

Kamu Politikası Formülasyonunda Hesaplamalı Modeller: Stratejik Bir Araç Olarak Kullanım Potansiyeli ve Türkiye Bağlamına Yansımaları

Computational Models in Public Policy Formulation: Usage Potential as a Strategic Tool and Reflections on the Turkish Context

Şerife Gökçen YANIK¹

Başvuru Tarihi: 12.05.2026

Kabul Tarihi: 03.06.2026

Tür: Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:

Kamu Politikası
Formülasyonu,
Hesaplamalı Modeller,
Ajan Tabanlı
Modelleme, Sistem
Dinamiği, Politika
Analizi, Türkiye

Keywords:

Public Policy
Formulation,
Computational Models,
Agent-Based Modeling,
System Dynamics,
Policy Analysis, Turkey

Atf Önerisi:

Yanık, Ş. G. (2026).
Kamu Politikası
Formülasyonunda
Hesaplamalı Modeller:
Stratejik Bir Araç Olarak
Kullanım Potansiyeli ve
Türkiye Bağlamına
Yansımaları. *Nazilli
İktisadi ve İdari Bilimler
Fakültesi Dergisi*. 7(1).
285-300. [https://doi.org/
10.59113/niibfd.1950137](https://doi.org/10.59113/niibfd.1950137)



ÖZET

Bu çalışma, kamu politikası formülasyonu sürecinde hesaplamalı modellerin artan önemini ve bu modellerin stratejik rolünü sistematik biçimde literatür taraması yöntemiyle incelemektedir. Geleneksel politika analiz modelleri, kamu yönetimi pratiklerinde tarihsel olarak önemli bir yer işgal etmeye devam etse de çağdaş yönetim ortamlarının karakteristik özellikleri olan karmaşıklık, dinamizm ve çoklu paydaş yapıları karşısında bu modellerin yetersizlikleri belirgin hale gelmiştir. Hesaplamalı modeller; tahmin üretme, politika senaryolarını test etme ve karmaşık sistemleri simüle etme yetkinlikleriyle kamu politikalarının geliştirilmesinde öncü ve etkili araçlar olarak öne çıkmaktadır. Ajan tabanlı modeller (ABM), sistem dinamiği ve çok etmenli simülasyonlar gibi yöntemler, geleneksel yaklaşımların çözemediği çok aktörlü, geri beslemeli ve dinamik sistem yapılarını modelleyebilmektedir. Türkiye bağlamında bu modellerin yaygınlaşmasının önünde teknik kapasite eksiklikleri ve veri paylaşımındaki yapısal sınırlılıklar bulunmakla birlikte giderek artan bir ilgi ve uygulama eğilimi gözlemlenmektedir.

ABSTRACT

This study systematically examines the growing importance of computational models in the public policy formulation process and their strategic role through a literature review. Although traditional policy analysis models continue to occupy a historically significant place in public administration practices, their limitations have become apparent in the face of the complexity, dynamism, and multi-stakeholder structures characteristic of contemporary governance environments. Computational models stand out as pioneering and effective tools in the development of public policies due to their capabilities in generating forecasts, testing policy scenarios, and simulating complex systems. Methods such as agent-based modeling (ABM), system dynamics, and multi-agent simulations can model multi-actor, feedback-driven, and dynamic system structures that traditional approaches cannot resolve. While technical capacity gaps and structural limitations in data sharing remain barriers to the widespread adoption of these models in the Turkish context, a growing interest and trend toward their application is being observed.

¹ Öğr. Gör., Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, gokcen.yanik@adu.edu.tr, ORCID ID:0000-0002-2370-4161.

1. GİRİŞ

Kamu politikası, devletin toplumsal sorunlara verdiği yanıtların bütünüdür ve çok sayıda aktörün etkileşimiyle şekillenen karmaşık bir süreçtir. Bu sürecin merkezinde yer alan politika formülasyonu; gündem belirleme aşamasından uygulamaya ve değerlendirmeye uzanan bir dizi kararlı adımı kapsamaktadır. Tarihsel süreçte kamu yöneticileri ve politika yapımcılar bu süreçte rasyonel model, artımlı model ve karma tarama modeli gibi geleneksel analitik çerçevelerden yararlanmışlardır. Söz konusu modeller, belirli kısıtlar altında mantıklı politika tercihleri üretme amacıyla geliştirilmiş olup akademik ve uygulamacı düzeyde geniş bir kabul görmüştür (Dye, 1992; Lindblom, 1959).

Ancak küreselleşme, teknolojik dönüşüm ve toplumsal karmaşıklığın derinleşmesiyle birlikte yönetim ortamları köklü bir değişim sürecine girmiştir. İklim değişikliği, kamu sağlığı krizleri, kentsel göç baskıları ve enerji dönüşümü gibi yapısal sorunlar; doğrusal ve tek-nedenlilik varsayımlarına dayanan geleneksel analiz modellerinin açıklayıcı ve öngörücü kapasitesinin sınırlarına işaret etmektedir. Bu tablo, politika bilimcileri ve kamu yönetimi araştırmacılarını alternatif araçsal çerçevelere yöneltmiştir (Furtado, Sakowski ve Tóvolli, 2015). Hesaplamalı modeller, tam da bu ihtiyacın karşılığında bilgisayar gücündeki hızlı ilerlemeler ve simülasyon teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla birlikte sosyal bilimlerde güçlü bir paradigma olarak yükselmiştir (Gilbert vd., 2018).

Bu çalışmanın temel araştırma sorusu şudur: Hesaplamalı modeller, kamu politikası formülasyonu sürecinde geleneksel analiz modellerine kıyasla nasıl bir stratejik değer üretmektedir ve bu modellerin Türkiye kamu yönetimi bağlamında etkin biçimde benimsenmesinin önündeki engeller ile bu engelleri aşmaya yönelik stratejiler nelerdir? Bu sorunun yanıtı hem akademik literatürün sistematik taranmasıyla hem de Türkiye özeline ilişkin gözlemsel değerlendirmelerle aranmaktadır.

Çalışma, sistematik literatür taraması yöntemine dayanmaktadır. Web of Science, Scopus ve Google Scholar veri tabanları üzerinden 2000-2024 yılları arasında yayımlanmış hakemli çalışmalar incelenmiştir. Arama sürecinde 'computational policy modeling', 'agent-based model public policy', 'system dynamics governance' ve 'policy simulation' gibi anahtar kelimeler kullanılmıştır.

Uluslararası literatür taramasına ek olarak, hesaplamalı politika modellemesinin Türkiye akademik üretimindeki yerini saptamak amacıyla YÖK Ulusal Tez Merkezi üzerinden tamamlayıcı bir disiplinler boşluk analizi gerçekleştirilmiştir. Tarama; 'hesaplamalı modelleme' ve 'ajan tabanlı modelleme' anahtar sözcükleriyle başlık, özet ve konu alanlarında yürütülmüş; tarama tarihi itibarıyla erişilebilen yüksek lisans ve doktora tezleri kapsama dâhil edilmiştir. Erişime kapalı tezler künye düzeyinde değerlendirmeye alınmıştır. Elde edilen kayıtlar iki ölçüt uyarınca sınıflandırılmıştır: (i) tezin ait olduğu bilim dalı/anabilim dalı (örn. kamu yönetimi, siyaset bilimi, işletme, endüstri mühendisliği, bilgisayar mühendisliği, şehir ve bölge planlama) ve (ii) hesaplamalı yöntemin kamu politikası/karar verme bağlamında kullanılıp kullanılmadığı. Yöntemi yalnızca teknik-mühendislik bağlamında kullanan ve kamu politikası formülasyonu ile doğrudan ilişkilendirilmeyen tezler 'kısmî ilgili' olarak ayrı kodlanmıştır. Bu sınıflandırma, hesaplamalı yöntemlerin Türkiye'de hangi disiplinlerde yoğunlaştığını ve kamu yönetimi alanındaki görece boşluğu görünür kılmayı amaçlamaktadır.

2. KAMU POLİTİKASI FORMÜLASYONU: KAVRAMSAL ÇERÇEVE

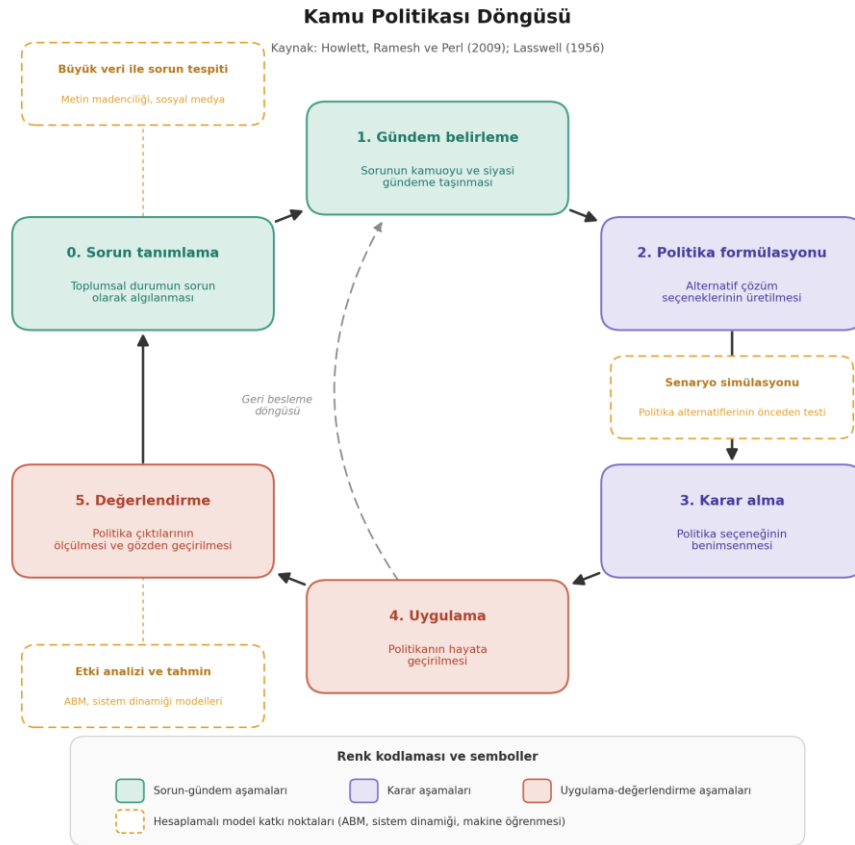
2.1. Kamu Politikasının Tanımı ve Kapsamı

Kamu politikası kavramı akademik literatürde pek çok farklı biçimde tanımlanmıştır. Thomas Dye'in (1992: 2) klasik tanımına göre kamu politikası 'hükümetin yapmayı ya da yapmamayı tercih ettiği her şeydir.' Harold Lasswell ve Abraham Kaplan (1950) ise politikayı 'değerlerin ve pratiklerin tasarlanmış bir programı' olarak tanımlamış; böylece normatif boyutun da analize dahil edilmesinin önünü açmıştır.

Kamu politikasının kapsamı; sosyal politika, ekonomi politikası, çevre politikası, sağlık politikası ve güvenlik politikası gibi birbirinden farklı alan politikalarını içermektedir. Bu alanların her biri, kendine özgü aktörler, kurumsal yapılar ve karar alma dinamikleri barındırmaktadır (Howlett vd., 2009).

2.2. Politika Formülasyonu Süreci

Politika formülasyonu, kamu politikası döngüsünün kritik bir halkasını oluşturmaktadır. Harold Lasswell'in (1956) önerdiği politika süreci modeli; gündem belirleme, formülasyon, benimseme, uygulama ve değerlendirme aşamalarını birbirini izleyen evreler olarak tanımlamıştır. Sabatier (2007) bu süreci döngüsel ve çok boyutlu olarak yeniden kavramsallaştırmış; politikaların tek seferlik değil, sürekli bir müzakere ve yeniden şekillenme süreci içinde üretildiğini vurgulamıştır. Aşağıdaki şema, politika formülasyon sürecinin temel aşamalarını ve hesaplamalı modellerin bu süreçle kesişim noktalarını göstermektedir.



Şekil 1. Kamu Politikası Döngüsü Ve Hesaplamalı Modellerin Entegrasyon Noktaları.

Kaynak: Howlett vd, (2009) ile Lasswell (1956) temel alınarak yazar tarafından geliştirilmiştir.

2.3. Paydaş Yapısı ve Karar Alma Ortamının Karmaşıklığı

Politika formülasyonu sürecinde pek çok aktör etkileşim halindedir. Bu aktörler; siyasi otoriteler, bürokratik yapılar, sivil toplum kuruluşları, uluslararası örgütler, medya, akademik

çevreler ve kamuoyunu kapsamaktadır. Howlett vd, (2009) bu aktörler arasındaki ilişkiyi 'politika alt-sistemleri' kavramıyla açıklamış; her alt-sistemin kendine özgü güç dengeleri ve norm yapıları ürettiğini ileri sürmüştür.

Bu aktörlerin birbiriyle olan çok katmanlı etkileşimi, karar alma sürecinin rasyonel bir doğrusal süreç olmaktan ziyade müzakere, uzlaşma ve güç mücadelesinin şekillendirdiği bir süreç olduğunu ortaya koymaktadır (Lindblom, 1959). Bu çerçevede hesaplamalı modeller, söz konusu karmaşıklığı yönetmeye yönelik analitik araçlar olarak giderek daha fazla ilgi görmektedir.

3. GELENEKSEL POLİTİKA ANALİZ MODELLERİ

3.1. Rasyonel Model

Rasyonel model, kamu politikası analizinin en köklü çerçevelerinden birini oluşturmaktadır. Bu modele göre karar vericiler; tüm olası politika alternatiflerini belirleyebilmekte, her alternatifin sonuçlarını tam ve eksiksiz biçimde değerlendirebilmekte ve en yüksek kamu yararını sağlayacak seçeneği tercih etmektedir (Simon, 1947). Model, Herbert Simon'ın (1955) 'sınırlı rasyonellik' kavramıyla temelden sorgulanmıştır; bireylerin tam bilgiye ve sınırsız bilişsel kapasiteye sahip olmadığını, bu nedenle 'tatmin edici' çözümleri aradığını ileri sürmüştür.

3.2. Artımlı Model

Charles Lindblom (1959) tarafından geliştirilen artımlı model, 'çamurda yürüme' (muddling through) metaforuyla özetlenen bir yaklaşım sunar. Politika yapıcıların mevcut politikalar üzerinde sınırlı değişiklikler yaparak ilerleme sağladığını ve köklü dönüşümlerden kaçındığını öne sürmektedir. Modelin en önemli zayıflığı, iklim değişikliği veya pandemi gibi sistemik krizlerin artımlı yaklaşımlarla ele alınamayacağı gerçeğidir (Cairney, 2012).

3.3. Karma Tarama, Kurumsal, Elitist/Çoğulcu ve Oyun Teorisi Modelleri

Etzioni'nin (1967) karma tarama modeli, rasyonel model ile artımlı model arasında köprü kurmayı amaçlamaktadır; geniş perspektiften alternatif taraması ile ayrıntılı artımlı analizleri birleştirmektedir. Kurumsal model politika yapımını kurumsal yapıların belirlediğini öne sürerken (Peters, 2011), elitist model kararların sınırlı bir elit tarafından (Mills, 1956) ve çoğulcu model farklı çıkar gruplarının rekabeti sonucu alındığını (Dahl, 1961) savunmaktadır. Oyun teorisi temelli modeller ise politika aktörlerinin stratejik etkileşimlerini matematiksel çerçevede modellemektedir (Scharpf, 1997).

3.4. Geleneksel Modellerin Ortak Sınırlılıkları

Yukarıda ele alınan modellerin her biri kamu politikası analizine özgün katkılar sunmakla birlikte ortak bazı sınırlılıkları paylaşmaktadır. Bu modeller çoğunlukla statik ya da doğrusal varsayımlara dayanmakta, geri besleme mekanizmalarını ve dinamik sistem davranışlarını yeterince modelleyememektedir. Çok sayıda heterojen aktörün etkileşimini ve bu etkileşimlerin yarattığı makro düzey çıktıları temsil etmekte yetersiz kalmakta; büyük veri kümelerini işleme ve çok sayıda senaryoyu eş zamanlı test etme kapasiteleri de son derece kısıtlıdır (Furtado vd., 2015; Bankes, 2002).

4. HESAPLAMALI SOSYAL BİLİMLER VE MODELLER

4.1. Hesaplamalı Sosyal Bilimlerin Ortaya Çıkışı

Hesaplamalı sosyal bilimler, yirminci yüzyılın son çeyreğinde bilgisayar bilimi, istatistik ve sosyal bilim disiplinlerinin kesişiminde filizlenmeye başlamış; ancak bağımsız ve tanınmış bir

araştırma paradigması olarak yerini ancak 2000'lerin başında sağlamlaştırabilmiştir. Bu alanın kökenleri, 1980'lerde Santa Fe Enstitüsü bünyesinde gelişen karmaşıklık teorisi çalışmalarına ve karmaşık sistemlerin bilgisayar simülasyonlarıyla analiz edilmesine yönelik disiplinlerarası girişimlere dayanmaktadır. 1990'larda William Sims Bainbridge, Kathleen Carley ve Michael Macy gibi öncü araştırmacılar, karşılıklılık normları, önyargı ve sosyal etki gibi olguları çok etmenli modeller aracılığıyla incelemeye başlamış; böylece hesaplamalı sosyal bilimlerin ilk teorik altyapısını oluşturmuşlardır.

Bu dönemin en belirleyici çalışmalarından biri, Epstein ve Axtell'in (1996) kaleme aldığı *Growing Artificial Societies* başlıklı kitaptır. Söz konusu eser, sosyal dinamiklerin tabandan yukarıya doğru (bottom-up) modellenmesi yaklaşımını sistematize etmiş ve ajan tabanlı yapay toplumlar fikrinin bilimsel literatürdeki temelini atmıştır. Aynı dönemde Nigel Gilbert ile Klaus G. Troitzsch, alanın ilk kapsamlı ders kitaplarından biri olan *Simulation for the Social Scientist*'i yayımlamıştır (Gilbert ve Troitzsch, 2005). Gilbert ayrıca 1998 yılında *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* dergisini kurarak alanın kurumsal kimlik kazanmasına öncülük etmiştir.

Alanın disiplinlerarası olarak tanınması ve akademik bir kimlik kazanması açısından en kritik dönüm noktası, Lazer vd.'nin (2009) *Science* dergisinde yayımladığı ve on beş araştırmacının imzasını taşıyan manifestodur. Bu çalışma, hesaplamalı sosyal bilimlere bağımsız bir araştırma programı olarak ilan etmiş; dijital izlerin, büyük veri kümelerinin ve hesaplamalı yöntemlerin sosyal bilimlerde yarattığı paradigma değişimini açık bir çerçeveye oturtmuştur. Yayımlandığı tarihten itibaren beş yüzü aşkın kez atıf alan bu makale, alanın kurucu referans noktası olma özelliğini sürdürmektedir.

On bir milyon akademik yayını kapsayan bibliometrik bir analize göre hesaplamalı sosyal bilimlerin yükselişinde iki kritik kırılma noktası dikkat çekmektedir: ilki 2005 yılı civarında psikoloji, siyaset bilimi ve sosyolojinin bu alana entegre olmaya başlamasıyla, ikincisi ise 2014 yılı civarında iktisadın bu sürece dahil olmasıyla gerçekleşmiştir. Aynı araştırma, 2000'lerin başından 2014'e kadar geçen sürede hesaplamalı sosyal bilimlerin diğer disiplinlerden belirgin biçimde ayrılan özgün bir epistemik küme oluşturduğunu da ortaya koymaktadır.

Bu yükselişin temelinde birbirini pekiştiren dört etken yatmaktadır: işlemci hızlarının ve depolama kapasitelerinin katlanarak artması; internetin ve sosyal medyanın geniş ölçekli insan davranışı verilerine erişim olanağı sunması; makine öğrenmesi ve doğal dil işleme algoritmalarının sosyal örüntüleri analiz edecek düzeye ulaşması; ve NetLogo, Repast, AnyLogic gibi açık kaynaklı simülasyon platformlarının araştırmacılar için yaygınlaşması. Bu dört etkenin eş zamanlı etkisiyle hesaplamalı sosyal bilimler, geleneksel anket ve küçük örneklem deneylerinin yetersiz kaldığı alanlarda sosyal bilimlerin açıklayıcı ve öngörücü kapasitesini köklü biçimde genişletmiştir.

4.2. Kuramsal Çerçeve: Karmaşıklık Teorisi ve Üretici Sosyal Bilim

Hesaplamalı modellerin kamu politikası analizine sunduğu katkı, yalnızca teknik bir araç yenilenmesi olarak değil, altında yatan kuramsal dönüşüm bağlamında anlaşılmalıdır. Bu dönüşümün ilk ayağını karmaşıklık teorisi (complexity theory) oluşturur. Karmaşıklık teorisi, toplumsal sistemleri çok sayıda heterojen ve birbirine bağımlı bileşenin doğrusal olmayan etkileşiminden doğan uyarlanabilir sistemler olarak kavramsallaştırır; bu sistemlerde makro düzeydeki düzen, merkezî bir tasarımın değil, yerel etkileşimlerin kendiliğinden örgütlenmesinin (self-organization) ve beliren özelliklerin (emergence) bir ürünüdür (Kiel, 2014; Cairney, 2012). Geri besleme döngüleri, eşik etkileri ve yol bağımlılığı gibi mekanizmalar nedeniyle bu sistemlerde küçük girdiler orantısız büyük çıktılara yol açabilmekte; neden ile sonuç arasındaki ilişki doğrusallıktan uzaklaşmaktadır. Kamu

politikası ortamlarının tam da bu nitelikleri taşıması, doğrusal ve dengeye yönelik geleneksel modellerin açıklama gücünü yapısal olarak sınırlamaktadır (Johnson, 2015; Calenbuhr, 2020). Karmaşıklık teorisinin betimlediği bu sistemleri analiz edilebilir kılan ikinci kuramsal ayak, hesaplamalı sosyal bilimlerin benimsediği üretici (generative) açıklama anlayışıdır. Joshua Epstein'in (1999, 2006) formüle ettiği üretici sosyal bilim yaklaşımı, bir toplumsal olgunun açıklanmasını onun tabandan yukarıya (bottom-up) üretilebilmesi koşuluna bağlar. Epstein'in özlü ifadesiyle, 'onu yetiştirmediyse, açıklamış sayılmazsınız' (if you didn't grow it, you didn't explain it). Bu ölçüt, makro düzeydeki bir politika çıktısının (örneğin mekânsal ayrışma, salgın yayılımı ya da bir normun yaygınlaşması) yalnızca istatistiksel olarak ilişkilendirilmesini değil, mikro düzeydeki aktör davranışlarından hareketle hesaplamalı olarak yeniden üretilmesini gerektirir. Böylece üretici yaklaşım, değişkenler arası korelasyona dayanan denklem temelli açıklama mantığından, mekanizmaya dayanan üretici açıklama mantığına geçişi temsil eder (Macy ve Willer, 2002; Epstein ve Axtell, 1996).

Karmaşıklık teorisi ne tür sistemlerin söz konusu olduğunu, üretici sosyal bilim ise bu sistemlerin nasıl açıklanması gerektiğini ortaya koyar. Aşağıda ele alınan ajan tabanlı modelleme, bu iki kuramsal konunun kesişiminde yer alan ve onları işevuruk (operasyonel) kılan başlıca yöntemsel araçtır: heterojen ajanların yerel kurallarını tanımlayarak, karmaşıklık teorisinin öngördüğü beliren makro örüntüleri üretici ölçüt uyarınca 'yetiştirme' olanağı sunar. Dolayısıyla bu bölümde ele alınan hesaplamalı yöntemler, salt teknik seçenekler değil, bu kuramsal çerçevenin somutlaşmış biçimleridir.

4.3. Ajan Tabanlı Modeller (ABM)

Ajan tabanlı modeller, bireysel aktörlerin karar alma süreçlerini ve bu aktörlerin birbirleriyle ve çevreleriyle olan etkileşimlerini simüle eden hesaplamalı çerçevelerdir (Bonabeau, 2002). Her ajan; belirli kurallara, tercih yapısına ve bilişsel kapasiteye sahip özerk bir karar birimi olarak tanımlanmaktadır. Tesfatsion ve Judd'un (2006) derlediği kapsamlı literatürde gösterildiği üzere, gelir dağılımı politikaları, piyasa davranışları, oy verme örüntüleri ve suç önleme politikaları da ABM aracılığıyla başarılı biçimde analiz edilmiştir. ABM'nin temel metodolojik avantajı, heterojen aktörleri ve beklenmedik çıktıları (unintended consequences) gerçekçi biçimde temsil edebilmesidir.

Bu özellikleriyle ABM, geleneksel politika analizine eklemlenen yardımcı bir teknikten ziyade, açıklama mantığını değiştiren yeni bir analitik paradigma niteliği taşımaktadır. Geleneksel modeller toplumsal sonuçları toplulaştırılmış değişkenler arasındaki denklemlerle (örneğin denge koşulları ya da regresyon ilişkileriyle) temsil ederken, ABM aynı sonuçları etkileşim halindeki bireysel aktörlerin davranışlarından üretir. Bu fark yalnızca yöntemsel değil epistemolojiktir: analiz birimi 'ortalama birey' ya da toplulaştırılmış değişken olmaktan çıkıp heterojen ve uyarlanabilen aktör haline gelmekte; açıklama ölçütü ise istatistiksel uyumdan üretici yeterliliğe kaymaktadır (Epstein, 1999; Bonabeau, 2002). Bir paradigma değişiminden söz edilebilmesi için bu üç koşulun — farklı bir ontoloji (beliren karmaşık sistemler), farklı bir açıklama ölçütü (üretici yeterlilik) ve farklı bir yöntemsel donanım (in silico deney) — bir arada bulunması gerekir; ABM bu üç koşulu da karşılamaktadır. Bununla birlikte ABM'nin paradigmatik özgünlüğü, onu geleneksel modellerin yerine ikame eden değil, onların işevuruk sınırlılıklarını aşan tamamlayıcı bir konuma yerleştirir (Gilbert vd., 2018). Bu tamamlayıcılığın geleneksel karar verme kuramlarıyla nasıl eşleştiği altıncı bölümde Tablo 2 aracılığıyla sistematik olarak ortaya konmaktadır.

4.4. Sistem Dinamiği

Jay Forrester tarafından 1950'lerde MIT'de geliştirilen sistem dinamiği, karmaşık sosyal-teknik sistemleri nedensellik döngüleri, stok-akış yapıları ve zaman gecikmeleri çerçevesinde modelleyen bir yöntemdir (Sternan, 2000). Meadows vd.'nin (1972) 'Büyümenin Sınırları' raporu, sistem dinamiğinin politika alanındaki en çarpıcı erken uygulamalarından biri olarak

tarihe geçmiştir. Günümüzde enerji geçişi, sağlık sistemi planlaması ve iklim politikası gibi alanlarda sistem dinamiği modelleri yaygın biçimde kullanılmaktadır (Calenbuhr, 2020).

4.5. Çok Etmenli Simülasyonlar ve Karma Yöntemler

Çok etmenli simülasyonlar (multi-agent simulations), ajan tabanlı modeller ile sistem dinamiğini bütünleştirerek daha büyük ölçekli ve senaryo temelli analizler gerçekleştirme imkânı sunmaktadır. Son yıllarda makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmalarının hesaplamalı sosyal bilimlerle bütünleşmesi, politika modellemesinde yeni ufuklar açmaktadır. Doğal dil işleme yöntemleri sosyal medya verilerinden politika tutumlarını çıkarmada; pekiştirmeli öğrenme ise olası politika müdahalelerinin uzun vadeli sonuçlarını simüle etmede kullanılmaktadır (Athey, 2017).

5. HESAPLAMALI MODELLERİN KAMU POLİTİKASINDAKİ UYGULAMA ALANLARI

5.1. Ulaşım Politikaları

Ulaşım politikası, hesaplamalı modellerin en erken ve en olgun uygulama alanlarından birini oluşturmaktadır. Nagel ve Schreckenberg'in (1992) hücresel otomat tabanlı trafik akışı modeli, bu alandaki öncü çalışmalardan birini temsil etmektedir. Singapur'un akıllı şehir ulaşım sistemi, ajan tabanlı simülasyonlarla desteklenerek trafik sıkışıklığı ve emisyon azaltımında somut sonuçlar elde etmiştir. Kalabalık değerlemesi açısından Yap, Cats ve van Arem (2020), akıllı kart verilerine dayanan tercih modelleri aracılığıyla politika yapıcılar için etki değerlendirmesi imkânı sunmuştur.

5.2. Sağlık Politikaları

Sağlık alanı hesaplamalı modellemede en yoğun uygulama alanlarından birini oluşturmaktadır. COVID-19 pandemisi, hesaplamalı sağlık modellerinin politika yapım süreçleriyle en yoğun biçimde kesiştiği dönem olmuştur. Ferguson vd. (2006), ajan tabanlı epidemiyolojik modeller geliştirmiş; Flaxman vd. (2020) ise Avrupa'da on bir ülkedeki farmakolojik olmayan müdahalelerin COVID-19 ölümleri üzerindeki etkisini hesaplamalı modellerle tahmin etmiştir. Maske kullanımı, seyahat kısıtlamaları ve aşılama öncelik sıralamaları gibi kritik kararlar büyük ölçüde bu modellerden elde edilen senaryo analizlerine dayandırılmıştır.

5.3. Enerji ve Çevre Politikaları

Enerji geçişi ve iklim politikası, uzun zaman ufukları ve yüksek belirsizlik düzeyleri nedeniyle hesaplamalı modelleme için son derece elverişli bir alan sunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik şebekelerine entegrasyonu, karbon fiyatlandırma mekanizmalarının ekonomik etkileri ve enerji verimliliği politikalarının konut sektöründeki yansımaları, hesaplamalı modellerin kapsamlı analizler ürettiği başlıca konulardır. Heppenstall vd. (2011), ABM'yi kent düzeyinde enerji tüketim örüntülerini modellemek ve politika müdahalelerinin mahalle ölçeğindeki etkilerini öngörmek amacıyla başarılı biçimde kullanmıştır.

5.4. Sosyal Politika ve Ekonomi Politikası

Sosyal yardım programlarının hedefleme etkinliği, işsizlik yardımlarının emek piyasası üzerindeki etkileri ve vergi reformlarının gelir dağılımına yansımaları, hesaplamalı modellerle incelenen önemli konular arasındadır. Tesfatsion ve Judd (2006), hesaplamalı iktisat alanında ABM'nin makroekonomik dinamikleri açıklamadaki gücünü kapsamlı biçimde belgelemiştir. Kent planlaması ve kentsel dönüşüm politikaları da önemli bir uygulama alanı

oluşturmaktadır; konut talebinin mekânsal dağılımı ve göç örüntüleri ABM ile modellenebilmektedir (Batty, 2005).

5.5. Afet Yönetimi Politikaları

Afet yönetimi, hesaplamalı modellerin politika tasarımına en doğrudan katkı sunduğu alanlardan birini oluşturmaktadır. Doğal ve insan kaynaklı afetlerin giderek artan sıklığı ve şiddeti, tahliye planlaması, kaynak tahsisi ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesinde simülasyon tabanlı yaklaşımların zorunluluğunu gündeme getirmektedir. Ajan tabanlı modeller, afet senaryolarında bireysel karar verme davranışlarını ve topluluk düzeyinde ortaya çıkan dinamikleri yeniden üretme kapasitesiyle bu alanda öne çıkmaktadır.

Kaur ve Kaur (2022), 2009-2019 yılları arasında yayımlanan seksen bir hakemli çalışmayı kapsayan derleme çalışmalarında, afet yönetiminde kullanılan çok etmenli ajan tabanlı tahliye modellerini sistematik biçimde sınıflandırmış ve karşılaştırmıştır. Deprem, tsunami, kasırga ve bina yangını gibi farklı afet türleri için geliştirilen modeller; Karar Destek Sistemleri, Tahliye Davranışı Temelli Modeller, CBS Entegreli Modeller ve Sosyal Kuvvet Temelli Modeller olmak üzere dört ana çerçevede ele alınmış; bu modellerin gerçek müdahaleleri uygulamadan önce farklı tahliye senaryolarını sanal ortamda test etme, trafik yönetim stratejilerini değerlendirme ve barınak konumlarını optimize etme gibi işlevleriyle politika yapım süreçlerine doğrudan katkı sunduğu ortaya konmuştur. Çalışma aynı zamanda mevcut modellerin büyük çoğunluğunun sınırlı ajan sayısı üzerinde test edildiğini ve gerçek ölçekli senaryolara genelleme yapılmasının güçlüğüne vurgulayarak hesaplamalı modellerin karar süreçlerini destekleyen değerli araçlar olmakla birlikte bulgularının ihtiyatla yorumlanması gerektiğine dikkat çekmektedir.

Mostafizi vd. (2017), Cascadia dalma zonu bölgesindeki tsunami tahliyelerini ampirik davranış verileriyle bütünleşik bir ajan tabanlı modelle analiz etmiş; bekleme süresi ve tahliye kararının ölüm oranları üzerindeki doğrusal olmayan etkilerini sayısal olarak belirlemiştir.

Moradi vd. (2025), Yunanistan ve İspanya'da ajan tabanlı C-SAFE çerçevesini test etmiş; İspanya'daki sel senaryosunda erken uyarı sisteminin mahsur kalan birey sayısını yüzde otuz yedi oranında azaltabileceğini ortaya koymuştur. Çin'deki debris flow afetleri üzerine yürütülen araştırmada ise ABM, erken uyarı sistemi, afet barınakları ve teşvik planlarının birlikte etkisini modelleyerek politika yapıcılara somut senaryo karşılaştırmaları sunmuştur (Wu vd., 2022).

5.6. Eğitim Politikaları

Eğitim politikası, hesaplamalı modellerle olan kesişiminin görece geç geliştiği ancak hızla büyüyen bir uygulama alanını temsil etmektedir. Okul terk oranları, öğrenci başarı dağılımları ve eğitime erişim eşitliği gibi yapısal sorunların karmaşık ve çok boyutlu doğası, hesaplamalı yaklaşımları giderek daha çekici kılmaktadır. Bu alanda iki temel yöntem öne çıkmaktadır: makine öğrenmesi tabanlı tahmin modelleri ve ajan tabanlı sistem simülasyonları.

Şili eğitim sistemi üzerine yürütülen bir çalışmada, öğrencilerin bireysel yörüngelerini okul, aile ve sosyoekonomik değişkenlerle bütünleştiren bir makine öğrenmesi modeli geliştirilmiş; bu model önceki çalışmalara kıyasla yaklaşık yüzde yirmi daha yüksek bir tahmin doğruluğu elde etmiştir. Üstelik model, okul ve öğrenci profillemesi ile farklı senaryoların simülasyonu yoluyla müdahale politikalarının etkisini önceden değerlendirebilme özelliğiyle salt tahminin ötesine geçerek politika tasarımına doğrudan katkı sunmuştur (Rodríguez vd., 2023). COVID-19 pandemisi sürecinde ise farklı okullama stratejilerinin (örneğin yüz yüze ve çevrim içi eğitim arasında dönüşümlü geçiş) hem enfeksiyon yayılımı hem de eğitime devam üzerindeki etkilerini ajan tabanlı simülasyonla değerlendiren çok etmenli çalışmalar, pandemi dönemi okul politikası kararlarının tasarımını doğrudan desteklemiştir (Tapp vd., 2022).

Tablo 1. Hesaplamalı modellerin kamu politikasındaki uygulama alanları — seçilmiş literatür taraması (1972–2025)

Yıl	Yazarlar	Politika Alanı	Ülke / Bölge	Model Türü	Temel Bulgu
1972	Meadows vd.	Enerji / Çevre	Küresel	Sistem Dinamiği	Büyümenin sınırları: doğal kaynak tükenmesi senaryoları
1996	Epstein & Axtell	Sosyal Politika	ABD	ABM	Yapay toplumlar: sosyal dinamiklerin tabandan modellenmesi
2002	Bonabeau	Çoklu Alan	Çok ülkeli	ABM	ABM yöntem ve teknikleri için kapsamlı metodoloji rehberi
2005	Batty	Kentsel / Sosyal	İngiltere	ABM	Şehirler ve karmaşıklık: hücresel otomat ve ABM ile kentsel analiz
2006	Ferguson vd.	Sağlık	ABD / İngiltere	ABM	İnfluenza pandemisi için aşılama ve müdahale stratejilerinin modellenmesi
2006	Tesfatsion & Judd	Ekonomi / Sosyal	ABD	ABM	Hesaplamalı iktisat el kitabı; ABM ile makroekonomik analiz
2015	Furtado vd.	Çoklu Alan	Brezilya	Karma	Karmaşık sistemlerin kamu politikası için modellenmesi çerçevesi
2018	Gilbert vd.	Çoklu Alan	İngiltere	ABM	Kamu politikasında hesaplamalı modellemenin metodolojik standartları
2017	Mostafizi vd.	Afet Yönetimi	ABD (Oregon)	ABM	Tsunami tahliyesinde bekleme süresi ve mortalite oranı arasındaki doğrusal olmayan ilişki
2020	Flaxman vd.	Sağlık	Avrupa (11 ülke)	ABM	COVID-19: farmakolojik olmayan müdahalelerin ölüm sayısına etkisi
2020	Yap vd.	Ulaşım	Hollanda	Ayrık Seçim	Akıllı kart verisiyle toplu taşıma araçlarında kalabalık değerlemesi
2020	Calenbuhr	Enerji / Çevre	AB Bölgesi	Sistem Dinamiği	Karmaşıklık biliminin politika yapımı süreçlerine entegrasyonu
2022	Kaur & Kaur	Afet Yönetimi	Çok ülkeli	ABM	Afet tahliyesinde ABM uygulamalarının meta-analizi (81 hakemli çalışma)
2022	Wu vd.	Afet Yönetimi	Çin	ABM	Erken uyarı sistemi ve barınak politikasının kayıp azaltmadaki etkisi
2022	Tap vd.	Eğitim / Sağlık	Almanya	ABM	COVID-19'da okul rotasyonu stratejisinin enfeksiyon ve eğitime etkisi
2023	Rodriguez vd.	Eğitim	Şili	Makine Öğrenmesi	Okul terk tahmini: önceki çalışmalara kıyasla %20 daha yüksek doğruluk
2025	Moradi vd.	Afet Yönetimi	Yunanistan / İspanya	ABM	C-SAFE çerçevesiyle erken uyarı sistemi mahsur kalan birey sayısını %37 azalttı

Not: ABM = Ajan Tabanlı Model. Politika alanı sütunundaki renkler kategorileri temsil etmektedir.

6. TÜRKİYE BAĞLAMINDA HESAPLAMALI POLİTİKA MODELLEMESİ

6.1. Türkiye'de Kamu Politikası Analiz Altyapısı

Türkiye'de kamu politikası analizi, tarihsel olarak merkezi yönetim anlayışı ve bürokratik kapasite üzerine inşa edilmiş bir yapı sergilemiştir. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, politika analizi ve planlama işlevlerini merkezi düzeyde koordine etmektedir. Ancak bu kurumsal yapı içinde hesaplamalı modellerin sistematik biçimde kullanımı oldukça sınırlı kalmaktadır. Teknik uzman eksikliği, kurumsal kapasite yetersizlikleri ve veri paylaşımındaki yapısal sınırlılıklar başlıca nedenler arasında sayılabilir.

Giriş bölümünde yöntemi açıklanan YÖK Ulusal Tez Merkezi disiplinler boşluk analizinin bulguları, yukarıdaki kurumsal tabloyla tutarlı bir görünüm sunmaktadır. Belirlenen ölçütlere göre taranan tezlerin büyük çoğunluğunun mühendislik ve fen bilimleri alanlarında yoğunlaştığı; kamu yönetimi ve siyaset bilimi anabilim dallarında hesaplamalı yöntemleri kamu politikası formülasyonu ile doğrudan ilişkilendiren bir teze ise rastlanmadığı görülmüştür. İlk anahtar sözcük olan 'hesaplamalı modelleme' ile yürütülen tarama 64 teze ulaşmış; bu tezlerin 59'u mühendislik ve fen bilimleri alanlarında, 3'ü psikoloji, 1'i şehir ve bölge planlama ve 1'i istatistik alanında üretilmiştir. 'Ajan tabanlı modelleme' anahtar sözcüğüyle yürütülen ikinci tarama ise 60 teze ulaşmış; bu tezlerin 48'i mühendislik, 5'i yönetim bilişim sistemleri, 4'ü ekonomi, 2'si işletme ve 1'i halkla ilişkiler alanındadır. Böylece her iki taramada da kayıtların büyük çoğunluğu teknik-mühendislik bağlamında yoğunlaşmakta; sosyal bilimlerdeki görece sınırlı varlık ise ekonomi, işletme, yönetim bilişim sistemleri, psikoloji ve halkla ilişkiler gibi kamu yönetimine komşu fakat ondan ayrı disiplinlerde kümelenmektedir. Belirleyici bulgu şudur ki, iki taramanın hiçbirinde hesaplamalı yöntemi doğrudan kamu politikası formülasyonu ya da karar verme bağlamında kullanan ve kamu yönetimi anabilim dalında üretilmiş tek bir teze rastlanmamıştır.² Bu örüntü, hesaplamalı modellemenin Türkiye'de bir yöntem olarak mevcut olduğunu, ancak kamu yönetimi disiplininin epistemik dağılımına henüz sistematik biçimde eklenmediğini; yani salt teknik bir kapasiteden çok disiplinler bir boşluğun söz konusu olduğunu göstermektedir.

6.2. Mevcut Uygulamalar ve Öncü Örnekler

Türkiye'de hesaplamalı politika modellemesinin en belirgin ve en erken izlerinin görüldüğü alan, sağlık politikasıdır. COVID-19 pandemisinin ilk dalgasıyla başlayan süreçte Bilim Akademisi, çeşitli üniversitelerden araştırmacıların katılımıyla COVID-19 Modelleme Çalıştayları düzenlemiştir; ilki 22 Haziran 2020'de, ikincisi 30 Kasım 2020'de, üçüncüsü ise 28 Haziran 2021'de gerçekleştirilmiştir. Bu çalıştaylarda Türkiye'ye özgü olasılıksal yayılım modelleri, normalleşme süreçlerinin simülasyonu, sosyal mesafenin epidemiyolojik etkisi ve aşılama stratejilerinin önceliklendirilmesi gibi konularda bulgular sunulmuştur (Bilim Akademisi, 2021). Aynı dönemde TÜBİTAK destekli bir proje kapsamında matematiksel ve ajan tabanlı yöntemleri birleştiren bir epidemiyolojik model geliştirilmiş; bu model, Türkiye özelinde hem salgının yayılımını hem de ekonomik ve işgücü kayıplarını öngörerek politika senaryoları üretmek amacıyla tasarlanmıştır (Güçlü vd., 2023). TÜBA ise salgın boyunca yayımladığı değerlendirme raporlarıyla epidemiyolojik modellerin politika sürecine aktarılmasına zemin hazırlamıştır (TÜBA, 2020).

Ulaşım politikası alanında da benzer bir eğilim gözlemlenmektedir. Türkiye'deki kentsel ulaşım planlaması giderek daha fazla simülasyon tabanlı yaklaşımlara dayanmaktadır. SUMO ve PTV VISSIM gibi mikroskobik trafik simülasyon yazılımları, üniversite-kamu iş birlikleri çerçevesinde kavşak düzenlemelerinin ve ulaşım ağı değişikliklerinin etkilerini önceden değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır (Boz ve Gülgen, 2018). İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin hazırladığı Kentsel Ulaşım Ana Planı (İUAP), yolculuk talebini ve modal dağılımı modellemeye dayanan nicel bir planlama çerçevesi üzerine kurulmuştur; bu çerçeve, talebin mekânsal dağılımının hesaplamalı yöntemlerle analiz edilmesini gerektirmektedir (İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı Ulaşım Planlama Müdürlüğü [İBB], 2011). İSTAÇ ve İSBK gibi İBB iştiraklerinin ulaşım planlama hizmetleri kapsamında simülasyon destekli analiz yürüttüğü bilinmektedir.

Enerji politikası, Türkiye'de hesaplamalı modellemenin en hızlı gelişen üçüncü uygulama alanını oluşturmaktadır. Akademik alanda yapılan çalışmalar özellikle dikkat çekmektedir. TEİAŞ verilerini kullanan bir çalışmada, EnergyPLAN simülasyon aracıyla Türkiye'nin

² YÖK Ulusal Tez Merkezi taraması 30 Mayıs 2026 tarihinde gerçekleştirilmiştir.

yenilenebilir enerji geçişine ilişkin farklı senaryolar karşılaştırmalı olarak modellenmiş; yenilenebilir enerji kaynaklarının 2030'a kadar toplam elektrik talebinin yüzde elli beşini karşılayabileceği gösterilmiştir (Guven vd., 2025). Daha kapsamlı bir çalışmada ise ajan tabanlı modelleme ile iklim projeksiyonları bütünleştirilmiş; enerji, ekonomi ve çevre politikalarının Türkiye'nin CO₂ emisyonları ve enerji fiyatları üzerindeki etkisi 2023-2040 dönemini kapsayan dokuz farklı politika senaryosuyla analiz edilmiştir (Guven vd, 2025). Bu tür çalışmaların ortak bulgusu, yenilenebilir enerji sübvansiyonlarının ve düşük karbonlu stratejilerin emisyon azaltımı ve enerji maliyetlerinin istikrarı üzerinde en belirleyici politika araçları olduğu yönündedir.

Bu üç ana alana ek olarak, afet yönetimi alanında da ilk adımların atıldığı görülmektedir. 1999 Marmara depremi sonrasında başlatılan İstanbul Sismik Risk Azaltma ve Acil Durum Hazırlık Projesi (İSMEP), afet risk değerlendirmesinde sayısal modellerin sistematik biçimde kullanıldığı ilk büyük ölçekli kamu projelerinden biri olma özelliği taşımaktadır. Söz konusu proje, mekânsal risk modellemesini doğrudan politika ve yatırım kararlarına bağlaması bakımından Türkiye'de hesaplamalı modellerin politika sürecine entegrasyonundaki öncü örneklerden biri olarak değerlendirilebilir.

6.3. Engeller ve Yapısal Sorunlar

Hesaplamalı modellerin Türkiye kamu yönetiminde daha geniş bir ölçeğe taşınmasının önünde birden fazla yapısal engel bulunmaktadır. Birinci ve en temel engel, teknik insan kaynağı yetersizliğidir. İkinci önemli engel, veri paylaşımındaki sınırlılıklardır; kamuya açık idari veri tabanlarının yetersizliği ve kurumlar arası veri paylaşım mekanizmalarının zayıflığı modellerin kalibrasyonunu güçleştirmektedir. Üçüncü engel, kurumsal direnç ve bilgi açıklarıdır; modellerin 'kara kutu' olarak algılanması karar vericilerin sonuçları benimsemedeki isteksizliğini pekiştirmektedir (Salgado, O'Flaherty ve Mejía, 2020). Dördüncü engel ise koordinasyon eksiklikleridir.

6.4. Fırsatlar ve Stratejik Öneriler

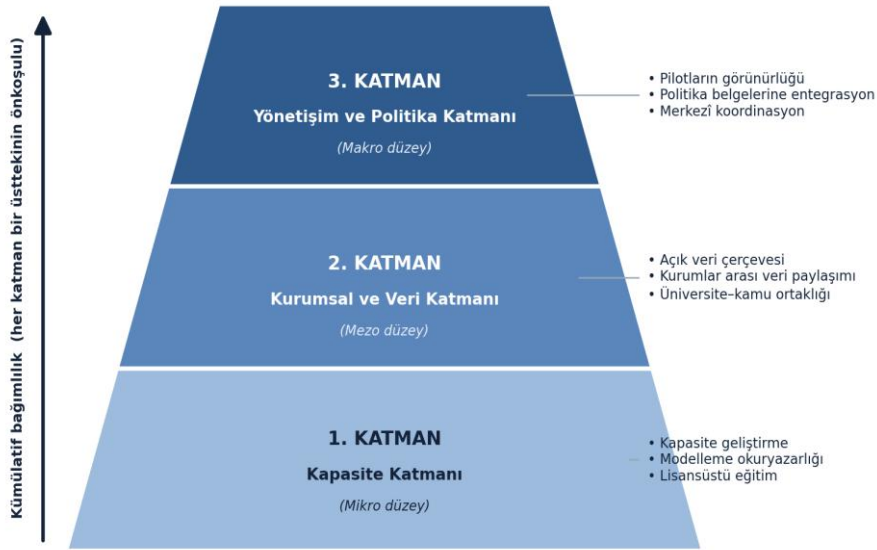
Bu engellere karşın Türkiye, hesaplamalı politika modellemesine geçiş potansiyeli açısından ciddi fırsatlar barındırmaktadır. Ancak dağınık öneriler yerine, birbirini önkoşullayan katmanlı bir yönelim çerçevesi benimsenmesi dönüşümün sürdürülebilirliği açısından belirleyicidir. Bu çalışma, yukarıda saptanan engelleri ve fırsatları üç katmanlı bir yönelim çerçevesi altında bütünleştirmeyi önermektedir (Şekil 2). Çerçeve, mikro düzeydeki bireysel kapasiteden makro düzeydeki yönetim mimarisine doğru ilerleyen ve her katmanın bir üstteki katmanın önkoşulunu oluşturduğu kümülatif bir yapıyı temsil eder.

Birinci katman — kapasite katmanı (mikro düzey) — teknik insan kaynağının geliştirilmesine odaklanır. Karar alıcılara ve üst düzey yöneticilere yönelik kapasite geliştirme programları, lisansüstü düzeyde hesaplamalı sosyal bilim eğitiminin yaygınlaştırılması ve modelleme okuryazarlığının kamu personeline kazandırılması bu katmanın temel bileşenleridir. Bu katman, modellerin 'kara kutu' olarak algılanmasından doğan kurumsal direnci doğrudan hedef alır.

İkinci katman — kurumsal ve veri katmanı (mezo düzey) — modellerin beslendiği altyapıyı kurar. Açık veri politikalarının yasal ve idari çerçevesinin oluşturulması, kurumlar arası veri paylaşım mekanizmalarının standartlaştırılması ve üniversite-kamu iş birliklerinin proje bazlı ilişkilerden kurumsal ortaklıklara dönüştürülmesi bu katmanda yer alır. Birinci katmanda yetişen uzmanlar, ancak bu veri ve kurum altyapısı sağlandığında üretken biçimde çalışabilir.

Üçüncü katman — yönetim ve politika katmanı (makro düzey) — hesaplamalı yöntemlerin politika döngüsüne kalıcı biçimde gömülmesini sağlayan üst yapıyı oluşturur. Başarılı pilot uygulamaların görünürlüğünün artırılması, modelleme çıktılarının resmî politika belgelerine ve bütçeleme süreçlerine bağlanması ve merkezi bir hesaplamalı politika analizi koordinasyon işlevinin tanımlanması bu katmanın bileşenleridir. Bu katman, alt katmanlarda üretilen

kapasite ve bilginin kurumsallaşarak sürdürülebilir bir yönetim pratiğine dönüşmesini güvence altına alır.



Şekil 2. Türkiye için üç katmanlı hesaplamalı politika modellemesi yönetim çerçevesi.

Kaynak: Yazar tarafından geliştirilmiştir.

7. TARTIŞMA: GELENEKSEL VE HESAPLAMALI MODELLERİN KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRMESİ

Geleneksel politika analiz modelleri, kamu politikası alanında onlarca yıllık bir entelektüel ve uygulamalı birikim sunmaktadır. Ancak günümüz politika ortamlarının giderek artan karmaşıklığı, bu modellerin açıklayıcı ve öngörücü kapasitesinin sınırlarını belirginleştirmiştir.

Hesaplamalı modeller, geleneksel yaklaşımların açığını kapatma potansiyeli açısından üç temel avantaj sunmaktadır. Birincisi, dinamizm: Hesaplamalı modeller zaman içinde değişen sistem davranışlarını ve geri besleme mekanizmalarını gerçek zamanlı biçimde temsil edebilmektedir. İkincisi, heterojenlik: Ajan tabanlı modeller, tek tip 'ortalama birey' varsayımı yerine farklı tercih yapılarına sahip aktörleri simüle edebilmektedir. Üçüncüsü, senaryo üretme kapasitesi: Hesaplamalı modeller, alternatiflerin gerçek politika ortamında uygulanmadan önce 'sanal deney' çerçevesinde test edilmesine imkân tanımaktadır.

Bu üç avantajın geleneksel karar verme kuramlarının işevuruk sınırlılıklarıyla nasıl eşleştiğini sistematik biçimde ortaya koymak, hesaplamalı modellerin sağladığı katkının somutlaşmasını sağlar. Tablo 2, ikinci bölümde ele alınan başlıca politika analizi modellerinin her birinin operasyonel sınırlılığını, ABM ve ilişkili hesaplamalı yöntemlerin bu sınırlılığa sunduğu karşılıkla yan yana getirmektedir. Eşleştirme, hesaplamalı yaklaşımların geleneksel kuramların hangi spesifik varsayımını gevşettiğini görünür kılmakta ve böylece iki yaklaşım arasındaki ilişkiyi kavramsal bir tamamlayıcılık zemininde temellendirmektedir.

Tablo 2. Geleneksel karar verme modellerinin operasyonel sınırlılıkları ve hesaplama (ABM) karşılıkları.

Geleneksel Karar Verme Modeli	Temel Varsayım	İşevuruk (Operasyonel) Sınırlılık	Hesaplama (ABM) Karşılık
Rasyonel model	Tam bilgi ve sınırsız bilişsel kapasite	Tüm alternatiflerin ve sonuçların eksiksiz değerlendirilememesi; sınırlı rasyonelliğin temsil edilememesi	Sınırlı rasyonel, kurala dayalı ajanların ve tatmin edici (satisficing) karar kurallarının doğrudan kodlanması
Artımlı model	Mevcut politikadan yalnızca küçük sapmalar	Sistemik kriz ve eşik etkilerinin (ör. pandemi, iklim) öngörülebilmesi	Doğrusal olmayan eşik ve geri besleme etkilerinin senaryo bazında simülasyonu
Karma tarama modeli	İki ölçekli (geniş + ayrıntılı) tarama	Ölçekler arası geçişin ve etkileşimin biçimsel olarak modellenememesi	Mikro-makro bağın çok ölçekli / çok düzeyli olarak modellenmesi
Kurumsal / Elitist / Çoğulcu modeller	Yapıların veya aktör gruplarının sabit etkisi	Aktörler arası dinamik güç ve müzakere süreçlerinin statik temsili	Heterojen aktörlerin zaman içinde değişen etkileşiminin temsili
Oyun teorisi modelleri	Sınırlı sayıda rasyonel oyuncu ve analitik denge	Çok sayıda heterojen oyuncuda denge çözümünün güçleşmesi / dengeye yakınsamama	Çok sayıda uyarlanabilir ajanın denge-dışı dinamiklerinin in silico incelenmesi

Not: ABM = Ajan Tabanlı Model. Kaynak: Yazar tarafından geliştirilmiştir.

Bununla birlikte hesaplama modellerin kendi sınırlılıkları da göz ardı edilmemelidir. Bu modeller veri yoğun yapılarıyla yüksek kaliteli ve büyük ölçekli veri kümelerine ihtiyaç duymaktadır. Modellerin kurulum, kalibrasyon ve yorum süreçleri yüksek düzeyde teknik uzmanlık gerektirmekte ve bu durum karar vericilerle teknik uzmanlar arasında bilgi asimetrisine yol açmaktadır (Cairney ve Geyer, 2015). Bu değerlendirmeler, geleneksel ve hesaplama modellerin birbirinin rakibi değil, tamamlayıcısı olarak konumlandırılması gerektiğine işaret etmektedir.

8. SONUÇ

Bu çalışma, hesaplama modellerin kamu politikası formülasyonu sürecindeki stratejik rolünü sistematik bir literatür taraması çerçevesinde ele almış ve geleneksel analiz modelleriyle karşılaştırmalı bir değerlendirme sunmuştur. Elde edilen bulgular, hesaplama modellerin çok aktörlü, geri beslemeli ve dinamik politika sistemlerini modelleme konusunda geleneksel yaklaşımlara kıyasla belirgin üstünlükler taşıdığını ortaya koymaktadır.

Ulaşım, sağlık, enerji, afet yönetimi ve eğitim politikaları başta olmak üzere pek çok alanda hesaplama modellerin somut katkılar ürettiği belgelenmiştir. Türkiye bağlamında ise bu modellerin yaygınlaşmasının önünde teknik kapasite eksiklikleri, veri paylaşımındaki yapısal sınırlılıklar, kurumsal direnç ve koordinasyon yetersizlikleri gibi somut engeller mevcuttur.

Sonuç olarak bu çalışma, hesaplama modellerin kamu politikası biliminin ve pratiğinin ayrılmaz bir bileşeni haline gelme sürecinde olduğuna ve bu dönüşümün Türkiye açısından hem bir zorunluluk hem de bir fırsat niteliği taşıdığına işaret etmektedir. Bilimsel altyapının güçlendirilmesi, kurumsal kapasitenin artırılması ve veri temelli bir yönetim kültürünün inşa edilmesi bu paradigma değişimine uyum sağlamak için atılması gereken temel adımları oluşturmaktadır.

KAYNAKÇA

- Athey, S. (2017). Beyond prediction: Using big data for policy problems. *Science*, 355(6324), 483-485.
- Bankes, S. C. (2002). Tools and techniques for developing policies for complex and uncertain systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(suppl_3), 7263-7266.
- Batty, M. (2005). *Cities and complexity: Understanding cities with cellular automata, agent-based models, and fractals*. MIT Press.

- Bilim Akademisi. (2021). *COVID-19 Modelleme Çalıştayları (I-III)*. <https://bilimakademisi.org/covid-19-modelleme-calistayi/> Erişim Tarihi: 06.04.2026
- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(suppl_3), 7280-7287.
- Boz, C., & Gülgen, F. (2018). SUMO trafik simülasyonu kullanılarak kavşak düzenlemelerinin etkilerinin gözlenmesi. *VII. UZAL-CBS Sempozyumu*, Eskişehir.
- Cairney, P. (2012). Complexity theory in political science and public policy. *Political Studies Review*, 10(3), 346-358.
- Calenbuhr, V. (2020). Complexity science in the context of policymaking. In *Science for policy handbook* (ss. 118-127). Elsevier.
- Dahl, R. A. (1961). *Who governs? Democracy and power in an American city*. Yale University Press.
- Dye, T. R. (1992). *Understanding public policy* (7th ed.). Prentice Hall.
- Epstein, J. M. (1999). Agent-based computational models and generative social science. *Complexity*, 4(5), 41-60.
- Epstein, J. M. (2006). *Generative social science: Studies in agent-based computational modeling*. Princeton University Press.
- Epstein, J. M., ve Axtell, R. (1996). *Growing artificial societies: Social science from the bottom up*. Brookings Institution Press.
- Etzioni, A. (1967). Mixed-scanning: A 'third' approach to decision-making. *Public Administration Review*, 27(5), 385-392.
- Ferguson, N. M., Cummings, D. A. T., Fraser, C., Cajka, J. C., Cooley, P. C., & Burke, D. S. (2006). Strategies for mitigating an influenza pandemic. *Nature*, 442(7101), 448-452.
- Flaxman, S., Mishra, S., Gandy, A., Unwin, H. J. T., Mellan, T. A., Coupland, H., & Bhatt, S. (2020). Estimating the effects of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 in Europe. *Nature*, 584(7820), 257-261.
- Furtado, B. A., Sakowski, P. A. M. E., & Tóvolli, M. H. E. (2015). *Modeling complex systems for public policies*. IPEA.
- Geyer, R., & Cairney, P. (Eds.). (2015). *Handbook on complexity and public policy*. Edward Elgar Publishing.
- Gilbert, N., & Troitzsch, K. (2005). *Simulation for the social scientist*. McGraw-Hill Education (UK).
- Gilbert, N., Ahrweiler, P., Barbrook-Johnson, P., Narasimhan, K. P., & Wilkinson, H. (2018). Computational modelling of public policy: Reflections on practice. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 21(1).
- Güven, D., Kayalica, M. O., & Sen, O. L. (2025). The impact of electricity generation on CO2 emissions in Türkiye: An agent-based simulation approach. *Energies*, 18(3), 655.
- Güçlü, H., Yaylalı, E., İkişik, H., Hızıroğlu Aygün, A. & Maral, I. (2023). *Salgın hastalıkların epidemiyolojik ve ekonomik açıdan matematiksel ve ajan tabanlı yöntemlerle modellenmesi ve simülasyonu* [TÜBİTAK projesi]. Aperta. <https://aperta.ulakbim.gov.tr/record/263297>
- Heppenstall, A. J., Crooks, A. T., See, L. M., & Batty, M. (Eds.). (2011). *Agent-based models of geographical systems*. Springer Science & Business Media.
- Howlett, M., Ramesh, M., & Perl, A. (2009). *Studying public policy: Policy cycles and policy subsystems* (3rd ed.). Oxford University Press.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı Ulaşım Planlama Müdürlüğü. (2011). *İstanbul metropoliten alanı kentsel ulaşım ana planı (İUAP)*. https://www.ibb.gov.tr/tr-TR/kurumsal/Birimler/ulasimPlanlama/Documents/%C4%B0UAP_Ana_Raporu.pdf
- Johnson, L. (2015). A call for complexity: Integrated models to solve complex policy problems. *Mind & Society*, 14, 259-271.
- Kaur, N., & Kaur, H. (2022). A multi-agent based evacuation planning for disaster management: A narrative review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29, 4085-4113.
- Kiel, L. D. (2014). Complexity theory and its evolution in public administration and policy studies. *Complexity, Governance & Networks*, 1(1), 71-78.

- Lasswell, H. D. (1956). The decision process: Seven categories of functional analysis. University of Maryland Press.
- Lasswell, H., & Kaplan, A. (1950). Power and society: A framework for political inquiry. Yale University Press.
- Lazer, D., Pentland, A., Adamic, L., Aral, S., Barabási, A. L., Brewer, D., & Van Alstyne, M. (2009). Computational social science. *Science*, 323(5915), 721-723.
- Lindblom, C. E. (1959). The science of muddling through. *Public Administration Review*, 19(2), 79-88.
- Macy, M. W., & Willer, R. (2002). From factors to actors: Computational sociology and agent-based modeling. *Annual Review of Sociology*, 28, 143-166.
- Meadows, DH, Randers, J. & Meadows, DL (2013). Büyümenin sınırları (1972). *Doğanın geleceği içinde* (s. 101-116). Yale Üniversitesi Yayınları.
- Mills, C. W. (1956). The power elite. Oxford University Press.
- Moradi, H., Iskandar, R., Rodriguez, S., Singh, D., Dugdale, J., Tzempelikos, D., Sfetsos, A., Bakogianni, E. Pavlidi, E., Diaz, J. Ribas, M., Moragues, A., & Estrany, J. (2025). Improving evacuation policies through agent-based modeling and stakeholder engagement in hazard-prone areas. *International journal of disaster risk reduction*, 119, 105280.
- Mostafizi, A., Wang, H., Cox, D., Cramer, L. A., & Dong, S. (2017). Agent-based tsunami evacuation modeling of unplanned network disruptions for evidence-driven resource allocation and retrofitting strategies. *Natural Hazards*, 88(3), 1347-1372.
- Nagel, K., & Schreckenberg, M. (1992). A cellular automaton model for freeway traffic. *Journal de Physique I*, 2(12), 2221-2229.
- Peters, B. G. (2011). Institutional theory in political science: The new institutionalism (3rd ed.). Continuum.
- Rodríguez, P., Villanueva, A., Dombrowskaia, L. & Valenzuela, J. P. (2023). A methodology to design, develop, and evaluate machine learning models for predicting dropout in school systems: The case of Chile. *Education and Information Technologies*, 28(8), 10103–10149. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11515-5>
- Sabatier, P. A. (Ed.). (2007). Theories of the policy process (2nd ed.). Westview Press.
- Salgado, M. V., O'Flaherty, E., & Mejía, R. M. (2020). The role of computer simulation models in the design of public policies. *International Journal of Public Administration in the Digital Age*, 7(1), 1-17.
- Scharpf, F. W. (1997). Games real actors play: Actor-centered institutionalism in policy research. Westview Press.
- Simon, H. A. (1947). Administrative Behavior: A Study of Decision-Making Processes in Administrative Organization, Macmillan.
- Simon, H. A. (1955). A behavioral model of rational choice. *The quarterly journal of economics*, 99-118.
- Sterman, J. D. (2000). Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world. Irwin/McGraw-Hill.
- Tapp, L., Kurchyna, V., Nogatz, F., Berndt, J. O. & Timm, I. J. (2022). School's out? Simulating schooling strategies during COVID-19. F. S. Melo ve F. Fang (Ed.), *Autonomous Agents and Multiagent Systems. Best and Visionary Papers. AAMAS 2022 içinde* (Lecture Notes in Computer Science, C. 13441). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20179-0_2
- Tesfatsion, L., & Judd, K. L. (Eds.). (2006). *Handbook of computational economics: agent-based computational economics* (Vol. 2). Elsevier.
- Türkiye Bilimler Akademisi. (2020). *COVID-19 küresel salgın değerlendirme raporu*. TÜBA.
- Wu, S., Lei, Y., Yang, S., Cui, P., & Jin, W. (2022). An agent-based approach to integrate human dynamics into disaster risk management. *Frontiers in Earth Science*, 9, 818913.
- Yap, M., Cats, O., & van Arem, B. (2020). Crowding valuation in urban tram and bus transportation based on smart card data. *Transportmetrica A: Transport Science*, 16(1), 23-42.

YAZAR BEYANI/AUTHORS' DECLARATION

Bu çalışma araştırma ve yayın etiğine uygundur. Yazar(lar) tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir ve araştırma sürecinde mali destek alınmamıştır. Çalışmada kullanılan ölçek için gerekli izinler alınmıştır. Araştırma için etik kurul izni alınmış olup, izin bilgileri makale metninde belirtilmiştir.

This study complies with research and publication ethics. The authors declare no conflict of interest and report no financial support. Necessary permissions for the scale used in the study were obtained. Ethical approval was obtained for this research, and relevant information is provided in the manuscript.

YAPAY ZEKA KULLANIM BEYANI/AI USAGE STATEMENT

Yazar(lar), bu çalışmanın hazırlanma sürecinde yapay zekâ destekli araçların kullanımına ilişkin varsa katkıları beyan eder. Yapay zekâ araçları kullanılmışsa, bu araçların adı ve kullanım amacı açıkça belirtilmiştir. Çalışmanın tüm bilimsel sorumluluğu yazar(lar)a aittir.

The author(s) declare any use of AI-assisted tools in the preparation of this manuscript. If used, the name of the tool and its purpose are clearly stated. Full scientific responsibility for the content rests with the author(s).

MAKALEYE KATKI ORANI BEYANI/ CONTRIBUTION RATE OF RESEARCHERS

Yazar(lar), çalışmanın kavramsallaştırma, yöntem, veri analizi ve yazım süreçlerine katkı sunmuştur. Yazar katkı oranları aşağıda belirtilmiştir.

The author(s) contributed to the conceptualization, methodology, data analysis, and writing of the manuscript. Contribution rates are specified below.

1.Yazar: %100