

Sistem Dinamiği Modeli ile Elektrik Enerjisi Piyasasının İncelenmesi¹ Analyzing Electricity Market via System Dynamics Modelling

Arzu EREN ŞENARAS  ^a Şahin İNANÇ  ^b

^a Bursa Uludağ Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Türkiye, arzueren@uludag.edu.tr

^b Bursa Uludağ Üniversitesi, Keles Meslek Yüksekokulu, Türkiye, sahininanc@uludag.edu.tr

MAKALE BİLGİSİ	ÖZET
Anahtar Kelimeler: Sistem Dinamiği Elektrik Enerjisi Piyasası Modelleme Simülasyon	Amaç – Bu çalışma kapsamında, Türkiye'nin elektrik piyasasını modellemek için Sistem dinamiği modeli (SDM) Vensim PLE programı ile oluşturulmuştur. Sistem dinamiği modeli, bu tür karmaşıklıkları modellemek için uygun bir yaklaşımdır. Yöntem – Sistem dinamiği, geri bildirim sistemlerine dayanan bir metodolojidir. Sistem Dinamiği Jay Wright Forrester tarafından geliştirilmiştir. Forrester'ın metodolojisi, karmaşık ve dinamik sistemler için bilgisayar modelleri oluşturmak için bir temel sağlamaktadır. STELLA, VENSIM, POWERSIM gibi birçok yazılım günümüzde sistem dinamiği modellemesinde kullanılmaktadır. Bulgular – Geliştirilen SD model ile 2005-2030 yılları arasında sistemin davranışı incelenmiştir. Öncelikle model incelenerek mevcut durum analiz edilmiştir. Mevcut durum incelendiğinde, gerçekleşen elektrik enerjisi üretim, elektrik enerjisi tüketim, CO2 emisyonu, nüfus, gibi değişkenlerin gerçek değerleriyle uyumlu model sonuçları elde edilmiştir. Mevcut duruma ilişkin karşılaştırmalı sonuçlar incelenmiştir. Mevcut durumun ardından sekiz senaryo geliştirilmiştir. Mevcut durumun incelenmesinin ardından sekiz adet senaryo analizi gerçekleştirilmiştir. Bu senaryolarda sırasıyla, senaryo 1 için elektrik enerjisi kayıp ve kaçak oranının 2013 yılı itibarıyla %5 olması durumu, senaryo 2 için elektrik enerjisi kayıp ve kaçak oranının 2013 yılı itibarıyla %10 olması durumu, senaryo 3 elektrik enerjisi kayıp ve kaçak oranının 2013 yılı itibarıyla %18 olması durumu, senaryo 4 elektrik enerjisi kayıp ve kaçak oranının 2013 yılı itibarıyla %30 olması durumu, senaryo 5 nüfusun artması durumu, senaryo 6 nüfusun azalması durumu, senaryo 7 yeni elektrik santralının kurulmasının ortalama 3 yıl sürmesi durumu, senaryo 8 sanayi sektöründe elektrik enerjisi tüketiminin %15 artması durumu incelenmiştir. Tartışma – Sonuçlar incelendiğinde; kayıp ve kaçak oranların kontrolünün oldukça önemli olduğu söylenebilir. Ayrıca belirli bir süreye gereksinim duyulan yeni elektrik santrallerinin kuruluma başlama zamanlarının planlanması oldukça önemlidir. Geliştirilen sistem dinamiği modeli ile farklı senaryo durumları incelenerek etkin politikaların tasarlanması sağlanabilir.
Gönderilme Tarihi 22 Eylül 2021 Revizyon Tarihi 9 Ekim 2022 Kabul Tarihi 15 Ekim 2022	
Makale Kategorisi: Araştırma Makalesi	

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Keywords: System Dynamics Electricity Market Modeling Simulation	Purpose – In this study, the System Dynamics Model (SDM) was developed for modeling Turkey's electricity market via Vensim PLE. The system dynamics model is a suitable approach for modeling such complexities. Design/methodology/approach – System dynamics is a methodology based on feedback systems. System Dynamics was developed by Jay Wright Forrester. Forrester's methodology provides a basis for building computer models for complex and dynamic systems. Many software such as STELLA, VENSIM, POWERSIM are used in system dynamics modeling today. Findings – The behavior of the system between 2005 and 2030 has been examined thanks to developed SD model. First of all, the model was examined and the current situation was analyzed. When the current situation is examined, the model results are obtained in accordance with the actual values of the variables such as the actual electrical energy production, electrical energy consumption, CO2 emission, population. Comparative results regarding the current situation have been examined. Eight scenarios were developed following the current situation. After examining the current situation, eight scenario analyzes were conducted. In these scenarios, respectively, for scenario 1, the electrical energy loss and leakage rate is 5% as of 2013, for scenario 2 the electrical energy loss and leakage rate is 10% as of 2013, scenario 3 electrical energy loss and leakage rate is 18% as of 2013, scenario 4 electricity loss and leakage rate is 30% as of 2013, scenario 5 population increase, scenario 6 population decrease, scenario 7 new
Received 22 September 2021 Revised 9 October 2022 Accepted 15 October 2022	
Article Classification: Research Article	

¹ Bu çalışma Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri ÖAP(İ)-2018/3no'lu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Destekleri için teşekkürü borç biliriz.

Önerilen Atıf / Suggested Citation

Eren Şenaras, A., İnanç, Ş. (2022). Sistem Dinamiği Modeli ile Elektrik Enerjisi Piyasasının İncelenmesi, *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 14 (4), 2796-2814.

power plants take an average of 3 years, scenario 8 electricity in industrial sector 15% increase in energy consumption has been examined.

Discussion – When the results are examined; It can be said that the control of loss and leakage rates is very important. In addition, it is very important to plan the installation start times of new power plants that require a certain period of time. With the developed system dynamics model, different scenario situations can be examined and effective policies can be designed.

1. GİRİŞ

1950'li yıllarda MIT' den Jay Forrester tarafından geliştirilen Sistem Dinamiği yaklaşımı sosyal bilimlerde, özellikle yönetimdeki karmaşık davranışların bilgisayar benzetimiyle analiz edilmesini sağlamaktadır. Sistem dinamiğini, karmaşık sistemlerin dinamik davranışlarını ortaya koymayı sağlayan bir yöntem olarak sistem düşüncesinin bir şekli olduğu söylenebilir. Sistem yapılarının sistem davranışı ve sistem olaylarına nasıl yol açtıklarını anlamak, sistem dinamiğinin temelini oluşturmaktadır (Sezen, 2009: 298).

Sistem dinamiği yaklaşımıyla yapılan literatürde yer alan çalışmalardan bir kısmı aşağıdaki gibidir.

Macal (2004), çalışmasında ajan tabanlı simülasyon (ATS), Forrester'in sistem dinamiği (SD) yaklaşımı modellemesinin yanında kompleks sistemleri modellemede kullanılan yeni bir model tekniğidir. Birçok çalışmada modeller her iki yaklaşımla da modellenebiliyor. Bu çalışmada (SD) modelden (ATS) türetmek için gerekli spesifikasyonlar sunulmuştur.

Esmaeeli vd., (2006), çalışmalarında İran'da yapılan sistem dinamiği modeli elektrik fiyat değişimleri nasıl etkilediğini göstermek için geliştirilmiştir. Elektrik depolamak pratikte pek mümkün olmadığından arz talep dengesinin korunması zorunludur. Buna yönelik olarak gelir seviyesine göre düşük, orta ve yüksek gelirli olmak üzere üç grup belirlenmiş üretim ve dağılım bu koşullar göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

Tan vd., (2007), bu çalışmalarında Alternatif Enerji Teknolojileri (AET) konusunda sd model geliştirmişlerdir. Bir takım makroekonomik ve jeolojik güçler, ulusal petrol şirketleri gibi olumsuzluklar nedeniyle (AET)'nin gelişimi belirsiz bir durumdadır. Bu çalışmada sistem dinamiği yaklaşımı kullanılarak (AET)'nin daha az riskle uygun (AET) için yatırım yapılması amaçlanmıştır.

Qian, (2008), çalışmalarında Çin'de yapılan bir sistem dinamiği çalışmasında gelecekteki elektrik enerjisi talebinin yeterince fazla olmaması ile uzun dönemde faaliyete geçebilecek enerji santrallerinin yapılmasının doğru olup olmadığını konu almaktadır.

Jäger, Schmidt ve Karl, (2008), çalışmalarında Almanya'da yapılan bir sistem dinamiği çalışmasında elektrik fiyatını etkileyen faktörler ile CO2 emisyonunu azaltacak önlemleri konu almaktadır.

Han ve Yoshitsugu (2008), Çin'de şehirlerarası yolcu taşımacılığının CO2 emisyonuna etkisinin nasıl azaltılabileceğini konu alan bir sistem dinamiği çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada 2020 yılında CO2 emisyonunun beklenenden fazla olacağını ve buna istinaden en iyi çözüm yolunun demiryolu taşımacılığının geliştirilmesi olacağı vurgulanmaktadır.

Choucri vd., (2008), Birleşik Arap Emirlikleri'ndeki bir diğer sistem dinamiği çalışmasında da gelecekteki elektrik enerjisini ve temiz su ihtiyacı için gerekli enerjiyi karşılamanın dışında CO2 emisyonunu azaltacak en uygun teknolojiyi belirlemeyi amaçlamaktadır.

Giorgio vd., (2008), İtalya'da yapılan bir sistem dinamiği çalışması yenilenebilir enerji kaynakları konusundadır. İtalya'da 1987'de nükleer enerji yasaklanmasından sonra ve Kyoto protokolü ile CO2 salınımı kısıtlandıktan sonra yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme olmuştur. Bu çalışmada 2030 yılı için yenilenebilir enerji kaynakları ne ölçüde kullanılabilir ve fosil yakıtlar kullanımından doğacak maliyetlere (CO2 salınımı fazlası için ek maliyetlerle birlikte) göre ne derece avantajlı ya da dezavantajlı olacağı modellenmiştir.

Musango vd., (2009), çalışmalarında, Güney Afrika için yapılan bir sistem dinamiği çalışmasında enerji arzı artışının nükleer enerji üretiminde genişleme ile mi yoksa enerjinin kullanımında alınacak sıkı önlemlerle mi kapatılmasının daha uygun olacağını konu alıyor. Yapılan çalışma sonucunda enerji kullanımında alınacak sıkı önlemlerin daha uygun olduğu ortaya çıkmaktadır.

Kars ve Altunbay 2010), Petrol kullanımının küresel ısınmaya etkisi ve yenilenebilir enerji yatırımlarıyla ilgili Sistem Dinamiği modeli geliştirmişlerdir.

Quadrat-Ullah (2013), yaptığı çalışmada, Kanada'da elektrik arz ve talebi oldukça karmaşık bir yapıda olup doğası gereği dinamiktir. Sistemin neredeyse ölçülemeyen değişkenler arasındaki nedensel ilişkileri ve Kanada'nın elektrik sisteminde mevcut olan kalıpları anlamak, sistematik ve sürdürülebilir politika kararları için gereklidir. Sistem dinamiği metodolojisinden yola çıkarak, bu çalışma dinamik bir simülasyon modeli sunulmuştur.

Saleh vd. (2016). bu çalışmalarında, PT Madubaru'da CO2 emisyonlarının üretimini azaltmayı amaçlayan şeker endüstrisindeki bazı senaryoları değerlendirmek ve oluşturmak için yapılmıştır.

Liu vd.(2016), bu çalışmalarında, sistem dinamiği simülasyonu aracılığıyla 2013'ten 2020'ye kadar Çin'de enerji tüketimini, brüt CO2 emisyonlarını ve CO2 emisyon yoğunluğunu tahmin etmek için bir model geliştirdi.

Peng vd. (2016), Nanjing'deki bir ofis binasında bir vaka çalışmasıyla, bir binanın işletme aşamasında enerji tüketimini ve karbon emisyonlarını hesaplamak için bir sistem dinamiği (SD) yaklaşımı nicel olarak geliştirilmiştir.

Bariss vd. (2017), çalışmalarının amacı, Letonya'da gelirdeki değişikliklere bağlı olarak enerji hizmetlerine yönelik talep artışının, teknolojik gelişmeye bağlı olarak birim talep başına enerji tüketiminin, elektrik fiyatındaki ve hane halkı gelirindeki değişikliklerin Letonya'da elektrik fiyatı ve hane halkı gelirindeki değişimlere göreceli etkisini bulmaktır. Uygulanan yöntem, sistem dinamikleri modellenmesini ve elektrik tasarrufu faaliyetleri ile elektrik maliyeti-gelir oranı arasındaki ilişkiye ilişkin bir hane halkı anketinden elde edilen verileri içermektedir.

Mirzaei vd.(2017), çalışmalarında, 2000–2025 döneminde İran için enerji tüketimi ve CO2 emisyon eğilimlerini modellemek için bir sistem dinamik modeli geliştirmişlerdir. Farklı enerji tüketim faktörlerinin çevre kalitesi üzerindeki etkisinin analizinde enerji politikası faktörleri dikkate alınmıştır.

Saavedra vd.(2018), çalışmalarının temel amacı, yenilenebilir enerji tedarik zinciriyle ilgili en son Sistem Dinamiği katkılarını ve eğilimleri belirlemektir. Çeşitli dergilerde yayınlanan ve Yenilenebilir Enerji Tedarik Zincirinde (RESC) Sistem Dinamiği yaklaşımının uygulanmasına ilişkin çalışmalara genel bir bakış sunmaktadır.

Kelly vd. (2019), bu çalışmada bir sistem dinamiği modeli kullanarak yenilenebilir enerji üretim pazarının altında yatan mekanizmaları incelemektedir. Değerlendirilen alternatiflerin her biri ile ilişkili çevresel, toplumsal ve ekonomik endişeler de dahil olmak üzere yenilenebilir enerji piyasasını simüle etmek için iki alternatifli Genelleştirilmiş Bas Modeli geliştirmişlerdir.

Alirahmi v.d.(2022), çalışmalarında elektrik gücü, hidrojen, oksijen ve soğutma üreten jeotermal enerji ile çalışan çok nesilli bir sistem önermişlerdir. Çalışmaları termodinamik ve ekonomik açılardan değerlendirilmiştir.

Yang v.d. (2022), çalışmalarında uyarlanabilir veri ön işleme, gelişmiş optimizasyon yöntemi, çekirdek tabanlı model ve optimal model seçim stratejisinin avantajlarını sunan iyileştirilmiş bir elektrik fiyatı tahmin modeli geliştirmektedir.

Mostafaeipour v.d.(2022), çalışmalarında yenilenebilir enerji gelişiminin İran'ın karbondioksit emisyonları üzerindeki etkisini belirlemeye çalışmışlardır. Çalışma, İran'da yenilenebilir enerji gelişiminin karbon emisyonları açısından etkilerini incelemek için bir sistem dinamiği yaklaşımı önermişler ve bu yaklaşımı beş farklı senaryo için incelemişlerdir.

Qader vd. (2022), çevre kirliliğini azaltma hedefi göz önüne alarak, çalışmalarında sinir ağı zaman serileri doğrusal olmayan otoregresif, Gaussian Süreç Regresyonu ve Holt'un CO2 emisyonunu tahmin etme yöntemleri gibi birden fazla yöntem uygulamıştır. Yaptıkları çalışmada Bahreyn'in CO2 emisyonunu tahmin etmeye çalışmışlardır.

Zhang v.d.(2022), çalışmalarında, 1972 ile 2015 yılları arasında Bangladeş'te doğrudan yabancı yatırım girişlerinin yenilenebilir enerji kullanımını artırma ve çevresel sürdürülebilirliği sağlama üzerindeki etkilerini değerlendirmek için yeni bir girişimde bulunmuşlardır. Çalışmalarında, doğrudan yabancı yatırım girişlerinin ülkenin toplam elektrik çıktı seviyelerinde yenilenebilir elektrik üretiminin payını artırdığı bulunmuştur. Ayrıca, doğrudan yabancı yatırım girişlerinin, Bangladeş'in ekolojik ayak izi rakamlarını artırarak çevresel kaliteyi doğrudan engellediği de kanıtlanmıştır.

3. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Enerji sistemi modellemesi, birden fazla karar vericinin varlığı, tüketici davranışlarının karmaşıklığı, modüller arasında geri bildirim süreçleri, teknolojik sınırlamalar ve çeşitli gecikmeler nedeniyle karmaşık bir sorundur. Sistem dinamiği modeli (SDM), bu tür karmaşıklıkları modellemek için uygun bir yaklaşımdır, çünkü karmaşık sistemlerdeki geri bildirim yapısını anlamak ve keşfetmek için güçlü bir modelleme tekniğidir. Sistem dinamiği modelleme ilk olarak 1950'lerde geliştirilmiştir, şirket yöneticilerinin endüstriyel süreçler hakkındaki anlayışlarını geliştirmelerine yardımcı olur. Sistem dinamiği modelleme (SDM), geri bildirim döngülerini ve stokları kullanarak karmaşık sistemlerin zaman içindeki davranışını modeller. Tüm sistemin davranışını etkileyen dahili geribildirim döngüleri ve zaman gecikmeleri ile ilgilenir. Bu modelin gücü, dinamiklerdeki, geri beslemedeki ve zaman gecikmesindeki doğrusal olmayışı hesaba katma kabiliyetinde yatmaktadır (Wu vd., 2010; Mirzaei ve Bekri, 2017: 347).

3.1. Sistem Dinamiği

Sistem dinamiği, mevcut bilgileri bilgisayar simülasyon modellerinde düzenlemek için geri bildirim (geri besleme) mekanizması kavramlarını kullanmaktadır. Bu çalışmaya dayanan ilk makaleler Harvard Business Review'da yayınlanmıştır. Sistem dinamiği teoriyi, yöntemleri ve sistemlerin davranışını analiz etmek için ihtiyaç duyulan felsefe, yönetim, aynı zamanda çevresel değişim, politika, ekonomik davranış, tıp, mühendislik ve diğer alanlarda uygulanabilecek ortak bir temel sağlar(Forrester, 1993: 200). Temel olarak, sistem dinamiği oluşturmada altı önemli adım vardır. Bu adımlar; problem tanımlama ile başlar, ardından sistem kavramsallaştırma, model formülasyonu, model test etme ve değerlendirme, model kullanımı olarak ifade edilebilir(Bala v.d., 2017: 15). Forrester, bir sistem dinamiği modelinin aşağıda yer alan adımlardan oluştuğunu belirtmektedir.

- 1) Problemin belirlenmesi
- 2) Gözlemlenen sorunları yaratıyor görünen etmenlerin izolasyonu
- 3) Kararları, davranışlara bağlayan neden sonuç bilgi geri besleme çevrimlerinin izlenmesi
- 4) Mevcut bilgi akımından kararların doğuş şeklini tanımlayan kabul edilebilir politikaların Formülasyonu
- 5) Sistem bileşenlerinin, bilgi kaynaklarının ve karar politikalarının modelinin kurulması
- 6) Model tarafından tanımlanan sistem davranışlarının model çalıştırılarak yaratılması
- 7) Sonuçları, gerçek sistemin elimizde bulunan bütün verileriyle karşılaştırma
- 8) Model, gerçek sistemin kabul edebileceğimiz bir benzeri olana kadar modelde düzeltmeler yapılması
- 9) Gerçek sistem üzerinde değiştirebileceğimiz organizasyonel ilişkileri ve politikaları, model üzerinde yeniden şekillendirerek, ne gibi değişikliklerin istediğimiz sonucu verebileceğini bulmak
- 10) Yukarıda açıklanan model denemeleri sonunda, modelin performansını yükselten sonuçların gerçek sisteme uygulanması (Forrester, 1977).

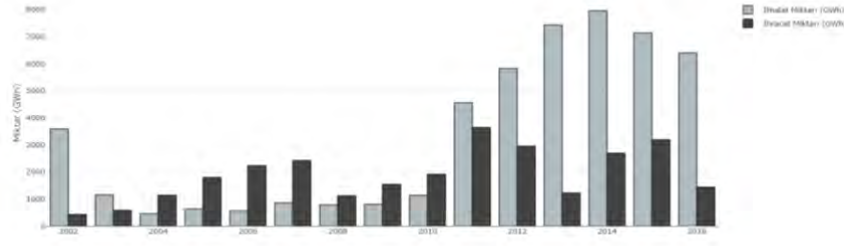
Sistem dinamikleri, çeşitli sosyo-ekonomik çalışmalarda (Radsicki ve Taylor, 1997), teknolojik risklerin modellenmesinde (Wu vd., 2010) ve arz ve talep analizinde (Ansari ve Seifi, 2012; Chi vd. ., 2009; Dong vd., 2012) ve CO2 emisyonlarını ele almaktadır (Fong vd., 2009; Feng vd., 2013; Nuri vd., 2014).

3.2.. Sistem Dinamiği Modeli

Çalışmanın uygulama bölümünde nüfus artışına ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak 2030 yılına ilişkin elektrik enerjisi üretim, elektrik enerjisi tüketim, elektrik ithalatı, elektrik ihracatı değerlerinin belirlenmesine

ve çeşitli senaryo analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için sistem dinamiği yaklaşımı yardımıyla modellenmesi amaçlanmaktadır.

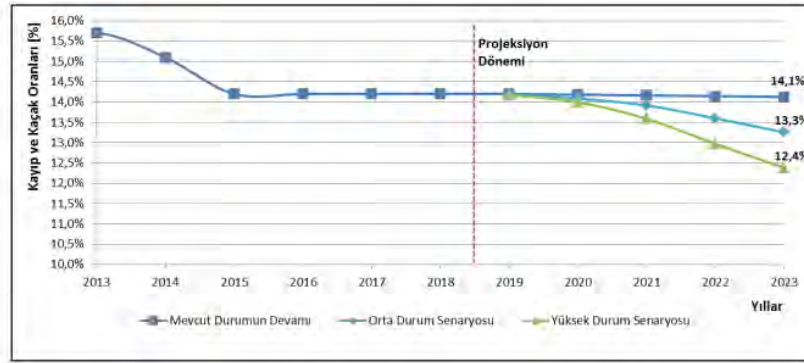
Elektrik enerjisi ithalat-ihracat miktarları Şekil 1’deki gibidir.



Şekil 1: Elektrik Enerjisi İthalat-İhracat Miktarları

(Kaynak: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı- Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü, Düzgün B., 2018: 629).

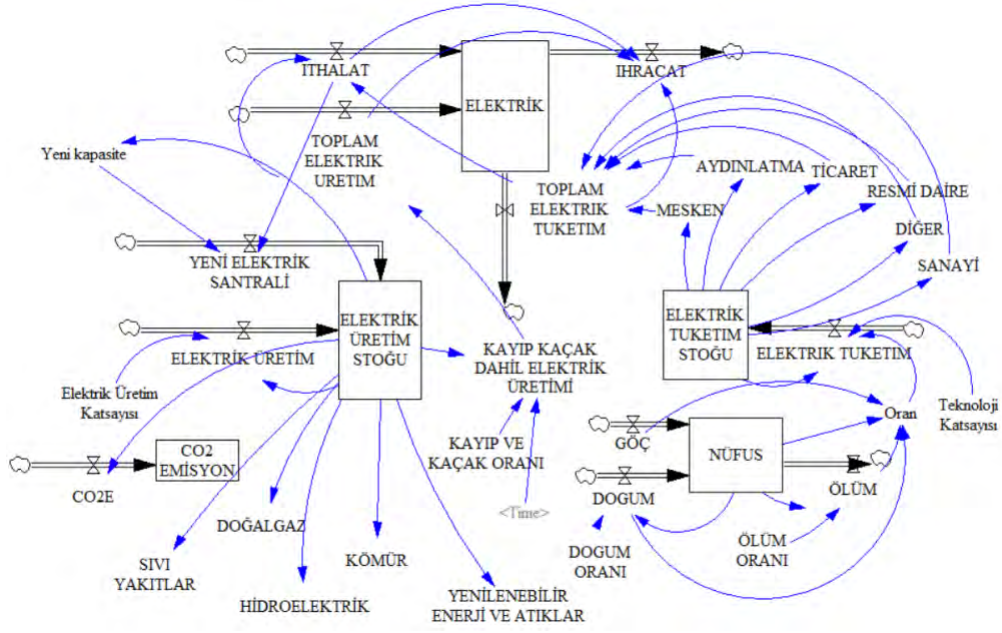
Sistem dinamiği modelinin çalıştırılmasıyla farklı senaryoların analizi yapılabilmektedir. SD model 2005-2030 yılları arasında çalıştırılmıştır. Türkiye’de elektrik üretimi kayıp ve kaçak oranının grafiği Şekil 2’deki gibidir.



Şekil 2: Yüksek, Orta ve Düşük Durum Senaryolarına Göre 2023 Yılına Yönelik Elektrik İletim ve Dağıtım Şebekesindeki Kayıp ve Kaçak Oranları Tahminleri

(Kaynak: Düzgün, 2018: 629)

Geliştirilen SD modelde elektrik enerjisi kayıp ve kaçak oranı; *Lookup değişken* tipi olarak *As Graph* yardımıyla modele tanıtılmıştır. Elektrik enerjisi kayıp ve kaçak oranı; 2005 yılından itibaren %18’den kademeli olarak azaltarak tanımlanmış, 2014 yılından 2030 yılına kadar ise, %14,2 olduğu varsayılmıştır. Shadow variable (Gölge değişken) olarak modele *Time* eklenmiştir. Varsayımlar; modelde yıllık ortalama elektrik enerjisi üretimin kapasitesinin % 2,3’ü kadar kapasitede yeni elektrik santrali veya santrallerinin eklendiği varsayılmıştır, elektrik üretiminin %14,2’sinin kayıp olduğu varsayılmıştır, doğum oranı ve ölüm oranında ciddi bir artış veya azalışın olmadığı varsayılmış, oranlar rassal olarak üretilmiştir. Vensim PLE programında geliştirilen Sistem Dinamiği modeli Şekil 3’teki gibidir.



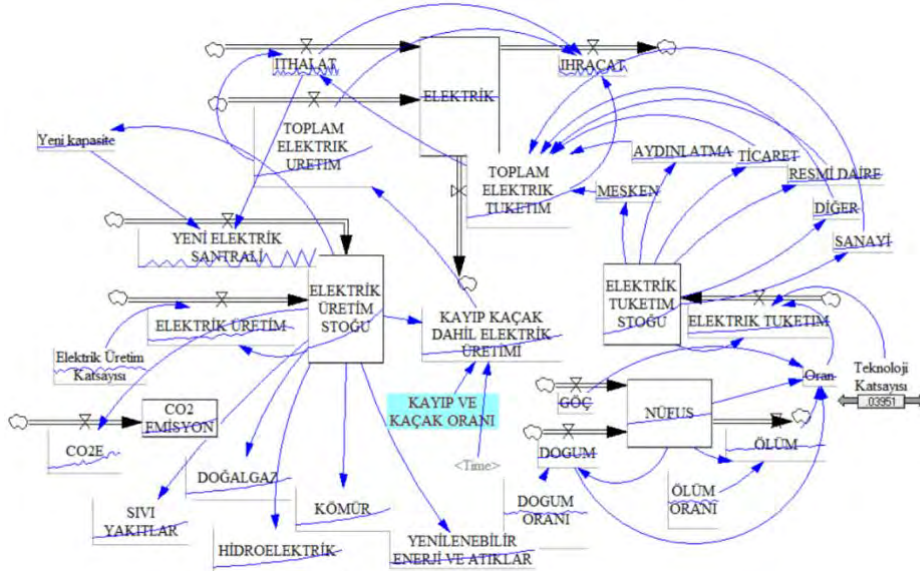
Şekil 3: Vensim SD Model Ekranı

Türkiye’de net elektrik tüketiminin sektörlere göre dağılımı incelendiğinde; mesken, ticaret, resmi daire, sanayi aydınlatma ve diğer şeklinde gruplandırıldığı görülmektedir. Enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretimi ise sıvı yakıtlar, doğalgaz, kömür, hidroelektrik ve yenilenebilir enerji ve atıklar olarak ele alınmaktadır. TÜİK’te yer alan tablolar incelendiğinde; yenilenebilir enerji ve atıklar; jeotermal, rüzgar, katı biyokütle, güneş, biogaz ve atık kaynaklarını içerdiği görülmektedir.

4. BULGULAR

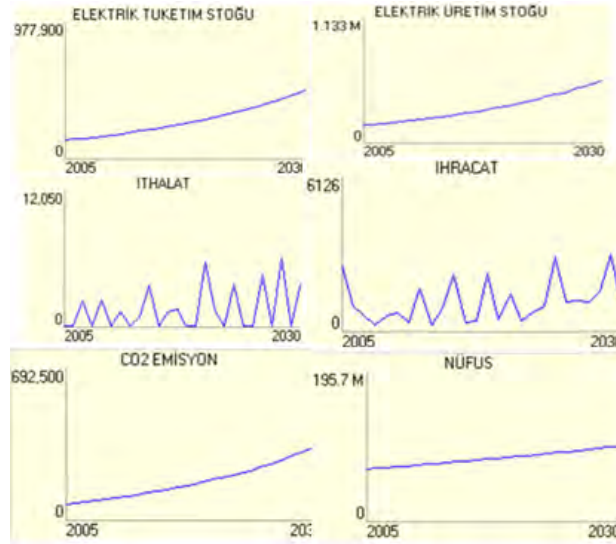
4.1. Mevcut Durum Analizi

Vensim paket programında geliştirilen SD modelin çalıştırılmasıyla mevcut durum analizi yapılmıştır. Mevcut durumunda Vensim SyntheSim ekranı Şekil 4’teki gibidir.

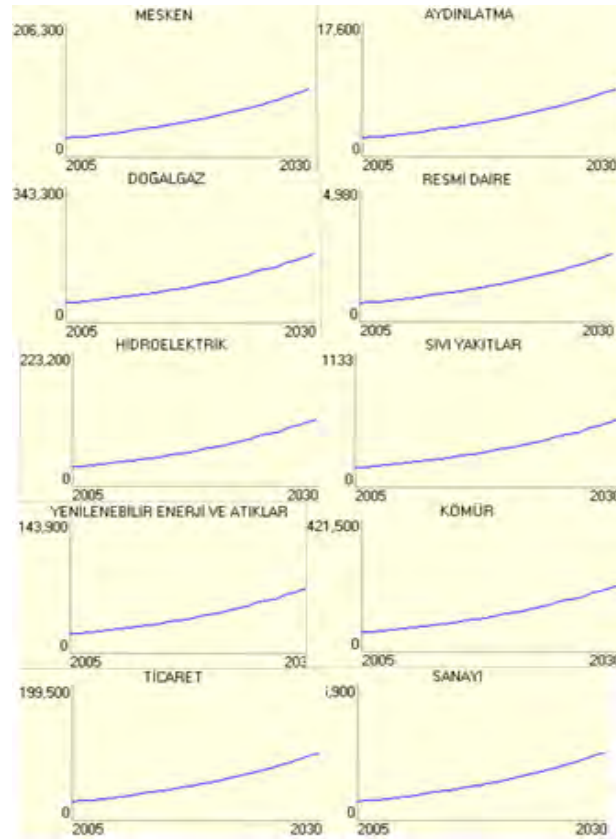


Şekil 4: Mevcut Durumunda Vensim SyntheSim Ekranı

Mevcut durumda modelin çalıştırılması ile elde edilen sonuçların grafikleri Şekil 5 ve Şekil 6'daki gibidir.



Şekil 5: Mevcut Durumda Modelin Çalıştırılması ile Elde Edilen Sonuçların Grafikleri-1



Şekil 6: Mevcut Durumda Modelin Çalıştırılması ile Elde Edilen Sonuçların Grafikleri-2

Tablo 1'de gerçekleşen elektrik enerjisi üretimi verileri (Gwh) yer almaktadır.

Tablo 1: Elektrik Enerjisi Üretimi Verileri (Gwh)

Yıllar	Gerçekleşen	Yıllar	Gerçekleşen
2005	161 956,2	2012	239 496,8
2006	176 299,8	2013	240 154,0
2007	191 558,1	2014	251 962,8
2008	198 418,0	2015	261 783,3
2009	194 812,9	2016	274 407,7
2010	211 207,7	2017	297 277,5
2011	229 395,1	2018	304 801,9

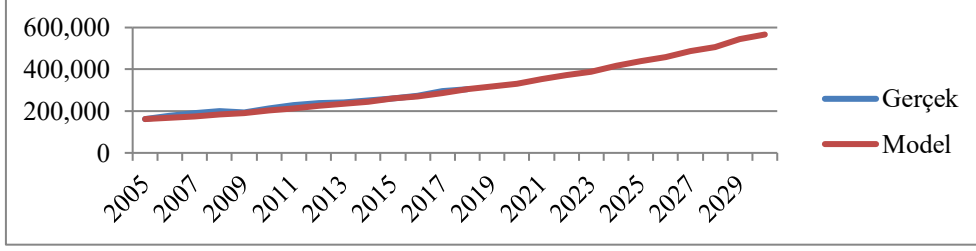
Kaynak: TÜİK, Türkiye Elektrik Üretim

SD Modelden Elde Edilen Elektrik Enerjisi Üretimi Sonuçları Tablo 2’teki gibidir.

Tablo 2: SD Modelden Elde Edilen Elektrik Enerjisi Üretimi Sonuçları

Yıllar	Modelden Elde Edilen Net Elektrik Üretimi(Gwh)	Yıllar	Modelden Elde Edilen Net Elektrik Üretimi(Gwh)
2005	161956	2018	304791
2006	168156	2019	319084
2007	173223	2020	330714
2008	184412	2021	352499
2009	190624	2022	373791
2010	202892	2023	389873
2011	211767	2024	417819
2012	225908	2025	438543
2013	234295	2026	456967
2014	244700	2027	487778
2015	260845	2028	507783
2016	271097	2029	544025
2017	285578	2030	566559

Elektrik enerjisi üretimine ilişkin SD model sonuçları ve gerçekleşen değerlerin karşılaştırmalı grafiği Şekil 7'deki gibidir. Şekil 7 incelendiğinde elektrik enerjisi üretiminin yıllar içerisinde artış gösterdiği görülmektedir.



Şekil 7: Elektrik Enerjisi Üretimine İlişkin SD Model Sonuçları ve Gerçekleşen Değerlerin Karşılaştırmalı Grafiği

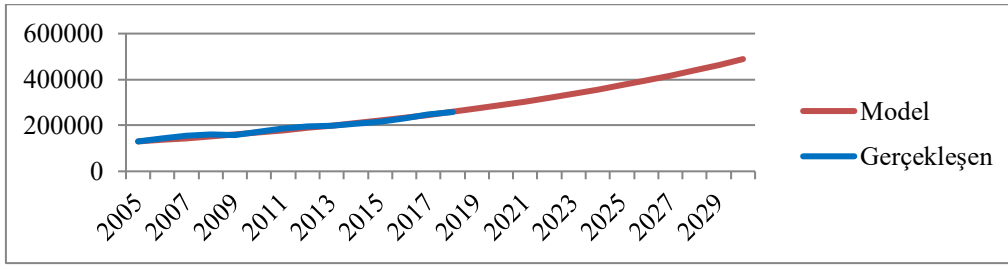
SD modelden elde edilen elektrik enerjisi tüketimi sonuçları Tablo 3'teki gibidir.

Tablo 3: SD Modelden Elde Edilen Elektrik Enerjisi Tüketimi Sonuçları

Yıllar	Modelden Elde Edilen Net Elektrik Tüketimi(Gwh)	Yıllar	Modelden Elde Edilen Net Elektrik Tüketimi(Gwh)
2005	130262	2018	259233
2006	137372	2019	273317
2007	144776	2020	288038
2008	152640	2021	303535
2009	160903	2022	319990
2010	169525	2023	337298
2011	179062	2024	355565
2012	188997	2025	375120
2013	199380	2026	395489
2014	210178	2027	417359
2015	221551	2028	440142
2016	233569	2029	463710
2017	246146	2030	488929

Elektrik enerjisi tüketimine ilişkin SD model sonuçları ve gerçekleşen değerlerin karşılaştırmalı grafiği Şekil 8'deki gibidir.

A. Eren Şenaras – Ş. İnanc 14/4 (2022) 2796-2814

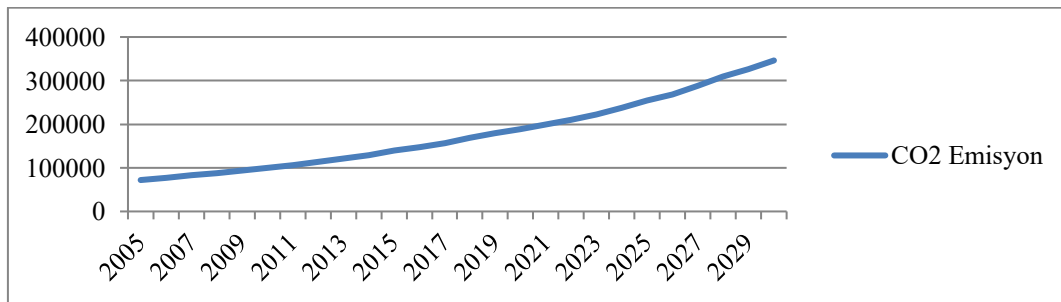


Şekil 8: Elektrik Enerjisi Tüketimine İlişkin SD Model Sonuçları ve Gerçekleşen Değerlerin Karşılaştırmalı Grafiği

Tablo 4: SD Modelden Elde Edilen CO2 Emisyon Değerleri

Yıllar	CO2Emisyon (Milyon ton)	Yıllar	CO2Emisyon (Milyon ton)
2005	72000	2018	169514
2006	77121	2019	178705
2007	82459	2020	188632
2008	88113	2021	198841
2009	93698	2022	210483
2010	99422	2023	222904
2011	105663	2024	237685
2012	113708	2025	253907
2013	121553	2026	268165
2014	129352	2027	287780
2015	139455	2028	309252
2016	147682	2029	326276
2017	156913	2030	346230

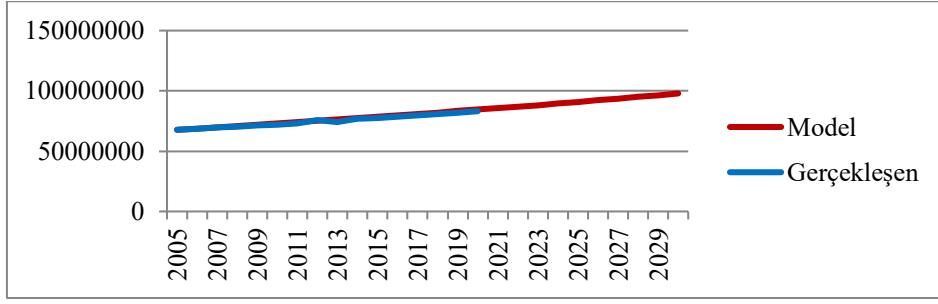
SD modelden elde edilen CO2 emisyon değerleri grafiği Şekil 9'daki gibidir.



Şekil 9: SD Modelden Elde Edilen CO2 Emisyon Değerleri Grafiği

Gerçekleşen ve SD modelden elde edilen nüfus değerleri grafiği Şekil 10'daki gibidir.

A. Eren Şenaras – Ş. İnanç 14/4 (2022) 2796-2814

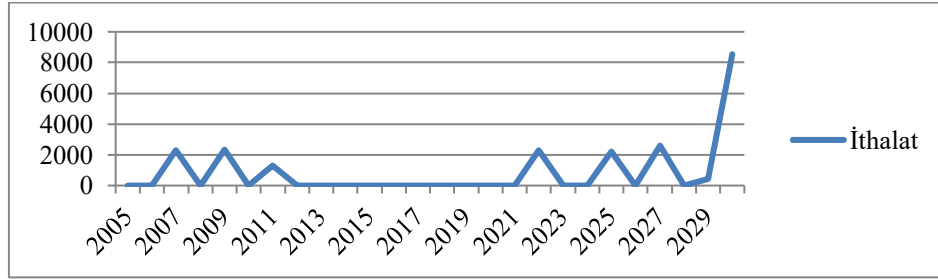


Şekil 10: Gerçekleşen ve SD Modelden Elde Edilen Nüfus Değerleri Grafiği

4.2. Senaryo Analizleri

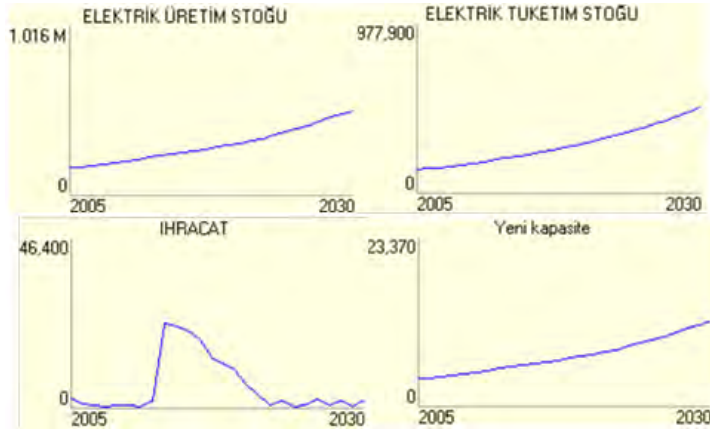
4.2.1. Senaryo 1 için Kayıp Ve Kaçak Oranının %5 Olması Durumunda Senaryo Analizi

Sistem Dinamiği modelinde kayıp ve kaçak oranlarının mevcut durumda %14,2 iken, 2013 yılından itibaren %5 olarak varsayılması durumunda elektrik ithalatına gereksinimin çok azaldığı gözlenmiştir. Modelden elde edilen ithalat değerleri grafiği Şekil 11'deki gibidir.



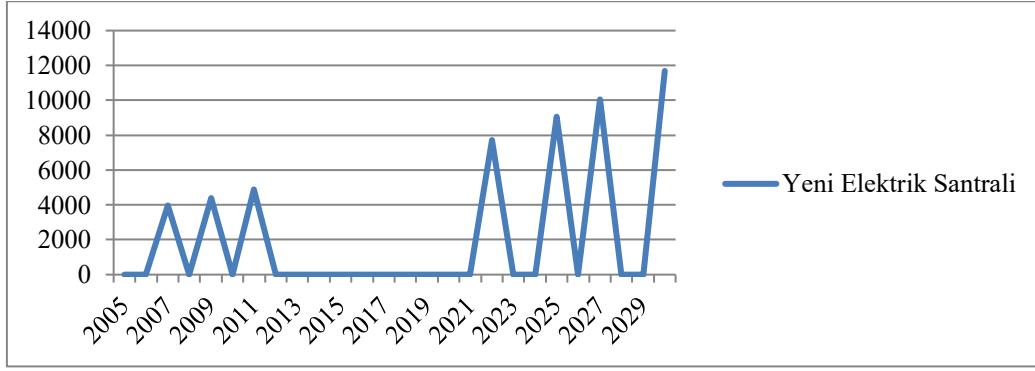
Şekil 11: Modelden Elde Edilen İthalat Değerleri Grafiği

Şekil 11 incelendiğinde; 2013 yılından itibaren kayıp ve kaçakların oranındaki ciddi düşüşün neticesi olarak elektrik ithalatın 2013-2023 yılları arasında "0" seviyelerine kadar düştüğü gözlenmiştir. Senaryo 1 durumda modelin çalıştırılması ile elde edilen sonuçların grafikleri Şekil 12'deki gibidir.



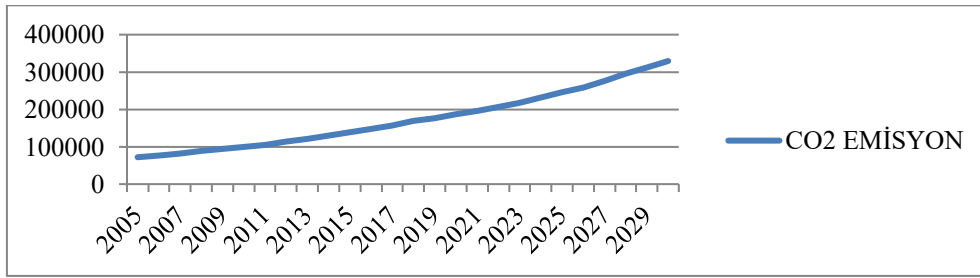
Şekil 12: Senaryo 1 Durumunda Modelin Çalıştırılması ile Elde Edilen Sonuçların Grafikleri

2013 yılından 2030 yılına kadar kayıp ve kaçak oranlarındaki ciddi azalışın sonuçları yukarıdaki grafikten de gözlenebilir. Özellikle kayıp ve kaçak oranlarındaki azalış neticesinde 2013 yılı itibariyle elektrik ihracatında artış meydana geldiği gözlenmiştir. Şekil 13 incelendiğinde kayıp ve kaçakların %5'e düşmesi durumunda yeni elektrik santraline gereksinim azaldığı görülmektedir.



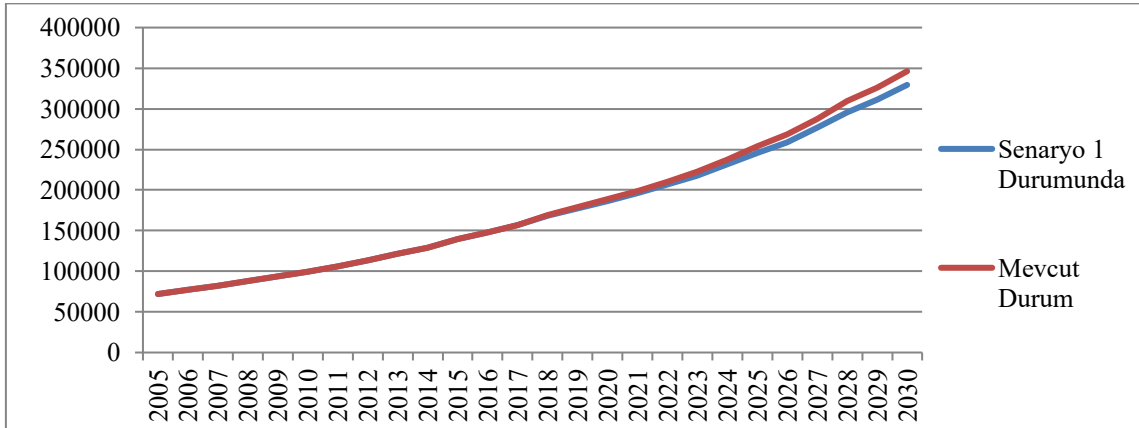
Şekil 13: Modelden Elde Edilen Yeni Elektrik Santrali Değerleri Grafiği

Kaçak ve kayıpların azaldığında ithalatın ciddi seviyede düşmesi ve yeni elektrik santraline gereksinimin azalması sonucu ciddi ekonomik tasarruf sağlanabilir. Senaryo 1 durumunda CO2 emisyon grafiği Şekil 14'teki gibidir.



Şekil 14: Senaryo 1 Durumunda CO2 Emisyon Grafiği

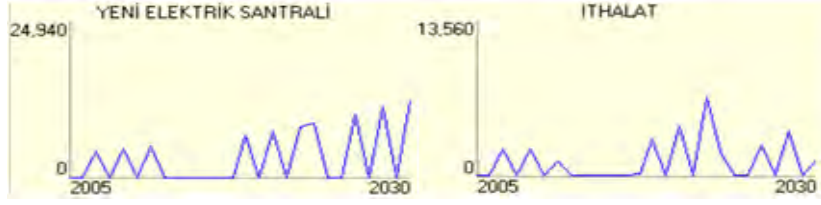
Senaryo 1 durumunda Kayıp ve kaçak oranında bir azalış meydana gelmesi ile, CO2 emisyon verileri incelendiğinde mevcut duruma göre artış hızında azalış Şekil 15'da açıkça görülmektedir.



Şekil 15: Senaryo 1 ve Mevcut Durum için CO2 Emisyon Karşılaştırmalı Grafiği

4.2.2. Senaryo 2 için Kayıp Ve Kaçak Oranı %10 Olması Durumunda Senaryo Analizi

Senaryo 2 durumunda, Sistem Dinamiği modelinde kayıp ve kaçak oranlarının mevcut durumda %14,2 iken, 2013 yılından itibaren %10 olarak varsayılması durumunda elektrik ithalatına gereksinimin biraz azaldığı gözlenmiştir. Senaryo 2 durumda modelin çalıştırılması ile elde edilen sonuçların grafikleri Şekil 16'daki gibidir.

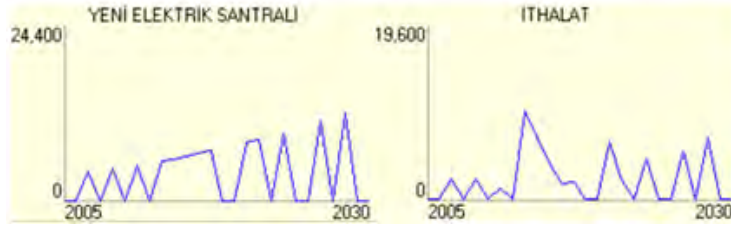


Şekil 16: Senaryo 2 Durumunda Modelin Çalıştırılması ile Elde Edilen Sonuçların Grafikleri

Kayıp ve kaçakların %10'e düşmesi durumunda yeni elektrik santraline gereksinim biraz azaldığı görülmektedir. 2013 yılından itibaren kayıp ve kaçakların oranındaki azalışın neticesi olarak yeni elektrik santrali gereksinimi azalmaktadır.

4.2.3. Senaryo 3 için Kayıp Ve Kaçak Oranı %18 Olması Durumunda Senaryo Analizi

Senaryo 3 durumunda, Sistem Dinamiği modelinde kayıp ve kaçak oranlarının mevcut durumda %14,2 iken, 2013 yılından itibaren %18 olarak varsayılması durumunda elektrik ithalatına gereksinimin biraz arttığı gözlenmiştir. Senaryo 3 durumda modelin çalıştırılması ile elde edilen sonuçların grafikleri Şekil 17'deki gibidir.

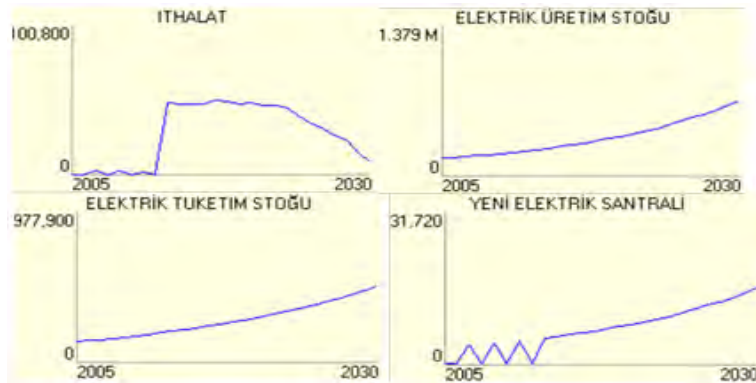


Şekil 17: Senaryo 3 Durumunda Modelin Çalıştırılması ile Elde Edilen Sonuçların Grafikleri

Kayıp ve kaçakların %18'e yükselmesi durumunda yeni elektrik santraline gereksinim biraz arttığı görülmektedir. 2013 yılından itibaren kayıp ve kaçakların oranındaki artışın neticesi olarak yeni elektrik santrali gereksinimi artmaktadır.

4.2.4. Senaryo 4 için Kayıp ve Kaçak Oranı %30 Olması Durumunda Senaryo Analizi

Senaryo 4 durumunda, Sistem Dinamiği modelinde kayıp ve kaçak oranlarının mevcut durumda %14,2 iken, 2013 yılından itibaren %30 olarak varsayılması durumunda elektrik ithalatına gereksinimin ciddi miktarda arttığı gözlenmiştir. Senaryo 4 durumda modelin çalıştırılması ile elde edilen sonuçların grafikleri Şekil 18'deki gibidir.

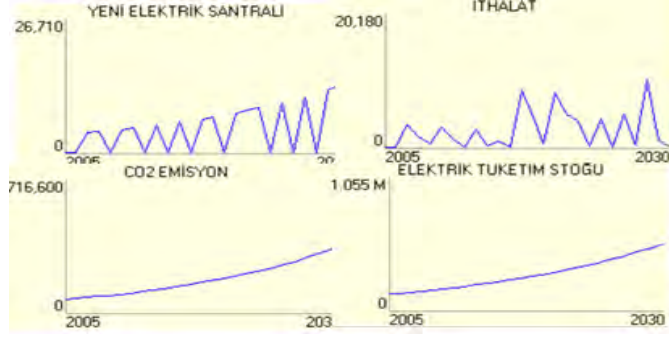


Şekil 18: Senaryo 4 Durumunda Modelin Çalıştırılması ile Elde Edilen Sonuçların Grafikleri

Vensim modelinden elde edilen grafikler incelendiğinde; 2013 yılı itibariyle kayıp ve kaçak oranının %30 seviyelerine yükselmesi neticesinde elektrik ithalatının ve yeni elektrik santrali gereksiniminin ciddi oranda arttığı gözlenmiştir. Oluşan ciddi orandaki elektrik kaybı dolayısıyla elektrik enerjisi açığının kapatılmasının zaman aldığı görülmektedir.

4.2.5. Senaryo 5 için Nüfusun Artması Durumunda Senaryo Analizi

Senaryo 5 durumda modelin çalıştırılması ile elde edilen sonuçların grafikleri Şekil 19'daki gibidir.

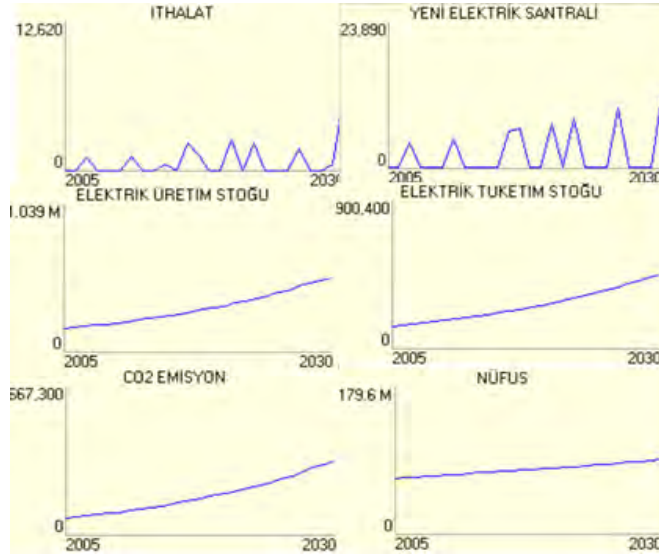


Şekil 19: Senaryo 5 Durumunda Modelin Çalıştırılması ile Elde Edilen Sonuçların Grafikleri

Nüfusun artması ile elektrik tüketiminde artış meydana geldiği gözlenmiştir. Elektrik tüketiminde meydana gelen artış neticesinde elektrik ithalatı artmakta ve yeni elektrik santraline gereksinim artmaktadır.

4.2.6. Senaryo 6 için Nüfusun Azalması Durumunda Senaryo Analizi:

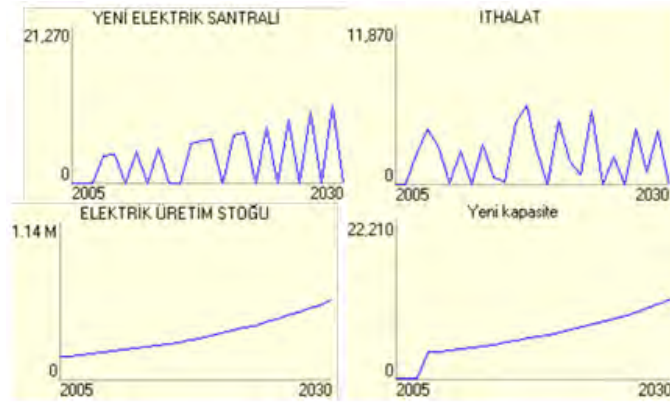
Senaryo 6'da nüfusun azalmasına bağlı olarak ithalat, yeni elektrik santrali gereksiniminde azalma olduğu görülmektedir. Elektrik üretimi ve tüketimi ile CO2 emisyonunda azalma gözlenmiştir. Senaryo 6 durumunda Vensim SyntheSim Ekranı Şekil 20'deki gibidir.



Şekil 20: Senaryo 6 Durumunda Modelin Çalıştırılması ile Elde Edilen Sonuçların Grafikleri

4.2.7. Senaryo 7 için Yeni Elektrik Santralinin Kurulması Ve Faaliyete Geçmesinin Ortalama 3 Yıl Süre Alması Durumunda Senaryo Analizi

Geliştirilen SD model ile yeni elektrik santralinin kurulması kararı alındığında faaliyete geçebilmesi için gereken sürenin ortalama 3 yıl olduğu varsayılmıştır. Vensim paket programında yeni elektrik santralinin faaliyete geçebilmesi için gereken süre DELAY FIXED komutu ile tanımlanmış ve RANDOM NORMAL(1, 5, 3, 1, 0) olarak tanımlanmıştır. Senaryo 7 durumda modelin çalıştırılması ile elde edilen sonuçların grafikleri Şekil 21'deki gibidir.



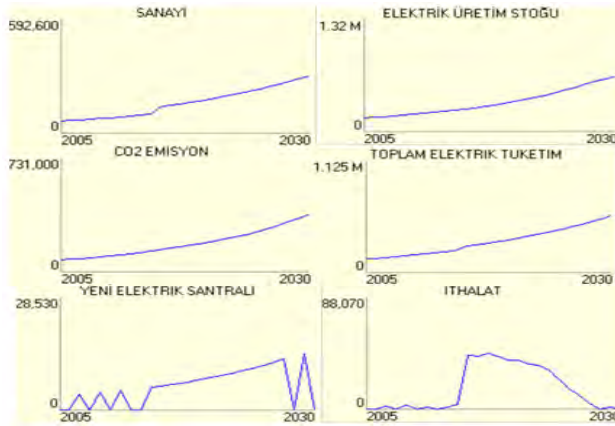
Şekil 21: Senaryo 7 Durumunda Modelin Çalıştırılması ile Elde Edilen Sonuçların Grafikleri

Grafikler incelendiğinde; faaliyete geçme süresinin gecikme olarak eklendiğinde, elektrik ithalatında dönemsel artışlar ve azalışların olacağı gözlenmektedir. Ayrıca yeni kapasite grafiği incelendiğinde modelde 3 sene boyunca yeni kapasite ile elektrik üretimi olmadığı, ilerleyen yıllarda ise yeni kapasitede artış olduğu görülmektedir.

4.2.8. Senaryo 8 için Sanayi Sektörü Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2015 Yılından İtibaren %15 Artması Durumunda Senaryo Analizi

Geliştirilen SD model ile Senaryo 8 kapsamında, sanayi sektöründe elektrik enerjisi tüketiminin 2015 yılı itibariyle %15 artış gözlenmesi durumu incelenmiştir. Aşağıda yer alan grafikler incelendiğinde, 2015 yılından itibaren sanayi sektörü elektrik enerjisi tüketiminde gerçekleşen artış neticesinde ithalatta ani bir yükseliş gözlemlendiği görülmektedir. Senaryo 8 durumunda modelin çalıştırılması ile elde edilen sonuçların grafikleri Şekil 22 ve Şekil 23'teki gibidir.

Şekil 22: Senaryo 8 Durumunda Modelin Çalıştırılması ile Elde Edilen Sonuçların Grafikleri



Şekil 23: Senaryo 8 Durumunda Modelin Çalıştırılması ile Elde Edilen Sonuçların Grafikleri

Yeni elektrik santrali ile elektrik üretimine, 2015 yılından itibaren 2028 yılına kadar gereksinimin hızla arttığı görülmektedir. Elektrik üretim ve elektrik tüketimindeki artış grafiklerden görülebilir. Ayrıca CO2 emisyonunda artış görülmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma kapsamında Vensim PLE paket programında Türkiye'nin elektrik enerjisi piyasasına ilişkin Sistem Dinamiği modeli geliştirilmiştir. Model kapsamında 2005-2030 yılları arasında sistemin davranışı incelenmiştir. Öncelikle geliştirilen model yardımıyla mevcut durum analiz edilmiştir. Mevcut durum incelendiğinde, gerçekleşen elektrik enerjisi üretim, elektrik enerjisi tüketim, CO2 emisyonu, nüfus, gibi değişkenlerin gerçek değerleriyle uyumlu model sonuçları elde edilmiştir. Mevcut duruma ilişkin karşılaştırmalı sonuçlar bulgular bölümünde detaylı olarak ele alınmıştır.

SD Modelde kayıp kaçak oranının 2013 yılından 2030 yılına kadar %14,2 oranında olduğu varsayılmıştır. 2013 yılından önce ise daha yüksek oranlarda kayıp ve kaçak oranı olması nedeniyle modele 2013 yılına kadar azalarak kayıp ve kaçak oranı tanımlanmıştır. Bu veriler ışığında elde edilen sonuçlar bulgular kısmında detaylı olarak rapor edilmiştir. Elektrik enerjisi üretiminin yıllar içerisinde artış gösterdiği modelden elde edilen sonuçlar ile görülmektedir. 2030 yılında elektrik enerjisi üretiminin 566.559 Gwh, elektrik enerjisi tüketiminin 488.929 Gwh, CO2 emisyon değerinin 346.230 Milyon ton, nüfusun 97.859.888 olacağı SD modelin çalıştırılmasıyla elde edilmiştir. Mevcut durumun incelenmesinin ardından sekiz adet senaryo analizi gerçekleştirilmiştir. Bu senaryolarda sırasıyla, senaryo 1 için elektrik enerjisi kayıp ve kaçak oranının 2013 yılı itibariyle %5 olması durumu, senaryo 2 için elektrik enerjisi kayıp ve kaçak oranının 2013 yılı itibariyle %10 olması durumu, senaryo 3 elektrik enerjisi kayıp ve kaçak oranının 2013 yılı itibariyle %18 olması durumu, , senaryo 4 elektrik enerjisi kayıp ve kaçak oranının 2013 yılı itibariyle %30 olması durumu, senaryo 5 nüfusun artması durumu, senaryo 6 nüfusun azalması durumu, senaryo 7 yeni elektrik santralının kurulmasının ortalama 3 yıl sürmesi durumu, senaryo 8 sanayi sektöründe elektrik enerjisi tüketiminin %15 artması durumu incelenmiştir.

Senaryo 1 durumunda; 2013 yılından itibaren kayıp ve kaçakların oranındaki ciddi düşüşün neticesi olarak elektrik ithalatının 2013-2023 yılları arasında "0" seviyelerine kadar düştüğü gözlenmiştir. Ayrıca kayıp ve kaçakların %5'e düşmesi durumunda yeni elektrik santraline gereksinimin azaldığı gözlenmiştir. Bu bağlamda; elektrik kayıp ve kaçak oranlarında azalmaya yönelik akıllı sayaçların kullanımının artırılması, altyapı çalışmalarının artırılması vb. yöntemler ile etkin bir elektrik piyasası yönetilmesi söz konusu olacaktır. Kayıp ve kaçak oranındaki azalışın ekonomiye olumlu yönde etkisi olacağı açıktır. İlave olarak, kayıp ve kaçak oranında azalış meydana gelmesi ile, CO2 emisyon verileri incelendiğinde mevcut duruma göre artış hızında azalış olduğu gözlenmiştir.

Senaryo 2 durumunda, kayıp ve kaçakların %10'e düşmesi durumunda yeni elektrik santraline gereksinim biraz azaldığı görülmektedir. Ayrıca, elektrik ithalatına gereksinimin biraz azaldığı gözlenmiştir. Kayıp ve kaçak oranlarında düşük oranda bir azalma bile meydana gelse, elektrik ithalatını ve yeni elektrik santraline olan gereksinimi azaltması sonucu olarak ekonomiye olumlu yönde etki sağlayacaktır.

Senaryo 3 durumunda, Sistem Dinamiği modelinde kayıp ve kaçak oranlarının mevcut durumda %14,2 iken, 2013 yılından itibaren %18 olarak varsayılması durumunda elektrik ithalatına gereksinimin biraz arttığı gözlenmiştir. 2013 yılından itibaren kayıp ve kaçakların oranındaki artışın neticesi olarak yeni elektrik santrali gereksinimi artmaktadır. Bu durumun neticesi olarak ekonomik olarak ciddi kayıplar meydana gelecektir. Kayıp ve kaçak oranının kontrol altında tutulabilmesine yönelik tedbirler alınmalıdır.

Senaryo 4 durumunda, Sistem Dinamiği modelinde kayıp ve kaçak oranlarının mevcut durumda %14,2 iken, 2013 yılından itibaren %30 olarak varsayılması durumunu uç değer olarak değerlendirerek sonuçları gözlenmek istenmiştir. Kayıp ve kaçak oranının %30 seviyelerine yükselmesi, elektrik ithalatına gereksinimin ciddi miktarda artmasına neden olmaktadır. Bulgular bölümünde grafiklerde görüleceği gibi, 2013 yılından itibaren ithalatta ani ve büyük miktarda bir artış meydana geleceği görülmektedir.. Kayıp ve kaçak oranının %30 seviyelerine yükselmesi neticesinde, elektrik ithalatının ve yeni elektrik santrali gereksiniminin ciddi oranda arttığı gözlenmiştir. Oluşan ciddi orandaki elektrik kaybı dolayısıyla elektrik enerjisi açığının kapatılmasının zaman aldığı görülmektedir. Bu kötü senaryo, ekonomi üzerinde çok ciddi boyutlarda yük oluşturabilir.

Senaryo 5 durumunda, nüfusun artması ile elektrik tüketiminde artış meydana geldiği gözlenmiştir. Elektrik tüketiminde meydana gelen artış neticesinde elektrik ithalatı artmakta ve yeni elektrik santraline gereksinim artmaktadır.

Senaryo 6'da nüfusta ciddi oranda bir azalma meydana geldiğinde ithalat, yeni elektrik santrali gereksiniminde azalma olduğu görülmektedir. Elektrik üretimi ve tüketimi ile CO2 emisyonunda azalma gözlenmiştir.

Geliştirilen SD modelde yeni elektrik enerjisi tesisinin kurulması ve işletilmesi için ortalama 3 yıl gecikme eklenerek Senaryo 7 incelenmiştir. Geliştirilen model sayesinde, her bir elektrik enerjisi kaynağının kurulmasına ilişkin süreler dikkate alınarak ayrı ayrı senaryo analizleri yapılabilecektir. Ayrıca enerji kaynaklarının kurulma maliyetleri dikkate alınarak etkin elektrik enerjisi üretme politikaları tasarlanabilir.

Geliştirilen SD model ile Senaryo 8 kapsamında, sanayi sektöründe elektrik enerjisi tüketiminin 2015 yılı itibariyle %15 artış gözlenmesi durumu incelenmiştir. 2015 yılından itibaren sanayi sektörü elektrik enerjisi tüketiminde gerçekleşen artış neticesinde ithalatta ani bir yükseliş meydana geldiği ve 2028 yılına kadar da ithalat gereksiniminin devam ettiği görülmüştür. Yeni elektrik santrali ile elektrik üretimine, 2015 yılından itibaren 2028 yılına kadar gereksinimin hızla arttığı görülmektedir. Elektrik üretim ve elektrik tüketimindeki artış grafiklerden görülebilir. Ayrıca CO2 emisyonunda artış görülmektedir.

Sonuçlar incelendiğinde; kayıp ve kaçak oranların kontrolünün senaryo sonuçları dikkate alındığında ne kadar önemli olduğu açıkça görülmektedir. Bu bağlamda, kayıp ve kaçak oranlarının kontrolüne yönelik alınacak tedbirlerin artırılmasının ülke ekonomisi için büyük kazanımlar sağlayacağını ifade edebiliriz. Birçok gelişmiş ülkede olduğu gibi, kayıp ve kaçak kontrolü üzerinde etkin politikaların tasarlanması ve bu konunun yönetilmesi ülke ekonomisi açısından büyük öneme sahiptir.

Nüfusta veya elektrik tüketimi sektörlerinde meydana gelebilecek ani bir artış durumunda, ithalatın aniden yükselmesi, dolayısıyla yeni elektrik santrali kurulumuna ihtiyacın artması kaçınılmaz olacaktır. Önceden öngörülemeyen ani elektrik tüketimi artışları durumunda, kısa sürede yeni santral kurulması mümkün olamayacağı için, bu ihtiyaç elektrik ithalatı ile karşılanma yoluna gidilecektir. Belirli bir süreye gereksinim duyulan yeni elektrik santrallerinin kuruluma başlama zamanlarının planlanması oldukça önemlidir. Bu tür senaryoların dikkatli bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Proje önerisinde sunulan hedeflere ulaşılmış, model geliştirilerek çeşitli senaryolar analiz edilmiştir. Geliştirilen sistem dinamiği modeli ile farklı senaryo durumları incelenerek etkin politikaların tasarlanması sağlanabilir.

KAYNAKÇA

- Alirahmi, S. M., Assareh, E., Pourghassab, N. N., Delpisheh, M., Barelli, L., & Baldinelli, A. (2022). Green hydrogen & electricity production via geothermal-driven multi-generation system: Thermodynamic modeling and optimization. *Fuel*, 308, 122049.
- Ansari, N., Seifi, A., (2012). A system dynamics analysis of energy consumption and corrective policies in Iranian iron and steel industry. *Energy* 43, 334–343.
- Bala, B. K., Arshad, F. M., & Noh, K. M. (2017). System dynamics. *Modelling and Simulation*, 274.
- Bariss, U., Bazbauers, G., Blumberga, A., & Blumberga, D. (2017). System Dynamics Modeling of Households' Electricity Consumption and Cost-Income Ratio: a Case Study of Latvia. *Environmental and Climate Technologies*, 20(1), 36-50.
- Chi, K.C., Nuttall, W.J., Reiner, D.M., (2009). Dynamics of the UK natural gas industry: system dynamics modeling and long-term energy policy analysis. *Technol. Forecast. Soc. Change* 76, 339–357.
- Choucri Nazli, Goldsmith Daniel, Mezher Toufic (2008). "Framework for Modeling Technology Policy: Renewable Energy in Abu Dhabi", International Conference of the System Dynamics Society.
- Dong, X., Li, C., Li, J., Huang, W., Wang, J., Liao, R., (2012). Application of a system dynamics approach for assessment of the impact of regulations on cleaner production in the electroplating industry in China. *J. Clean. Prod.* 20 (1), 72–81.
- Düzgün B., (2018). "Türkiye Elektrik İletim ve Dağıtım Şebekesinin Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi ve 2023 Projeksiyonları", *Politeknik Dergisi*, 2018; 21 (3) : 621-632.
- Esmaeeli Z., Shakouri H. G., Sedighi A.(2006). "Investigation Of Pricing Impact On The Electrical Energy Consumption Behavior Of The Household Sector By A System Dynamics Approach", International Conference of the System Dynamics Society.
- Feng, Y.Y., Chen, S.Q., Zhang, L.X., (2013). System dynamics modeling for urban energy consumption and CO2 emissions: a case study of Beijing. *Chin. Ecol. Model.* 252, 44–52.
- Fong, W.K., Matsumoto, H., Lun, Y.F., (2009). Application of system dynamics model as decision making tool in urban planning process toward stabilizing carbon dioxide emissions from cities. *Build. Environ.* 44, 1528–1537.

- Fontes, C. H. D. O., & Freires, F. G. M. (2018). Sustainable and renewable energy supply chain: A system dynamics overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 247-259.
- Forrester, J.W., (1977). *Industrial Dynamics*, MIT, Cambridge.
- Giorgio B., Enzo D. G., Stefania M. (2008). "Renewable Energy In Italy: Scenarios To 2030", International Conference Of The System Dynamics Society.
- Han, J., & Hayashi, Y. (2008). A system dynamics model of CO2 mitigation in China's inter-city passenger transport. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 13(5), 298-305.
- Kars C. ve Altunbay S. (2010). "Petrol Kullanımının Küresel Isınmaya Etkisi Ve Yenilebilir Enerji Yatırımları-Bir Sistem Dinamiği Modeli" , YAEM.
- Kelly, C., Onat, N. C., & Tatari, O. (2019). Water and carbon footprint reduction potential of renewable energy in the United States: A policy analysis using system dynamics. *Journal of Cleaner Production*, 228, 910-926.
- Liu X., Mao G., Ren J., Li R. Y. M., Guo J., Zhang L., (2015). How might China achieve its 2020 emissions target? A scenario analysis of energy consumption and CO2 emissions using the system dynamics model. *Journal of Clean Production*, in press.
- Macal C. M. (2004). "To Agent-Based Simulation From System Dynamics", International Conference of the System Dynamics Society.
- Mirzaei, M., & Bekri, M. (2017). Energy consumption and CO2 emissions in Iran, 2025. *Environmental research*, 154, 345-351.
- Mostafaeipour, A., Bidokhti, A., Fakhrzad, M. B., Sadegheih, A., & Mehrjerdi, Y. Z. (2022). A new model for the use of renewable electricity to reduce carbon dioxide emissions. *Energy*, 238, 121602.
- Musango J. K, Brent A.C, Bassi A (2009). "South African Energy Model: A System Dynamics Approach", International Conference of the System Dynamics Society.
- Nuri, C.O., Gokhan, E., Omer, T., (2014). Towards greening the U.S. residential building stock: a system dynamics approach. *Build. Environ.* 78, 68–80.
- Peng, C., Yang, J., & Huang, J. (2016). Case Study Of The Operational Energy Consumption And Carbon Emissions From A Building In Nanjing Based On A System Dynamics Approach. *Journal Of Green Building*, 11(3), 126-142.
- Radsicki, M.J., Taylor, R.A., (1997). *Introduction to System Dynamics*. US Department of Energy.
- Saleh, C., Thoif, A., Leuveano, R. A. C., & Rahman, M. N. A. (2016). Assessment and decision making scenario of carbon emission in sugar industry based on energy consumption Using System Dynamics. *Journal Of Engineering Science And Technology*, 11, 56-64.
- Sezen H.K. ve Günel M.M.(2009). "Yöneylem Araştırmasında Benzetim", Ekin Yayınevi, Bursa.
- Jäger T., Schmidt S., Karl U. (2009). "A System Dynamics Model For The German Electricity Market – Model Development And Application", International Conference of the System Dynamics Society.
- Tan B., Edward A., Parker G. (2007). "Managing Risk in Alternative Energy Product Development", International Conference of the System Dynamics Society.
- Yang, W., Sun, S., Hao, Y., & Wang, S. (2022). A novel machine learning-based electricity price forecasting model based on optimal model selection strategy. *Energy*, 238, 121989.
- Qader, M. R., Khan, S., Kamal, M., Usman, M., & Haseeb, M. (2022). Forecasting carbon emissions due to electricity power generation in Bahrain. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(12), 17346-17357.
- Qian H. (2008). "An Experimental Study On The Construction Of Electricity Power Stations In China", International Conference of the System Dynamics Society.

- Qudrat-Ullah, H. (2013). Understanding the dynamics of electricity generation capacity in Canada: A system dynamics approach. *Energy*, 59, 285-294.
- Wu, D. D., Kefan, X., Hua, L., Shi, Z., & Olson, D. L. (2010). Modeling technological innovation risks of an entrepreneurial team using system dynamics: an agent-based perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(6), 857-869.
- Zhang, Y., Wu, K., & Fu, Q. (2022). A Structured Phase Change Material with Controllable Thermoconductive Highways Enables Unparalleled Electricity via Solar-Thermal-Electric Conversion. *Advanced Functional Materials*, 32(6), 2109255.

[Elektrik Enerjisi İhracat-İthalat Miktarı | Veri Kaynağı - Veri Kaynağı \(verikaynagi.com\) \(Erişim Tarihi: 29.12.2020\).](#)

[International - U.S. Energy Information Administration \(EIA\) \(Erişim Tarihi: 29.12.2020\).](#)