkiler meydana getirir. Bu etkiler her zaman açık bir şekilde gözlenemez, genellikle beklenenin dışındadır (Morecroft, 2015: 21).

Dinamik karmaşıklık, sistemlerin aşağıda yer alan özelliklerinden dolayı ortaya çıkar (Serman, 2000):

Dinamik: Sistemler sürekli değişir. Hiç değişmeyecek görünen bile geniş bir zaman süreci içerisinde değişir.

Yakın ilişkide olma: Sistemin bileşenleri güçlü etkileşim içindedir.

Geribildirim tarafından yönetilme: Eylemler kendilerine geri dönerler. Kararlar değişime neden olur ve diğer sistem bileşenlerini harekete geçmek için tetikler.

Doğrusal Dışılık: Sistemler çoğunlukla doğrusal olmayan bir yapıdadır; yani etkiler, genel olarak doğurmuş oldukları sonuçlarla orantılı değildirler.

Tarihsel bağlılık: Birçok eylemin geri dönüşü yoktur. Gerçekleştirilen bir eylem birçok geribildirim sonucunda geri dönülemez etkilere neden olur.

Kendini organize edebilme: Bir sistemin dinamiği kendi içsel yapısından doğar.

Uyarlanabilir: Kurallar ve yetenekler zaman içerisinde değişir. Zaman içerisinde gelişmesiyle seçim ve çoğalmaya olanak sağlar.

Sezgilere aykırılık: Neden ve etkiler zamansal ve mekânsal olarak birbirinden farklıdır. İnsanlar açıklamaya çalıştıkları olayların yakınlarında nedenleri ararlar.

Politikaya Direnç: Üzerinde çalıştığımız sistemin karmaşıklığı sistemi anlama kabiliyetimizi azaltabilir. Sonuçta, açıkça görünen birçok çözüm başarısız olur hatta durumu daha da kötüleştirir.

Uzlaşmanın Belirlenmesi: Zaman gecikmesi geribildirimleri kısa ve uzun dönemde farklı tepkiler verir. Çoğunlukla kötü davranıştan (tepkiden) önce iyi tepki gerçekleşir.

Sistem dinamiği sosyo-ekonomik ve yönetsel sistemleri geribildirim bakış açısını kullanarak, modellemek, analiz etmek ve iyileştirmek için tasarlanmıştır. Dinamik yapıdaki yönetim problemleri matematiksel denklemler, bilgisayar yazılımı kullanılarak modellenir. Model değişkenlerinin dinamik yapıları bilgisayarda benzetim kullanılarak elde edilir (Forrester 1962; Ford 1999; Sterman 2000).

Organizasyonel ve sosyal sistemlerin karmaşık davranışlarının devam eden birikimlerin (insan, malzeme, finansal varlık, bilgi, biyolojik ve psikolojik durum), aynı zamanda dengeleyici ve güçlendirici geribildirim mekanizmalarının sonucu olduğu, sistem dinamiğinin temel ilkesini oluşturur (Richardson, 1999).

Sistem dinamiği; dinamik düşünce ve neden-sonuç düşüncesi gibi birçok önemli düşünce becerisini kullanan disiplinler arası bir problem çözme yoludur. Sistem dinamiği, karmaşık ve etkileşimli konular hakkında anlaşılabilirliği sağlayan çok yönlü bakış açısını birleştirerek öğrenmeyi hızlandırabilen, disipline edilmiş işbirlikçi bir yaklaşımdır (Richmond 2010, Soderquist and Overakker 2010).

Sistem dinamiği analiste karmaşık, sosyal ve davranışsal sistemleri bileşenlerine ayırmaya, onları tekrar bir bütün haline getirerek görselleştirmeye ve benzetim modelini geliştirmeye olanak sağlayan bir yöntemdir (Tang ve Vijay, 2001: 3).

Sistem dinamiğinde hiçbir zaman tek bir doğru yanıt yoktur. Çünkü Sistem Dinamiği mevcut sistem içindeki ilişkileri gösterdiğinden tek bir doğru yanıt vermek yerine uygulanabilecek birden çok olası yaklaşımı ortaya koyar. Her bir yaklaşım istenen sonucun bir kısmını vermenin yanı sıra bazı beklenmedik sonuçlar da verebilir. Zaten sistem düşüncesinin bir diğer esası da hangi çözümü neye karşılık değerine tercih ettiğimizin bilincine varmaktır (Sterman, 2000: 127-133). Sistem dinamiği diğer bilgi teknolojileri gibi yöneticilerin karar vermesine destek olmak amacıyla tasarlanmıştır. Sistem dinamiği çalışmalarının amacı, eski politikaların analiziyle ve yeni politikalar tasarlayarak karar vermeye yardımcı olmaktır (Wheeler, 1994: 80).

Sistem dinamiği modelleri istatistiksel olarak zaman serisi verilerinden türetilmemiştir. Kararlara rehberlik eden politikalar ve sistem yapısıyla ilgili ifadelerdir. Modeller sistem hakkında yapılmış kabuller içerir. Bir model ancak formülasyonun gerisinde yatan uzmanlığı kadar iyidir. İyi bir bilgisayar modeli, kötü olandan temsil ettiği sistemin özünü yansıtmaya derecesiyle ayrılır. Diğer birçok matematiksel model gerçek sistemin doğrusal olmayan yapısı ve birçok geribildirim döngüsünü içermemesi nedeniyle kısıtlıdır. Diğer taraftan sistem dinamiği bilgisayar modelleri gerçek sistem davranışını yansıtabilir (Forrester, 1995:6).

Sistem dinamiği bilgi geribildirim teorisine dayanmakta olup, sistemi yönetmek için semboller sağlar. Bu semboller diyagram, denklem ve bilgisayar benzetimi için programlama dilinden oluşmaktadır (Morecroft ve Sterman, 1994: 15).

Sistem dinamiğinde amaç optimizasyon değil, belirli değişimler karşısında sistemin davranışlarını incelemek ve stratejileri belirlemeye yardımcı olmak, sistemin davranışını makro seviyede, uzun dönemde incelemektir. Sistem dinamiği, sistemin bütünsel görünümünü elde etmeyi ve etkileşimlerin bir bütün olarak sistemi nasıl etkilediğini belirlemeyi amaçlamaktadır. Büyük organizasyonlar ve küresel olgular için sıkça kullanılır. Bununla birlikte (akışlar ve seviyelerde kesikli yapıda olmaları göz önünde bulundurularak) mikro düzeyde ve küçük organizasyonlar için de kullanılabilir. Sistem dinamiğinin en önemli işlevi, sistemin yapısını ve davranışını açıklayarak sistemin davranışında iyileşmeler sağlamaktır. Sistem dinamiği yaklaşımı sorunlara geniş bir çerçeveden bakar, böylece sistemin performansının takibi, geliştirilmesi veya yeniden düzenlenmesi süreçleri kolaylaşır. Bu sayede sistemin bir bölümünün performansının iyileşmesi sistemdeki diğer bir bölümün bozulmasını önler (Hesan v.d.,2014; Başkaya, 1997:93; Özbayrak vd., 2007; Towil, 1996). Sistem dinamiğinde genellikle what if (Eğer öyleyse, böyle olur) analizi gerçekleştirilir.

Sistem dinamiği, karmaşık sistemlerin yapısını ve dinamiğini anlamamızı sağlayan araçlar bütünüdür. Karmaşıklıktan anlaşılan bu sistemlerin gecikme, geri besleme ve çok sayıda stok içermeleri gibi özelliklere sahip olmasıdır. Karmaşık sistemler fiziksel ve teknik araçlar yanında insan ve sosyal sistemleri de içerdiklerinden, sistem dinamiği, bilişsel ve sosyal psikoloji, iktisat ve diğer sosyal bilimlerle de doğrudan ilişki içindedir. Bu yüzden sistem dinamiğinin disiplinler arası bir yöntem olduğu söylenebilir (Öğüt ve Şahit, 2012: 5; Senge, 2002; Sterman, 2000).

Sistem dinamiği modeli, incelenen sistemin yapısına bağlı olarak doğrusal veya doğrusal dışı, stabil ya da stabil olmayan yada başlangıç durumuna geri dönmeyen parametreler içerebilir. Sistem Dinamiğinin temel felsefesi “Sosyo-ekonomik sistemleri sürekli geribildirim denetim sistemleri” olarak ele almaktadır. Buradaki temel kavram, “geribildirim” ifadesidir. Sistemin dinamik davranışı geribildirim döngüleri tarafından sağlanır. Karmaşık sistemler birbirleriyle etkileşimde bulunan geribildirim çevrimlerinin bir bütünüdür (Erkut, 1983: 16; Campuzano ve Mula, 2011).

Forrester (1962), Sistem Dinamiğini, yönetilen sistemlerin bilgi-geribildirim karakteristiklerinin araştırılması ve geliştirilen organizasyonel yapıların ve yol gösterici politikaların tasarlanması için model kullanımı olarak ifade etmektedir. Sistem dinamiğini, sosyal ve ekonomik yapı oluşturan sistemlerin birbirleriyle etkileşim içerisinde bulunan geri bildirim mekanizmaları ile bütünleşik olarak ifade edilmesi olarak tanımlamaktadır. Coyle (1996), sistem dinamiğini, sosyo-ekonomik sistemler ile ilgili olan kontrol teorisinin ve denetlenebilirlik ile ilgilenen yönetim bilimlerinin bir dalı olarak tanımlar. Wolstenholme (1990), sistem dinamiğini karmaşık sistemlerin süreçleri, bilgi akışları, organizasyonel sınırları ve stratejilerini tanımlayan, keşfeden ve analiz eden özenli bir nitel yöntem olarak tanımlamaktadır. Bu yöntem, sistem yapısı ve davranışının tasarlanması için nicel benzetim modellemesine ve analiz edilmesine olanak sağlar.

Sistem dinamiği yaklaşımı, karmaşık, doğrusal olmayan, dinamik geri bildirim sistemlerinin analiz edilmesinde ve sistemin performansını geliştirmek için politikalar tasarlanmasında kullanılan bir benzetim yöntemidir (Radzicki, 2007:727).

Sistem dinamiği, nitel ve nicel modellerle sistem davranışını tanımlamak ve anlamak amacıyla zamana bağımlı yönetilen sistemlerin davranışlarıyla ilgilenir. Bilgi geribildirimlerinin sistem davranışlarını nasıl yönettiği ve sağlıklı bilgi geribildirim yapılarının ve kontrol politikalarının benzetim ve optimizasyon ile nasıl tasarlanacağını araştırır (Coyle, 1996: 10).

Sistem dinamiği, karmaşık sistemleri inceleyen bir yöntem olarak, sistemi bütün olarak ele alarak, politikaların toplam etkisini analiz etmek açısından geniş olanaklar sunmaktadır (Öğüt ve Şahin, 2012: 32).

Sistem Dinamiğinin temel yaklaşımı, sisteme ilişkin değerleri öngörmekten çok, sistemin davranışını inceleyerek uygun politikaları tasarlamaktır. Söz konusu olan bir eniyileme işlemi değildir. Amaç incelenen sistemin belirli değişimler karşısındaki davranışını araştırmak ve bu davranışı düzenleyecek stratejileri saptayarak kararları almaktır (Erkut, 1983: 16).

Tablo 1’de sistem dinamiği ile üst yönetim özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 1: Sistem Dinamiği ve Üst Yönetim

SD'nin Özellikleri	Üst Yönetim İlgisi
Sistem bakış açısı	Bütün şirket
Geribildirim analizi	Eylemlerin sonuçları
Dinamik modelleme	Fikirlerin test edilmesi
	Gelecekle ilgili olmak
Optimizasyon	Belirsizliğe karşılık sağlamlık
Etki diyagramlarının anlaşılabilir olması	Girdileri anlamak ve kontrol etmek
Basit benzetim teknikleri	
Hızlı benzetim	Çalışma periyotları

(Kaynak: Coyle, 1996: 15)

Sistem dinamiği temelde bir süreç modelleme tekniğidir. Sistem dinamiği, özel değişkenlerin değerini en doyurucu düzeyde öngören denklemlerin bulunması yerine, sistem içindeki mevcut karar verme süreçlerini yeniden üretmeye yönelik çaba gösterir. Diğer bir ifade ile, sistem dinamiği yaklaşımının çabası, bir öngöründen çok bir açıklama ve politika tasarımı üzerinde odaklanır (Erkut, 1983: 17).

Sistem Dinamiği modellemesine göre, benzetim modelleri yalnızca geleceğe dair tahminlerde bulunmak için değil aynı zamanda karmaşık sistemlerin yapı ve davranışına dair kavrayışımızı artırmak için bir öğrenme aracı olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla model, belirli kararların gelecekte neden olacağı değişimleri tahmin etmemize yarayan

bir araç olarak önemini korurken, “modelleme” bir öğrenme süreci olarak önem kazanmaktadır (Morecroft ve Sterman 1994).

Sistem dinamiği kuruluşundan bu yana; stratejik problemlerle mücadelede ve stratejik süreçlere destek olmak üzere başarılı şekilde uygulanmıştır. Zamanın azlığından, yüksek belirsizlikten ve mevcut veri tabanlarına ulaşamaması gibi sebeplerle uygulanabilirliği zaman içinde kısıtlı olabilmektedir (Vennix, 1995; Warren, 2005; Herrera, 2014).

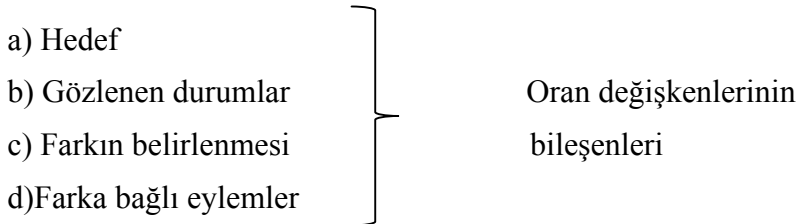
2.2. Sistem Dinamiği Modelinin Yapısı

Gerçek sistemin dinamiklerinin incelenmesi için sistemin modelleri incelenir. Modeller, sistemin davranışlarını incelemek amacıyla oluşturulan basitleştirilmiş yapılarıdır (Karnopp vd., 1990: 4). Modeller, alternatif kararların ekonomik performans ve çevresel kalite üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılması için kurulur. Yeni bilgilerin elde edilmesinde modeller önemli araçlardır (Ruth ve Hannon, 2012: 4).

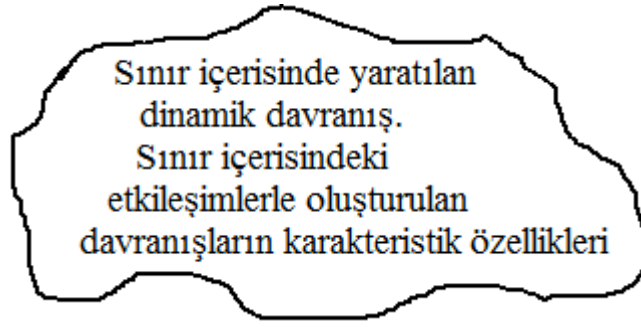
Modelin açık bir amacı olmalı ve bu amaç belirgin bir problemin çözümü olmalıdır. Açık amaç, başarılı bir model çalışmasının en önemli bileşenidir. Açık amaçlı bir model elbette yanlış, fazlasıyla geniş ve zor anlaşılır olabilir. Ancak açık bir amaç, model kullanıcılarına ele alınan problemi çözmenin yararlı olup olmadığını gösteren sorular sorma imkânı sağlar (Sterman, 1991: 5).

Forrester (1969)’a göre bir sistemin dinamik davranışlarını modellemek için dört hiyerarşik yapı tanımlanmalıdır:

1. Sistem çevresindeki kapalı sınır
2. Kapalı sınır içerisindeki temel yapısal elemanlar olarak geribildirim döngüleri
3. Geribildirim döngüleri içerisinde yer alan toplamaları gösteren seviye (durum) değişkenleri
4. Geribildirim döngülerindeki eylemleri gösteren Oran (Akış) değişkenleri



Bir sistemin bütün kavramını geliştirmek için sistemin karakteristik davranışlarını oluşturan etkileşimlerin yer aldığı sınırlar oluşturulmalıdır (Forrester, 1969: 12). Şekil 1 dinamik bir sistemi tanımlayan kapalı sınırı göstermektedir.

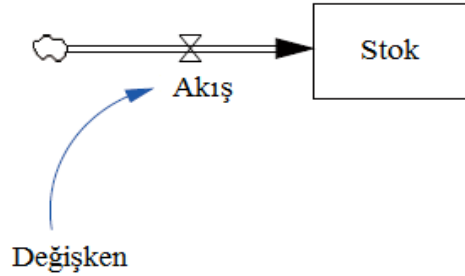


Şekil 1: Dinamik Bir Sistemi Tanımlayan Kapalı Sınır (Kaynak: Forrester, 1969: 13)

Dinamik modelden beklenen amaçların sağlanabilmesi için aşağıda yer alan özellikleri içermesi gerekmektedir(Erkut, 1983: 42-43):

1. Öngörülen neden sonuç ilişkisini tanımlama yeteneğine sahip olmak
2. Basit bir matematik yapıya sahip olmak
3. İçerdiği kavramların ekonomik ve sosyal yapıya uygun olması
4. Bilgisayarların uygulama sınırlarını aşmadan çok sayıda değişkene genişletebilmek
5. Sürekli etkileşimleri üretebilmek ve işleyebilmek.

Forrester, sistem davranışını tanımlayabilmek için Sistem Dinamiği olarak adlandırılan dili yaratmıştır. Bu dil; stoklar, akışlar, karar fonksiyonları ve bilgi akışı olmak üzere dört bileşenden oluşmaktadır. Bu sayede, sistem ne kadar karmaşık olursa olsun sistemi tanımlamak için tek ihtiyacımız olan dört bloğu oluşturmaktır. Şekil 2’de sistem dinamiği dili gösterilmektedir.



Şekil 2: Sistem Dinamiği Dili (Kaynak: Yamaguchi, 2013)

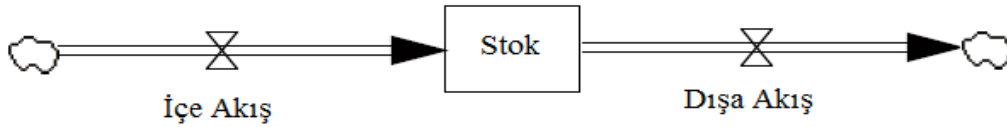
Dinamik analiz zaman akışıyla ilgilenir. Öyleyse önce zamanı tanımlamalıyız. Zaman, basitçe boyutsuz bir gerçek sayı olarak tanımlanabilir. Başlangıç noktası vardır ve koordinat sisteminde pozitif yönde ilerler. Bu durumda iki farklı kavram göze çarpmaktadır. İlk kavram, zamanın bir anı olarak tanımlanır ve $\tau = 1, 2, 3, \dots$ olarak gösterilir. İkinci kavram ise, zaman periyodudur ve $t = 1, 2, 3, \dots$ olarak gösterilir. Zaman birimi incelenen sistemin yapısına bağlı olarak saniye, dakika, saat, hafta, ay, yıl, on yıl, yüz yıl,.... olabilir. Sistem dinamiğinde iki zaman kavramının ayrımı doğru yapılmalıdır, çünkü stoklar ve akışlar τ ve t olarak belirgin biçimde tanımlanmaları gerekir (Yamaguchi, 2013: 23).

Dinamik sistem modelini oluşturan öğeleri stoklar, oranlar, karar fonksiyonları ve bilgi akışı gibi dört grupta açıklayabiliriz.

2.2.1. Stoklar (Seviyeler) ve Akışlar (Oranlar)

Stok, birikim olarak tanımlanırken, akış stokların seviyelerini değiştiren oranı ifade eder. Stoklar ham maddelerin veya nihai ürünlerin stokları olarak açıkça tanımlanabilir. Bazıları kısmen daha az açıktır, çünkü gündelik dil onları stok olarak adlandırmaz. Fonların giriş ve çıkışı yoluyla üretilen nakit dengesi buna örnek verilebilir. Stok, sistem içindeki birikimlerdir. Bu birikimler envanter, işletme hacmi, farklı nitelik ve deneyimlerdeki çalışan sayıları ile işgücü vb. kavramlar olabilir. Stoklar, içeakış(inflow) ve dışaakış(outflow) arasındaki birikmiş farktan oluşan değişkenlerin mevcut değerleridir(Sezen ve Günal, 2009: 306-307; Erkut,1983: 44).

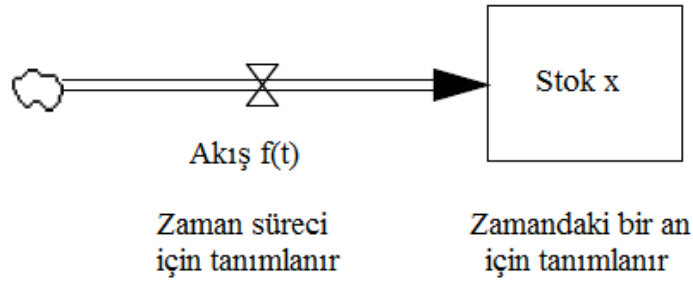
Sistem dinamiğinin temelini oluşturan dört bileşenden en önemlisi stoklardır. Sistem; stokların bileşimi olarak tanımlanabilir. Stok, belirli bir τ zamanında var olan nesnelerin toplamıdır. Stoğu belirli bir τ zamanında x ile ifade edersek, τ 'nun gerçek sayı olması koşuluyla stokları $x(\tau)$ ile ifade edebiliriz (Yamaguchi, 2013: 23). Şekil 3'te stok yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3: Stok ve Akış

Stoklardaki değişimi açıklamak için genellikle kullanılan bir yol, zamanın içinde belirgin noktalarda, $\tau = 1, 2, 3, \dots$ stok değerini belirlemek ve bir sonraki noktadaki stok değişim miktarını göz önüne almaktır. τ ile $\tau + 1$ arasındaki süreye birim zaman aralığı denilmektedir. Birimi daha önce belirttiğimiz gibi saniye, dakika, saat, gün, hafta, ay, yıl olarak tanımlayabiliriz. Bu zaman periyodu t olarak tanımlanır. $\tau = 0$ (orijin noktasından) başlayarak t 'ler tanımlanır (1. zaman aralığı, 2. zaman aralığı, 3. zaman aralığı,...).

Akış ise, stoktaki birim zaman aralığındaki artış veya azalış olarak tanımlanır ve $f(t)$ ile gösterilir. Akış, kesikli akış olarak adlandırılan her bir kesikli zaman periyodunda tanımlanabilir. Akış, zamanın iki nokta arasındaki (birim zaman aralığındaki) miktarı ile ilgili iken, stoklar, zamanın belirli noktasındaki miktar olarak tanımlanır. Diğer bir ifadeyle τ stokları tanımlamak için kullanılır. Bu, zaman içindeki bir noktaya karşılık gelir. t akışları tanımlamak için kullanılır ve t 'nci birim zaman aralığı, zaman içerisindeki τ noktasıyla bir sonraki $\tau + 1$ ' inci nokta arasında geçen zamanı ifade eder. Stok ve oran terimleriyle herhangi bir dinamik davranış işlevsel olarak anlaşılabilir. Akış, stoğun değişim oranıdır. Stoktaki değişimleri ifade eder. Küvet örneğinde akış suyun musluk vasıtasıyla küvete gelmesi ve kanal vasıtasıyla küvetten ayrılmasıdır. Doğumlar ve ölümler, gelirler ve giderler, glikoz alımı ve glikoz tüketimi vb... akış örnekleridir. Bu örneklerde yer alan doğum içeriye akışı, ölüm ise dışarıya akışı temsil eder (Yamaguchi, 2013; Martin, 1997a; Sterman, 2000; Barlas, 2005b).



Şekil 4: Stok ve Akış İlişkisi (Kaynak: Yamaguchi, 2013)

Şekil 15'te görüldüğü gibi akış stoğun bir parçasıdır. Bu bağlamda fiziksel veya niteliksel olarak akış ve stoğun birimleri örtüşmelidir. Stok ile akış arasındaki ilişkiyi aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

$$x(\tau + 1) = x(\tau) + f(t) \quad \tau \text{ ve } t = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

Tablo 2'de farklı disiplinlere ilişkin stok ve akış ayrımı görülmektedir.

Tablo 2: Farklı Disiplinlerde Stok ve Akışların Ayrılması için Kullanılan Terminoloji

Alan	Stoklar	Akışlar
Matematik, Fizik ve Mühendislik	İntegraller, Durumlar, Durum değişkenleri ve stoklar	Türevler, Değişim oranları, Akışlar
Kimya	Reaktifler ve Tepkime ürünleri	Reaksiyon hızları
İmalat	İç stoklar, Envanterler	Üretim hızı
Ekonomi	Seviyeler	Oranlar
Muhasebe	Stoklar, Bilanço kalemleri	Nakit akışları
Biyoloji, Psikoloji, Tıp, Epidemioloji	Rezervuarlar, Prevalans	Görülme sıklığı ve Ölüm oranları

(Kaynak: Sterman, 2000: 198)

τ ve t arasındaki notasyon karışıklığını önlemek için bu iki kavramı ikisinden biriyle ifade etmemiz gerekmektedir. t , τ ile $\tau + 1$ arasındaki zaman aralığını ifade ettiği için, t 'ninci zaman aralığının stok miktarı $x(t)$, zaman aralığının başlangıç zamanı olan τ ile zaman aralığının bitiş zamanı olan $\tau + 1$ 'in stok miktarları olarak tanımlanabilir. Buna göre;

$$x(t) = x(\tau) : \text{Sürecin başlangıç anındaki stok} \quad (2)$$

veya

$$x(t) = x(\tau + 1) : \text{Sürecin bitiş anındaki stok} \quad (3)$$

Eğer sürecin başlangıç anındaki stok kullanılırsa stok akış denklemi (3.1) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$x(t + 1) = x(t) + f(t) \quad t = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

Bu denklemde stok $x(t + 1)$ değeri $t + 1$ zaman aralığının başlangıç değeridir ve $f(t)$ akış miktarı stok değerine eklenerek elde edilir.

Eğer sürecin bitiş anındaki stok denklemi (3.3) kabul edilirse, stok akış denklemi (3.5) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$x(t) = x(t-1) + f(t) \quad t=1,2,3,\dots \quad (5)$$

Bu yöntem ile iki zaman kavramı (zamanın bir anı ile zaman aralığı) birleştirilir.

Eğer $f(t)$ $t=1,2,3,\dots$ gibi kesikli zaman olarak tanımlanırsa, (3.4) denklemi, fark denklemi olarak adlandırılır ve (3.6)'daki gibi ifade edilir.

$$x(t) = x(0) + \sum_{i=0}^{t-1} f(i) \quad (6)$$

Akış sürekli ise, zaman birimleri n tane alt zaman dilimine bölünür ve (3.4) denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir (Yamaguchi, 2013: 25-26).

$$\begin{aligned} x(t) &= x\left(t - \frac{1}{n}\right) + \frac{f\left(t - \frac{1}{n}\right)}{n} \\ &= x(t - \Delta t) + f(t - \Delta t)\Delta t \end{aligned} \quad (7)$$

$$\Delta t \rightarrow 0 \quad \text{için} \quad \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{x(t) - x(t - \Delta t)}{\Delta t} \equiv \frac{dx}{dt} \quad (8)$$

$$\frac{dx}{dt} = f(t) \quad (9)$$

Yukarıdaki formül diferansiyel denklem tanımıdır. Akış ve stokların sürekli olduğu durumlarda t 'deki stok miktarı bu diferansiyel denklemin çözümüyle bulunur.

$$dx = f(t)dt \quad (10)$$

$$x(t) = x(0) + \int_0^t f(u)du \quad (11)$$

Yukarıdaki formül ile diferansiyel denklemin genel çözümü elde edilir. Sürekli ile kesikli akışlar arasındaki tek fark, sürekli akışta integral, kesikli akışta ise toplam işlevlerinin kullanılmasıdır (Yamaguchi, 2013: 27).

Jay Forrester (1962) stok ve akışları küvette biriken ve küvetten boşalan su benzetmesiyle açıklamıştır. Stoklar küvette biriken su miktarıdır. Küvetin içindeki su miktarı küvete giren ve küvetten boşalan su miktarlarının farklarının toplamıdır. Stoklar, akışların birikimi veya integralidir. Net akış, stok değişim hızını oluşturur (Sternan, 2000:194).

İntegral Denklemi:

$$\text{Stok}(t) = \int_{t_0}^t [\text{İç Akis}(s) - \text{Dış Akis}(s)] ds + \text{Stok}(t_0) \quad (12)$$

İçe Akış(s), içe akışın başlangıç zamandan şu anki zaman t arasındaki herhangi bir s zamanındaki değerini gösterir. Benzer şekilde, net stok değişim hızı ise buradan türetilerek İçeAkış tan DışaAkışın çıkartılmasıyla aşağıda gösterildiği gibi elde edilir.

Diferansiyel Denklem:

$$d(\text{Stok}) / dt = \text{Stoktaki Net Değişim} = \text{İçeAkış}(t) - \text{DışaAkış}(t) \quad (13)$$

2.2.2. Stok ve Akışların Sınıflandırılması

Yamaguchi (2013) stokları doğal yapılarına göre Tablo 3’ deki gibi sınıflandırmıştır.

Tablo 3: Stokların Sınıflandırılması

Fiziksel Stok	Fiziksel Olmayan Stok
Doğal Kaynaklar	Bilgi
Sermaye	Psikolojik tutkular
Süreç ve Kullanımdaki Ürünler	Endekslenmiş rakamlar

(Kaynak: Yamaguchi, 2013: 24)

- ✓ **Doğal stoklar**, dünya nüfusu, ormanlardaki kuş ve ağaç sayıları ve göldeki su miktarı gibi doğal çevremizde var olan stoklardan oluşur.
- ✓ **Sermaye stokları**, tüketim ürünlerini üretmek için kullanılan makine, fabrika ve yapı gibi üretim araçlarıdır.
- ✓ **Süreç ve kullanımdaki ürünler**, üretilmiş ürünler ve imalat safhaları arasında bulunan ara ürünlerden oluşur.
- ✓ **Bilgi**, fiziksel olmayan stoktur, çeşitli medya araçlarında depolanır. Örneğin; kitap, CD, DVD, gibi...
- ✓ **Psikolojik tutkular**, insanların duygusal stoklarıdır. Örneğin, aşk, mutluluk, üzüntü, sinir. Beynimizin içinde bir yerde depolanır.
- ✓ **Endekslenmiş rakamlar**, saklanan bilgilerin özel bir biçimidir. Doğa ve insan aktivitelerini tanımlamak için kullanılır. Örneğin, sıcaklık, fiyat, satış değerleri, gibi... (Yamaguchi, 2013: 24).

Forrester(1962), akışları altı sınıfta açıklamıştır. Bunlar; bilgi, malzeme, personel, sermaye ekipmanı, siparişler ve para olarak aşağıda yer alan maddelerde açıklanmıştır.

- ✓ **Bilgi Akışı:** Bilginin yaratımı, kontrolü ve dağıtımı işletme yönetiminin en önemli görevidir. Bilginin işletme sürecinde uygun biçimde modellenmesi zor olabilir. Diğer akışların fiziksel bir gösterimi vardır ve aynı zamanda bunlar korunan niceliklerdir, sadece bir yerde olurlar. Buna karşılık bilgi aynı zamanda birçok yerde paylaşılabilir. İşletmede bilgi bağlantısının değiştirilmesiyle, sürecin performansının önemli ölçüde etkilendiği yapılan deneylerle gözlenmiştir.
- ✓ **Malzeme Akışı:** Hammadde, işlemdeki envanterler veya bitmiş mamuller gibi fiziki malların stok ve akış oranlarını içerir. Bunlar üretim ve dağıtım sürecinin fiziksel ürünlerinin stok ve akışlarından oluşmaktadır. Hammadde, süreç içerisindeki stok veya tamamlanmış üründür.
- ✓ **İşgücü Akışı:** Genellikle mevcut personeli kapsamaktadır.

- ✓ **Sermaye Akışı:** İşletme alanı, mal üretimi için gerekli her tür donanımı içermektedir.
- ✓ **Sipariş Akışı:** Ürünler için sipariş, eleman alımı için talepler, yeni araç ve yer için kontratları içermektedir. Sipariş akışı genellikle, sipariş türetilmesi kararını sipariş karşılanması eylemine bağlayan parça olarak görülebilir.
- ✓ **Para Akışı:** Para burada nakit anlamında kullanılmıştır. Para akışı, farklı para stokları arasındaki paranın iletimidir (Kirkwood,1998: 18, Erkut, 1983: 47-48).

2.2.3. Karar Fonksiyonları ve Bilgi Akışı

Karar fonksiyonları stoklardaki mevcut bilginin karara dönüşümünün nasıl olacağını belirleyen politikanın durumlarıdır. Tüm kararlar bir eylem üretirler ve akış oranı olarak ifade edilebilirler.

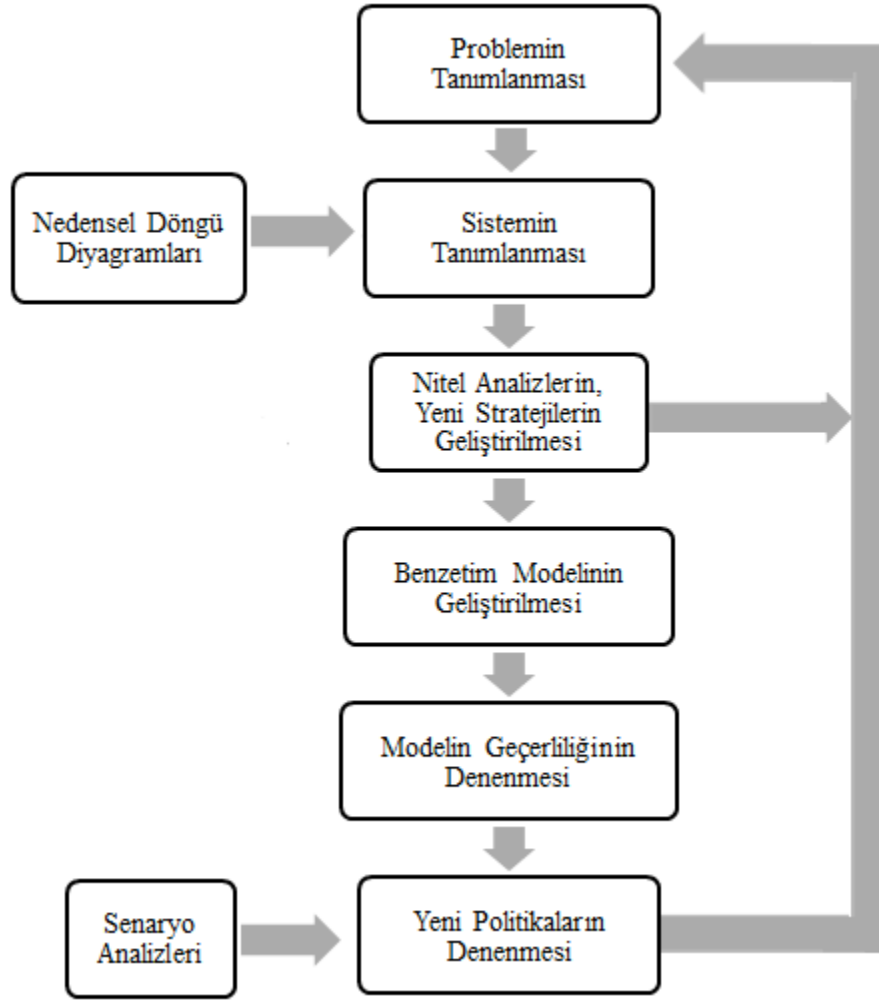
Oranları belirleyen karar fonksiyonları yalnızca stoklardaki bilgiye bağlıdır. Oranlar diğer oranlar tarafından belirlenmezler. Bu ilke olarak her durumda geçerlidir (Erkut, 1983: 46).

3. SİSTEM DİNAMİĞİNDE MODELLEME SÜRECİ

Forrester'a göre sistem dinamiğinde modelleme aşamaları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Forrester, 1962:13):

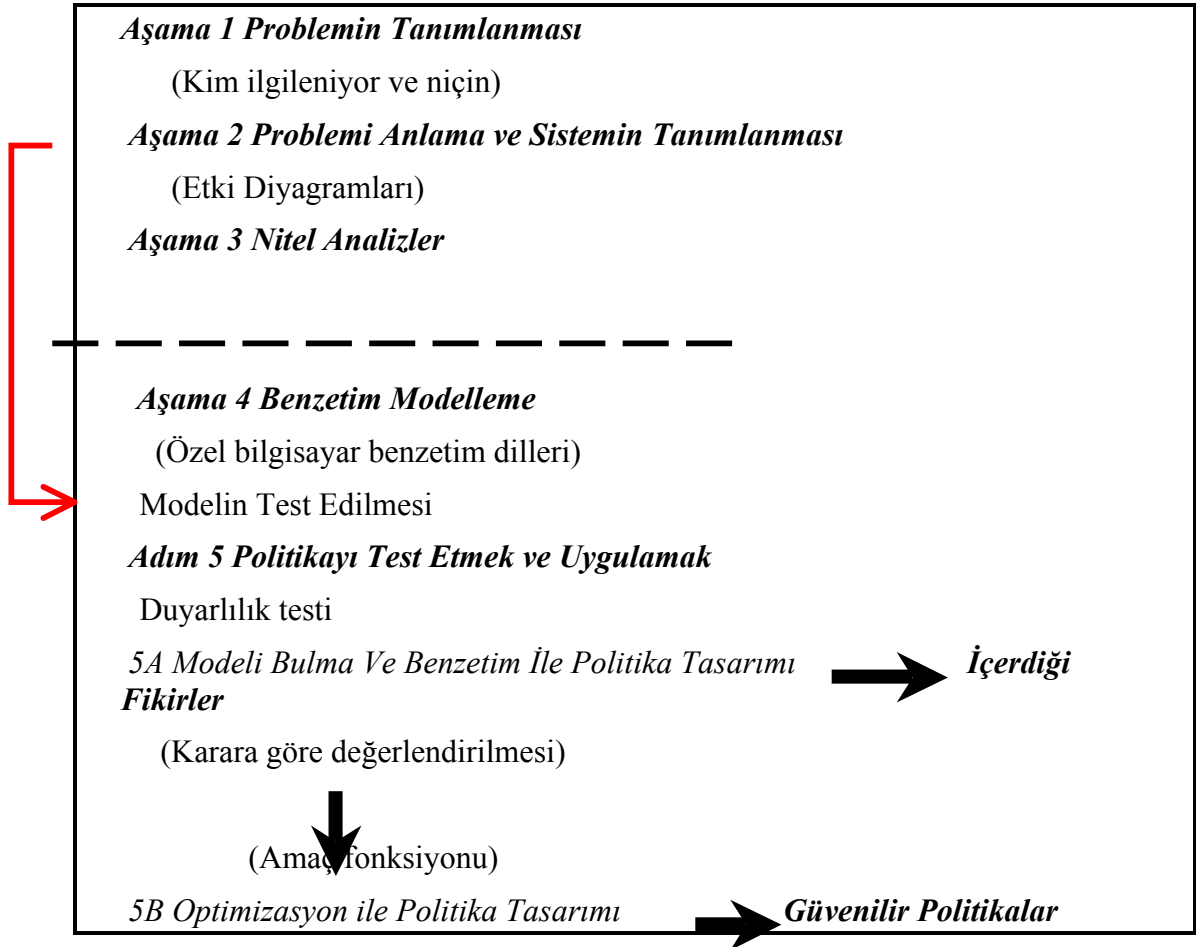
- ✓ Problemin tanımlanması
- ✓ Gözlenen semptomları oluşturan faktörlerin ayrılması (izole edilmesi)
- ✓ Neden- etki bilgi geribildirim döngülerinin izlenmesiyle kararları eylemlere eylemleri de bilgi dönüşlerine bağlayarak yeni kararlar elde edilmesinin sağlanması
- ✓ Var olan bilgi akışlarıyla kararların nasıl sonuçlanacağını tanımlayan kabul edilebilir, uygun karar politikalarının formülasyonu
- ✓ Karar politikalarının, bilgi kaynaklarının ve sistem bileşenlerinin etkileşimlerinin matematiksel modelinin oluşturulması
- ✓ Modelde tanımlandığı gibi sistem davranışının oluşturulması
- ✓ Sonuçların mevcut sistemdeki tüm uygun verileri ile karşılaştırılması
- ✓ Modelin gerçek sistemin bir temsili oluncaya kadar gözden geçirilmesi
- ✓ Modelin yeniden tasarlanmasıyla sistem davranışını iyileştirebilecek organizasyonel ilişkilerin, politika değişikliklerinin bulunması
- ✓ Gerçek sistemde modelin gösterdiği yönde değişiklikler yapılmasıyla iyileştirilmiş performansın elde edilmesi

Şekil 5'te SD modelleme aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 5: Sistem Dinamiği Modelleme Aşamaları

Sistem dinamiğinde modelleme sürecinin ilk aşaması, problemin tanımlanmasıdır. Bu aşama, problemin açık bir şekilde tanımlanması ve ilgilenecek kişi veya kişilerin bulunması ile ilgilidir. İkinci aşamada, nedensel döngü diyagramları olarak da adlandırılan etki diyagramlarının oluşturulmasıyla sistem tanımlanır. Üçüncü aşamada, nitel analizler gerçekleştirilir. Dördüncü aşama, benzetim modelinin geliştirilmesi ve test edilmesini içerir. Son aşama olan beşinci aşamada ise, sistem dinamikleri ile yapılan analiz sonuçları politika tasarımı ile gerçekleştirilir. Sistem dinamiği yaklaşımının yapısı Şekil 6’da gösterilmiştir.



Şekil 6: Sistem Dinamiği Yaklaşımının Yapısı (Kaynak: Coyle, 1996: 11)

Problemin amacını belirledikten sonra sistem alt sistemlere bölünür. Her bir alt sistemin içerdiği değişkenler belirlenir. Gereğinden fazla değişken modelin anlaşılmasını güçleştirir. Belli değişkenlerin eksikliği ise modelin anlamını tümüyle değiştirebilir (Erkut, 1983: 23-24).

3.3.1. Problemin Tanımlanması

Modellemenin başarılı olması için en önemli bileşen net bir amaçtır. Tabi ki, açık bir amacı olan bir model hala yanıltıcı ve anlaşılması zor olabilir. Ancak açık bir amaç, istemcilere ele aldıkları sorunla ilgili modelin yararlı olup olmadığı hakkında sorgulamalar yapma olanağı sağlar (Stermann, 2000: 89). İlk adım olan problemin tanınması, kimler tarafından ve niçin önem verildiğinin ortaya konmasıdır. Bu adımda doğru yanıt nadiren bulunabilir. Sistem dinamiğinin yönetim bilminde bir çekici özelliği de, biri problemi çözmeye çalışırken diğer bir kişi problemin tanımlanmasını yeniden gözden geçirebilir (Coyle, 1996: 10).

3.3.2. Sistemin Tanımlanması ve Etki Diyagramlarının Oluşturulması

Bu adım, sistem dinamiğinin başlangıç aşamasıdır. Sistemin, etki diyagramları ile ifade edilmesidir. Etki diyagramlarına aynı zamanda nedensel döngü diyagramları da denilmektedir (Coyle, 1996: 10).

3.3.3. Nitel Analizler

Etki diyagramlarını oluşturduktan sonra nitel analizler başlar. Nitel analiz ile anlatılmak istenen problemi daha iyi anlamak için etki diyagramlarının daha yakından incelenmesidir. Bu adım, sistem dinamiğinin en önemli adımı olup, modellemeyi anlamlı sonuçlara taşır. Hatta bazen bu adımda problem çözülür ve daha ileriki adımlara gitmeye gerek kalmaz. Şekil 19'daki kesikli çizgi bunu ifade etmektedir.

3.3.4. Benzetim Modelinin Oluşturulması

Eğer niteliksel analiz, problemin çözümü için yeterince bilgi sağlamadıysa dördüncü adıma geçilir. İkinci ve üçüncü adımdaki etki diyagramları daha az detayla yeniden çizilebilir. Benzetim modeli bunların üzerinden akış diyagramı çizilmeden oluşturulabilir. Benzetim modelleri ile etki diyagramları aynı modelin iki farklı gösterimidir. Birinde oklar ve kelimelerle model gösterilirken, diğesinde denklemler ve bilgisayar koduyla ifade edilir. Sistem dinamiğinin bu özelliği, bazı güçlü pratik sonuçlar doğurur.

Birincisi, hızdır. Modelleyicinin seçtiği herhangi bir sırada denklemler başlayabilir. Pratikte, sıra anlayabileceği ve anlatabileceği şekilde seçilir ama denklemler için sıralanmasında endişelenmesine gerek yoktur bunu özel dil yerine getirir. Bunun anlamı model genellikle, BASIC veya daha üst düzey bir programlama diliyle karşılaştırıldığında, on veya yüz kat daha hızlı yazılabilir. Bu sayede ilk sonuçlar aynı gün ve saat içinde elde edilebilir. İkincisi; gözden geçirmek ve geliştirmek kolaydır. Üçüncü özellik, model hem etki diyagramları hem de denklemlerle ifade edildiği için problem üzerinde düşünmek ve anlatmak kolaydır. Dolayısıyla iletişimde kolaylık sağlar. Aynı zamanda bu aşama modelin test edilmesi ve hatalarının ayıklanması gibi önemli adımları da içerir. Bunlar modelin geçerliliği olarak adlandırılır. Buradaki geçerliliğin anlamı, mutlak ve gerçek anlamından çok belirli bir amaca uygunluk ve sağlıklı bir şekilde yapılandığını gösterir.

3.3.5. Politikaların Test Edilmesi ve Tasarımı

Bu aşamada, nicel analiz tabanlı sonuçlar çıkmaya başlar. İlk aşamada, vurgu politika tasarımı ve sistemin test edilmesi üzerinedir. 5A adımı, potansiyel değişimlerin benzetimiyle, etkilerin ne olduğu ve bu etkilerin sistem döngülerini nasıl etkilediği anlaşılmaya çalışılır. Buradaki vurgu daha çok sistem davranışını keşfetmektir.

5B'deki aşama ise, amaç fonksiyonu ile ima edilen sistemin ulaşmaya çalıştığı değerin belirlenmesidir. Amaç fonksiyonu yönetim biliminin başka alanlarında da(doğrusal programlama gibi) vardır. Sistem dinamiği bu yaklaşımları daha sağlam politika üretmek için optimizasyon yazılımının güçlendirilmesinde kullanır (Coyle,1996:10-13).

4. SONUÇ

Sistem dinamiği yaklaşımı ile sistemin verimini iyileştirmek için değerler öngörmekten ziyade sistemin davranışını inceleyerek uygun politikalar tasarlanır. Sistem dinamiği geribildirim döngüleri ile sistemlerin dinamik davranışını inceleme olanağı sağlar. Sonraki çalışmanın konusunu oluşturacak su kaynakları yönetiminde sistem dinamiği modeli geliştirilmesi ile farklı politikaların sistem üzerinde yarattığı

etkileri inceleme olanağı elde edilebilecektir. Senaryoların denenmesi ile etkin politikalar tasarlanabilir bu sayede su kaynaklarının etkin kullanımı sağlanabilir.

KAYNAKÇA

- ABDELBARI Hassan - ELSAWAH Sondoss - SHAFI Kamran (2015). “Model Learning Using Genetic Programming Under Full And Partial System Information Conditions”, 33rd International Conference of the System Dynamics Society, Cambridge, Massachusetts, USA.
- AKIN Mutluhan, AKIN Galip, (2007). “Suyun Önemi, Türkiye’de Su Potansiyeli, Su Havzaları Ve Su Kirliliği”, Ankara Üniversitesi Dil Ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi 47, 2, 105-118.
- ATALIK, Ahmet. (2006). “Küresel ısınmanın su kaynakları ve tarım üzerine etkileri”. Bilim ve Ütopya, 139: 18-21.
- AYANOĞLU M., GÖKÇE M. (2007). “Sistem Düşüncesinden Sistem Dinamiklerine”, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, (3) 29-41. BARLAS Yaman (2005a). Dinamik Sistem Yaklaşımı: Modeller, Kurumsal Öğrenme Ve Sorun Çözme – I. Endüstri Ve Otomasyon Dergisi (94).
- BARLAS Yaman (2005b). Dinamik Sistem Yaklaşımı: Modeller, Kurumsal Öğrenme Ve Sorun Çözme - II. Endüstri Ve Otomasyon Dergisi(95).
- BAŞKAYA Zehra (1997). Sistem Dinamiğinin İşletmelerde Uygulanması, Ekin Kitabevi Yayınları, Bursa.
- CAMPUZANO, F. - MULA, J. (2011). Supply Chain Simulation, London: Springer-Verlag.
- CHU, Jianxun, (2015). “What are the Water Resources Scenarios in future? SD-based Water Resource Carrying Capacity Modeling in China”, 33rd International Conference of the System Dynamics Society* Cambridge, Massachusetts, USA.
- COYLE Roger G. (1996). Systems Dynamics Modeling, Chapman & Hall, London.
- DAĞLI, Himmet. (2005). “İçme suyu kalitesi ve insan sağlığına etkileri” Bizim İller. İller Bankası Aylık Yayın Organı. Sayı 3: 16-21.
- D'HONT Floortje, HOLMES Jai Clifford, SLINGER Jill, (2013). “Addressing Stakeholder Conflicts İn Rural South Africa Using A Water Supply Model”, The 31st International Conference of the System Dynamics Society Cambridge, Massachusetts, USA.
- ERKUT Haluk (1983). Sistem Dinamiğinin Temelleri, İTÜ Fen Edebiyat Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- ERKUT Haluk (1995). Sistem Yönetimi Yönetim Bilimleri Dizisi: 4, İrfan Yayınları, İstanbul.
- FORD A. (1999). Modeling the Environment: An Introduction to SystemDynamics Modeling of Environmental Systems, Island Press: Washington, DC.
- FORRESTER Jay Wright (1969). Urban Dynamics, Cambridge, The MIT Press, MA, USA.

- FORRESTER Jay Wright (1962). Industrial Dynamics, Waltham, MA: Pegasus Communications.
- FORRESTER Jay Wright (1995). Road Map 1: Counterintuitive Behaviour Of Social Systems.MIT System Dynamics In Education Project.
- FORRESTER Jay Wright (2007a). “System Dynamics: A Personal View Of The First Fifty Years”, System Dynamics Review Vol 23, 345–358.
- GÜNER Ebru (2003). Su Havzaları Ve Planlama İlişkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- HAVILAND, William.A. (2002). Kültürel Antropoloji (Çev: Hüsamettin İnaç, Seda Çiftçi). No: 143. Sosyoloji Serisi: 3. İstanbul: Kaktüs Yayınları.
- HERRERA Hugo (2014). “Integrating System Dynamics With Traditional Management Tools: A Case Study In The Apparel Industry”, 32nd International Conference of the System Dynamics Society, Delft, Netherlands.
- HESAN Reza– GHORBANI Amineh–DIGNUM Virginia (2014). “Using Diference Equation to Model Discrete-time Behavior in System Dynamics Modeling”, 32nd International Conference of the System Dynamics Society, Delft, Netherlands.
- KIRKWOOD Craig W. (1998). System Dynamics Methods: A Quick Introduction, College Of Business Arizona State University.
- HOLMES Jai K Clifford, SLINGER Jill H, MUSANGO Josephine K, BRENT Alan C, PALMER Carolyn G, (2014). “Using System Dynamics to Explore the Water Supply and Demand Dilemmas of a Small South African Municipality”, 32nd International Conference of the System Dynamics Society, Delft, the Netherlands.
- LANE David J. – STERMAN John D. (2011). Profiles in Operations Research: Jay Wright Forrester, Chapter 20 in Profiles in Operations Research: Pioners and Innovators. S. Gass and A. Assad, New York, Springer: 363-386. <http://jsterman.scripts.mit.edu/docs/Lane2011%20Profiles%20in%20Operations%20Research.pdf>
- LIBBY Bradd, CHRISTIANSEN Alexander (2016). An Assessment of the Coupled Hydrology and Management of Northern Thailand’s Water Resources in Extreme Climate Conditions, Paper for the 34th International Conference of the System Dynamics Society, Delft, Netherlands (July 2016)
- MAANI Kambiz E. – CAVANA Robert Y. (2007). Systems Thinking AndModelling Understanding Change and Complexity, Pearson Education, NewZealand.
- MARTIN, L. A. (1997a). Road Map 2: The First Step. MIT System Dynamics in Education Project. <http://sysdyn.clexchange.org/sdep/Roadmaps/RM2/D-4694.pdf>
- MORECROFT John (2015). Strategic Modelling And Business Dynamics: A Feedback Systems Approach, John Wiley & Sons, Chichester, England.
- MORECROFT, J.D.W., STERMAN, J.D. (1994). Modelling For Learning Organizations, Productivity Press, Portland, OR.

- ÖĞÜT Kaan - ŞAHİN Serçin (2012). “ Türkiye’de Finansal İstikrar Sorununa Sistem Dinamiği Yaklaşımı”, Türkiye Ekonomi Kurumu.
- ÖZBAYRAK Mustafa, PAPADOPOULOU Theopisti C., AKGUN Melek (2007). System Dynamics Modelling of A Manufacturing Supply Chain System, Simulation Modelling Practice and Theory, 15, 1338-1355.
- RADZICKI, M. J.,(2007). “System Dynamics And Its Contribution To Economics And Economic Modeling”, Forthcoming In: Encyclopedia Of Complexity And System Science., Springer-Verlag,
- RAMAGE Magnus – Ship Karen (2009). Sytem Thinkers, The Open University Walton Hall, Milton Keynes United Kingdom, Springer London.
- RICHARDSON George P.,(1999). Feedback Throught in Social Science And Systems Theory, Pegasus Communications, Inc, Waltham.
- RICHMOND B. (2010). The Thinking In Systems Thinking: Eight Critical Skills. In Tracing Connections: Voices Of Systems Thinkers (Richmond J Et Al, Eds). Isee Systems, Lebanon, NH, Creative Learning Exchange, Acton, MA.
- RUTH Matthias, HANNON Bruce (2012). Modeling Dynamic Economic Systems, Second Edition Springer.
- SENGE Peter (1990). The Fifth Discipline: The Art And Practice Of The Learning Organization. Random House, London.
- SENGE Peter. M. (2002). Beşinci Disiplin, Çeviren: Ayşegül İldeniz Ve Ahmet Doğukan, Yapı Kredi Yayınları, 16.Baskı, İstanbul.
- SENGE, Peter, KLEINER, A., Roberts, C., Ross, R. And Smith, B. (1994). The Fifth Discipline Fieldbook, Century, London.
- SEZEN H. Kemal., (2007). Yöneylem Araştırması, Ekin Yayınevi, Bursa.
- SEZEN H.Kemal., Günel Murat. (2009). Yöneylem Araştırmasında Benzetim, Ekin Yayınevi, Bursa.
- SODERQUIST C and OVERAKKERS S. (2010). Education for Sustainable Development: A Systems Thinking Approach, Global Environmental Research, 14 / 2010: 193-202.
- STERMAN John D. (1991). A Skeptic’s Guide to Computer Models, MIT System Dynamics In Education Project, Cambridge, USA.
- STERMAN, John.D. (2000). Business Dynamics Systems Thinking And Modelling In A Complex World, Mcgraw-Hill, New York.
- TANG Victor, VIJAY Samutra (2001). “System Dynamics Origins, Development AndFuture Prospects of a Method”, Research Seminar in Engineering Systems.
- TOWIL Denis.R. (1996). Industrial Dynamics Modelling of Supply Chains, Logistic Information Management, Vol. 9, Iss 4 pp., 43-56.
- VENNIX, J. a. M. (1995). “Building Consensus In Strategic Decision Making: System Dynamics As A Group Support System”, Group Decision and Negotiation, 4(4). 335–355.

- WARREN K. (2005). “Improving Strategic Management With The Fundamental Principles Of System Dynamics”, System Dynamics Review, 21(4). 329–350.
- WHEELER Frederick P., (1994). “How to Get Managers To Use SystemDynamics”, International System Dynamics Conference, Stirling, Scotland.
- WOLSTENHOLME, E.F. (1990). Systems Enquiry: A System Dynamics Approach. John Wiley & Sons, Chichester, England.
- YAMAGUCHI Kaoru (2013). Money and Macroeconomic Dynamics- Accounting System Dynamics Approach, Awaji Island, Japan: Japan Future Research Center.
- <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>

A Suggestion For Water Resources Management: System Dynamics

Arzu EREN ŞENARAS

Uludağ University

Faculty of Economics and Administrative Sciences

Görükle-Nilüfer, Bursa, Turkey

orcid.org/0000-0002-3862-4551

arzueren@uludag.edu.tr

Extensive Summary

The planning of water resources management is important in order to leave healthy and sufficient water for future generations. The purpose of this study is to explain the system dynamics as a method that can be used to design an effective policy in water resources management.

System dynamics deals with how things change over time. Almost all are interested in how the past formed the present moment and how today's actions determine the future (Forrester, 1995: 16).

The concept of dynamics indicates change over time. If something is dynamic, it changes constantly. Therefore, a dynamic system is a system in which there are interactions that promote change over time. System dynamics approach is a method used to understand how the system changes over time. The elements and variables that constitute a system that changes in time are expressed as the system behavior. The aim is to understand the basic behavior system of the variables, to discover the factors that cause this mode of behavior and to improve the system behavior. Thus, it could be argued that system dynamics is a method to explain how the systems change with time. In dynamic systems, variables influence each other simultaneously (Barlas, 2005a; Ayanoğlu and Gökçe, 2007).

Dynamic complexity arises from connections and disconnections that link social and business systems. When a change occurs in one part of the system, it causes change in another part later (sooner or later). These effects could not always be observed clearly, usually they are beyond expectations (Morecroft, 2015: 21).

Dynamic complexity arises due to the following systems characteristics (Sternan, 2000):

Dynamics: Systems constantly change. Even an apparent constant would change over a long time period.

Close Relationship: The components of the system have a strong interaction.

Management by feedback: Actions return back to themselves. Decisions cause a change and trigger other system components to take action.

Nonlinearity: Systems are mostly nonlinear, i.e. the effects are not proportional to their outcomes in general.

Historical dependence: Many actions have no return. An action taken will cause irreversible effects as a result of several feedbacks.

Self-organization: The dynamics of a system arises from its own internal structure.

Adaptability: Rules and abilities change over time. They allow selection and multiplication as they develop over time.

Contradiction to intuition: Causes and effects are different from each other in the temporal and spatial contexts. Individuals search for the reasons of events in the periphery of the events they are trying to explain.

Resistance to Politics: The complexity of the system that we work on could reduce our ability to understand the system. After all, many obvious solutions fail and even worsen the situation.

Determination of Reconciliation: Time delay feedbacks provide different responses in the short and long term. Often a good response occurs before the bad behavior (response).

System dynamics is designed to model, analyze and improve socio-economic and administrative systems using a feedback perspective. Dynamic structured administrative problems are modeled by mathematical equations and using computer software. Dynamic constructions of model variables are obtained using computer simulations (Forrester 1962; Ford 1999; Sterman 2000; Barlas 2008).

The main principle of system dynamics is that the ongoing accumulation of the complex behavior of organizational and social systems (human, material, financial assets, information, biological and psychological states) is also the result of balancing and empowering feedback mechanisms. (Richardson, 1999).

System dynamics is an interdisciplinary problem-solving methodology that utilizes several significant thinking skills such as dynamic thinking and cause-and-effect thinking. System dynamics is a disciplined collaborative approach that could accelerate learning by combining a multifaceted perspective that provides insight into complex and interactive issues (Richmond 2010, Soderquist and Overakker 2010; Ferencik, 2014).

System dynamics is a method that allows analysts to separate complex social, and behavioral systems into components, to visualize them by reconstructing them as a whole again, and to develop a simulation model (Tang and Vijay, 2001: 3).

There is never one single correct answer in system dynamics. Since system dynamics represents the relationships within the current system, it presents multiple possible approaches that could be applied, instead of providing a single correct answer. Each approach could provide some of the desired result, as well as some unexpected ones. In fact, another significant characteristic of system thinking is to become aware why we preferred a solution over others (Sterman, 2000: 127-133). System dynamics was designed to help managers make decisions similar to other information technologies. The aim of system dynamics studies is to assist decisions by analyzing old policies and designing new ones (Wheeler, 1994: 80).

System dynamics models are not derived statistically from time series data. They are statements related to policies and system structure that guide decisions. Models

include admissions made about the system. A model is only as good as the expertise that underlies its formulation. A good computer model is distinguished from a bad one by the accuracy of its reflection of the system it represents. Several other mathematical models are limited due to the nonlinear nature of the real system and the lack of their inclusion of several feedback cycles. On the other hand, system dynamics computer models could reflect real system behavior (Forrester, 1995: 6).

System dynamics is based on information feedback theory and provides symbols for system management. These symbols include diagrams, equations, and programming languages for computer simulation (Morecroft and Sterman, 1994: 15).

The objective of system dynamics is not optimization, but to examine the system behavior in the long run at macro level against specific changes and to help determine the strategies. System dynamics aims to achieve a holistic view of the system and to determine how interactions influence the system as a whole. It is often used for large organizations and global events. However, it could also be used for micro-level and small organizations (taking into account their intermittent structure in flows and levels). The most significant function of system dynamics is to improve system behavior by explaining the structure and behavior of the system. The system dynamics has a broad approach to problems to facilitate monitoring, development, and reorganization of the system performance. As a result, the improvement of the performance of one part of the system prevents the deterioration of another part of the system (Hesan et al., 2014; Başkaya, 1997: 93; Özbayrak vd., 2007; Towil, 1996). In system dynamics, generally a “what if” analysis is conducted.

System dynamics is a compilation of tools by which we could understand the structure and dynamics of complex systems. What was meant by complexity is the fact that these systems contain characteristics such as delay, feedback, and a large number of stocks. System dynamics is based on the control theory and modern nonlinear dynamics theory. However, understanding the complex systems requires more than solely mathematical tools. Since complex systems involve human and social systems as well as physical and technical tools, system dynamics is in direct relationship with cognitive and social psychology, economics and other social sciences. Therefore, it could be argued that system dynamics is an interdisciplinary method (Öğüt and Şahit, 2012: 5, Senge, 2002, Sterman, 2000).