

Tıp Eğitiminde Merkeziyetsizlik Teknolojilerinin İmkânı: Blokzinciri ve Holochain

The Possibility of Decentralization Technologies in Medical Education: Blockchain and Holochain

 Yavuz Selim KIYAK^a

^aGazi Üniversitesi Tıp Fakültesi,
Tıp Eğitimi ve Bilişimi ABD,
Ankara, Türkiye

Yazışma Adresi/Correspondence:
Yavuz Selim KIYAK
Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi,
Tıp Eğitimi ve Bilişimi ABD,
Ankara, Türkiye
yskiyak@gazi.edu.tr

ÖZET Tıp eğitimi, yeni teknolojiler ortaya çıktıkça bu teknolojileri içine dâhil ederek evrilmiştir. Son dönemde ön plana çıkmaya başlayan teknolojik yenilik, Web 3.0 uygulamalarıdır. Bir dağıtık defter teknolojisi olan blokzinciri teknolojisi, kriptografiyi de kullanarak Web 3.0 uygulamalarını yaygınlaştırmayı amaçlamıştır. Blokzincirinin tıp eğitimi alanında da veri güvenliği ve mahremiyeti açısından pek çok sorunu çözebileceği öne sürülmüştür. Ancak, ölçeklenebilirlik sorunları ve çevreye olumsuz etkisi yaygın kullanımı engellemektedir. Sorunun temelinde, blokzincirinin veri merkezli (data-centric) bakış açısı vardır. Holochain, yeni bir açık kaynaklı dağıtık defter teknolojisidir. Veri merkezlilik yerine katılımcı merkezli (agent-centric) paradigmaya sahip olduğundan, ölçeklenebilirlik ve çevreye olumsuz etki gibi sorunları yoktur. Bu da, tıp eğitiminde merkeziyetsizlik teknolojilerinin sürdürülebilirliğinin blokzinciri ile değil, Holochain ile mümkün olabileceğini göstermektedir. Bu çalışmada önce blokzinciri ve Holochain teknolojilerinin nasıl çalıştığı ifade edilmektedir. Ardından, tıp eğitiminde Holochain kullanılarak ne gibi sorunlara çözüm bulunabileceği tartışılmaktadır. Holochain teknolojisi, birçok alanla beraber tıp eğitiminde de önemli yeniliklere yol açabilir.

Anahtar Kelimeler: Blokzinciri; Holochain; dağıtık defter teknolojileri; tıp eğitimi

ABSTRACT Medical education has evolved by including new technologies inside it as they emerge. Recently, the novel technology that gets prominent is Web 3.0. Blockchain, which is a distributed ledger technology, aimed to extend the use of Web 3.0 applications by utilizing cryptography. It was suggested that blockchain could solve many problems regarding data security and privacy in medical education as well. However, scalability problems and negative effects on the environment prevented its widespread use. The core issue on this is the data-centric model of blockchain technology. Holochain is a novel distributed ledger technology. Since it has an agent-centric paradigm rather than data-centric, it does not suffer from scalability problems and negative environmental effects. Therefore, it seems that sustainable use of decentralized technologies can be possible with Holochain, not with blockchain. In this study, firstly, it is explained how blockchain and Holochain work. Subsequently, it is discussed what kind of problems in medical education can be solved by using Holochain. Holochain can lead to many innovations in various areas including medical education.

Keywords: Blockchain; Holochain; distributed ledger technologies; medical education

Tıp eğitimi, yıllar geçtikçe ortaya çıkan yeni teknolojileri kendi bünyesine dâhil ederek evrilmiş ve gelişmiştir. Örneğin çevrimiçi ölçme-değerlendirme, teknoloji destekli öğrenme, yapay zeka ve derin öğrenme, gibi gelişmeler kendilerine tıp eğitiminin içinde de yer bularak yer yer vazgeçilmez bir konuma erişmiştir.¹⁻³ Bu evrilme ve gelişme süreci asla durmamakta, her yenilikle beraber bu yeniliklerin tıp eğitimiyle bütünleşmesi doğal bir süreç hâlinde gerçekleşmektedir. Son yıllarda bu kapsamda tıp eğitimi ile bütünleşmeye başlaması beklenilecek yeniliklerden biri ise Web 3.0'dır.

İnternetin ilk dönemlerine işaret eden Web 1.0'da, kullanıcıların tek yapabildiği şey internet ağında yer alan verileri okumaktı. İnternet sayfaları, kullanıcının o sayfaya girip metinleri okuyabildiği, görselleri görüntüleyebildiği ama bundan fazlasını yapma-

KAYNAK GÖSTERMEK İÇİN:

Kiyak YS. Tıp eğitiminde merkeziyetsizlik teknolojilerinin imkânı: Blokzinciri ve Holochain. Coşkun Ö, editör. Tıp Eğitiminde İnterdisipliner ve Transdisipliner Uygulamalar. 1. Baskı. Ankara: Türkiye Klinikleri; 2022. p.30-5.

sına imkân veremeyen statik bir nitelikteydi.⁴ Sayfayı ziyaret eden kullanıcıların sayfaya katılımı neredeyse sıfırdı.

Sosyal medya uygulamalarının geliştirilmesiyle beraber; kullanıcıların da içeriği oluşturabildiği, internet sayfalarını okumanın yanında o sayfadaki içeriği yazma/oluşturma imkânının da mevcut olduğu yapılar ortaya çıktı. Kullanıcıların hem okuyup hem de yazabildiği bu uygulamalara/sayfalara Web 2.0 uygulamaları adı verildi.⁴ Web 2.0'ın tipik örnekleri olan sosyal medya uygulamalarına milyarlarca insan katılarak, kişisel verilerini uygulamalara teslim etti. Ancak bu uygulamalardaki kişisel veriler, merkezî sunucularda barındırılmaktadır. Milyarlarca insanın kişisel verilerinin korunması, üçüncü taraf hizmet sağlayıcılara (barındırma hizmeti) duyulan zorunlu güvenden başka hiçbir güvenceye sahip değildir. Çünkü geleneksel şifreleme bariyerleri sadece bilgisayar korsanlarını bir ölçüde engellemekte, bu sunucuların sahipleri için bir engel oluşturmamaktadır. Bunun yanında bilgisayar korsanları da bir tehdit olmaya devam etmekte, şifreleme bariyerlerini çeşitli yöntemlerle aşabildiklerinde bütün verilere ulaşabilmektedir. Bu da, dağıtık (distributed) ve merkeziyetsiz (decentralized) bir şekilde çalışması için kurulan internetin, günümüze kadar gelen süreçte çok ciddi bir şekilde merkezileştiğini göstermektedir.⁵ Söz konusu sorunları aşmak için dağıtıklığı ve merkeziyetsizliği güçlendirmeyi hedefleyen, bireylerin kendi verilerinin tek ve gerçek sahibi olmasını amaçlayan yeni fikirler ortaya atılmıştır. Bu bakış açısıyla oluşturulan ve kullanıcılara okuma ve yazmanın yanı sıra veri sahipliği imkânı sağlayan uygulamalar Web 3.0 uygulamaları olarak adlandırılmıştır.⁴ Bu çalışmada, Web 3.0 uygulamalarına hayat vermeye aday iki teknoloji; önce blokzinciri teknolojisinden ve ardından Holochain teknolojisinden bahsedilecektir. Blokzinciri teknolojisinin tıp eğitimindeki yeri daha önce tartışılmıştır ancak Holochain hakkında bu konuda yayınlanmış bir çalışma bulunmamaktadır.⁶ Bu nedenle son bölümde, Holochain'e ağırlık verilerek tıp eğitimine muhtemel etkisi tartışılacaktır.

BLOKZİNCİRİ TEKNOLOJİSİ

Blokzinciri teknolojisi, dağıtık defter teknolojisi ile kriptografiyi bir arada kullanarak, veri aktarımını merkeziyetsiz bir şekilde yapmaya imkân verir.⁷ Ağdaki veri aktarımına dair kayıtlar, bu aktarımların bir araya getirilip bir blok oluşturması sağlanarak, bu bloklardan oluşan bir zincire eklenir. Örneğin, blokzinciri teknolojisi kullanılarak geliştirilen ilk uygulama olan Bitcoin blokzincirinde, Bitcoin aktarımlarına dair kayıtları içeren blokların zincire eklenme işlemi, noter ve bankalar gibi merkezî yapıdaki

üçüncü taraflara güvenmek zorunda kalmadan, Bitcoin madencileri tarafından daha merkeziyetsiz yolla yapılır. Ağda meydana gelen Bitcoin aktarımları için madenciler ağdaki diğer madenciler ile uzlaşmaya varır ve o aktarımların kaydını içeren bloğu önceden eklenmiş blokların sonuncusuna ekler. Sonrasında bu güncel kopyayı, ağda oluşturulmuş blokların tamamının bir kopyasını içeren ve dünyanın dört bir yanında çalışan düğümlere (node) yayarak bu bloğun da zincire eklenmiş olmasını sağlar. Her bir yeni blok, bu süreçlerden geçerek zincire eklenir. Böylece dünyanın pek çok yerinde Bitcoin düğümlerini çalıştıran kişilerde, değiştirilmesi çok güç olan bir kayıt oluşur.⁷

Bitcoin blokzincirinde, madenciler, sistem tarafından sunulan matematiksel problemleri çözerek blok ekleme hakkı kazanır. Bu problem çözme işi, gelişmiş ve yüksek özellikli bilgisayarlar çalıştırmayı gerektirir. Bu da ciddi miktarlarda enerji harcanmasına neden olmaktadır. Madenci, söz konusu problemi çözmek suretiyle iş kanıtını (proof-of-work) gösterir ve ardından yeni bloğu zincire ekler.⁸ Sonrasında bütün bu emeklerinin karşılığını, her bir blokta sistem tarafından otomatik bir şekilde üretilip kendisine verilen Bitcoin ödülü ile alır. Daha basit bir şekilde ifade edilecek olursa, dünyadaki herkesin görüntüleyebileceği ve isterse bir kopyasını tutabileceği bir cüzdan vardır. Bu cüzdan, o blokzincir uygulamasında o güne kadar yapılan aktarımların hepsinin kaydını tutmaktadır. Banka ve noter gibi merkezî yapılarda veriler, sınırlı sayıdaki kişinin kontrolünde doğrulanır ve depolanır (örneğin bir ev satışı için noter kayıtlarına güvenmek gibi). Blokzinciri teknolojisinde ise merkezî otoritelere güvenme ihtiyacı ortadan kalkar. Onun yerine, dünyanın dört bir yanındaki madencilerin bu aktarımları içeren blokları kalıcı şekilde zincire eklediği, şifreleme tekniklerinden de yararlanan bir mekanizma çalıştırılır.⁸ Sonuçta, verilerin geçerli olup olmadığını belirleme görevi noter ve banka gibi merkezî yapılardan alınarak, herkesin katılabileceği paylaşımlı bir kontrol mekanizmasına devredilir.⁹

Blokzinciri teknolojisi söz konusu imkânları sağlasa da, küresel çapta yaygın olarak kullanımını zorlaştıran bazı kısıtlılıklara sahiptir. Bu kısıtlılıklardan en önemlilerinin, ölçeklenebilirliğinin yetersiz olması (kullanıcı sayısı arttıkça sistemin aşırı düzeyde hantallaşması) ve iş kanıtı tipi uzlaşma mekanizmasını kullanan Bitcoin gibi blokzinciri uygulamalarının elektrik kullanımının çevreye etkisi olduğu söylenebilir.¹⁰ Örneğin Bitcoin saniyede sadece yedi aktarım yapabilir, her blokun kapasitesi sadece bir megabayttır ve ancak 10 dakikada bir yeni bir blok üretir.¹¹ Küresel olarak gerçekleşen veri aktarımının devasa olduğu düşünüldüğünde, bu kısıtlı yapının söz konusu yükü kal-

dırabilmesi mümkün değildir. Blok boyutunda artışa gitmek (örneğin her blokta bir yerine 10 megabayt) ve blokları daha hızlı çıkarmak (örneğin 10 dakikada bir değil, saniyede bir) gerçekleştirilmesi çok kolay olan (tek bir yazılım güncellemesi ile saniyeler içinde yapılabilir) çözümler olsa da bu çözümlerin olumsuz etkileri vardır. Çünkü artan blok boyutu ve adedi, düğümlerde depolanması gereken veri miktarını artırır. Bu durum madencilerin, çalıştırdıkları düğümlerde daha yüksek boyutlarda veriyi depolaması gerekliliğine ve dolayısıyla daha fazla maliyete neden olur. Maliyete katlanamayan madenciler işi bırakır ve sayıları azalır. Bu da, geriye kalan az sayıda madenci arasındaki bir grubun anlaşarak “geçersiz” işlemleri onaylayabilecek oy gücüne ulaşmasına ve sistemin güvenilirliğinin zarar görmesine kapı açar. Görüldüğü üzere blokzinciri teknolojisinde merkeziyetsizlik, ölçeklenebilirlik ve güvenlik arasında bir açmaz bulunur. Bu açmaza “blokzincirin üçlü açmazı” (blockchain trilemma) adı verilmiştir.¹¹

Bir diğer önemli kısıtlılık, yüksek enerji tüketimidir. Bitcoin gibi iş kanıtı üzerinden işleyen uzlaşma protokolüne sahip blokzinciri uygulamaları, yüksek miktarlarda elektrik tüketimine sebep olur. Dünya çapında pek çok bilim insanı tarafından hayatî bir sorun olarak ifade edilen küresel iklim değişikliği gündemdeyken, sadece Bitcoin blokzincirinin bile birçok ülkenin yıllık olarak harcadığı toplam enerji miktarından daha fazla enerji harcadığı bir gerçektir.¹²

Bütün bu bilgilerden hareketle blokzinciri teknolojisinin, merkezî yapıları güven duymak zorunda olmadan güvenilir bir şekilde veri aktarımı yapılabilmesi önemli olarak değerlendirilebilir. Buna rağmen kısıtlılıkları, dünya çapında benimsenmesinin önünde ciddi bir engel olarak durmaktadır. Kısıtlılıklarının temel sebebinin, blokzincirinin sahip olduğu “veri merkezli” (data-centric) paradigma olduğu söylenebilir. Gerçeğin sadece tek bir temsiline, yani sadece tek bir “doğru” zincirin olmasına izin vermesinden dolayı bu darboğazların oluştuğu ifade edilebilir. Holochain bu sorunları, veri merkezli bakış açısı yerine “katılımcı merkezli” (agent-centric) bakış açısını kullanarak aşma yoluna gitmiştir.¹³ Sıradaki başlıkta, Holochain’in bunu nasıl yaptığı ifade edilecektir.

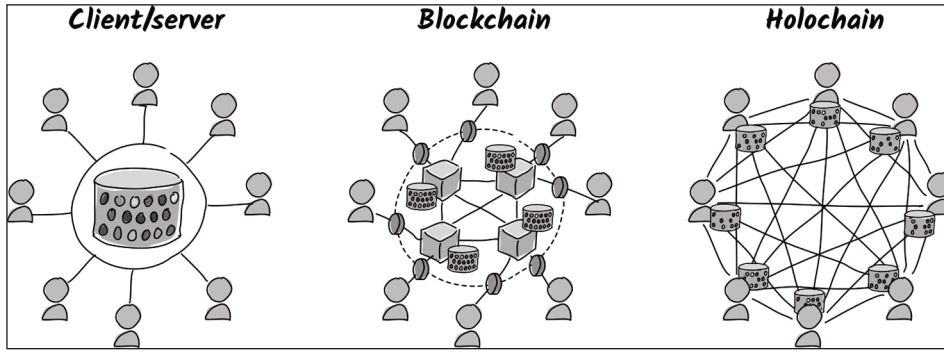
HOLOCHAIN TEKNOLOJİSİ

Holochain açık kaynaklı bir uygulama geliştirme çerçevesidir. Tamamen eşten-eşe (peer-to peer) bir ağ protokolü olarak yazılım geliştiricilere, merkezî sunucuları kullanmalarına gerek kalmayan uygulamalar geliştirmeyi sağlar.¹³ Holochain uygulamaları (hApp) merkezî sunucular

yerine, o uygulamayı kullanan katılımcıların cihazlarında barındırılır. Ağdaki güvenlik, şifreleme (kriptografi) ve katılımcının hesap verilebilirliği (peer accountability) üzerinden sağlanır. Holochain teknolojisinin geliştirilme sürecinde doğadan ilham alınmıştır. Blokzinciri ağındaki kayıtları tutan düğümler, ağdaki katılımcıların istisnasız hepsinin ürettiği verilerin tamamını tutarken, Holochain doğayı taklit ederek her bir kullanıcının kendi verilerini tutmasını gerektirir. Kendi verilerine ek olarak kullanıcılar, Holochain ağında sadece o uygulamayı kullananların verilerinin kendi paylarına düşen bir parçasını (shard) tutarak işbirliği ile sistemin devamını sağlar. (Daha ayrıntılı bilgi için: developer.holochain.org/concepts)

Ağdaki kullanıcılar, kendi “DNA”larına göre hareket etmek zorundadır. DNA, uygulamayı oluşturanların belirlediği, o uygulamaya katılan herkesin kabul ettiği ve tek taraflı olarak asla değiştirilemez kurallardır.^{13,14} Biyolojik bir benzetme üzerinden anlatılmak istenirse, blokzinciri teknolojisi, insan hücrelerinin tamamının diğer hücrelerde üretilen bilgilerin tamamını tutmak ve her hareket öncesi bu bilgilerin güncel olduğundan emin olmak zorunda olduğu bir yapı gibi düşünülebilir. Böyle bir yapının yaşamla bağdaşmadığı açıktır. Aynı benzetme üzerinden devam edilecek olursa Holochain, her bir hücrenin sadece kendi verilerini ve sadece etkileşime girdiği hücrelerin verilerinin bir parçasını tutmayı gerektirmektedir. Doğayı taklit eden bu yaklaşım doğrultusunda Holochain, blokzincirinin küresel mutabakata dayalı veri merkezli anlayışı yerine kullanıcı merkezli (agent-centric) anlayışı kullanır.¹⁵ Dolayısıyla Holochain’de birincil sistem bileşeni kullanıcılarıdır, sunucular veya veriler değildir. Bu farklılık, Şekil 1’de tasvir edilmiştir. En solda geleneksel merkezî yapının tasviri yer alır. Ortadaki tasvir, her bir düğümün verilerin tamamının bir kopyasını tuttuğu blokzinciri teknolojisinin merkezsiz yapısını göstermektedir. En sağda ise kullanıcıların birbiriyle direkt olarak, arada madenci de dâhil olmak üzere hiçbir aracı olmadan etkileşime geçtiği tam dağıtık Holochain mimarisi gösterilmiştir.

Holochain’de, blokzinciri teknolojisinin küresel tek (monolithic) defterinin aksine, her kullanıcı kendi verilerini tutar ve kendi kopyasını çalıştırır.¹³ Ağ uygulamayı (hApp) oluşturanların ve katılımcıların baştan belirlediği kurallara her katılımcının uygun bir şekilde hareket etmesini garanti altına alır. Bu kurallar, katılımcıların birbirleriyle nasıl etkileşeceğini belirler. Kural olarak ne belirlenirse belirlensin, bu kurallara aykırı eylemlerde bulunulmadığından emin olmak için Holochain’in iki önemli unsuru vardır: İçsel (intrinsic) veri geçerliliği ve katılımcı tanıklığı (peer witnessing).



ŞEKİL 1: Geleneksel merkezî, blokzinciri ve Holochain yapılarının tasviri (Holochain tarafından üretilen görsel, izin alınarak kullanılmıştır).

İşsel veri geçerliliğini sağlayabilmek için Holochain, kullanıcının ağdaki her bir hareketinin kendine ait olduğunu kanıtlamak ve muhtemel herhangi bir yetkisiz değişikliği tespit etmek amacıyla şifrelemeyi (kriptografi) kullanır. Katılımcının ağdaki bütün eylemleri, kendisi özel anahtarıyla (private key) imzaladıktan sonra kendi zincirine kalıcı şekilde kaydedilir. Böylece, o özel anahtara sahip olmayan hiç kimse, yani hiçbir dış unsur bu zincirdeki kayıtları değiştiremez. Ancak buna rağmen kullanıcının, kendi özel anahtarını kullanarak kendi zincirini ve verilerini kötü niyetli bir biçimde değiştirebilme ihtimali vardır. Katılımcı tanıklığı, ağla ilgili bu muhtemel olumsuz durumu engeller. Her bir kullanıcının ağdaki herkese açık verisi, belirli sayıdaki rastgele seçilmiş diğer kullanıcılar tarafından doğrulanır ve depolanır. Bu kullanıcılar eğer uygulamanın her kullanıcı tarafından kabul edilmiş olan kurallarının ihlal edildiğini görürlerse bunu dedikodu (gossip) yoluyla diğer kullanıcılara yayarlar ve bu sayede o kullanıcı ağdan izole edilir.¹⁴

Kısacası Holochain, kurucusu Arthur Brock'un ifadesiyle "bireylerin birbirleri ile özgürce etkileşime girdiği ve ortak kurallara uyarak hareket ettiği" bir "kapatılamaz taşıyıcı" (unenclosable carrier) görevi görür. Nihai sonuç ise merkezî aktörler kullanmadan, herkesin kendi depolama kapasitesini kullandığı ve diğer kullanıcıların verilerinin geçerliliğini doğrulama işini yüklediği bir yapıdır.¹⁶ Bu da yazılım geliştiricilerin merkezî sunuculara ihtiyaç duymadan ve merkezî yapıların aksine "hack"lenmesinin imkânsız olduğu uygulamalar geliştirebilmesini sağlar. Bütün bunlar, kullanıcıların sadece kendi kişisel cihazlarını kullanarak veya sadece standart bir ampül kadar enerji harcayan Holo cihazlarını kullanarak yapılır. Dolayısıyla Holochain teknolojisi blokzinciri teknolojisinin aksine çevreye duyarlı bir teknolojidir. Başka bir ifadeyle, veri aktarımını blokzinciri teknolojisinin sınırlılıkları olmadan yapmaya imkân sağlar. Blokzincirinde her bir aktarım için

onlarca dolar ödemek ve aynı zamanda her bir aktarım için dakikalarca hatta bazen saatlerce beklemek gerekirken, Holochain teknolojisinde bunların hepsinin ve daha fazlasının anlık olarak ve ciddi derecede daha az maliyetle yapabildiği gösterilmiştir.¹⁷ Sonuç olarak, daha önce Kıyak ve arkadaşları tarafından yapılmış olan derleme çalışmasında da belirtildiği üzere, Holochain'in blokzinciri tarafından erişilemeyen amaçları gerçekleştirerek yeni bir çağı açılmasını sağlama potansiyeli vardır.¹⁸ Çünkü blokzinciri teknolojisinin bu sınırlılıklara rağmen dünyaya etkisi göz önüne alındığında, Holochain teknolojisinin "World Wide Web"den sonraki en büyük yenilik olduğu söylenebilir. Buradan hareketle, Holochain teknolojisinin tıp eğitimi alanında da yansımalarının olacağını söylemek zor değildir.

TIP EĞİTİMİNDE BLOKZİNCİRİ VE HOLOCHAIN

Siber güvenlik, eğitim verilen sağlık merkezlerinin sürdürülebilirliği açısından oldukça önemlidir. Siber saldırılar, merkeziliğin hâkim olduğu sağlık veri sistemlerine büyük zararlar verir. Örneğin Millard, kötü amaçlı yazılım saldırısı sonrası eğitim hastanesinde bilişim sistemlerinin 45 gün boyunca kullanılmadığını aktarmıştır.¹⁹ Bu gibi durumlarda sadece sağlık hizmeti sektöre uğramamakta, aynı zamanda tıp eğitimi de aksamaktadır. Bilgisayar korsanlarının bu ve benzeri ataklarına karşı koyabilmek için tıp eğitimi bağlamını da gözetken bir eğitim programı dahi geliştirilmiştir.²⁰ Holochain teknolojisi ise söz konusu eğitim programında yapılan, sadece belirtileri gidermeye yönelik tedavi yerine sorunun kaynağını ortadan kaldırmayı hedeflemektedir. Daha önce belirtildiği gibi, merkezî yapılarda sadece bir kişinin bile erişim anahtarı korsanlar tarafından elde edilse, sistemdeki her veriye erişim elde edilebilmektedir. Blokzinciri gibi merkeziyetsizlik iddiasında olan bir yapıda bile madencilerin yarısından fazlasının kötü niyetli amaçlarla anlaşması durumunda (%51

atağı) benzer sorunlar oluşmaktadır. Oysa Holochain teknolojisinin kendine has yapısı, bilgisayar korsanlarının, bir kişinin anahtarını ele geçirmiş olsalar bile, bütün verilere erişememesini ve sistemin sorunsuz bir şekilde çalışmaya devam etmesini sağlar.

Holochain teknolojisinin sunacağı tek fayda, siber saldırıları engelleyerek eğitimin devamını sağlamaktan ibaret değildir. Tıp eğitiminin ve sağlık meslekleri eğitiminin kendine has çok sayıda sorununa da çözüm sunmaktadır. Funk ve diğerleri bu bağlamda “eğitimsel faaliyetlerin takibi, devredilebilir meslekî etkinliklerin (DME/entrustable professional activities-EPAs) gözleminde hesap verilebilirlik sağlayan bir mekanizma ihtiyacı, diploma ve kıdem ile ilgili verilerin depolanmasında üçüncü taraf hizmet sağlayıcılara güvenme” gibi sorunlardan bahsetmiş ve çözümünde blokzinciri teknolojisinin kullanımını önermiştir.⁶ Blokzinciri tabanlı bir eğitim programı geliştirilmesi ve programla ilgili verilerin alışverişinin blokzinciri ağında sürdürülerek kişilerin hesap verebilirliğini artırması fikri öne sürülmüştür. Ancak ne var ki bu fikrin uygulanabilirliği ciddi manada sorgulanmıştır.²¹ Henüz çok kısıtlı sayıdaki kullanıcının bile ürettiği veri trafiği yükünü kaldıramayan blokzinciri teknolojisinin, tıp eğitimi programı dâhilindeki veri trafiğini merkeziyetsizlikten ödün vermeden kaldırabilmesi düşünülemez. Dahası, oluşturacağı maliyet de sürdürülebilir olmayacaktır. Bununla beraber, blokzinciri teknolojisinin yapısı, Avrupa Birliği’nin veri mahremiyeti açısından şart koştuğu GDPR (General Data Protection Regulation) düzenlemesi ile büyük ölçüde uyumsuzken Holochain teknolojisi tam anlamıyla GDPR uyumlu yapılar kurmaya elverişlidir.¹⁶ Dolayısıyla tıp eğitimindeki bu sorunların, Funk ve diğerlerinin önerdiği şekilde blokzinciri kullanarak çözülmesi mümkün değildir.⁶ Oysa Holochain teknolojisi ile kolayca çözülebilir.

Örneğin eğitimsel faaliyetlerin elektronik gelişim dosyaları (e-portfolio) ile takibi tıp eğitiminde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu gelişim dosyalarının içindeki veriler, üçüncü tarafların sağladığı sunucu hizmetleri kullanılarak, merkezî sunucularda barındırılmaktadır. Söz konusu sunucuların sahipleri bu verilere erişebildiği gibi, yetkili kişilerin erişim anahtarlarının bilgisayar korsanlarınca ele geçirilmesi sonucunda bütün bu veriler o korsanlar tarafından da erişilebilir hâle gelir. Dahası, merkezî bir yapıda, sıradan kullanıcıların kendi verilerine rızaları dışında ulaşılmadığından (sunucu sahiplerinden) emin olmaları oldukça zordur. Gelişim dosyalarının öğrencilerin kendilerine ait kişisel bir alan olduğu, kişisel refleksiyonlarının yer aldığı ve hasta bilgilerini de içerebi-

leceği gerçeği göz önüne alındığında, bu derecede hassas verilerin merkezî bir sunucuda barındırılma riskinin alınması kabul edilebilir değildir.²² Dolayısıyla gelişim dosyaları, verilerin kırılğan bir yapıda barındırılmadığı ve kimlerin o verilere erişebileceğinin ve eriştiğinin güvenli bir şekilde belirlenebileceği bir sistemin varlığını gerektirir.²³ Bu noktadan hareketle, eğitimsel faaliyetlerin elektronik gelişim dosyaları yoluyla takibi, Holochain temelli bir yapı sayesinde üçüncü taraf kuruluşlara güvenmek zorunda kalınmadan kolaylıkla yapılabilir. Blokzinciri teknolojisinin amaçladığı ancak ciddi teknik kısıtlılıklar nedeniyle yapamadığı şey de budur.

Holochain’in katkısı sadece gelişim dosyalarının merkeziyetsizleştirilmesi imkânından ibaret değildir. Tıp eğitimi alanında çok farklı ihtiyaçlardan dolayı üretilen elektronik verilerin hepsinin güvenliği ve mahremiyeti korunmayı gerektirir. Örneğin tıp eğitimi alanında dijital öğrenme ortamları, öğrenme analitikleri, yapay zeka kullanımı, bilim insanı olarak araştırma süreçlerinde etik gerekliliklere uyum ve hatta öğrencinin sağlığı verilerin güvenliğinden etkilenmektedir.²⁴⁻²⁸ Blokzinciri teknolojisi bu anlamda merkeziyetsiz çözümler üretmeye çalışmış olsa da, ölçeklenebilir olmadığından (kullanıcı sayısı arttıkça hızının düşüp ücretlerin artması sorunu) dolayı kullanılabilir değildir. Ancak Holochain temelli bir bulut barındırma hizmeti, hem merkeziyetsiz hem de verimli bir çözüm sunabilir.

SONUÇ

Blokzinciri teknolojisi, dağıtık defter teknolojisini ve kriptografiyi bir araya getirerek etkili olmuştur. Avantajlarına rağmen, yüksek ücret gerektirmesi ve küresel anlamdaki veri trafiğini kaldırarak düzeyde olmaması gibi ölçeklenebilirlik sorunları nedeniyle yaygın kullanılır hâle gelememiştir. Verimliliğinin artırılmasına yönelik çabalar olsa da blokzinciri teknolojisinin veri merkezli yapısı, önüne ket vurmaktadır. Daha verimli mumlar üreterek elektrik icat edilemeyeceği örneğinden yola çıkarak, veri merkezli paradigmanın dışında düşünmenin ve yeni bir bakış getirmenin gerektiği söylenebilir. Söz konusu paradigma değişimi, Holochain teknolojisi yoluyla gerçekleşebilir. Holochain, veri bütünlüğünü ve güvenliğini sağlamada blokzincirinden çok daha verimli, yeni bir teknolojidir ve veri merkezlilik yerine katılımcı merkezli (agent-centric) bakış açısını kullanır. Böylelikle, blokzinciri teknolojisinin ölçeklenebilirlik sorununu çözerek, tıp eğitimi de dâhil olmak üzere pek çok alanda önemli gelişmelere neden olabilir.

KAYNAKLAR

- Dennick R, Wilkinson S, Purcell N. Online eAssessment: AMEE Guide No. 39. *Med Teach*. 2009;31(3):192-206.
- Cook DA, Ellaway RH. Evaluating technology-enhanced learning: A comprehensive framework. *Med Teach*. 2015;37(10):961-70.
- Lee J, Wu AS, Li D, Kulasegaram K (Mahan). Artificial Intelligence in Undergraduate Medical Education: A Scoping Review. *Acad Med*. 2021;96(11S):S62-70.
- Bruwer J, Rudman R. Web 3.0: Governance, Risks and Safeguards. *JABR*. 2015;31(3):1037.
- Filippi PD, McCarthy S. Cloud Computing: Centralization and Data Sovereignty. *European Journal of Law and Technology*. 2012;3(2).
- Funk E, Riddell J, Ankel F, Cabrera D. Blockchain Technology: A Data Framework to Improve Validity, Trust, and Accountability of Information Exchange in Health Professions Education. *Acad Med*. 2018;93(12):1791-4.
- Niranjanamurthy M, Nithya BN, Jagannatha S. Analysis of Blockchain technology: pros, cons and SWOT. *Cluster Comput*. 2019;22(S6):14743-57.
- Zhang R, Xue R, Liu L. Security and Privacy on Blockchain. *ACM Comput Surv*. 2020;52(3):1-34.
- Yli-Huumo J, Ko D, Choi S, Park S, Smolander K. Where Is Current Research on Blockchain Technology?-A Systematic Review. Song H, editor. *PLoS ONE*. 2016;11(10):e0163477.
- Zhou Q, Huang H, Zheng Z, Bian J. Solutions to Scalability of Blockchain: A Survey. *IEEE Access*. 2020;8:16440-55.
- Khan D, Jung LT, Hashmani MA. Systematic Literature Review of Challenges in Blockchain Scalability. *Applied Sciences*. 2021;11(20):9372.
- Bastian-Pinto CL, Araujo FV de S, Brandão LE, Gomes LL. Hedging renewable energy investments with Bitcoin mining. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021;138:110520.
- Zaman S, Khandaker MRA, Khan RT, Tariq F, Wong KK. Thinking Out of the Blocks: Holochain for Distributed Security in IoT Healthcare. *IEEE Access*. 2022;10:37064-81.
- Zia MF, Benbouzid M, Elbouchikhi E, Muyeen SM, Techato K, Guerrero JM. Microgrid Transactive Energy: Review, Architectures, Distributed Ledger Technologies, and Market Analysis. *IEEE Access*. 2020;8:19410-32.
- Manski S. Distributed Ledger Technologies, Value Accounting, and the Self Sovereign Identity. *Front Blockchain*. 2020;3:29.
- Wahlstrom K, Ul-haq A, Burmeister O. Privacy by design: a Holochain exploration. *AJIS*. 2020;24.
- Janjua K, Shah MA, Almogren A, Khattak HA, Maple C, Din IU. Proactive Forensics in IoT: Privacy-Aware Log-Preservation Architecture in Fog-Enabled-Cloud Using Holochain and Containerization Technologies. *Electronics*. 2020;9(7):1172.
- Kıyak YS, Coşkun Ö, Budakoğlu İİ. Blokzinciri, Akıllı Kontratlar Ve Sağlık Alanındaki Üç Uygulama Örneği. *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*. 2019;22(2):457-66.
- Millard WB. Where Bits and Bytes Meet Flesh and Blood. *Annals of Emergency Medicine*. 2017;70(3):A17-21.
- Maggio LA, Dameff C, Kanter SL, Woods B, Tully J. Cybersecurity Challenges and the Academic Health Center: An Interactive Tabletop Simulation for Executives. *Acad Med*. 2021;96(6):850-3.
- Walsh K. Could blockchain be applied to healthcare professional education? *The BMJ*. 2019.
- Moore A, Parks M. Twelve tips for introducing E-Portfolios with undergraduate students. *Med Teach*. 2010;32(1):46-9.
- Ellaway R, Masters K. AMEE Guide 32: e-Learning in medical education Part 1: Learning, teaching and assessment. *Med Teach*. 2008;30(5):455-73.
- Thoma B, Turnquist A, Zaver F, Hall AK, Chan TM. Communication, learning and assessment: Exploring the dimensions of the digital learning environment. *Med Teach*. 2019;41(4):385-90.
- ten Cate O, Dahdal S, Lambert T, Neubauer F, Pless A, Pohlmann PF, et al. Ten caveats of learning analytics in health professions education: A consumer's perspective. *Med Teach*. 2020;42(6):673-8.
- Webster CS. Artificial intelligence and the adoption of new technology in medical education. *Med Educ*. 2021;55(1):6-7.
- Masters K. Ethics in medical education digital scholarship: AMEE Guide No. 134. *Med Teach*. 2020;42(3):252-65.
- Gengoux GW, Roberts LW. Ethical Use of Student Profiles to Predict and Prevent Development of Depression Symptoms During Medical School: *Acad Med*. 2019;94(2):162-5.