



BEKLENEN İSTANBUL DEPREMİNİN İSTANBUL EKONOMİSİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ: BİR SİSTEM DİNAMİĞİ MODELİ

Çağla ALPARSLAN^{1*}, Müjgan Bilge ERİŞ¹, Melis Almula KARADAYI², Ayla ALKAN³, Duygun Fatih DEMİREL⁴, Eylül Damla GÖNÜL SEZER¹

¹ Yeditepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Medipol Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

³ Beykent Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

⁴ İstanbul Kültür Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Öz

*Deprem,
Sistem Dinamiği,
Stok Akış Modeli,
Kavramsal Döngü Modeli,
Afet Ekonomisi.*

Gerek barındırdığı nüfus gerekse hemen hemen her sektörde lider konumunda olması İstanbul'u ekonomik ve demografik açıdan Türkiye'nin en önemli ili kılmaktadır. Kenti etkileyecek şiddetli bir depremin yol açacağı can kaybı ve maddi hasar ile kısa ve uzun vadeli ekonomik etkiler kamuoyu gündemini neredeyse her gün meşgul etmektedir. Konunun önemi bu derece açık olmakla birlikte olası bir depremin ekonomik etkileri hakkında uzman görüşü dışında bilimsel yöntemlere dayalı bir çalışma mevcut değildir. Bu çalışmada olası İstanbul depreminin İstanbul ekonomisi üzerindeki etkileri sistem dinamiği yaklaşımına dayalı bir benzetim modeli ile incelenmektedir. Önerilen model temel olarak üretim ve harcama yöntemiyle gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH) hesaplanmasında kullanılan değişkenlerin aralarındaki karmaşık ve çok yönlü nedensellik ilişkilerini yansıtmaktadır. Bu değişkenler temel olarak üretim tüketim dengesi, yurtiçi talep, ithalat, ihracat, sektör büyüklükleri, deprem sonrası toparlanma süresi gibi başlıkları ifade etmektedir. Oluşturulan temel model üzerine senaryo analizleri gerçekleştirilmiş, farklı şiddetlerde meydana gelebilecek depremlerin ekonomik etkileri analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre depremin ardından toparlanmanın uzun süreceği sektörler olmakla birlikte yoğun talebin bulunduğu sektörlerde üretim-tüketim dengesinin yeniden sağlanmasının çok uzun sürmemesi beklenmektedir. Bilindiği kadarıyla bu çalışma literatürde sistem dinamiği yaklaşımıyla afet ekonomisi konusunu birleştiren ilk çalışmadır.

INVESTIGATING THE EFFECTS OF THE EXPECTED ISTANBUL EARTHQUAKE ON THE ECONOMY OF ISTANBUL: A SYSTEM DYNAMICS MODEL

Keywords

Abstract

*Earthquake,
System Dynamics,
Stock-Flow Model,
Causal Loop Model,
Disaster Economics.*

Both its population and its leading position in almost every sector make Istanbul the most important city in Turkey in terms of economy and demographics. The loss of life and property damage caused by a severe earthquake that will affect the city and its short and long-term economic impacts occupy the public agenda almost every day. Although the importance of the subject is so clear, there is no study based on scientific methods about the economic effects of a possible earthquake except expert opinions. In this study, the effects of a possible Istanbul earthquake on the economy of Istanbul are examined with a simulation model based on the system dynamics approach. The proposed model basically reflects the complex and multidimensional causalities between the variables used in the calculation of gross domestic product (GDP) by production and expenditure methods. These variables basically refer to topics such as production- consumption balance, domestic demand, imports, exports, sector sizes, recovery time after the earthquake. Scenario analysis are performed on the base model, and the economic effects of earthquakes that may occur in different intensities are analyzed. According to the results obtained, although there are sectors where recovery will take a long time after the earthquake, it is expected that it will not take long for the production-consumption balance to be restored in sectors with high demand. To the best of our knowledge this study is the first attempt to integrate system dynamics with disaster economics.

* İlgili yazar / Corresponding author: cagla.alparslan@yeditepe.edu.tr, +90-216-578-3363

Alıntı / Cite

Alparslan, Ç., Eriş, M.B., Karadayı, M.A., Alkan, A., Demirel, D.F., Gönül Sezer, E.D., (2023). Beklenen İstanbul Depreminin İstanbul Ekonomisi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi: Bir Sistem Dinamiği Modeli, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1410-1423.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Ç. Alparslan, 0000-0001-8295-8922
 M. B. Eriş, 0000-0002-3719-7324
 M. A. Karadayı, 0000-0002-6959-9168
 A. Alkan, 0000-0001-8574-6052
 D. F. Demirel, 0000-0001-8284-428X
 E. D. Gönül-Sezer, 0000-0002-9237-0468

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	31.01.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	22.08.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	18.09.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

INVESTIGATING THE EFFECTS OF THE EXPECTED ISTANBUL EARTHQUAKE ON THE ECONOMY OF ISTANBUL: A SYSTEM DYNAMICS MODEL

Çağla Alparslan[†], Müjgan Bilge Eriş¹, Melis Almula Karadayı², Ayla Alkan³, Duygun Fatih Demirel⁴, Eylül Damla Gönül Sezer¹

¹ Yeditepe University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Istanbul, Türkiye

² Istanbul Medipol University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Industrial Engineering, Istanbul, Türkiye

³ Beykent University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Industrial Engineering, Istanbul, Türkiye

⁴ Istanbul Kultur University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Istanbul, Türkiye

Highlights

- A system dynamics model has been proposed to show the economic impacts of the expected Istanbul earthquake.
- The proposed model adopts a balance between production and consumption.
- 11 sectors are included in the consideration of this simulation model.
- Economic consequences of the expected earthquake have been considered for two scenarios according to two different magnitudes that are expected by the scientists.

Purpose and Scope

Given Istanbul's prominent position and scale within the Turkish economy, this article aims to examine the potential economic impacts following the projected Istanbul earthquake predicted by scientists. Additionally, by considering various scenarios envisaged by researchers for the anticipated earthquake, the article seeks to investigate how the economy may be affected under different circumstances. The primary objectives of this article are to assess the economic repercussions of the anticipated Istanbul earthquake and to analyze the potential variations in its impact based on different scientific scenarios.

Design/methodology/approach

To fulfill the aforementioned objectives, system dynamics has been chosen as the methodology. Through the selected method, the aim is to observe the short and long-term effects of the earthquake on the economy. Furthermore, the simulation nature of system dynamics facilitates the examination of different scenarios.

Findings

In this study, the economy is conceptualized through 11 fundamental sectors, collectively represented in a simulation model based on production-consumption balance. To examine how these 11 key sectors would be affected by earthquakes of varying intensities, simulations were conducted for the period 2008-2018. The study assumes that the earthquake occurred in the first quarter of 2015, and the economic shock was reflected based on parameters observed in the aftermath of the 1999 Kocaeli earthquake. Subsequently, the time it takes for the economy to return to equilibrium after earthquakes of different magnitudes was observed. Sectors with prolonged recovery were noted due to the creation of new production areas resulting from the destructive force of the earthquake. However, the study also revealed the possibility of the formation of a production-consumption balance due to the extreme increase in demand for certain sectors following the earthquake.

Research limitations/implications

[†] Corresponding author: cagla.alparslan@yeditepe.edu.tr, +90-216-578-3363

While the economic framework in this article, centered around the production-consumption balance, adequately illustrates the effects on sectors, a more comprehensive examination could be conducted for industries particularly affected by the earthquake. The assessments in this study have remained at a general level. Additionally, despite the availability of economic data, it has been observed that sampling for earthquakes is challenging from a data perspective, leading to modifications of initially considered variables in the model.

Practical implications

The framework presented in this article can be applied to events such as earthquakes, terrorist attacks, pandemics, and other disasters that may impact the economy in different countries. The versatility of the framework extends its applicability to various economic-influencing events beyond the scope of the discussed earthquake scenario.

Social Implications

This study allows decision-makers and policymakers to draw insights, such as identifying sectors that need strengthening or planning the workforce for a potential earthquake. The findings of this research can inform strategic decisions and policy development in response to various scenarios, contributing to effective planning and resilience in the face of possible challenges.

Originality

This study is one of the first examples to examine the economic impacts of an earthquake using system dynamics. There are no other similar studies specifically addressing the expected Istanbul earthquake.

1. Giriş (Introduction)

Şiddeti, oluş şekli, meydana geldiği derinlik ve yere göre sonuçları farklı olmakla birlikte depremlerin can kaybı, yaralanmalar, bina, alt yapı ve ulaştırma stokları üzerinde hasara yol açtığı gibi meydana geldiği bölgenin ekonomisi üzerinde kısa ve uzun vadeli birçok etkiye de neden olmaktadır. Türkiye’de deprem denilince akla ilk gelen olaylardan 1999 Gölçük ve Düzce depremleri sonucunda farklı sektörlerdeki ekonomik kaybın 1.1 milyar ile 4.5 milyar ABD Doları arasında olduğu tahmin edilmekte (Bibbee vd., 2000) ancak söz konusu depremlerin ya da Türkiye’de yaşanmış diğer depremlerin uzun vadeli ekonomik sonuçlarını tam anlamıyla inceleyen bilimsel bir çalışma yok denecek kadar azdır. Zaman zaman çeşitli basın organlarında Marmara Bölgesi’nde yaşanması olası ve özellikle İstanbul’u doğrudan etkileyecek yıkıcı bir depremin ülke ekonomisi açısından büyük bir felakete yol açabileceği uzman görüşlerine dayalı çeşitli sayısal tahminlerle gündem olmakla birlikte bahsi geçen tahminler temel olarak literatürde kullanılan afetlerin ekonomik sonuçlarını kestirmeye yönelik yöntemlere dayanmamakta, sadece uzman yorumlarını içermektedir.

15,8 milyonun üzerinde kişi ile Türkiye nüfusunun yaklaşık %18,7’sini barındıran (TÜİK, 2022^a) İstanbul, 2021 verilerine göre ülke GSYH’sinin %30,4’ünü oluşturmaktadır (TÜİK, 2022^b). İstanbul’un ticaret, sanayi, finans, bilişim, ulaştırma, turizm, sanat ve eğitim gibi her alanda Türkiye’nin sürükleyici gücü ve neredeyse tüm ekonomik faaliyetlerde açık ara lider konumunda olması şehri etkileyecek büyük bir depremin yalnızca İstanbul için değil, tüm Türkiye için olumsuz sonuçlar doğuracağı şüphesizdir. Fay hatlarına yakın olmasının yanı sıra bina stoğunun azımsanamayacak oranının orta ölçekli bir depreme dahi dayanamayacak durumda olması, şiddetli bir depremin İstanbul ve çevresinde ciddi can kayıpları ile yaralanmalara ve büyük ölçekli maddi hasara yol açma olasılığını artırmaktadır. Kent genelinde toplanan ekonomik faaliyetlerin şiddetli bir depreme kısa süreli dahi olsa işleyemez hale gelmesi ise sadece kısa vadede değil uzun yıllar boyunca tüm ülke ekonomisini olumsuz etkileyebilir. Muhtemel işgücü ve sermaye kaybı, üretim tesislerinin hasar görmesi, enerji hatları, telekomünikasyon ağı ve ulaşım sistemlerinin zarar görmesi, sigortacılık sektörü üzerine binecek yük, eğitim ve sağlık hizmetleri ile lojistik faaliyetlerin kesintiye uğraması sonucu oluşacak muhtemel etkiler, durumun ciddiyetini ortaya koymaktadır. 2023 yılında gerçekleşen Kahramanmaraş Depremleri nedeniyle uzman görüşlerine dayalı ilk tahminlere göre yeniden inşa ve iyileştirme maliyetinin 68 milyar dolar ile 102 milyar dolar arasında olacağı ifade edilmekte, ayrıca depremlerin ihracat GSYH ve ekonomik büyüme üzerinde önemli etkilerinin olacağı öne sürülmektedir (Bardakçı ve Demirtaş, 2023; Sayılğan, 2023). Bu açıdan bakıldığında İstanbul’u etkileyecek bir depremin olası ekonomik sonuçlarının çok daha kritik olabileceği ihtimal dahilindedir.

Bahsi geçen konunun hem İstanbul hem de tüm Türkiye için önemi göz önünde bulundurularak bu çalışmada İstanbul’u etkileyecek olası bir depremin İstanbul ve Türkiye ekonomisi üzerinde ne gibi sonuçlar doğuracağı Sistem Dinamiği (SD) yaklaşımı ile incelenmektedir. Literatürde yer alan doğal afetlerin ekonomik sonuçlarının tespiti ya da tahmin edilmesine yönelik yöntemler ise genel olarak ya statik yapılar içermekte ya da doğrusal düşünme şekline uygun olarak içerdikleri model değişkenleri arasındaki karmaşık ve doğrusal olmayan çok yönlü ilişkileri göz ardı etmektedir. Oysa SD yaklaşımına dayanan bir simülasyon modeli değişkenler arasındaki çok yönlü ve karmaşık geri dönüşüm mekanizmalarını ve doğrusal olmayan nedensellikleri yansıtmaya olanağı sunmaktadır. Önerilen SD modeli, temel olarak üretim yöntemi ve harcama yöntemiyle GSYH hesaplanması

işlemlerini temel alan değişkenleri içermektedir. Bilindiği kadarıyla literatürde herhangi bir doğal afetin ekonomik sonuçlarını SD yaklaşımı ile inceleyen bir çalışma mevcut değildir. Bu açıdan bu çalışma ile Türkiye için oldukça önemli bir konunun incelenmesinin yanı sıra afet ekonomisi literatürüne yeni bir yöntem kazandırılmış olacaktır.

SD zamanın süreklilik özelliğinin kullanıldığı, matematiksel olarak diferansiyel denklemlere dayanan ve değişkenler arası döngüsel yapılar şeklinde ifade eden bir benzetim yöntemidir. Kesikli zaman benzetimi ve ajan tabanlı benzetimden farklı olarak model değişkenleri arasındaki nedensellik ilişkileri doğrusal düşünme yapısı yerine sistem düşüncesi yaklaşımını kullanarak bütüncül olarak ele alır. Böylece gerçek yaşamda yer alan değişkenler arası çok yönlü nedensellik ilişkileri ve geri dönüşüm mekanizmalarının benzetim modeline aktarılması mümkün kılınmaktadır. Ayrıca SD genellikle toplam davranışa odaklanırken, diğer benzetim yöntemlerinde olduğu gibi ayrıntılı ve mikro seviyedeki bireysel ajan kararlarını ele almaz; bunun yerine genel eğilimleri kapsamayı hedefleyen yüksek seviyeli bir bakış açısı sunar. Tüm bunlar göz önünde bulundurularak bu çalışmaya konu olan problemin yapısı gereği SD yaklaşımının kullanılması tercih edilmiştir.

Önerilen SD modeli deprem sonrası üretim-tüketim dengesinde meydana gelecek değişimleri sektörler bazında döngüsel olarak inceleyen bir ilişkiler ağı sunmaktadır. Model temel olarak GSYH oluşumuna katkı sağlayan genel indikatörleri, ithalat ve ihracat değişkenleri ile talep ve tüketim büyüklüklerini içermekte olup deprem sonrası yaşanacak üretim tüketim dengesinin sektörler bazında toparlanma sürelerini göz önünde bulundurarak ne kadar zamanda sağlanabileceğine odaklanmaktadır. Toparlanma süreleri depremin büyüklüğüne göre değişeceği için orta ve büyük şiddetli iki farklı deprem senaryosu yaratılmış ve benzetim modeli çıktıları iki senaryo için yorumlanmıştır.

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde sırasıyla afetlerin ekonomik sonuçlarının incelenmesine yönelik literatür hakkında bilgi verilmekte, daha sonra SD yaklaşımından kısaca bahsedilmektedir. Arkasından probleme ilişkin önerilen kavramsal model ve stok-akış modelleri sunulmakta, çeşitli senaryolar ile çalıştırılan benzetim modeline ilişkin sonuçlar tartışılmaktadır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Doğal afetlerin kısa ya da uzun süreli ekonomik etkilerinin tespiti ya da tahmin edilmesi konularına odaklanan çok sayıda çalışma mevcuttur. Afet ekonomisi şeklinde isimlendirilen bu literatürde sel (Xiao, 2011; Carrera vd., 2015; Khalid ve Ali, 2019; Das vd., 2022), yağmur fırtınası (Tan vd., 2019; Ding ve Wu, 2023), tsunami (MacKenzie vd., 2012), kasırga (Coffman ve Noy, 2011; Davlasheridze vd., 2021), tropik fırtına (Wen vd., 2018; Wang vd., 2022), orman yangını (Nielsen-Pincus vd., 2014) ve deprem (Gignoux ve Menendez, 2016; Zhao vd., 2018; Lam ve Shimizu, 2021; Chen vd., 2022; Shrestha vd., 2022; Kalantari vd., 2023) gibi çeşitli doğal afetlerin ekonomik sonuçlarının belirlenmesine yönelik farklı yöntemler kullanılmaktadır. Van der Veen (2004), literatürdeki bu çalışmalarda kullanılan yöntemleri matematiksel modeller, anketlere dayalı tahminler, ekonometrik modeller, girdi-çıkıtı modelleri, hesaplanabilir genel denge modelleri ve çoklu modeller olmak üzere altıya ayırmıştır. Kullanılan yöntemler bir afet tipine yönelik özel geliştirilmiş yöntemler olmayıp herhangi bir doğal afetin sonucunun kestirilmesinde uygulanabilir.

Deprem özelinde 2000 sonrasında yapılmış başlıca çalışmalar incelendiğinde yukarıda bahsi geçen yöntem tiplerinin hepsinin kullanıldığı görülmektedir. Brozovic vd. (2007), San Fransisco Körfezi dolaylarında meydana gelebilecek depremler için senaryolar oluşturmuş, bunlara dayalı meydana gelebilecek su kesintilerinin ekonomik etkilerinin ölçülmesi amacıyla tüketicinin su temini kesintilerini önlemek için ödeme yapma istekliliğini tahmin etmeye yönelik bir denklem oluşturmak suretiyle ekonomik kayıpları kestirmeye çalışmıştır. Zhao vd. (2018), 2008 Wenchuan depreminin etkilerini incelemek amacıyla 2003-2013 istatistiklerini kullanarak bölgesel GSYH'deki değişimleri bağımsız değişkenlerle ve kontrol değişkenleri ile açıklanmak için farkların farkı (difference-in-differences) ekonometrik modelini kullanmıştır. Schmude vd. (2018) ise turizm bölgelerinde doğal afetlerin etkilerinin yerel ve bölgesel seviyede incelenmesi amacıyla mikro-seviye etki değerlendirme (micro-level impact assessment) modeli kurmuştur. Gignoux ve Menendez (2016) ise Endonezya'nın kırsal kesimlerinde 1985 sonrası yaşanan depremler için bildirilen hasar raporları ve uzun dönem hanehalkı anketleri üzerinden maruz kalınan depremin şiddetine göre bireysel ve hanehalkı ekonomik kayıplarını (ya da kazançlarını) basit ekonometrik modellerle (sabit etki panel modeli- fixed effects panel model) uzun vadede tahmin etmeye çalışmıştır.

Bir başka çalışmada, Besstremyannaya (2017), 2011 Japonya depreminin banka kredileri üzerine etkilerini panel veri kartil regresyon modeli ile incelemiştir. Ager vd. (2020)'nin çalışmasında 1906 San Francisco depreminin bölgedeki şehirlerin nüfusları üzerine etkisi olay incelemesi regresyonları (event-study regressions) ile tahmin edilmiş, arkasından üretim verimliliği ve göç seviyeleri imalat işçisi başına ücret, kişi başına düşen imalathane sayısı gibi göstergeler üzerinden uzun vadede analiz edilmiştir.

Bibbee vd. (2000), ülkemizde yaşanan ve gerek maddi gerek manevi birçok kayba yol açan 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinin etkilerini ekonomik altyapıdaki zarar, işletme sektörü üzerindeki etkiler, finans sektörü üzerindeki yük, felaketin toplam ekonomik maliyetleri, afetin sosyal maliyeti (barınma, sosyal altyapı ve yeniden inşa ihtiyaçları) ve bütçe üzerindeki etkiler şeklindeki başlıklar altında uzman görüşlerine dayanarak incelemiştir. Erdik ve Durukal (2008), İstanbul'da meydana gelebilecek bir depreme karşı fiziksel ve toplumsal kırılabilirlik ile beklenen fiziksel, sosyal ve endüstriyel ekonomik kayıpları uzman görüşlerine dayandırarak özetlemiştir. Panwar ve Sen (2019), genel olarak doğal afetlerin ekonomik etkilerini analiz etmek amacıyla sistem genelleştirilmiş momentler metodu ile çeşitli kontrol değişkenlerini kullanarak 1981-2015 yılları arası 102 ülkeye ait panel verisinden faydalanmıştır. Chatterjee ve Okazakia (2018), 2015 Nepal depremi sonrası bölgedeki dükkan sahipleriyle yapılan saha görüşmeleri sonucunda altı tip varlık belirlemiştir, bu varlıkların afet sonrası durumdaki çeşitli başa çıkma stratejileriyle bağlantılı olduğunu göstermiştir. Elde ettikleri bulgular, depreme dayalı geçim sıkıntısının ortadan kaldırılması için sermaye kullanımının yoğunlaştırılarak artırılması, sosyal sermayeye bağımlılık, tüketim ve harcamaların azaltılması şeklinde başa çıkma stratejilerinin etkinliğini ortaya koymaktadır. Benzer şekilde Best ve Burke (2019) de tüketim, ihracat, ithalat, yatırım, nüfus, GSYH ve kişi başı GSYH gibi göstergeler üzerinden sentetik kontrol metodu ile 2010 Haiti depreminin etkilediği alanlar ve etkilemediği yerlerdeki makroekonomik verileri kıyaslamıştır.

Yukarıda bahsedilen yöntemlerin yanı sıra literatürde afetlerin ekonomik boyutlarını tahmin amaçlı yaygın olarak kullanılan bir diğer yöntem hesaplanabilir genel denge modeli ve varyantlarıdır. Tatano ve Tsuchiya (2008), 2004 Niigata-Chuetsu depremi için mekansal hesaplanabilir genel denge modeli (spatial computable general equilibrium model) ile ulaşım ağlarında meydana gelen kesintilerin ekonomik boyutlarını incelemiştir. Çalışma kapsamında afet öncesi ulaşım sisteminden sorumlu firmanın kazançları, hane halkının kazandığı fayda ve bölgesel tüketici ve üretici fiyatları ile afet sonrası sermaye, işgücü ve emtia piyasasının denge koşulları belirlenmiş; aradaki fark, afet kaynaklı ekonomik kayıp olarak tahmin edilmiştir. Huang ve Hosoe (2017) de Kuzey Tayvan'da nükleer bir santrali etkileyen hipotetik bir depremin uzun vadede doğuracağı sonuçları gidermeye yönelik destek programlarının maliyet ve etkinliklerini bir dinamik hesaplanabilir denge modeli ile incelemiştir.

Afetlerin ekonomik kayıplarının incelendiği çalışmalarda işlem kolaylığı nedeniyle sıkça karşılaşılan bir diğer yöntem ise girdi-çıkıtı modeli ve varyantlarıdır. Bu tip yöntemlerde doğrusal bir denklem yoluyla sektörler arası üretilen ve tüketilen mal ve hizmetler temsil edilmektedir. Ham vd. (2005), genel olarak afetlerin ekonomik etkilerini belirlemek amacıyla girdi-çıkıtı ve ürün ulaşım ağını içeren bir bölgelerarası hammadde hareket modeli önermektedir. Okuyama vd. (2002) ise girdi-çıkıtı modelinin bir uzantısı olan aşamalı endüstri modeli (sequential industry model) ile şok yaratan felaketlerin üretim çıktıları üzerine etkilerini incelemiştir. Ardından farklı bölgeselleştirmeler kullanılarak uygulanmıştır. Bir başka çalışmada ise Okuyama (2004), uzamsal etki modeli (spatial impact model) şeklinde geliştirilmiş girdi-çıkıtı analizi uygulaması yaparak yine depremlerin temel ekonomik etkilerini analiz etmiştir. Yakın zamanda yapılan bir diğer çalışmada Ogawa vd. (2019), olası doğal felaketler sonrasında hizmet ve tedarik zincirlerinde karşılaşılabilecek ekonomik kayıpları dinamik denklem sistemi ile tahmin etmiştir. MacKenzie vd. (2012) ise felaketler sonucunda karşı karşıya kalınacak tedarik problemlerini çok bölgeli girdi-çıkıtı analizi ile incelemiştir.

Literatürdeki bu çalışmalarda temel olarak ya statik modeller kullanılmış ve değişkenlerin dinamik yapıları göz ardı edilmiş ya da ekonomik sistemlerdeki mevcut karmaşık ve doğrusal olmayan çok yönlü nedensellik ilişkileri ve geri dönüşüm mekanizmaları doğrusal bir düşünme yapısı ile alınmıştır. Oysa ekonomik sistemlerin karmaşık, çok katmanlı ve dinamik yapılarının bu tarz modellerle temsil edilmesi modellerden alınacak çıktıların güvenilirliği hakkında akıllarda soru işaretleri bırakmaktadır. Lineer olmayan ilişkiler ağının modellenmesinde önemli bir araç olan Sistem Dinamiği (SD) yaklaşımı biyolojik ve ekonomik sistemlerin modellenmesi amacıyla girdi-çıkıtı modeli ile hibrit şekilde önerilmiş olsa da (Li ve Wang, 2013; Uehara, Cordier ve Hamaide, 2018) afet sonrası ekonomik problemlerin analizi ve iyileştirilmesi alanında bildiğimiz kadarıyla daha önce kullanılmamıştır. Ancak SD'ye dayalı bir yöntemin ekonomik sistemlerin karmaşık ve dinamik yapısını yansıtmada etkin bir araç olduğu bilinmektedir. SD'nin değişkenler arasındaki karmaşık ve çok yönlü nedensellik ilişkilerini doğrusal yaklaşım yerine geri dönüşüm mekanizmaları içeren döngüsel bir şekilde incelemesi özelliği SD'yi deprem gibi afetlerin kısa ve ekonomik etkilerinin incelenmesi amacıyla kullanılabilir etkin bir araç kılmaktadır. Bütün bunlar göz önünde bulundurularak bu çalışmada deprem sonrası ekonomide meydana gelebilecek etki ve değişimlerin SD ile incelenmesi uygun bulunmuştur. Böylece literatürde ilk defa afet ekonomisinin araştırılmasında SD yaklaşımının kullanılması önerilmektedir.

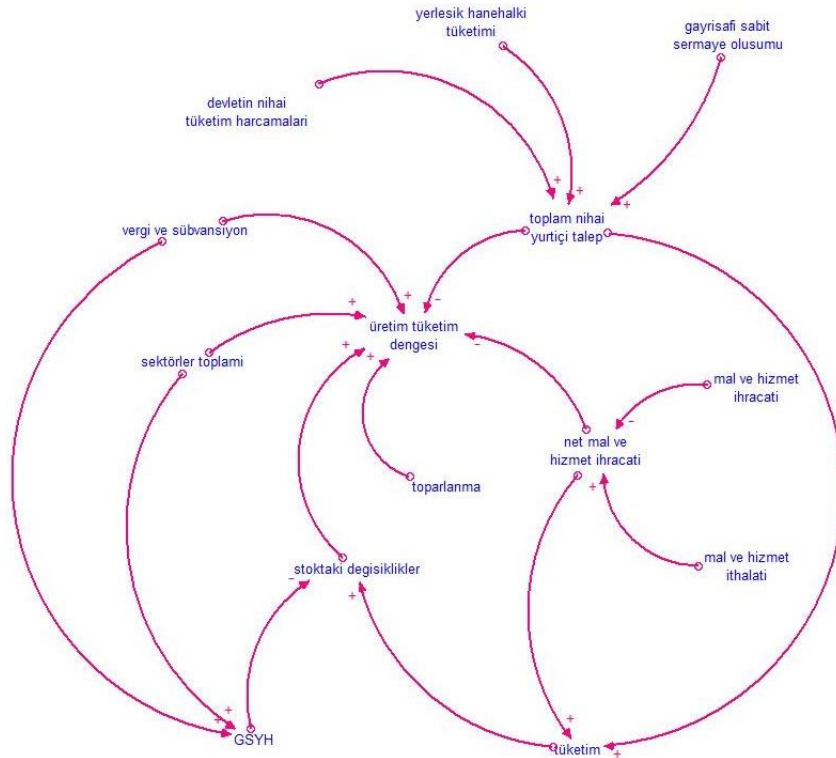
3. Metodoloji (Methodology)

Sistem Dinamiği (SD), doğrusal olmayan ilişkilerin tanımlanması için kullanılan bir benzetim yöntemidir (Sternan, 2000). Burada nedensellik, değişkenler arasındaki geri bildirim döngülerini yansıtır ve yöntemin gücü aslında bu

geri bildirim yapısından ve bu geri bildirimler nedeniyle davranışlarda meydana gelen gecikmelerden gelir. SD'de modellemenin farklı aşamaları vardır. İlk önce kavramsal model geliştirilir ancak modelleme için bir zorunluluk değildir (Peterson ve Eberlein, 1994). SD modellerinin en önemli aşaması, sistemin stok akış temsildir. Burada stoklar, zamanla birikir ve sistem durumunu yansıtır. Stok değişkenleri, yalnızca akış değişkenleri tarafından tetiklenebilir ve bunlar dikdörtgenlerle temsil edilir (Richmond, 2001). Akış değişkenleri, giriş ve çıkışlar olarak sistem durumuna hareketi verir. Girişler, temel olarak stokların seviyesini artırır ve çıkışlar, ilgili stok değişkenlerinin değerlerini tüketir. Aslında, stok akış gösterimi, model stok değişkenlerinin aynı yönüne sahip matematiksel ilişkilerle desteklenmelidir. Burada modelleyici, matematiksel ilişkileri temsil etmek için bazı yardımcı değişkenlere ihtiyaç duyar; SD'de bu değişkenlere dönüştürücüler denir ve dairelerle temsil edilirler. SD modellerinin matematiksel altyapısı, diferansiyel denklemlerle geliştirilmiştir (denklemler ekte verilmiştir). Stok değişkenleri, birikim noktalarıdır ve bu nedenle değişiklikler için ana değişkenlerdir. Stok akış gösterimi ve matematiksel altyapısı açısından model geliştirildikten sonra, modelin geçerliliği kontrol edilmelidir. Model, hem yapısal hem de davranışsal doğrulama adımlarını yerine getirdikten sonra, politika ve senaryo analizi için kullanılabilir (Barlas, 1996). SD, farklı senaryoların ve politikaların uzun ve/veya kısa vadeli sonuçlarının incelenmesini sağlar. Ayrıca gözlemler sonucunda yeni politikalar geliştirme şansı sunar.

4. Kavramsal Model (Causal Loop Diagram)

Üretim tüketim dengesi, 'vergi ve sübvansiyon' ve 'sektörler toplamı'nın temsil ettiği üretim ile 'net mal ve hizmet ihracatı' ve 'toplam nihai yurtiçi talep'in temsil ettiği tüketim arasındaki fark ile bulunmaktadır. 'Toplam nihai yurtiçi talep' bölgedeki toplam talebi ifade etmekte ve 'devletin nihai tüketim harcamaları', 'yerlesik hanehalki tüketimi' ve 'gayrisafi sabit sermaye olusumu'ndan etkilenmektedir. 'Net mal ve hizmet ihracatı' bölgedeki ithalat ve ihracatın farkını göstermektedir. İthalattaki artış net mal ve hizmet ihracatını arttırırken, ihracattaki artış bu değeri düşürmektedir. Toplam üretimi temsil eden 'GSYH', 'vergi ve sübvansiyon' ile 'sektörler toplamı'ndan etkilenmektedir. Üretim ve tüketimin dengede kalması, diğer bir deyişle 'üretim tüketim dengesi'nin sıfır değerini alabilmesi için modele dahil edilen 'stoktaki değisiklikler' toplam üretim ve tüketim arasındaki fark ile bulunmakta ve 'toparlanma' ile birlikte üretim ve tüketimi dengede tutmaktadır. Şekil 1, ekonomik göstergelere ait çalışma kapsamında kullanılan değişkenlerin nedensel ilişkilerini sergilemektedir.

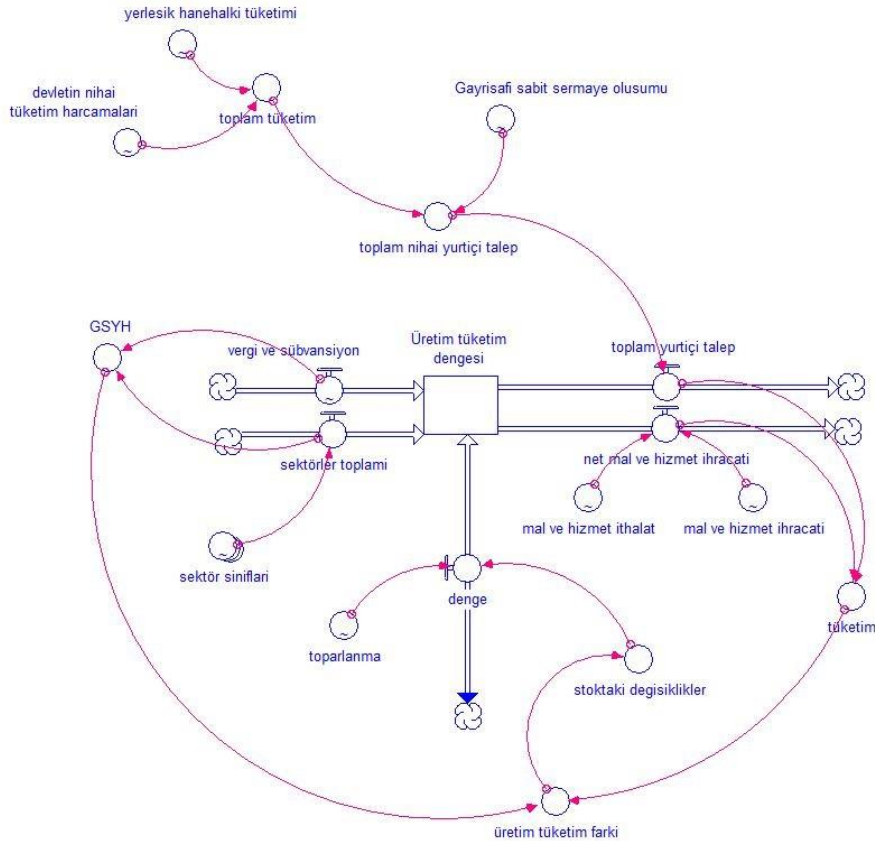


Şekil 1. Üretim-tüketim dengesi kavramsal modeli (Causal loop diagram of production-consumption balance)

5. Benzetim Modeli (Simulation Model)

GSYH, bir ülkedeki ekonomik faaliyetlerin hepsini kapsar ve ekonominin gücüne ait bir temsil ortaya koymaktadır. Dolayısıyla ekonominin nasıl gittiğine dair bilginin net bir şekilde temsili, GSYH ile gerçekleşir. GSYH'nin ölçümü

için literatürde 3 farklı yöntem gösterilmektedir. Bunlar sırasıyla harcama yöntemi ile, gelir yöntemi ile ve üretim yöntemi ile GSYH'dir. Hangi yöntemle hesaplamaların yapıldığından ziyade, üç yöntemden hangisi kullanılırsa kullanılsın çıkan değerlerin birbirine eşit olması gerekmektedir. Başka bir deyişle, ekonomideki denge noktası bunun üzerine kuruludur. Bu bakış açısından yola çıkılarak kurulan benzetim modelinde, üretim-tüketim dengesi kurulmuş ve GSYH ise üretim yöntemi ile ayrıca hesaplanarak modelde temsil edilmektedir. Değişkenler arası matematiksel ilişkiler ise 1998-2018 yılları arası TÜİK ekonomik göstergeler üzerinden elde edilmiştir.



Şekil 2. Üretim-tüketim dengesi SD modeli (SD model of production-consumption balance)

Şekil 2'de verilen benzetim modeli STELLA 9.1.2 versiyonunda yapılmıştır. Şekilde temsil edilen modelde, 'vergi ve sübvansiyon' ve 'sektörler toplamı' üretimi temsil eden akış değişkenleridir. Bu akış değişkenleri, 'üretim tüketim dengesi' adı verilen stok değişkenini etkilemektedir. 'Üretim tüketim dengesi' stok değişkeninde dengenin kurulabilmesi için bu değişkenden çıkan akış değişkenleri ise tüketimi ifade etmektedir. Tüketim, 'toplam yurtiçi talep' ve 'net mal ve hizmet ihracatı' ile tanımlanmaktadır. Ekonomik göstergelerde, 'net mal ve hizmet ihracatı', ithalat (dışalım) ve ihracat (dışsatım) arasındaki farktan bulunmaktadır. 'Net mal ve hizmet ihracatı' ihracatın ithalata göre az olması durumunda negatif değer alacaktır, ilişki mutlak değer ile anlatılmamaktadır. Literatürde, 'üretim tüketim dengesi'nin sağlanabilmesi için daha önce bahsedilen üç farklı GSYH hesaplama yönteminde de aynı sonucun alınabilmesi için hata payını ifade eden 'stoktaki değişiklikler' değişkeni benzetim modelinde de temsil edilmektedir. 'Stoktaki değişiklikler', 'toplam yurtiçi talep' değişkenine hata payının eklenmesini sağlamak ve böylece 'üretim tüketim dengesi'ni sıfırda dengede tutmaktadır. Deprem nedeniyle yaşanacak ekonomik şokların modele eklenmesi sonucunda bozulacak dengenin ne kadarlık bir gecikme ile gerçekleşeceğinin gözlemlenmesi mümkündür. 'Toparlanma' bozulan üretim-tüketim dengesinin tekrar sıfır değerine ulaşması için gereken toparlanma süresini temsil etmektedir. 'Tüketim' değişkeni toplam nihai yurtiçi talep ile net mal ve hizmet ihracatı değişkenlerine bağlı oluşan toplam tüketimi göstermektedir. Üretim ve tüketim arasındaki fark ise 'üretim tüketim farkı' değişkeni ile model üzerinde ifade edilmiştir. Modelin varsayımları ise şu şekilde sıralanabilir:

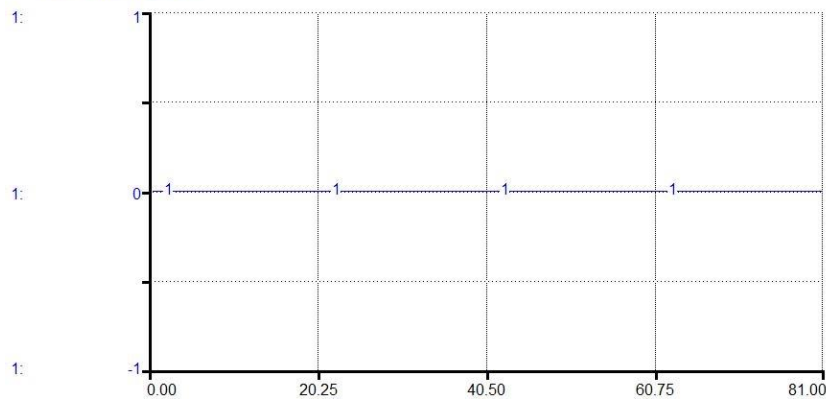
- 1) Ekonomik denge her zaman korunmaktadır.
- 2) Deprem sonrası devlet harcamalarının bir kısmı yardımlar olarak yerine getirilmekte ve diğer devlet harcamalarında kısıtlamaya gidilmektedir.
- 3) Depremın ekonomideki etkisi her zaman, benzetim modeli üzerinde şok etkisinin oluşturulduğu ilk çeyrek sonrasında etkisini göstermektedir.

Modelin tüm değişkenleri ve değişkenlere ait tanımlar, Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Model değişkenleri ve değişken tanımları (Model variables and variable definitions)

DEğİŞKEN İŐMİ	ANLAMI	BİRİMİ
Üretim tüketim dengesi	Şok etkilerinin yaŐanmadıęı durumlarda bu denge denkleminin üretim ve tüketimin eşit olması gerekliliğinden sıfır değerini alacaktır.	1000Ł
Vergi ve sübvansiyon	Vergi ve devletin kurum ve kiŐilere yaptığı karŐılıksız yardımların tümünü	1000Ł/çeyrek
Sektörler (sektör sınıfları)	Tarım, ormancılık ve balıkçılık; sanayi; imalat sanayi; inşaat; ticaret, ulaştırma ve konaklama; bilgi ve iletiŐim; finans ve sigorta faaliyetleri; gayrimenkul faaliyetleri; mesleki, idari ve destek hizmet faaliyetleri; kamu yönetimi; eğitim; insan sağlığı ve sosyal hizmet faaliyetleri; diğer hizmet faaliyetleri	1000Ł/çeyrek
GSYH	Gayri safi yurtiçi hasıla	1000Ł/çeyrek
Mal ve hizmet ithalatı	Başka bir ülkede üretilen ürün ve/veya hizmetin başka bir ülke tarafından satın alınması	1000Ł/çeyrek
Toplam yurtiçi talep	Nihai yurtiçi talep ve stoktaki değişimlerin toplamı	1000Ł/çeyrek
Net mal ve hizmet ithalatı	Mal ve hizmet ihracatı ile mal ve hizmet ithalatı arasındaki fark	1000Ł/çeyrek
Mal ve hizmet ihracatı	Ülke dıŐına yapılan ürün ve hizmet satıŐları	1000Ł/çeyrek
Stoktaki değisiklikler	Harcama yönünden GSYH ile üretim yönünden GSYH arasındaki farkı bir hata olarak içermekte olup dengenin sağlanmasına yarayan bir hata payı	1000Ł/çeyrek
Toplam nihai yurtiçi talep	Hem özel hem de kamuya ait yatırım ve tüketim harcamalarının toplamı	1000Ł/çeyrek
Gayrisafı sabit sermaye olusumu	ÜretilmiŐ olan ve/veya elde edilen ürünlerin sabit varlık değerini ölçmek için kullanılan bir değişkendir, sadece özel sektör sabit değil kamu sabit varlıkları da bu kalemde hesaplanmaktadır.	1000Ł/çeyrek
Toplam tüketim	Yatırım, devlet harcamaları, ithalat ve ihracat harcamalarının tümünün içeriildiği bir ekonomik gösterge-	1000Ł/çeyrek
Devletin nihai tüketim harcamaları	Devlet harcamaları	1000Ł/çeyrek
Yerlesik hanehalkı tüketimi	Hanehalkı harcamaları	1000Ł/çeyrek
Toparlanma	Üretim-tüketim dengesinin kurulması için gereken toparlanma süresinin oranı	Birimsiz
Tüketim	Toplam nihai yurtiçi talep ve net mal ve hizmet ihracatına bağlı toplam tüketim	1000Ł/çeyrek
Üretim tüketim farkı	Üretim ve tüketim arasındaki fark	1000Ł/çeyrek

1: Üretim tüketim dengesi

**Şekil 3.** Mevcut duruma göre üretim-tüketim dengesi (Production-consumption balance for the current system)

Benzetim modeli, 1998 yılı ilk çeyreği ile 2018 yılı ikinci çeyreği arasındaki süre için çeyreklik olarak çalıŐtırılmıŐtır. Şekil 3'te görüleceği üzere üretim-tüketim dengesi süreç boyunca hep sıfır değerini alarak dengede kalmıŐtır.

Tüm uygulamalarda olduğu gibi SD modellerinde de, model üzerinden çıkarımlar yapılmadan evvel doğrulama ve geçerlilik adımlarının sağlanması gerekmektedir. Bu benzetim modeli için bir dizi uygulama yapılmıştır. Önce birim tutarlılık testleri yapılmıştır. Tutarlılık testi öncesi tüm değişkenlerin birimleri kontrol edilmiş ve birimlerin tutması için kukla değişken ve/veya gerçek dışı bir verinin kullanılmadığından emin olunmuştur. Ardından modelin temsil ettiği problem ile örtüşmesi, konsept olarak uygunluğu gözden geçirilmiştir. Bu aşamada literatür ve ekonomik göstergeler ile modelde yer alan değişkenler ele alınmış ve analiz edilmiştir. Bu analiz sonrası yeterli bulunan değişkenlerin arasındaki matematiksel ilişkiler de kontrol edilmiş ve modele doğru yansıtıldığı kesinleştirilmiştir. Böylece yapısal geçerlilik testleri başarıyla tamamlanmıştır. Yapısal geçerlilik sağlandıktan sonra ise SD’de ikinci geçerlilik testi davranışsal geçerliliğin sağlanmasıdır. Davranışsal geçerlilikte kasıt, modelin gerçekteki davranışını sergilemesidir. Davranışsal geçerliliğin sınanması amacıyla bu çalışma kapsamında, ‘stoktaki değişiklikler’ adlı değişkenin gerçek değerleri ile model sonuçları eşleştirilmiş t-test ile incelenmiştir. Tablo 2’de sonuçları paylaşılan eşleştirilmiş t-test sonucuna bakıldığında modeldeki tüm girdi ve çıktılarının bilgisini içeren ‘stoktaki değişiklikler’ değişkeninin 1998’den bu yana gerçek verileri ile simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. 81 çeyreği içeren gerçek ve benzetim modeli sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistikler de yine aynı tabloda özetlenmiştir.

Tablo 2. ‘Stoktaki değişiklikler’ değişkenine ait tanımlayıcı istatistik ve eşleştirilmiş t-test sonuçları
(Descriptive statistics and paired t-test result for ‘stoktaki değişiklikler’)

	N	Ortalama	Standart Sapma	SE Ort.
C1	81	571831	2252221	250247
C2	81	563690	3594666	399407
t-Test	H ₀ : $\mu_{\text{fark}} = 0$ H ₁ : $\mu_{\text{fark}} \neq 0$	t-değeri 0.03	p-değeri 0.977	

Tablo 2’de elde edilen sonuçlar ışığında iki veri arasında anlamlı bir fark bulunmadığı kanıtlanmış ve davranışsal geçerlilik bu şekilde sağlanmıştır. Modelin güvenilirlik testlerini geçmesinden sonra ise farklı senaryoların incelenmesine geçilmiştir.

6. Farklı Senaryoların İncelenmesi (Examining Different Scenarios)

Deprem her değişken üzerindeki etkileri farklılık göstermektedir. İncelenen 11 sektör dikkate alındığında bazı sektörlerde ciddi kayıplar gözlenirken bazı sektörlerde dikkate alınacak etkiler gözlemlenmemiştir. Deprem ilk etapta büyük kayıplara yola açtığı iki önemli sektör ‘gayrimenkul faaliyetleri’ ve ‘inşaat’ sektörleridir. Ancak bu iki sektörün önemi düşünüldüğünde devletin deprem sonrası politikaları kapsamında ilk olarak bu sektörlerin toparlandığı gözükmemektedir. Diğer önemli sektörler ise ‘imalat sanayi’, ‘imalat’ ve ‘ticaret, ulaştırma ve konaklama’ sektörleridir. Bu sektörlerde kayıpların nispeten daha az olduğu görülmektedir ancak toparlanma süreleri de daha uzun olmaktadır. Deprem ekonomik kayıplara sebep olduğu en önemli değişkenlerden birinin de net mal ve hizmet ihracatı olduğu söylenebilir. Üretimdeki azalma düşünüldüğünde en ciddi darbelerden birini net mal ve hizmet ihracatı değişkeni almıştır. Deprem bölgesinde bu süreçte ilk etapta hanehalkı tüketiminde düşüşler görülse de kısa bir süre içerisinde bu durum eski haline dönmektedir. Ancak bu bölgede depreme bağlı devletin vergi politikasının değişmesi sebebiyle vergiler ertelendiğinden veya hiç alınmadığından vergi gelirlerinde düşüşler gözlenmektedir. Ayrıca devletin nihai tüketim harcamalarında da düşüşler olduğu söylenebilir.

Bu çalışmada 2015 yılının ilk çeyreğinde meydana geldiği varsayılan bir depremin bölge ekonomisi üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Bu amaçla 2015 yılı ilk çeyreği itibarıyla depremden etkileneneği düşünülen değişkenlere deprem şoku verilmiştir. Çalışma kapsamında büyük şiddetli deprem ve orta şiddetli deprem olmak üzere iki farklı senaryo incelenmiştir. Bu senaryolardaki etkiler Aktürk ve Albeni (2002), çalışmasının İstanbul’un GSYH’daki etkisi göz önüne alınarak belirlenmiştir.

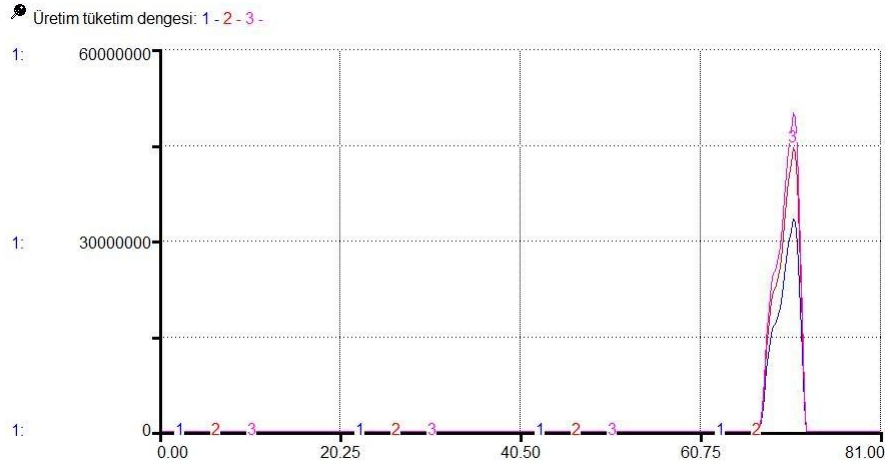
6.1. Senaryo 1: Büyük Şiddetli Bir Deprem Etkileri (Scenario 1: Effects of a Strong Earthquake)

Büyük şiddetli bir depremin daha büyük ekonomik kayıplara sebep olacağı söylenebilir. ‘İnşaat’ ve ‘gayrimenkul faaliyetleri’ sektörleri ilk etapta olumsuz etkilenecek iki büyük sektör olduğundan en büyük kayıplar bu iki sektör üzerinde gösterilmiştir. 2015 yılının birinci ve ikinci çeyreklerinde sırasıyla %30 ve %15’lik kayıplar olabileceği düşünülmüştür. İstanbul-Tekirdağ-Kocaeli bölgesinin sanayi bölgesi olması göz önüne alındığında ‘imalat sanayi’ ve ‘sanayi’ sektörlerinde de ciddi kayıplar olması beklenmektedir. Ayrıca bu sektörlerin toparlanma sürelerinin nispeten daha uzun olması beklendiğinden bu iki sektör için kayıpların 2015 ilk çeyrek için %25, ikinci çeyrek için %20, üçüncü çeyrek için %15 ve dördüncü çeyrek için %10 olacağı düşünülmüştür. ‘Ticaret, ulaştırma ve konaklama’ sektörü ise ilk etapta ciddi bir hasar olsa da kısa bir sürede toparlanacağı için ilk çeyrek için %20 ve

ikinci çeyrek için %6'lık kayıp beklenmektedir. Bahsi geçen bölgeden bir süre vergi gelirleri elde edilemeyeceğinden dört çeyreklik süre içinde sırasıyla %10, %7.5, %5 ve %2.5'lik kayıplar beklenmektedir.

Yerleşik hanehalkı tüketimi ve devletin nihai tüketim harcamaları incelendiğinde yerleşik hanehalkı tüketiminin depremden çok kısa bir süre sonra devlet yardımları ile toparlanacağı düşünülmektedir. Bu sebeple yerleşik hanehalkı tüketiminde ilk çeyrekte %45'lik bir kayıp beklense de ikinci çeyrek itibariyle durumun normale döneceği düşünülmektedir. Devlet tüketiminde ise bu sürecin dört çeyrek boyunca süreceği ve sırasıyla %20, %15, %10 ve %5'lik düşüşler olacağı düşünülmüştür.

Üretimin aldığı hasar göz önüne alındığında net mal ve hizmet ihracatında da ciddi kayıplar beklenmektedir. Bu sebeple ilk çeyrekte %40, ikinci çeyrekte %30, üçüncü çeyrekte %20 ve dördüncü çeyrekte %10'luk bir kayıp olacağı düşünülmüştür.



Şekil 4. Büyük şiddetli bir depremin üretim-tüketim dengesine etkisi
(Effect of a strong earthquake on production-consumption balance)

Şekil 4'te 1998-2018 yılları arasındaki üretim-tüketim dengesinin davranışlarını grafiksel olarak göstermektedir. Burada 2015 yılı ilk çeyreğinde gerçekleştiği varsayılan büyük şiddetli hipotetik bir depremin üretim-tüketim dengesine etkisi gösterilmektedir. Literatür incelendiğinde üretim-tüketim dengesinin sıfır seviyesinde tutulduğu gözlemlenmiştir. Ancak depremin etkileri ile bu denge bozulduğundan 2015 yılının ilk çeyreği itibariyle üretim-tüketim dengesi sıfırdan farklı değerler almaya başlamıştır. Üretim ve tüketimin toparlanması ve bu dengenin yeniden sağlanması için gereken sürenin farklı değerleri için modelin nasıl sonuçlar verdiği 'toparlanma' değişkeni üzerinden incelenmiştir. Toparlanma süresi iki çeyrek, üç çeyrek ve dört çeyrek sürerse modelin nasıl etkileeneceği Şekil 4 üzerinde gösterilmiştir. Üretim tüketim dengesi: 1-2-3 sırasıyla bahsedilen toparlanma sürelerini göstermektedir.

Tablo 3. Üretim-tüketim dengesinin mevcut durum ve Senaryo 1 için karşılaştırılması
(Comparison of base case and Scenario 1 based on production-consumption balance)

		Üretim-Tüketim Dengesi (1000₺)		
		Senaryo 1		
	Mevcut Durum	Toparlanma Süresi: 2 Çeyrek	Toparlanma Süresi: 3 Çeyrek	Toparlanma Süresi: 4 Çeyrek
2015-1	0	5,298,612.72	7,068,349.37	7,947,919.08
2015-2	0	16,548,425.18	22,075,599.20	24,822,637.78
2015-3	0	12,947,670.10	28,698,437.59	32,269,607.49
2015-4	0	0	20,308,236.51	47,229,097.06
2016-1	0	0	0	34,120,205.57
2016-2	0	0	0	0

Tablo 3, 2015 yılı ilk çeyreğinden 2016 yılı ikinci çeyreğine kadar olan sürede üretim-tüketim dengesinin farklı toparlanma süreleri için durumunu göstermektedir. 2015 yılı ilk çeyreği itibariyle üretim ve tüketim dengesi bozulmaya başlamıştır. Üretim-tüketim dengesinin tekrar kurulabilmesi için gereken süre toparlanma süresine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Toparlanma süresi uzadıkça üretim ve tüketim arasındaki dengesizliğin

büyüdüğü ve tekrar dengeye ulaştığı zamanın geciktiği görülmektedir. 2016 yılı ikinci çeyrek itibariyle depremin sebep olduğu dengesizlik tamamen ortadan kalkmış ve denge yeniden kurulmuştur.

Tablo 4. Üretim ve tüketimin mevcut durum ve Senaryo 1 için karşılaştırılması
(Comparison of base case and Scenario 1 based on production and consumption)

	Üretim (1000£)		Tüketim (1000£)	
	Mevcut Durum	Senaryo 1	Mevcut Durum	Senaryo 1
2015-1	176,259,675.96	146,087,302.84	164,158,360.70	111,351,392.30
2015-2	199,735,985.03	178,868,807.21	186,913,100.06	176,762,991.62
2015-3	220,188,101.65	209,515,719.30	189,437,956.73	186,547,297.42
2015-4	229,200,070.97	221,290,243.36	213,110,896.19	206,381,650.21
2016-1	200,665,466.64	200,665,466.64	185,293,747.65	179,588,521.50
2016-2	223,860,091.23	223,860,091.23	209,196,362.70	201,466,372.91

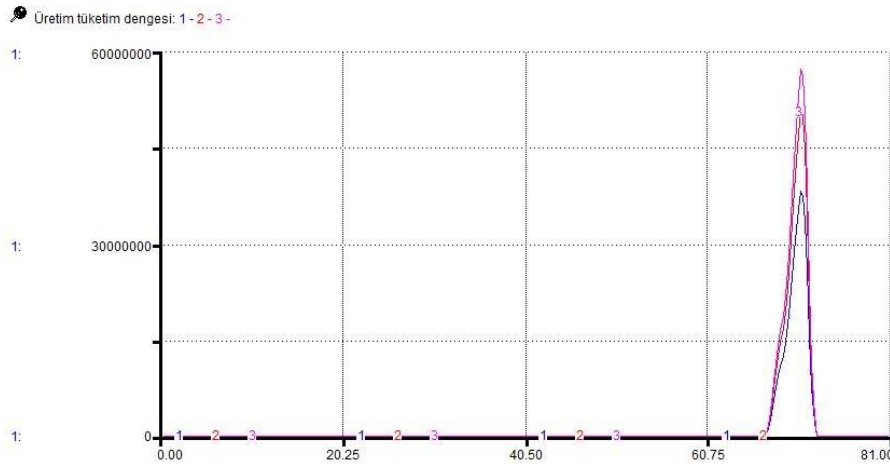
Tablo 4, büyük şiddetli bir depremin gerçekleştiği varsayılan 2015 yılı ilk çeyreğinden 2016 yılı ikinci çeyreğine kadarlık sürede üretim ve tüketim değerlerinin mevcut duruma göre nasıl değiştiğini göstermektedir. Beklendiği üzere depremin gerçekleştiği ilk çeyrekte üretim ve tüketimde ciddi kayıplar ortaya çıkmış, ancak toparlanma çalışmaları sonrasında zaman geçtikçe bu kayıplar azalmaya başlamıştır.

6.2. Senaryo 2: Orta Şiddetli Bir Depremin Etkileri (Scenario 2: Effects of a Moderate Earthquake)

Orta şiddetli bir depremin nispeten daha küçük ekonomik kayıplara sebep olacağı söylenebilir. Benzer şekilde ilk etapta diğer sektörler nazaran daha yıkıcı etkilerin beklendiği 'gayrimenkul faaliyetleri' ve 'inşaat' sektörlerinde 2015 yılının birinci ve ikinci çeyreklerinde sırasıyla %10 ve %5'lik kayıplar olabileceği düşünülmüştür. 'İmalat sanayi' ve 'sanayi' sektörlerinde benzer kayıplar olacağı düşünülmüş ancak bu kayıpların daha kısa sürede onarılacağı göz önüne alındığında 2015 ilk çeyrek için %10, ikinci çeyrek için %5'lik kayıplar düşünülmüştür. 'Ticaret, ulaştırma ve konaklama' sektöründe ise ilk çeyrek için %5'lik bir kayıp beklenmektedir. Orta şiddetli bir depremde vergi gelirlerinde büyük bir kayıp yaşanmayacağı için ilk çeyrek için %4, ikinci çeyrek için %3, üçüncü çeyrek için %2 ve dördüncü çeyrek için %1'lik bir düşüş olacağı düşünülmüştür.

Yerleşik hanehalkı tüketiminde ilk çeyrek için %15'lik bir düşüş, devletin nihai tüketim harcamalarında ise ilk çeyrek için %5, ikinci çeyrek için %2.5'lik düşüşler olacağı tahmin edilmektedir.

Net mal ve hizmet ihracatına bakıldığında ilk çeyrekte %15, ikinci çeyrekte ise %5'lik kayıplar olabileceği düşünülmüştür.



Şekil 5. Orta şiddetli bir depremin üretim-tüketim dengesine etkisi
(Effect of a moderate earthquake on production-consumption balance)

Şekil 5, orta şiddetli bir deprem sonucu üretim-tüketim dengesinin 1998-2015 yılları arasındaki durumunu grafiksel olarak göstermektedir. Grafik incelendiğinde depremin gerçekleştiği 2015 yılı ilk çeyreği itibariyle üretim-tüketim dengesi bozulmuş ancak deprem sonrası toparlanma faaliyetleri sonucunda denge yeniden kurulmuştur. Üç farklı toparlanma süresi için yapılan analizler yine tek grafik üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 5. Üretim-tüketim dengesinin mevcut durum ve Senaryo 2 için karşılaştırılması

(Comparison of base case and Scenario 2 based on production-consumption balance)

		Üretim-Tüketim Dengesi (1000₺)		
		Senaryo 2		
	Mevcut Durum	Toparlanma Süresi: 2 Çeyrek	Toparlanma Süresi: 3 Çeyrek	Toparlanma Süresi: 4 Çeyrek
2015-1	0	3,386,207.00	4,517,200.13	5,079,310.49
2015-2	0	10,951,058.23	14,608,711.68	16,426,587.34
2015-3	0	7,186,863.35	27,748,352.20	31,201,295.58
2015-4	0	0	20,227,843.82	53,118,710.57
2016-1	0	0	0	39,110,753.43
2016-2	0	0	0	0

Tablo 5, 2015 yılı ilk çeyreğinden 2016 yılı ikinci çeyreğine kadar orta şiddetli bir depremin üretim-tüketim dengesine etkisini göstermektedir. Tıpkı büyük şiddetli bir depremde olduğu gibi depremin gerçekleştiği düşünülen 2015 yılı ilk çeyreği itibarıyla sıfır değerini alması beklenen üretim-tüketim dengesi sıfırdan farklı değerler almaya başlamıştır. Ancak bir süre sonra bu dengesizlik ortadan kalkmış ve üretim-tüketim tekrar denge durumuna gelmiştir.

Tablo 6. Üretim ve tüketimin mevcut durum ve Senaryo 2 için karşılaştırılması
(Comparison of base case and Scenario 2 based on production and consumption)

	Üretim (1000₺)		Tüketim (1000₺)	
	Mevcut Durum	Senaryo 2	Mevcut Durum	Senaryo 2
2015-1	176,259,675.96	160,061,985.58	164,158,360.70	142,810,927.37
2015-2	199,735,985.03	191,301,601.81	186,913,100.06	179,707,492.25
2015-3	220,188,101.65	219,756,077.43	189,437,956.73	186,547,297.42
2015-4	229,200,070.97	228,962,270.19	213,110,896.19	206,381,650.21
2016-1	200,665,466.64	200,665,466.64	185,293,747.65	179,588,521.50
2016-2	223,860,091.23	223,860,091.23	209,196,362.70	201,466,372.91

Tablo 6'da üretim ve tüketimin mevcut ve orta şiddetli bir deprem sonucundaki durumu karşılaştırılmıştır. Üretim ve tüketimde 2015 yılı ilk çeyreği itibarıyla düşüşler yaşanmaya başlamış, ancak bir süre sonra mevcut durum ile deprem sonucu ortaya çıkan değerler arasındaki fark azalmaya başlamıştır. Beklendiği üzere büyük şiddetli bir depremle kıyaslandığında kayıpların nispeten daha az olduğu görülmüştür.

7. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada beklenen İstanbul depreminin ekonomik etkilerini doğrusal olmayan diferansiyel denklemler aracılığı ile incelenmesi amacıyla bir SD benzetim modeli oluşturulmuştur.

Önerilen modelde ekonomik denge sistemi SD benzetim modelinde tasarlanmıştır. Ardından 1998-2018 yılları arasındaki ekonomik göstergeler kullanılarak önce ekonomik denge kurgulanmıştır. Kurulan modele uygulanan farklı deprem şoku için farklı ekonomik denge senaryoları oluşturulup, toparlanma adı verilen bir değişken aracılığı ile incelenmiştir.

2015 yılı ilk çeyreği itibarıyla gerçekleştiği varsayılan büyük ve orta şiddetli deprem senaryoları için ekonomik toparlanma süreci toplam tüketimi temsil eden bazı kilit değişkenler ve 11 temel sektör üzerindeki etkileri göz önüne alınan ekonomik değişkenler için tartışılmıştır. Beklendiği üzere, orta ölçekli bir depremin yaratacağı ekonomik denge kaybının büyüklüğü daha az olmaktadır. Yıkıcı gücünün yaratacağı yeni üretim alanları nedeniyle depremin ardından toparlanması uzun süren sektörler olsa da hızlıca talebi karşılaması gereken sektörlerin varlığı nedeniyle üretim-tüketim dengesinin oturmasının ekstrem şekilde uzun olması beklenmemektedir.

Çalışma kapsamında önerilen model deprem sonrası üretim-tüketim dengesinde meydana gelecek değişiklikler ile depremin şiddetine göre farklılaşan toparlanma sürecine ilişkin genel bir açıklama sunmaktadır. Özellikle birçok değişkene ilişkin geçmişe dönük verilerin bulunmaması modelin ekonomik ilişkileri yansıtan bazı değişkenleri kapsamamasını engellemiştir. Ancak modelin geçerliliğinin sağlanmış olması modele dahil edilen verilerin ve ilişkiler

ağının genel temsil yetisine sahip olduğunu göstermektedir. Gelecek çalışmalarda bu çalışmada önerilen modelden yola çıkılarak alt sektörler düzeyinde GSYH üzerindeki değişiklikler incelenebilir. Bunun yanı sıra ileri çalışmalarda depremin etki bölgesi deprem alanı ve Türkiye'nin geri kalanı olacak şekilde ikiye ayrılabilir, böylece iki bölgeyi bir ekonomik model oluşturulabilir. Ayrıca önerilen yöntemin sadece olası depremlerin ekonomik etkilerini incelemek yerine diğer afetlerin etkilerini de araştırmak üzere modifiye edilebilir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma TÜBİTAK Araştırma Destek Programları Başkanlığı tarafından 121K925 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Aktürk, P., Albeni, Y., 2002. Doğal Afetlerin Ekonomik Performans Üzerine Etkisi: 1999 Yılında Türkiye'de Meydana Gelen Depremler ve Etkileri . Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi , 7 (1), 1-18.
- Ager, P., Eriksson, K., Hansen, C.W., Lønstrup, L., 2020. How the 1906 San Francisco earthquake shaped economic activity in the American West. *Explorations in Economic History*, 77, 101342.
- Bardakçı, H., Demirtaş, F., 2023. Doğal Afetlerin Dış Ticarete Etkisi: 2023 Türkiye Depremlerine Sonuçlarının Değerlendirilmesi. *Avrasya Dosyası Dergisi*, 14 (1), 183-204.
- Barlas, Y., 1996. Formal aspects of model validity and validation in SD. *SD Review*, 12 (3), 183-210.
- Besstremyannaya, G., 2017. Heterogeneous effect of the global financial crisis and the Great East Japan Earthquake on costs of Japanese banks. *Journal of Empirical Finance*, 42, 66-89.
- Best, R., Burke, P.J., 2019. Macroeconomic impacts of the 2010 earthquake in Haiti. *Empirical Economics*, 56 (5), 1647-1681.
- Bibbee, A., Gonenc, R., Jacobs, S., Konvitz, J., Price, R., 2000. Economic Effects of the 1999 Turkish Earthquakes: An Interim Report, OECD Economics Department Working Papers, No. 247.
- Brozović, N., Sunding, D.L., Zilberman, D., 2007. Estimating business and residential water supply interruption losses from catastrophic events. *Water Resources Research*, 43 (8).
- Carrera, L., Standardi, G., Bosello, F., Mysiak, J., 2015. Assessing direct and indirect economic impacts of a flood event through the integration of spatial and computable general equilibrium modelling. *Environmental Modelling & Software*, 63, 109-122.
- Chatterjee, R., Okazaki, K., 2018. Household livelihood recovery after 2015 Nepal earthquake in informal economy: case study of shop owners in Bungamati. *Procedia Engineering*, 212, 543-550.
- Chen, Y., Song, J., Zhong, S., Liu, Z., Gao, W., 2022. Effect of destructive earthquake on the population-economy-space urbanization at county level-a case study on Dujiangyan county, China. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103345,
- Coffman, M., Noy, I., 2012. Hurricane Iniki: measuring the long-term economic impact of a natural disaster using synthetic control. *Environment and Development Economics*, 17 (2), 187-205.
- Das, S., Sheth, A.N., Bansal, P., Chuah, J., Wasson, R., 2022. A statistical comparison of flood-related economic damage in Indian states with reflections on policy implications. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 72, 102835,
- Davlasheridze, M., Fan, Q., Highfield, W., Liang, J., 2021. Economic impacts of storm surge events: examining state and national ripple effects. *Climatic Change* 166, 11.
- Ding, W., Wu, J., 2023. Interregional economic impacts of an extreme storm flood scenario considering transportation interruption: A case study of Shanghai, China. *Sustainable Cities and Society*, 88, 104296,
- Erdik, M., Durukal, E., 2008. Earthquake risk and its mitigation in Istanbul. *Natural Hazards*, 44 (2), 181-197.
- Gignoux, J., Menéndez, M., 2016. Benefit in the wake of disaster: Long-run effects of earthquakes on welfare in rural Indonesia. *Journal of Development Economics*, 118, 26-44.
- Ham, H., Kim, T.J., Boyce, D., 2005. Assessment of economic impacts from unexpected events with an interregional commodity flow and multimodal transportation network model. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39 (10), 849-860.
- Huang, M.C., Hosoe, N., 2017. Fiscal and social costs of recovery programs for an earthquake disaster in northern Taiwan. *Journal of Asian Economics*, 53, 1-17.
- Kalantari, M., Firuzi, E., Ahmadipour, M., Sorooshian, S., 2023. Estimating annualized earthquake loss for residential buildings in Tehran, Iran. *Bulletin of Earthquake Engineering*.
- Khalid, M.A., Ali, Y., 2019. Analysing economic impact on interdependent infrastructure after flood: Pakistan a case in point. *Environmental Hazards*, 18 (2), 111-126.
- Lam, C.Y., Shimizu, T., 2021. A network analytical framework to analyze infrastructure damage based on earthquake cascades: A study of earthquake cases in Japan. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 54, 102025.
- Li, D., Wang, X., 2013. System Dynamics Simulation Model for Port Economy Analysis. J. Xu et al. (Edt.), *Proceedings of the Sixth International Conference on Management Science and Engineering Management, Lecture Notes in Electrical Engineering* 185, içinde (s. 475-482). Londra: Springer-Verlag.
- MacKenzie, C.A., Santos, J.R., Barker, K., 2012. Measuring changes in international production from a disruption: Case study of the Japanese earthquake and tsunami. *International Journal of Production Economics*, 138 (2), 293-302.

- Nielsen-Pincus, M., Moseley, C., Gebert, K., 2014. Job growth and loss across sectors and time in the western US: The impact of large wildfires. *Forest Policy and Economics*, 38, 199-206.
- Ogawa, Y., Akiyama, Y., Yokomatsu, M., Sekimoto, Y., Shibasaki, R., 2019. Estimation of supply chain network disruption of companies across the country affected by the Nankai Trough Earthquake tsunami in Kochi City. *Journal of Disaster Research*, 14 (3), 508-520.
- Okuyama, Y., 2004. Modeling spatial economic impacts of an earthquake: Input-output approaches. *Disaster Prevention and Management*, 13 (4), 297-306.
- Okuyama, Y., Hewings, G.J., Sonis, M., 2002. Economic impacts of unscheduled events: sequential interindustry model (SIM) approach. 14th International Conference on Input-Output Techniques, October 10-15, 2002, Montréal, Canada.
- Panwar, V., Sen, S., 2019. Economic impact of natural disasters: An empirical re-examination. *Margin: The Journal of Applied Economic Research*, 13 (1), 109-139.
- Peterson, D., Eberlein R., 1994. Reality check: A bridge between systems thinking and system dynamics. *System Dynamics Review*, 10 (2-3), 159-174.
- Richmond, B., 2001. An introduction to systems thinking. Hanover: High Performance Systems, Inc.
- Sayılğan, Ş., 2023. Depremin diğer yüzü ekonomiye etkisi. <https://www.dunya.com/kose-yazisi/depremin-diger-yuzu-ekonomiyeetkisi/685741>. Son erişim tarihi: 20 Ağustos 2023.
- Schmude, J., Zavareh, S., Schwaiger, K.M., Karl, M., 2018. Micro-level assessment of regional and local disaster impacts in tourist destinations. *Tourism Geographies*, 20 (2), 290-308.
- Shrestha, S.R., Orchiston, C.H., Elwood, K.J., Johnston, D.M., Becker, J.S., Tomassi, I., 2022. Understanding the wider social and economic context of post-earthquake cordons: A comparative case study between Christchurch, Aotearoa (New Zealand) and L'Aquila, Italy. *Earthquake Spectra*, 38 (4), 2731-2753.
- Sterman, J.D., 2000. *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. Boston: Irwin McGraw-Hill.
- Tan, L., Wu, X., Xu, Z., Li, L., 2019. Comprehensive economic loss assessment of disaster based on CGE model and IO model—A case study on Beijing “7.21 Rainstorm”. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 39, 101246.
- Tatano, H., Tsuchiya, S., 2008. A framework for economic loss estimation due to seismic transportation network disruption: a spatial computable general equilibrium approach. *Natural Hazards*, 44 (2), 253-265.
- TÜİK, 2022^a. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, 2021. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=45500#:~:text=T%C3%BCrkiye%20n%C3%BCfusu%2084%20milyon%20680,252%20bin%20172%20ki%C5%9Fi%20oldu>. Son erişim tarihi: 10 Aralık 2022.
- TÜİK, 2022^b. İl Bazında Gayrisafi Yurt İçi Hasıla, 2021. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Il-Bazinda-Gayrisafi-Yurt-Ici-Hasila-2021-45619#:~:text=Ki%C5%9Fi%20ba%C5%9F%C4%B1na%20GSYH'de%202021%20y%C4%B1l%C4%B1nda%2C%20Kocaeli%20153%20bin%20479,son%20%C3%BC%C3%A7%20s%C4%B1rada%20yer%20ald%C4%B1>. Son erişim tarihi: 10 Aralık 2022.
- Uehara, T., Cordier, M., Hamaide, B., 2018. Fully Dynamic Input-Output/System Dynamics Modeling for Ecological-Economic System Analysis. *Sustainability*, 10, 1765.
- Van der Veen, A., 2004. Disasters and economic damage: macro, meso and micro approaches. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 13 (4), 274-280.
- Wang, K., Yang, Y., Reniers, G., Li, J., Huang, Q., 2022. Predicting the spatial distribution of direct economic losses from typhoon storm surge disasters using case-based reasoning. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 68, 102704.
- Wen, S., Su, B., Wang, Y., Fischer, T., Li, X., Yin, Y., Jiang, T., 2018. Economic sector loss from influential tropical cyclones and relationship to associated rainfall and wind speed in China. *Global and Planetary Change*, 169, 224-233.
- Xiao, Y., 2011. Local economic impacts of natural disasters. *Journal of Regional Science*, 51 (4), 804-820.
- Zhao, R., Zhong, S., He, A., 2018. Disaster impact, national aid, and economic growth: evidence from the 2008 Wenchuan earthquake. *Sustainability*, 10 (12), 4409.

Ek (Appendix)

Üretim_tüketim dengesi(t) = Üretim_tüketim dengesi(t - dt) + (sektörler_toplami + vergi_ve_sübvansiyon + denge - toplam_yurtiçi_talep - net_mal_ve_hizmet_ihracati) * dt

INIT Üretim_tüketim dengesi = 0

INFLOWS:

sektörler_toplami = ARRAYSUM(sektör_siniflari[*])

denge = stoktaki_degisiklikler*toparlanma

OUTFLOWS:

toplam_yurtiçi_talep = toplam_nihai_yurtiçi_talep

net_mal_ve_hizmet_ihracati = mal_ve_hizmet_ithalat-mal_ve_hizmet_ihracati

GSYH = sektörler_toplami+vergi_ve_sübvansiyon

stoktaki_degisiklikler = üretim_tüketim_farki

toplam_nihai_yurtiçi_talep = Gayrisafi_sabit_sermaye_olusumu+toplam_tüketim

toplam_tüketim = devletin_nihai_tüketim_harcamaları+yerlesik_hanehalki_tüketimi

tüketim = net_mal_ve_hizmet_ihracati+toplam_yurtiçi_talep

üretim_tüketim_farki = tüketim-GSYH