

MİKRO İKTİSAT **ALANINDA GÜNCEL** **GELİŞMELER VE** **TEMATİK** **İNCELEMELER**

Editörler

Prof. Dr. Tuba Direkci

Dr. Öğr. Üyesi Suna Gönültaş

Mikro İktisat Alanında Güncel Gelişmeler ve Tematik İncelemeler

Editörler

Prof. Dr. Tuba Direkci

Dr. Öğr. Üyesi Suna Gönültaş

İmtiyaz Sahibi

Platanus Publishing®

Editörler

Prof. Dr. Tuba Direkci

Dr. Öğr. Üyesi Suna Gönültaş

Kapak & Mizanpaj & Sosyal Medya

Platanus Yayın Grubu

Birinci Basım

Ekim, 2026

Yayımcı Sertifika No

45813

ISBN

978-625-91206-2-1

©copyright

Bu kitabın yayım hakkı Platanus Publishing'e aittir. Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin alınmadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Adres: Natoyolu Cad. Fahri Korutürk Mah. 157/B, 06480, Mamak,
Ankara, Türkiye.

Telefon: +90 312 390 1 118

web: www.platanuspublishing.com

e-mail: platanuskita@gmail.com



Platanus Publishing®

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1.....	5
Eğitim ve Gelir Yakınsaması Cinsiyet Eşitsizliğini Çözer mi? Türkiye'de Finansal Kapsayıcılık	
Murat Ahmet Doğan	
BÖLÜM 2.....	21
Algoritmik Fiyatlama ve Örtülü Anlaşma: Q-Öğrenme Ajanlarıyla Bir Simülasyon Çalışması	
Cemal Öztürk Serkan Künü	
BÖLÜM 3.....	37
Tüketim Teorisinden Kredi Piyasasına: Türkiye’de Finansal Dayanıklılığın Mikro Temelleri ve Cinsiyet Farkı	
Ferhat Apaydın	
BÖLÜM 4.....	49
Yapay Zekâ ve Verimlilik Paradoksu: Makro Beklentiler, Mikro Kanıtlar ve İşgücünün Dönüşümü	
Cem Kalaycı	
BÖLÜM 5.....	59
Matching under Institutional Constraints: Feasibility, Choice, and Program Activation	
Sinan Ertemel	

BÖLÜM 1

**Eğitim ve Gelir Yakınsaması
Cinsiyet Eşitsizliğini Çözer mi?
Türkiye'de Finansal Kapsayıcılık**

Murat Ahmet Doğan¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Samsun Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu, Havacılık Yönetimi Bölümü, ORCID: 0000-0002-4646-616X

1. Giriş

Finansal kapsayıcılık, bireylerin ve hanehalklarının ekonomik risklere karşı direnç geliştirmeleri, gelirlerini daha etkin yönetme süreçlerini iyileştirmeleri ve uzun vadeli refahlarını artırmaları noktasında önemli bir mekanizma olarak değerlendirilmektedir (Doğan & Sakıncı, 2024; Durmuş, 2025). Küresel ölçekte son on beş yılda finansal hesap sahipliği oranlarında kayda değer bir artış kaydedilmiş olsa da, bu kazanımların cinsiyetler arasında homojen bir dağılım göstermediği; özellikle gelişmekte olan ekonomilerde kadınların, resmi finansal sisteme erişim noktasında erkeklerin sistematik olarak gerisinde kaldığı görülmektedir (Chandel & Arora, 2025; Demirgüç-Kunt vd. , 2013; Jedi, 2022). Bu durum, yalnızca bireysel bir eşitsizlik sorunu olmayıp, aynı zamanda kadınların ekonomik özerkliklerini, girişimcilik kapasitelerini ve dışsal şoklara karşı dayanıklılıklarını doğrudan sınırlayan yapısal bir kalkınma engeli olarak tezahür etmektedir (Sayın & Ergin, 2018; Taşdemir, 2021; Tunç, 2018).

Türkiye, finansal kapsayıcılıkta cinsiyet farkının zaman içindeki seyrini incelemek için uygun bir örnek sunmaktadır. 2011-2024 döneminde Türkiye’de ekonomik dalgalanmalar, COVID-19 pandemisi ve dijital bankacılık hizmetlerinin yaygınlaşması finansal hizmetlere erişim koşullarını önemli ölçüde değiştirmiştir (Azevedo vd. , 2016; Güz & Poyraz, 2024). Türkiye’de dijital bankacılığın gelişimini inceleyen çalışmalar, bu dönemde internet ve özellikle mobil bankacılık kullanımının hızla arttığını göstermektedir (Akbaş, 2023; Bulut & Akyüz, 2020; Yücel & Yücel, 2023). Söz konusu dönemde finansal hesap sahipliği oranlarında genel bir artış eğilimi gözlemlenmiş olmakla birlikte, bu gelişmenin kadın ve erkekler arasındaki finansal erişim uçurumunu ne ölçüde daralttığı ve söz konusu eşitsizliğin altında yatan temel dinamiklerin neler olduğu sorusu, Türkiye özelinde henüz yeterince açıklığa kavuşturulmamıştır. Türkiye’deki mevcut çalışmalar arasında, Global Findex göstergeleri üzerinden kadınların finansal kapsayıcılık ve dijitalleşme düzeyini inceleyen ve Türkiye’de finansal kapsayıcılığın bireysel düzeydeki belirleyicilerini ele alan çalışmalar bulunmaktadır (Güz & Poyraz, 2024; Kılıç, 2024). Bununla birlikte, mevcut literatür farklı veri dönemlerine ve finansal kapsayıcılığın belirli boyutlarına odaklanmaktadır. Bu nedenle, 2011-2024 döneminde cinsiyet farkının zaman içindeki seyrini ve bu farkın eğitim, gelir ve diğer gözlenebilir sosyoekonomik özelliklerle açıklanabilen ve açıklanamayan bileşenlerini birlikte inceleyen kapsamlı analizlere ihtiyaç vardır. Bu çalışma, söz konusu eksikliği gidermek amacıyla Türkiye’ye ait birden fazla Global Findex veri dalgasını kullanarak kapsamlı bir analiz sunmayı hedeflemektedir.

Bu çalışma üç temel araştırma sorusuna odaklanmaktadır: İlk olarak, Türkiye’de 2011-2024 döneminde kadın ve erkekler arasındaki finansal hesap sahipliği farkı istatistiksel ve ekonomik açıdan anlamlı bir değişim göstermiş midir? İkinci olarak, bu farkın ne kadarı yaş, eğitim ve gelir gibi sosyoekonomik

değişkenlerle açıklanabilmekte; ne kadarı ise söz konusu değişkenler sabitlendiğinde dahi varlığını koruyan yapısal faktörlere dayanmaktadır? Son olarak, dijital finansal hizmetlerin yaygınlaşması cinsiyet temelli eşitsizlikleri hafifletmiş midir, yoksa mevcut eşitsizlikleri dijital ortama taşıyarak yeniden mi üretmiştir? Bu soruları yanıtlamak amacıyla, Dünya Bankası Global Findex veritabanının Türkiye'ye ilişkin beş anket dalgası birleştirilerek analiz edilmiştir (WorldBank). Çalışmada, cinsiyet ve yıl etkileşimli ağırlıklandırılmış probit modelleri ile Oaxaca-Blinder ayrıştırma yöntemi kullanılarak, cinsiyet farkının zaman içindeki değişimi ve bu farkın altında yatan temel kaynaklar incelenmiştir.

2. Literatür Taraması

2.1. Finansal Kapsayıcılık ve Cinsiyet Eşitsizliği: Kavramsal Zemin

Finansal kapsayıcılık, bireylerin uygun maliyetli finansal ürün ve hizmetlere (hesap, tasarruf, kredi, ödeme) erişebilmesi olarak tanımlanır ve kalkınma iktisadında hem yoksullukla mücadelenin bir göstergesi hem de ekonomik güçlenmenin bir aracı olarak konumlandırılır (Demirgüç-Kunt vd. , 2022; Demirgüç-Kunt vd. , 2018). Dünya Bankası'nın Global Findex veri tabanı, bu kavramı ülke düzeyinde karşılaştırılabilir hale getiren en kapsamlı bireysel mikroveri kaynağıdır ve 2011'den bu yana üç yılda bir toplanmaktadır (Demirgüç-Kunt vd. , 2022).

Finansal kapsayıcılığın genel (cinsiyetten bağımsız) belirleyicilerine odaklanan çalışmalar, tutarlı bir örüntü ortaya koymaktadır. 37 Afrika ülkesini kapsayan geniş çaplı bir probit analizi, erkek olmanın, daha zengin, daha eğitilmiş ve daha yaşlı olmanın finansal kapsayıcılığı desteklediğini, bu etkiler arasında eğitim ve gelirin en güçlü belirleyiciler olduğunu; ayrıca mobil bankacılığın da geleneksel bankacılıkla aynı belirleyicilerden etkilendiğini bulmuştur (Zins & Weill, 2016). Bu bulgu, cinsiyetin tek başına değil, eğitim ve gelirle birlikte ele alınması gereken bir belirleyici olduğuna işaret etmektedir — mevcut çalışmanın Oaxaca-Blinder tasarımı da tam olarak bu üçünü birbirinden ayırtırmayı amaçlamaktadır.

Cinsiyete dayalı finansal dışlanma, bu genel çerçeve içinde ayrı bir araştırma kolu olarak gelişmiştir. Alanın öncü sistematik derlemelerinden biri, dünya genelinde finansal kapsayıcılık düzeyi artmasına rağmen kadın-erkek arasındaki farkın zaman içinde ısrarla sürdüğünü tespit etmiştir (Roy & Patro, 2022). Benzer şekilde, 2017 Global Findex verisiyle 144 ülkeyi kapsayan bir çalışma, hesap sahipliği, tasarruf, borçlanma, kredi kartı sahipliği, mobil/internet erişimi ve dijital ödeme dahil olmak üzere finansal kapsayıcılığın yedi farklı boyutunda da istatistiksel olarak anlamlı cinsiyet farkları bulmuştur (Antoničević vd. , 2022). Dünya genelinde bankasız kalan yaklaşık bir milyar yetişkinin %56'sının kadın olduğunu vurgulamıştır (Demirgüç-Kunt vd. , 2018). Pakistan örneğinde yapılan yakın tarihli bir çalışma da kadınların resmi hesap ve dijital finansal hizmetlere erişiminin erkeklerin belirgin şekilde gerisinde kaldığını, 2021 Findex verisiyle

kadınların yalnızca %13'ünün resmi banka hesabına sahip olduğunu, erkeklerde ise bu oranın %34'e çıktığını raporlamıştır (Razzaq vd. , 2024).

Finansal kapsayıcılıktaki cinsiyet farkının kökenlerine ilişkin teorik tartışmalar, bu çalışma kapsamında üç temel alan üzerinden sistematik bir çerçeveye oturtulmuştur: Beşeri sermaye kanalı, kadınların eğitim ve gelir düzeylerinin erkeklere kıyasla sistematik olarak daha düşük olmasından kaynaklanan dolaylı dışlanma süreçlerini; yapısal ve kurumsal kanal, kimlik belgesi edinme zorlukları, fiziksel şube erişimi, bankacılık personelinin yaklaşımları ve kadınları orantısız biçimde kısıtlayan yasal düzenlemeler gibi yapısal engelleri; normatif ve özerklik odaklı kanal ise hanehalkı içi karar alma mekanizmaları ile kadının finansal işlemleri kendi iradesiyle gerçekleştirme kapasitesindeki kısıtları ifade etmektedir. Yapısal ve kurumsal kanalın belirleyiciliğine dair ampirik literatür, özellikle gelişmekte olan ekonomilerde kadınlara yönelik yasal kısıtlamaların, finansal kapsayıcılıktaki cinsiyet uçurumuyla istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki içerisinde olduğunu ortaya koymaktadır (Demirgüç-Kunt vd. , 2013). Bu üçlü ayrım, incelenen literatürdeki Demirgüç-Kunt vd. (2013) ve Özşuca (2019b) çalışmalarının sentezlenmesiyle oluşturulmuştur ve ayırıştırma yöntemlerinin yorumlanmasında bir çerçeve olarak kullanılmaktadır.

2.2. Cinsiyet Farkının Kaynağına Dair Karışık Ampirik Kanıtlar

Finansal kapsayıcılıkta gözlemlenen cinsiyet farklarının sosyo-ekonomik göstergelerle "açıklanabilir" olup olmadığı ya da yapısal bir nitelik taşıyıp taşımadığı sorusu literatürde kesin bir uzlaşıya sahip değildir; ampirik bulgular, çalışılan bölge ve bağlama göre önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Sahra Altı Afrika'da birey ve işletme düzeyinde yürütülen kapsamlı bir analiz, ham cinsiyet farkının mevcut olduğunu, ancak bireylerin temel sosyo-ekonomik özelliklerinin kontrol edilmesiyle bu farkın büyük oranda ortadan kalktığını saptamıştır (Aterido vd. , 2013). Bu sonuç, cinsiyet farkının büyük ölçüde "açıklanabilir" olduğu, yani temelde bir kaynak/fırsat eşitsizliği meselesi olduğu görüşünü desteklemektedir.

Buna karşılık, yoksul hanehalkları üzerine yapılan başka bir çalışma, finansal kapsayıcılığın refah kazanımlarının kadın reisli hanehalklarında daha belirgin olduğunu, ancak kadınların finansal sisteme erişiminin yapısal engellerle (düşük gelir, dokümantasyon eksikliği, kurumsal güvensizlik) sınırlandığını göstermiştir (Swamy, 2014). Bu iki çalışmanın farklı sonuçlara ulaşması, cinsiyet farkının "açıklanabilirlik derecesinin" evrensel değil, bölgeye, gelir düzeyine ve kullanılan yöntemle bağlı olarak değiştiğine işaret etmektedir. Türkiye bağlamında finansal kapsayıcılıktaki cinsiyet farkının büyük ölçüde açıklanamayan bileşenden kaynaklandığını ortaya koyan bu bulgu, izole bir değerlendirmenin ötesinde, literatürdeki karşılaştırmalı perspektifler ışığında

bütüncül bir şekilde ele alınmalıdır; söz konusu karşılaştırmalı analiz Bölüm 4 kapsamında detaylandırılmıştır.

2.3. Ayırıştırma Yöntemleri: Oaxaca-Blinder ve Türevleri

Oaxaca-Blinder ayırıştırması, başlangıçta cinsiyete dayalı ücret farkını incelemek için geliştirilmiş olup sonraki yıllarda finansal kapsayıcılık farkının analizine de uyarlanmıştır (Blinder, 1973; Oaxaca, 1973). Peru için 2024 yılına ait ulusal hanehalkı anketi verisiyle yapılan bir çalışma, finansal kapsayıcılıktaki cinsiyet farkının büyük kısmının “açıklanamayan” bileşenden — yani aynı eğitim, gelir ve istihdam durumuna sahip olsalar bile kadınların bu özelliklerden erkeklerle aynı “getiriyi” elde edememesinden — kaynaklandığını bulmuştur (Quispe-Mamani vd. , 2025). Bu bulgu, yapısal eşitsizliklerin salt ekonomik gelişmeyle kendiliğinden çözülmediğine işaret etmektedir. Sahra-Altı Afrika'da 25 ülkeyi 2021 Global Findex verisiyle inceleyen bir başka çalışma, Fairlie (2005) ayırıştırma yöntemini kullanarak erkeklerin finansal hesaba erişim oranının (%43,7) kadınlardan (%32,7) belirgin şekilde yüksek olduğunu ve farkın açıklanabilir payının ülkenin gelir düzeyine göre değiştiğini — yüksek gelirli ülkelerde %79,6, düşük gelirli ülkelerde %65 oranında açıklanabilir olduğunu — bulmuştur (Loaba, 2023). Bu çalışma, mevcut bölümün çok değişkenli ayırıştırma tasarımı metodolojik bir emsal oluşturmaktadır; ayrıca dikkat çekici biçimde, Loaba (2023) bulgusunda açıklanan bileşen çoğunlukta, aşağıda sunulacak Türkiye bulgusunda açıklanamayan bileşenin ezici çoğunlukta olması, Türkiye örneğinin yapısal eşitsizlik açısından daha kötümser bir tablo çizdiğine işaret etmektedir.

İkili (0/1) bağımlı değişkenler için doğrusal olasılık modeli temelli Oaxaca-Blinder ayırıştırmasının bir sınırlılığı, öngörülen olasılıkların teorik olarak 0-1 aralığının dışına çıkabilmesidir. Bu sorunu aşmak için geliştirilen doğrusal olmayan bir alternatif, Fairlie (2005) tarafından önerilen ve logit/probit modelleri temel alan ayırıştırma yöntemidir. Mevcut bölümdeki ayırıştırma, literatürdeki yaygın uygulamayla tutarlı şekilde doğrusal olasılık modeli temelinde yapılmıştır.

2.4. Dijital Finansal Hizmetler ve Cinsiyet: "Sıçrama" Hipotezinin Sınırları

Gelişmekte olan ekonomilerde mobil para ve dijital bankacılığın, geleneksel şube bankacılığının önündeki fiziksel erişim ve belge yükü gibi engelleri atlayarak finansal kapsayıcılığı hızlandırabileceği yönündeki "dijital sıçrama" (leapfrogging) hipotezi, literatürde geniş ilgi görmüştür. Ancak güncel bulgular bu iyimser çerçeveyi büyük ölçüde sınırlandırmaktadır. GSMA'nın 2025 Findex analizine göre, mobil para hesap sahipliğindeki cinsiyet farkı 2021'den 2024'e daralmak yerine genişlemiştir: düşük-orta gelirli ülkelerde kadınların mobil para hesabına sahip olma olasılığı erkeklere kıyasla 2021'de %30 daha düşükken, bu oran 2024'te %36'ya yükselmiştir (GSMA, 2025).

Bu örüntü ülke bağlamına göre de farklılaşmaktadır. Sekiz düşük-orta gelirli ülkeyi 2013-2016 dönemi boyunca izleyen bir panel çalışması, yerleşik mobil para piyasalarında (Kenya, Tanzanya, Uganda) cinsiyetin bağımsız bir etkisinin kalmadığını, buna karşılık yeni gelişmekte olan piyasalarda (Bangladeş, Hindistan, Endonezya, Nijerya, Pakistan) cinsiyet farkının zamanla arttığını bulmuştur (Reynolds vd. , 2023). Bu bulgu, dijital finansal hizmetlerin cinsiyet eşitsizliğini otomatik olarak çözmediğini, aksine piyasanın olgunluk düzeyine bağlı olarak eşitsizliği yeniden üretebileceğini göstermektedir.

2.5. Türkiye'ye Özgü Literatür

Türkiye bağlamında finansal kapsayıcılık ve cinsiyet ilişkisini inceleyen görece sınırlı ama büyüyen bir literatür bulunmaktadır. Dijitalleşmenin Türkiye'deki finans sistemi üzerindeki etkisini inceleyen bir çalışma, internet bankacılığı ve özellikle mobil bankacılık kullanımının hızla arttığını, aktif dijital bankacılık müşteri sayısının 2018-2019 arasında 42 milyondan 53 milyona yükseldiğini raporlamıştır (Bulut & Akyüz, 2020). Bu bulgu, mevcut bölümün mobil hesap sahipliğinde gözlemlendiği hızlı büyümeyle örtüşmektedir. Türkiye'de finansal kapsayıcılığın il ve bölge düzeyinde eşitsizliğini inceleyen bir başka çalışma, İstanbul ve batı bölgelerinin sürekli olarak en yüksek kapsayıcılık düzeyine sahip olduğunu, doğu ve güneydoğu bölgelerinin ise geride kaldığını göstermiştir (Sarigül, 2021). Bu bölgesel boyut, cinsiyet farkının Türkiye içinde coğrafi olarak nasıl farklılaştığına dair ileride araştırılabilecek tamamlayıcı bir perspektif sunmaktadır.

Yakın tarihli bir çalışma, Dünya Ekonomik Forumu'nun Küresel Cinsiyet Uçurumu Endeksi verilerini kullanarak Türkiye'deki toplumsal cinsiyet eşitsizliğinin seyrini 2023 ve 2024 yılları için karşılaştırmalı biçimde incelemiştir; Türkiye'nin 146 ülke arasında 2023'te 129. sırada, 2024'te ise 127. sırada yer aldığını; sınırlı ilerlemeye karşın yapısal zorlukların devam ettiğini ortaya koymuştur (Savaşkan, 2026). 2021 Global Findex verisiyle Türkiye'ye özel bir probit modeli kuran bir başka çalışma, cinsiyet, eğitim ve gelirin hesap sahipliği ve tasarruf davranışı üzerinde anlamlı etkileri olduğunu, marjinal etkiler açısından en güçlü belirleyicinin eğitim olduğunu raporlamıştır (Güz & Poyraz, 2024). Bu bulgu, mevcut bölümün kendi modelinde eğitimin en yüksek katsayıya sahip olmasıyla doğrudan örtüşmektedir. Özşuca (2019a) ve Özşuca (2019b) iki ayrı çalışma da cinsiyet ve dijitalleşme eksenine doğrudan odaklanan, bu bölümün en yakın kavramsal emsalleri arasındadır. Ayrıca, Takmaz vd. (2024), Türkiye'de finansal kapsayıcılığın il düzeyinde eşitsizliğini inceleyerek bölgesel farklılıkların cinsiyet farkıyla nasıl kesiştiğine dair tamamlayıcı bir perspektif sunmaktadır.

3. Veri ve Yöntem

3.1. Veri Kaynağı

Global Findex Veritabanı, Dünya Bankası tarafından 2011 yılından itibaren üç yılda bir gerçekleştirilen ve dünya genelinde 140'ın üzerinde ülkede yaşayan 15 yaş ve üzeri yetişkinlerin finansal davranışlarını ölçen, ulusal düzeyde temsiliyet sağlayan bir araştırmadır (Demirgüç-Kunt vd. , 2022). Türkiye’de her anket dalgası, Gallup World Poll çerçevesinde, bölgesel ve demografik özellikler bakımından tabakalandırılmış örneklemeler kullanılarak uygulanmaktadır (Demirgüç-Kunt vd. , 2013). Bu çalışmada, Türkiye’ye ilişkin beş anket dalgası birleştirilerek 5.003 gözlemden oluşan bir veri seti oluşturulmuştur. Bununla birlikte, bu tasarımın önemli bir sınırlılığı bulunmaktadır: Findex, aynı bireylerin yıllar boyunca izlendiği gerçek bir panel veri seti değil, her dalgada farklı bireylerden veri toplanan tekrarlanan kesitsel bir araştırmadır. Bu nedenle, zaman içerisindeki değişimler bireysel düzeydeki değişimler olarak değil, örneklem düzeyindeki eğilimler olarak yorumlanmalıdır.

Findex’in resmi tanımına göre hesap sahipliği, bireyin kendi adına veya başka biriyle ortak olarak bir banka, finansal kuruluş ya da mobil para sağlayıcısında hesaba sahip olmasıdır. Bu bölümde “hesap sahipliği” ve “finansal hesap sahipliği” aynı değişkeni ifade etmektedir. Bağımsız değişkenler cinsiyet, yaş, eğitim düzeyi ve gelir dilimidir. Sağlamlık kontrollerinde tasarruf, borçlanma ve mobil hesap sahipliği de incelenmiştir. Mobil hesap sahipliği, genel hesap sahipliğinin bir alt kümesi olduğu için ana modelde bağımsız değişken olarak değil, ayrı bir bağımlı değişken olarak ele alınmıştır (Adera & Abdisa, 2023; Hasan vd. , 2021).

Beş Findex dalgası, değişken kodlama biçimleri açısından birbirinden farklılık göstermektedir. Bu farklılığı standart bir kodlamaya dönüştürme sürecinde, cinsiyet değişkeninin sayısal kodlamasının 2021 ve 2024 dalgalarında önceki dalgalardan ters yönde olduğu tespit edilmiştir. Bu hata, işgücüne katılım değişkeniyle yapılan bir çapraz doğrulama sırasında ortaya çıkarılmıştır: düzeltme öncesi kodlamaya göre "kadın" olarak işaretlenen grubun işgücüne katılım oranı, TÜİK'in resmi olarak bildirdiği kadın işgücüne katılım oranıyla (yaklaşık %30) tutarsız çıkmıştır. Kodlama yönü düzeltildikten sonra, işgücüne katılım oranları resmi istatistiklerle uyumlu hale gelmiştir (Akbulut, 2023; Alp & Aksoy, 2021).

3.2. Yöntem

Tüm modellerde, örneklem ulusal temsiliyetini korumak amacıyla anket ağırlıkları kullanılmıştır. Hesap sahipliğinin belirleyicilerini tahmin etmek için ağırlıklandırılmış bir probit modeli kullanılmış (Ana Model), ardından cinsiyet ile anket yılı arasında bir etkileşim terimi eklenerek farkın zaman içindeki seyri test edilmiştir (Etkileşim Modeli). Mobil hesap sahipliği ayrı bir bağımlı değişken

olarak modellenmiş (Kanal Analizi), aynı tasarım tasarruf ve borçlanma davranışları için de tekrarlanmıştır (Sağlamlık Kontrolleri). Enflasyonun hesap sahipliğiyle ilişkisini inceleyen keşifsel bir model de tahmin edilmiş, ancak örnekleme yalnızca beş farklı yıl gözlemi bulunduğundan bu modelde yıl sabit etkileri kullanılamamış, dolayısıyla bu ilişki nedensel değil yalnızca tanımlayıcı olarak yorumlanmıştır.

Son olarak, gözlemlenen kadın-erkek hesap sahipliği farkının ne kadarının ölçülebilir özelliklerdeki farklılıklardan, ne kadarının yapısal etkenlerden kaynaklandığını ayırtırmak amacıyla, her anket dalgası için ayrı ayrı Oaxaca-Blinder ayrıştırması, doğrusal olasılık modeli temelinde uygulanmıştır. Tüm analizler Stata istatistik yazılımında gerçekleştirilmiştir.

4. Bulgular ve Tartışma

Tablo 1. Cinsiyete Göre Hesap Sahipliği Oranları, 2011-2024

Yıl	Erkek	Kadın	Fark (puan)
2011	%84,9	%40,6	44,3
2014	%75,8	%50,4	25,4
2017	%86,7	%66,3	20,3
2021	%88,4	%70,5	17,9
2024	%93,0	%76,3	16,8

Kaynak: World Bank Global Findex Veritabanı (2011–2024), yazarın hesaplamaları.

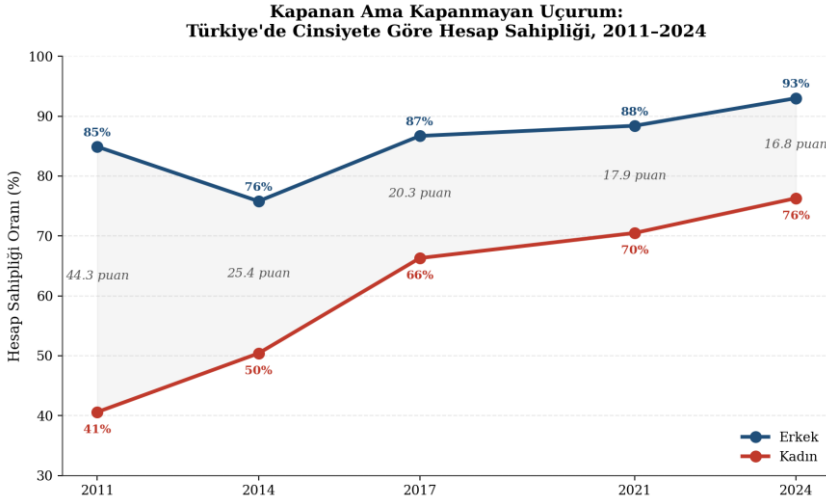
Ham veriler, cinsiyet farkının 2011'den 2024'e 44,3 puandan 16,8 puana gerilediğini göstermektedir. Bu daralma eğilimi küresel literatürle tutarlıdır (Azevedo vd. , 2016). Ağırlıklandırılmış probit modeli, kadın olmanın hesap sahibi olma olasılığını, diğer tüm özellikler sabitken, ortalama 24,7 yüzde puanı düşürdüğünü göstermektedir (yüksek istatistiksel anlamlılık düzeyinde). Eğitim düzeyi arttıkça hesap sahipliği olasılığı da düzenli biçimde artmakta olup bu, eğitimi en güçlü belirleyici olarak bulan Türkiye'ye özgü bir başka çalışmayla doğrudan örtüşmektedir (Özşuca, 2019a). Cinsiyet ile anket yılı arasındaki etkileşim testi, farkın 2011'e kıyasla sonraki her dalgada anlamlı şekilde daraldığını doğrulamaktadır; daha kesin bir tablo için, her yıl için ayrı hesaplanan marjinal etki Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 2. Kadın-Erkek Hesap Sahipliği Farkı, Model-Düzeltilmiş Marjinal Etkiler

Yıl	Marjinal Etki (yüzde puanı)
2011	-43,1
2014	-22,3
2017	-25,5
2021	-19,2
2024	-20,5

Kaynak: World Bank Global Findex Veritabanı (2011–2024), yazarın hesaplamaları.

Model tarafından düzeltilmiş bu fark, ham betimsel farktan (Tablo 1) farklı bir örüntü göstermektedir: daralma düz ve kesintisiz değil, dalgalıdır. Fark 2011'den 2014'e keskin biçimde daralmış, 2017'de hafifçe genişlemiş, 2021'de en dar noktasına ulaşmış ve 2024'te tekrar hafifçe genişlemiştir. Bu örüntü, "genel olarak daralan ama düz bir çizgide ilerlemeyen bir cinsiyet farkı" şeklinde tanımlanabilir.



Şekil 1. Türkiye'de Cinsiyete Göre Hesap Sahipliği Oranlarının Yakınsaması, 2011–2024
Kaynak: World Bank Global Findex Veritabanı (2011–2024), yazarın hesaplamaları.

Mobil hesap sahipliği, tanım gereği genel hesap sahipliğinin bir alt kümesi olduğundan ayrı bir bağımlı değişken olarak modellenmiştir. Kadın olmak, mobil hesap sahipliğini de anlamlı şekilde düşürmektedir; yani cinsiyet farkı yalnızca geleneksel bankacılıkta değil, dijital/mobil kanalda da sürmektedir. Bununla birlikte, mobil hesap sahipliği 2014'ten 2024'e istikrarlı ve güçlü bir şekilde artmaktadır (bkz. Şekil 2). Bu sonuç, mobil para hesabındaki küresel cinsiyet farkına ilişkin GSMA (2025) bulgusuyla karşılaştırıldığında, Türkiye'nin farkı

sınırlı tutarak hızlı bir genel büyüme kaydettiğini, dolayısıyla nispeten olumlu bir konumda olduğunu göstermektedir.

Türkiye'de Mobil Hesap Sahipliğinin Büyümesi, 2014-2024



Şekil 2. Türkiye'de Mobil Hesap Sahipliğinin Büyümesi, 2014–2024

Kaynak: World Bank Global Findex Veritabanı (2011–2024), yazarın hesaplamaları.

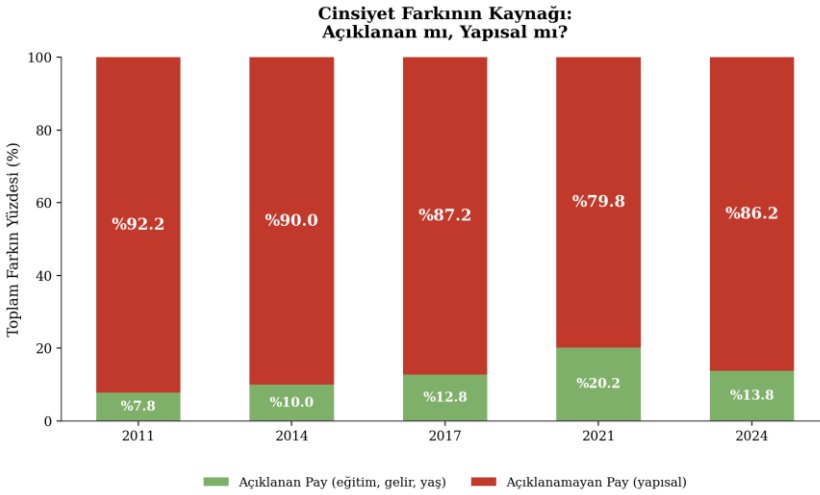
Tasarruf davranışında cinsiyetin etkisi istatistiksel olarak anlamsız çıkarken, borçlanma davranışında yeniden güçlü ve anlamlı çıkmıştır. Bu, cinsiyet farkının finansal sistemin her boyutunda eşit güçte olmadığını göstermektedir: erişimde (hesap sahipliğinde) ve dış kaynak kullanımında (borçlanmada) güçlü, davranışta (tasarrufta) daha zayıftır. Bu çok boyutlu örüntü, farklı finansal kapsayıcılık boyutlarının hepsinde cinsiyet farkı bulan ama farkların büyüklüğünün boyuttan boyuta değiştiğini tespit eden küresel ölçekli çalışmalarla uyumludur.

Tablo 3. Oaxaca-Blinder Ayrıştırması: Açıklanan ve Açıklanamayan Bileşenler

Yıl	Toplam Fark	Açıklanan Pay	Açıklanamayan Pay
2011	0,442	%7,8	%92,2
2014	0,254	%10,0	%90,0
2017	0,203	%12,8	%87,2
2021	0,176	%20,2	%79,8
2024	0,168	%13,8	%86,2

Kaynak: World Bank Global Findex Veritabanı (2011–2024), yazarın hesaplamaları.

Bu, bölümün en özgün bulgusudur. Beş dalganın tamamında, gözlemlenen kadın-erkek hesap sahipliği farkının ezici çoğunluğu (yaklaşık %80 ile %92 arası) açıklanamayan bileşenden kaynaklanmaktadır. Başka bir deyişle, kadınlar erkeklerle aynı yaşta, aynı eğitim düzeyinde ve aynı gelir diliminde olsalar bile, hesap sahibi olma olasılıkları hâlâ belirgin şekilde düşüktür; eğitim ve gelirdeki gerçek farklılıklar toplam farkın yalnızca %8 ila %20'sini açıklayabilmektedir.



Şekil 3. Cinsiyet Farkının Açıklanan ve Açıklanamayan Bileşenleri, 2011–2024
Kaynak: World Bank Global Findex Veritabanı (2011–2024), yazarın hesaplamaları.

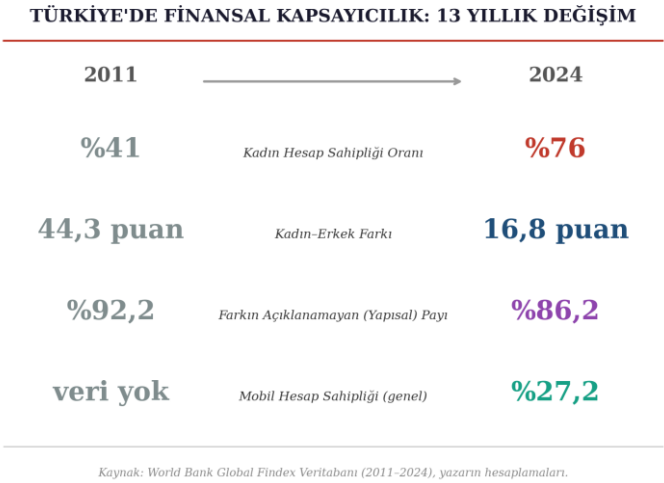
Bu bulgu, benzer yöntemi kullanan Peru ve Sahra-altı Afrika çalışmalarıyla (bkz. Bölüm 2.3) aynı yönde bir sonuca işaret etmekte, Aterido vd. (2013) çalışmasıyla — cinsiyet farkının kontrol değişkenleriyle önemli ölçüde kaybolduğunu bulan Sahra-altı Afrika işletme/birey analizi — çelişmektedir. Bu çelişki, bölgesel bağlamdaki (Türkiye'nin tek bir orta gelirli ülke olması ile 40'a yakın Afrika ülkesini kapsayan bir örneklem arasındaki) farktan ya da ele alınan finansal kapsayıcılık göstergesinin (dar tanımlı hesap sahipliği ile daha geniş "finansal hizmet kullanımı" ölçütü arasındaki) kavramsal farktan kaynaklanıyor olabilir. Ayrıca, açıklanamayan bileşen içinde eğitim değişkenlerinin katkısı çoğu yılda negatif ve anlamlı çıkmaktadır; bu, kadınların eğitim düzeylerini hesap sahipliğine dönüştürme "getirisinin" erkeklerinkinden daha düşük olduğuna işaret etmekte ve Hindistan örneğinde dijital finansal hizmetler üzerine yapılan bir çalışmanın benzer bir örüntü bulmasıyla aynı yöndedir.

5. Sonuç

Çalışmanın başında ortaya konulan “eğitim ve gelir düzeylerindeki yakınsamanın toplumsal cinsiyet eşitsizliğini ortadan kaldırıp kaldıramayacağı” sorusu, Türkiye’de resmî finansal sisteme erişim verileri çerçevesinde değerlendirildiğinde olumsuz yanıtlanmaktadır. Bulgular, Türkiye’de finansal kapsayıcılık açısından kadınlar lehine gerçek ve ölçülebilir bir ilerleme kaydedildiğini; ancak bu ilerlemenin arka planındaki yapısal eşitsizliklerin büyük ölçüde varlığını sürdürdüğünü ortaya koymaktadır. Kadınların enformel sosyal ağlar aracılığıyla belirli bir dirençlilik geliştirebilmesine karşın, resmî finansal sisteme erişimde toplumsal cinsiyet eşitliğinin henüz sağlanmadığı görülmektedir. Bu çerçevede elde edilen sonuçlar, finansal kapsayıcılıktaki artışın toplumsal cinsiyet eşitsizliğini kendiliğinden ortadan kaldırmadığı

yönündeki güncel literatür tartışmalarını Türkiye örneği üzerinden güçlü ampirik bulgularla desteklemektedir.

Dolayısıyla, finansal sistemin işleyişinde ortaya çıkan yapısal engeller ve toplumsal cinsiyet normları, yalnızca sosyoekonomik göstergelerdeki iyileşmelerle aşılabilecek nitelikte değildir. Bu eşitsizliklerin giderilebilmesi için politika yapıcılarının finansal okuryazarlığı ve gelir artışını destekleyen önlemlerin ötesine geçerek kadınların iş gücüne katılımını artırmayı ve toplumsal cinsiyet rollerini dönüştürmeyi hedefleyen kapsamlı ve bütüncül bir politika çerçevesi benimsemesi gerekmektedir (Göçer & Aynacı, 2025).



Şekil 4. Özet: 2011'den 2024'e Değişen Rakamlar

KAYNAKÇA

- Adera, A., & Abdisa, L. T. (2023). Financial inclusion and women's economic empowerment: Evidence from Ethiopia. *Cogent Economics & Finance*, 11(2), 2244864. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/23322039.2023.2244864>
- Akbaş, F. (2023). Bankacılıkta dijital dönüşüm ve FinTech. *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 9(2), 1–12. <https://doi.org/https://izlik.org/JA23FH64ZD>
- Akbulut, N. (2023). Türkiye’de işgücü piyasasının dışında kalan kesim üzerine bir inceleme. *Politik Ekonomik Kuram*, 7(2), 350–369. <https://doi.org/https://doi.org/10.30586/pek.1333979>
- Alp, G. T., & Aksoy, B. (2021). Bilim, teknoloji ve kadın: Çalışmanın geleceğine dair bir değerlendirme. *Pamukkale Üniversitesi İşletme Araştırmaları Dergisi*, 8(1), 248–264. <https://doi.org/https://doi.org/10.47097/piar.932215>
- Antonijević, M., Ljumović, I., & Ivanović, Đ. (2022). Is there a gender gap in financial inclusion worldwide? *Journal of Women's Entrepreneurship and Education*(1-2), 79–96. <https://doi.org/10.28934/jwee22.12.pp79-96>
- Aterido, R., Beck, T., & Iacovone, L. (2013). Access to finance in Sub-Saharan Africa: is there a gender gap? *World development*, 47, 102–120. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2013.02.013>
- Azevedo, J. P., Inan, O. K., & Yang, J. S. (2016). How equitable is access to finance in turkey? evidence from the latest global FINDEX. *Evidence from the Latest Global Findex (January 28, 2016). World Bank Policy Research Working Paper*(7541). <https://doi.org/https://ssrn.com/abstract=2724228>
- Blinder, A. S. (1973). Wage discrimination: reduced form and structural estimates. *Journal of Human resources*, 436–455. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/144855>
- Bulut, E., & Akyüz, G. Ç. (2020). Türkiye’de Dijital Bankacılık ve Ekonomik Büyüme İlişkisi. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 42(2), 223–246. <https://doi.org/https://doi.org/10.14780/muiibd.854325>
- Chandel, M., & Arora, M. (2025). Achieving the sustainable development goals through financial inclusion: a bibliometric and content analysis. *Tourism & Management Studies*, 21(1), 21–37. <https://doi.org/https://doi.org/10.18089/tms.20250102>
- Demirgüç-Kunt, A., Klapper, L., Singer, D., & Ansar, S. (2022). *The Global Findex Database 2021: Financial inclusion, digital payments, and resilience in the age of COVID-19*. World Bank Publications.
- Demirgüç-Kunt, A., Klapper, L., Singer, D., Ansar, S., & Hess, J. (2018). *The Global Findex Database 2017: Measuring financial inclusion and the fintech*

- Demirgüç-Kunt, A., Klapper, L. F., & Singer, D. (2013). Financial inclusion and legal discrimination against women: evidence from developing countries. *World Bank Policy Research Working Paper*(6416).
<https://doi.org/https://ssrn.com/abstract=2254240>
- Doğan, Ş., & Sakıncı, İ. (2024). Finansal kapsayıcılık üzerine bibliyometrik bir araştırma. *JOEEP: Journal of Emerging Economies and Policy*, 9(Special Issue), 222–233. <https://doi.org/https://izlik.org/JA46AL76HM>
- Durmuş, V. (2025). Türkiye’de Finansal Katılımın Sağlık Harcamaları İçin Borçlanma, Endişeler ve Zorluk Algısına Etkisi. *İstanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(2), 453–471.
<https://doi.org/https://doi.org/10.17336/igusbd.1403999>
- Fairlie, R. W. (2005). An extension of the Blinder-Oaxaca decomposition technique to logit and probit models. *Journal of economic and social measurement*, 30(4), 305–316. <https://doi.org/https://doi.org/10.3233/JEM-2005-0259>
- Göçer, Ş., & Aynacı, Y. (2025). Türkiye’de Cinsiyet Eşitliği ile Finansal Gelişme, Ekonomik Büyüme ve Enflasyon Arasındaki İlişki: Bir Nedensellik Analizi. *Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Turhal Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3(1), 15–25. <https://doi.org/https://izlik.org/JA93ZU72RC>
- GSMA. (2025). Progress in closing the mobile money gender gap has stalled: Latest evidence from Findex 2025. 26.07.2026 tarihinde <https://www.gsma.com/solutions-and-impact/connectivity-for-good/mobile-for-development/programme/connected-women/progress-in-closing-the-mobile-money-gender-gap-has-stalled-latest-evidence-from-findex-2025/> adresinden erişilmiştir.
- Güz, T., & Poyraz, G. (2024). Digital financial inclusion and its determinants: Evidence from Türkiye. *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi*, 9(4), 700–714. <https://doi.org/https://doi.org/10.30784/epfad.1517200>
- Hasan, M., Le, T., & Hoque, A. (2021). How does financial literacy impact on inclusive finance? *Financial innovation*, 7(1), 40.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s40854-021-00259-9>
- Jedi, F. F. (2022). The relationship between financial inclusion and women’s empowerment: evidence from Iraq. *Journal of Business and Management Studies*, 4(3), 104–120.
<https://doi.org/https://doi.org/10.32996/jbms.2022.4.3.10>
- Kılıç, E. (2024). Türkiye’de Toplumsal Cinsiyet Eşitsizliğinin Finansal Boyutunun Küresel Findex Araştırması Göstergeleri Üzerinden Değerlendirilmesi. *Nişantaşı Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(1), 144–165.
<https://doi.org/https://doi.org/10.52122/nisantasisbd.1451784>

- Loaba, S. (2023). Gender-related differences in access to financial account in Sub-Saharan Africa. *International Economic Journal*, 37(4), 601–617. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10168737.2023.2263891>
- Oaxaca, R. (1973). Male-female wage differentials in urban labor markets. *International economic review*, 14(3), 693–709. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/2525981>
- Özşuca, E. A. (2019a). Financial inclusion in Turkey: Evidence from individual level data. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 74(4), 1377–1400. <https://doi.org/https://doi.org/10.33630/ausbf.614032>
- Özşuca, E. A. (2019b). Gender gap in financial inclusion: Evidence from MENA. *Economics and Business Letters*, 8(4), 199–208. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/11159/4105>
- Quispe-Mamani, J. C., Aguilar-Pinto, S. L., Incacutipa-Limachi, D. J., Quispe-Layme, M., Flores-Turpo, G. A., Cáceres-Quenta, R., Alegre-Larico, M. I., Mamani-Flores, A., Velásquez-Velásquez, W. L., & Rosado-Chávez, C. A. (2025). Decomposing the gender gap in financial inclusion: An Oaxaca–Blinder analysis for Peru, 2024. *Social Sciences*, 14(9), 567. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/socsci14090567>
- Razzaq, A., Qin, S., Zhou, Y., Mahmood, I., & Alnafissa, M. (2024). Determinants of financial inclusion gaps in Pakistan and implications for achieving SDGs. *Scientific Reports*, 14(1), 13667. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-024-63445-6>
- Reynolds, T. W., Biscaye, P. E., Leigh Anderson, C., O'Brien-Carelli, C., & Keel, J. (2023). Exploring the gender gap in mobile money awareness and use: evidence from eight low and middle income countries. *Information Technology for Development*, 29(2-3), 228–255. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/02681102.2022.2073579>
- Roy, P., & Patro, B. (2022). Financial inclusion of women and gender gap in access to finance: A systematic literature review. *Vision*, 26(3), 282–299. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/09722629221104205>
- Sarıgül, H. (2021). Bölgelere ve illere göre Türkiye finansal kapsayıcılık endeksi. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*(90), 79–100. <https://doi.org/https://doi.org/10.25095/mufad.875965>
- Savaşkan, E. (2026). 2023-2024 Yılları Küresel Cinsiyet Uçurumu Endeksi Bağlamında Bir Karşılaştırma: Türkiye Örneği. *Akdeniz Kadın Çalışmaları ve Toplumsal Cinsiyet Dergisi*, 9(1), 133–155. <https://doi.org/https://doi.org/10.33708/ktc.1738831>
- Sayın, H. C., & Ergin, B. Z. (2018). Ekonomik Kalkınma ve Büyüme için Bir Fırsat Olarak Kadın Girişimciler. *GSI Journals Serie B: Advancements in Business and Economics*, 1(1), 15–29. <https://doi.org/https://izlik.org/JA84EF27HR>

- Swamy, V. (2014). Financial inclusion, gender dimension, and economic impact on poor households. *World development*, 56, 1–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2013.10.019>
- Takmaz, S., Sarı, E., & Alataş, S. (2024). Financial inclusion in Turkey: unpacking the provincial inequality and its determinants. *Applied Economics Letters*, 31(7), 661–669. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/13504851.2022.2141442>
- Taşdemir, S. S. (2021). Sosyo-Ekonomik kalkınmada kadın girişimciler ve işletmeleri. *Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi*, 16(2), 76–90. <https://doi.org/https://izlik.org/JA87WX66DA>
- Tunç, M. (2018). Kalkınmada kadın ayrımcılığı ve toplumsal cinsiyet eşitsizliğinin rolü: Ülkelerarası farklı gelir gruplarına göre yatay kesit analiz. *Sosyoekonomi*, 26(38), 221–251. <https://doi.org/https://doi.org/10.17233/sosyoekonomi.2018.04.13>
- WorldBank. The Global Findex Database. 27.07.2026 tarihinde <https://www.worldbank.org/en/publication/globalfindex> adresinden erişilmiştir.
- Yücel, D., & Yücel, R. (2023). Finansal İnovasyon: Bankacılık Sektöründe Bir İnceleme1. *Dijitalleşmenin Finans Sektörüne Getirdiği Yenilikler*, 1.
- Zins, A., & Weill, L. (2016). The determinants of financial inclusion in Africa. *Review of development finance*, 6(1), 46–57. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/10520/EJC193922>

BÖLÜM 2

**Algoritmik Fiyatlandırma ve Örtülü Anlaşma:
Q-Öğrenme Ajanlarıyla Bir Simülasyon
Çalışması**

Cemal Öztürk¹
Serkan Künü²

¹ Arş. Gör. Dr., Iğdır Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü
ORCID: 0000-0003-3850-7416

² Prof. Dr., Iğdır Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü
ORCID: 0000-0002-8641-5850

GİRİŞ

Günümüzde pek çok piyasada fiyatlar insanlar yerine yazılımlar tarafından belirlenmektedir. Çevrim içi perakende, hava yolu taşımacılığı, konaklama ve akaryakıt bu piyasaların bilinen örnekleridir. Söz konusu yazılımların önemli bir kısmı rakip fiyatlarını izlemekte ve önceden tanımlanmış kurallara göre tepki vermektedir. Pekiştirmeli öğrenmeye (reinforcement learning) dayanan yeni kuşak algoritmalar ise böyle bir kurala gereksinim duymamaktadır. Bu algoritmalar piyasanın işleyişine ilişkin bir model içermemekte, hangi fiyatın kârlı olduğunu yalnızca elde ettikleri kârı gözlemleyerek deneme yanılma yoluyla öğrenmektedir.

Rekabet iktisadı açısından temel soru, birbirinden bağımsız çalışan ve aralarında herhangi bir iletişim bulunmayan öğrenme algoritmalarının rekabetçi düzeyin üzerindeki fiyatlarda kendiliğinden buluşup buluşamayacağıdır. Böyle bir sonuç, oligopol kuramında örtülü anlaşma (tacit collusion) olarak adlandırılan durumun algoritmalar arasındaki karşılığı olacaktır. Hukuki açıdan ise bu durumda bir anlaşmadan ya da irade uyuşmasından söz edilememektedir. Harrington (2018), mevcut rekabet hukukunun bu tür durumları kapsamakta neden güçlük çektiğini ayrıntılı biçimde tartışmaktadır.

Konuya ilişkin temel çalışmalardan biri Calvano, Calzolari, Denicolò ve Pastorello (2020) tarafından gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, standart bir Bertrand oligopolünde Q-öğrenme ajanlarının rekabetçi fiyatın belirgin biçimde üzerinde fiyat belirlediğini ve bu fiyatları sapmayı cezalandıran stratejilerle sürdürdüğünü göstermiştir. Klein (2021) benzer bir sonuca ardışık fiyatlama altında ulaşmıştır. Daha önce Waltman ve Kaymak (2008), Cournot oligopolünde Q-öğrenme ajanlarının tam olmasa da kısmi bir iş birliğine ulaştığını ortaya koymuştur. Ampirik alanda Assad, Clark, Ershov ve Xu (2024), Almanya perakende akaryakıt piyasasında algoritmik fiyatlamasının yalnızca rakibi bulunan istasyonlarda kâr marjlarını artırdığını, duopol pazarlarda ise bu artışın her iki istasyonun da algoritmik fiyatlamaya geçmesi durumunda ortaya çıktığını göstermiştir. Türkiye'de Rekabet Kurumu konuyu bir uzmanlık tezinde ele almış (Karabudak, 2022), algoritmalar aracılığıyla gerçekleştirilen ihlallerin tespiti amacıyla yapay zekâ destekli izleme araçları geliştirileceğini de kamuoyuyla paylaşmıştır (Anadolu Ajansı, 2025).

Bu çalışmanın amacı, algoritmik örtülü anlaşmanın matematiksel yapısını Türkçe literatür için bütünlüklü biçimde sunmak ve Calvano vd. (2020) çerçevesini bağımsız olarak yeniden üreterek sonuçların hangi koşullara duyarlı olduğunu incelemektir. Çalışmanın ikinci kısmında oligopol modeli kurulmakta ve tekrarlanan oyunda belirli ceza stratejileri altında örtülü anlaşmanın sürdürülebilirlik koşulları türetilmektedir. Üçüncü kısımda Q-öğrenme algoritması, dördüncü kısımda simülasyon tasarımı açıklanmaktadır. Beşinci

kısımda bulgular sunulmakta, altıncı kısımda ise bu bulguların Türk rekabet hukuku açısından taşıdığı anlam tartışılmaktadır.

KURAMSAL ÇERÇEVE

Talep, Kâr ve Tek Dönemlik Denge

Piyasada N firmanın farklılaştırılmış ürünler sattığı varsayılmaktadır. Firma i 'nin talebi, McFadden (1974) tarafından geliştirilen ve Anderson, de Palma ve Thisse (1992) tarafından ürün farklılaştırması modellerine uyarlanan çok terimli logit yapısındadır:

$$q_i(\mathbf{p}) = \frac{e^{(a_i - p_i)/\mu}}{\sum_{j=1}^N e^{(a_j - p_j)/\mu} + e^{a_0/\mu}} \quad (1)$$

Burada a_i ürün kalitesini, a_0 piyasa dışı seçeneğin değerini, $\mu > 0$ ise yatay farklılaşmanın derecesini göstermektedir. $\mu \rightarrow 0$ olduğunda ürünler tam ikame hâline gelmekte ve model Bertrand (1883) paradoksuna yaklaşmaktadır. Marjinal maliyet c_i sabit olmak üzere firma i 'nin tek dönemlik kârı aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\pi_i(\mathbf{p}) = (p_i - c_i) q_i(\mathbf{p}) \quad (2)$$

Logit talebin fiyatlara göre türevleri kapalı biçimde elde edilebilmektedir:

$$\frac{\partial q_i}{\partial p_i} = -\frac{q_i(1-q_i)}{\mu}, \quad \frac{\partial q_j}{\partial p_i} = \frac{q_i q_j}{\mu} \quad (j \neq i) \quad (3)$$

(2) numaralı ifadenin p_i 'ye göre türevi sıfıra eşitlendiğinde $q_i - (p_i - c_i)q_i(1 - q_i)/\mu = 0$ koşulu elde edilir. Bu koşuldan Bertrand-Nash fiyatı için örtük bir sabit nokta denklemi türetilir:

$$p_i^N = c_i + \frac{\mu}{1 - q_i(\mathbf{p}^N)} \quad (4)$$

Kartel ise toplam kârı, diğer bir ifadeyle $\Pi = \sum_j (p_j - c_j) q_j$ toplamını maksimize etmektedir. (3) kullanıldığında bu toplamın p_i 'ye göre türevi aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial p_i} = q_i - \frac{(p_i - c_i) q_i(1 - q_i)}{\mu} + \sum_{j \neq i} \frac{(p_j - c_j) q_i q_j}{\mu} \quad (5)$$

Simetrik durumda ($a_i = a$, $c_i = c$, $p_i = p$, $q_i = q$) bu türev sıfıra eşitlenip q 'ya bölüldüğünde $1 - (p - c)(1 - q)/\mu + (N - 1)(p - c)q/\mu = 0$ ifadesi elde edilir. İfade düzenlendiğinde monopol fiyatına ulaşılır:

$$p^M = c + \frac{\mu}{1 - Nq(p^M)} \quad (6)$$

(4) ile (6) arasındaki tek fark, paydadaki q teriminin yerini Nq teriminin almasıdır. Kartel, bir firmanın fiyat indirimiyle rakiplerinden çektiği talebi hesaba kattığı için daha yüksek fiyat belirlemektedir. Çalışmada Calvano vd.

(2020) ile aynı parametreler kullanılmıştır: $a_i = 2$, $a_0 = 0$, $c_i = 1$, $\mu = 0,25$. Bu değerlerle $N = 2$ için yapılan sayısal çözümde $p^N = 1,4729$ ve $p^M = 1,9250$, firma başına kârlar ise $\pi^N = 0,2229$ ve $\pi^M = 0,3375$ olarak bulunmuştur.

Tekrarlanan Oyun ve Örtülü Anlaşmanın Sürdürülebilirliği

Tek dönemlik oyunda monopol fiyatı bir denge oluşturmamaktadır. Rakip p^M fiyatında kaldığı sürece her firma fiyatını bir miktar düşürerek kârını artırabilir. En iyi sapma fiyatı ve sapma kârı aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$p^D = \operatorname{argmax}_p \pi_i(p, p^M), \quad \pi^D = \pi_i(p^D, p^M) \quad (7)$$

Oyun sonsuz kez tekrarlandığında ve firmalar gelecekteki kârları $0 \leq \delta < 1$ faktörüyle iskonto ettiğinde durum farklılaşmaktadır. Stigler (1964), örtülü anlaşmanın sürdürülebilmesinin sapmaların fark edilip cezalandırılabilmesine bağlı olduğunu vurgulamıştır. Friedman (1971) bu düşüncüyü tetik stratejisi aracılığıyla biçimselleştirmiştir: firma, rakibi o döneme kadar hiç sapmamışsa p^M fiyatını belirlemekte, bir sapma gözlediği anda ise süresiz olarak p^N fiyatına dönmektedir. İş birliğinin bugünkü değeri $\pi^M/(1 - \delta)$, sapmanın bugünkü değeri ise $\pi^D + \delta\pi^N/(1 - \delta)$ 'dir. İş birliği ancak ilk değer ikinciden küçük olmadığında sürdürülebilir:

$$\frac{\pi^M}{1 - \delta} \geq \pi^D + \frac{\delta\pi^N}{1 - \delta} \Leftrightarrow \delta \geq \delta^* = \frac{\pi^D - \pi^M}{\pi^D - \pi^N} \quad (8)$$

Modelde $p^D = 1,6617$ ve $\pi^D = 0,4117$ olduğundan eşik değer $\delta^* = 0,393$ olarak hesaplanmaktadır. Bu eşik genel bir örtülü anlaşma koşulu değildir; monopol fiyatının süresiz Nash cezasıyla desteklendiği belirli bir stratejiye aittir. Anlaşma fiyatı, ceza biçimi ya da ceza süresi değiştiğinde eşik de değişmektedir. Bu durumu göstermek amacıyla firmaların simetrik bir p^c fiyatında anlaştığı, sapma gerçekleştiğinde k dönem boyunca Nash fiyatına dönüp ardından yeniden p^c fiyatına geçtiği varsayalım. $\pi^c = \pi_i(p^c, p^c)$ ve $\pi^D(p^c) = \max_p \pi_i(p, p^c)$ olmak üzere sapma, ancak ilk dönemdeki kazanç sonraki k dönemin iskonto edilmiş kaybını aşmadığında kârsızdır:

$$\pi^D(p^c) - \pi^c \leq (\pi^c - \pi^N) \sum_{\tau=1}^k \delta^\tau \quad (9)$$

$k \rightarrow \infty$ ve $p^c = p^M$ için (9) koşulu (8) koşuluna indirgenmektedir. Ceza süresi kısaldıkça eşitsizliğin sağ tarafı küçülmekte ve gerekli iskonto faktörü yükselmektedir. Monopol fiyatı için eşik $k = 1$ 'de 0,648, $k = 2$ 'de 0,447, $k = 3$ 'te 0,410'dur. Anlaşma fiyatı düştükçe sapmanın getirisi azalmakta ve eşik gerilemektedir. Örneğin $p^c = 1,796$ için eşik süresiz cezada 0,259, tek dönemlik cezada ise 0,349'dur. Abreu (1988), Nash'e dönüşten daha sert ceza yollarının eşliği daha da düşürebileceğini göstermiştir. Fudenberg ve Maskin (1986) tarafından kanıtlanan halk teoremi (folk theorem) ise δ yeterince büyük

olduğunda Nash kârı ile monopol kârı arasındaki hemen her kâr düzeyinin bir dengeyle desteklenebileceğini ortaya koymaktadır.

Bu sonuçlara göre örtülü anlaşma için iletişim gerekli değildir; sapmanın gözlemlenebilmesi ve cezalandırılabilmesi yeterlidir. Bununla birlikte kuram, çok sayıdaki denge arasından hangisinin seçileceği konusunda bir öngöründe bulunmamaktadır. Öğrenen algoritmaların bu denge kümesinin rekabetçi ucuna mı yoksa iş birliğine dayalı ucuna mı yöneleceği, bu nedenle sayısal olarak incelenmesi gereken bir sorudur.

Sınırlı Hafıza ve Markov Stratejileri

Algoritmaların oyunun tüm geçmişini hafızada tutması hesaplama açısından mümkün değildir. Bu nedenle çalışmada ajanların yalnızca bir önceki dönemin fiyatlarını gözlemlediği varsayılmaktadır. Fiyatlar m elemanlı sonlu bir ızgaradan, diğer bir ifadeyle $\mathcal{A} = \{P_1, \dots, P_m\}$ kümesinden seçilmektedir. Dönem t 'deki durum, bir önceki dönemin fiyat vektörüdür:

$$s_t = (p_{1,t-1}, \dots, p_{N,t-1}) \in \mathcal{S} = \mathcal{A}^N, \quad |\mathcal{S}| = m^N \quad (10)$$

Firma i 'nin stratejisi durumlardan fiyatlara tanımlı bir eşlemedir; bu anlamda $\sigma_i: \mathcal{S} \rightarrow \mathcal{A}$ biçiminde bir Markov stratejisidir. Bir dönemlik hafıza tetik stratejisini birebir temsil edememektedir. Buna karşılık rakibin önceki dönemde fiyat indirmesine aynı dönemde fiyat indirerek karşılık verme türünden cezalandırma kurallarını ifade etmeye yeterlidir. Stratejiler deterministik ve durum uzayı sonlu olduğundan, ajanlar keşfi bıraktıktan sonra sistem sonlu sayıda adımda bir çevrime (limit cycle) girmektedir. Sonuçların ölçülmesinde bu özellikten yararlanılmıştır.

Q-ÖĞRENME

Tek Ajanlı Q-Öğrenme

Q-öğrenme Watkins (1989) tarafından önerilmiş, yakınsama özellikleri ise Watkins ve Dayan (1992) tarafından kanıtlanmıştır. Algoritma, bir Markov karar sürecinde en iyi politikayı sürecin modeline ihtiyaç duymadan öğrenmektedir. Ajan, s durumunda a eylemini seçip sonrasında en iyi biçimde davranmanın değerini veren $Q(s, a)$ fonksiyonunu tahmin etmektedir. Q fonksiyonu Bellman (1957) denklemini sağlar:

$$Q^*(s, a) = \mathbb{E}[\pi(s, a) + \delta \max_{a' \in \mathcal{A}} Q^*(s', a') \mid s, a] \quad (11)$$

Ajan geçiş olasılıklarını ve kâr fonksiyonunu bilmemektedir. Her dönem gözlemlediği kâr ve bir sonraki durum aracılığıyla Q matrisinin yalnızca o dönem ziyaret edilen hücrelerini güncellemektedir:

$$Q_{t+1}(s_t, a_t) = (1 - \alpha) Q_t(s_t, a_t) + \alpha[\pi_t + \delta \max_{a'} Q_t(s_{t+1}, a')] \quad (12)$$

Burada $0 < \alpha \leq 1$ öğrenme oranını göstermektedir; (12) eski tahmin ile yeni gözleme dayanan tahminin ağırlıklı ortalamasıdır. Ortam durağan olduğunda, her durum-eylem çifti sonsuz kez ziyaret edildiğinde ve öğrenme oranları $\sum_t \alpha_t = \infty$, $\sum_t \alpha_t^2 < \infty$ koşullarını sağladığında Q_t olasılık bir ile Q^* 'a yakınsamaktadır (Watkins ve Dayan, 1992).

Keşif ve Faydalanma

Ajan her dönem en yüksek Q değerine sahip eylemi seçtiğinde hiç denemediği fiyatların değerini öğrenememektedir. Bu sorun ε -açgözlü kural ile giderilmektedir (Sutton ve Barto, 2018). Bu kurala göre ajan ε_t olasılıkla rastgele bir fiyat, $1 - \varepsilon_t$ olasılıkla ise $\arg\max_a Q_t(s_t, a)$ fiyatını seçmektedir. Keşif olasılığı zaman içinde üstel olarak azalmaktadır:

$$\varepsilon_t = e^{-\beta t} \quad (13)$$

β küçüldükçe keşif süresi uzamaktadır. Beklenen toplam keşif dönemi sayısı $\sum_{t \geq 0} e^{-\beta t} = 1/(1 - e^{-\beta}) \approx 1/\beta$ biçiminde hesaplanmakta olup $\beta = 4 \times 10^{-6}$ için yaklaşık 250 bindir. $N = 2$ ve $m = 15$ olduğunda her ajanın Q matrisi $|\mathcal{S}| \times |\mathcal{A}| = 225 \times 15 = 3375$ hücreden oluşmaktadır. Buna göre hücre başına yaklaşık 74 keşif ziyareti düşmektedir.

Çok Ajanlı Ortamda Öğrenme

Oligopolde her ajanın içinde bulunduğu ortam, rakibin stratejisini de kapsamaktadır. Firma i açısından geçiş olasılıkları σ_{-i} 'ye bağlıdır ve σ_{-i} rakip öğrendikçe değişmektedir. Bu nedenle ortam durağan değildir ve yukarıda belirtilen yakınsama sonucu geçerliliğini yitirmektedir (Buşoniu, Babuška ve De Schutter, 2008). (12) güncellemesinin bir limite ulaşacağı önceden bilinemediğinden yakınsama sayısal bir ölçütle tanımlanmıştır: her iki ajanın açgözlü stratejisi $\sigma_i(s) = \arg\max_a Q_t(s, a)$ tüm durumlar için art arda 100 bin dönem boyunca değişmediğinde oturum yakınsamış kabul edilmektedir.

Sonuçların Ölçülmesi

Farklı parametrelerle elde edilen kârları karşılaştırmak için Calvano vd. (2020) tarafından önerilen normalleştirilmiş kâr kazanç endeksi kullanılmıştır:

$$\Delta = \frac{\bar{\pi} - \pi^N}{\pi^M - \pi^N} \quad (14)$$

Burada $\bar{\pi}$, yakınsamadan sonra girilen çevrim boyunca firmaların ortalama kârını göstermektedir. Çevrimin uzunluğu L , çevrimdeki durumlar $s^{(1)}, \dots, s^{(L)}$ olmak üzere $\bar{\pi} = \frac{1}{NL} \sum_{\ell=1}^L \sum_{i=1}^N \pi_i(s^{(\ell)})$ biçiminde hesaplanır. $\Delta = 0$ rekabetçi sonuca, $\Delta = 1$ ise tam kartel sonucuna karşılık gelmektedir.

SİMÜLASYON TASARIMI

Fiyat ızgarası, Nash ile monopol fiyatları arasındaki aralığın her iki yönde yüzde on genişletilmesiyle elde edilen bölgeyi $m = 15$ eşit aralıklı noktayla kapsamaktadır:

$$P_k = p^N - \xi(p^M - p^N) + \frac{k-1}{m-1}(1 + 2\xi)(p^M - p^N), \quad k = 1, \dots, m \quad (15)$$

Burada $\xi = 0,1$ 'dir. Q matrisinin başlangıç değeri, rakiplerin fiyatlarını rastgele seçtiği varsayımı altında elde edilecek indirgenmiş kârdır: $Q_0(s, a) = \frac{1}{(1-\delta)m^{N-1}} \sum_{\mathbf{a}_{-i}} \pi_i(a, \mathbf{a}_{-i})$. Başlangıç durumu rastgele seçilmektedir. Temel parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Temel Simülasyon Parametreleri

Parametre	Simge	Değer
Firma sayısı	N	2
Kalite; dış seçenek	$a_i; a_0$	2; 0
Marjinal maliyet	c_i	1
Yatay farklılaşma	μ	0,25
İskonto faktörü	δ	0,95
Izgara büyüklüğü	m	15
Izgara genişletme payı	ξ	0,1
Öğrenme oranı	α	0,15
Keşif azalma hızı	β	4×10^{-6}
Yakınsama ölçütü		100.000 dönem
Oturum sayısı		100

Kaynak: Calvano vd. (2020) temel alınarak yazarlar tarafından düzenlenmiştir.

Her deney koşulu için farklı rastgele tohumlarla 100 bağımsız oturum çalıştırılmıştır. Öğrenme parametrelerine ilişkin duyarlılık analizinde her hücre için 50 oturum kullanılmıştır. Güven aralıkları, oturumlar arası standart hataya dayanan %95 düzeyindeki aralıklardır. Deneyler farklı tohum kümeleriyle yürütüldüğünden temel koşula ait değerler deneyler arasında küçük farklılıklar gösterebilmektedir. Simülasyonlar Python ile yazılmış ve Numba ile derlenmiştir. Temel koşulda bir oturum ortalama 1,85 milyon dönemde yakınsamaktadır.

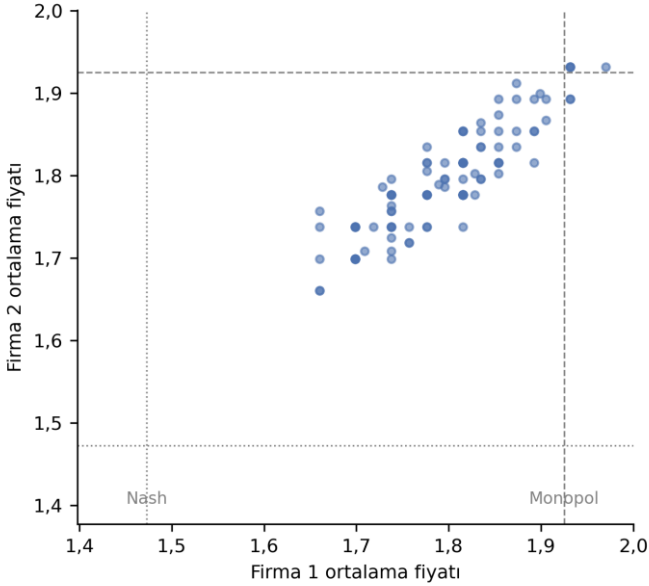
Çalışmada beş deney yürütülmüştür. D1 temel duopolü, D2 ise yakınsamış stratejilerin zorunlu bir sapmaya verdiği tepkiyi ve sapmanın kârlılığını incelemektedir. D3'te öğrenme parametreleri α ve β , D4'te iskonto faktörü δ , D5'te ise firma sayısı N değiştirilmektedir.

BULGULAR

Algoritmaların Buluştuğu Fiyatlar

Temel koşuldaki 100 oturumun tamamı yakınsamıştır. Ortalama kâr kazanç endeksi $\Delta = 0,852$, %95 güven aralığı ise $[0,832; 0,872]$ 'dir. Buna göre algoritmalar rekabetçi kâr ile kartel kârı arasındaki mesafenin yaklaşık %85'ini kapatmaktadır. Hiçbir oturumda Nash kârının altına inilmemiş, hiçbir oturumda da monopol kârı aşılmamıştır. Oturumların %53'ü tek bir fiyat çiftinde sabitlenmiş, %31'i iki dönemlik, %16'sı ise daha uzun bir çevrime yerleşmiştir.

Şekil 1'de her oturumun yakınsama sonrası ortalama fiyatları gösterilmektedir. Noktalar Nash fiyatının belirgin biçimde üzerinde, çoğunlukla monopol fiyatına yakın bir bölgede ve 45 derece doğrusu çevresinde yoğunlaşmaktadır. Ortalama fiyat 1,796'dır. İki firmanın fiyatlarının birbirine bu denli yakın olması, sonucun koordineli olduğuna işaret etmektedir.



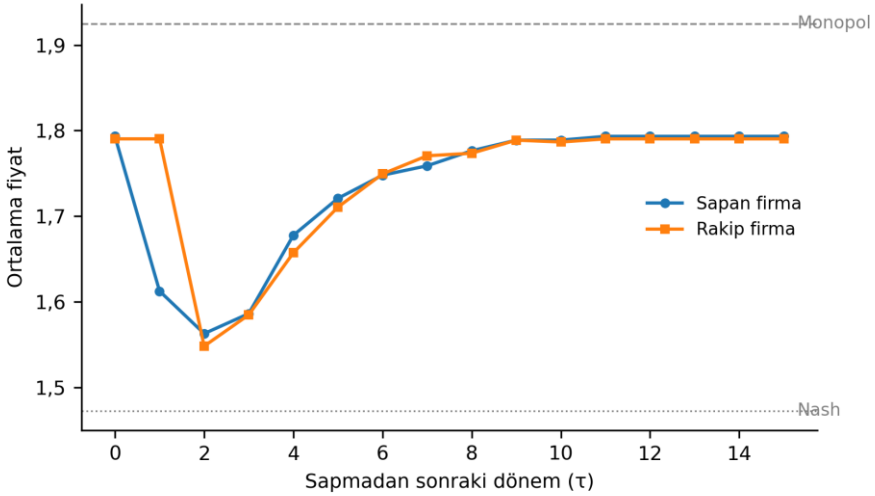
Şekil 1. Yakınsama Sonrası Oturum Başına Ortalama Fiyatlar (N = 2, 100 Oturum)

Kaynak: Yazarlar tarafından hesaplanmıştır. Noktalı çizgiler Nash, kesikli çizgiler monopol fiyatını gösterir.

Yüksek Fiyatların Korunması

Yüksek fiyatlar tek başına örtülü anlaşmanın kanıtı olarak kabul edilemez. Algoritmaların yeterince keşif yapmaması ya da birbirlerinin fiyatına tepki vermemesi durumunda da fiyatlar yüksek düzeyde kalabilir. Ayırt edici ölçüt (9) numaralı koşulun dayandığı mantıktır: gerçek bir örtülü anlaşmada sapma cezalandırılmakta ve ceza sapmayı kârsız kılmaktadır. Bu nedenle sapmadan sonraki fiyat hareketi ile sapmanın sapan firmanın toplam iskonto edilmiş kârına etkisi ayrı ayrı incelenmiştir.

Fiyat hareketinin incelenmesi amacıyla tek fiyat çiftinde sabitlenen 53 oturumda şu deney gerçekleştirilmiştir. Yakınsamadan sonra firma 1, bir dönem boyunca rakibin o dönemki fiyatına karşı tek dönemlik en iyi tepkisini oynamaya zorlanmıştır. Sonraki dönemlerde her iki ajan da öğrendikleri stratejiye göre oynamayı sürdürmüştür. Ortalama fiyat yolu Şekil 2'de sunulmaktadır.



Şekil 2. Tek Dönemlik Zorunlu Sapmaya Fiyat Tepkisi

Kaynak: Yazarlar tarafından hesaplanmıştır. Tek fiyat çiftinde yakınsayan 53 oturumun ortalamasıdır.

Sapmadan önce ortalama fiyat 1,792'dir. $\tau = 1$ 'de sapan firma fiyatını ortalama 1,613'e indirmekte, rakip ise o dönem tepki veremediği için önceki fiyatında kalmaktadır. $\tau = 2$ 'de rakibin fiyatı 1,548'e düşmekte ve sapan firmanın bir önceki dönemdeki fiyatının da altına inmektedir. Oturumların %92,5'inde rakip ikinci dönemde fiyatını düşürmüştür. Fiyatlar daha sonra kademeli olarak yükselmekte ve oturumların tamamında on beş dönem içinde sapma öncesi düzeye dönmektedir.

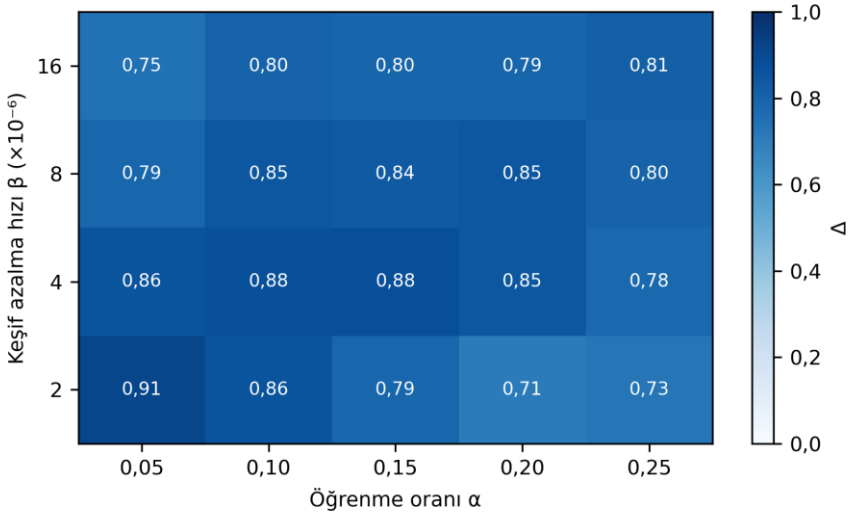
Ceza süresiz değildir; Friedman (1971) tetik stratejisinden farklı olarak yalnızca birkaç dönem sürmektedir. Sapan firma da ceza döneminde fiyatını düşürmekte, ardından iş birliğine geri dönmektedir. Bu yapı, Axelrod (1984) tarafından düzenlenen turnuvalarda öne çıkan kısasa kısas (tit-for-tat) stratejisine benzemektedir. Algoritmalarla böyle bir kural tanımlanmamıştır; söz konusu davranış yalnızca (12) güncellemesinin sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.

Fiyatların düşmesi tek başına sapmanın kârsız olduğunu göstermemektedir. Sapmanın kârlılığını ölçmek amacıyla öğrenilmiş stratejiler altında firma i 'nin iskonto edilmiş kârı, sapmalı ve sapmasız yollar için ayrı ayrı hesaplanmıştır: $V_i = \sum_{\tau=1}^{\infty} \delta^{\tau-1} \pi_{i,\tau}$. Toplam 1000 dönemde kesilmiştir; $\delta^{1000} \approx 5 \times 10^{-23}$ olduğundan kesme hatası ihmal edilebilir düzeydedir. Statik en iyi sapma, 100 oturumun 97'sinde sapan firmanın V_i değerini düşürmekte olup ortalama görelî kayıp %3,0'dır. Tek fiyat çiftinde yakınsayan 53 oturumda sapma ilk dönemde ortalama 0,039 ek kâr sağlamakta, sonraki dönemlerin iskonto edilmiş kaybı ise ortalama 0,203 olmaktadır.

Daha katı bir sınamada, yakınsama çevrimindeki her durumda her iki firmanın 14 alternatif fiyatın her birine tek dönemlik sapması denenmiştir. Oturumların %51'inde kârlı bir tek dönemlik sapma bulunmamaktadır; tek fiyat çiftinde yakınsayan oturumlarda bu oran %75,5'tir. Kârlı sapmanın bulunduğu oturumlarda kazanç sınırlıdır: en büyük görelî kazancın medyanı sifıra çok yakındır ve oturumların %90'ında kazanç %1,51'in altında kalmaktadır. Bu nedenle öğrenilen stratejiler tam bir alt oyun yetkin denge oluşturmamakla birlikte, denge yolunda bu dengeye yakın davranmaktadır. Sınamanın yalnızca denge yolundaki durumları kapsadığı, denge dışı durumlardaki davranışı kapsamadığı da belirtilmelidir.

Öğrenme Parametrelerine Duyarlılık

Şekil 3'te α ve β 'nin yirmi farklı bileşimi için ortalama Δ değerleri yer almaktadır. Bütün hücrelerde Δ 0,71 ile 0,91 arasında değişmektedir; bu durum bulgunun belirli bir parametre seçimine bağlı olmadığını göstermektedir. En yüksek değer, yavaş öğrenmenin uzun keşifle birleştiği hücrede ($\alpha = 0,05$, $\beta = 2 \times 10^{-6}$) görülmektedir. Uzun keşfin yüksek öğrenme oranıyla birleştiği hücrelerde ($\alpha \geq 0,20$, $\beta = 2 \times 10^{-6}$) ise Δ düşmektedir. Bunun olası bir açıklaması, yüksek α değerinin son gözlemlere daha fazla ağırlık vermesi ve keşif sırasında rakibin rastgele fiyat indirimlerinin Q tahminlerini daha fazla etkilemesidir.



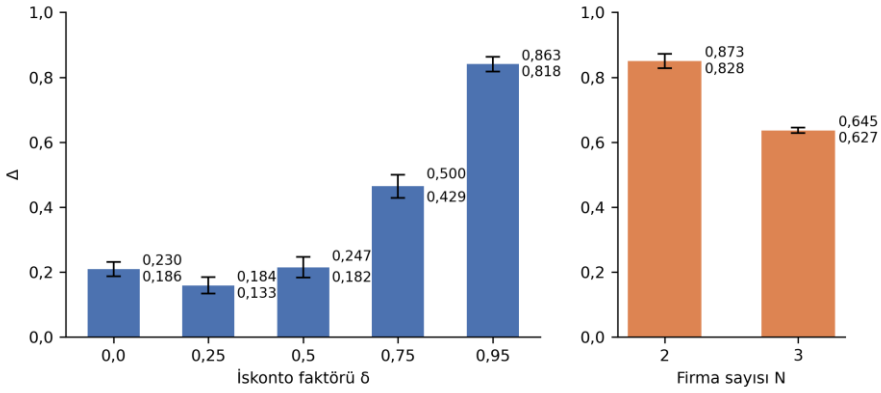
Şekil 3. Öğrenme Oranı ve Keşif Azalma Hızına Göre Ortalama Kâr Kazanç Endeksi

Kaynak: Yazarlar tarafından hesaplanmıştır. Her hücre 50 oturumun ortalamasıdır.

İskonto Faktörü ve Firma Sayısı

(9) numaralı koşul, bir anlaşma fiyatını sürdürmek için gerekli iskonto faktörünün hem fiyata hem de cezanın süresine bağlı olduğunu göstermektedir. Genel öngörü, δ küçüldükçe sürdürülebilir anlaşmalar kümesinin daralmasıdır. Şekil 4'ün sol paneli bu öngörünün algoritmalar için de geçerli olduğunu ortaya koymaktadır. $\delta = 0$ iken ajanlar yalnızca o dönemin kârını dikkate almakta ve Δ 0,21'e inmektedir. $\delta = 0,25$ ve $\delta = 0,5$ için endeks 0,16 ile 0,21 arasında kalmakta, $\delta = 0,75$ 'te 0,46'ya, $\delta = 0,95$ 'te ise 0,84'e yükselmektedir.

$\delta = 0$ iken Δ 'nın sıfırdan farklı çıkmasının nedenlerinden biri ızgaranın yapısıdır. Kesikli fiyat kümesinde her ikisi de simetrik olan iki Nash dengesi bulunmakta, üstteki denge ($P_3 = 1,505$) tek başına $\Delta = 0,12$ değerini vermektedir. Kalan fark, keşif sona ermeden tamamlanamayan öğrenmeden kaynaklanmaktadır. Dikkat çeken ikinci nokta $\delta = 0,5$ ile ilgilidir. (9) koşuluna göre bu iskonto faktörü, algoritmaların $\delta = 0,95$ 'te ulaştığı ortalama fiyatı (1,796) tek dönemlik bir Nash cezasıyla dahi sürdürmeye yeterlidir; gerekli eşik 0,349'dur. Diğer bir ifadeyle $\delta = 0,5$ iken denge kümesinde bu düzeyde bir iş birliği yer almaktadır. Ancak algoritmalar bu düzeye ulaşamamaktadır. Söz konusu koşul, anlaşmanın sürdürülebilmesi için gerekli olmakla birlikte ajanların anlaşmayı deneme yanılma yoluyla bulabilmesi için yeterli değildir. Cezanın gelecekteki maliyeti ancak δ bire yaklaştığında öğrenmeyi yönlendirecek büyüklüğe ulaşmaktadır.



Şekil 4. İskonto Faktörü (Sol) ve Firma Sayısına (Sağ) Göre Kâr Kazanç Endeksi

Kaynak: Yazarlar tarafından hesaplanmıştır. Hata çubukları %95 güven aralığını gösterir.

Şekil 4'ün sağ panelinde firma sayısının etkisi görülmektedir. $N = 3$ için Nash ve monopol fiyatları sırasıyla 1,370 ve 2,000'dir. Durum uzayı $15^3 = 3375$ 'e, her ajanın Q matrisi ise yaklaşık 50 bin hücreye çıkmaktadır. Üç firmalı piyasada Δ 0,636'ya ([0,627; 0,645]) düşmektedir. Firma sayısı arttıkça tek bir firmanın sapma yoluyla elde edeceği pay büyümekte, sapmanın fark edilip cezalandırılması ise güçleşmektedir. Bu sonuç Stigler (1964) tarafından ileri sürülen öngörüyle tutarlıdır. Bununla birlikte üç firmalı piyasada da algoritmalar rekabetçi kâr ile kartel kârı arasındaki mesafenin yaklaşık üçte ikisini kapatmaktadır.

REKABET POLİTİKASI AÇISINDAN DEĞERLENDİRME

4054 sayılı Rekabetin Korunması Hakkında Kanun'un (1994) 4. maddesi, teşebbüsler arasındaki rekabeti kısıtlayan anlaşmaları ve uyumlu eylemleri yasaklamaktadır. Uyumlu eylemin varlığı için teşebbüsler arasında doğrudan ya da dolaylı bir temasın bulunması aranmaktadır. Simülasyondaki algoritmalar arasında ise herhangi bir temas bulunmamaktadır. Ajanlar yalnızca piyasada oluşan fiyatları gözlemlemekte ve kendi kârlarını bağımsız olarak maksimize etmektedir. Buna karşın ortaya çıkan fiyatlar bir kartelin belirleyeceği fiyatlara oldukça yakındır.

Bu durum, rekabet otoritelerinin ihlali hangi kanıta dayanarak tespit edeceği sorusunu gündeme getirmektedir. Yüksek fiyatlar tek başına ihlal kanıtı olarak kullanılamamaktadır. Buna karşılık Şekil 2'de görülen, sapmaya verilen cezalandırıcı tepkiler fiyatların koordineli olduğuna ilişkin iktisadi bir gösterge niteliğindedir. Böyle bir göstergenin tespit edilebilmesi için fiyat serilerinin izlenmesi yeterli olmayıp algoritmaların farklı durumlardaki davranışlarının sınanabilmesi gerekmektedir. Rekabet Kurumu'nun yapay zekâ destekli izleme araçları geliştirme hedefi (Anadolu Ajansı, 2025) bu açıdan yerinde bir adımdır.

Ancak bu araçların etkinliği, kurumun algoritmaların davranışını test edebilecek yetkiye sahip olmasına bağlıdır.

Şekil 4'teki sonuçlar piyasa yapısının da belirleyici olduğunu göstermektedir. Az sayıda firmanın faaliyet gösterdiği ve fiyatların anlık olarak izlenebildiği piyasalar, algoritmik koordinasyona en açık piyasalardır. Assad vd. (2024) tarafından Almanya'da ölçülen marj artışlarının tekel konumundaki istasyonlarda görülmemesi, rekabetin bulunduğu pazarlarda ise ortaya çıkması bu açıdan anlamlıdır. Söz konusu riskin birleşme denetiminde de dikkate alınması önerilebilir.

Son olarak sorumluluk sorunu ele alınmalıdır. Karabudak (2022) algoritmik anlaşmaları üç senaryo altında incelemekte ve kendi kendine öğrenen algoritmaların bağımsız koordinasyonunu mevcut hukuki çerçeve açısından tespiti en güç senaryo olarak değerlendirmektedir. Ezrachi ve Stucke (2016) aynı senaryoyu "dijital göz" (digital eye) olarak adlandırmaktadır. Bu çalışmada elde edilen simülasyon bulguları, söz konusu senaryonun iktisadi açıdan gerçekleşebileceğini göstermektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada, birbirleriyle iletişim kurmayan Q-öğrenme algoritmalarının standart bir Bertrand oligopolünde rekabetçi düzeyin üzerindeki fiyatlarda buluşup buluşmadığı incelenmiştir. Logit talep altında Nash ve monopol fiyatları için denge koşulları türetilerek sayısal olarak çözülmüş, bir anlaşma fiyatının k dönemlik Nash cezasıyla sürdürülebilmesi için gerekli iskonto koşulu elde edilmiştir. Monopol fiyatının süresiz Nash cezasıyla sürdürülebilmesi için gerekli eşik bu modelde 0,393'tür; ceza süresi kısaldıkça eşik yükselmekte, anlaşma fiyatı düştükçe gerilemektedir.

Simülasyon sonuçları, algoritmaların rekabetçi kâr ile kartel kârı arasındaki mesafenin ortalama %85'ini kapattığını göstermektedir. Zorunlu bir fiyat indirimine rakip, oturumların %92,5'inde fiyatını düşürerek karşılık vermekte, ardından fiyatlar sapma öncesi düzeye dönmektedir. Statik en iyi sapma, oturumların %97'sinde sapan firmanın toplam iskonto edilmiş kârını azaltmaktadır. Tüm tek dönemlik sapmalar dikkate alındığında öğrenilen stratejiler tam bir denge oluşturmamakla birlikte, kârlı sapmaların getirisi sınırlı kalmaktadır. Dolayısıyla yüksek fiyatlar yalnızca eksik öğrenmenin değil, sapmayı büyük ölçüde kârsız kılan öğrenilmiş bir cezalandırma yapısının sonucudur. Bu bulgu öğrenme parametrelerinin geniş bir aralığında geçerliliğini korumakta, iskonto faktörü düştükçe ve firma sayısı arttıkça zayıflamakla birlikte ortadan kalkmamaktadır.

Elde edilen bulgular Calvano vd. (2020) ile uyumludur. Çalışma, bu çerçevenin Türkçe literatürde bağımsız olarak yeniden üretilmiş bir uygulamasını sunmaktadır. Çalışmanın doğal bir uzantısı, rekabet otoritelerinin ve sektörel

düzenleyicilerin kullandığı fiyat düzenlemesi araçlarının algoritmik koordinasyonu nasıl etkelediğinin aynı çerçevede incelenmesi olacaktır. Türkiye'de elektrik, ilaç ve temel gıda gibi birçok piyasada fiyatların doğrudan düzenlendiği dikkate alındığında bu soru uygulama açısından da önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- Abreu, D. (1988). On the theory of infinitely repeated games with discounting. *Econometrica*, 56(2), 383-396. <https://doi.org/10.2307/1911077>
- Anadolu Ajansı. (2025, 7 Temmuz). *Rekabet Kurumu, algoritmalar kullanılarak yapılan rekabet ihlallerini yapay zeka ile belirleyecek*. <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/rekabet-kurumu-algoritmalar-kullanilarak-yapilan-rekabet-ihlallerini-yapay-zeka-ile-belirleyecek/3623865>
- Anderson, S. P., de Palma, A. ve Thisse, J.-F. (1992). *Discrete choice theory of product differentiation*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Assad, S., Clark, R., Ershov, D. ve Xu, L. (2024). Algorithmic pricing and competition: Empirical evidence from the German retail gasoline market. *Journal of Political Economy*, 132(3), 723-771. <https://doi.org/10.1086/726906>
- Axelrod, R. (1984). *The evolution of cooperation*. New York: Basic Books.
- Bellman, R. (1957). *Dynamic programming*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Bertrand, J. (1883). [L. Walras'ın *Théorie mathématique de la richesse sociale* ve A. Cournot'un *Recherches sur les principes mathématiques de la théorie des richesses* adlı eserlerinin incelemesi]. *Journal des Savants*, 499-508.
- Buşoniu, L., Babuška, R. ve De Schutter, B. (2008). A comprehensive survey of multiagent reinforcement learning. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 38(2), 156-172. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2007.913919>
- Calvano, E., Calzolari, G., Denicolò, V. ve Pastorello, S. (2020). Artificial intelligence, algorithmic pricing, and collusion. *American Economic Review*, 110(10), 3267-3297. <https://doi.org/10.1257/aer.20190623>
- Ezrachi, A. ve Stucke, M. E. (2016). *Virtual competition: The promise and perils of the algorithm-driven economy*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Friedman, J. W. (1971). A non-cooperative equilibrium for supergames. *The Review of Economic Studies*, 38(1), 1-12. <https://doi.org/10.2307/2296617>
- Fudenberg, D. ve Maskin, E. (1986). The folk theorem in repeated games with discounting or with incomplete information. *Econometrica*, 54(3), 533-554. <https://doi.org/10.2307/1911307>
- Harrington, J. E. (2018). Developing competition law for collusion by autonomous artificial agents. *Journal of Competition Law & Economics*, 14(3), 331-363. <https://doi.org/10.1093/joclec/nhy016>
- Karabudak, P. T. (2022). *Algoritmik stratejiler yoluyla rekabete aykırı anlaşmalar* (Uzmanlık Tezleri Serisi No. 188). Ankara: Rekabet Kurumu.

- Klein, T. (2021). Autonomous algorithmic collusion: Q-learning under sequential pricing. *The RAND Journal of Economics*, 52(3), 538-558. <https://doi.org/10.1111/1756-2171.12383>
- McFadden, D. (1974). Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. P. Zarembka (Ed.), *Frontiers in econometrics* içinde (s. 105-142). New York: Academic Press.
- Rekabetin Korunması Hakkında Kanun. (1994, 13 Aralık). *Resmî Gazete* (Sayı: 22140).
- Stigler, G. J. (1964). A theory of oligopoly. *Journal of Political Economy*, 72(1), 44-61. <https://doi.org/10.1086/258853>
- Sutton, R. S. ve Barto, A. G. (2018). *Reinforcement learning: An introduction* (2. bs.). Cambridge, MA: MIT Press.
- Waltman, L. ve Kaymak, U. (2008). Q-learning agents in a Cournot oligopoly model. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 32(10), 3275-3293. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2008.01.003>
- Watkins, C. J. C. H. (1989). *Learning from delayed rewards* (Doktora tezi). University of Cambridge, Cambridge.
- Watkins, C. J. C. H. ve Dayan, P. (1992). Q-learning. *Machine Learning*, 8(3-4), 279-292. <https://doi.org/10.1007/BF00992698>

BÖLÜM 3

**Tüketim Teorisinden Kredi Piyasasına:
Türkiye’de Finansal Dayanıklılığın Mikro
Temelleri ve Cinsiyet Farkı**

Ferhat Apaydın¹

¹ Dr., Adıyaman Üniversitesi, ORCID: 0000-0002-5637-3813

1. Giriş

Kapsayıcı büyüme kavramı iktisat yazınına büyümenin yalnızca hızıyla değil örüntüsüyle de değerlendirilmesi gerektiği fikrini taşımıştır. Ianchovichina ve Lundström (2009), hızlı ve sürdürülebilir bir yoksulluk azalmasının, insanların büyümeye katkıda bulunabildiği ve büyümeden yararlanabildiği kapsayıcı bir büyümeyi gerektirdiğini belirtmiş, kapsayıcı büyümenin hem büyümenin hızına hem örüntüsüne işaret ettiğini ve bu ikisinin birbirinden ayrılamayacağını vurgulamıştır (Ianchovichina ve Lundström, 2009, s. 1). Bu tanım, büyümenin yoksulluk üzerindeki etkisini doğrudan ölçmeye çalışan yoksul-yanlı büyüme yaklaşımıyla yakın ilişki içerisindedir. Ravallion ve Chen (2003), bir büyüme sürecinin yoksul-yanlı sayılabilmesi için yoksul kesimin mutlak anlamda kazanç sağlaması gerektiğini önermiştir (Ravallion ve Chen, 2003, s. 93). Her iki yaklaşım da büyümenin ortalama etkisinin ötesine geçip kimin ne kazandığını sormaktadır. Ancak ikisi de büyümenin ürettiği kazancın kalıcı olup olmadığı sorusunu doğrudan sormaz. Bir hanehalkı bugün büyümeden pay almış olsa bile, yarın karşılaşacağı bir gelir şoku bu payı geri alabilir. Kapsayıcı büyümenin asıl sinandığı an bu yüzden sistemin sakin işlediği an değil, hanehalkının bir şokla karşılaştığı andır. Bu şok anını kavramsallaştırmanın en eski ve en doğrudan yolu kırılğanlık kavramıdır. Chambers (1989), kırılğanlığın iki yüzü olduğunu öne sürmüştür. Bunlardan ilki bireyin veya hanehalkının maruz kaldığı riskler, şoklar ve gerilimlerden oluşan dışsal yüzdür. İkincisi ise zarar görmeden başa çıkacak araçların yokluğu anlamına gelen içsel yüz (Chambers, 1989, s. 1). Bu ayrım önemlidir çünkü iki hanehalkı aynı şoka maruz kalsa bile, başa çıkma araçlarına sahip olan kırılğan sayılmaz. Alwang, Siegel ve Jorgensen (2001), kırılğanlığın disiplinler arasında farklı biçimlerde kavramsallaştırıldığını, bazı disiplinlerin riskin kendisine bazılarının ise altta yatan koşullara odaklandığını göstermiştir. Bu çalışma, kırılğanlığın Chambers'ın (1989) tanımladığı içsel yüzünü, yani hanehalkının bir şok karşısında zarar görmeden başa çıkabilme kapasitesini, finansal dayanıklılık olarak ölçmektedir. Finansal dayanıklılık burada bir hanehalkının beklenmedik bir gideri kendi kaynaklarıyla karşılayabilme kapasitesi olarak tanımlanmakta ve kapsayıcı büyümenin mikro düzeydeki bir göstergesi olarak ele alınmaktadır.

Finansal dayanıklılığın mikro iktisattaki teorik temeli tüketim ve tasarruf teorisine dayanır. Deaton (1991), tüketicilerin borçlanamadığı bir ortamda tasarrufun nasıl davrandığını incelemiş, gelir bağımsız ve aynı dağılımdan geliyorsa varlıkların bir tampon stok gibi işlediğini, kötü bir gelir çekilişine karşı tüketimi koruduğunu göstermiştir (Deaton, 1991, s. 1221). Carroll (1997), bu fikri geliştirerek tipik bir hanehalkının tasarruf davranışının, gelir belirsizliği yüksek ve tüketici yeterince sabırsız olduğunda, geleneksel yaşam boyu gelir hipotezinden çok bir “tamponlu tasarruf” modeliyle daha iyi açıklandığını göstermiştir (Carroll, 1997, s. 1). Bu iki çalışma birlikte okunduğunda, finansal dayanıklılığın rastgele bir davranış değil, hanehalkının önlem amaçlı tasarruf

motivasyonunun gözlemlenebilir bir sonucu olduğu ortaya çıkar. Ancak bu tamponu herkes eşit kolaylıkla kuramaz. Stiglitz ve Weiss (1981), dn veren ile ödünç alan arasındaki bilgi asimetrisinin, denge halinde bile kredi tayinlanmasına yol açabileceğini göstermiştir. Bu durumda görünüşte birbirinin aynısı olan iki başvurucudan biri kredi alırken diğeri alamayabilir, çünkü faiz oranını yükseltmek bankanın kendi eline geçen borçlu havuzunun kalitesini bozabilir (Stiglitz ve Weiss, 1981, s. 393). Bu alışmalar birlikte, finansal dayanıklılık için bir mikro iktisat erevesi kurmaktadır. Hanehalkı bir tampon oluşturmak ister (Deaton, Carroll), ancak bu tamponu oluşturma kapasitesi kredi piyasasının kimi tayinladığına bağlıdır (Stiglitz ve Weiss). Kapsayıcı büyüme literatürü bu erveyi büyük ölçüde kullanmamakta, göstergelerini doğrudan gözlemlenen sonuçlar üzerinden kurmaktadır. Çalışma, gözlemlenen bir sonucu (dayanıklılık) bu teorilerin önerdiği mekanizmaya açıkça bağlayarak aradaki boşluğu kapatmayı amaçlamaktadır.

Global Findex 2021 anketinde katılımcılara, önümüzdeki 30 gün içinde beklenmedik bir gideri (gelirlerinin yaklaşık yirmide biri kadar bir tutarı) karşılananın kendileri için ne kadar zor olacağı sorulmuştur. Cevap kategorileri çok zor, biraz zor ve hiç zor değil biçimindedir (fin24a değişkeni). Bu lt, hesap sahipliği veya kredi kullanımı gibi ikili bir erişim göstergesinden farklıdır, doğrudan hanehalkının şok karşısındaki kırılganlığını yakalar. Türkiye’ye özgü yakın tarihli bir çalışma bu değişkeni genelleştirilmiş sıralı logit modeliyle incelemiş, gelir, eğitim, tasarruf davranışı ve yaşın anlamlı belirleyiciler olduğunu, ancak cinsiyetin gelir ve eğitim kontrol edildiğinde istatistiksel olarak anlamsız kaldığını bulmuştur. Bu bulgu, koşullu ortalama etkisi üzerinden okunduğunda, cinsiyetin dayanıklılık üzerinde bağımsız bir rolü olmadığını biçiminde yorumlanabilir. Ancak mikro ekonometride iyi bilinen bir uyarı burada devreye girmektedir. Ortalamada sıfıra yakın çıkan bir katsayı, dağılımın farklı noktalarında birbirini götüren zıt yönlü etkilerin ortalamasını yansıtır olabilir. Bir grup dağılımın alt ucunda (en kırılgan bireylerde) dezavantajlıyken st ucunda avantajlı çıkabilir, bu durumda ortalama etki her iki etkiyi de gizler. Firpo, Fortin ve Lemieux’nn (2009) geliştirdiği yöntem tam olarak bu sorunu çözmek için tasarlanmıştır. Yani açıklayıcı değişkenlerin dağılımındaki bir değişikliğin, sonuç değişkeninin koşulsuz (marjinal) dağılımının belirli kantillerini nasıl etkilediğini tahmin etmektedir (Firpo, Fortin, ve Lemieux, 2009, s. 953).

RIF yöntemi finansal içerme alanında henüz yeni uygulanmaya başlanmıştır ve çoğunlukla yalnızca hesap sahipliği ve mobil para kullanımı gibi erişim göstergelerine uygulanmış, finansal dayanıklılık göstergesine hiçbir ülkede uygulanmamıştır. Finansal dayanıklılıktaki cinsiyet farkını inceleyen en kapsamlı çalışma 134 ülkeyi kapsayan bir regresyon analizidir ve bu farkı bir ayırıştırma yöntemiyle bileşenlerine ayırmamaktadır. Dayanıklılık göstergesini ayırıştırıran tek alışma Etiyopya için yapılmıştır ve RIF kullanmamıştır. Türkiye’de finansal

dayanıklılığın belirleyicileri yakın zamanda incelenmiş, ancak bu çalışma da bir ayrıştırma içermemekte ve RIF kullanmamaktadır. Türkiye için finansal dayanıklılık farkının RIF yöntemiyle ayrıştırıldığı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmanın araştırma sorusu şudur: Türkiye’de finansal dayanıklılıktaki fark, koşullu ortalama da görüldüğü gibi cinsiyetten bağımsız mı, yoksa dağılımın belirli noktalarında, özellikle en kırılgan kesimde, yeniden ortaya çıkan bir cinsiyet farkı var mı? Bu soruyu cevaplamak için RIF regresyonu dağılımın birden fazla noktasında ayrı ayrı tahmin edilecek ve her noktadaki ham fark açıklanan ve açıklanamayan bileşenlere ayrıştırılacaktır.

2. Literatür

Deaton’ın (1991) modeli, borçlanamayan ama tasarruf edebilen bir tüketicinin davranışını incelemektedir. Tüketici yeterince sabırsız olduğunda ve gelir zaman içinde bağımsız ve aynı dağılımdan geldiğinde, varlıklar bir tampon stok gibi işlev görmektedir, kötü bir gelir döneminde tüketimi korumaktadır (Deaton, 1991, s. 1221). Önlem amaçlı tasarruf güdüsü, borçlanma kısıtıyla etkileşime girerek varlık tutma motivasyonu yaratmaktadır. Carroll (1997), bu çerçeveyi ampirik olarak sınayarak tipik hanehalkının tasarruf davranışının geleneksel yaşam boyu gelir hipotezinden çok bir tamponlu tasarruf modeliyle açıklandığını göstermiştir. Tamponlu tasarruf davranışında tüketici ortalama tüketim artışını, zevklerinden bağımsız olarak, ortalama emek geliri artışına eşitler (Carroll, 1997, s. 1). Bu iki çalışma finansal dayanıklılığın “neden” var olduğunu açıklar. Stiglitz ve Weiss (1981) ise “kimin” bu tamponu kurabileceğini sınırlayan mekanizmayı göstermiştir. Yazarlara göre, ödünç veren taraf borçlunun risk düzeyini tam olarak gözlemleyemediğinde, faiz oranını yükseltmek havuzda kalan borçluların ortalama risk düzeyini artırabilmektedir. Bu nedenle bankalar faiz oranını piyasayı temizleyecek düzeyin altında tutup kredi talebini tayınlatabilir (Stiglitz ve Weiss, 1981, s. 393). Bu üç çalışma birlikte, finansal dayanıklılığı yalnızca bir davranışsal sonuç değil, tasarruf motivasyonu ile kredi piyasası kısıtının kesişiminde oluşan bir denge sonucu olarak görmeyi mümkün kılmaktadır.

Klasik Blinder-Oaxaca ve Fairlie ayrıştırmaları, bir grup farkını yalnızca ortalama da inceler. Firpo, Fortin ve Lemieux (2009), açıklayıcı değişkenlerin dağılımındaki bir değişikliğin sonuç değişkeninin koşulsuz kantillerini nasıl etkilediğini tahmin eden yeni bir regresyon yöntemi önermiştir. Yöntem, kantilin yeniden merkezlenmiş etki fonksiyonunun (recentered influence function, RIF) açıklayıcı değişkenler üzerine regrese edilmesine dayanır (Firpo, Fortin, ve Lemieux, 2009, s. 953). Bu yaklaşımın en önemli özelliği, ortalamaya değil dağılımın herhangi bir noktasına genellenebilmesidir. Rios-Avila (2020), bu yöntemi Stata’da uygulanabilir hale getirmiş, RIF regresyonlarını ve buna dayanan Oaxaca tipi ayrıştırmaları hesaplayan komutları geliştirmiştir (Rios-Avila, 2020, s. 51). RIF yönteminin finansal içerme alanındaki uygulamaları henüz sınırlı ve yenidir. Tanzania için 2021 Global Findex verisiyle yapılan bir

çalışma, kırsal-kentsel finansal içerme farkını RIF-Oaxaca ayrıştırmasıyla incelemiştir (Cogent Economics ve Finance, 2025). Aynı ülke için Mwaseba, Mwang'onda ve Donald (2026) tarafından yapılan bir başka çalışma, mobil para hesabı sahipliğindeki kırsal-kentsel farkı yine RIF-Oaxaca ile ayrıştırmış, 0,150 puanlık farkın yaklaşık yüzde 67'sinin gözlemlenebilir özelliklerle, bunların içinde de en büyük payın (%22,6) finansal okuryazarlığa ait olduğunu bulmuştur (Mwaseba, Mwang'onda ve Donald, 2026). Bu iki çalışma, RIF'in finansal içerme göstergelerine uygulanabilir olduğunu göstermekle birlikte, ikisi de erişim göstergelerine (hesap, mobil para) odaklanmakta, dayanıklılık göstergesine uygulanmamaktadır.

134 ülkeyi kapsayan 2021-2022 Global Findex verileriyle yapılan bir çalışma, kadınların 7 ve 30 gün içinde acil fon bulmakta erkeklerden daha fazla zorlandığını, bu farkın gelişmekte olan piyasalarda, banka temelli finansal sistemlerde ve medeni hukuk geleneğine sahip ülkelerde daha belirgin olduğunu tespit etmiştir (Matemane, Machokoto, Lemma, ve Majoni, 2025). Ancak bu çalışma bir cinsiyet kuklası ve alt örneklem regresyonlarına dayanmakta, farkı açıklanan ve açıklanamayan bileşenlere ayırmamaktadır. Etiyopya için 2017 Global Findex verisiyle yapılan bir çalışma, hesap sahipliği, resmî tasarruf, borçlanma, acil fon bulabilme ve banka kartı sahipliği olmak üzere beş göstergeyi bir ayrıştırma analiziyle incelemiş, erkeklerin acil fon bulma olasılığının kadınlardan 8,4 puan yüksek olduğunu ve bu farkın büyük ölçüde gözlemlenebilir özelliklerle açıklandığını bulmuştur (Hundie ve Tulu, 2023). Bu çalışma bir Findex dayanıklılık göstergesinin ayrıştırıldığı tek çalışmadır, ancak RIF kullanmamakta, 2017 verisine dayanmakta ve Türkiye'yi kapsamamaktadır.

Türkiye'de finansal dayanıklılığın belirleyicilerini inceleyen yakın tarihli bir çalışma, Global Findex mikro verisiyle genelleştirilmiş sıralı logit modeli (gologit2) tahmin etmiş, üç dayanıklılık düzeyini (dayanıklı değil, kırılgan, dayanıklı) modellemiştir (Hamzaoglu, 2026, s. 605). Gelir, eğitim, tasarruf davranışı ve yaşın anlamlı belirleyiciler olduğu, resmî borçlanmanın dayanıklılıkla pozitif ilişkili olduğu, hesap sahipliğinin karışık sonuçlar verdiği bulunmuştur. Cinsiyet, gelir ve eğitim kontrol edildiğinde istatistiksel olarak anlamsız kalmıştır (Hamzaoglu, 2026, s. 620). Hamzaoglu'nun çalışması Türkiye'de finansal dayanıklılığı inceleyen en yakın tarihli ve en ilgili çalışmadır, ancak bir ayrıştırma içermemekte ve koşullu ortalama ötesine geçmemektedir. Ayrıca aynı çalışma cinsiyetin koşullu ortalama anlamsız olduğunu göstermiştir. Ancak bu çalışma aynı veriyle, ama koşullu ortalama yerine koşulsuz dağılımın birden fazla noktasında çalışarak, aynı sorunun farklı bir cevabı olup olmadığını sınımlamaktadır. Eğer dağılımın alt ucunda (en kırılgan kesimde) anlamlı bir cinsiyet farkı ortaya çıkarsa, bu, önceki çalışmanın ortalama temelli yöntemiyle gözden kaçırdığı bir örüntüyü gösterecektir. Eğer ortaya çıkmazsa, bu da kendi başına önceki bulguyu farklı bir yöntemle doğrulayan,

dolayısıyla literatüre güvenilirlik katan bir sonuç olacaktır. Her iki durumda da çalışma, tek bir ortalama katsayının veremeyeceği bir bilgiyi sağlamaktadır.

3. Veri ve Yöntem

Çalışma Dünya Bankası'nın 2021 Global Findex anketinin Türkiye örneklemini kullanmaktadır. Örneklem 1000 yetişkin bireyden oluşmaktadır. Bağımlı değişken fin24a değişkenidir. Bu değişken 30 gün içinde beklenmedik bir gideri karşılamanın ne kadar zor olacağını ölçmektedir. Değişken üç kategoriden oluşur. Bir değeri çok zor anlamına gelir. İki değeri biraz zor anlamına gelir. Üç değeri ise hiç zor değil anlamına gelir. Değişken bu haliyle artan yönde bir dayanıklılık ölçütüdür. Anket bu soruyu yalnızca 30 gün içinde bir yoldan fon bulabileceğini söyleyen katılımcılara sormaktadır. Bu nedenle örnekleme 185 gözlem eksik değer almaktadır. Dört gözlem de bilmiyorum yanıtı vermiştir. Bu 189 gözlem analizden çıkarılmıştır. Dolayısıyla analiz örneklemini 811 gözlemden oluşmaktadır. Açıklayıcı değişkenler önceki bölümdeki kredi erişimi çalışmasıyla aynıdır. Cinsiyet değişkeni erkek için bir kadın için sıfır değerini almaktadır. Yaş ve yaşın karesi eklenmiştir. Eğitim değişkeni orta öğretim ve yükseköğretim için iki kukla değişkene dönüştürülmüştür. Referans kategori ilköğretim ve altıdır. Gelir beşte birlik dilimler halinde dört kukla değişkene dönüştürülmüştür. Referans kategori en düşük gelir dilimidir. İşgücüne katılım durumu bir kukla değişkenle kontrol edilmiştir.

Çalışma iki farklı noktada iki farklı ayrıştırma tekniği kullanmaktadır. Bu seçim bağımlı değişkenin kendi yapısından kaynaklanmaktadır. fin24a yalnızca üç değer alan sıralı bir değişkendir. Örneklem yüzde 40,6'sı en düşük değerde (1) toplanmaktadır. Bu yığılma dağılımın alt ucundaki yüzdelik dilimlerin tamamını tam olarak bu sınır noktasına taşımaktadır. Bir dağılımın sınırında çekirdek yoğunluk tahmini güvenilir sonuç vermez. Bu çalışmada yirmi beşinci ve on beşinci yüzdelik dilimlerde bu sorun sınanmış ve her ikisinde de RIF değeri bütün gözlemler için sabitlenmiş, dolayısıyla kullanılamaz bulunmuştur. Bu nedenle dağılımın alt ucu bir kantil olarak değil bir pay olarak tanımlanmıştır. Kırılğan kesim, acil fon bulmayı çok zor bulan bireylerin payı olarak ölçülmüş ve bu pay standart Blinder-Oaxaca ayrıştırmasına tabi tutulmuştur (Jann, 2008, s. 453). Kırılğan değişkeni ikili bir değişken olmakla birlikte, burada ilgi tek bir bireyin tahmini olasılığında değil, iki grup arasındaki toplam pay farkının bileşenlerine ayrılmasındadır. Bu düzeyde doğrusal olasılık modeline dayanan standart Oaxaca ayrıştırması tutarlı ve yorumlanabilir tahminler vermektedir. Fairlie'nin (2005) geliştirdiği ayrıştırma, ikili sonucu lojit veya probit gibi doğrusal olmayan bir modelle tahmin edip ayrıştırmayı simülasyon yoluyla gerçekleştirmekte ve bu şekilde bireysel tahmin olasılıklarının sıfır ile bir aralığında kalmasını garanti etmektedir. İki yöntem büyük örneklemelerde ve ortalama pay düzeyinde genellikle birbirine yakın sonuçlar üretmektedir (Fairlie,

2005, s. 305). Bu çalışmada gözlem sayısının alt gruplarda sınırlı olması ve ilgi odağının ortalama pay farkında olması nedeniyle doğrusal Oaxaca tercih edilmiş, doğrusal olmayan alternatif bir sağlamlık sınaması olarak bırakılmıştır.

Dağılımın üst ucu için Firpo, Fortin ve Lemieux'nün (2009) yeniden merkezlenmiş etki fonksiyonu (RIF) yöntemi kullanılmıştır. Yöntem iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada bağımlı değişkenin yetmiş beşinci yüzdelik dilimindeki RIF değeri her gözlem için hesaplanmaktadır. Bu hesaplama kantilin etrafındaki yerel yoğunluk tahminine dayanmaktadır ve biçimsel olarak aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$RIF(y; q_\tau) = q_\tau + (\tau - 1\{y \leq q_\tau\}) / f_Y(q_\tau) \quad (1)$$

Burada q_τ bağımlı değişkenin τ kantilini, $f_Y(q_\tau)$ bu kantildeki yerel yoğunluğu, $1\{\cdot\}$ ise gösterge fonksiyonunu ifade etmektedir. İkinci aşamada bu RIF değeri açıklayıcı değişkenler üzerine regrese edilmektedir:

$$RIF(y_i; q_\tau) = X_i' \beta_\tau + \varepsilon_i \quad (2)$$

Elde edilen $\hat{\beta}_\tau$ katsayıları, standart Blinder-Oaxaca ayrıştırmasına tabi tutulmaktadır. Kadın (K) ve erkek (E) grupları için ayrıştırma şu şekilde yazılabilir:

$$\Delta_\tau = (\bar{X}_k - \bar{X}_e)' \hat{\beta}_{\tau,e} + \bar{X}_k' (\hat{\beta}_{\tau,k} - \hat{\beta}_{\tau,e})$$

İlk terim, iki grubun açıklayıcı değişken ortalamaları arasındaki farktan kaynaklanan açıklanan bileşeni, ikinci terim ise aynı özelliklere karşılık gelen katsayıların (getirilerin) farkından kaynaklanan açıklanamayan bileşeni vermektedir. Kırılgan kesim payının ayrıştırılmasında kullanılan standart Blinder-Oaxaca ayrıştırması da aynı mantığı, RIF dönüşümü olmaksızın, doğrudan pay değişkeni üzerinde uygulamaktadır. Medyan da aynı yöntemle sınanmış, ancak kadın alt örnekleminin kendi medyanı da dağılımın sınırına denk geldiği için sonuç kullanılamaz çıkmıştır. Bu nedenle çalışma medyanı raporlamamakta, yalnızca payla ölçülen alt uç ve RIF ile ölçülen üst ucu karşılaştırmaktadır. Her iki ayrıştırma da farkı aynı iki bileşene ayırmaktadır. Açıklanan bileşen iki grup arasındaki özellik farkından kaynaklanırken, açıklanamayan bileşen aynı özelliklere rağmen ortaya çıkan farktan kaynaklanmaktadır. Klasik Blinder-Oaxaca ayrıştırması yalnızca ortalamadaki farkı ayırır. RIF yöntemi dağılımın belirli bir noktasındaki farkı ayırabilir. Türkiye'deki önceki bir çalışma cinsiyet farkını yalnızca koşullu ortalama da sınanmış ve anlamsız bulmuştur (Hamzaoglu, 2026, s. 620). Bu çalışma aynı farkın dağılımın iki ucunda farklı bir örüntü gösterip göstermediğini sınamaktadır.

4. Bulgular

Analiz örneklemini 811 gözlemden oluşmaktadır. Örneklemin 337'si kadın, 474'ü erkektir. Kadınların ortalama dayanıklılık puanı 1,64, erkeklerin ortalama

dayanıklılık puanı 1,98'dir. Kadınların yüzde 50,74'ü acil fon bulmayı çok zor bulduğunu belirtirken bu oran erkeklerde yüzde 33,33'tür. Ham fark 17,41 puandır ve istatistiksel olarak anlamlıdır ($z=5,00$, $p<0,001$).

Tablo 1. Cinsiyete Göre Betimsel İstatistikler

Değişken		Kadın (N=337)	Erkek (N=474)
Dayanıklılık (ortalama)	puanı	1,64	1,98
Kırılgan kesim (fin24a=1)	kesim payı	%50,74	%33,33

Kırılgan kesimin payındaki 17,41 puanlık fark iki bileşene ayrıştırılmıştır. Tablo 2 incelendiğinde bu farkın 6,39 puanı, yaklaşık yüzde 36,7'si, kadın ve erkeklerin yaş, eğitim, gelir ve işgücü durumu bakımından farklı dağılmasından kaynaklanmaktadır ve istatistiksel olarak anlamlıdır ($z=3,29$, $p=0,001$). Açıklanan kısmın büyük bölümü gelir dağılımından gelmektedir. En yüksek gelir diliminde bulunma olasılığının kadınlarla erkekler arasında farklılaşması tek başına 3,44 puanlık bir katkı yapmaktadır ($z=2,71$, $p=0,007$). Farkın kalan 11,02 puanı, yaklaşık yüzde 63,3'ü, aynı özelliklere sahip olsalar bile kadın ve erkekler arasında ortaya çıkan açıklanamayan bir farktır ve bu bileşen de istatistiksel olarak anlamlıdır ($z=3,12$, $p=0,002$).

Tablo 2. Kırılgan Kesim Payının Blinder-Oaxaca Ayrıştırması

Bileşen	Katsayı	Std. Hata	z	p
Kadın (Grup 1)	0,5074	0,0273	18,62	<0,001
Erkek (Grup 2)	0,3333	0,0217	15,38	<0,001
Fark	0,1741	0,0348	5,00	<0,001
Açıklanan	0,0639	0,0194	3,29	0,001
Açıklanamayan	0,1102	0,0353	3,12	0,002

Dağılımın üst ucunda (Tablo 3) örüntü tamamen değişmektedir. Yani yetmiş beşinci yüzdalık dilimde kadınların RIF değeri 2,42, erkeklerin RIF değeri 3,13'tür. Aradaki fark 0,70 puandır ve istatistiksel olarak anlamlıdır ($z=11,07$, $p<0,001$). Ancak bu farkın yalnızca 0,02 puanı, yaklaşık yüzde 2,8'i, gözlemlenebilir özelliklerle açıklanabilmektedir ve bu bileşen istatistiksel olarak anlamsızdır ($z=0,42$, $p=0,677$). Farkın neredeyse tamamı, 0,72 puan yaklaşık yüzde 97,2'si, açıklanamayan bileşenden gelmektedir ve bu bileşen güçlü biçimde anlamlıdır ($z=9,48$, $p<0,001$).

Tablo 3. 75. Yüzdelik Dilimde RIF-Oaxaca Ayırıştırması

Bileşen	Katsayı	Std. Hata	z	p
Kadın (Grup 1)	2,4246	0,0483	50,22	<0,001
Erkek (Grup 2)	3,1265	0,0411	76,10	<0,001
Fark	0,7020	0,0634	11,07	<0,001
Açıklanan	0,0195	0,0467	0,42	0,677
Açıklanamayan	0,7214	0,0761	9,48	<0,001

İki uçtaki sonuçlar birbirini tamamlayan farklı bir örüntü göstermektedir. Dağılımın alt ucunda, en kırılgan kesimde, farkın üçte biri kadar bir kısmı gelir farkıyla açıklanabilmektedir. Dağılımın üst ucunda, en dayanıklı kesimde, aynı açıklama gücü neredeyse tamamen kaybolmaktadır. Bu, Türkiye’de finansal dayanıklılıktaki cinsiyet farkının tek bir mekanizmayla açıklanamayacağını göstermektedir. Alt uça kadınların erkeklerden daha kırılgan olmasının bir kısmı düşük gelirli olmalarından kaynaklanmaktadır. Üst uça ise yüksek gelirli, eğitilmiş ve çalışan kadınlar bile aynı özelliklere sahip erkekler kadar dayanıklı çıkmamaktadır. Bu bulgu Hamzaoglu’nun (2026, s. 620) koşullu ortalamada cinsiyeti anlamsız bulan sonucuyla çelişmemektedir, hatta onu tamamlamaktadır. Ortalamada kaybolan fark, dağılımın iki ucunda farklı yoğunlukta ve farklı bir kaynaktan gelerek yeniden ortaya çıkmaktadır.

5. Sonuç

Bulgular, giriş bölümünde kurulan üç teorik unsurla birlikte okunabilme olanağı sunmaktadır. Deaton (1991) ve Carroll (1997) hanehalkının bir tampon oluşturma isteğini tasvir etmiştir. Bu çalışmanın alt uçtaki bulgusu bu isteğin gelirle sınırlandığını göstermektedir. Kadınların kırılgan olma olasılığındaki farkın üçte biri gelir dağılımındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır. Düşük gelirli bir hanehalkı tamponu oluşturacak kaynağa sahip değildir. Önlem amaçlı tasarruf motivasyonu olsa bile bu motivasyon kaynağa dönüşmemektedir. Üst uçtaki bulgu farklı bir mekanizmaya işaret etmektedir. Yüksek gelirli, eğitilmiş ve çalışan kadınlar aynı özelliklere sahip erkekler kadar dayanıklı çıkmamaktadır. Bu, gelir kısıtının ötesinde başka bir engelin var olduğunu göstermektedir. Stiglitz ve Weiss’in (1981) kredi tayinlaması çerçevesi burada açıklayıcı olabilir. Ödünç veren taraf kadın başvuruçuların risk düzeyini erkek başvuruçulardan farklı değerlendiriyorsa, aynı gelir ve teminata sahip bir kadın bir erkeğin ulaşabildiği krediye ulaşamayabilir. Tampon hanehalkının kendi tasarrufuyla değil dışarıdan bir kredi kanalıyla oluşturulacaksa, kanalın kendisi cinsiyete göre farklı işlemektedir. Bu ayrım kapsayıcı büyüme tartışması için önemlidir. Kapsayıcı büyüme genellikle gelir yoksulluğunun azaltılmasıyla eşitlenir. Ancak bu çalışmanın üst uçtaki bulgusu, gelir yoksulluğu ortadan kalksa bile finansal dayanıklılıktaki cinsiyet farkının kendiliğinden kapanmayacağını göstermektedir. Büyümenin gelir dağılımını iyileştirmesi alt uçtaki farkı azaltabilir. Üst uçtaki fark ise kredi piyasasının kendi işleyişinde bir müdahale gerektirmektedir. Kredi başvurusu değerlendirme süreçlerinin cinsiyete duyarlı

biçimde gözden geçirilmesi ve finansal kuruluşların değerlendirme kriterlerinin şeffaflaştırılması, gözlemlenebilir özelliklerin ötesinde kalan bu farkı azaltmaya daha uygun gözükmektedir.

Bu çalışma, Türkiye’de finansal dayanıklılıktaki cinsiyet farkının koşullu ortalama da anlamsız çıkmasının farkın var olmadığı anlamına gelmediğini göstermiştir. Fark dağılımın iki ucunda farklı yoğunlukta ve farklı bir kaynaktan gelerek ortaya çıkmaktadır. Dağılımın alt ucunda, en kırılgan kesimde, farkın üçte biri kadarı gelir farkıyla açıklanabilmektedir. Dağılımın üst ucunda, en dayanıklı kesimde, aynı fark neredeyse tamamen açıklanamamaktadır. Çalışmanın sınırlarına da değinmek gerekmektedir. Global Findex verisi kesitseldir, bu nedenle bulgular nedensel değil ilişkisel olarak okunmalıdır. Örneklem büyüklüğü, özellikle alt örneklemle ayrıldığında, dağılımın bazı noktalarında güvenilir tahmin yapılmasını engellemiştir. Medyan için yapılan deneme bu sınırı doğrudan göstermektedir. İleride yapılacak çalışmalar, daha büyük bir örneklemle veya panel veriyle bu sınırı aşabilir ve dağılımın orta kesimindeki örüntüyü de inceleyebilir.

Kaynakça

- Alwang, J., Siegel, P. B., ve Jorgensen, S. L. (2001). Vulnerability: A view from different disciplines (Social Protection Discussion Paper No. 0115). Dünya Bankası.
- Carroll, C. D. (1997). Buffer-stock saving and the life cycle/permanent income hypothesis. *The Quarterly Journal of Economics*, 112(1), 1-55.
- Chambers, R. (1989). Editorial introduction: Vulnerability, coping and policy. *IDS Bulletin*, 20(2), 1-7.
- Deaton, A. (1991). Saving and liquidity constraints. *Econometrica*, 59(5), 1221-1248.
- Fairlie, R. W. (2005). An extension of the Blinder-Oaxaca decomposition technique to logit and probit models. *Journal of Economic and Social Measurement*, 30(4), 305-316.
- Firpo, S., Fortin, N. M., ve Lemieux, T. (2009). Unconditional quantile regressions. *Econometrica*, 77(3), 953-973.
- Hamzaoglu, N. M. (2026). From financial inclusion to financial resilience: Evolving determinants in Türkiye (2011-2024). *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi*, 11(2), 605-625. <https://doi.org/10.30784/epfad.1923853>
- Hundie, S. K., ve Tulu, D. T. (2023). Determinants of financial inclusion gender gap in Ethiopia: Evidence from decomposition analysis. *Cogent Business & Management*, 10(2), Madde 2238124. <https://doi.org/10.1080/23311975.2023.2238124>
- Ianchovichina, E., ve Lundström, S. (2009). Inclusive growth analytics: Framework and application (Policy Research Working Paper No. 4851). Dünya Bankası.
- Jann, B. (2008). The Blinder-Oaxaca decomposition for linear regression models. *The Stata Journal*, 8(4), 453-479.
- Matemane, R., Machokoto, M., Lemma, T. T., ve Majoni, A. (2025). Women, men, and money: A gendered analysis of financial resilience. *Economics Letters*, 253, Madde 112352. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2025.112352>
- Mwaseba, S. L., Mwang'onda, E. S., ve Donald, W. R. (2026). Bridging the digital financial divide: The role of financial literacy in rural-urban disparities in mobile money account ownership in Tanzania. *Cogent Economics & Finance*, 14(1). <https://doi.org/10.1080/23322039.2026.2624866>
- Ravallion, M., ve Chen, S. (2003). Measuring pro-poor growth. *Economics Letters*, 78(1), 93-99.
- Rios-Avila, F. (2020). Recentered influence functions (RIFs) in Stata: RIF regression and RIF decomposition. *The Stata Journal*, 20(1), 51-94.

Stiglitz, J. E., ve Weiss, A. (1981). Credit rationing in markets with imperfect information. *The American Economic Review*, 71(3), 393-410.

BÖLÜM 4

**Yapay Zekâ ve Verimlilik Paradoksu: Makro
Beklentiler, Mikro Kanıtlar ve İşgücünün
Dönüşümü**

Cem Kalaycı¹

¹ Dr., KOSGEB Ordu Müdürlüğü, ORCID: 0000-0002-5547-9229

Giriş

Yapay zeka teknolojilerinin, özellikle de son dönemde ivme kazanan üretken yapay zekanın iktisadi süreçlere entegrasyonu, bu sistemlerin yeni bir genel amaçlı teknoloji niteliği taşıyıp taşımadığı tartışmasını gündemin merkezine yerleştirmiştir. Buhar makinesi, elektrik ve bilgisayar gibi geçmişteki büyük teknolojik kırılmalarla benzerlik gösteren yapay zeka, üretim süreçlerini otomatikleştirme, karar alma mekanizmalarını optimize etme ve işgücü ikamesi sağlama potansiyeliyle geniş ölçekli bir verimlilik artışı vaat etmektedir. Ancak, makroekonomik düzeydeki verimlilik istatistikleri incelendiğinde, beklenen sıçramanın henüz verilere yansımadağı görülmektedir. Literatürde "Yapay Zeka Verimlilik Paradoksu" olarak kavramsallaştırılan bu durum, bir yanda yüksek teknolojik beklentiler ile diğeryanda durgun seyreden Toplam Faktör Verimliliği rakamları arasındaki belirgin çelişkiyi göz önüne sermektedir.

Bu uyumsuzluk, tek başına bir başarısızlık göstergesi olmayıp, radikal teknolojilerin yayılım süreçlerinde sıkça rastlanan gecikme süreleri, yeni sermaye stoku uyum maliyetleri ve ölçüm yöntemlerindeki yetersizlikler ile açıklanmaktadır. Diğeryaraftan, ampirik ve mikro düzeydeki çalışmalar (özellikle firma ve çalışan bazlı deneysel araştırmalar) üretken yapay zeka kullanımının görev tamamlama sürelerini kısalttığını, çıktı kalitesini artırdığını ve niteliksiz çalışanların verimliliğini üst gruba yaklaştırarak beceri açığını kapattığını ampirik olarak ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, mikro düzeyde gözlemlenen bu güçlü dinamizmin makro büyüme rakamlarına ve toplamsal verimlilik çıktılarına ne zaman ve ne ölçüde dönüşeceği iktisat yazını için önemli bir araştırma sorusudur.

Bu bölüm, söz konusu teorik beklentiler ile ampirik bulgular arasındaki makas noktasına odaklanmaktadır. Çalışmanın amacı; yapay zekanın verimlilik üzerindeki etkilerini makroekonomik kısıtlar, mikro düzey ampirik kanıtlar ve işgücü piyasalarındaki dönüşüm ekseninde bütüncül bir yaklaşımla ele almayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda bölüm; yapay zekanın potansiyeline ilişkin iyimser ve şüphecî yaklaşımları teorik çerçevede karşılaştıracak, ardından çalışan ve firma düzeyindeki güncel deneysel kanıtları inceleyerek işgücü ve beceri yapısındaki dönüşümü akademik bir süzgeçten geçirecektir.

Makroekonomik Çerçeve

Yapay zeka teknolojilerindeki büyük ilerlemelere ve yüksek beklentilere rağmen, makroekonomik istatistiklerde verimlilik artışı düşük seyretmektedir. Erik Brynjolfsson, Daniel Rock ve Chad Syverson çalışmalarında (2021), Robert Solow'un meşhur bilgisayar paradoksuna gönderme yaparak bu modern paradoksu tanımlamaktadır. Bu çalışmadaki temel soru gelişmiş yapay zeka ve makine öğrenmesi sistemleri hızla yaygınlaşırken gelişmiş ülkelerde toplam faktör verimliliğinin neden yavaşladığıdır. Yazarlar bu çelişkiyi açıklamak için dört olası gerekçeyi değerlendirmektedir. Bunlardan ilki yapay zekanın

verimliliği artıracak beklentisinin abartıldığını savunan sahte umutlar diye adlandırdıkları durumudur. İkincisi yapay zekanın verimliliği artırdığını ancak mevcut GSYH ve toplam faktör verimliliği ölçüm yöntemlerinin dijital ve ücretsiz olan hizmetleri yakalayamadığını belirten yanlış ölçümdür. Üçüncü gerekçe yapay zekanın sağladığı faydanın sadece birkaç firmanın elinde toplandığını dolayısıyla ortalama verimliliğe yansımadığını gösteren kötü dağılım, yeniden bölüşüm durumudur. Yazarların temel argüman olan dördüncü gerekçe ise gecikme ve sermaye birikimi ile ilgilidir. Buna göre yapay zeka henüz oldukça erken bir aşamadadır. Makro etki yaratması zaman alacaktır çünkü bu etki için organizasyonlar sermaye ve tamamlayıcı yatırımlar gerekmektedir.

Yazarların ana argümanı olan gecikme hipotezi yazarlara göre paradoksun ana sebebidir. Yapay zeka, buharlı makineler, elektrik ve bilgisayar gibi bir genel amaçlı teknoloji niteliğindedir. Genel amaçlı teknolojiler tek başına verimlilik sıçraması yaratmamaktadır. İş süreçlerinin, yönetim modellerinin, kurum içi yetkinliklerin ve yazılımların yeniden tasarlanması gerekmektedir. Bu tamamlayıcı sermaye yatırımları ise zaman almaktadır.

Firmalar yapay zekaya uyum sağlamak için büyük harcamalar yapmaktadır (eğitim, organizasyonel değişim vb.). Ancak bu harcamalar geleneksel muhasebede doğrudan masraf yazılmaktadır. Sermaye birikimi olarak ölçülememektedir. Bu durum geçiş döneminde ölçülen verimliliği yapay olarak düşük göstermektedir.

Bu çalışmanın bir başka özgün katkısı da verimlilikte J eğrisi modellemesidir. Erken aşamalarda yani yeni teknolojiye geçiş döneminde firmalar kaynaklarını yapay zeka sistemlerini öğrenmeye ve iş süreçlerini değiştirmeye ayırmaktadır. Çıktı henüz artmadığı için ölçülen verimlilik düşmekte veya durgunlaşmaktadır. Tamamlayıcı yatırımlar çıktıları tam anlamıyla oluşturmaya başladığında ve önceki görünmeyen sermaye, çıktıya dönüştüğünde verimlilik göstergeleri hızla yukarı doğru ilerlemektedir.

Yani bu çalışmada yazarlar mevcut verimlilikteki durgunluğun yapay zekanın başarısızlığı anlamına gelmediğini aksine büyük bir verimlilik patlaması öncesinde zorunlu hazırlık ve yatırım evresi olduğunu vurgulamaktadır.

Yapay zekanın makro ölçekte verimlilik yaratması bir teknolojik yetersizlik sorunu değil; yeni iş modellerinin kurum içi süreçleri ve beşeri sermayenin bu teknolojiye uyum sağlaması için gereken zaman ve dönüşüm maliyeti sorunudur.

‘Yapay Zekanın Basit Makroekonomisi’ adlı çalışmasında Acemoğlu (2024), yapay zekanın verimlilik üzerindeki makroekonomik etkilerine şüpheci bir metodolojik analiz ile yaklaşmaktadır. Olumlu ve iyimser yaklaşımlara nazaran daha dengeli bir bakış açısı sunan çalışmada, yapay zekanın otomasyon potansiyelinin toplam faktör verimliliğine ve GSYH’a orta vadede sınırlı bir katkı yapacağı matematiksel bir modelle açıklanmaktadır.

Goldman Sachs, Mckinsey gibi kurumların yapay zekanın yıllık verimlilik ve GSYH büyümesine yüzde % 1,5 ile % 3 arasında kayda değer katkı yapacağı yönündeki tahminleri eleştiren Acemoğlu şu temel soruya yanıt aramaktadır: Üretken yapay zeka önümüzdeki 10 yıl içerisinde toplam faktör verimliliğine ve GSYH'a gerçekten ne kadar katkı sağlayabilir?

Bu etkileri ölçebilmek için göreve dayalı bir iktisadi model kullanılmıştır ve yapay zekanın etkileri iki ana kategoriye ayrılmıştır. İlki kolay otomatize edilebilir görevler yani yapay zekanın doğrudan ikame edebildiği işler; ikincisi ise derin, karmaşık görevlerdir. Bunlar insan muhakemesi, bağlamsal kavrayış ve fiziki sosyal etkileşim gerektiren işlerden oluşmaktadır. Yaptığı analizde Acemoğlu yapay zekanın on yıllık dönemde (2024-2034) makroekonomik etkilerinin önemli ancak oldukça mütevazı olacağını savunmaktadır. ABD işgücündeki tüm görevlerin yalnızca yaklaşık % 0,7 ile % 4,6'sı yapay zeka tarafından uygun maliyetle otomatize edilebilir durumdadır. Önümüzdeki 10 yılda yapay zekanın toplam faktör verimliliği büyümesine toplam katkısı sadece % 0,53 - % 0,66 civarında kalacaktır. Bu da yıllık % 0,05 ile % 0,06'lık çok küçük bir ek büyüme anlamına gelmektedir. Sermaye birikimi ve yatırım etkileri dahil edilse bile yapay zekanın 10 yıllık dönemde toplam GSYH'a yapacağı katkı % 0,93 ile % 1,56 arasında kalacaktır.

Çalışmada etki boyutunun beklenenden düşük kalacağı üç temel nedene bağlanmaktadır. Etkileyici gösterimlere rağmen yapay zeka, karmaşık, bağlam bağımlı, belirsizlik içeren ve fiziki dünyayla temas eden görevlerde başarısızdır. Birçok karmaşık görevde verimlilik artışı sağlamak imkansıza yakındır. Yapay zeka bazen iş gücünün yerini alsa da yarattığı maliyet tasarrufu ve kalite artışı marjinal kalmaktadır. İnsanı ikame eden ancak verimliliği belirgin şekilde artırmayan otomasyon, makro büyümeyi yukarı taşıyamamaktadır. İdeal şartlarda yeni teknolojiler insan işgücü için daha yüksek katma değerli yeni görevler yaratmalıdır. Ancak mevcut yapay zeka geliştirmeleri yeni görev yaratmaktan ziyade mevcut süreçleri otomatize etmeye odaklanmıştır.

Yapay zeka yüksek vasıflı çalışanlar arasındaki ücret farklarını ve şirket karlarını artırırken sermayenin milli gelirden aldığı payı büyötmektedir. Yapay zeka yazılımlarının yanlış bilgi veya güvenlik açıkları üretme riski, düzenleme eksikliği ve aşırı otomasyon odaklı teşvikler nedeniyle toplumsal refah kaybı riski taşımaktadır. Bu noktada yapay zekanın bölüşüm etkileri, eşitsizlik ve ücretlerde yaratacağı olumsuz etkilere dikkat çekilmektedir.

Brynjolfsson vd.'nin (2021) çalışması yapay zeka verimlilik paradoksunu bir uyum gecikmesi ve gelecekte patlama yapacak J eğrisi olarak okumaktayken; Acemoğlu (2024), kısıtın tek başına zaman olmadığını, teknoloji mimarisinin doğası gereği makro sınırları olduğunu savunmaktadır.

Bu çalışma yapay zekanın, mikro düzeyde münferit görevlerde etkileyici hızlanmalar sağlasa da bu görevlerin toplamının ekonomi içindeki payının sınırlı

olması ve karmaşık süreçlerin otomatize edilmesindeki zorluklar nedeniyle makro verimlilik artışını dönüştürücü bir etki sağlamayacağını, mütevazı bir seviyede tutacağını savunmaktadır.

Mikro Veriler

Erik Brynjolfsson, Danielle Li ve Lindsey R. Raymond'ın 2023 yılında yayımladığı çalışma, üretken yapay zekanın gerçek bir iş ortamında çalışan verimliliği üzerindeki etkilerini inceleyen en kapsamlı ve prestijli ampirik saha araştırmasıdır. Araştırmacılar, Fortune 500 bünyesindeki bir yazılım şirketinin müşteri hizmetleri biriminde çalışan 5.239 müşteri temsilcisini incelemektedir. Çalışanlara, geçmiş başarılı müşteri görüşmelerinden öğrenen ve gerçek zamanlı diyalog önerileri ile çözüm adımları sunan üretken yapay zeka tabanlı bir asistan verilmiştir. Çalışanların verimliliği, saat başına çözülen müşteri talebi sayısı, ortalama görüşme süresi ve müşteri memnuniyeti gibi objektif metriklerle aşamalı olarak takip edilmiştir. Üretken yapay zeka asistanı kullanan çalışanların saat başına çözdüğü sorun sayısı ortalama %14 artmıştır. Temsilcilerin bir müşteriye ayırdığı ortalama süre kısalmış, aynı anda birden fazla sohbeti yönetme kapasiteleri yükselmiştir. Verimlilik artışı kalite kaybıyla sonuçlanmamıştır. Aksine müşteri memnuniyeti puanları yükselmiş, çalışanların işi bırakma oranları belirgin şekilde düşmüştür. Yapay zekanın farklı deneyim seviyesindeki çalışanlar üzerinde asimetric etkisi bulunmaktadır. En düşük vasıflı ya da yeni çalışanlar, yapay zeka desteğiyle verimliliklerini % 34 oranında artırmışlardır. En yüksek vasıflı ya da deneyimli çalışanların yapay zeka kullanımından sağladıkları verimlilik artışı neredeyse hiç yoktur. Üretken yapay zeka, kıdemli ve yüksek yetenekli çalışanların yıllar içinde edindiği zımni bilgiyi ve en iyi uygulamaları öğrenerek bünyesine katmaktadır. Daha sonra bu birikimi, yeni veya düşük yetenekli çalışanlara gerçek zamanlı olarak iletmektedir. Böylece yeni bir çalışanın deneyimli bir çalışanın verimlilik seviyesine ulaşma süresi (öğrenme eğrisi) aylar sürmek yerine haftalara inmektedir.

Bu çalışmaya göre yapay zeka, kurum içindeki en iyi çalışanların tecrübesini dijitalleştirip alt gruptaki çalışanlara dağıtan bir çeşit organizasyonel hafıza ve öğrenme aracı olarak işlev görmektedir. İş yükünü hafifleterek, zor diyalogları kolaylaştıran yapay zeka, özellikle acemi çalışanlardaki tükenmişlik hissini ve işten ayrılma eğilimini azaltmaktadır. Yani üretken yapay zeka, sadece işleri hızlandıran bir otomasyon aracı değildir. Kurum içindeki zımni uzmanlığı alt vasıflı çalışanlara aktararak öğrenme eğrisini radikal şekilde kısaltan ve beceri açıklarını kapatan kapsayıcı bir verimlilik teknolojisidir.

Noy ve Zhang'in (2023) çalışması, üretken yapay zekanın profesyonel yazılı metin üretimi ve idari görevlerdeki etkisini rastlantısal kontrollü deney yöntemiyle inceleyen ilk ve en prestijli çalışmalardan biridir. Araştırmada, üniversite mezunu 453 profesyonel beyaz yakalı çalışanı (pazarlamacılar, veri analistleri, insan kaynakları uzmanları, danışmanlar vb.) kapsayan çevrim içi

kontrollü bir deney yürütülmüştür. Katılımcılara meslekleriyle doğrudan ilgili 20-30 dakikalık gerçekçi iş görevleri verilmiştir (basın bülteni yazımı, kısa analiz raporu, kurumsal e-posta veya hassas karar metni hazırlama). Deney grubuna görev sırasında yapay zeka kullanma imkanı verilirken, kontrol grubu görevi geleneksel yöntemlerle tamamlamıştır. Üretilen metinler, aynı sektörlerden bağımsız uzmanlar tarafından çift kör değerlendirme yöntemiyle değerlendirilmiş ve kalite puanlanmıştır. Geleneksel teknolojiler genelde hız ile kalite arasında bir ödünleşme yaratırken, yapay zeka her iki boyutta da ciddi iyileşme sağlamıştır. Yapay zeka kullanan grup, verilen görevleri kontrol grubuna kıyasla ortalama % 40 daha hızlı tamamlamıştır. Bağımsız uzmanların değerlendirmelerine göre, yapay zeka ile üretilen metinlerin genel kalitesi kontrol grubuna kıyasla % 18 daha yüksek puan almıştır. Makalenin en dikkat çekici kısımlarından biri, çalışanların zamanlarını görevin hangi aşamalarına ayırdıklarını inceleyen bölümdür. Beyaz yakalıların ilk taslağı oluşturma aşamasına harcadıkları zaman % 50 oranında azalmıştır. Çalışanlar zamanlarının büyük kısmını ilk taslağı yazmaya değil; yapay zeka tarafından üretilen metni incelemeye, düzenlemeye ve fikir geliştirmeye ayırmıştır. Brynjolfsson ve ark. (2023) çalışmasıyla paralellik gösteren şekilde, yapay zekadan en çok fayda sağlayanlar, başlangıçta daha düşük yazım yeteneğine sahip olan çalışanlar olmuştur. Yapay zeka, yetenekli ve az yetenekli çalışanlar arasındaki performans makasını kapatmıştır. Katılımcıların yapay zeka kullanımı sonrası iş tatminleri artmış, gelecekte yapay zekanın işlerini elinden alacağına dair duydukları endişe seviyesinde belirgin bir düşüş gözlemlenmiştir.

Araştırmacılar, rutin fiziksel veya kodlama odaklı işlerin ötesinde, metin tabanlı soyut bilgi üretiminde üretken yapay zekanın ne kadar önemli bir verimlilik kaldıracı sunduğunu kanıtlamaktadır. Üretken yapay zeka, beyaz yakalı profesyonellerin çalışma biçimini 'sıfırdan taslak yazma' hamallığından çıkarıp, 'üretilen taslağı eleştirel gözle düzenleme ve yönlendirme' boyutuna taşıyarak hem süreci % 40 hızlandırmakta hem de çıktı kalitesini yükseltmektedir.

İşgücü Dinamikleri

Dell'Acqua ve ark. (2023), yönetim danışmanları üzerinde yürütülmüş en prestijli saha deneyini uygulamışlardır. Makale, yapay zekanın bilgi işçilerinin verimliliği üzerindeki etkisini incelerken literatüre son derece kritik iki temel kavram kazandırmıştır: "Pürüzlü Teknolojik Sınır" ve "Süreçten Kopma". Araştırma, 758 üst düzey yönetim danışmanı (% 7'lik zorlu işe alım sürecini geçmiş, yüksek vasıflı bilgi işçileri) ile gerçekleştirilmiştir. Danışmanlar rastlantısal olarak üç gruba ayrılmıştır (yapay zeka kullanmayan kontrol grubu, GPT-4 kullanan grup ve GPT-4 ve yapay zeka kullanım eğitimi alan grup). Bu gruplar, iki farklı görev kategorisinde test edilmiştir. İlki ürün geliştirme, yaratıcı fikir üretme, pazar analizi ve pazarlama stratejisi kurgulama gibi teknolojik

sınırın içindeki görevler. İkincisi görünürde kolay olan ancak iş mantığında ince bir yanıltma ya da tuzak barındıran karmaşık problem çözme gibi teknolojik sınırın dışındaki görevler. Yazarlar, yapay zekanın yeteneklerinin düz bir çizgi izlemediğini, bazı zor görevlerde oldukça başarılıyken insana çok kolay gelebilen bazı mantık yürütme süreçlerinde başarısız olduğunu belirtmektedir. Bu durumda oluşan belirsiz sınıra Bu belirsiz sınıra "Pürüzlü Sınır" adı verilmektedir. Danışmanlar, GPT-4 kullandıklarında % 12,2 daha fazla görev tamamlamış, görevleri % 25,1 daha hızlı bitirmiş ve çıktı kaliteleri % 40 daha yüksek bulunmuştur. Yapay zekanın yetersiz kaldığı tuzaklı görevlerde GPT-4 kullanan danışmanların doğru yanıtı ulaşma oranı, yapay zeka kullanmayan kontrol grubuna kıyasla % 19 daha düşük kalmıştır. Danışmanlar yapay zekaya aşırı güvenerek yanlış yönlendirilmişlerdir. Yazarlar, yapay zekanın yüksek kalitede metin ve analiz üretme yeteneğinin insanlarda bir bilişsel tembellik yarattığını gözlemlemiştir. İnsanlar yapay zekanın çıktısını eleştirel bir süzgeçten geçirmek yerine, ona körlemesine güvenmeye başlamaktadır. Yapay zeka sınırın dışındaki mantık tuzaklarına düştüğünde, insan danışmanlar da kendi eleştirel düşünme mekanizmalarını devreden çıkardıkları için YZ ile birlikte hata yapmaktadır. Bu çalışmada da literatürdeki diğer ampirik çalışmalarla tutarlı biçimde, şirketin başlangıçta en düşük performans gösteren danışmanları yapay zeka desteğiyle performanslarını % 43 artırırken, halihazırda en başarılı olan danışmanlardaki artış % 17'de kalmıştır.

Yapay zeka, pürüzlü teknolojik sınırın içinde kalan görevlerde uzman bilgi işçilerinin verimliliğini ve kalitesini % 40'a varan oranlarda artırırken; sınır dışındaki belirsiz problemlerde çalışanların eleştirel düşünme mekanizmalarını devre dışı bırakarak (süreçten kopma) verimlilik ve kalite kaybına yol açabilmektedir.

David Autor (2024), yapay zekanın yarattığı etkiyi anlamak için son 40 yılın teknolojik kırılmalarını karşılaştırmaktadır. Bilgisayarlaşma ve otomasyon dönemini kapsayan 1980-2000 arasında bilgisayarlar, kuralları net tanımlanabilen rutin orta vasıflı işleri (fabrika montajı, veri girişi, muhasebe gibi) otomatize etmiştir. Bu durum işgücü piyasasında kutuplaşmaya yol açmıştır. Yüksek vasıflı zihinsel işler ile düşük vasıflı hizmet işleri büyürken, orta sınıf işler erimiştir. 2020 ve sonrasındaki yapay zeka döneminde yapay zeka kurallarla sınırlı değildir. Kalıpları, bağlamı ve zımni bilgiyi işlemektedir. Bu nedenle yapay zekanın hedefinde rutin işler değil, uzmanlık gerektiren zihinsel görevler bulunmaktadır. Çalışmaya göre yapay zeka, insan uzmanlığını ikame etmek zorunda değildir. Aksine yapay zeka, uzmanlığı daha az eğitilmiş çalışanların erişimine açan bir kaldıraç olabilecektir. Uzmanlık, nadir bulunan ve elde edilmesi yıllar alan nitelikli bilgidir. Yapay zeka, bu zımni bilgi yükünü kendi üstlenerek çalışanların üzerindeki yükü hafifletmektedir. Yapay zeka orta sınıf çalışanlar için bir fırsattır. Bir pratisyen hekimin uzman doktor seviyesinde teşhis koymasına, bir hukuk asistanının nitelikli hukuki taslaklar hazırlamasına veya

orta düzey bir yazılımcının karmaşık kodlar yazmasına imkan tanımaktadır. Yapay zeka, daha önce yıllarca eğitim ve tecrübe gerektiren karmaşık karar alma süreçlerini, temel mesleki formasyonu olan orta vasıflı çalışanlar için uygulanabilir kılmaktadır. Bu çalışma, yapay zekanın işgücü piyasasındaki geleceğinin teknolojik bir zorunluluk değil, kurumsal ve siyasi seçimlerin bir sonucu olacağını vurgulamaktadır. Aşırı otomasyon olarak tanımlanabilecek olumsuz senaryo durumunda yapay zeka, sadece insan işgücünü ortadan kaldırmak ve maliyetleri düşürmek için kullanılırsa, elit bir uzman kesim ve sermaye sahipleri zenginleşirken geniş kitleler niteliksizleşmektedir. Uzmanlığı tamamlama olarak özetlenebilecek olumlu senaryoda yapay zeka, orta vasıflı çalışanların daha değerli ve karmaşık işler yapmasını sağlayan bir karar destek aracı olarak kurgulanabilirse, 1980 sonrası eriyen orta sınıf istihdamı ve ücret seviyeleri yeniden inşa edilebilecektir.

Yapay zeka, YZ, saf bilgiye erişimi ucuzlattığı için sadece bilgi sahibi olmanın piyasa değerini düşürmektedir. Ancak insani muhakeme, empati, bağlamsal kavrayış ve saha tecrübesinin değerini artırmaktadır. Bilişsel işlerdeki giriş engellerini azaltarak yüksek eğitimliler ile orta eğitimliler arasındaki gelir uçurumunu daraltabilecektir.

Bu çalışmaya göre yapay zeka, doğru kurumsal politikalarla yönlendirildiğinde, elit uzmanlık bilgisini orta vasıflı çalışanların kullanımına sunarak 20. yüzyılın son çeyreğinde eriyen orta sınıf istihdamını ve ücret yapısını yeniden inşa etme potansiyeline sahip bir uzmanlığı demokratikleştirme aracıdır.

Sonuç

Yapay zekanın verimlilik üzerindeki etkileri, makroekonomik kısıtlar ile mikro düzeydeki güçlü ampirik kanıtların kesişiminde karmaşık bir yapı sergilemektedir. Makro boyutta Brynjolfsson ve diğerleri (2021), yapay zekayı tamamlayıcı organizasyonel sermaye ve uyum süreçleri gerektiren bir Genel Amaçlı Teknoloji olarak tanımlayarak mevcut durgunluğu "Verimlilik J-Eğrisi" çerçevesinde bir geçiş dönemi olarak açıklarken; Acemoğlu (2024), teknolojinin karmaşık görevlerdeki sınırlarına işaret ederek makro verimlilik artışının orta vadede mütevazı kalacağını savunmaktadır.

Buna karşın ampirik literatür, yapay zekanın mikro düzeyde dönüştürücü bir güç olduğunu doğrulamaktadır. Noy ve Zhang (2023) ile Brynjolfsson ve diğerleri (2023), üretken yapay zekanın görev sürelerini kısaltıp çıktı kalitesini yükselttiğini ve özellikle niteliksiz çalışanların öğrenme eğrisini radikal biçimde hızlandırdığını göstermektedir. Dell'Acqua ve diğerlerinin (2023) "pürüzlü teknolojik sınır" vurgusu, verimlilik artışının bilişsel pasifliğe düşmeden ve görevin niteliği doğru teşhis edilerek elde edilebileceğini ortaya koyarken; Autor (2024), bu dinamiklerin uzmanlığı demokratikleştirerek orta sınıf istihdamını yeniden inşa etme potansiyeline dikkat çekmektedir.

Sentez niteliğindeki bu bulgular, yapay zekanın kendiliğinden bir makro verimlilik mucizesi yaratmayacağını; ancak doğru kurumsal mimari, insan-yapay zeka iş birliği ve odaklanmış organizasyonel yatırımlarla mikro ölçekteki performans kazanımlarının makroekonomik büyümeye dönüşebileceğini göstermektedir.

Firmalar için organizasyonel sermaye ve eğitim yatırımları verimlilikte dönüşüm yaratabilecek bir potansiyele sahiptir. Dolayısıyla firmaların bu alanlarda yapabileceği yatırımlar bu yarışta öne geçmelerini sağlayabilecektir. Kamu otoritesi içinse kamu destek mekanizmaları ve eğitim politikası düzenlemeleri yapay zekanın verimliliğe katkısını hızlandırabilecek enstrümanlardır.

Bu çalışmanın saha verileriyle desteklenebilmesi için uzun dönemli panel veri gerekmektedir. Birçok ülke konunun yeni olması nedeniyle yeterli veriye sahip değildir.

Kaynaklar

- Acemoğlu, D. (2025). The simple macroeconomics of AI. *Economic Policy*, 40(121), 13-58.
- Autor, D. (2024). *Applying AI to rebuild middle class jobs* (No. w32140). National Bureau of Economic Research.
- Brynjolfsson, E., Li, D., & Raymond, L. R. (2023). "Generative AI at Work." (NBER Working Paper No. 31161 / Quarterly Journal of Economics)
- Brynjolfsson, E., Rock, D., & Syverson, C. (2018). Artificial intelligence and the modern productivity paradox: A clash of expectations and statistics. In *The economics of artificial intelligence: An agenda* (pp. 23-57). University of Chicago Press.
- Dell'Acqua, F., McFowland III, E., Mollick, E., Lifshitz, H., Kellogg, K. C., Rajendran, S., ... & Lakhani, K. R. (2026). Navigating the jagged technological frontier: Field experimental evidence of the effects of artificial intelligence on knowledge worker productivity and quality. *Organization Science*, 37(2), 403-423.
- Noy, S., & Zhang, W. (2023). Experimental evidence on the productivity effects of generative artificial intelligence. *Science*, 381(6654), 187-192.

BÖLÜM 5

**Matching under Institutional Constraints:
Feasibility, Choice, and
Program Activation**

Sinan Ertemel¹

¹ Asst. Prof. Dr., Department of Economics, Istanbul Technical University
ORCID: 0000-0003-0089-4641

INTRODUCTION

Capacity is the natural starting point for a matching model, but it is rarely the only restriction faced by a centralized allocation system. School districts regulate socioeconomic or geographic composition. Health authorities limit concentration in popular regions while trying to maintain service elsewhere. Universities reserve seats, pool capacity across related programs, and sometimes cancel programs that attract too few applicants. These policies affect not only which assignments are feasible, but also which priority claims the mechanism recognizes, how institutions respond to applications, and which options remain available when the process ends.

The phrase *matching with constraints* can therefore be misleadingly uniform. An upper quota imposes a ceiling on an otherwise acceptable assignment. A lower quota may instead require a minimum level of coverage or make operation conditional on reaching a viable cohort. A reserve changes access to designated seats and may specify how unused capacity is transferred. A common quota links choices that separate programs could otherwise make independently. Since these rules act through different margins, the same numerical language need not imply the same model or the same appropriate solution concept.

This chapter separates three points at which policy enters a matching mechanism. The first is assignment feasibility: the planner specifies which final allocations are admissible. The second is institutional choice: priorities, reserves, and transfer rules determine which applications an institution retains from any available set. The third is activation: a program or project operates only when a condition such as minimum enrollment is satisfied. Ordinary capacity-constrained deferred acceptance makes these layers appear almost interchangeable because responsive choices implement independent ceilings. Their differences become visible once programs share capacity, applicants belong to overlapping categories, or operation itself is endogenous.

Classical deferred acceptance remains the natural benchmark, but not a template that can be carried unchanged into every constrained environment. Gale and Shapley (1962) established existence and side-optimality under the classical assumptions. The proposing side's incentive properties were proved directly by Dubins and Freedman (1981) and Roth (1982), with Roth and Sotomayor (1990) providing the standard synthesis. A constrained mechanism should therefore be evaluated by identifying which parts of this benchmark survive: existence, an appropriate form of stability or fairness, applicant welfare, incentive compatibility, and computational tractability need not stand or fall together.

Two structural distinctions help organize the resulting literature. Substitutability asks whether an institution's rejections remain consistent as the available set of contracts changes. Heredity asks whether feasibility is preserved when assignments are removed. Neither property subsumes the other. A reserve

may be implemented by a substitutable choice rule even when it is poorly described as a hard constraint. An aggregate ceiling may define a hereditary feasible set while still requiring system-wide coordination. A hard lower bound, by contrast, can destroy feasibility when a single assignment is removed and thereby introduces complementarity at the level of the constraint itself.

These distinctions place the principal strands of work in a common frame without reducing them to variants of one algorithm. Matching with contracts, slot priorities, and reserve systems concentrates on institutional choice (Aygün & Turhan, 2020; Hafalir, Yenmez, & Yildirim, 2013; Hatfield & Milgrom, 2005; Kominers & Sönmez, 2016). Research on regional and general distributional constraints studies aggregate feasibility and the conditions under which generalized forms of deferred acceptance remain available (Goto, Kojima, Kurata, Tamura, & Yokoo, 2017; Kamada & Kojima, 2015; Kojima, Tamura, & Yokoo, 2018). The literature on lower quotas responds to non-heredity through modified stability concepts, controlled relaxation, approximation, or endogenous operation (Akin, 2021; Biró, Fleiner, Irving, & Manlove, 2010; Fragiadakis, Iwasaki, Troyan, Ueda, & Yokoo, 2015). Each approach preserves a different part of the classical benchmark because it addresses a different institutional source of dependence.

Program closure is one important instance of the activation problem. In college admissions and project assignment, a program may either remain closed or enroll a cohort large enough to operate (Arulselvan, Cseh, Groß, Manlove, & Matuschke, 2018; Biró et al., 2010; Monte & Tumennasan, 2013). Once the active set is determined within the allocation procedure, the timing of closure matters. Closing all deficient programs before reassignment may remove an option that displaced applicants would have made viable; closing programs sequentially uses more information but can make the outcome depend on the order of decisions. The distinction between procedural reachability and ex-post closure completeness clarifies what a closure protocol has established and what it may have left unresolved. These questions are considered together with their applications rather than as a separate model detached from the broader lower-quota literature.

Section 1 presents the classical benchmark and the three-layer framework. Section 2 reviews the main families of constraints and the guarantees available for each. Its final subsection treats lower quotas and program closure in two stages: first the design of closure protocols, then their institutional applications in higher education, medical placement, and project assignment. The conclusion draws together the comparisons and sets out open questions that cut across the different strands.

1. CLASSICAL FOUNDATIONS AND A DESIGN FRAMEWORK

1.1. The Classical Benchmark

Let N be a finite set of applicants and S a finite set of programs. Each applicant $i \in N$ has a strict preference relation P_i over $S \cup \{\emptyset\}$, where $\emptyset$ denotes remaining unmatched. Programs ranked below $\emptyset$ are unacceptable. Program $s \in S$ has capacity q_s and a strict priority order $\succ_s$ over applicants.

A matching is a map $\mu: N \rightarrow S \cup \{\emptyset\}$ such that

$$|\mu_s| \leq q_s, \quad \mu_s := \{i \in N: \mu(i) = s\}, \quad (1)$$

for every program s . The matching is individually rational if no applicant is assigned to an unacceptable program. A pair (i, s) blocks μ if applicant i prefers s to $\mu(i)$ and either s has an empty seat or i has higher priority at s than some applicant assigned there. A matching is stable when it is individually rational and has no blocking pair.

Applicant-proposing deferred acceptance proceeds by applications and tentative rejections. Each unmatched applicant applies to her most-preferred program that has not rejected her; each program tentatively holds its highest-priority applicants up to capacity and rejects the rest. The procedure ends when no further application is possible.

Stability combines two ideas that later separate under constraints. It protects priority claims by preventing a lower-priority applicant from occupying a seat desired by a higher-priority applicant, and it rules out avoidable vacancies whenever an acceptable applicant would prefer the vacant seat. This interpretation is institutional rather than purely ordinal. Program priorities may reflect examination scores, waiting time, geographic eligibility, affirmative-action rules, or a legally prescribed ranking. The content of stability therefore depends on which priority claims the institution recognizes before the algorithm is run.

Proposition 1 (Classical deferred-acceptance benchmark). *With strict applicant preferences, strict program priorities, and responsive program choice subject only to independent upper capacities, applicant-proposing deferred acceptance produces a stable matching. Its outcome is weakly preferred by every applicant to every other stable matching, and truthful preference reporting is a dominant strategy for applicants.*

The existence and applicant-optimality statements originate with Gale and Shapley (1962). The strategy-proofness of deferred acceptance for the proposing side was established directly by Dubins and Freedman (1981) and Roth (1982); Roth and Sotomayor (1990) provide a systematic synthesis of the classical results. The benchmark is powerful because an institution's rejection is final in an

economically meaningful sense. If an applicant is rejected from a set of available applications, the arrival of additional applications does not make that applicant more desirable. This rejection logic is closely related to substitutability in the matching-with-contracts framework (Hatfield & Kojima, 2010; Hatfield & Milgrom, 2005).

The side of the market that proposes matters. Applicant-proposing deferred acceptance selects the applicant-optimal stable matching, whereas an institution-proposing version generally selects a different point in the stable set. The applicant-proposing rule is especially attractive in centralized admissions because it couples the strongest applicant-side welfare guarantee available within stability with dominant-strategy truthful reporting for applicants. These conclusions do not say that the outcome maximizes total welfare, nor do they make truthful behavior dominant for institutions. They identify a carefully delimited benchmark against which constrained mechanisms can be evaluated.

The domain of the incentive result is equally important. Applicants may report their preferences independently, and the priorities and capacities used by programs are taken as fixed. Truthful reporting is then optimal for each applicant regardless of the reports submitted by others. If priorities depend on applicant behavior, if several applicants must be placed jointly, or if reports help determine which programs operate, the environment is no longer the one described by the classical theorem. This is not a technical qualification added after the fact. It identifies the boundary between preference elicitation and other policy decisions that may themselves be strategically affected.

Several familiar complications already require care before policy constraints are introduced. Ties in priorities can make the selected outcome depend on tie-breaking and can weaken the interpretation of justified envy. Incomplete preference lists make voluntary participation explicit, while unacceptable assignments rule out filling capacity merely for its own sake. In large applications, priorities may be derived from scores, lotteries, or composite legal criteria rather than from an institution's preferences. The classical model accommodates these features only after they have been converted into the strict preferences and priorities on which the theorem operates. That conversion is itself a design decision and should be distinguished from the algorithm that follows it.

The benchmark also relies on capacities being independent. A program decides whom to retain without asking how many places have been used elsewhere. This local separability is what allows rejections to be processed institution by institution. Once two programs share a budget, a regional ceiling, or a common pool of seats, an application retained at one location may change what can be retained at another. The familiar algorithm can then remain well defined only if the aggregate restriction is translated into a coherent system-level choice rule.

Constraints can break the benchmark at different points. They may couple programs, make applicants complementary, prevent a stable matching from existing, make the applicant-optimal stable matching ill-defined, or force a choice between feasibility and standard fairness. A useful analysis must therefore identify which part of Proposition 1 is being preserved and which part is being relaxed.

1.2. Three Policy Layers

Constraints enter most directly as restrictions on final assignments. Write $x_{is} = 1$ if applicant i is assigned to program s and $x_{is} = 0$ otherwise. Every applicant receives at most one assignment:

$$\sum_{s \in S} x_{is} \leq 1 \quad \text{for every } i \in N. \quad (2)$$

Let x denote the entire assignment matrix. A general hard policy can be represented by a family $\mathcal{F}$ of admissible assignment matrices. The classical capacity constraint is

$$\sum_{i \in N} x_{is} \leq \bar{q}_s \quad \text{for every } s \in S. \quad (3)$$

Applicants may carry observable types. Let T be a finite set of policy-relevant types and let $\tau_{it} \in \{0,1\}$ indicate whether applicant i has type t . Type counts are

$$z_{st}(x) = \sum_{i \in N} \tau_{it} x_{is}. \quad (4)$$

A type ceiling has the form $z_{st}(x) \leq \bar{q}_{st}$, whereas a type floor has the form $z_{st}(x) \geq \underline{q}_{st}$. A regional ceiling for a collection $R \subseteq S$ is

$$\sum_{s \in R} \sum_{i \in N} x_{is} \leq \bar{Q}_R. \quad (5)$$

Analogous lower bounds, budget constraints, and multidimensional requirements can be represented in the same way.

This representation separates the policy objective from the procedure used to attain it. It also forces the analyst to specify interactions that verbal quota descriptions may leave implicit. If an applicant belongs to several types, for example, one assignment may count toward several bounds. If two programs draw from a common budget, accepting an applicant at one program can remove a feasible seat at the other. Whether these interactions are additive, hierarchical, or overlapping determines the geometry of the admissible family and, consequently, the mechanisms that can operate on it.

The same policy goal can look quite different across the three layers. Suppose a university seeks greater access for scholarship-eligible applicants across two related programs. It could impose a hard minimum on the final number admitted, reserve seats within each program, or allow a lightly demanded program to operate only when a minimum cohort can be assembled. The first formulation

makes some otherwise attractive assignments impermissible. The second changes the order in which applications are processed and can release unused seats. The third changes the menu itself. Although each policy may increase enrollment of the target population, it does so through a different rejection logic and places the risk of insufficient demand on different participants.

Definition 1 (Hereditary feasibility). *A feasibility family $\mathcal{F}$ is **hereditary** if $x \in \mathcal{F}$ and $0 \leq y \leq x$ componentwise imply $y \in \mathcal{F}$.*

Upper capacities and ceilings are hereditary: removing assignments cannot violate them. Hard lower bounds are not hereditary: removing one applicant may push a previously feasible program or region below its floor. Heredity is weaker than the combinatorial structures—among them matroids, laminar systems, and discrete-convex domains—that support particularly strong algorithms, but it provides a useful initial division of cases (Aziz, Biró, & Yokoo, 2022; Goto et al., 2017; Kamada & Kojima, 2018; Kojima et al., 2018).

Not every policy is best represented as a prohibition on final outcomes. Many operate instead through an institution’s choice function. In a matching-with-contracts formulation, let Y be a set of contracts offered to a program and let $C_s(Y) \subseteq Y$ be the contracts it retains. A familiar substitutes condition can be written in rejection form as

$$Y \subseteq Z \quad \Rightarrow \quad Y \setminus C_s(Y) \subseteq Z \setminus C_s(Z). \quad (6)$$

Thus a contract rejected from a smaller offer set is not revived merely because more alternatives arrive. Together with suitable consistency and aggregate-demand conditions, substitutability supports stable outcomes and applicant-proposing cumulative-offer mechanisms (Hatfield & Kojima, 2010; Hatfield & Milgrom, 2005).

This layer is the natural home for many reserve systems. A minority reserve, for example, can instruct a school to fill a specified number of seats using the minority priority order before remaining seats are made available more broadly. If an unfilled reserved seat transfers to another category, the rule changes how the school chooses; it need not declare an otherwise sensible final assignment infeasible. Slot-specific priorities and dynamic reserves formalize such designs (Aygün & Turhan, 2020; Kominers & Sönmez, 2016).

A separate issue arises when a constraint determines whether a program operates at all, rather than merely whom it accepts. Introduce an activation variable $a_s \in \{0,1\}$. A program with lower quota $\underline{q}_s$ and capacity $\bar{q}_s$ must satisfy

$$a_s \underline{q}_s \leq \sum_{i \in N} x_{is} \leq a_s \bar{q}_s. \quad (7)$$

If $a_s = 0$, the program is closed; if $a_s = 1$, it must enroll at least its minimum. The constraint contains a fixed-charge logic: admitting the first applicant is

feasible only if enough other applicants can be admitted as well. Applicants assigned to different programs become linked through the closure and reallocation process.

Activation rules raise questions that are absent from a fixed feasible set. Who decides which programs remain active? Is closure simultaneous or sequential? Can a closed program be reconsidered after the rest of the market adjusts? Does a program's tentative demand depend on the very closure decision it is meant to determine? The answers are components of the mechanism, not implementation details.

The distinction is especially important when applicants submit ranked lists before activation is settled. A closure removes an option, sends displaced applicants to lower-ranked alternatives, and can change whether those alternatives meet their own minima. The activation decision therefore changes the input faced by the assignment rule, while the assignment produced by that rule is used to evaluate activation. A complete mechanism must specify how this feedback loop is resolved and which decisions, if any, may be reversed.

The object to which a constraint is attached also matters. A restriction may count applicants, seats, contracts, expenditure, or several attributes at once. If scholarship status, specialty, campus, or funding source is part of a contract, two contracts involving the same applicant and institution may consume different resources. A formulation that records only the final applicant-program pair can then conceal the choice actually made by the institution. Matching with contracts is useful precisely because it keeps these terms visible while allowing the institution to compare offers through a single choice function (Hatfield & Milgrom, 2005).

Timing introduces another distinction. Some constraints are assessed while applications are being processed; others are checked only after a tentative assignment has been formed. An ex-post repair may satisfy the numerical policy while undoing the rejection history that supported stability or strategy-proofness. Conversely, embedding every constraint directly into tentative choice can make the rule difficult to explain and may require information that is unavailable at that stage. The institutional calendar—when eligibility is verified, when capacities become known, and when closures or transfers become irreversible—belongs in the formal description of the mechanism.

The layer determines the relevant theorem. Choice-function results require conditions such as substitutability. Feasibility-based results ask about heredity, discrete convexity, or integrality. Activation protocols require monotonicity with respect to deleting or restoring institutions. A model that writes every policy as a vector of quotas can therefore miss the institution's actual decision architecture.

1.3. Structural Taxonomy

Table 1 classifies common constraints. “Hereditary” refers to feasibility under removal of assignments, not to whether a particular algorithm preserves the policy.

Table

1

Constraint families and their design implications

Constraint	Typical policy	Hereditary?	Natural layer	Central design issue
Independent upper quota	Capacity of one school or hospital	Yes	Feasibility and choice	Classical deferred acceptance applies under responsive priorities
Type ceiling	Maximum number from a category	Yes	Feasibility or choice	Fairness across types and preservation of substitutes
Reserve	Seats processed first for a target group, often with transfer	Not primarily a hard constraint	Choice	Precedence, transfer rules, and within-category fairness
Common or regional ceiling	Aggregate cap across several programs	Yes	Aggregate feasibility	Cross-program externalities and centralized coordination
Type or regional floor	Minimum representation or staffing	No	Feasibility, sometimes choice	Complementarity, possible waste, and nonexistence of standard stable outcomes
Program lower quota	Program operates only above minimum enrollment	No for assignments	Activation plus feasibility	Which programs open, closure timing, and displaced demand
Budget or multi-dimensional cap	Total cost or several resources cannot exceed limits	Usually yes for upper bounds	Aggregate feasibility	Integrity, approximation, and computational complexity
Linked contracts or couples	Outcomes must be accepted jointly	Generally no	Preferences/choice	Complementarities and failure of substitutability

Source: Author’s synthesis of the literature discussed in the text (Bíró et al., 2010; Hatfield & Milgrom, 2005; Kamada & Kojima, 2015; Kojima et al., 2018).

Several further questions are institutional rather than merely technical. A hard restriction rules out any violation, whereas a soft target requires an explicit account of the permissible trade-offs. The intended standard of fairness must also be stated. Ordinary no-justified-envy may cease to be appropriate when policy categories legitimately change priorities, but abandoning that standard does not by itself identify the fairness criterion that should replace it.

These distinctions are more informative than the word “quota” alone. Two policies with identical numerical bounds may require different mechanisms because one is a final constraint and the other is a seat-processing rule.

The taxonomy is also a guide to comparative statics. For a hereditary upper bound, reducing the number of assignments cannot create a new violation, so attention turns to how capacity is rationed. For a reserve, the decisive comparative static concerns the release and transfer of protected capacity. For a lower bound, removing an assignment can unravel feasibility, and demand shocks may change whether the institution remains active. These are different margins of adjustment, and empirical evidence should be organized around the margin implied by the model rather than around quotas in the abstract.

Many applications combine several rows of Table 1. A university may use reserves within each program while drawing all subsidized seats from a common budget. A medical authority may impose an urban ceiling and a rural floor at the same time. A program subject to a lower quota may also share an upper capacity with neighboring programs. The combined system cannot generally be analyzed by proving a separate result for each component and then placing the results side by side. One component may destroy the substitutability, heredity, or exchange property supplied by another.

2. CONSTRAINT FAMILIES AND THEIR DESIGN CONSEQUENCES

Once constraints are added, the familiar guarantees no longer travel together. A policy may leave existence intact while weakening standard fairness; another may secure a defensible notion of fairness at the cost of efficiency or incentives. Computation is an independent concern, since an appealing outcome concept has little operational force if existence cannot be checked or an outcome cannot be found at market scale. It is therefore useful to keep existence, fairness, efficiency, incentives, and tractability separate even when a particular model links some of them.

Deferred acceptance relies on coherent rejections. If an institution views applicants as complements, rejecting one applicant today may be inconsistent with wanting that applicant tomorrow once a complementary group becomes available. Hard lower quotas generate precisely this logic: a program may want either no applicants or at least a viable cohort. Type floors can similarly make an applicant valuable because she helps complete a category requirement.

The matching-with-contracts literature isolates conditions under which stable outcomes and cumulative-offer algorithms survive (Hatfield & Kojima, 2010; Hatfield & Milgrom, 2005). Substitutability is central, but rich policy goals do not automatically violate it. Carefully designed reserves, slot priorities, and transfer schemes can encode affirmative action while retaining enough structure for stable and strategy-proof mechanisms (Aygün & Turhan, 2020; Hafalir et al., 2013; Kominers & Sönmez, 2016). By contrast, simply instructing an institution to satisfy arbitrary lower and upper type bounds may create non-substitutable choice.

Existence is only the first issue. Under ordinary capacities, stability combines fairness and non-wastefulness: no applicant should lose a seat to a lower-priority applicant, and no acceptable seat should remain unnecessarily empty. Constraints separate these ideas. A higher-priority applicant may be denied a position because admitting her would violate a type ceiling or regional cap. An empty seat may be necessary to respect a hard aggregate restriction. Conversely, meeting a floor may require assigning an applicant to a less-preferred option or changing the priority interpretation.

This has led to several constraint-sensitive concepts. Controlled school choice distinguishes hard bounds from soft bounds and studies the resulting trade-offs (Ehlers, Hafalir, Yenmez, & Yildirim, 2014). Kamada and Kojima (2017b) compare stability notions when satisfying a blocking pair may violate a distributional constraint. Kamada and Kojima (2024) focus on feasible, individually rational, and fair matchings under general constraints and characterize when a student-optimal fair outcome is guaranteed. Akin (2021) develops floor-respecting stability for hard floor constraints. These approaches should not be collapsed into one generic notion of constrained stability: they answer different normative questions about when a policy justifies denying a blocking pair.

The definition of a justified complaint must therefore name the counterfactual against which the allocation is judged. Is the applicant entitled to replace a lower-priority assignee while keeping every aggregate count unchanged? May several assignments be rearranged together? Is a violation excused because the preferred program is closed, and if so, was that closure itself legitimate? Different answers produce different notions of fairness even when the underlying numerical quotas are identical.

Feasibility and fairness do not settle welfare. Even if a constrained mechanism is feasible and fair, it may leave avoidable welfare gains unrealized. Hard diversity bounds can force empty seats or block Pareto improvements. Softening them may improve efficiency but weaken the policy guarantee. Fragiadakis and Troyan (2017) study welfare improvements under hard distributional constraints, while Ashlagi, Saberi, and Shameli (2020) allow small violations to obtain

attractive assignment and incentive properties in broad distributional environments.

Strategy-proofness is equally sensitive to the modeling layer. Applicant-proposing deferred acceptance is strategy-proof when the relevant institutional choice functions have the required structure. It need not remain so when reported preferences determine which programs close. A report can then affect both an applicant's rank among active programs and the active set itself. The design must account for this second channel.

These tensions are not captured by a single welfare ranking. A mechanism can improve applicant assignments while imposing larger operating costs, worsening geographic coverage, or concentrating quota violations on a particular group. Conversely, a planner's aggregate objective can conceal substantial losses for a small set of applicants. Meaningful evaluation should therefore report feasibility, applicant welfare, program or regional objectives, fairness violations, and incentives separately before combining them in a social objective.

Computational difficulty depends less on the sheer number of restrictions than on their geometry. Laminar or hierarchical upper quotas, matroidal restrictions, and discrete-convex feasibility can admit polynomial algorithms, whereas seemingly modest non-hereditary or overlapping requirements may encode hard combinatorial problems. Goto et al. (2017) develop generalized deferred-acceptance mechanisms under hereditary constraints, and Kojima et al. (2018) use discrete convex analysis to obtain a broader class of positive results. More recent work enlarges the tractable domain in other directions (Imamura & Kawase, 2025; Kimura, Liu, Sun, Yahiro, & Yokoo, 2025). Lower and common quotas, by contrast, display sharp complexity boundaries (Arulselvan et al., 2018; Biró et al., 2010; Boehmer & Heeger, 2022).

These structural distinctions help determine the appropriate method. Exchange properties suggest greedy or demand-based adjustment; substitutable rejections support deferred acceptance or cumulative offers; network structure may permit a flow formulation; more general feasible sets often lead to integer programming. The constraint families below make these differences concrete.

2.1. Ceilings, Reserves, and Controlled Choice

Affirmative-action and diversity policies illustrate why the implementation layer matters. A majority quota prohibits assignments after a numerical ceiling is reached. A minority reserve instead gives a target group preferential access to a specified number of seats, often releasing unused reserved seats to other applicants. The two rules can have the same headline number but different welfare effects. Hafalir et al. (2013) show that minority reserves can avoid adverse consequences of majority quotas and obtain a Pareto comparison in their model.

The distinction turns on what happens both before and after the protected seats are filled. Under a ceiling, membership in the majority category can become a reason for rejection even when the applicant has high priority. Under a reserve, protected applicants receive precedence for designated seats, while applicants from all groups may continue to compete for seats outside the reserve. Whether protected applicants are considered for open seats before or after reserved seats are processed affects displacement and may change the interpretation of merit. A complete reserve policy must therefore specify the order of competition as well as the number of protected seats.

Hard type bounds make diversity a feasibility requirement. Soft bounds allow the mechanism to deviate when necessary, typically while minimizing the extent or cost of deviation. Ehlers et al. (2014) demonstrate that this distinction is consequential for controlled school choice. Echenique and Yenmez (2015) characterize diversity-sensitive school choice rules that are compatible with substitute-like institutional behavior. Slot-specific priorities offer another implementation language: a program is decomposed into ordered slots, each with its own priority, and a cumulative-offer procedure processes contracts (Kominers & Sönmez, 2016). Dynamic reserves add explicit transfer rules for unused category capacity (Aygün & Turhan, 2020).

Controlled choice becomes more delicate when the lower and upper bounds cannot all be met. Hard bounds may leave seats unused or make the feasible set empty, while soft bounds require the mechanism to choose which deviation is least objectionable. Minimizing the total number of violations is not the same as minimizing their maximum size, protecting the worst-served group, or preserving the assignments of applicants with the strongest priority claims. The choice among these criteria is a policy judgment. Treating it as a numerical penalty without explaining the underlying ordering of violations can hide a substantive distributional decision.

Overlapping eligibility creates a further choice. An applicant who qualifies under two protected categories might be assigned through either category, and that accounting decision changes the seats left for others. Counting the applicant against both categories may help meet several numerical targets but overstate the amount of distinct representation achieved. Counting her against only one category requires a rule for selecting which claim is used. Hierarchical categories can sometimes be processed in a fixed order, whereas arbitrary overlaps may require a centralized choice rule or explicit optimization. This is one reason why apparently modest changes in category design can alter computational tractability.

To see the operational difference, suppose a school has ten seats and reserves two for a target group. Under a transferable reserve, fewer than two eligible applicants need not leave seats empty; unused reserved capacity can pass to the

general pool. Under a hard two-person floor, by contrast, an assignment with only one target-group student is impermissible even when all ten seats could otherwise be filled. The same number “two” therefore induces different feasible outcomes, different rejection chains, and different responses to insufficient demand.

Implementation requires more than choosing between these two labels. The designer must determine whether applicants compete for category-specific contracts or only for a seat at the institution, whether a multi-category applicant can use more than one form of priority, and at what stage unused reserved capacity is released. A static reserve fixes these choices in advance. A dynamic reserve allows vacancies to move across categories according to a transfer scheme, which can preserve utilization while still protecting the intended group. Because the transfer order can affect who is rejected first, it should be treated as part of the choice rule and evaluated for substitutability, not left as an informal tie-breaking convention. Empirical assessment should likewise separate the number of protected applicants admitted, the displacement of applicants through open seats, and the amount of capacity left unused.

Eligibility and verification complete the institutional picture. If category membership is observable and fixed before preferences are submitted, the mechanism can treat it as part of the environment. When eligibility is self-reported, costly to verify, or established only after tentative placement, applicants may face incentives that are absent from the standard reserve model. Delayed verification can also create vacancies that must be transferred after other assignments have become final. Reserve systems should therefore be evaluated together with their documentation rules, deadlines, and procedures for reallocating seats released by ineligible or non-enrolling applicants.

Policy evaluation should consequently distinguish access, composition, and displacement. Access asks whether eligible applicants obtain assignments they would otherwise lose. Composition records how the final student body changes. Displacement identifies which applicants receive worse assignments and whether they lose through an open or protected part of the rule. A reserve that reaches its numerical target with little displacement may be judged differently from a hard ceiling that reaches the same target by excluding high-priority applicants, even if aggregate composition is identical.

There is also a governance question about revision. Demographic categories, geographic zones, and policy priorities may change more slowly than demand. A reserve schedule that is fixed for several years is predictable but can become poorly matched to current applications; annual adjustment is responsive but may expose the mechanism to lobbying or strategic classification. Transparent revision criteria, announced before preferences are submitted, help separate legitimate policy updating from discretionary intervention in a particular allocation.

2.2. Aggregate and General Distributional Constraints

A common quota limits enrollment across several programs. Examples include a total capacity for related degree tracks, a hospital network, a geographic region, or a funding pool. Because the programs share a constraint, a locally acceptable decision at one program can make another program's decision infeasible. Ordinary program-by-program choice is no longer sufficient.

Common quotas arise for different institutional reasons. Closely related programs may share teaching staff or laboratory space. Several hospitals may draw positions from a regional payroll. Publicly funded places may be allocated from a university-wide or national budget even though admissions decisions are recorded at the program level. These cases generate the same aggregate inequality but not necessarily the same authority structure. A single institution can often compare all affected contracts directly, whereas independent institutions require a coordinating rule that determines whose tentative acceptance has precedence when the common capacity becomes scarce.

Regional constraints are prominent in medical matching. A central authority may limit the number of physicians assigned to an urban region or seek minimum staffing in rural areas. Kamada and Kojima (2015) develop an approach that modifies capacities to obtain efficient outcomes under distributional constraints. Goto et al. (2016) study regional minimum and maximum quotas, and Goto et al. (2017) design mechanisms under general hereditary distributional constraints. Kamada and Kojima (2018) identify a structural condition for combining stability and strategy-proofness, and Kamada and Kojima (2020) show how a broad range of policy goals can be expressed within a common constrained-matching framework.

Upper and lower regional requirements have different implications. An upper bound can usually be repaired by withholding or redirecting assignments, although doing so may create justified complaints from applicants denied their preferred region. A lower bound cannot be repaired by deletion alone. If too few applicants are willing to serve in a region, the authority must change some other margin: compensation, eligibility, priorities, contractual obligations, or the bound itself. The matching rule cannot manufacture acceptable contracts that are absent from the market. This distinction is sometimes obscured when both policies are represented as components of the same regional quota vector.

Nested common quotas are often easier to manage than arbitrary overlaps because hierarchy limits the cycles of resource dependence. This is one reason laminar and discrete-convex structures recur in positive results. Arbitrary overlaps can require a central choice function or an explicit optimization problem rather than independent institutional decisions.

The difference can be seen in a simple hierarchy. Individual specialties may have their own capacities, several specialties may share a hospital limit, and hospitals may in turn share a regional ceiling. Each contract then consumes capacity along one chain of nested sets. When two unrelated pools overlap, by contrast, one contract can compete with different contracts along several non-nested dimensions. The institution may no longer be able to make consistent rejection decisions one pool at a time. The combinatorial assumptions in positive results thus have an institutional interpretation: they restrict the ways in which resources are shared.

The location of the common quota also matters. A cap shared by programs within one institution may be implemented by an institutional choice function that compares contracts across those programs. A national or regional cap spanning independent institutions generally requires a coordinating authority or a system of shadow capacities. Without such coordination, locally admissible tentative choices can jointly violate the aggregate bound, and correcting the violation after matching can undo both fairness and incentive guarantees.

Shadow capacities offer transparency because they translate a common restriction into program-level limits before matching begins. Their weakness is that a conservative division can leave aggregate capacity unused when demand differs from the forecast. A centralized choice rule can respond to realized applications and use the common resource more fully, but it must decide which programs receive capacity at the margin. If this decision is based on program priorities, social value, or an administrative ranking, that ordering becomes part of the mechanism and should be disclosed as such.

The same issue appears at the broadest level, where a planner specifies an admissible family of count vectors. This formulation is flexible enough to represent capacities, type restrictions, regional totals, budgets, and combinations of them. It also makes clear that there is no universal constrained deferred-acceptance theorem. Results depend on properties of the admissible family.

Heredity supports mechanisms that never need to add back an assignment solely to repair feasibility. Stronger exchange or discrete-convex properties support demand-like adjustment and generalized deferred acceptance (Goto et al., 2017; Kojima et al., 2018). When exact feasibility is too restrictive, controlled violations or near-feasible solutions become a principled second-best route (Ashlagi et al., 2020). The surveys by Kamada and Kojima (2017a) and Aziz et al. (2022) provide complementary economic and computational maps of this literature.

Auditability is an additional concern in large centralized systems. Applicants can often understand a local capacity and a published priority order, but a rejection caused by an overlapping regional or budget constraint is harder to verify. A useful implementation should be able to identify which aggregate

restriction was binding and why the accepted set was selected among the feasible alternatives. Such explanations do not by themselves establish fairness, but they make it possible to distinguish a policy-induced rejection from an error in the allocation procedure.

Realized demand creates a further tension between flexibility and commitment. If the authority fixes local capacities before applications arrive, applicants face a transparent menu but aggregate resources may be used poorly. If capacity is reassigned after demand is observed, utilization can improve, yet the transfer rule may influence where applicants apply and which institutions expect to expand. A credible mechanism should specify whether unused capacity moves automatically along a published hierarchy, is assigned through an optimization criterion, or remains unused. Each option defines a different claim on the common resource.

Aggregate constraints also complicate comparative evaluation. Raising the capacity of one program need not benefit only the applicants who prefer it, because the change can tighten a regional or budget limit elsewhere. Similarly, removing a program may release both applicants and common capacity, with effects that run in opposite directions. Policy simulations should therefore recompute the full system rather than treating local changes as independent. This is especially important when a reform is described as a modest adjustment to one quota but operates inside several overlapping pools.

2.3. Lower Quotas and Floors

Lower quotas have two distinct interpretations. A coverage floor requires a minimum number of assignments to a category, region, or institution that remains part of the market. An operating minimum instead allows an institution to close, while requiring it to enroll at least a stated number if it opens.

Coverage floors are most natural when the underlying service cannot be withdrawn. A health authority may require minimum staffing in a rural region, or a school district may seek a minimum presence of a protected group across a set of schools. In these settings, assigning nobody is not an acceptable way to satisfy the policy. Operating minima arise when activity has a genuine fixed cost: a course, training program, or project can be canceled if participation is too low. The outside option built into the constraint therefore differs even when the same lower-bound notation is used.

The distinction is substantive. A coverage floor treats failure as an infeasible assignment. An operating minimum adds an activation decision. The College Admissions problem with Lower Quotas formalizes the second logic: a college is closed or enrolls between its lower and upper quotas. Stable outcomes may fail to exist, and deciding whether one exists is NP-complete in the general model (Biró et al., 2010). Algorithmic and fine-grained complexity results are developed

by Arulselvan et al. (2018) and Boehmer and Heeger (2022). Other work weakens or reorganizes the desiderata to obtain strategy-proof, fair, efficient, or Pareto-optimal procedures (Akin, 2021; Cechlárová & Fleiner, 2017; Fragiadakis et al., 2015). Type-specific minimum quotas add another layer of complementarity (Tomoeda, 2018).

The source of insufficient demand also matters. A floor may fail because too few applicants find the relevant assignment acceptable, because higher-ranked alternatives absorb the qualified applicants, or because eligibility and capacity rules prevent them from being counted toward the target. These cases call for different responses. Financial incentives can alter willingness to accept an underserved position; capacity transfers can change competition across programs; a priority adjustment can redirect qualified applicants; and a relaxation rule can acknowledge that the original target is unattainable. A mechanism that treats all shortfalls alike may satisfy the formal bound while misdiagnosing the institutional problem.

Hard floors also interact sharply with voluntary participation. If too few applicants regard a program or region as acceptable, no individually rational mechanism can fill the requirement without changing preferences, compensation, or the set of available contracts. The institution must then specify an adjustment margin: relax the floor, offer incentives, transfer capacity, compel assignment where legally permissible, or close the program. These responses have different welfare and fairness implications. A type floor reallocates seats within an operating institution; a regional service floor reallocates personnel across locations; an operating minimum can remove an option from every applicant's choice set. Treating each as the same lower-bound inequality conceals who bears the cost when demand is insufficient.

Uncertainty strengthens this difficulty. Lower quotas are commonly fixed before final demand, withdrawals, or eligibility checks are known. A target that is feasible when applications are submitted may cease to be feasible after applicants decline offers, while a program that appears deficient early may become viable after other options close. Institutions can respond by using contingent floors, waiting lists, subsidies, or several rounds of adjustment. Each response changes the timing of commitments. A robust design should specify not only the minimum itself but also when it is measured and what information can trigger its revision.

Fairness under a floor is correspondingly multi-sided. Applicants redirected to satisfy a regional minimum may bear a loss relative to their priorities or preferences; applicants denied access elsewhere may complain that the floor displaced them; and the region or group protected by the policy may regard an unfilled target as a failure of substantive fairness. No single blocking-pair condition resolves these claims. The evaluation should identify whose entitlement

the lower quota represents and whether the burden of meeting it is distributed through priorities, compensation, compulsory service, or explicit constraint violations.

When every floor cannot be met, the order in which requirements are relaxed becomes part of the policy. One rule may protect a minimum level in every region before increasing any region further. Another may minimize the total shortfall, even if that leaves one location far below its target. A third may preserve applicant priorities and relax whichever floor conflicts most sharply with voluntary choice. These criteria are not interchangeable. They embody different views about whether the floor protects equal access to a service, aggregate coverage, or an administrative target.

Approximation results are most useful when their metric corresponds to that policy meaning. A guarantee on the number of violated constraints says little about the size or location of the violations. A bound on total shortfall can conceal a severe deficit in a small region. Likewise, an approximation to the maximum number of operating programs need not protect the programs with the greatest social value or the applicants with the largest assignment losses. Theoretical guarantees should therefore be translated into outcome measures that an institution would recognize.

Contract terms can sometimes address a floor more directly than assignment restrictions. Rural pay supplements, scholarship obligations, differentiated contract lengths, or priority for later placements can change which assignments applicants regard as acceptable. Matching with contracts then records both the location and the relevant term of service. Such policies may enlarge the set of feasible voluntary assignments, but they introduce budget constraints and new incentive questions. A floor that appears infeasible in a location-only model may be feasible once compensation is included, while a nominally satisfied floor may prove unstable if the underlying contract is unattractive and participants later withdraw.

Data requirements follow from the distinction between lack of demand and competition from other options. Application lists reveal whether applicants considered the target acceptable, but they do not by themselves identify willingness to accept under different compensation or service conditions. Administrative records on withdrawals and later vacancies can show whether a floor was met only temporarily. Careful empirical work should separate structural scarcity of acceptable applicants from shortfalls created by the mechanism's sequencing or capacity rules; otherwise, a redesign of matching may be credited with solving a problem that actually requires a change in the contracts being offered.

The boundaries among these approaches become important when a market combines reserves, shared capacity, and lower bounds. No single formalism

covers all three without further assumptions. The next subsection isolates one source of difficulty—program activation—while holding the conditional assignment rule fixed.

2.4. Lower Quotas and Program Closure

2.4.1. Closure Protocols and Design Issues

A program lower quota is often an operating condition rather than a requirement that every institution be filled. A college, hospital unit, course, or project may remain closed, but if it opens it must attract enough participants to cover fixed costs or provide a viable service. The resulting feasibility condition differs from an ordinary capacity ceiling. Removing one assignee from a full program preserves an upper bound, whereas the same removal may leave an operating program below its minimum. Applicants assigned to the same program are therefore complementary at the margin at which the program opens or closes.

The stated minimum should itself be treated as an institutional object. A threshold may reflect teaching costs, accreditation, team composition, or an administrative convention rather than a technologically fixed number. Programs may also have private information about the resources needed to operate and an incentive to overstate or understate that requirement. Certification of minima, and the rule for revising them when circumstances change, can therefore matter as much as the matching algorithm applied after the thresholds are announced.

Program closure also introduces a timing question. A batch procedure identifies all programs that are initially below their minima, closes them together, and reallocates the affected applicants only afterward. A sequential procedure closes one deficient program, allows the market to adjust, and then evaluates the remaining programs. The two procedures use the same lower quotas but make different information available before a closure becomes final. Demand released by one closure may enable another program to reach its minimum, so simultaneous closure can eliminate a program that would have survived under a sequential rule.

Delay has an option value in this setting, but it is not costless. Waiting for reallocations can preserve programs that would otherwise close, yet it can postpone final assignments and leave institutions uncertain about staffing and budgets. A sequential procedure may also expose outcomes to an administratively chosen order. The appropriate timing therefore depends on the value of additional demand information relative to the cost of delaying commitments. This trade-off is present even before strategic behavior or aggregate capacity constraints are introduced.

This possibility is especially transparent under ordinary deferred acceptance with independent program capacities. Deleting a program weakly worsens applicants' assignments and weakly increases enrollment at every surviving

program (Ágoston, Biró, & McBride, 2016, Lemma 5). Repeated deletion therefore cannot make an initially viable survivor deficient. A sequential procedure can preserve programs that batch closure removes, and retaining such a program benefits at least one applicant when preferences are strict. This is an applicant-side comparison. It does not account for the operating costs of maintaining an additional program, the distribution of enrollment across institutions, or any planner objective that attaches different values to different programs.

Sequential closure does not remove every design choice. When several programs are deficient, the order in which they are considered can determine which of them survives. One closure may redirect enough applicants to rescue a second program while leaving a third below its minimum; reversing the order can reverse these roles. The resulting allocations may be incomparable from the applicants' perspective. An exogenous order is easy to administer and may reflect established priorities, but it should not be confused with an order that maximizes the number or social value of operating programs.

Two further notions help describe the outcome of a closure process. Reachability asks whether a proposed active set can arise through a sequence in which every program is deficient when it is closed. Closure completeness asks whether, after the market has adjusted, any closed program could be restored without making the resulting active set infeasible. The questions are different. A set can be generated by legitimate sequential closures even though a program closed early would become viable if reconsidered at the end. Conversely, a terminal set may be maximal among viable active sets without being attainable through the prescribed sequence of contemporaneously justified closures.

Under the independent-capacity benchmark, reachability can be examined by reasoning backward from a candidate terminal market. Closed programs are restored in reverse order, with each restoration required to leave the restored program below its minimum at that stage. This perspective avoids treating every viable set as procedurally attainable and makes clear what a closure order must certify. Completeness can be checked separately by attempting to restore closed programs after the terminal market is known. A fixed restoration order yields a maximal viable set, but the selected set need not maximize the number or value of operating programs. The complexity literature on lower-quota matching shows why feasibility testing and objective-based selection should be kept distinct (Arulselvan et al., 2018; Boehmer & Heeger, 2022).

Closure decisions also create incentives that are absent when the active set is fixed. An applicant's report can affect whether a program reaches its minimum as well as her assignment among the programs that remain. A misreport may keep one option open, cause another to close, or redirect applicants in a way that changes later viability tests. Strategy-proofness of deferred acceptance

conditional on an active set therefore does not automatically extend to a mechanism that uses reported preferences to determine that set.

The independent-capacity assumption is important throughout this comparison. With common quotas, regional limits, or pooled budgets, closing one program releases both applicants and shared resources. Enrollment at a surviving program may then rise or fall, and the monotonicity behind the simple batch–sequential comparison may fail. In such environments, closure must be analyzed together with the relevant aggregate choice rule. Program activation is thus not a separate technical afterthought: it is one of the institutional constraints that determines which matching guarantees remain available.

An empirical comparison of closure protocols should report more than the number of programs kept open. Relevant outcomes include the applicants displaced at each step, changes in assignment rank, unused capacity, cohort sizes, operating costs, and the sensitivity of the final active set to the closure order. Administrative data can also reveal how often a program closed in a batch procedure would have become viable after other applicants were reassigned. These measures connect the timing question to the broader evaluation criteria used for reserves, regional constraints, and lower floors elsewhere in the chapter.

Table 2 summarizes the procedural alternatives. The entries describe when a closure becomes final and which demand information is used; they do not rank the protocols without reference to administrative costs and program values.

Table

2

Program-closure protocols

Protocol	Timing of final closure	Information used	Principal design concern
Batch closure	All initially deficient programs close together	Demand before displaced applicants are reassigned	A program may close even though released demand would make it viable
Sequential closure	One deficient program closes before the next test	Demand updated after each reallocation	The active set can depend on the closure order
Terminal reconsideration	Closed programs are tested after the reduced market is formed	Demand generated by the terminal allocation	Restoration may be costly, order-dependent, or inconsistent with earlier commitments

Protocol	Timing of final closure	Information used	Principal design concern
Contingent commitment	Closure remains provisional until a stated deadline or event	Demand, withdrawals, and eligibility information available by that date	Delay improves information but weakens planning certainty

Source: Author’s synthesis of the closure analysis in the text, drawing on Ágoston et al. (2016) and Biró et al. (2010).

2.4.2. Institutional Applications

Hungarian higher education provides a canonical application of lower and common quotas. The Gale–Shapley-based heuristic described by Biró et al. (2010) and analyzed by Ágoston et al. (2016) closes one currently deficient program and continues the applicant-proposing process in the reduced market. It is therefore naturally interpreted as sequential activation adjustment. Applicants displaced by one closure can create enough demand to rescue another program before the latter is tested again.

The 2026 Ukrainian allocation of state-funded university places illustrates a contrasting timing within the applicable minimum-quota check. The legal mechanism is substantially richer than the benchmark: it contains program categories, priority protections, cross-institutional capacity pools, and correction procedures. Within a relevant minimum-quota episode, however, several program offers can be annulled before applicants released by those annulments are reconsidered for their remaining alternatives (Ministry of Education and Science of Ukraine, 2026a, 2026b). This is the batch-timing feature isolated by the closure model.

The independent-capacity model supplies a benchmark rather than a literal representation of the entire Ukrainian mechanism. Independent program capacities are essential to deletion monotonicity, while Ukraine’s capacity pools couple programs. A faithful policy evaluation must therefore implement the legal choice and capacity rules rather than mechanically transfer the applicant-welfare comparison derived for independent capacities. Even so, the benchmark suggests two useful counterfactuals. One asks whether an annulled program would survive if demand released by other annulments were reallocated before its own closure became final. The other asks whether, after the reduced market is known, an annulled program could be restored without violating the legal feasibility system.

The first counterfactual isolates the timing of closure; the second asks whether the final set of annulments is unnecessarily large. Both can be studied with administrative data without treating the independent-capacity model as a literal account of the legal mechanism. Such an exercise would also show whether

interactions within capacity pools preserve or overturn the enrollment monotonicity behind the benchmark results.

Minimum and regional requirements also arise in medical residency, teacher assignment, military placement, daycare, and project allocation (Akin, 2021; Fragiadakis et al., 2015; Kamada & Kojima, 2024). The appropriate layer depends on the policy meaning. A guaranteed minimum number of physicians in a region is a coverage floor. A rural hospital that is canceled below a viable team size creates an activation problem. A reserved number of training positions for a specialty or group may be better represented as a choice rule with transfers.

Project assignment makes the activation logic especially transparent. A project may be offered only if enough participants join it. Serial-dictatorship variants with project closures study how to obtain Pareto-optimal outcomes in this setting (Cechlárová & Fleiner, 2017; Kamiyama, 2013; Monte & Tumennasan, 2013). Institution-specific priorities, however, make deferred acceptance and its enrollment comparative statics relevant, leading to the closure-timing analysis above.

The distinction between coverage and activation is especially consequential outside admissions. A medical authority may be unable to close an underserved region in the way a university closes a small elective; service must continue, so the relevant policy may combine a regional floor with wages, training obligations, or priority incentives. Teacher and military assignments can similarly involve mandatory service rules that change the meaning of individual rationality. By contrast, daycare groups, elective courses, and research projects often have genuine fixed costs and can disappear when participation is too low. The same mathematical lower bound therefore represents different outside options and enforcement powers across applications.

Institutional evaluation should reflect these differences. For coverage problems, central outcomes include geographic service levels, vacancy duration, and the distribution of burdens across workers. For activation problems, they include the number and composition of operating programs, the applicants displaced by closure, and the sensitivity of outcomes to the order in which decisions become final. In both cases, an empirical counterfactual should reproduce the actual priority, capacity, and transfer rules before changing the constraint under study. Otherwise, an apparent gain from a new matching algorithm may in fact come from silently changing the policy itself.

Table 3 relates the principal applications to the policy margin emphasized by the model. The categories are not exhaustive, and a single institution may occupy more than one row.

Institutional meanings of lower quotas

Application	Typical interpretation	Main adjustment margin	Outcomes requiring attention
Higher education	Minimum viable cohort or protected access	Program closure, reserves, or capacity transfer	Assignment ranks, operating programs, unused seats, and closure order
Medical placement	Regional coverage or viable clinical unit	Compensation, service terms, regional capacity, or activation	Staffing shortfalls, vacancy duration, welfare losses, and continuity of service
Teacher or military assignment	Geographic coverage with institutional obligations	Priorities, incentives, or compulsory-service terms	Burden sharing, retention, and priority-based complaints
Courses and projects	Minimum participation needed to operate	Cancellation and reassignment	Participation, delay, project value, and displaced applicants
Daycare and local services	Viable group size or local coverage	Group formation, transfers, or subsidies	Access, travel, utilization, and distribution across neighborhoods

Source: Author’s synthesis of the applications discussed in the text (Fragiadakis et al., 2015; Kamada & Kojima, 2024; Monte & Tumennasan, 2013).

Institutional comparisons can nevertheless be informative when they focus on a common design margin. Hungarian and Ukrainian admissions, for example, differ in legal detail, but both illustrate how the timing of program decisions interacts with reassignment. Medical and teacher placement show how a numerical shortfall can instead call for changes in contract terms or incentives. Project and course allocation reveal the fixed-cost logic of activation in a relatively clean form. The value of comparison lies in identifying which mechanism component travels across settings and which depends on the underlying institution.

CONCLUSION

The expression “matching with constraints” suggests a single extension of the classical model. The literature reviewed here points in the opposite direction. A reserve, a regional ceiling, and an operating minimum may all be written as numerical restrictions, but they act on different objects and create different forms of dependence. It matters whether the policy restricts final assignments, alters institutional choice, or changes the set of programs that operate.

This distinction also explains why no one structural condition settles the design problem. Substitutability concerns the consistency of institutional rejections. Heredity describes what happens to feasibility when assignments are removed. Exchange and discrete-convex properties govern the scope for aggregate adjustment. Matching with contracts and reserve systems exploit the first kind of structure (Aygün & Turhan, 2020; Hafalir et al., 2013; Hatfield & Milgrom, 2005; Kominers & Sönmez, 2016); work on regional and general distributional constraints draws more heavily on the geometry of the feasible set (Goto et al., 2017; Kamada & Kojima, 2015, 2024; Kojima et al., 2018); the literature on lower quotas addresses the complementarity created by floors through altered stability concepts, relaxation, or endogenous operation (Akin, 2021; Biró et al., 2010; Fragiadakis et al., 2015). These are different responses to different institutional problems.

Program closure makes the role of timing unusually clear. Conditional deferred acceptance may retain all of its standard properties while the composite mechanism does not, because applicants' reports and assignments help determine which options remain available. Under independent capacities, deletion monotonicity permits an orderly comparison of simultaneous and sequential closure and clarifies the difference between procedural reachability and ex-post closure completeness. Shared capacities or regional restrictions need not preserve that monotonicity. The comparison therefore illustrates both the usefulness and the limits of separating activation from conditional assignment.

Several questions remain unresolved. One concerns the boundary between feasibility and choice. A hard policy can sometimes be implemented through a substitutable choice function, but the translation may change who receives priority or how unused capacity moves. The problem is particularly delicate with overlapping reserves and applicants who qualify in several categories. A satisfactory characterization would begin with observable institutional rules—how seats are ordered, how categories interact, and when unused reserves transfer—and identify when those rules support stable and strategy-proof matching.

The normative problem is no less important. Standard justified envy does not say which priority claims should prevail against a diversity ceiling, a regional cap, or a lower bound. Likewise, describing a constraint as soft leaves open who may depart from it, by how much, and to whose advantage. Comparisons among hard bounds, reserves, and controlled violations would be more informative if they recorded both the policy reason for denying an applicant and the distribution of the resulting burdens across applicants and groups.

There is also a gap between the elegant tractable domains in the theory and the overlapping structures used in practice. Hierarchies, laminar families, matroids, and discrete-convex sets yield powerful positive results, but actual

capacity systems may sit just outside these classes. Finding intermediate domains that capture university-wide pools, hospital networks, or regional staffing rules remains a worthwhile objective. When exact optimization is unavailable, guarantees should be stated in quantities that retain institutional meaning: the number of quota violations, the incidence of justified envy, unused capacity, or losses in applicant rank.

Operating minima add uncertainty and organizational incentives to this agenda. They are often announced before demand is known, and a program may have reason to overstate the cohort size or resources needed for operation. This raises questions about how minima should be certified and revised, how subsidies or capacity transfers should enter the mechanism, and how closure decisions can respond to new information without becoming arbitrary. The coexistence of common upper quotas and operating minima is especially challenging, since closing a program releases both applicants and shared capacity.

Empirical work can discipline these choices. A useful counterfactual should reconstruct the applicable priority, reserve-transfer, capacity-pooling, and closure rules before varying one design feature. Policy compliance, applicant welfare, fairness, utilization, geographic or demographic incidence, and sensitivity to demand should be reported separately. The relevant question is not only whether a mechanism has a formal guarantee, but whether the assumptions behind that guarantee describe the institution closely enough for the result to matter.

DECLARATIONS

Author Contribution Statement: The study was conceived, designed and written entirely by the sole author, who is responsible for the conceptual framework, the literature review, the analysis and the writing of the manuscript.

Conflict of Interest Statement: The author declares that there is no conflict of interest.

Funding Statement: This study was not supported by any fund or institution.

Ethics Committee Approval: This study is theoretical and based on a review of the published literature and publicly available regulatory documents. It involves no human or animal subjects, surveys, interviews or similar data-collection processes, and therefore does not require ethics committee approval.

Artificial Intelligence Use Statement: Claude (Anthropic, 2026) supported language checking, proofreading, and LaTeX-to-Word conversion. ChatGPT (OpenAI, 2026) assisted with layout, reference formatting, and the removal of repetitive exposition. These tools were not used to develop the chapter's theoretical results. The author retains responsibility for the scholarly content and the final text.

REFERENCES

- Ágoston, K. C., Biró, P., & McBride, I. (2016). Integer programming methods for special college admissions problems. *Journal of Combinatorial Optimization*, 32(4), 1371–1399. doi:10.1007/s10878-016-0085-x
- Akin, S. (2021). Matching with floor constraints. *Theoretical Economics*, 16(3), 911–942. doi:10.3982/TE3785
- Anthropic. (2026). *Claude* (September 2026 version) [Large language model]. Retrieved from <https://claude.ai>
- Arulselvan, A., Cseh, Á., Groß, M., Manlove, D. F., & Matuschke, J. (2018). Matchings with lower quotas: Algorithms and complexity. *Algorithmica*, 80(1), 185–208. doi:10.1007/s00453-016-0252-6
- Ashlagi, I., Saberi, A., & Shameli, A. (2020). Assignment mechanisms under distributional constraints. *Operations Research*, 68(2), 467–479. doi:10.1287/opre.2019.1887
- Aygün, O., & Turhan, B. (2020). Dynamic reserves in matching markets. *Journal of Economic Theory*, 188, 105069. doi:10.1016/j.jet.2020.105069
- Aziz, H., Biró, P., & Yokoo, M. (2022). Matching market design with constraints. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 36, 12308–12316. doi:10.1609/aaai.v36i11.21495
- Biró, P., Fleiner, T., Irving, R. W., & Manlove, D. F. (2010). The college admissions problem with lower and common quotas. *Theoretical Computer Science*, 411(34–36), 3136–3153. doi:10.1016/j.tcs.2010.05.005
- Boehmer, N., & Heeger, K. (2022). A fine-grained view on stable many-to-one matching problems with lower and upper quotas. *ACM Transactions on Economics and Computation*, 10(2), 9:1–9:53. doi:10.1145/3546605
- Cechlárová, K., & Fleiner, T. (2017). Pareto optimal matchings with lower quotas. *Mathematical Social Sciences*, 88, 3–10. doi:10.1016/j.mathsocsci.2017.03.007
- Dubins, L. E., & Freedman, D. A. (1981). Machiavelli and the Gale–Shapley algorithm. *The American Mathematical Monthly*, 88(7), 485–494. doi:10.1080/00029890.1981.11995301
- Echenique, F., & Yenmez, M. B. (2015). How to control controlled school choice. *American Economic Review*, 105(8), 2679–2694. doi:10.1257/aer.20130929
- Ehlers, L., Hafalir, I. E., Yenmez, M. B., & Yildirim, M. A. (2014). School choice with controlled choice constraints: Hard bounds versus soft bounds. *Journal of Economic Theory*, 153, 648–683. doi:10.1016/j.jet.2014.03.004

- Fragiadakis, D., Iwasaki, A., Troyan, P., Ueda, S., & Yokoo, M. (2015). Strategyproof matching with minimum quotas. *ACM Transactions on Economics and Computation*, 4(1), 6:1–6:40. doi:10.1145/2841226
- Fragiadakis, D., & Troyan, P. (2017). Improving matching under hard distributional constraints. *Theoretical Economics*, 12(2), 863–908. doi:10.3982/TE2195
- Gale, D., & Shapley, L. S. (1962). College admissions and the stability of marriage. *The American Mathematical Monthly*, 69(1), 9–15. doi:10.2307/2312726
- Goto, M., Iwasaki, A., Kawasaki, Y., Kurata, R., Yasuda, Y., & Yokoo, M. (2016). Strategyproof matching with regional minimum and maximum quotas. *Artificial Intelligence*, 235, 40–57. doi:10.1016/j.artint.2016.02.002
- Goto, M., Kojima, F., Kurata, R., Tamura, A., & Yokoo, M. (2017). Designing matching mechanisms under general distributional constraints. *American Economic Journal: Microeconomics*, 9(2), 226–262. doi:10.1257/mic.20160124
- Hafalir, I. E., Yenmez, M. B., & Yildirim, M. A. (2013). Effective affirmative action in school choice. *Theoretical Economics*, 8(2), 325–363. doi:10.3982/TE1135
- Hatfield, J. W., & Kojima, F. (2010). Substitutes and stability for matching with contracts. *Journal of Economic Theory*, 145(5), 1704–1723. doi:10.1016/j.jet.2010.01.007
- Hatfield, J. W., & Milgrom, P. R. (2005). Matching with contracts. *American Economic Review*, 95(4), 913–935. doi:10.1257/0002828054825466
- Imamura, K., & Kawase, Y. (2025). Efficient and strategy-proof mechanism under general constraints. *Theoretical Economics*, 20(2), 481–509. doi:10.3982/TE6039
- Kamada, Y., & Kojima, F. (2015). Efficient matching under distributional constraints: Theory and applications. *American Economic Review*, 105(1), 67–99. doi:10.1257/aer.20101552
- Kamada, Y., & Kojima, F. (2017a). Recent developments in matching with constraints. *American Economic Review*, 107(5), 200–204. doi:10.1257/aer.p20171047
- Kamada, Y., & Kojima, F. (2017b). Stability concepts in matching under distributional constraints. *Journal of Economic Theory*, 168, 107–142. doi:10.1016/j.jet.2016.12.006
- Kamada, Y., & Kojima, F. (2018). Stability and strategy-proofness for matching with constraints: A necessary and sufficient condition. *Theoretical Economics*, 13(2), 761–793. doi:10.3982/TE2717

- Kamada, Y., & Kojima, F. (2020). Accommodating various policy goals in matching with constraints. *The Japanese Economic Review*, 71(1), 101–133. doi:10.1007/s42973-019-00002-1
- Kamada, Y., & Kojima, F. (2024). Fair matching under constraints: Theory and applications. *The Review of Economic Studies*, 91(2), 1162–1199. doi:10.1093/restud/rdad046
- Kamiyama, N. (2013). A note on the serial dictatorship with project closures. *Operations Research Letters*, 41(5), 559–561. doi:10.1016/j.orl.2013.07.006
- Kimura, K., Liu, K., Sun, Z., Yahiro, K., & Yokoo, M. (2025). Multi-stage generalized deferred acceptance mechanism: Strategyproof mechanism for handling general hereditary constraints. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 39, 30. doi:10.1007/s10458-025-09713-9
- Kojima, F., Tamura, A., & Yokoo, M. (2018). Designing matching mechanisms under constraints: An approach from discrete convex analysis. *Journal of Economic Theory*, 176, 803–833. doi:10.1016/j.jet.2018.05.004
- Kominers, S. D., & Sönmez, T. (2016). Matching with slot-specific priorities: Theory. *Theoretical Economics*, 11(2), 683–710. doi:10.3982/TE1839
- Ministry of Education and Science of Ukraine. (2026a). *Amendments to the procedure for admission to higher education in 2026, order no. 936 of 16 June 2026*. Retrieved from <https://mon.gov.ua/npa/pro-zatverdzhennia-zmin-doporiadku-priyomu-na-navchannia-dlia-zdobuttia-vyshchoi-osvity-v-2026-rotsi>
- Ministry of Education and Science of Ukraine. (2026b). *Procedure for admission to higher education in 2026, order no. 373 of 26 February 2026*. Retrieved from <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/uploads/public/69c/244/dc1/69c244dc1ef3b943883353.pdf>
- Monte, D., & Tumennasan, N. (2013). Matching with quorums. *Economics Letters*, 120(1), 14–17. doi:10.1016/j.econlet.2013.03.007
- OpenAI. (2026). *ChatGPT* [Large language model]. Retrieved from <https://chatgpt.com/>
- Roth, A. E. (1982). The economics of matching: Stability and incentives. *Mathematics of Operations Research*, 7(4), 617–628. doi:10.1287/moor.7.4.617
- Roth, A. E., & Sotomayor, M. A. O. (1990). *Two-sided matching: A study in game-theoretic modeling and analysis* (Vol. 18). Cambridge, England: Cambridge University Press. doi:10.1017/CCOL052139015X
- Tomoeda, K. (2018). Finding a stable matching under type-specific minimum quotas. *Journal of Economic Theory*, 176, 81–117. doi:10.1016/j.jet.2018.03.008