

	JOURNAL OF HEALTHCARE MANAGEMENT AND LEADERSHIP (JOHMAL) ***** SAĞLIK YÖNETİMİ VE LİDERLİK DERGİSİ	
E-ISSN: 2667-5838	https://dergipark.org.tr/tr/pub/johmal	Paper Type: Research Paper, Makale Türü: Araştırma Makalesi
Sayı:1, Eylül 2026	Issue:1, September 2026	Received Date / Geliş Tarihi: 11.05.2026 Accepted Date / Kabul Tarihi: 06.07.2026
TÜRK KAMU HASTANELERİNDE POLİKLİNİK İŞ AKIŞININ AYRIK OLAY SİMÜLASYONU İLE DEĞERLENDİRİLMESİ ◆◆◆ EVALUATION OF OUTPATIENT POLYCLINIC WORKFLOW IN TURKISH PUBLIC HOSPITALS USING DISCRETE-EVENT SIMULATION		
Atıf/ to Cite (APA): Arı, Y. H. (2026). Türk kamu hastanelerinde poliklinik iş akışının ayrik olay simülasyonu ile değerlendirilmesi. <i>Journal of Healthcare Management and Leadership (JOHMAL)</i>, 1(1), 14–25. DOI: https://doi.org/10.35345/johmal.1949319		Yiğit Hasan ARI¹

ÖZ

Bu çalışma, Türk kamu hastanelerinde yüksek hasta hacmi altında çalışan poliklinik süreçlerinin operasyonel performansını değerlendirmek amacıyla yürütülmüştür. Çalışmada, 2024 yılı T.C. Sağlık Bakanlığı resmi sağlık istatistikleri kullanılarak kalibre edilen bir ayrik olay simülasyonu modeli geliştirilmiştir. Hasta varışları Poisson süreci, muayene süreleri ise lognormal dağılım ile modellenmiştir. Temel durum, yapay zekâ destekli muayene süresi azalımı, hekim kapasitesi artışı, kombine müdahale ve yüksek talep stres testi olmak üzere yedi senaryo 30 bağımsız replikasyonla değerlendirilmiştir. Model çıktıları ortalama bekleme süresi, kullanım oranı ve kararlılık durumu üzerinden karşılaştırılmıştır. Temel durumda ortalama bekleme süresi 4,60 dakika ve kullanım oranı 0,928 olarak hesaplanmıştır. Muayene süresinde %10 azalma varsayan senaryoda bekleme süresi %68,3 azalarak 1,46 dakikaya düşmüştür. Kapasite artışı senaryoları da sabit talep altında istatistiksel olarak anlamlı iyileşme sağlamıştır. Ancak stres testi, talep artışının sistemi kararsız rejime taşıyabileceğini göstermiştir. Talep geri dönüşü duyarlılık analizi, kapasite artışının etkisinin talep varsayımlarına duyarlı olduğunu ve kombine stratejilerin talep belirsizliği altında daha dayanıklı olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ayrik olay simülasyonu, Poliklinik iş akışı, Kuyruk teorisi, Sağlık yönetimi, Yapay zekâ.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the operational performance of outpatient polyclinic workflows in Turkish public hospitals under high patient volume. A discrete-event simulation model was developed and calibrated using the 2024 official health statistics of the Turkish Ministry of Health. Patient arrivals were modeled as a Poisson process, while consultation times were generated from a lognormal distribution. Seven scenarios were evaluated with 30 independent replications, including the baseline condition, artificial intelligence-assisted reductions in consultation time, physician capacity expansion, a combined intervention, and a high-demand stress test. In the baseline scenario, the mean waiting time was 4.60 minutes, with a utilization rate of 0.928. A 10% reduction in consultation time decreased the mean waiting time by 68.3% to 1.46 minutes. Capacity expansion scenarios also produced statistically significant improvements under fixed demand conditions. However, the stress test scenario showed that increased demand could push the system into an unstable regime. The demand rebound sensitivity analysis indicated that the effectiveness of capacity expansion depends on demand assumptions, whereas combined strategies including service-time efficiency may be more robust under demand uncertainty.

Keywords: Discrete-event simulation, Outpatient workflow, Queueing theory, Healthcare management, Artificial intelligence.

¹ İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi, İstanbul, Türkiye, yigithasanari@ogr.iu.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-7140-9061>

1. GİRİŞ

Ulusal sağlık sistemleri; demografik değişimler, kronik hastalık prevalansındaki artış ve sürekli yükselen sağlık hizmeti talebi nedeniyle giderek artan operasyonel baskılarla karşı karşıyadır. Özellikle yüksek hacimli kamu sağlık sistemlerinde hasta akışının etkin biçimde yönetilmesi, sağlık hizmetlerinin sürdürülebilirliği açısından kritik önem taşımaktadır. Türk sağlık sistemi bu açıdan dikkat çekici bir örnek oluşturmaktadır. 2024 yılı resmi sağlık istatistiklerine göre Türkiye’de bir yıl içinde 1 milyarın üzerinde hekim muayenesi gerçekleştirilmiş, bunun yaklaşık 466 milyonu Sağlık Bakanlığı’na bağlı kamu hastanelerinde yapılmıştır (Sağlık Bakanlığı, 2024). Kişi başına yıllık hastane başvuru sayısının 6,8 olması, hastane temelli hizmet kullanım yoğunluğunun yüksek olduğunu ve ikinci ile üçüncü basamak polikliniklerde sürekli hasta yükü olduğunu göstermektedir.

Bu yüksek hasta hacmini yönetebilmek amacıyla Türk kamu sağlık sistemi büyük ölçüde Merkezi Hekim Randevu Sistemi’ne (MHRS) dayanmaktadır. Ancak poliklinik randevuları çoğu zaman kısa zaman aralıklarıyla planlanmakta ve hekimler; anamnez, fizik muayene, elektronik sağlık kaydı (ESK) işlemleri ve tanısal planlamayı sınırlı süreler içinde tamamlamak zorunda kalmaktadır. Sürekli zaman baskısı hem hizmet kalitesi hem de hasta bekleme süreleri açısından önemli sorunlara yol açmakta; ayrıca hekim tükenmişliği ve mesleki iyi oluşta bozulma ile ilişkilendirilmektedir (Shanafelt ve Noseworthy, 2017).

Sağlık hizmetlerindeki operasyonel süreçler, hasta başvuruları ve hizmet sürelerindeki değişkenlik nedeniyle doğası gereği stokastik özellik göstermektedir. Bu nedenle geleneksel deterministik kapasite planlama yaklaşımları, gerçek klinik iş yükünü ve operasyonel dalgalanmaları sınırlı ölçüde yansıtabilmektedir. Ayrık olay simülasyonu (AOS), hasta akışındaki rastlantısal değişkenliği modelleyebilmesi nedeniyle sağlık hizmetlerinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir (Jacobson vd., 2006). Klasik kuyruk modelleri teorik bir çerçeve sağlamakla birlikte, kullanım oranı sistem kapasitesine yaklaştığında ortaya çıkan doğrusal olmayan bekleme süresi artışlarını ve klinik süreçlerdeki değişkenliği sınırlı ölçüde temsil edebilmektedir (Green, 2006). Bu nedenle yüksek hacimli polikliniklerin değerlendirilmesinde dinamik simülasyon modelleri daha gerçekçi sonuçlar sunabilmektedir.

Son yıllarda sağlık hizmetlerinde optimizasyon çalışmaları ağırlıklı olarak iki yaklaşım üzerinde yoğunlaşmıştır: kapasite artırımı amacıyla ek hekim görevlendirilmesi ve teknolojik desteklerle hizmet süresinin azaltılması. Yapay zekâ destekli klinik dokümantasyon ve otomatik transkripsiyon uygulamaları, sağlık hizmetlerinde idari yükün azaltılması ve klinik iş akışının desteklenmesi açısından potansiyel araçlar olarak değerlendirilmektedir (Davenport ve Kalakota, 2019). Sağlık yönetimi bağlamında yapay zekâ uygulamalarını değerlendiren yakın tarihli çalışmalar da hasta bekleme süreleri ve kaynak kullanımı gibi operasyonel göstergelerde iyileşme potansiyeline işaret etmektedir (Karcıoğlu, 2025). Bununla birlikte, bu müdahalelerin yüksek yoğunluklu kamu sağlık sistemlerinde operasyonel performansa etkileri yeterince karşılaştırılmamıştır.

Bunun yanında, yalnızca poliklinik düzeyine odaklanan yerel optimizasyonların sistem genelinde aynı ölçüde verimlilik artışı sağlamayabileceği öne sürülmektedir. Kısıtlar Teorisi’ne göre sistem performansı en sınırlayıcı süreç tarafından belirlenmektedir (Goldratt ve Cox, 1984). Bu nedenle poliklinik muayene süresinin azaltılması, hasta akışındaki darboğazın radyoloji veya laboratuvar gibi diğer birimlere kaymasına neden olabilir. Sağlık sistemlerinin operasyonel performansının değerlendirilmesinde hasta yolculuğunun bütüncül olarak ele alınması bu açıdan önem taşımaktadır.

Türkiye’de sağlık hizmeti verimliliğini inceleyen çalışmaların önemli bir bölümü deterministik ve makro düzey yöntemlere odaklanmıştır (Şahin ve İlgin, 2019). Buna karşılık, resmi ulusal sağlık verileri kullanılarak geliştirilen simülasyon tabanlı operasyonel çalışmalar sınırlı sayıdadır.

Bu çalışma, 2024 yılı resmi sağlık istatistikleri kullanılarak kalibre edilen bir ayrık olay simülasyonu modeli aracılığıyla Türk kamu hastanelerindeki poliklinik süreçlerini operasyonel düzeyde incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın temel araştırma soruları şunlardır:

1. Standart kamu hastanesi polikliniklerinde temel kullanım oranları ve bekleme süresi performansı nasıldır?
2. Verimlilik odaklı müdahaleler ile kapasite odaklı müdahalelerin etkileri istatistiksel olarak nasıl karşılaştırılabilir?
3. Yerel poliklinik optimizasyonunun etkinliğini sınırlayan ardışık süreç darboğazları nelerdir?

2. YÖNTEM

2.1. Araştırma Tasarımı ve Veri Kaynakları

Bu çalışma, nicel ve simülasyon tabanlı bir araştırma olarak tasarlanmıştır. Model parametreleri, T.C. Sağlık Bakanlığı Sağlık İstatistikleri Yıllığı 2024 verileri kullanılarak belirlenmiştir (Sağlık Bakanlığı, 2024). Kullanılan başlıca göstergeler; toplam hekim muayene sayısı, kişi başı hastane başvuru sayısı, hekim ve asistan hekim sayıları ile 1.000 muayene başına görüntüleme talep oranlarıdır.

Çalışma yalnızca kamuya açık, toplulaştırılmış ulusal istatistiklere dayanmaktadır. Bireysel hasta verisi, tanımlayıcı kişisel bilgi veya klinik müdahale içermediğinden etik kurul onayı gerektirmemektedir.

2.2. Simülasyon Çerçevesi ve Kuyruk Dinamikleri

Ayrık olay simülasyonu (AOS), Python tabanlı olay güdümlü bir simülasyon motoru ile geliştirilmiştir. Modelin matematiksel işlemleri ve istatistiksel analizleri için NumPy ve SciPy kütüphanelerinden yararlanılmıştır.

Hasta varışları Poisson süreci olarak modellenmiştir. Varış oranı (λ) Denklem (1)'de gösterildiği şekilde hesaplanmıştır:

$$\lambda = \frac{D}{T} \quad (1)$$

Burada D , vardiya başına toplam hasta talebini; T , toplam mesai süresini temsil etmektedir. Toplam mesai süresi 480 dakika olarak kabul edilmiştir. S1 – S6 senaryolarında günlük talep $D = 450$, stres testi olarak tanımlanan S7 senaryosunda ise $D = 550$ olarak belirlenmiştir.

Muayene süreleri, her senaryoda belirlenen ortalama muayene süresine sahip lognormal dağılımdan üretilmiştir. Hizmet süresi değişkenliği için varyasyon katsayısı $CV = 0.30$ olarak kabul edilmiş ve gerçek dışı düşük hizmet sürelerini önlemek amacıyla minimum muayene süresi 2 dakika ile sınırlandırılmıştır.

Kuyruk yapısı, paralel çalışan c sayıda hekim için “ilk gelen ilk hizmet alır” prensibine göre tanımlanmıştır. Simülasyon $t = 0$ anında boş sistemle başlatılmıştır. Başlangıçtaki geçici durum etkilerini azaltmak amacıyla 60 dakikalık ısınma periyodu uygulanmıştır. Bekleme süresi analizlerine yalnızca varış zamanı $t \geq 60$ dakika olan hastalar dahil edilmiştir.

Mesai bitimi $t = 480$ dakika olarak kabul edilmiştir. Bu andan sonra sisteme yeni hasta alınmamış; ancak mesai bitimine kadar sisteme girmiş olan hastaların hizmetleri tamamlanana kadar simülasyon sürdürülmüştür. Hekim kullanım oranı (ρ), ısınma periyodu sonrası 420 dakikalık gözlem penceresinde ($t = 60 - 480$ dakika) toplam meşgul hekim süresinin toplam kapasiteye oranı olarak hesaplanmış ve 0 ile 1 arasında raporlanmıştır.

Her senaryo, bağımsız rastgele tohumlar kullanılarak 30 kez tekrarlanmıştır.

2.3. Müdahale Senaryoları

Çalışmada değerlendirilen müdahale ve stres testi senaryoları Tablo 1’de sunulmaktadır. Senaryolar, temel durum, yapay zekâ destekli hizmet süresi azaltımı, hekim kapasitesi artışı, kombine müdahale ve yüksek talep koşullarını karşılayacak şekilde yapılandırılmıştır.

Tablo 1. Simüle edilen müdahale senaryoları ve operasyonel parametreler

Senaryo	Hekim sayısı	Ortalama muayene süresi	Günlük talep	Açıklama
S1: Temel durum	10	10,0 dk	450	Mevcut operasyonel durum
S2: YZ - %10	10	9,0 dk	450	Yapay zekâ ile muayene süresinde %10 azalma
S3: YZ - %20	10	8,0 dk	450	Yapay zekâ ile muayene süresinde %20 azalma
S4: Kapasite + %20	12	10,0 dk	450	İki ek hekim görevlendirilmesi
S5: Kapasite + %40	14	10,0 dk	450	Dört ek hekim görevlendirilmesi
S6: Kombine	12	9,0 dk	450	Kapasite artışı ve yapay zekâ destekli verimlilik kazanımının birlikte uygulanması
S7: Yüksek yük	10	10,0 dk	550	Talepte yaklaşık %22 artış ile stres testi

S1–S6 senaryolarında toplam hasta talebi sabit tutulmuştur. Böylece müdahalelerin yalnızca hizmet kapasitesi ve muayene süresi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. S7 senaryosu ise kapasite sabitken artan hasta talebi karşısında sistemin kırılganlığını test etmek için kurgulanmıştır.

2.4. İstatistiksel Analiz

Birincil sonuç ölçütleri; ortalama bekleme süresi, %95’lik bekleme süresi persentili, maksimum bekleme süresi ve hekim kullanım oranı olarak belirlenmiştir.

Temel durum senaryosu olan S1 ile diğer senaryolar arasındaki ikili karşılaştırmalar, her senaryo için elde edilen replikasyon düzeyindeki ortalama bekleme süreleri üzerinden yapılmıştır. Karşılaştırmalar yalnızca kararlı durumdaki senaryolar için gerçekleştirilmiştir. Kararlı durum ölçütü olarak $\rho < 1$ kabul edilmiştir. Karşılaştırmalarda iki yönlü Welch t-testi kullanılmıştır. Çoklu karşılaştırmalardan kaynaklanabilecek hata olasılığını azaltmak amacıyla Holm düzeltmesi uygulanmıştır. Etki büyüklükleri Cohen’s d ile raporlanmıştır. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $\alpha = 0.05$ olarak kabul edilmiştir.

S7 senaryosu teorik olarak kararsız bir yüksek yük durumu olarak değerlendirildiğinden, bu senaryoya ait sonuçlar çıkarımsal istatistik kapsamında değil, betimsel stres testi çıktıları olarak sunulmuştur.

2.5. Analitik Doğrulama

Simülasyon sonuçları, Erlang-C formülüne dayalı M/M/c kuyruk modeli çıktılarıyla karşılaştırılarak kontrol edilmiştir. Bu doğrulama adımı her senaryo için ilgili varış oranı (λ), hizmet oranı (μ) ve hekim sayısı (c) kullanılmıştır.

S7 senaryosunda kullanım oranı $\rho > 1$ olduğu için sistem teorik olarak kararsız kabul edilmiştir. Bu nedenle S7 için kararlı durum bekleme olasılığı ve ortalama bekleme süresi hesaplanmamıştır. AOS modeli ile M/M/c modeli arasındaki farklar beklenen bir durumdur. Çünkü M/M/c modeli hizmet sürelerini üstel dağılım varsayımıyla ele alırken, bu çalışmada muayene süreleri daha düşük değişkenliğe sahip lognormal dağılımla modellenmiştir. Ayrıca M/M/c modeli sürekli çalışan bir sistemi varsayarken, bu çalışmadaki simülasyon 480 dakikalık sonlu bir mesai süresi üzerinden yürütülmüştür. Bu nedenle Erlang-C sonuçları birebir tahmin veya kesin üst sınır olarak

değil, simülasyon çıktılarının yönünü değerlendirmek için kullanılan analitik bir karşılaştırma ölçütü olarak yorumlanmıştır.

2.6. Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizinde sistemin farklı kapasite ve hizmet süresi koşullarındaki davranışı değerlendirilmiştir. Bu amaçla hekim sayısı 8 – 14, ortalama muayene süresi ise 8 – 12 dakika aralığında taranmıştır.

Her kombinasyon için günlük talep $D = 450$ sabit tutulmuş ve Erlang-C modeli ile beklenen bekleme süreleri hesaplanmıştır. Böylece sistemin yönetilebilir bekleme sürelerinden hızlı kuyruk artışına geçtiği operasyonel kırılma noktaları belirlenmiştir.

Ek olarak, kapasite artışı senaryolarının talep geri dönüşüne duyarlılığı değerlendirilmiştir. Gerçek sağlık sistemlerinde ek kapasite, daha önce karşılanamayan veya ertelenen hasta talebinin bir kısmını sisteme çekebilir. Bu etkiyi parametrik olarak incelemek amacıyla talep geri dönüş katsayısı (α) tanımlanmıştır. Efektif talep Denklem (2)'de gösterildiği şekilde hesaplanmıştır:

$$D_{eff} = D_0 \times [1 + \alpha \times (c/c_0 - 1)] \quad (2)$$

Burada D_0 temel durum talebini (450 hasta), c_0 temel durum hekim sayısını (10), ilgili senaryodaki hekim sayısını ve α talep geri dönüş katsayısını temsil etmektedir. Talep geri dönüşü bu analizde yalnızca hekim sayısındaki artışa bağlı olarak modellenmiş; muayene süresi verimliliğine bağlı ek talep geri dönüşü ayrıca modellenmemiştir. $\alpha = 0$ sabit talep varsayımını, $\alpha = 1$ ise kapasite artışıyla tam orantılı talep geri dönüşünü ifade etmektedir. Bu analiz yalnızca kapasite artışı içeren senaryolar için uygulanmış ve her kombinasyonda Erlang-C modeli ile beklenen bekleme süreleri hesaplanmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Replikasyon Yeterliliği ve Model Kararlılığı

Simülasyon sonuçlarının istatistiksel kararlılığını değerlendirmek amacıyla temel durum senaryosu (S1) üzerinden replikasyon analizi yapılmıştır. Replikasyon sayısı arttıkça %95 güven aralığı yarı genişliğinin azaldığı ve hata payının daraldığı görülmüştür. Replikasyon yeterliliğine ilişkin sonuçlar Tablo 2'de sunulmaktadır. Replikasyon sayısı 10'dan 30'a çıkarıldığında güven aralığı yarı genişliği ve hata payı belirgin biçimde azalmış; bu durum simülasyon çıktılarının artan replikasyon sayısı ile daha kararlı hale geldiğini göstermiştir. Otuz replikasyonda ortalama bekleme süresi 4,60 dakika, güven aralığı yarı genişliği 1,226 dakika ve hata payı %26,7 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, replikasyon sayısı arttıkça varyasyonun azaldığını ve sonuçların bu replikasyon düzeyinde raporlanabilir kararlılığa ulaştığını göstermektedir.

Tablo 2. Replikasyon yeterliliği (S1: Temel Durum)

Replikasyon (n)	Ortalama bekleme (dk)	%95 GA yarı genişliği	Hata payı (GA / Ort. %)
10	6,23	2,740	44,0
20	5,26	1,728	32,9
30	4,60	1,226	26,7

3.2. Simülasyon Çıktıları ve Operasyonel Performans

Tüm senaryolara ait temel simülasyon çıktıları Tablo 3'te özetlenmektedir. Tablo 3, hekim sayısı, ortalama muayene süresi, ısınma periyodu sonrası gözlem sayısı, ortalama bekleme süresi, maksimum bekleme süresi, 95. persentil bekleme süresi ve kullanım oranlarını birlikte göstermektedir. Günlük hasta talebinin sabit tutulduğu S1–S6 senaryolarında kapasite artışı ve muayene süresindeki azalma, bekleme sürelerinde belirgin düşüş sağlamıştır. Mevcut operasyonel durumu temsil eden S1 senaryosunda ortalama bekleme süresi 4,60 dakika olarak

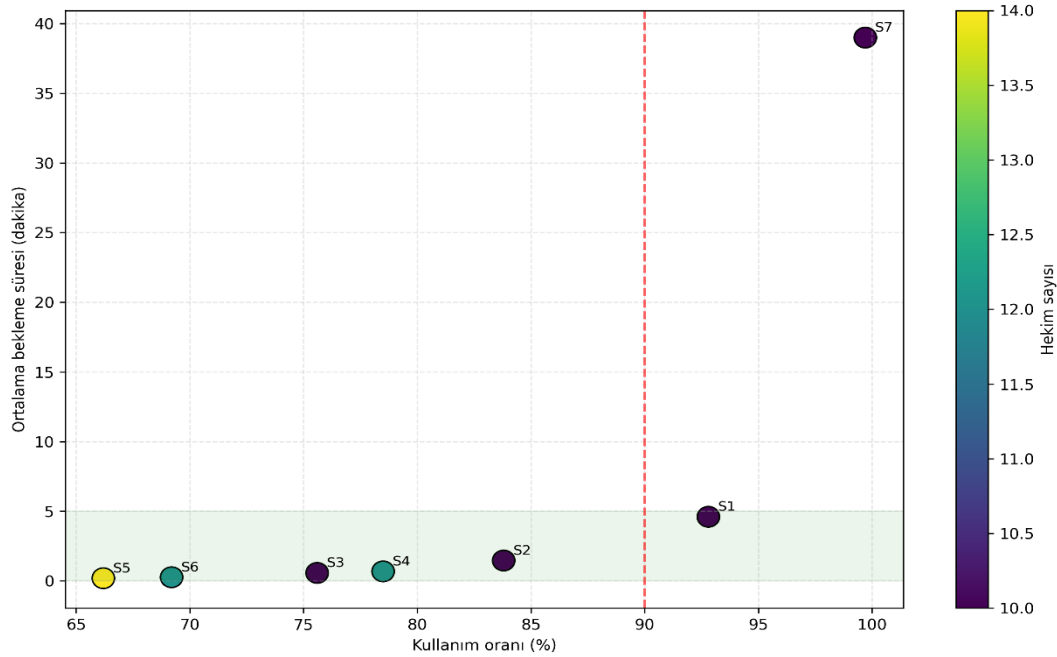
hesaplanmıştır. Dört ek hekim görevlendirilmesini içeren S5 senaryosunda bu süre 0,19 dakikaya düşmüş ve temel duruma göre %95,8 oranında iyileşme görülmüştür.

Kapasitenin sabit tutulduğu ve günlük talebin %22 artırıldığı S7 stres testi senaryosunda teorik kullanım oranı $\rho = 1,1458$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer, sistemin kararlı kapasite sınırının üzerine çıktığını göstermektedir. Sonlu vardiya süresi nedeniyle kuyruk teorik olarak sonsuza ulaşmasa da ortalama bekleme süresi S1'e kıyasla belirgin biçimde artarak 38,99 dakikaya yükselmiştir.

Tablo 3. Simülasyon sonuçları özeti (senaryo başına $n=30$)

Senaryo	Hekim (c)	Muayene süresi (dk)	Gözlem *	Ortalama bekleme (dk)	Standart sapma	%95 GA	Maks. bekleme (dk)	%95 persentil (dk)	AOS ρ	Teorik ρ
S1: Temel durum	10	10,0	392	4,60	3,28	3,37–5,82	14,77	11,46	0,928	0,9375
S2: YZ-%10	10	9,0	392	1,46	0,75	1,18–1,74	9,16	6,13	0,838	0,8438
S3: YZ-%20	10	8,0	397	0,57	0,32	0,45–0,69	6,03	3,19	0,756	0,7500
S4: Kapasite +%20	12	10,0	395	0,68	0,29	0,57–0,79	6,68	3,67	0,785	0,7812
S5: Kapasite +%40	14	10,0	389	0,19	0,19	0,12–0,26	3,75	1,39	0,662	0,6696
S6: Kombine	12	9,0	388	0,26	0,16	0,20–0,31	4,35	1,85	0,692	0,7031
S7: Yüksek yük	10	10,0	479	38,99	15,63	33,15–44,82	72,81	67,77	0,997	1,1458

*Gözlem sütunu, ısınma periyodu sonrası ($t > 60$ dk) sisteme giren hasta sayısını temsil etmektedir.



Şekil 1. Senaryolara göre kullanım oranı ve ortalama bekleme süresi ilişkisi

Şekil 1, kullanım oranı yüksek olan senaryolarda ortalama bekleme süresinin belirgin biçimde arttığını görsel olarak desteklemektedir. Temel durum senaryosu yüksek kullanım bölgesinde yer alırken, hizmet süresi azaltımı ve kapasite artışı senaryoları kullanım oranını düşürerek bekleme süresini azaltmıştır. S7 stres testi ise kapasite sınırının aşılması durumunda bekleme süresindeki belirgin artışı göstermektedir.

3.3. Müdahalelerin İstatistiksel Etkinliği

Müdahale senaryolarının temel durum senaryosu ile karşılaştırılmasına ilişkin istatistiksel sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir. Karşılaştırmalar, replikasyon düzeyindeki ortalama bekleme süreleri üzerinden Welch t-testi kullanılarak yapılmış ve çoklu karşılaştırmalar için Holm düzeltmesi uygulanmıştır. Kararlı durumda değerlendirilen S2 – S6 müdahale senaryoları, ortalama bekleme süresinde istatistiksel olarak anlamlı azalma sağlamıştır ($p < 0,0001$). Etki büyüklükleri Cohen's d değerlerine göre yüksek düzeydedir.

S7 senaryosu teorik olarak kararsız rejimde yer aldığından çıkarımsal istatistiksel karşılaştırmaya dahil edilmemiştir. Bu senaryo, artan talep altında sistem kırılganlığını göstermek amacıyla betimsel stres testi olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 4. Temel Duruma Karşı İstatistiksel Karşılaştırmalar (Welch t-testi ve Holm düzeltmesi)

Senaryo	Fark (dk)	İyileşme (%)	t-ist.	p-holm	Cohen's d	Sonuç
S2: YZ-%10	3,14	68,3	5,106	<0,0001	1,32	Anlamlı
S3: YZ-%20	4,03	87,6	6,685	<0,0001	1,73	Anlamlı
S4: Kapasite +%20	3,92	85,2	6,507	<0,0001	1,68	Anlamlı
S5: Kapasite +%40	4,41	95,8	7,336	<0,0001	1,89	Anlamlı
S6: Kombine	4,34	94,4	7,231	<0,0001	1,87	Anlamlı

Not: S7 (Yüksek yük) senaryosu teorik olarak kararsız rejimde ($\rho > 1$) olduğundan çıkarımsal istatistiksel karşılaştırmaya dahil edilmemiş, yalnızca betimsel stres testi çıktısı olarak sunulmuştur.

3.4. Analitik Model ile Doğrulama

Simülasyon çıktıları, M/M/c kuyruk modeli ve Erlang-C formülü ile karşılaştırılmıştır. Analitik model sonuçları, simülasyon bulgularıyla aynı genel yönelimi göstermektedir. S2–S6 senaryolarında bekleme sürelerinin azaldığı, S7 senaryosunda ise kullanım oranının 1'in üzerine çıktığı ve sistemin kararlı durum varsayımını sağlamadığı görülmüştür.

M/M/c modeli, hizmet sürelerini üstel dağılım varsayımıyla ele aldığından teorik bekleme süreleri AOS çıktılarından daha yüksek bulunmuştur. Bu nedenle analitik model sonuçları birebir tahmin veya kesin üst sınır olarak değil, simülasyon çıktılarının yönünü değerlendirmek için kullanılan karşılaştırmalı bir analitik ölçüt olarak değerlendirilmiştir. Karşılaştırma sonuçları Tablo 5'te sunulmaktadır.

Tablo 5. M/M/c Analitik doğrulama sonuçları

Senaryo	c	Muayene süresi (dk)	ρ	Bekleme olasılığı	Wq teorik (dk)	Durum
S1: Temel	10	10,0	0,9375	0,7847	12,56	Kararlı
S2: YZ-%10	10	9,0	0,8438	0,5138	2,96	Kararlı
S3: YZ-%20	10	8,0	0,7500	0,3066	0,98	Kararlı
S4: Kapasite +%20	12	10,0	0,7812	0,3278	1,25	Kararlı
S5: Kapasite +%40	14	10,0	0,6696	0,1164	0,25	Kararlı
S6: Kombine	12	9,0	0,7031	0,1884	0,48	Kararlı
S7: Yüksek yük	10	10,0	1,1458	Hesaplanamaz	∞	Kararsız

3.5. Ardışık Süreç Analizi ve Görüntüleme Yüğü

Türkiye 2024 sağlık istatistiklerine göre kamu hastanelerinde her 1.000 muayene başına yaklaşık 195,8 radyolojik görüntüleme talebi bulunmaktadır (Sağlık Bakanlığı, 2024). Bu oran, poliklinik süreçlerindeki iyileştirmelerin radyoloji gibi ardışık hizmet birimleri üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi açısından önemlidir.

Sabit talep senaryolarında vardiya başına 450 muayene için beklenen radyolojik görüntüleme talebi yaklaşık 88 işlem olarak hesaplanmıştır. S7 stres testi senaryosunda ise günlük muayene sayısının 550'ye yükselmesiyle bu beklenen yük yaklaşık 108 görüntüleme talebine çıkmaktadır. Bu bulgu, poliklinik bekleme süreleri yapay zekâ destekli dokümantasyon veya ek hekim görevlendirilmesi ile azaltılsa bile, ardışık süreçlerdeki kapasitenin ayrıca değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Aksi durumda operasyonel iyileşmenin etkisi poliklinik düzeyinde sınırlı kalabilir ve hasta akışındaki yük radyoloji ya da laboratuvar gibi birimlere kayabilir.

3.6. Talep Geri Dönüşü Duyarlılık Analizi

Kapasite artışı içeren senaryoların talep geri dönüş katsayısına (α) duyarlılığı Erlang-C modeli ile değerlendirilmiştir. Bu analiz, AOS replikasyonlarına değil, Erlang-C analitik hesaplamalarına dayalı parametrik bir duyarlılık analizidir. Sonuçlar Tablo 6'da sunulmaktadır.

Tablo 6. Talep geri dönüşü duyarlılık analizi (Erlang-C)

α	Senaryo	Hekim	Muayene süresi (dk)	Efektif talep	ρ	Wq teorik (dk)	Durum
0,0	Kapasite +%20	12	10,0	450	0,7812	1,25	Kararlı
0,0	Kapasite +%40	14	10,0	450	0,6696	0,25	Kararlı
0,0	Kombine	12	9,0	450	0,7031	0,48	Kararlı
0,5	Kapasite +%20	12	10,0	495	0,8594	3,08	Kararlı
0,5	Kapasite +%40	14	10,0	540	0,8036	1,25	Kararlı
0,5	Kombine	12	9,0	495	0,7734	1,03	Kararlı
1,0	Kapasite +%20	12	10,0	540	0,9375	10,20	Kararlı
1,0	Kapasite +%40	14	10,0	630	0,9375	8,53	Kararlı
1,0	Kombine	12	9,0	540	0,8438	2,29	Kararlı

Sabit talep koşulunda ($\alpha = 0$) kapasite artışı senaryoları düşük teorik bekleme süreleri üretmiştir. Ancak talep geri dönüş katsayısı arttıkça kapasite artışına bağlı bekleme süresi kazanımları azalmıştır. Kapasite +%20 senaryosunda teorik bekleme süresi $\alpha = 0$ için 1,25 dakika iken, $\alpha = 0,5$ için 3,08 dakikaya ve $\alpha = 1,0$ için 10,20 dakikaya yükselmiştir.

Tam talep geri dönüşü koşulunda ($\alpha = 1,0$), kapasite artışı senaryolarında kullanım oranı temel durumdaki teorik kullanım oranına ($\rho = 0,9375$) geri dönmüştür. Buna karşılık, kapasite artışı ile muayene süresi azalmasını birlikte içeren kombine senaryoda teorik kullanım oranı 0,8438 ve bekleme süresi 2,29 dakika olarak hesaplanmıştır. Bu bulgu, hizmet süresini azaltan verimlilik bileşeninin talep geri dönüşü varsayımları altında kapasite artışına kıyasla daha dayanıklı bir operasyonel etki gösterebileceğini düşündürmektedir.

4. TARTIŞMA

4.1. Kapasite Sınırına Yakın Koşullarda Operasyonel Dinamikler

Bu çalışma, yüksek hasta hacmi altında çalışan kamu polikliniklerinde hizmet süresi, hekim kapasitesi ve hasta talebi arasındaki ilişkinin bekleme süreleri üzerinde belirgin etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Temel durum senaryosunda sistem yüksek kullanım oranı ile çalışmış ve ortalama bekleme süresi 4,60 dakika olarak hesaplanmıştır. Muayene süresinde %10 azalma varsayan S2 senaryosunda kullanım oranı 0,928'den 0,838'e düşmüş ve ortalama bekleme süresi %68,3 azalmıştır.

Bu bulgu, kuyruk teorisinin temel öngörülerıyla uyumludur. Sistem kullanım oranı kapasite sınırına yaklaştıkça bekleme süreleri doğrusal olmayan biçimde artmaktadır (Green, 2006). Bu nedenle kapasite sınırına yakın çalışan sistemlerde hizmet süresindeki sınırlı azalmalar bile bekleme performansında belirgin iyileşme sağlayabilmektedir.

Hekim sayısının artırıldığı S4 ve S5 senaryolarında da bekleme sürelerinde belirgin azalma gözlenmiştir. Ancak bu sonuçlar, ana modelde hasta talebinin sabit tutulduğu koşullar altında elde edilmiştir. Bu tercih, müdahalelerin hizmet kapasitesi ve muayene süresi üzerindeki doğrudan etkisini izole etmek açısından metodolojik olarak uygundur. Bununla birlikte, gerçek sağlık hizmeti ortamlarında ek kapasite, daha önce karşılanamayan veya ertelenen hasta talebinin bir kısmını sisteme çekebilir. Bu varsayım, sağlık hizmetlerinde arz ve kullanım ilişkisine dair klasik tartışmalarla uyumludur (Roemer, 1961). Bu nedenle kapasite artışına dayalı müdahalelerin uzun dönemli etkileri, yalnızca sabit talep varsayımı altında değerlendirilmemelidir.

Talep geri dönüşü duyarlılık analizi bu noktayı desteklemektedir. Sabit talep koşulunda ($\alpha = 0$) Kapasite +%20 senaryosu teorik bekleme süresini 1,25 dakikaya düşürürken, tam orantılı talep geri dönüşü varsayımında ($\alpha = 1,0$) aynı senaryoda bekleme süresi 10,20 dakikaya yükselmiştir. Kapasite +%40 senaryosunda da tam talep geri dönüşü altında kullanım oranı temel durum düzeyine dönmüş ve bekleme süresi kazanımı azalmıştır. Buna karşılık, kapasite artışı ile muayene süresi azalmasını birlikte içeren kombine senaryoda $\alpha = 1,0$ koşulunda teorik bekleme süresi 2,29 dakika olarak hesaplanmıştır. Bu bulgu, hizmet süresini azaltan verimlilik bileşeninin talep geri dönüşü varsayımları altında kapasite artışına kıyasla daha dayanıklı bir operasyonel etki gösterebileceğini düşündürmektedir.

S7 stres testi, sistemin artan talep karşısındaki duyarlılığını göstermektedir. Günlük talebin 450'den 550 hastaya çıkarılmasıyla teorik kullanım oranı $\rho > 1$ düzeyine ulaşmış ve ortalama bekleme süresi 38,99 dakikaya yükselmiştir. Bu bulgu, mevcut kapasite yapısının talep artışlarına karşı sınırlı toleransa sahip olduğunu ve talep yönetiminin operasyonel planlamada dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

4.2. Sistem Sınırları ve Darboğazın Kayması

Poliklinik bekleme sürelerinin azaltılması, hizmetin yalnızca bir aşamasındaki iyileşmeyi temsil etmektedir. Hasta yolculuğu çoğu zaman muayene ile sınırlı değildir; radyoloji, laboratuvar ve diğer tanısal süreçler de toplam hizmet süresini belirleyen önemli bileşenlerdir.

Türkiye 2024 sağlık istatistiklerine göre kamu hastanelerinde 1.000 muayene başına yaklaşık 195,8 radyolojik görüntüleme talebi bulunmaktadır (Sağlık Bakanlığı, 2024). Bu oran dikkate alındığında, polikliniklerde hasta işlem hızının artırılması ardışık tanısal birimlere yönelen görüntüleme ve laboratuvar yükünü artırabilir. Bu nedenle poliklinik düzeyindeki iyileştirmeler, radyoloji ve laboratuvar gibi ardışık süreçlerin kapasitesiyle birlikte değerlendirilmelidir.

Bu durum Kısıtlar Teorisi ile uyumludur. Bir sistemin toplam performansı yalnızca tek bir birimin verimliliğine değil, hasta akışındaki en sınırlayıcı sürece bağlıdır (Goldratt ve Cox, 1984). Bu nedenle poliklinik optimizasyonu tek başına sistem genelinde aynı büyüklükte bir iyileşme yaratmayabilir; darboğazın bir başka hizmet basamağına kayma riski bulunmaktadır.

4.3. Talep Tarafı Dinamikleri ve Sevk Zinciri

Çalışmanın bulguları, poliklinik yoğunluğunun yalnızca arz tarafındaki kapasite kısıtlarıyla açıklanamayacağını düşündürmektedir. Türkiye’de kişi başına yıllık hastane başvuru sayısının 6,8 olması, hastane temelli hizmet kullanımının yüksek düzeyde olduğunu göstermektedir (Sağlık Bakanlığı, 2024).

Birinci basamak sağlık hizmetlerinin uzman başvuruları için etkin bir filtreleme işlevi görmemesi, hastane polikliniklerinde yüksek hasta hacmine katkıda bulunabilir. Duyarlılık analizinin gösterdiği üzere, kapasite artışı müdahalelerinin operasyonel etkinliği talep geri dönüş düzeyine bağlıdır. Bu nedenle yalnızca hekim sayısını artırmaya dayalı stratejiler, talep yönetimi mekanizmalarıyla desteklenmediğinde beklenen iyileşmeyi uzun dönemde sürdüremeyebilir.

Bu bağlamda, sevk zincirinin güçlendirilmesi, kronik hastalık takiplerinin uygun durumlarda birinci basamak veya dijital izlem platformlarına aktarılması ve düşük karmaşıklıkla başvuruların hastane dışı basamaklarda yönetilmesi, poliklinik yükünü azaltabilecek tamamlayıcı stratejiler olarak değerlendirilebilir.

4.4. Merkezi Hekim Randevu Sistemi İçin Çıkarımlar

Merkezi Hekim Randevu Sistemi’nde poliklinik randevuları çoğu zaman kısa ve standart zaman aralıklarıyla planlanmaktadır. Ancak bu çalışma, klinik süreçlerin sabit süreli deterministik bloklardan ziyade değişken hizmet süreleriyle temsil edilmesi gerektiğini göstermektedir.

Anamnez süresi, fizik muayene gereksinimi, elektronik sağlık kaydı işlemleri, hasta karmaşıklığı ve tanısal planlama ihtiyacı her hasta için aynı değildir. Bu değişkenlik, gün içinde kuyruk birikimine ve randevu saatlerinden sapmaya yol açabilir. Bu nedenle randevu planlamasında uzmanlık dalı, hasta tipi ve beklenen işlem karmaşıklığı dikkate alınarak daha esnek zaman aralıklarının kullanılması operasyonel kararlılığı artırabilir.

Bu çıkarım, mevcut simülasyon modelinin doğrudan test ettiği bir müdahale değildir; ancak modelin ortaya koyduğu stokastik hizmet süresi etkileriyle uyumlu bir yönetsel öneridir.

4.5. Yönetimsel ve Ekonomik Çıkarımlar

Simülasyon sonuçları, hastane yöneticileri açısından kapasite artırımı ve süreç verimliliği müdahalelerinin farklı koşullarda farklı etkiler oluşturabileceğini göstermektedir. Sabit talep altında hekim sayısının artırılması bekleme sürelerini belirgin biçimde azaltmıştır. Bununla birlikte, talep geri dönüşü duyarlılık analizi, kapasite artışının etkisinin talep varsayımlarına duyarlı olduğunu göstermektedir.

Yapay zekâ destekli klinik dokümantasyon veya otomatik transkripsiyon gibi araçlar, muayene süresini azaltma potansiyeli nedeniyle operasyonel performansa katkı sağlayabilir (Davenport ve Kalakota, 2019; Karcıoğlu, 2025). Bu çalışmada %10’luk hizmet süresi azalması bekleme

süresinde %68,3'lük düşüş ile ilişkili bulunmuştur. Kombine senaryonun talep geri dönüşü altında da düşük teorik bekleme süresi üretmesi, kapasite artışı ile hizmet süresi verimliliğinin birlikte ele alınmasının operasyonel açıdan daha dayanıklı bir yaklaşım olabileceğini düşündürmektedir. Ancak bu sonuçlar, teknolojik yatırımların ekonomik olarak personel artışından üstün olduğunu doğrudan göstermez. Böyle bir çıkarım için kurulum maliyetleri, bakım giderleri, kullanım uyumu, veri güvenliği, klinik doğruluk, entegrasyon maliyetleri ve uzun dönemli talep etkilerini içeren ayrı maliyet-etkinlik analizlerine ihtiyaç vardır. Bu nedenle çalışma, teknolojik verimlilik müdahalelerinin operasyonel açıdan güçlü bir aday strateji olduğunu göstermekte; ancak nihai yönetsel karar için ekonomik değerlendirme gerekliliğini ortadan kaldırmamaktadır.

4.6. Sınırlılıklar

Bu çalışma bazı metodolojik sınırlılıklar içermektedir. İlk olarak, model tek bir poliklinik biriminin hasta akışını simüle etmekte ve hastane genelindeki çok birimli etkileşimleri kapsamamaktadır. İkinci olarak, hizmet süresi parametreleri doğrudan zaman-hareket gözlemleri yerine ulusal istatistikler ve model varsayımları üzerinden belirlenmiştir. Bu nedenle gerçek klinik ortamlardaki hasta-hekim etkileşim süresi farklılıkları modele tam olarak yansıtılamamış olabilir.

Üçüncü olarak, model hasta karmaşıklığı, uzmanlık dalı, hekim deneyimi ve vaka karışımı gibi faktörleri homojen kabul etmektedir. Dördüncü olarak, randevuya gelmeme, geç varış, erken başvuru, fazla rezervasyon ve aynı gün ek hasta kabulü gibi gerçek dünya planlama dinamikleri modele dahil edilmemiştir.

Beşinci olarak, yapay zekâ destekli dokümantasyon sistemlerinin etkisi literatürde bildirilen muayene süresi azalımı varsayımına dayalı olarak modellenmiştir; bu sistemlerin klinik doğruluk, hasta-hekim iletişimi, veri güvenliği ve kullanım uyumu üzerindeki etkileri bu çalışmanın kapsamı dışındadır.

Altıncı olarak, talep geri dönüşü analizi Erlang-C modeline dayalı parametrik bir duyarlılık analizi olarak yürütülmüştür. Bu analiz, gerçek hasta talep esnekliğini ampirik olarak ölçmemekte; farklı talep geri dönüş düzeyleri altında kapasite artışı senaryolarının teorik davranışını değerlendirmektedir. Son olarak, çalışma doğrudan bir maliyet-etkinlik analizi içermemektedir. Bu nedenle kapasite artışı ile teknolojik müdahalelerin ekonomik üstünlüğü hakkında kesin çıkarım yapılmamalıdır.

5. SONUÇ

Bu ayırık olay simülasyonu çalışması, yüksek hasta hacmi altında çalışan kamu polikliniklerinde hizmet süresi, kapasite ve talep düzeyi arasındaki ilişkinin bekleme süreleri üzerinde belirgin etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Çalışmanın bulguları, giriş bölümünde belirlenen üç araştırma sorusu çerçevesinde aşağıda özetlenmektedir.

Birinci araştırma sorusu bağlamında, temel durum senaryosunda sistem 0,928 kullanım oranı ile çalışmış ve ortalama bekleme süresi 4,60 dakika olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, sistemin kapasite sınırına yakın bir operasyonel bölgede çalıştığını ve stokastik değişkenliğe karşı sınırlı tampona sahip olduğunu göstermektedir.

İkinci araştırma sorusu bağlamında, sabit talep altında hem verimlilik hem de kapasite odaklı tüm müdahale senaryoları istatistiksel olarak anlamlı iyileşme sağlamıştır ($p<0,0001$). Muayene süresinde %10'luk azalma bekleme süresini %68,3 oranında azaltmıştır. Talep geri dönüşü duyarlılık analizi ise kapasite artışı müdahalelerinin etkinliğinin talep varsayımlarına duyarlı olduğunu göstermiştir: tam orantılı talep geri dönüşü varsayımında kapasite artışı senaryolarının bekleme süresi kazanımı belirgin biçimde azalırken, verimlilik bileşeni içeren kombine senaryo

daha düşük teorik bekleme süresi üretmiştir. Bu bulgu, verimlilik bileşeni içeren stratejilerin talep belirsizliği altında daha dayanıklı olabileceğini düşündürmektedir.

Üçüncü araştırma sorusu bağlamında, S7 stres testi kapasite sabitken talepteki %22'lik artışın teorik kullanım oranını $\rho=1,1458$ düzeyine taşıdığını ve ortalama bekleme süresini 38,99 dakikaya yükselttiğini göstermiştir. Ayrıca 1.000 muayene başına yaklaşık 196 görüntüleme talebi, poliklinik düzeyindeki iyileştirmelerin radyoloji gibi ardışık süreçlere yük aktarabileceğini göstermektedir. Bu bulgular, yerel optimizasyonların sistem genelindeki etkinliğinin hem talep baskısı hem de ardışık süreç kapasitesiyle sınırlandırıldığına işaret etmektedir.

Sonuç olarak, kamu hastanelerinde poliklinik iş akışının sürdürülebilir biçimde iyileştirilebilmesi için stokastik değişkenliği dikkate alan randevu planlaması, hizmet süresi verimliliğini artıran teknolojik çözümler, kapasite planlaması ve talep yönetimi birlikte ele alınmalıdır. Gelecek çalışmaların, bu modeli radyoloji ve laboratuvar gibi ardışık tanısal süreçleri kapsayacak şekilde genişletmesi; saha temelli zaman-hareket verileri, ampirik talep esnekliği tahminleri ve maliyet-etkinlik analizleriyle desteklemesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Davenport, T., ve Kalakota, R. (2019). The potential for artificial intelligence in healthcare. *Future Healthcare Journal*, 6(2), 94–98. <https://doi.org/10.7861/futurehosp.6-2-94>
- Goldratt, E. M., ve Cox, J. (1984). *The goal: A process of ongoing improvement*. Croton-on-Hudson, NY: North River Press.
- Green, L. V. (2006). Queueing analysis in healthcare. In R. W. Hall (Ed.), *Patient flow: Reducing delay in healthcare delivery* (pp. 281–307). Boston, MA: Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-33636-7_10
- Jacobson, S. H., Hall, S. N., ve Swisher, J. R. (2006). Discrete-event simulation of health care systems. In R. W. Hall (Ed.), *Patient flow: Reducing delay in healthcare delivery* (pp. 211–252). Boston, MA: Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-33636-7_8
- Karcioğlu, U. B. (2025). The role of artificial intelligence in healthcare management on patient safety and operational efficiency: A meta-analytic evaluation. *Journal of Healthcare Management and Leadership*, 1(1), 8–21. <https://doi.org/10.35345/johmal.1670414>
- Roemer, M. I. (1961). Bed supply and hospital utilization: A natural experiment. *Hospitals*, 35, 36–42.
- Sağlık Bakanlığı. (2024). *Sağlık istatistikleri yılı 2024*. T.C. Sağlık Bakanlığı, Sağlık Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü. URL: <https://sbsgm.saglik.gov.tr/> Erişim Tarihi: 02.03.2026
- Shanafelt, T. D., ve Noseworthy, J. H. (2017). Executive leadership and physician well-being: Nine organizational strategies to promote engagement and reduce burnout. *Mayo Clinic Proceedings*, 92(1), 129–146. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2016.10.004>
- Şahin, B., ve İlgin, G. (2019). Assessment of the impact of public hospital associations on the efficiency of hospitals under the ministry of health in Turkey with data envelopment analysis. *Health Care Management Science*, 22(3), 437–446. <https://doi.org/10.1007/s10729-018-9463-5>