

Sağlıkta Blokzincir Tabanlı Sis Bilişimi Uygulamaları

Blockchain-based Fog Computing Applications in Healthcare

Beyhan ADANUR
Bilgisayar Mühendisliği
Abdullah Gül Üniversitesi
Kayseri, Türkiye
beyhan.adanur@agu.edu.tr

Burcu BAKIR-GÜNGÖR
Bilgisayar Mühendisliği
Abdullah Gül Üniversitesi
Kayseri, Türkiye
burcu.gungor@agu.edu.tr

Ahmet SORAN
Bilgisayar Mühendisliği
Abdullah Gül Üniversitesi
Kayseri, Türkiye
ahmet.soran@agu.edu.tr

Özetçe— Son zamanlarda blokzincir teknolojisinin sağlık alanında kullanımı artmıştır. Blokzincir teknolojisinin sağlık alanına getirdiği birçok yenilik olmasına rağmen, halen çözülmeyi bekleyen problemleri mevcuttur. Bu problemlere alternatif çözümler getirmesi amacıyla, sis bilişimin blokzincir teknolojisi ile birlikte kullanılması gündeme gelmiştir. Bu çalışmada, blokzincir tabanlı sis bilişim teknolojisinin sağlık alanındaki uygulamaları incelenmektedir. Sunulan çalışmanın amacı, sağlık alanında, blokzincir ve sis bilişiminin etkileşimli bir şekilde kullanımı hakkında okuyucuların fikir edinmelerini sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda öncelikle, sis bilişimi ve blokzincir teknolojileri tanıtılmıştır. Sonrasında, alanların birbirlerine entegrasyonu, bu teknolojilerin beraber kullanımının sağlık alanına getirdiği avantajlar ve dezavantajlar tartışılmış ve bu teknolojilerin beraber kullanımlarına dair sistem önerisinde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler — blokzincir, sis bilişimi, elektronik sağlık kaydı, genomik

Abstract— Recently, the use of blockchain technology in the field of healthcare has increased. Although blockchain technology brought several innovations to healthcare, still there are problems waiting to be resolved. In order to provide alternative solutions to these problems, the use of fog computing together with blockchain technology has been proposed. In this study, the applications of blockchain based fog computing technology in healthcare are investigated. The aim of this study is to provide the readers an idea about the interactive use of blockchain and fog computing in the field of healthcare. For this purpose, firstly, fog computing and blockchain technologies are introduced. Afterwards, the integration of these areas, the advantages and disadvantages of using these technologies in the field of healthcare is discussed and a new system architecture is proposed.

Keywords — blockchain, fog computing, electronic health record, genomics

I. GİRİŞ

Dünya baş döndürücü bir hızda değişip gelişirken, teknolojinin bu ilerleme sürecine sağladığı katkı göz ardı edilemez boyuttadır. Günümüzde teknoloji, hayatımızın her alanında etkin bir rol oynamaktadır. Hangi iş alanı olursa olsun, insanların çalışma alışkanlıkları, bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişmesiyle beraber sürekli bir değişim içerisinde. Her değişim bir amaç doğrultusunda yapılır,

kişilere yenilik ve kolaylık sunmaktadır. Bu yeniliklere ayak uydurmak ve getirdiği avantajları iş süreçlerine dahil etmek de son derece önemli bir konudur. Son zamanlarda, farklı yaklaşım tarzıyla, blokzincir (blockchain) teknolojisi var olan iş süreç problemlerine çözümler sunmaktadır [1]. Blokzincir teknolojisinin en bilinen uygulama alanı kripto paralar olsa da, bu teknolojinin sadece kripto paralarla ilgili olmadığı, içerisinde birden çok teknolojiyi barındırdığı hususunun farkında olunmalıdır [2]. Hesaplama gücüne dayanan blokzincir teknolojisinin sağlık alanı dahil olmak üzere çeşitli alanlarda kullanımı yaygınlaşmış ve popüler hale gelmiştir. Yaşam bilimleri çalışmalarında genomik veri ve elektronik sağlık kayıtlarının paylaşılması önemli bir rol oynamaktadır. Bu tarz veriler kullanılarak, hastalıklar, kişilere zarar vermeden önce tahmin edilebilmekte, kişiye özel ilaçlar ve tedavi yöntemleri geliştirilebilmekte ve son olarak uzaktan hasta durum takibi yapılabilmektedir [3]. Fakat genomik veri ve elektronik sağlık kayıtlarının paylaşılmasını engelleyen gizlilik, güvenlik, analiz maliyeti, veri sahipliği, depolama gibi konularda bazı çözümleri gereken sorunlar vardır. Bu sorunları yenilikçi yaklaşımla çözmek için araştırmacılar blokzincir teknolojisine yönelmişler, ve çeşitli platformlar geliştirmişlerdir [4].

Blokzincir teknolojisinin platformlar üzerindeki olumlu getirilerine rağmen; değişiklik yönetimi, regülasyonlar, performans, ölçeklenebilirlik ve güvenlik konusunda tam verimlilik söz konusu değildir. Özellikle sağlık verisi depolama ve hasta durum izleme platformlarındaki verimliliğin tam olarak sağlanabilmesi için, sis bilişimin [5] blokzincir teknolojisi ile entegrasyonu sonucu oluşan yeni platformlar üzerinde çalışılmaya başlanmıştır. Bu sayede, sistemlerin daha güvenli hale geldiği ve iş yükünün hafiflediği bildirilmektedir. Bu çalışmada, blokzincir tabanlı sis bilişim teknolojisinin sağlık alanındaki tüm uygulamalarını göstermekten ziyade, teknolojinin genel işleyişinin, getirdiği çözümlerin ve özelleşmiş kullanım alanlarının gösterilmesi hedeflenmiştir. Bu iki teknolojinin sağlık alanındaki uygulamalarda birleştirilmesinin gündeme yeni gelmesi nedeniyle, biz bu çalışmada, sis bilişimin blokzincir teknolojisi ile entegrasyon mimarileri önererek, araştırmacılara olası çalışma alanları göstermeyi amaçladık.

II. BLOKZİNCİR VE SİS BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ

Bu kısımda, blokzincir teknolojisinin ve sis bilişimin tanımları yapıp, genel yapılarından kısaca söz edilmektedir. Blokzincir, blokların zincir şeklinde birbirine bağlanarak oluşturduğu kayıt defteridir. Bu dağıtık sistem tahrip edilemez, ve merkezi bir yönetici olmaksızın tüm katılımcıların ortak bir karar almasına olanak sağlayan bir yöntemle yönetilir. Her blok, bir önceki bloğun kriptografik özet (hash) fonksiyonunu, bir zaman damgasını, ve işlem verisini içerir. İşlemlerin bloklara yazılabilmesi için sistem tarafından onaylanmaları gerekmektedir. Doğrulama mekanizmasında ise sistem kullanıcıları yer alır [6]. Blokzincir teknolojisinin sağlık alanında kullanılan en bilinen uygulamaları, Ethereum [7] ve Hyperledger [8] teknolojileri üzerinde kurgulanmıştır. Bu iki teknoloji de akıllı sözleşme tabanlıdır [9]. Genellikle, genomik veri içeren projelerde Ethereum tercih edilirken, sağlık temelli projelerde Hyperledger teknolojisi tercih edilmektedir.

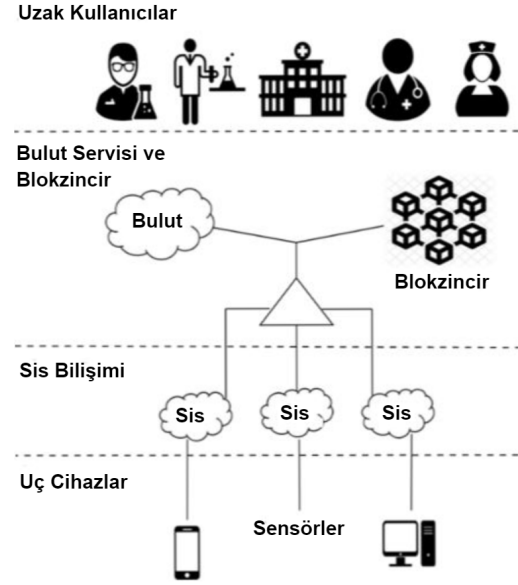
Sis bilişimi, uç cihazların ürettikleri verileri merkezi bir sunucuya gönderip, orada işlenmesini sağlayan klasik işleyişin [10] yerine, verilerin önce yerel bir lokasyonda ön işleme tabi tutulup, sadece gerekli olan kısmının merkezi sunuculara gönderilmesini sağlayan görece yeni bir mimaridir. Bu mimarinin temelinde, veri hiçbir zaman tek bir yerde bütün halde bulunmamaktadır. Böylelikle, veriler üretildikleri yere daha yakın alanlarda işlenir, yüksek bant genişliği ve merkezi sunucuya bağımlılık ihtiyacı azalır, işlemler daha güvenli ve gizli bir ortamda gerçekleşir. Bu sistem, gerçek zamanlı veri işlemenin önemli olduğu durumlarda tercih edilip, bulut teknolojisinin sağlayamadığı olanakları sağlamaktadır [11].

III. SAĞLIK ALANINDA VAR OLAN SİSTEMLER

Sağlık alanı için geliştirilen blokzincir tabanlı çok sayıda uygulama mevcuttur. Uygulamalar şu şekilde kategorize edilebilir [12]: a) Genomik Veri Paylaşım Platformları [13], [14], b) Elektronik Sağlık Kaydı Paylaşım Platformları [15], [16], c) Nesnelerin İnterneti ile Hasta Durum Takip Platformları [17], [18], d) Sağlık Servis Primleri için Ödeme Sistemleri, e) İlaçta Sahtekarlık Takip Sistemleri [19], [20]. Aynı şekilde sağlık alanı için geliştirilen sis bilişimi tabanlı çok sayıda uygulama mevcuttur ve bu uygulamalar şu şekilde sınıflandırılabilir [21]: a) Nesnelerin İnterneti ile Hasta Durum Takip Platformları [22], [23], [24], b) Elektronik Sağlık Kaydı Depolama Platformları, c) Genomik Analiz Platformları [25]. Bu belirtilen kategorilere bakıldığında, nesnelerin interneti ile hasta durum takibi, elektronik sağlık kaydı depolama ve genomik analiz platformları için hem blokzincir, hem de sis bilişimi çeşitli çözümler sunmaktadır. Son zamanlarda, daha verimli platformların elde edilebilmesi için her iki teknolojinin de avantajlarından yararlanan platformlar geliştirilmeye başlanmıştır [26], [27]. Şekil 1.'de sis bilişimi ve blokzincir tabanlı hasta durum takip platformunun genel yapısı gösterilmektedir. Örneğin, [28] nolu çalışmada, şeker hastalarının durumlarını takip etmeyi sağlayacak sis bilişim ve

blokzincir tabanlı bir platform geliştirilmiştir. Bu uygulamada öncelikle hastalara, kandaki şeker seviyesinin ölçülmesini sağlayacak CGM (Continuous Glucose Monitor)

sensörü bağlanmaktadır. Bu uygulamada, sensörlerden gerçek zamanlı



Şekil 1. Sis bilişimi ve blokzincir tabanlı hasta durum takip platformlarının genel yapısı

veri akışı olacaktır, ve bu durum, fazla miktarda verinin anlık transferine bir çözüm üretilmesini gerekli kılacaktır. Sisteme sensörlerden gelen verileri, sunucu bağımlılığı olmaksızın hastaların telefonları toplamaktadır. Bu aşamadan sonra, gelen verilerin bir lokasyonda kaydedilmesi gerekmektedir. Sis bilişimi sayesinde, hastaların sensörlerden gelen verileri kaydedilmeden önce, kendi telefonlarında bir ön işleme tabi tutulmaktadır. Hastanın kandaki glikoz seviyesi ne zaman normal sınırın üzerine çıkar veya altına düşerse değerler kaydedilme aşamasına geçer. Bu sayede, veri miktarı azalır, veri yakın yerlerde işlenir, gerekli olan bant genişliği azalır ve işlemler daha hızlı gerçekleşir. Kayıt aşaması hastanın isteğine göre, iki senaryodan oluşmaktadır. Birinci senaryoda, veriler bulut'a kaydedilir; verinin yönetimi ve uzak kullanıcılar ile paylaşım süreci, blokzincir tarafından yönetilir. İkinci senaryoda ise veriler, direkt olarak blokzincir üzerinde tutulmaktadır. Bu uygulamada blokzincir sisteme kazandırdığı şeyler; verilerin gizliliğinin ve güvenliğinin artması, uzak kullanıcılar ve hastalar arasındaki iletişimin kolaylaşması, veri yönetiminin tamamen hasta tarafından yönetilmesidir. Normal dışı olan değerler, eş zamanlı olarak hem hastaya, hem de doktora uyarı mesajı ile bildirilmektedir. Unutulmamalıdır ki, uyarıların gecikme olmadan yapılması da çok önemlidir. Aynı platform, farklı hastalıklar için geliştirilen farklı sensörlerle de çalışabilir. Yeni nesil dizileme (YND) teknolojileri kullanarak insan genomunu analiz eden cihazlar henüz taşınabilir boyutta olmasa da, genomu daha küçük ve daha az karmaşık olan diğer organizmalar için durum böyle değildir. Günümüzde Oxford Nanopore MinION gibi, düşük çözünürlükte çalışan ama taşınabilir olan YND cihazlarıyla, bakteri topluluklarının metagenomik analizleri yapılabilmektedir. Bu tarz analizler sayesinde, ortamda bulunan bakteri toplulukları tespit edilip, gerekli önlemler alınabilmektedir. Fakat dizileme analizleri için

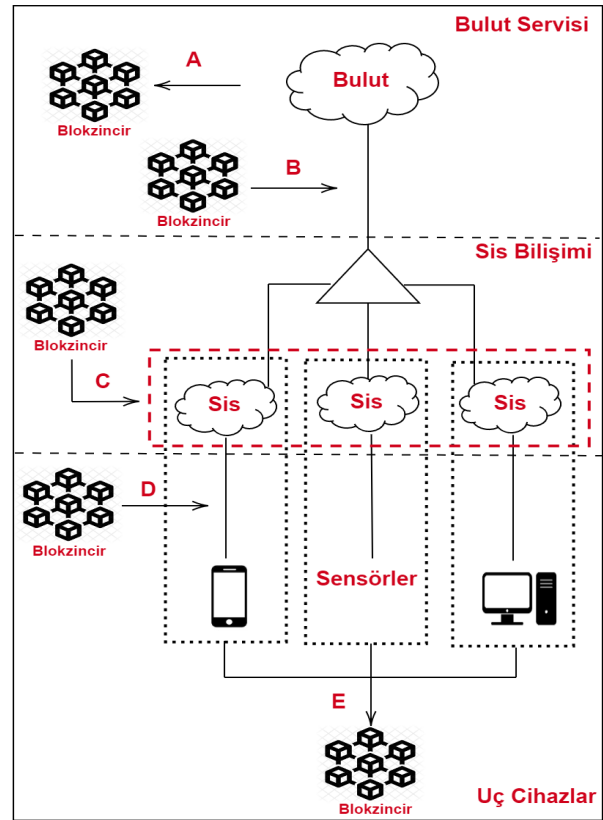
harcanan enerji ve cihazlardan üretilen veriler çok büyük miktarlardadır. Ortamdaki bakteri topluluklarının tespiti için geliştirilen sis bilişim tabanlı bir uygulama günümüzde mevcuttur [25]. Bu uygulamada, öncelikle MinION cihazları tarafından veriler üretilir. Daha sonra sis bilişim düğümleri olarak görev yapan ve gelen sinyalleri genomik dizileri elde etmek için yorumlayan System-on-Chip (SoCs) cihazları devreye girmektedir. SoCs tarafından yorumlanan ve ilgili kısımların seçildiği diziler ayırt edildikten sonra makine öğrenmesine tabi tutulur. Buradaki en büyük avantaj, analiz sürecinin hızlanıp enerji tasarrufunun sağlanmasıdır. Bu aşamada blokzincir teknolojisi, genomik veri güvenliğinin ve gizliliğinin artırılması amacıyla sis bilişim düğümlerinin yönetiminde sisteme dahil edilebilmektedir.

Elektronik sağlık kayıtlarının yönetilmesindeki en büyük problem den birincisi, kayıtlara istenildiği anda erişimin zor ve yavaş olmasıdır. Hasta sonuçlarına istenilen her zaman hızlıca ulaşmak ve değerlendirmek, hastalık teşhisi ve tedavisi konusunda bazı durumlarda, hasta için hayati önem taşımaktadır. Ayrıca sağlık kayıtlarının kişilerin hayatları hakkında gizli bilgileri barındırdığı göz ardı edilmemeli, veri yönetiminin kontrol edildiği ve yetkisiz erişimlerin engellendiği garanti edilmelidir. Bu amaç doğrultusunda, elektronik sağlık kayıtlarının yönetilmesi ile ilgili problemlere sis bilişim ve blokzincir teknolojisi ile çözüm getiren projeler geliştirilmiştir [29]. Genomik analiz ve hasta durum takibi yapan sistemlerde bulunan sensörlerin aksine burada veriler laboratuvarlar veya hastaneler tarafından üretilmektedir, sis bilişim düğümleri tarafından ön işleme tabi tutulmaktadır ve daha sonra kişilerin istediği bulut düğümlerine kaydedilmektedir. Bu aşamadan sonra veri yönetimi, veri sahiplerinin yükümlülüğüne geçmektedir. Sonuç olarak, burada örnekleri sunulan, sis bilişim ve blokzincir teknolojilerini beraber kullanan sistemlerin, sağlık alanında çözüm ürettiği konular farklı olsa da, hepsinin işleyiş aşamalarının benzer olduğu söylenebilir.

IV. ÖNERİLEN SİSTEM MİMARİLERİ

İnsan popülasyonundaki ve kronik hastalıkların sayısındaki artış nedeniyle, birçok ülke sağlık alanında çeşitli sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu sebeplerden dolayı sağlık alanında, bilgi merkezli sağlık sunum modelleri tercih edilmektedir. Bu modeller; nesnelere interneti ile hasta durum takibi, elektronik sağlık kaydı depolama ve paylaşım platformları, ve genomik veri analiz ve paylaşım platformları olarak kategorize edilmektedir. Belirtilen modeller sayesinde hastalıklar kişilere zarar vermeden önce tespit edilebilmekte, kişiye özel ilaçlar ve tedavi yöntemleri geliştirilerek hastaların yaşam koşulları iyileştirilmektedir. Bu sağlık platformlarının verimli olarak çalışabilmesi için bazı çözülmeyi bekleyen hassas konular vardır. Bunlardan ilki, kaydedilecek olan veri boyutunun çok fazla olmasıdır. Sensörlerden veya analiz sonuçlarından elde edilen verilerin işlenmesi ve iletimi için gerekli olan bant genişliği de verilerin boyutuyla doğru orantılı olacak şekilde artmaktadır. Bununla bağlantı olarak, verilerin işleme hızı düşmekte, gecikmeler yaşanmakta, sistemin iş yükü ve harcanan enerji artmaktadır. Klasik işleyişte, analizler

sonucunda elde edilen veriler ya hastanelerin ya da laboratuvarların merkezi sunucularında tutulmaktadır. Bunun doğal sonucu olarak veri yönetimi ve kontrolü de, hastaneler veya laboratuvarlar tarafından sağlanmaktadır. Sağlık verileri kişilerin geçmişi, şimdiki ve gelecekteki hayatı ile ilgili gizli bilgiler içermektedir. Devlet yöneticileri ve veri sahipleri, sağlık verilerinin gizliliği ve güvenliği konusunda son derece temkinli davranmalıdırlar. Verilerin paylaşılması ve işlenmesi aşamasında kişilerin kimliklerinin gizli kalması, yetkisiz erişimlerin engellenmesi ve verilerin sadece veri sahipleri tarafından yönetilmesi günümüzde halen üzerinde çalışılan aktif bir araştırma alanıdır.



Şekil 2. Blokzincir teknolojisinin sis bilişimi ile birlikte kullanımı için olası sistem şemaları

Bu incelemede elde ettiğimiz çıkarımlara göre blokzincir ile sis bilişimin birlikte kullanımı için Şekil 2'de sunulan sistemleri önermekteyiz. Klasik sis bilişimi işleyiş şemasına blokzincir entegrasyonu beş şekilde gerçekleşebilir. Şekil 2A'da gösterilen birinci entegrasyon modeline göre, sis bilişim düğümlerinden elde edilen veriler, bulut bilişime kaydedilmek yerine direkt olarak blokzincir üzerinde tutulur. Şekil 2B'de önerilen modelde ise, sis bilişim düğümlerinden elde edilen verilerin bulut bilişime kaydedilme süreci yönetimi blokzincir ile sağlanmaktadır. Şekil 2C'de önerilen modelde sis bilişim düğümlerinin yönetimi blokzincir tarafından yapılmaktadır. Şekil 2D'de gösterilen model, sis düğümleri ile sensör düğümleri arasındaki bağlantı yönetimi için blokzincir entegrasyonunu önermektedir. Bu modelde, blokzincir üzerinde veri log kayıtları tutulmaktadır. Son olarak, Şekil

2E’de sunulan modelde ise, her sensör ve sis düğümlerinden oluşan alt ağlar için ayrı bir blokzincir önerilmektedir. Böylelikle, sis bilişim süreçleri dağıtık olarak gerçekleştirilebilir.

V. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, sağlık uygulamalarındaki gereklilikleri yenilikçi bir yaklaşımla çözmeyi hedefleyen blokzincir tabanlı sis bilişimi uygulamaları incelenmiş ve bu teknolojilerin beraber kullanımlarına dair sistem önerisinde bulunulmuştur. Yapılan incelemelere göre, alanın yeniliği sebebiyle, mevcut çalışma sayısı çok azdır. İncelenen platformlara bakıldığında, sistemlerin işlediği konular farklı olsa da, hepsinin işleyişi genel olarak benzerdir. Uygulamalarda, kaydedilecek veri boyutunun, iletim için gerekli olan bant genişliğinin, verilere erişimde yaşanacak gecikmelerin, sistem iş yükünün ve veri yönetimi için harcanan enerjinin azaltılması; veri işleme hızının artırılıp merkezi sunucuya bağımlılığın kaldırılması amacıyla, sis bilişim tercih edilmektedir. Verilerin gizlilik ve güvenliğinin sağlanması, veri yönetim sürecinin daha işlevsel hale gelmesi, veri erişim ve yönetim izinlerinin sadece veri sahipleri tarafından yapılması, uzak kullanıcılar ve veri sahipleri arasındaki iletişimin daha hızlı ve güvenilir hale gelmesi amacıyla da blokzincir kullanılmaktadır. Bununla beraber, sis bilişiminin veri işlem hızını ve kapasitesini artırmasına rağmen, büyük ağlarda veri bütünlüğünü sağlaması daha fazla alt yapı ve daha fazla yatırım gerektirebilir. Sis bilişiminin bir başka dezavantajı ise, cihazlar arası çok fazla sayıda bağlantı olması sebebiyle, kesinti noktalarının artmasıdır. Blokzincir teknolojisi konusunda tartışılan en önemli dezavantaj ise, teknolojinin güncel haliyle artan ölçekteki ihtiyaçları karşılayabilecek bir teknik altyapı olup olmadığıdır. Bu yüzden, blokzincir teknolojilerinin performansı ve ölçeklenebilirliği, üzerinde fazlaca çalışılan bir konudur. Her iki teknolojinin beraber kullanılmasıyla elde edilecek kazanç göz önünde bulundurulduğunda, bu dezavantajlar göz ardı edilebilir. Sonuç olarak, sis bilişiminin ve blokzincir teknolojisinin sağlık alanında kullanılmasıyla, bu alanda yapılan harcamalardan tasarruf edilebilir, hastalara gereksiz muayene ve tahlil yapılmasının önüne geçilebilir, kişilerin yaşam kalitesi artırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Tanriverdi, M., Uysal, M., Üstündağ, M. “Blokzincir Teknolojisi Nedir? Ne Değildir?: Alanyazın İncelemesi”, Bilişim Teknolojileri Dergisi, 12 (3), 203-217, 2019.
- [2] Ünsal, E. And Kocaoğlu, Ö. “Blokzincir Teknolojisi: Kullanım Alanları, Açık Noktaları ve Gelecek Beklentileri”, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (13), 54-64, 2018.
- [3] Diniz W. and Canduri F. “Bioinformatics: an overview and its applications”, Genetics and Molecular Research, 31 16(1), 2017.
- [4] Saha A., Amin R., Kunal S., Vollala S., Dwivedi S. K. “Review on Blockchain technology based medical healthcare system with privacy issues”, 1–14, 2019.
- [5] Yi, S., Li, C., Li, Q. “A survey of fog computing: concepts, applications and issues”, In Proceedings of the 2015 workshop on mobile big data.
- [6] Sultan K., Ruhi U., Lakhani R. “Conceptualizing Blockchains: Characteristics & Applications”, arXiv preprint arXiv:1806.03693, 2018.
- [7] <https://www.ethereum.org/>
- [8] <https://www.hyperledger.org/>
- [9] Christidis K. And Member G. S. “Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things”, Ieee Access, 4, 2292-2303, 2016 .
- [10] Langmead B. and Nellore A. “Cloud computing for genomic data analysis and collaboration”, Nature Reviews Genetics 19: 2018.
- [11] Atlam, H., Walters, R., Wills, G. “Fog computing and the internet of things: a review”, big data and cognitive computing, 2(2), 10, 2018.
- [12] Khezr, S., Moniruzzaman, M., Yassine, A., Benlamri, R. “Blockchain Technology in Healthcare: A Comprehensive Review and Directions for Future Research” Applied Sciences, 9(9), 1736, 2019.
- [13] Grishin D., Obbad K., Estep P., Cifric M., Zhao Y., Church G. “White Paper: Nebula Genomics; Blockchain-enabled genomic data sharing and analysis platform”, Harvard University, 2018.
- [14] Kulemin N., Popov S., Gorbachev A. “The Zenome Project : Whitepaper blockchain-based genomic ecosystem”, 2017.
- [15] e-Estonia. “F. A. Questions; Estonian blockchain technology”, 2012
- [16] Lipman, A. Ekblaw, B. Johnson, A. Camaron, K. Retzepi, N. Nchinda. “Technical Documentation: Medrec”, MIT Media Lab. 1–9, 2017.
- [17] Medicalchain. “Whitepaper: Medicalchain 2.1”, 1–42, <https://medicalchain.com/Medicalchain-Whitepaper-EN.pdf>, 2018.
- [18] Goldwater, J.C. “The Use of a Blockchain to Foster the Development of Patient-Reported Outcome Measures”, 2016
- [19] Taylor P. “Applying blockchain technology to medicine traceability”, [Online]: <http://goo.gl/r6cTN3> (2018).
- [20] Hoy, M. B. “An introduction to the blockchain and its implications for libraries and medicine”, Medical reference services quarterly, 2017.
- [21] Kraemer F. A., Braten A. E., Tamkittikhun N., Palma D. “Fog Computing in Healthcare — A Review and Discussion”, IEEE Access 5: 9206–9222, 2017.
- [22] Paul A., Pinjari H., Hong W., Seo H. C., Rho S. “Fog Computing-Based IoT for Health Monitoring System”, Journal of Sensors, 2018.
- [23] Verma P. And Sood S. K. “Fog Assisted- IoT Enabled Patient Health Monitoring in Smart Homes” IEEE Internet of Things Journal, 2018.
- [24] Vora, J., Tanwar, S., Tyagi, S., Kumar, N., Rodrigues, J. J. “FAAL: Fog computing-based patient monitoring system for ambient assisted living”, IEEE 19th international conference on e-health networking, applications and services (Healthcom), 1-6, 2017.
- [25] Merelli I., Morganti L., Corni E., Pellegrino C., Cesini D. et al. “Low power portable devices for metagenomics analysis: Fog computing makes bioinformatics ready for the Internet of Things”, Future Generation Computer Systems, 88, 467–478, 2018.
- [26] Islam N., Faheem Y., Ud I., Talha M. “A Blockchain-based Fog Computing Framework for Activity Recognition as an Application to e-Healthcare Services”, Future Generation Computer Systems, 2019.
- [27] Rahman, M. A., Rashid, M., Barnes, S., Hossain, M. S., Hassanain, E., Guizani, M. “An IoT and blockchain-based multi-sensory in-home quality of life framework for cancer patients”, 15th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference , 2019.
- [28] Fernández-Caramés, T. M., Froiz-Míguez, I. Et al. “Enabling the internet of mobile crowdsourcing health things: A mobile fog computing, blockchain and IoT based continuous glucose monitoring system for diabetes mellitus research and care”, Sensors, 19(15), 2019.
- [29] Silva, C. A., Aquino, G. S., Melo, S. R., & Egidio, D. J. “A Fog Computing-Based Architecture for Medical Records Management”, Wireless Communications and Mobile Computing, 2019.
- [30]