

# Enfeksiyon hastalıkları ve salgınlarda yapay zekâ uygulamaları

## Prof. Dr. Recep Öztürk



1962 yılında İkizdere'de (Rize) doğdu. Tulumpınar Köyü Mehmet Akif İlkokulu, İkizdere Ortaokulu, Rize Lisesi ve İstanbul Üniversitesi (İ.Ü.) Cerrahpaşa Tıp Fakültesinden mezun oldu (1984). Enfeksiyon hastalıkları ve klinik mikrobiyoloji uzmanlığını İ.Ü. Cerrahpaşa Tıp Fakültesinde yaptı. 1994'te doçent, 2000'de profesör oldu. İ.Ü. Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Öğretim Üyeliğinden 2016'da emekli oldu. 2009-2013'te Yükseköğretim Kurulu (YÖK) Üyeliği, 2011-2015'te Tıpta Uzmanlık Kurulu (TUK) üyeliği ve başkan vekilliği yapmıştır. Sağlık Bakanlığı Ulusal Enfeksiyon Önleme ve Kontrol Kurulu ile Bağışıklama Danışma Kurulu üyesidir. Öncelikli uğraş alanları hastane enfeksiyonları, enfeksiyöz ishaller, enfeksiyon hastalıkları laboratuvar tanısı ile yükseköğretimde kalite ve akreditasyondur. Dr. Öztürk, hâlen İstanbul Medipol Üniversitesi Tıp Fakültesi Enfeksiyon Hastalıkları ve Klinik Mikrobiyoloji Anabilim Dalı Başkanı ve Üniversite Kalite Koordinatörüdür.

## Prof. Dr. Hakan Tozan



Marmara Üniversitesindeki doktora eğitimi sonrası Deniz Harp Okulu, Marmara ve Ostrava Teknik Üniversitelerinde öğretim üyesi olarak görev aldı, çeşitli programlar dahilinde dersler verdi ve projelerde araştırmacı olarak çalışmalarda bulundu. Halen İstanbul Medipol Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesinde Endüstri Mühendisliği Bölüm Başkanlığı ve Sağlık Sistemleri Mühendisliği Program Başkanlığı görevlerini yürüten Tozan, Sağlık Sistemleri ve Politikaları Uygulama ve Araştırma Merkezi bünyesinde karar analizi, sağlık sistemleri modelleme ve optimizasyonu ile sağlık teknolojileri değerlendirme konularında çalışmalarına devam etmektedir.

Enfeksiyon hastalıkları; bakteriler, virüsler, parazitler veya mantarlar gibi patojenik mikroorganizmalarla meydana gelir. Bunlardan önemli kısmı bulaşıcı hastalıklardır. Hastalıklar semptomatik veya asemptomatik olabilir. Bulaşma; değişik temaslarla, solunum yolundan damlacık veya damlacık çekirdekleriyle (aerosol), vektörlerle oluşmaktadır. Enfeksiyon hastalıklarının önemli bir kısmını hayvanlardan insanlara bulaşan zoonotik hastalıklar oluşturmaktadır. 20. yüzyılda bulaşıcı hastalıklar, dünya çapında en fazla sayıda erken ölüm ve sakatlıktan sorumluydu (>%50); günümüzde de ölümlerin %20 kadarı bulaşıcı hastalıklarla meydana gelmektedir. Bu oran, düşük gelirli ülkelerde çok daha yüksektir.

Bulaşıcı hastalıklar toplumda veya sağlık kuruluşlarında zaman zaman salgınlara neden olmaktadır. Toplum kökenli salgınlara bir kısmı kıtalar arası yayılabilmekte ve bu durum pandemi olarak adlandırılmaktadır. Tarihte çiçek,

veba, sıtma, tüberküloz, kolera, grip (1918-20 vd.) günümüzde COVID-19 salgınlara halk sağlığını ileri düzeyde tehdit etmiştir. Salgınlarda, özellikle pandemilerde yakın kalabalık yaşama, hijyen koşullarının yetersizliği, emniyetli su ve gıda temininde yaşanan sorunlar, hareketlilik (turizm, göçler, savaşlar) salgınlara ana nedeni olmuştur.

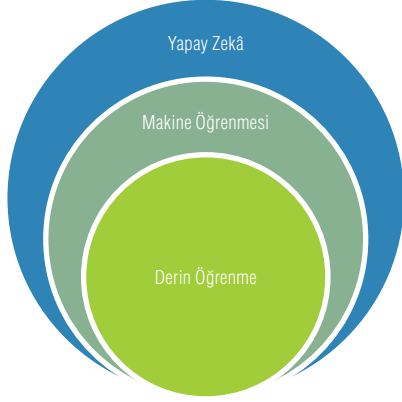
### Enfeksiyon Hastalıklarında Yapay Zekâ

Yapay zekânın (YZ) başlangıcını, insanın hayal gücünün bir ürünü olarak medeniyetlerin en erken dönemlerine dayandırmak mümkündür. Bu kavram her zaman farklı şekillerde insanlığın düşünce geçmişinde yer almıştır. Günümüz mekân ve sibernetik çalışmalarının temel taşlarını oluşturan el-Gezeri'nin (bakınız: Tekeli, S., Dosay, M., Unat, Y., "El Câmî-u'l Beyn'el İlmî ve El-Amelî'en Nâfi fi Sinâ'ati'l Hiyel." Türk Tarih Kurumu Basımevi, 2002) çalışmalarından bu yana hızla gelişen bilim dünyasında; geçmişte bir hayal olan

bu kavram, günümüzde yaşamımızın her parçasını ciddi şekilde sürekli değiştiren ve gelecekte de hızla değiştirmeye devam edecek ayrı bir bilim ve uzmanlık kolu olarak hayatımızın önemli bir parçası haline gelmiştir.

YZ'daki devrimsel gelişiminin 1936'da Alan Turing'in bir makinenin düşünme yetisine sahip olup olmayacağını belirlemek üzere yaptığı çalışmayla olduğu söylenebilir. 1956'da ise YA ifadesi Dartmouth Konferansında bir alan adı olarak ortaya konmuştur. Temelde kendiliğinden karar verebilme kabiliyetine sahip bilgisayarlar geliştirilmesi çalışmalarını tarif eden YZ, tahmin ve/veya karar süreçlerini gerçekleştiren teknolojilerdir. YZ, "makinelere bilişsel işlevleri yerine getirerek insanların yaptığı gibi girdiye tepki vermesi veya tepki vermesine izin veren bilgi işlem biçimi" olarak da tanımlanabilir. Pratikte YZ uygulamalarının çoğu, makine öğrenmesi (MÖ, diğer adıyla bilgisayar öğrenmesi) algoritmalarına dayanarak, önceden kodlanmış kural dizinlerini

takip etmeden bilişsel işlemler gerçekleştirirler. Bu algoritmalar en genel çerçevede, tanımlanan veriler üzerinden karşılaştırmalar yaparak kural dizinleri/modeller oluşturup ileriye yönelik çıkarımlarda bulunurlar. Tanımlanan veri dizini zamana göre farklı özellikler sergiliyorsa, MÖ algoritmaları genel dizgeler oluşturarak sonuca ulaşmayı hedefler. MÖ algoritmaları kapsamında olan derin öğrenme, yapay sinir ağlarının hiyerarşik olarak öğrenme sürecinde kullanıldığı ve makinenin farklı algoritmalarla tanımlanan verilerden yeni veriler elde ettiği bir YZ yaklaşımıdır. Makine, yeni veriler hakkında tahminlerde bulunmak için yapay sinir ağı adı verilen matematiksel bir yapı kullanarak büyük veri kümelerinden öğrenip yeni veriler hakkında tahminlerde bulunur. Bu süreçte yapay sinir ağı, girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkileri bularak algoritmaları otomatik olarak oluşturur.



Şekil 1: YZ, MÖ ve Derin Öğrenme İlişkisi

YZ, girdi kaynağı olan büyük verinin temizlenmesi, yapılandırılması ve entegre edilmesiyle çıktı alınma imkânı verir. Büyük veri; hacim, hız, çeşitlilik, de-

ğişkenlik, doğruluk ve karmaşıklık çerçevesinde değerlendirilir. YZ ve büyük veri, bilgisayar biliminde (değişik alan uygulamaları), bankacılıkta, tarımda, otomotiv alanında, sağlık hizmetlerinde (tıbbi teşhis, tele sağlık vd.) ve diğer çeşitli alanlarda birçok uygulamada kullanılmaktadır. Enfeksiyon hastalıkları ve salgınlar alanında da; tanı, tedavi, korunma ve kontrol (değişik önlemler, aşı vd.), ilaç keşfi gibi konular kapsamında değişik uygulamalar ve çalışmalar yapılmaktadır. Günümüzde değişik veri kümeleri ve klasik sağlık hizmetleri veri kümeleri, bulaşıcı hastalıkların tanısını, enfeksiyon mekanizmalarını, tedaviye direnci, bulaşmayı daha iyi anlamak ve aşı tasarımlarını iyileştirmek için kullanılmaktadır. Enfeksiyon hastalıklarında YZ süreci; patojenlerin bulaşması, gelişen enfeksiyonlar için tanı, tedavi ve korunma işlemleri, bu süreçte elde edilen verilerin toplanması, veri analistlerince yapay zekâ kullanılarak karar destek sistemlerinin oluşturulması ve bunların uygulamaya sokulması şeklindedir. Tablo 1'de özetlenen makine öğrenmesi uygulamaları, bulaşıcı hastalıkların yönetimini büyük ölçüde geliştirmiştir.

### Mikrobiyolojik Tanı

YZ uygulamaları değişik örneklerin mikroskopik tanısı (Gram, EZN, Giemsa, trikrom vd. boyamalar), değişik besi yerlerinde üretilen mikroorganizma kolonilerinin görsel analizi, bakteriyel identifikasyon (MALDI-TOF vd.), genomik analiz, genom veri bankaları, proteomik profiller ve bu kapsamlarda ilgili mikrobiyoloji verilerin birbirine bağlanması (network) gibi konularda değişik uygulamalar geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir. Bu

kapsamda bir örnek, sıtma tanısı konusundadır. Oldukça ucuz bir teknoloji olan dijital hat içi holografik mikroskopi verilerinden sıtma ile enfekte olmuş eritrositleri tespit etmek için makine öğrenimi algoritmaları geliştirilmiştir. Sıtma teşhis kapasitesini geliştirmek için çeşitli MÖ algoritmaları uygulanmıştır. Tanıyla ilgili olarak bu dosya kapsamında başka bir yazı olduğundan bu çerçevede ayrıntıya girilmeyecektir.

### Epidemiyoloji, Enfeksiyon Önleme/ Kontrol ve Salgınlar

Bulaşıcı olmayan değişik hastalıklarda (diabetes mellitus, hipertansiyon, kardiyovasküler hastalıkları vd.) toplanan muazzam miktardaki veri ve makine öğrenimi modellemesi, gerçekliğe yakın çıktılara ulaşmayı sağlamıştır. Bulaşıcı olmayan hastalıkların aksine, enfeksiyon hastalıklarında insan veya hayvanlardan olan bulaşma nedeniyle MÖ yöntemlerinin çoğunda, genellikle iletilen bilgiler olan boyut ve konumla ilgili göstergeler vermenin yanı sıra, enfeksiyonla ilgili değişkenleri (kuluçka süresi, bulaşma modu, semptomlar, tedavilere direnç) tahmin etmeyi sürece dahil etmek mümkün olmuştur. YZ, epidemiyolojik çalışmalar için çok çeşitli girdi verileri için çeşitli durumlardan yararlanmasını sağlar.

YZ; enfeksiyon hastalıklarının önleme ve kontrolünde büyük bir potansiyel sunmaktadır. Epidemiyoloji, laboratuvar enfeksiyon teşhisi ve el hijyenindeki potansiyel faydaları konusunda gelişmeye açık değişik uygulamalar söz konusudur. Toplumda gelişen veya sağlık hizmeti ilişkili enfeksiyonlar ve salgınlarda YZ uygulamalarından yararlanma imkânı vardır. YZ, salgınlar sırasında bulaşma olaylarını tespit etme veya yüksek riskli hastaları tahmin etme potansiyeline sahiptir ve özel enfeksiyon önleme ve kontrol müdahalelerinin geliştirilmesini sağlar. YZ, objektif örüntü tanıma ile teşhisi geliştirme, enfeksiyon önleme ve kontrol uygulamalarıyla enfeksiyonların teşhisini standartlaştırma ve enfeksiyon önleme ve kontrol uzmanlığının yayılmasını kolaylaştırma fırsatları sunar. Elbette, YZ enfeksiyon önleme ve kontrol süreçlerini kendi başına iyileştirmeyecektir. Bu durum, kültür ve davranış değişikliği gerektirir. Eğitimli ve tecrübeli ekibin sürece istikrarlı katkısı YZ'dan beklenen katkıyı sinerjik olarak artıracaktır.

Tablo 1: Yapay zekâ araçları, kullanımları ve potansiyel sonuçları (çıktıları)

YAPAY ZEKÂ	ENFEKSİYON HASTALIKLARI	ÇIKTILAR
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bayes ağları</li> <li>• Zayıf sinyal algılama</li> <li>• Yapay sinir ağı</li> <li>• Bulanık kümeleme</li> <li>• Destek vektör makinesi</li> <li>•Yapay bağışıklık tanıma sistemi</li> <li>• k-En yakın komşuluk</li> <li>• Karar ağacı</li> <li>• Rastgele orman (Random forest)</li> <li>• ARIMA (otoregresif entegre hareketli ortalama: autoregressive integrated moving average )</li> <li>• Üç aşamalı yüzer havza alanı (three-step floating catchment area)</li> <li>• Denetimsiz öğrenme</li> <li>• Süper öğrenci</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Patojen mutasyonu</li> <li>• Tanı</li> <li>• Zoonoz</li> <li>• Salgın</li> <li>• Enfeksiyon kaynağı</li> <li>• Salgın tahmini</li> <li>• Pandemi tahmin</li> <li>• Direnç tahmini</li> <li>• İlaç keşfi</li> <li>• Konak genetiği</li> <li>• Konak-patojen etkileşimi</li> <li>• Tedaviye uyum</li> <li>• Kayıp veri (missing data)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Karar desteği</li> <li>• Teşhis süresinin kısaltılması</li> <li>• Salgın tahmini</li> <li>• İlaç keşif</li> <li>• Bulaşmayı engelleme için stratejilerin belirlenmesi</li> <li>• Düşük gelirli ülkelere imkân sağlamak</li> <li>• Sağlığı iyileştirmek</li> <li>• Hayat kurtarmak</li> <li>• Maliyet tasarrufu</li> <li>• Daha iyi hazırlıklı olma</li> <li>• Kişiselleştirilmiş ilaç</li> <li>• Adli yaklaşım</li> </ul>

Sağlık BT sistemleri, farklı kaynaklardan büyük miktarda veri ürettikçe ve giderek daha fazla entegre hale geldikçe; YZ sistemleri de, salgınların tespiti ni hızlandıran ve sonraki analizler için daha zengin veri kümeleri sağlayan verilerdeki kalıpları tespit edebileceklerdir. YZ; eylemsizliğin maliyetini belirleyerek, karmaşık bir sistem içindeki farklı ajan türlerinin davranışını simüle ederek, çözümleri modelleyerek, veri toplayarak, analitik üreterek ve değişimi destekleyerek sistem değişikliği durumunu destekleyebilir. Sosyal grafik analizi, el hijyeni programlarının "etkileycilerini" belirleyebilir ve hasta güvenliği kültürünün araştırılma ve değerlendirilmesine katkıda bulunabilir. Enfeksiyon önleme ve kontrol; eğitim ve öğretim programlarında, YZ tabanlı simülasyonlar hasta güvenliğini tehlikeye atmayan gerçek deneyime bir köprü sağlayabilir ve öğrenme sürecinin anahtarı olan objektif değerlendirme ve geribildirim tekrarlanan döngülerini sağlayabilir.

YZ, sağlık hizmetleriyle ilişkili enfeksiyonların (SHİE) takibi sürecinde değişik yönlerden katkıda bulunabilir. Bunlar arasında, SHİE'in sürveyansı, enfeksiyon önleme ve kontrol müdahalelerini kolaylaştırmak için geliştirilmiş laboratuvar teşhisi, el hijyeni eğitimi ve denetimi gibi hususlar yer alır. YZ; SHİE sürveyansında eğilimleri ileriye dönük olarak izlemek, kümeleri ve salgınları zamanında belirlemek, kalite iyileştirme programlarının etkisini izlemek ve gelecekteki eğilimleri tahmin etmek için birden fazla veri kaynağından oluşturulan veri tabanlarını yorumlamak hususunda önemli katkılar sağlayabilir. Bu çerçevede bir örnek, MÖ uygulamalarıyla nozokomiyal *Clostridioides difficile* enfeksiyonu (CDE) riskini tahmin etmek için yapılan çalışmalardır. Yüksek CDE riski taşıyan ve karmaşık CDE'ya ilerleme riski yüksek olan hastaların zamanında doğru tanımlanması; özelleştirilmiş enfeksiyon önleme ve kontrol ile antimikrobiyal yönetim stratejilerine ve CDE tedavisine önemli katkılar sağlanabilir.

YZ; veri madenciliği, çoklu ilaca dirençli organizma kolonizasyonu ve / veya enfeksiyon olaylarının kümelerini / salgınlarını tespit ve tahmin etmek için kullanılabilir. Bu çerçevede bulaşıcı hastalıklarla ilgili sorun; bunların öngörülemezliği, enfeksiyon ve bulaş-

ma sürecini etkileyen çok sayıda faktördür. YZ, salgınlar sırasında bulaşma olaylarını tespit etme veya yüksek riskli hastaları tahmin etme potansiyeline sahiptir ve özel enfeksiyon önleme ve kontrol müdahalelerinin geliştirilmesini sağlar. YZ, enfeksiyonlardan korunmada çok önemli olan el hijyeni ile ilgili olarak davranış değişikliği sağlayacak katkılar sunabilir. Elbette YZ, enfeksiyon hastalıklarından korunma ve kontrolde tek başına etkili olmayacaktır; bunun için kültür ve davranış değişikliği gerekir. Örneğin hava alanlarında grip için solunum hızı, kalp hızı ve yüz sıcaklığı, sinir ağı ve bulanık kümeleme yöntemi kullanılarak yüksek grip riski taşıyan kişileri tespit için kullanılmıştır. Benzer uygulamalar, değişik enfeksiyonlar için risk altındaki popülasyonları belirlemek için etkili yöntemler geliştirme çalışmalarına zemin oluşturmuştur. Bir başlangıç olan bu anlayış, makine öğrenimi (MÖ) yöntemlerini daha karmaşık bağlamlarda kullanılabilmesine imkân verecektir.

Salgın yapan değişik enfeksiyon hastalıklarında (Kysanur ateşi, Ebola hastalığı), salgının kaynağını epidemiyolojik olarak belirlemede YZ kullanılmıştır. Kysanur ateşinde yapay sinir ağı kullanılmış; Ebola salgınında, makine öğrenmesi, tek katmanlı bir yapay sinir ağı (YSA), lojistik regresyon (LR), karar ağacı (DT) ve SVM (Destek Vektör Makineleri; Support Vector Machine) sınıflandırıcılarını kullanarak bilim adamları verilerin farklı kombinasyonlarına uygulanabilecek bir tahminler topluluğu oluşturmuştur.

Bulaşıcı hastalık salgınlarını tahmin etmek için çeşitli veri setleri kullanılmıştır. Enfeksiyon hastalıklarını tahmin etmek için otoregresif entegre hareketli ortalama (ARIMA) yöntemi kullanılmıştır. ARIMA, gelecekteki salgınları (hemorajik ateş, deng humması, tüberküloz vd.) tahmin etmek için kullanılabilir. Güney Afrika'da mevsimsel ARIMA (SARIMA) ve sinir ağı oto-regresyonu (SARIMA-NNAR) tüberküloz insidansı ve mevsimsellik kullanılarak analiz edilmiştir (risk faktörleri, koenfeksiyonlar, HIV varlığı vd.). Vektör kaynaklı bir viral zoonoz olan Rift vadisi ateşinde, bulaşıcı riskle ilişkili temel belirleyiciler YZ ile belirlenmiştir. YZ uygulamaları sıtma kontrolü, deng ateşinin önlenmesi, pandemilerin tahmini amacıyla da kullanılabilir. COVID-19 pandemisine

cevap verme ve pandeminin ciddi etkilerini önlemede de YZ uygulamalarından yararlanılmış, değişik çalışmalar yapılmıştır. Büyük veri, potansiyel olarak COVID-19 salgınıyla mücadeleye yardımcı olacak bir dizi gelecek vaat eden çözüm sağlamaktadır. Her şeyden önce YZ uygulaması ile "bluedot" (100'den fazla farklı hastalığın salgınlarını izlemek için çok sayıda yapılandırılmamış metin verilerini birden çok dilde işlemek için doğal dil işleme ve makine öğrenmesini kullanır) ilk olarak 31 Aralık 2019'da ulusal gözetim merkezleri ve WHO'dan neredeyse bir hafta önce COVID-19 hastalığına işaret eden uyarı yapmıştır. Bu örnekte olduğu gibi, YZ veri analitiği, enfeksiyon hastalıkları ve halk sağlığı uzmanlarının veri toplama ve rapor haline getirme yerine çapraz enfeksiyonu en aza indirmeye yönelik stratejilere odaklanmasını sağlayabilmektedir.

YZ analitiği ile birleşen büyük veri COVID-19 salgınıyla savaşmak için birçok uygulamaya sahiptir: Salgın tahmini, salgın yayılması ve takibi, virüs yapısı, hastalık teşhisi ve tedavisi, biyotıp ve farmakoterapi, COVID-19 salgınına yönelik halkın endişelerini / davranışlarını ve risk algısını değerlendirmek (infodemi) bu kapsamdaki örneklerdir. Infodemi; halk sağlığı ve kamu politikası kapsamında bilgilendirme sağlayan,



elektronik ortamda, özellikle internette veya bir popülasyonda bilginin dağıtım ve belirleyicilerini belirleme ile uğraşır. Sürveyans amacıyla infodemi yöntemlerinin uygulamada kullanılabilir. Infodemi, aşı üretimi ve toplum bağışıklama planlaması açısından kullanılabilir. Infodemi ve "infoveillance" ile, söylentileri ve yanlış bilgileri hızlı bir şekilde sınıflandırmak mantıksız davranışların etkilerini hafifletebilir. Böylece gelecekteki olası salgınlar için önemli bir katkı sağlanmıştır.

YZ; anlık tahmin dinamikleri, enfekte vakaların sayısı, COVID-19 salgınının sona erme zamanı vd. ölçütlerin yüksek doğrulukla tahmin edilmesiyle salgının izlenmesinde ve sağlık ve politika stratejilerinin iyileştirilmesinde yardımcı olabilmektedir. YZ tabanlı araçlarla ilişkili büyük veriler, salgın tahmini için koronavirüs veri akışlarını kullanarak karmaşık simülasyon modelleri oluşturabilir. Bu, sağlık kuruluşlarının koronavirüs yayılımını kontrolde ve daha iyi önleyici tedbirler için hazırlanmasına imkân verir. Bilgisayarlı tomografi (BT) görüntü işleme için derin öğrenme kullanılan bir modelle COVID-19 radyolojik tanısında pozitif tahmin değeri %84, negatif tahmin değeri %98,2 ve %90,1 doğruluk elde edebileceğini göstermiştir. Etkili ilaç molekülleri tespitinde bilgisayar modellemesi ve simülasyonları kullanılmaktadır ve bunların kullanımını geliştirecektir. Şu anda ilaç keşif alanında 3000 yeni COVID-19 moleküllü YZ uygulamaları kapsamında değerlendirilmektedir. YZ'nin ve büyük verilerin COVID-19 salgınına karşı mücadele etmedeki etkinliği ve ilgili teknolojilerle değişik çözümler üretilmiştir. YZ ve büyük veri; COVID-19 salgınının izlenmesi, ilaç araştırmalarının geliştirilmesi ve tıbbi tedavinin iyileştirilmesi çerçevesinde kullanılmıştır.

### **Tedavi, İzleme, Antimikrobiyal Direnç, Aşı/Bağışıklama**

Vücut sıcaklığı, enfeksiyon bölgeleri, semptomlar, komplikasyonlar, antibakteriyel spektrum ve hatta kontrendikasyonlar ve ilaç-ilaç etkileşimleri gibi faktörlere dayalı olarak hastaya uyarlanmış bir karar destek sistemi ile antibiyotik tedavisi öneren YZ sistemi; 332 farklı enfeksiyon bölgesi, 507 enfeksiyon hastalığı ve bunların tedavi yöntemleri, sindirim sistemi, üreme sistemi, nörolojik ve diğer sistemler ile

ilgili 936 ilgili semptom, 371 tür komplikasyon, 838 bakteri türü, 341 antibiyotik türü, antibiyotikler ve bakteriler arasında 1504 çift reaksiyon oranı (antibakteriyel spektrum), 431 çift ilaç etkileşim ilişkisi ve 86 antibiyotiğe özgü kontrendikasyon ilişkisi içerir. HIV hastalarında tedaviye uyum/uyumsuzluk ve bunun virolojik başarısızlığı nasıl etkilediğini takip için de YZ uygulamaları denenmiştir (süper öğrenici!). Makine öğreniminin standart HIV takibi (CD4 + T hücre sayısı) ve antiretroviral tedavi rejimi ile kombinasyonu, tek başına elektronik izleme sistemine kıyasla sınıflandırmayı önemli ölçüde iyileştirmiş, viral yük tespit testlerine ihtiyacı 1/3 oranında azaltmıştır.

Antibiyotiklerin yaygın ve uygunsuz (akılcı olmayan) kullanımı; antimikrobiyal direnci, küresel sağlığı tehdit eden ve toplum ve ekonomi üzerinde muazzam yük bindiren bir sorun haline getirebilir. YZ, antimikrobiyal dirençle mücadele için yeni bir paradigmayı temsil etmektedir. Direnç sorununa yönelik çeşitli YZ yaklaşımları ortaya çıkmıştır. Bu amaçla sıralama tabanlı YZ uygulamaları kullanılmış, klinik karar destek sistemleri oluşturmak için klinik veri toplamak, doktorların akılcı antibiyotik kullanımını artırmak için antimikrobiyal dirençteki eğilimleri izlemeleri uygulamaları yapılmıştır. Ayrıca YZ uygulamaları, yeni antibiyotikler ve sinerjik ilaç kombinasyonu araştırmaları tasarlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Saf Bayes (naïve Bayes), karar ağaçları (decision trees), rastgele ormanlar (random forests), destek vektör makineleri (support vector machines) ve yapay sinir ağları (artificial neural networks) antimikrobiyal direnç için yaygın kullanılan yapay zekâ algoritmalarıdır.

Konak içi parazit aşamasına özgü farmakokinetik-farmakodinamik ilişkileri kullanan matematiksel modelleme, artemisin direncinin "trofozoit" devresinin ilaç etkisine dirençli hale gelmesinin bir sonucu olduğunu öngörmüştür. Kapsamlı antibiyotik direnci veri tabanı (CARD), antimikrobiyal direncin moleküler temeline ilişkin yüksek kaliteli referans verileri içerir. "CARD" ontolojik olarak yapılandırılmıştır, model merkezlidir ve antimikrobiyal direnç ilaç sınıfları ve mekanizmalarının genişliğini kapsar. Veri tabanı, optimize edilmiş veri paylaşımı ve organizasyonuna izin

veren, birbirine bağlı ve hiyerarşik bir yapıdır. Çalışmalar, MÖ'nün kullanımının en iyi aday aşılardan belirlenmesi ve aşılardan uygulamada planlanması için çok önemli olduğunu göstermiştir.

### **Sonuçlar**

YZ ve MÖ kullanımı, yukarıda tartışılan örneklerle gösterildiği gibi tıbbın/sağlığın hemen her alanı gibi enfeksiyon hastalıkları alanı için de çok umut vericidir. Ancak resmi veya özel kuruluşların sürece uyumu, durumu belirleyen ana unsur olacaktır. YZ entegrasyonunun uyumlaştırılması; bulaşıcı pandemi tahmini için kullanımını güçlendirmeyi, enfeksiyonları daha iyi anlamayı ve antimikrobiyal ilaç keşfi için zamanı etkin ve verimli kullanmayı sağlayacaktır. Ancak enfeksiyon hastalıkları; farklı bulaşıcılığa, kuluçka süresine, bulaşma moduna sahip olduğundan ve konağa bağlı olarak farklı semptomlara yol açacağından; YZ açısından hem toplum çapında hem de kişiselleştirilmiş çerçevede yaklaşımlar geliştirilmelidir.

### **Kaynaklar**

- Agrebi S, Larbi A. *Use of Artificial Intelligence in Infectious Diseases*, in: Barh D (eds). *Artificial Intelligence in Precision Health*, Academic Press, 2020: pp:415-438
- Choi, I., Chung, A.W., Suscovich, T.J., et al. ., 2015. *Machine Learning Methods Enable Predictive Modeling of Antibody Feature: Function Relationships in RV144 Vaccines*. *PLoS Comput. Biol.* 11 (4), e1004185.
- Egli A. *Digitalization, Clinical Microbiology and Infectious Diseases*, *Clin Microbiol Infect.* 2020; 26(10): 1289–1290.
- Fitzpatrick F, Doherty A, Lacer G. *Using Artificial Intelligence in Infection Prevention*, *Curr Treat Options Infect Dis.* 2020 : 1–10.
- Khader H. *Machine Learning Systems in Epidemics: In the AI of the Storm*, *International Journal of Computer Applications (0975 - 8887) Volume 176 – No. 29, 2020*
- Lu J, Deng S, Zhang L. *A review of Artificial Intelligence Applications for Antimicrobial Resistance, Biosafety and Health*, 2021; 3(1):22-31.
- Pham QW, Nyugen DC, The TH, Hwang WJ, Pathiarana PD. *Artificial Intelligence (AI) and Big Data for Coronavirus (COVID-19) Pandemic: A Survey on the State-of-the-Arts*, *Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2020.DOI, https://ieeexplore.ieee.org/document/9141265*
- Shen, Y., Yuan, K., Chen, D., Colloc, J., Yang, M., Li, Y., Lei, K., 2018. *An Ontology-Driven Clinical Decision Support System (IDDAP) for Infectious Disease Diagnosis and Antibiotic Prescription*. *Artif. Intell. Med.* 86, 20–32.
- Turing, Allen (1936). "On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem". *Proceedings of the London Mathematical Society (42)*: 230-265.