

HALK SAĞLIĞI DEĞERLENDİRMELERİ

Editör: Prof.Dr. Selçuk KAYA

yaz
yayınları

Halk Sağlığı Değerlendirmeleri

Editör

Prof.Dr. Selçuk KAYA

yaz
yayınları

2025

Halk Sağlığı Değerlendirmeleri

Editör: Prof.Dr. Selçuk KAYA

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-8508-05-5

Ekim 2025 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

İÇİNDEKİLER

Afetler Sonrası Salgın Hastalıklar ve Sağlık Yönetiminde Türkiye ve Dünyadan Örnekler	1
<i>Yaşar BAYRAMLI</i>	

Salgın Modellemeleri.....	15
<i>Selçuk KAYA</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

AFETLER SONRASI SALGIN HASTALIKLAR VE SAĞLIK YÖNETİMİNDE TÜRKİYE VE DÜNYADAN ÖRNEKLER

Yaşar BAYRAMLI¹

1. GİRİŞ

Afetler toplumların sağlığını doğrudan ve dolaylı biçimde etkileyen kritik olaylardır. Bu etkiler, yalnızca yaralanma, ölüm ve altyapı yıkımı ile sınırlı kalmaz; afet sonrası dönemde bulaşıcı hastalıkların yayılması için uygun ortam yaratabilir. Suyun ve sanitasyon sistemlerinin bozulması, barınma koşullarının kötüleşmesi, sağlık hizmetlerine erişimin aksaması ve toplumun kırılgan gruplarının artan hassasiyeti gibi faktörler, afet sonrası dönemlerde salgın riskini yükseltir. Bu bağlamda, afetlerin halk sağlığı üzerindeki tehditleri yalnızca kısa süreyle değil, orta ve uzun vadede de sürer. (Watson, Gayer & Connolly, 2007; Mavrouli ve ark., 2023; Lorenzoni, Stühlinger, Stummer & Raich, 2020).

Afetlerin halk sağlığına etkisini anlamak, bu etkilerle mücadele edebilmek için sağlık sistemlerinin dayanıklılığını güçlendirmek elzemdir. Afet yönetimi süreçlerinde halk sağlığının rolü, hazırlık, müdahale, iyileşme ve yeniden yapılanma evrelerine yayılır, bu süreçlerde epidemiyolojik gözetim, risk analizleri, kaynak planlaması ve koordinasyon kritik konular olarak öne çıkar (Turner ve meslektaşları, 2019; Public Health and Disasters, 2020). Afetler, sağlık sistemindeki zafiyetleri açığa çıkarır ve çoğu durumda hizmet sunum

¹ Öğr. Gör. Dr., Giresun Üniversitesi, Espiye MYO, Acil Durum ve Afet Yönetimi Programı, yasar.bayramli@giresun.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6954-9008.

kapasitesini azaltır. Bu durum hem genel sağlık göstergelerini hem de bulaşıcı hastalıkların kontrolünü olumsuz yönde etkiler (The public health consequences of disasters, 2001; Long-Term Impact of Disasters on the Public Health System, 2020). Bununla birlikte, her afetin bağlamsal özellikleri farklıdır. Coğrafi yerleşim, nüfus yoğunluğu, toplumun sosyo-ekonomik donanımı, altyapı durumu ve sağlık sisteminin kapasitesi gibi etmenler, afet sonrası sağlık sonuçlarını belirleyici rol oynar (Natural Disasters, Armed Conflict, and Public Health, 2012). Örneğin, iklim değişikliğine bağlı olarak artan yoğun yağış olayları ve seller, vektörler için yeni üreme alanları yaratabilir, bu da dengue, chikungunya, sıtma gibi vektör kaynaklı hastalıkların riskini yükseltir (Building evidences in Public Health Emergency Preparedness, 2025).

Türkiye açısından bakıldığında, ülke jeolojik konumu nedeniyle deprem, heyelan ve sel gibi afetlerden sık etkilenmektedir. Türkiye’de geçmişte yaşanan büyük depremler, sağlık sistemleri üzerindeki baskıyı ve salgın riskini inceleyen çalışmalarla nüfus sağlığının kırılganlığını ortaya koymuştur (Guha-Sapir, 1999). En son 6 şubat 2023 depremleri sonrası yapılan analizlerde, g, altyapı yıkımı ve sağlık hizmeti aksaklıklarının bulaşıcı hastalık riskini artırdığı belirtilmiştir (Ateş, 2023; Public health challenges after the February 6 earthquakes, 2024). Bu rnekler, Türkiye’nin afet sonrası sağlık yönetiminde ders çıkarabileceği çok sayıda açıyı sunar.

2. AFETLERİN HALK SAğLIğI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Afetler, kısa vadede doğrudan mortalite ve morbiditeye yol açan yaralanmalar ile öne çıkmakla birlikte, orta ve uzun vadede halk sağlığı üzerinde çok boyutlu ve sürdürülebilir etkiler bırakır. Literatürde, afetlerin sağlık sistemleri, bulaşıcı

hastalık riski, kronik hastalıkların yönetimi, ruhsal sağlık ve sağlık eşitsizlikleri üzerindeki etkileri sistematik olarak tanımlanmıştır (Noji, 2000; Watson, Gayer & Connolly, 2007).

Öncelikli olarak, altyapı hasarına bağlı olarak su, sanitasyon ve atık yönetim sistemlerindeki bozulma, su kaynaklı ve hijyen ilişkili enfeksiyonların (ör. akut diyare, kolera, hepatit A) riskini belirgin şekilde artırır. Bu durum özellikle içme suyunun kontaminasyonu ve kanalizasyonun bozulmasıyla doğrudan ilişkilidir (Watson, Gayer & Connolly, 2007). Haiti örneğinde olduğu gibi, altyapı ve atık yönetimindeki başarısızlıklar geniş çaplı kolera salgınlarına zemin hazırlayabilir (Piarroux ve ark., 2011).

İkinci olarak, seller, taşkınlar ve su birikintileri gibi çevresel değişimler vektör popülasyonlarını etkileyerek arboviral hastalıklar ve diğer vektör kaynaklı enfeksiyonların yayılmasına neden olabilir, ayrıca sel ve suyla ilişkili zoonotik patojenlerin (ör. leptospiroz) insidansında artışlar bildirilmiştir (Paterson, 2018). Bu mekanizmalar, afetlerin bulaşıcı hastalık profillerini yerel ekosistem ve mevsimsellik ile etkileşerek değiştirir.

Üçüncü olarak, afetler sağlık hizmet sunum kapasitesini zayıflatır, hastane ve klinik hasarları, tıbbi malzeme ve ilaç tedarikinde kesintiler, rutin aşılama programlarının aksaması ve kronik hastalık takibinde aksamalar, hem akut hem de kronik sağlık sonuçlarını kötüleştirir. Özellikle kronik hastalığı olan bireyler için (diyabet, hipertansiyon, böbrek yetmezliği vb.) ilaç ve bakımın sürekliliğinin sağlanamaması, uzun dönem morbidite ve mortalitede artışa yol açabilir (Noji, 2000; Afolabi ve ark., 2018).

Diğer bir durum ruhsal sağlık üzerindeki etkilerdir: afet mağdurlarında travma sonrası stres bozukluğu, depresyon ve anksiyete gibi psikiyatrik bozuklukların yaygınlığı artar, bu

durum toplumun toparlanma kapasitesini olumsuz etkiler ve uzun dönem rehabilitasyon ihtiyaçlarını artırır (Afolabi ve ark., 2018).

Son olarak, afetler sağlık eşitsizliklerini derinleştirir. Sosyo-ekonomik açıdan kırılgan gruplar, erişim sorunları ve sınırlı kaynaklar nedeniyle daha ağır sağlık yükü taşır. Afet sonrası müdahalelerin planlanmasında eşitlik odaklı yaklaşımın önemi vurgulanmaktadır (Watson, Gayer & Connolly, 2007). Genel olarak uluslararası çalışmalar, afetlerin epidemiyolojik profilini belirleyen başlıca etkileyicilerin olduğunu göstermektedir ve bu bulgular afet sonrası halk sağlığı stratejilerinin önceliklendirilmesinde temel alınmalıdır (Paterson, 2018; Piarroux ve ark., 2011).

3. AFET SONRASI SALGIN RİSKİNİ ARTIRAN FAKTÖRLER

Afet sonrası dönemde salgın riskini belirleyen faktörler, birbirleriyle etkileşimli olup genellikle altyapı bozulması, nüfus hareketliliği ve sağlık sistemlerinin kırılganlığı üzerinden yükselir. Birincil risk faktörlerinden biri su, sanitasyon ve hijyen altyapılarının (WASH) zarar görmesidir; içme suyu kaynaklarının fekal kontaminasyona maruz kalması ve kanalizasyon sistemlerinin bozulması, akut diyare, kolera ve diğer su kaynaklı hastalıkların salgınını kolaylaştırır (Watson, Gayer & Connolly, 2007).

İkinci önemli faktör, yoğun konaklama, barınma koşulları ve kitlesel yer değiştirmedir. Tahliye merkezlerinde kalabalık, yetersiz havalandırma, izolasyon alanlarının eksikliği ve sınırlı hijyen olanakları, solunum yolu enfeksiyonları ve gastroenteritlerin yayılmasına zemin hazırlar (Kawano ve ark., 2014). Ayrıca yer değiştirme, insanların sosyal ve coğrafi

bağlantılarını koparır; bu durum hem sağlık hizmetlerine erişimi zorlaştırır hem de toplum bağlarını zayıflatır.

Bir diğer kritik unsur, sağlık hizmetlerine erişimde kesintidir. Afetler, tıbbi altyapının zarar görmesi, sağlık personeli kaybı, ilaç ve sarf malzemesi eksikliği ve rutin aşı programlarının aksamasıyla birlikte, bulaşıcı hastalık kontrol kapasitesini zayıflatır (Jacobsen, 2016). Özellikle çocukluk çağı aşılarının gecikmesi veya durması, salgın riskini artıran bir faktör olarak tanımlanmıştır.

Son olarak, sosyo-ekonomik kırılganlık faktörü göz ardı edilmemelidir. Düşük gelirli, alt yapı eksikliği olan, sağlık okuryazarlığı düşük topluluklar afet sonrası dönemlerde daha savunmasızdır. Kaynak eksikliği kapsamında hastalıklardan korunma kapasitesi azalır ve sağlık hizmetlerinden faydalanma engellenir (Charnley ve ark., 2020).

4. DÜNYA'DA AFETLER VE SALGIN RİSKLERİ

Afet sonrası salgın riskleri, küresel ölçekte önemli bir halk sağlığı sorunu olarak ele alınmaktadır. Literatür analizleri, doğal afetler ile bulaşıcı hastalık salgınları arasında doğrudan bağlantılar kurmakta, özellikle su kaynaklı, bakteriyel ve vektör kaynaklı hastalıkların afet sonrası dönemlerde artış gösterdiğine dikkat çekmektedir (Watson, Gayer, & Connolly, 2007; Charnley ve ark., 2021).

Saatchi ve meslektaşlarının (2024) yürüttüğü derleme çalışması, depremler, seller, kasırgalar ve aşırı yağışlar gibi afetlerin ardından bakteriyel ve su kaynaklı patojenlerle bağlantılı salgınların arttığını göstermektedir. Özellikle altyapı hasarları ve temiz suya erişimde yaşanan sıkıntılar, bu epidemilerin temel tetikleyicileridir. Ayrıca Walika ve arkadaşlarının (2023) hazırladıkları derlemede, 2000–2020

yılları arasında 108 afet–epidemik olay saptanmış, bunların büyük kısmının sel sonrası geliştiği belirlenmiştir. Bu veriler, afet sonrası salgın risklerinin sadece yerel değil küresel nitelikte ve tekrarlanabilir olduğunu ortaya koymaktadır.

4.1. Haiti Depremi ve Kolera Salgını (2010)

2010 yılında Haiti’yi vuran 7.0 büyüklüğündeki deprem, su altyapısında ciddi tahribata yol açtı. Kısa sürede başlayan kolera salgını, binlerce ölümle sonuçlandı. Piarroux ve arkadaşlarının (2011) yürüttüğü epidemiyolojik inceleme, salgının dış kaynaklı fekal kontaminasyon sonucu ortaya çıktığını göstermiştir. Bu vaka, afet sonrası dış müdahalelerin kontrolsüz uygulanmasının halk sağlığı üzerindeki etkilerini açıkça göstermektedir.

4.2. Fiji Selleri ve Leptospiroz (2012)

2012’de Fiji’deki şiddetli yağışlar sonrası meydana gelen seller, leptospiroz vakalarında keskin artışa neden olmuştur. Ritter ve arkadaşları (2018), 576 vaka ve %7 ölüm oranı rapor etmiş, afet sonrası su kaynaklarının kontaminasyonunun zoonotik hastalık riskini ciddi biçimde artırdığını belirtmiştir.

4.3. Japonya Depremi ve Tsunamisi (2011)

2011 Japonya depremi ve tsunamisi sonrası, tahliye merkezlerinde solunum yolu enfeksiyonları ve akut ishal vakaları artmıştır. Iwata ve Kawano’nun (2011) saha analizleri, kalabalık yaşam koşulları, yetersiz havalandırma ve hijyen eksikliğinin temel etmenler olduğunu göstermiştir.

5. AFET SONRASI SALGINLARIN ORTAYA ÇIKMA MEKANİZMALARI

Afet sonrası salgınlar genellikle zincirleme bir süreç sonucunda ortaya çıkar. Charnley ve arkadaşlarının (2021)

tanımladığı “risk şelalesi modeli”, afetle tetiklenen süreçleri aşağıdaki şekilde açıklar:

- a. Altyapı hasarı (su/kanalizasyon sistemleri)
- b. Yerinden edilme ve kalabalık barınma koşulları
- c. Sağlık sisteminin baskılanması
- d. Çevresel değişiklikler ve vektör çoğalması
- e. Sosyo-ekonomik kırılganlıklar

Bu süreçlerin bir araya gelmesi, enfeksiyon riskini artırır ve salgınların süresini uzatabilir (Watson ve ark., 2007; Charnley ve ark., 2021).

6. SIK GÖRÜLEN ENFEKSİYON PROFİLLERİ

Afet sonrası salgınlarda en sık bildirilen hastalık grupları şunlardır:

Su kaynaklı hastalıklar: Kolera, tifo, shigelloz, salmonelloz

Vektör kaynaklı hastalıklar: Sıtma, dengue, chikungunya

Zoonotik hastalıklar: Leptospiroz, hantavirüs enfeksiyonları

Solunum yolu enfeksiyonları: Özellikle kalabalık tahliye merkezlerinde

Hastane kaynaklı enfeksiyonlar: Sağlık tesislerinde kontrol önlemlerinin zayıflamasıyla artış gösterir

7. İKLİM VE BÖLGESEL FAKTÖRLER

İklim değişikliği, afetlerin sıklığı ve şiddeti üzerinde belirleyici bir rol oynar. Hükümetlerarası İklim Değişikliği

Paneli (IPCC) 2023 raporuna göre, sıcaklık artışları ve ekstrem hava olaylarının çoğalması, sel ve su baskınlarının daha yaygın hâle gelmesine yol açmaktadır. Bu durum, afet sonrası bulaşıcı hastalık riskini özellikle tropikal bölgelerde daha da artırmaktadır.

Dünya genelinde afet sonrası salgın riskleri, sosyo-ekonomik kırılganlıklar, altyapı yetersizlikleri, iklim değişikliği ve sağlık sistemlerinin kapasitesiyle doğrudan ilişkilidir. Etkili bir halk sağlığı yanıtı için erken uyarı sistemleri, entegre WASH programları, aşılama kampanyaları ve saha gözetim sistemlerinin güçlendirilmesi gerekmektedir (Saatchi ve ark., 2024; Watson ve ark., 2007).

8. TÜRKİYE’DE YAŞANMIŞ AFETLER VE SALGINLAR

Türkiye, coğrafi yapısı ve iklimsel özellikleri nedeniyle sık sık büyük doğal afetler yaşamaktadır. Bu afetler arasında en yıkıcı olanları depremler, seller ve yangınlardır. Afetler, doğrudan can ve mal kaybına yol açmanın yanı sıra, afet sonrası sağlık sorunları ve salgın hastalık risklerini de beraberinde getirmektedir (Akbiyık & Tekindal, 2023; Bostan, 2024).

8.1. Depremler ve Salgın Hastalıklar

Depremler, Türkiye’de en sık karşılaşılan afet türlerinden biridir. 1999 İzmit depremi, 2021 İzmir depremi ve 2023 Kahramanmaraş depremleri gibi büyük depremler, sağlık altyapısının tahrip olmasına ve sağlık hizmetlerine erişimin kısıtlanmasına neden olmuştur (Çebi, 2023; Kalanlar, 2016). Bu durum, enfeksiyon hastalıklarının yayılma riskini artırmaktadır. Özellikle kalabalık geçici barınma alanlarında hijyen koşullarının yetersizliği, su ve sanitasyon altyapısının bozulması, solunum yolu enfeksiyonları ve su kaynaklı

hastalıkların artmasına neden olmaktadır (Türkiye Klinikleri, 2023a; Akbıyık & Tekindal, 2023).

Afetler sonrası psikolojik sağlık sorunları da önemli bir halk sağlığı sorunu olarak öne çıkmaktadır. Afet sonrası yaşanan belirsizlik, kayıplar ve yaşam koşullarındaki değişiklikler, bireylerin psikolojik durumunu olumsuz etkilemektedir. Özellikle kadınlar, çocuklar ve yaşlılar gibi hassas gruplar, psikolojik sağlık sorunlarına daha yatkındır (Türkiye Klinikleri, 2023b; Çebi, 2023).

8.2. Afet Sonrası Salgın Risklerini Artıran Faktörler

Afetler sonrası salgın hastalık riskini artıran başlıca faktörler arasında kalabalık geçici barınma alanları, su ve sanitasyon altyapısının tahrip olması, yetersiz sağlık hizmetleri ve aşılama oranlarının düşüklüğü yer almaktadır (Bostan, 2024; Kalanlar, 2016). Afet sonrası kurulan çadırkentler ve konteyner kentlerde kalabalıklaşma, enfeksiyonların hızla yayılmasına zemin hazırlamaktadır. Bu alanlarda hijyen koşullarının yetersizliği, su ve sanitasyon altyapısının bozulması, solunum yolu enfeksiyonları ve su kaynaklı hastalıkların artmasına neden olmaktadır (Akbıyık & Tekindal, 2023; Türkiye Klinikleri, 2023c).

Afetler sırasında sağlık altyapısının tahrip olması, sağlık hizmetlerine erişimin kısıtlanmasına neden olmaktadır. Sağlık personelinin yetersizliği, ilaç ve tıbbi malzeme eksiklikleri, etkili bir müdahale için engel teşkil etmektedir. Bu durum, enfeksiyonların kontrol altına alınmasını zorlaştırmaktadır (Çebi, 2023; Türkiye Klinikleri, 2023d).

Ayrıca, afetler sırasında aşılama oranlarının düşmesi, aşı ile önlenabilir hastalıkların yayılma riskini artırmaktadır. Aşıların deprem veya sel gibi afetler sırasında tedarikinin aksaması veya aşılamanın yapılamaması, bu hastalıkların salgın

halini almasına neden olabilmektedir (Bostan, 2024; Türkiye Klinikleri, 2023a).

Türkiye’de yaşanmış afetler, afet sonrası sağlık ve salgın risklerinin yönetimi konusunda önemli dersler sunmaktadır. Afetlere hazırlıklı olmak, erken müdahale ve izleme sistemlerini güçlendirmek, hijyen ve sanitasyon önlemlerini almak, aşılamaı sürdürmek ve psikolojik destek hizmetlerini sunmak, afet sonrası sağlık ve salgın risklerini azaltmada etkili stratejiler olarak öne çıkmaktadır (Akbiyık & Tekindal, 2023; Çebi, 2023; Türkiye Klinikleri, 2023b).

9. SONUÇ

Afet sonrası salgın hastalıkların yönetimi, son yirmi yılda hem Türkiye’de hem de dünyada ciddi bir evrim geçirmiştir. Bu evrim, yalnızca afet müdahalesinin teknik boyutlarıyla sınırlı kalmamış, aynı zamanda çok sektörlü koordinasyon, saha sürveyansı, aşı yönetimi, halk sağlığı iletişimi ve sağlık sistemlerinin esnekliği gibi unsurları da kapsamıştır. Literatürde açıkça görüldüğü üzere, afetler sonrası ortaya çıkan salgınlar yalnızca doğrudan enfeksiyon riski yaratmakla kalmaz, aynı zamanda sağlık hizmetlerinin sürdürülebilirliğini, sosyal yapıyı ve ekonomik faaliyetleri de olumsuz etkiler (Hung ve ark., 2022; World Health Organization, 2019). Dolayısıyla, afet sonrası salgın risklerinin önlenmesi ve kontrolü, tek bir sektöre bırakılmayacak kadar karmaşık bir görevdir.

İklim değişikliği ve artan ekstrem hava olayları, afet sonrası salgın risklerini daha karmaşık hale getirmektedir. Seller, tayfunlar ve uzun süren kuraklıklar, vektörlerin dağılımını ve su kaynaklı patojenlerin çoğalmasını etkilemektedir (Caminade ve ark., 2018). Türkiye ve dünya örnekleri, afet planlarında iklim değişikliğine bağlı risklerin

değerlendirilmesinin artık zorunlu olduğunu ortaya koymaktadır.

Dijital sağlık ve mobil sürveyans uygulamaları, saha verilerinin gerçek zamanlı olarak toplanmasını ve analiz edilmesini mümkün kılarak, afet sonrası müdahale hızını artırmıştır (Public Health Journal / JMIR, 2024). Özellikle COVID-19 deneyimi, çoklu kriz senaryolarında sağlık sistemlerinin esnekliğinin ve dijital altyapının önemini bir kez daha gözler önüne sermiştir. Türkiye’de afet yönetiminde dijital veri toplama sistemlerinin geliştirilmesi, gelecekte salgın risklerinin daha etkin yönetilmesini sağlayacaktır.

Toplum temelli hazırlık ve risk iletişimi de afet sonrası salgın yönetiminde önemli bir değişken olarak ortaya çıkmıştır. Halkın bilinçlendirilmesi, yerel aktörlerin güçlendirilmesi ve gönüllü ağlarının kurulması, salgınların erken tespiti ve kontrolü için hayati öneme sahiptir (Public Health Journal / JMIR, 2024). Türkiye’de deprem sonrası yapılan toplum temelli eğitim ve farkındalık çalışmaları, bulaşıcı hastalıkların yayılmasını sınırlamada etkili olmuştur.

Sonuç olarak, afet sonrası salgın hastalıklarla mücadelede en etkili yaklaşım, çok sektörlü entegrasyon, hızlı sürveyans, aşı ve ilaç stratejileri, iklim ve çevresel risklerin değerlendirilmesi, dijital sağlık altyapısı ve toplum katılımını içeren bütüncül bir stratejidir. Türkiye ve diğer ülkeler için çıkarılacak en önemli ders, uluslararası literatürde öne çıkan bu gelişmeleri ulusal ve yerel planlamaya hızlı bir şekilde entegre etmektir. Sağlık sistemlerinin esnekliği, saha personelinin eğitimi, WASH ve IPC standartlarının uygulanması, risk iletişimi ve toplum temelli sürveyans, afet sonrası salgınların etkilerini minimize etmek için vazgeçilmez unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- Afolabi, M. O., et al. (2018). Public health disasters: a conceptual review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(2), Article 234. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7123752/>
- Akbıyık, A. & Tekindal, M. A. (2023). Deprem sonrası salgın oluşturma potansiyeline sahip enfeksiyon hastalıklarının belirlenmesi. *Tarsus Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3(1), 47-64. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/3006517>
- Ateş, S. (2023). The earthquake in Türkiye and infectious disease concerns. PMC.
- Bostan, N. G. (2024). Deprem sonrası oluşabilecek gastroenterit enfeksiyonları ve önlemleri. *IGUSABDER*, 23, 920-930. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2991976>
- Building evidences in Public Health Emergency Preparedness. (2025). Equity, Health & Society Journal.
- Caminade, C., et al. (2018). Impact of recent and future climate change on vector-borne diseases. *Clinical Microbiology and Infection*, 24(6), 488–496.
- Charnley, G. E. C., et al. (2020). Understanding the risks for post-disaster infectious disease outbreaks: a systematic review. *Scientific Reports*, 10, 2043. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58891-9>
- Çebi, E. (2023). Acil durumlar ve afetlerde halk sağlığı hizmetleri. Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Yayınları. <https://www.medicine.ankara.edu.tr/wp-content/uploads/sites/121/2023/08/Acil-Durumlar-ve-Afetlerde-Halk-Sagligi-Hizmetleri.pdf>
- Guha-Sapir, D. (1999). Disaster in Turkey: lessons for health preparedness. *The Lancet*.

- Hung, K. K. C., et al. (2022). Health Emergency and Disaster Risk Management (Health-EDRM): A systematic review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*.
- Jacobsen, K. H. (2016). Lessons from the Ebola outbreak: action items for global health. *Global Public Health*, 11(2), 123–130. <https://doi.org/10.1080/17441692.2015.1035641>
- Kalanlar, B. (2016). Kentsel çevre ve sağlık bağlamında Van depreminden çıkarılan dersler. *Artvin Çoruh Üniversitesi Dergisi*, 1(1), 15-25. <https://dacd.artvin.edu.tr/tr/pub/dacd/article/258309>
- Kawano, T., et al. (2014). Infectious disease frequency among evacuees at shelters after the Great East Japan Earthquake. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 8(1), 42–49. <https://doi.org/10.1017/dmp.2013.62>
- Lorenzoni, N., Stühlinger, V., Stummer, H. & Raich, M. (2020). Long-term impact of disasters on the public health system: A multi-case analysis. PMC.
- Mavrouli, M., et al. (2023). The impact of earthquakes on public health: A narrative review. *Microorganisms*.
- Noji, E. K. (2000). The public health consequences of disasters. *Prehospital and Disaster Medicine*, 15(4), 147–156. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11227602/>
- Paterson, D. L., et al. (2018). Health risks of flood disasters. *Clinical Infectious Diseases*, 67(9), 1450–1456. <https://doi.org/10.1093/cid/ciy227>
- Piarroux, R., Barraix, R., Faucher, B., Haus, R., Piarroux, M., Gaudart, J., ... & Raoult, D. (2011). Understanding the cholera epidemic, Haiti. *Emerging Infectious Diseases*, 17(7), 1161–1168. <https://doi.org/10.3201/eid1707.110059> (PMCID: PMC3310591)

- Public Health and Disasters. (2020). PMC.
- Public Health Journal / JMIR. (2024). Updated surveillance metrics and lessons learned from COVID-19 response in Latin America and the Caribbean. *JMIR Public Health and Surveillance*, 10(3), e38924.
- The public health consequences of disasters. (2001). PubMed.
- Türkiye Klinikleri. (2023a). Afetlerde bulaşıcı hastalıklar ve enfeksiyon kontrol önlemleri. *Türkiye Klinikleri Dergisi*, 1(1), 1-10.
<https://derleme.gen.tr/index.php/derleme/article/download/471/408/1674>
- Türkiye Klinikleri. (2023b). Afetlerde bulaşıcı hastalıklar. *Türkiye Klinikleri Dergisi*, 1(1), 11-20.
<https://www.turkiyeklinikleri.com/article/tr-afetlerde-bulasici-hastaliklar-106763.html>
- Türkiye Klinikleri. (2023c). Salgın hastalıklar açısından afet tarihçesi. *Türkiye Klinikleri Dergisi*, 1(1), 21-30.
<https://www.turkiyeklinikleri.com/article/tr-salgin-hastaliklar-acisindan-afet-tarihcesi-93795.html>
- Türkiye Klinikleri. (2023d). Doğal afetler ve olağanüstü durumlarda salgın hastalıkların yayılımı. *Türkiye Klinikleri Dergisi*, 1(1), 31-40.
<https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2871996>
- Watson, J. T., Gayer, M., & Connolly, M. A. (2007). Epidemics after natural disasters. *Emerging Infectious Diseases*, 13(1), 1-5.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2725828/>

SALGIN MODELLEMELERİ

Selçuk KAYA¹

1. GİRİŞ

Bulaşıcı hastalıkların etkisini azaltmak için politikaları bilgilendiren matematiksel modellemenin uzun ve başarılı bir geçmişi vardır. Genellikle modeller, popülasyonu enfeksiyon durumuna göre bölmelere ayırır ve bu bölmeler arasındaki karışım ve hareketler hakkında basit varsayımlar kullanır. Zamanla bu modeller, popülasyonun temas yapısını daha doğru bir şekilde dahil etmek ve artan hesaplama kaynaklarından yararlanmak için daha karmaşık hale geldi.

Tarihsel kayıtlar, pandemilerin yüzyıllardır önemli ölüm oranlarına, ekonomik krizlere ve politik değişimlere neden olduğunu göstermektedir [1]. Sadece yirmi birinci yüzyılda, birçok yeni ortaya çıkan ve yeniden ortaya çıkan bulaşıcı hastalık insan ırkını tehdit etmektedir. Gelişmekte olan dünyada daha fazla insanı daha yoğun mahallelere getiren kentleşme gibi sosyo-ekonomik süreçlerle birleşen küreselleşme süreçleri, pandemi yayılmasını kolaylaştırmış ve klinik ve mühendislik önleme yöntemlerindeki ilerlemelere rağmen yakın gelecekte neredeyse sabit kalmıştır. Bu hastalıklar genellikle benzeri görülmemiş bir hızda yayılmaktadır. Bu tür salgınlara yakın zamandaki birkaç örnek olarak 2003'teki şiddetli akut solunum yolu sendromu (SARS), 2009'daki H1N1 influenza pandemisi, 2012'de Suudi Arabistan'daki Orta Doğu solunum yolu sendromu koronavirusu (MERS-CoV), 2014'te Batı Afrika bölgesinde ortaya çıkan Ebola virüsü, 2020 li yıllarda Lassa

¹ Prof. Dr., İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Tıp Fakültesi Tıbbi Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, selcukkayadr@hotmail.com, ORCID: 0000 0002 8637 6345.

virusu ve sadece iki yıl içinde dünya çapında sekiz milyon kayıtlı ölüme neden olan küresel şiddetli COVID-19 pandemisi gösterilebilir [2-6].

Ölüm nedenleri üzerine sistematik olarak çalışan ilk bilim insanı John Graunt haftalık olarak yayınlanan ölüm sayılarını ve nedenlerini listeliyordu. Graunt'un ölüm nedenleri analizi, Daley ve Gani'ye göre "modern epidemiyologlar arasında artık yerleşik bir teori" olan "rekabet eden riskler teorisinin" başlangıcı olarak kabul edilir [7].

Model geliştirmedeki ilerleme son derece hızlı olmuştur ve çeşitli araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Temel amaç, altta yatan popülasyon temas yapısını ve bulaşıcı etkenin özelliklerini birleştirerek ortaya çıkan salgın davranış spektrumunu anlamaktır. Bunu yapmak için araştırmacılar, gözlemlenen popülasyon ve hastalık özelliklerini iyi tanımlanmış bir modele dönüştürürler. Birçok durumda model, grafik/ağ teorisi, stokastik süreçler ve olasılık teorisi, dinamik sistemler ve istatistiksel fizik arayüzünde yer alır. Araştırmacıların geçmişlerinin çeşitliliği ve ele alınan uygulamaların çeşitliliği, birçok farklı modelleme yaklaşımının geliştirilmesine yol açmıştır [8].

Pandemi yayılımını ve kontrolünü modellemek, yalnızca matematiksel çerçeveleri değil aynı zamanda pandemiyi ve salgın müdahale politikalarını etkileyen veya yönlendiren biyolojik, klinik, sosyal, ekonomik ve diğer bilgileri de kavramayı gerektiren disiplinler arası bir görevdir. Bu Epidemiyolojik-matematiksel modeller iki ana gruba ayrılabilir: istatistiksel modeller ve mekanik modeller. İlk gruba ait modeller, dinamikler hakkında herhangi bir varsayımda bulunmadan veri odaklı bir yaklaşım kullanırken, ikinci grup modeller pandeminin dinamiklerini açıklamayı amaçlayan teorik ilkelere dayanmaktadır. İstatistiksel modeller genellikle çok

çeşitli sonuçları tahmin etmek için istatistiksel ve makine öğrenimi yöntemlerini kullanır. Bu gruba ait birçok model, otoregresif zaman serisi yöntemleri, Bayes optimizasyon teknikleri ve yakın zamanda derin öğrenme modelleri gibi çok çeşitli yöntemler kullanılarak geliştirilmiştir. Öte yandan, SIR modeli gibi mekanik modeller, bir popülasyondaki bireyler arasında bir dizi kural veya süreç kullanır. Mekanik modelleri veri odaklı ML yaklaşımlarıyla birleştiren hibrit modeller de popüler olmaya başlıyor ve genellikle önceki modellere kıyasla üstün performans gösteriyor [9-11]. En popüler epidemiyolojik-matematiksel modelleme yaklaşımı, Duyarlı-Enfekte-İyileşen (SIR) modelidir. SIR modeli, nüfusun duyarlı, enfekte ve iyileşen bireylere ayrıldığını ve böylece her enfekte bireyin ortalama olarak enfekte olduğunu varsayar. Ancak, SIR modeli kendi başına gerçek dünyadaki pandemi yayılımını yakalamak için genellikle çok basittir. Sonuç olarak, SIR tabanlı modellerin ifade gücünü, tahmin doğruluğunu ve sağlamlığını artırmak için SIR modelinin birden fazla uzantısı geliştirilmiştir. Gerçekten de, son yirmi yılda her yıl giderek artan sayıda SIR modeli tabanlı çalışma yayınlanmaktadır. 2020'de COVID-19 pandemisinin dünya çapında patlak vermesiyle ilişkilendirilebilecek bir zirve fark edilebilir [12-14].

Bu modeller, hem profesyonel hem de profesyonel olmayan kullanıcıların gerçekçi senaryoların geniş bir yelpazesinde modelleri sorgulamasına olanak tanıyan bilgisayar yazılımı olmadan teoride tutulacaktır. Ancak, bu tür modellerin bilgisayar simülasyonları olarak uygulanması önemsiz değildir, çünkü araştırmacıların politika yapıcılar için yararlı bir araç elde etmek için çeşitli teknik ve hesaplamalı zorlukların üstesinden gelmelerini gerektirir.

2. BULAŞICI HASTALIKLARIN MATEMATİKSEL MODELLEMESİ

Bulaşıcı hastalıkların modellenmesi, hastalıkların yayılma mekanizmalarını incelemek, bir salgının gelecekteki seyrini tahmin etmek ve bir salgını kontrol altına alma stratejilerini değerlendirmek için kullanılan bir araçtır [11,15].

2.1. Salgın Modellerinin Türleri

2.1.1. Stokastik

"Stokastik", rastgele bir değişkene sahip olmak anlamına gelir. Bu yöntemle bir olayın şu andaki hareketini (olasılığını) bilebiliyorsak "n" zaman sonraki hareketinin bu olayın geçmiş hareketinden bağımsız olarak hesaplanıp bulunabileceğini açıklamaya çalışır. Stokastik bir model, zaman içinde bir veya daha fazla girdide rastgele değişime izin vererek potansiyel sonuçların olasılık dağılımlarını tahmin etmek için bir araçtır. Stokastik modeller, maruz kalma riski, hastalık ve diğer hastalık dinamiklerindeki şans değişikliklerine dayanır. Küçük veya büyük popülasyonlarda istatistiksel etken düzeyinde hastalık yayılımı, stokastik yöntemlerle belirlenebilir [15,16].

2.1.2. Deterministik

Sistemin gelecekteki durumlarının gelişmesinde rastgelelik bulunmayan bir sistemdir. Deterministik bir modelde, popülasyondaki bireyler, her biri salgının belirli bir aşamasını temsil eden farklı alt gruplara veya bölmelere atanır.

Bir sınıftan diğerine geçiş oranları türevler olarak ifade edildiğinden, model diferansiyel denklemler kullanılır. Bu tür modeller oluşturulurken, bir bölmedeki nüfus büyüklüğünün zamana göre türevlenebilir olduğu ve salgın sürecinin deterministik olduğu varsayılmalıdır [15-17].

2.1.3. Kinetik ve Ortalama Alan

Bu modeller bireylerin sosyalite düzeyleri, görüşleri, zenginlikleri ve coğrafi konumları gibi hastalığın yayılmasını derinden etkileyen heterojen sosyal özellikleri dinamiklere dahil eden deterministik modeller sınıfına aittir. Dinamiklerinin daha titiz bir tanımını sunmak için kullanılır. Bu modeller, adi diferansiyel denklem sistemleri olarak tanımlanan klasik modellerin aksine, genellikle kısmi diferansiyel denklemlerle temsil edilir. Bu, herhangi bir çok gövdeli problemi etkili bir tek gövdeli probleme indirger. Kinetik teoninin türetme prensiplerini izleyerek, etken tabanlı etkileşimlerden başlayarak salgın arlar [15].

2.1.4. Alt-üssel Büyüme

Salgınların büyümesi için yaygın bir açıklama, 1 kişinin 2 kişiyi enfekte etmesi, enfekte olan 2 kişinin 4 kişiyi enfekte etmesi ve bu şekilde devam etmesi ve enfeksiyonun her döngüde iki katına çıkmasıdır. Dolayısıyla bu salgın modeli, tüm nüfus enfekte oluncaya kadar üssel olarak büyüyen ve sıfıra düşen bir eğriye yol açar. Yani, gerçekte görüldüğü gibi sürü bağışıklığı ve zirve ve kademeli bir düşüş yoktur (15,17).

2.2. Ağlarda Salgın Modelleri

Salgın hastalıklar, insanlar arasındaki temas ağları üzerinden yayılan hastalıklar olarak modellenenebilir. Böyle bir ağ, matematiksel olarak bir grafikte gösterilebilir ve temas ağları olarak adlandırılır. Bir temas ağındaki her düğüm, bir bireyin temsilidir ve düğümler arasındaki her bağlantı, aralarındaki teması temsil eder. Bir temas ağları üzerinde, varsa, müdahalelerin etkisi altındaki hastalık dinamiklerinin birleşimi, iletim ağları olarak bilinen başka bir ağ ile modellenenebilir. Bir iletim ağlarında, tüm bağlantılar hastalığın iletilmesinden sorumludur. Böyle bir ağ, yerel olarak ağaç benzeri bir ağ ise, yani böyle bir ağdaki

herhangi bir yerel mahalle bir ağaç biçimini alıyorsa, temel yeniden üretim, iletim ağının ortalama aşırılık derecesi açısından şu şekilde yazılabilir (8, 16)

Temel üreme sayısı (R_0 ile gösterilir), bir hastalığın ne kadar bulaşıcı olduğunun bir ölçüsüdür. Tek bir bulaşıcı kişinin enfeksiyonu boyunca enfekte edeceği ortalama kişi sayısıdır. Bu nicelik, enfeksiyonun alt üssel olarak artıp artmayacağını, yok olup olmayacağını veya sabit kalıp kalmayacağını belirler: Eğer $R_0 > 1$ ise, her kişi ortalama olarak birden fazla kişiyi enfekte eder ve böylece hastalık yayılır (15,18).

2.3. Epidemiyolojide Bölmeli Modeller

Bölmeli modeller, Markov zincirleri olarak formüle edilir. Epidemiyolojide klasik bir bölmeli model, salgınları modellemek için basit bir model olarak kullanılabilen SIR modelidir. Ayrıca, çok sayıda başka bölmeli model türü de kullanılır [9].

2.3.1. SIR Modeli

Yalnızca üç bölmeli sabit bir popülasyonu göz önünde bulundurdıkları bir model oluşturdular: duyarlı; veya nüfusun hastalığa yatkın olanları. enfekte; Nüfusun hastalığa yakalanmış ve hastalığı duyarlı kategorideki kişilere yayma kapasitesine sahip olan bireylerini ve iyileşti; Nüfusun enfekte olmuş ve daha sonra aşılama veya ölüm nedeniyle hastalıktan kurtulmuş bireyleri için kullanılan bölmedir.

Doğum ve ölümleri içeren, iyileştikten sonra bağışıklık oluşmayan, bağışıklığın yalnızca kısa bir süre devam ettiği, kişinin bulaşıcı olmadığı hastalığın gizli bir döneminin olduğu modeller de dahil olmak üzere SIR modelinin birçok modifikasyonu vardır [1].

2.4. Bulaşıcı Hastalıklar İçin Yaygın Erken Uyarı Modelleri

Modeller esas olarak geleneksel gözetim verilerine dayanmaktadır. Model oluşturmaya yönelik, öncelikle geleneksel izleme verilerine dayanan üç yaygın yaklaşım vardır. 1. mekansal ve/veya zamansal uyarı modelleri, 2. dinamik modeller ve 3. Hawkes modelleri. Mekansal ve/veya zamansal uyarı modelleri, mekansal ve/veya zamansal örüntüleri analiz ederek potansiyel salgın noktalarını tespit etmeyi amaçlar. Dinamik modeller, bir popülasyon içindeki bulaşma dinamiklerini modellemeye odaklanır. Hastalık oluşumunun mekansal örüntülerini anlayarak dinamik modeldeki parametreleri ve varsayımları iyileştirebilir, tahminlerin doğruluğunu artırabilir

Hawkes süreçleri, olayların zaman içinde eşit olmayan aralıklarla kendiliğinden uyarılan gelişlerini modeller. Ancak, zaman serisi verileri genellikle sabit bir fazda toplanır. Ayrık zamanlı Hawkes süreçleri, olayların zaman içinde eşit aralıklarla gelişlerini modelleyebilir ve kendiliğinden uyarılan karakteri yakalayabilir; bunlar nispeten yenidir ve birçok teorik özellik henüz incelenmemiştir [3,16].

2.4.1. Zamansal Uyarı Modelleri

Zamansal uyarı modelleri, geçmiş gözetim verilerinin zamanla değişen özelliklerini analiz eder ve gelecekteki olayları ve eğilimleri tahmin etmek için aynı döneme ait temel verileri kullanır. Bu modeller, tek zaman serisi gözetim verilerinden ilgili örüntüleri çıkarır ve bulaşıcı hastalıklar için erken uyarı sistemleri oluşturur. Zamansal uyarı modelleri, modelleme yaklaşımlarındaki farklılıklara göre kontrol grafiği tabanlı modeller, zaman serisi modelleri, regresyon modelleri, Markov zincirleri ve gri modeller olarak kategorize edilebilir.

Bir kontrol grafiği, geçmiş verilere dayalı gösterge uyarı eşiklerini belirler ve gerçek izleme verileri “kontrol dışına çıktığında” uyarılar verir. Tüm bulaşıcı hastalıklar için uygundur ve mevsimsel salgınlar veya periyodik salgın yasası olan bulaşıcı hastalıklar için etkilidir [18-21].

2.4.2. Mekansal Uyarı Modelleri

Mekansal uyarı modelleri, bulaşıcı hastalıkların mekansal dağılım özelliklerini analiz eder ve belirli bir süre içindeki gözetim verilerini gözlemleyerek mekansal kümelenme ve salgın riski hakkında içgörüler sağlar. Teorik temel, bulaşıcı bir hastalık salgını meydana geldiğinde, vaka sayısının kısa bir süre içinde anormal şekilde artacağı ve diğer alanlardan belirgin insidans farklılıklarıyla belirli bir alanda kümelenme eğiliminde olacağıdır. Kulldorff tarafından önerilen ve geliştirilen mekansal tarama istatistiği ve SaTScan yazılımı, hastalık salgınlarında mekansal kümelenmeyi belirlemek için en etkili yöntemlerden ve araçlardan biridir. Bu yöntem, coğrafi alanı küçük tarama pencerelerine böler ve izleme göstergelerinin beklenen seviyeden istatistiksel olarak saptığı alanları tespit etmek ve mekansal kümelenmeyi belirlemek için Monte Carlo hipotez testlerini kullanır.

2.4.3. Mekansal-Zamansal Uyarı Modelleri

Mekânsal-zamansal uyarı modelleri, hem zamansal hem de mekânsal boyutlardan gelen uyarıları aynı anda izleyip sağlayarak daha kapsamlı bilgi, daha yüksek güncellik ve doğruluk sağlar. Günümüzde, ileriye dönük uzay-zaman permütasyon tarama istatistiği ve Bayesçi uzay-zaman modeli yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kulldorff tarafından önerilen ileriye dönük uzay-zaman permütasyon tarama istatistiği, zamansal yönü uzaysal tarama istatistiğine dahil eder. Bulaşıcı hastalıkların uzaysal-zamansal

kümelenmesini etkili bir şekilde tespit eder ve farklı zaman noktalarındaki farklı bölgeleri belirleyerek erken uyarılar sağlar (22).

2.4.4. Dinamik Modeller

Mekansal-zamansal uyarı modellerinin aksine, dinamik model, sistem parametrelerini tahmin etmek ve temel rejenerasyon sayısı (R_0), hastalıklı nüfusun büyüklüğü ve salgının dönüm noktası gibi temel göstergeleri hesaplamak için verileri kullanır. Bu, bulaşıcı hastalıkların bulaşma mekanizması ve gelişim yasasına dayalı matematiksel analiz yoluyla elde edilir. Bu hesaplamalar, salgın araştırmaları ve erken uyarı çalışmaları için önemli bir temel sağlar.

Kompartman modeli, ilk olarak 1927'de Kennack ve McKendrick tarafından önerilen baskın dinamik modeldir. İki klasik temel kompartıman modeli türünü kapsar (3): SIR modeli ve SIS modeli. Bu modelin arkasındaki temel kavram, nüfusu farklı hastalık durumlarını temsil eden farklı sınıflara veya kompartımanlara ayırmayı içerir [10]. Ardından, hastalığın bulaşma dinamikleri hakkında kinetik denklemler oluşturmak için matematiksel yöntemler kullanılır.

2.4.5. Hawkes Modelleri

Bir tür nokta süreci olan Hawkes modeli, 1971 yılında İngiliz istatistikçi Alan G. Hawkes tarafından ortaya atılmıştır [23]. Bu model finans, kriminoloji, sosyal ağlar ve daha yakın zamanda epidemiyoloji gibi çeşitli alanlarda belirgin bir şekilde kullanılmaktadır. Hawkes modelinin temel ilkesi, meydana gelmesi gelecekteki olayların olasılığını artıran olayları temsil etmesidir. Bu kendi kendini uyarma özelliği, onu bulaşıcı olayları modellemek için özellikle uygun hale getirir. Örneğin, bazı akademisyenler Kongo ve Batı Afrika'daki Ebola salgınına analiz etmek için Hawkes modelini kullanarak, modelin küçük

ölçekli bulaşıcı hastalıkları incelemek ve bu tür hastalıkların ilk yayılma sürecini simüle etmek için belirli avantajlar sunduğunu belirlediler. COVID-19 pandemisi, Hawkes modelinin ve varyantlarının geliştirilmesini ve uygulanmasını daha da hızlandırdı [24, 25].

2.4.6. Yapay Zeka Teknikleri

Makine öğrenimi algoritmaları, yapay zekâ teknolojisinin hayata geçirilmesinin anahtarıdır. Örnekler arasında Rastgele Orman (RF), Yapay Sinir Ağı (YSA), Evrişimli Sinir Ağı (CNN), Tekrarlayan Sinir Ağı(RNN) ve Uzun Kısa Süreli Bellek Ağı (LSTM) bulunur. Ayrıca, makine öğrenimi yöntemleri bulaşıcı hastalıkların erken uyarısında da popülerdir [24,25].

RF, ilk olarak 2001 yılında Breiman tarafından önerilen bir kombinatoriyal tahmin modelidir [24]. YSA, 1943'te önerilen nöron modelinden geliştirilmiştir. Bu model, insan beyninin sinir ağındaki bilgi işlemeyi simüle ederek kapsamlı karmaşık bilgileri sınıflandırır ve regresyonunu yapar. CNN, evrişimsel hesaplama ve derin yapıyı bünyesinde barındıran ileri beslemeli sinir ağları sınıfına aittir. CNN'deki temel hesaplama birimleri, evrişimsel katman, aktivasyon fonksiyonu katmanı, havuzlama katmanı ve evrişimsel ve havuzlama katmanlarının ağı çekirdek bileşenini oluşturmak üzere birbirine bağlandığı tam bağlı katmanı içerir. RNN, zaman serisi verilerini işlemek için oldukça uygundur. RNN'deki nöronal çıktılar, veri bağımlılığını korumak ve ağ yapısı içinde parametreleri paylaşmak için girdi olarak geri beslenebilir ve böylece gerekli parametreler azaltılır. Lu Min ve arkadaşları, kamuoyu veri kaynaklarına dayanarak Pekin için RNN tabanlı bir grip tahmin modeli kurdular ve iyi tahmin sonuçları gösterdiler [25].

2.4.7. Birleşik Model

Hastalık salgınlarının bulaşma dinamikleri karmaşıklığından dolayı bulaşıcı hastalıkların erken uyarısı zordur. Modeller hastalık gelişiminde yer alan faktörleri tam olarak açıklayamaz. Son zamanlarda, yapay zekâ modellerini (veri odaklı) dinamik modellerle (mekanizma odaklı) birleştirmek, COVID-19 pandemisi sırasında bir araştırma merkezi haline geldi. Bu arada, Hawkes süreci modeli COVID-19 nedeniyle bulaşıcı hastalıklar alanında geliştirildi ve makine öğrenimiyle birleştirilmiş modeli bu alanda ilk kez kullanıldı. Örneğin, Hindistan'daki dinamik üreme sayısını tahmin etmek ve günlük COVID-19 vakalarını tahmin etmek için LSTM'yi Hawkes ile birleştirildi ve ülkedeki kontrol politikasının temeli atıldı (25).

3. SONUÇ

Her model tipinin kendine özgü güçlü ve zayıf yönleri ve farklı bilimsel sorulara uygulanabilirliği vardır. Bu makalede, bulaşıcı hastalık erken uyarı modelleri dört ana türe ayrılmıştır: mekansal ve/veya zamansal uyarı modeli, dinamik model, AI teknikleri ve birleşik modeller. Mekansal-zamansal modeller, hastalık salgınlarını hem zamanda hem de mekanda erken tespit ederek halk sağlığı kaynaklarının tahsisini kolaylaştırabilir. Ancak, bu model bir nüfus için önemli miktarda coğrafi ve göç verisi gerektirir. Dinamik modeller, hastalık bulaşmasına mekanik bir bakış açısı sağlar. Epidemiyolojik eğilimleri tahmin edebilir, etkileyen faktörleri analiz edebilir ve aşılama gibi müdahalelerin etkilerini değerlendirebilirler. Ancak, model parametrelerini belirlemek ve zamanla değişen parametreleri dikkate almak zor olabilir. Neyse ki, sinir ağları gibi yapay zekâ teknikleri, dinamik modellerin parametrelerini tahmin etmek ve zamanla değişen parametrelerin dikkate alınmasını sağlamak

için kullanılabilir ve bu da model tahmin yeteneğini büyük ölçüde artırır. Ancak, yapay zekâ algoritmaları daha az yorumlanabilirdir ve performansları büyük ölçüde veri kalitesine bağlıdır. Diğer birleşik modeller arasında, zaman serileri ve derin öğrenmenin entegrasyonu yaygın olarak kullanılır ve daha az parametreyle tahminleri iyileştirir.

KAYNAKLAR

- [1] Lazebnik, Teddy. (2023): "Computational applications of extended SIR models: A review focused on airborne pandemics." *Ecological Modelling* 483: 110422.
- [2] Domingo JL, Morques M, Roviro J. (2020). Influence of airborne transmission of SARS-CoV-2 on COVID-19 pandemic. A review. *Environmental Research*, Vol: 188, Page: 109861
- [3] Kermack WO, McKendrick AG, Walker GT (1927). A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*. 115(772):700-21.
- [4] Williams R, Hosseinichimeh N, Majumdar A, Ghaffarzagdegan N. (2000) Epidemic Modeling with Generative Agents.
- [5] Rahmandad H, Xu R, Ghaffarzagdegan N. (2022). Enhancing Long-term Forecasting: Learning from COVID-19 Models. *PLOS Computational Biology*. e1421.
- [6] Kastalskiy, IA; Pankratova, EV; Mirkes, EM; et al. (2021). "Social stress drives the multi-wave dynamics of COVID-19 outbreaks". *Scientific Reports*. 11 (1): 22497
- [7] Hamer, William. (1906) "On Epidemic Disease in England -- The Evidence of Variability and of Persistency of Type, Lecture III". *The Lancet*. 167 (4305): 569–574
- [8] Dolbeault, Jean; Turinici, Gabriel (2020). "Heterogeneous social interactions and the COVID-19 lockdown outcome in a multi-group SEIR model". *Math. Model. Nat. Phenom*. 15: 36.

- [9] Bailey, Norman TJ. (1975). Bulaşıcı hastalıkların matematiksel teorisi ve uygulamaları (2. baskı). Londra: Griffin. ISBN 0-85264-231-8
- [10] Kröger M, Schlickeiser R. (2020). "Salgınların zamansal evrimi için SIR modelinin analitik çözümü. Bölüm A: Zamandan bağımsız üreme faktörü" . Fizik Dergisi A; 53 (50): 505601.
- [11] Rahmandad H. (2021).Behavioral Responses to Risk Promote Vaccinating High-contact Individuals First. medRxiv. :2021.02.05.21251215.
- [12] Funk S, Bansal S, Bauch CT, Eames KTD, Edmunds WJ, Galvani AP, et al. (2015). Nine challenges in incorporating the dynamics of behaviour in infectious diseases models. Epidemics. 10:21-5.
- [13] Weston D, Ip A, Amlôt R. (2020).Examining the application of behaviour change theories in the context of infectious disease outbreaks and emergency response: a review of reviews. BMC Public Health. ;20(1):1483.
- [14] Verelst F, Willem L, Beutels P. (2016). Behavioural change models for infectious disease transmission: a systematic review (2010–2015). Journal of The Royal Society Interface. 13(125):20160820
- [15] http://en.wikipedia.org/wiki/Compartmental_models_in_epidemiology
- [16] Case BKM, Young JG, et al. (2020). Accurately summarizing an outbreak using epidemiological models takes time. Royal Society Open;: 11
- [17] Kendall DG. (1956)."Deterministic and Stochastic Epidemics in Closed Populations". Contributions to Biology and Problems of Health. Vol. 4. University of California Pres. 149– 165

- [18] Heffernan, JM; Smith, RJ; Wahl, LM. (2005). "Temel üreme oranına ilişkin perspektifler" . Kraliyet Cemiyeti Arayüzü Dergisi.; 2 (4): 281– 293
- [19] Brauer F, Castillo-Chávez C. (2001). Mathematical Models in Population Biology and Epidemiology. NY: Springer.; ISBN 0-387-98902-1.
- [20] Newman ME. (2002)."Spread of epidemic disease on networks". *Physical Review; E*. 66 (1 Pt 2) 016128
- [21] Diekmann O, Heesterbeek JA, Metz JA. (1990). "On the definition and the computation of the basic reproduction ratio R_0 in models for infectious diseases in heterogeneous populations". *Journal of Mathematical Biology*. ;28 (4): 365–82
- [22] Simon, Cory. (2020)."The SIR dynamic model of infectious disease transmission and its analogy with chemical kinetics". *PeerJ Physical Chemistry*. 2 (2) e14.
- [23] Hawkes AG. (1971). Spectra of some self-exciting and mutually exciting point processes *Biometrika*, ; 58 (1), pp. 83-90
- [24] M. Al-Racei, (2021). "The basic reproduction number of the new coronavirus pandemic with mortality for India, the Syrian Arab Republic, the United States, Yemen, China, France, Nigeria and Russia with different rate of cases," *Clin. Epidemiol. Glob. Health*, vol. 9, pp. 147–149
- [25] Hu WH, Sun HM, YY Wei, Hao YT. (2025). Global infectious disease early warning models: An updated review and lessons from the COVID-19 pandemic.- *Infectious Disease Modelling*,;410-422

HALK SAĞLIĞI DEĞERLENDİRMELERİ

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com