

Article Arrival Date

Article Type

Article Published Date

07.09.2022

Research Article

20.12.2022

SAĞLIK SİSTEMLERİ İÇİN ETKİLEŞİMLİ PLATFORM VE YASAL KAYIT***INTERACTIVE PLATFORM AND LEGAL REGISTRATION FOR HEALTH SYSTEMS****Ayşe KAHVECİ YETİŞ¹****Kübra ŞAHİN²****Tuncay ERCAN³****ONUR TOKEL⁴****BİRCAN YÜRÜK⁵**¹Panates Bilgi Teknolojileri A.Ş., 0000-0002-0832-892X²Panates Bilgi Teknolojileri A.Ş., 0000-0002-8437-2746³Doç.Dr., Yaşar Üniversitesi, 0000-0003-0014-5106⁴Panates Bilgi Teknolojileri A.Ş., 0000-0002-1962-0432⁵Panates Bilgi Teknolojileri A.Ş., 0000-0002-5763-2426

* IV. Uluslararası Sağlık, Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi'nde özet bildiri olarak sunulmuştur.

ÖZET

Sağlık ve bilgi teknolojileri, COVID-19 pandemisiyle beraber uzaktan tıbbi hizmetlerin sunulmasını kolaylaştırmıştır. Mevcut teknolojiler, bir hastanın başka ortamdaki doktor tarafından etkileşimli olarak muayene edilmesine olanak sağlamaktadır. Böyle bir sistemi kullanacak olan kurum (sağlık-sağlık sigortası)-doktor-hasta üçlüsü arasında muayene, tetkik ve tedavide hastalara sunulan sağlık hizmeti süreçlerinde mahremiyetlerinin korunması son derece önemlidir. Çevrimiçi muayene sonucu oluşan verilerin işlenmesi ve kayıt altına alınması, Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK) ve Avrupa Birliği'nde geçerli olan Genel Veri Koruma Tüzüğü (GDPR) kurallarına uygun olmak zorundadır. Bu çalışmada, sağlık sistemleri için etkileşimli platform geliştirilmiş, akıllı sözleşmeler ve blokzincir kullanılarak kayıtların yasal olması sağlanmıştır. Böylece doktor-hasta görüşmelerindeki verilerin erişilemez ve değiştirilemez olması, bu verilerin güvenli bir şekilde depolanması ve izinsiz erişimin engellenmesinin yanında, kayıtların hukuki delil olarak kullanılabilmesi sağlanacaktır.

Anahtar kelimeler: E-sağlık hizmetleri, Akıllı Sözleşmeler, Hyperledger Fabric, Güvenilir Sağlık Bilişimi, Blokzincir.

ABSTRACT

Health and information technologies have facilitated the delivery of remote medical services with the COVID-19 pandemic. Current technologies allow a patient to be examined interactively by a doctor in another setting. It is extremely important to protect the privacy of the institution (health-health insurance)-doctor-patient trio that will use such a system, during the health service processes offered to patients during examination, examination and treatment. The processing and recording of the data generated as a result of the online inspection must comply with the Law on the Protection of Personal Data (KVKK) and the General Data Protection Regulation (GDPR) valid in the European Union. In this study, an interactive platform was developed for health systems, and legal records were ensured by using smart contracts and blockchain. Thus, it will be ensured that the data in doctor-patient interviews are inaccessible and unchangeable, that these data are stored securely and that unauthorized access is prevented, and that the records can be used as legal evidence.

Keywords: E-health Services, Smart Contracts, Hyperledger Fabric, Trusted Healthcare Computing, Blockchain.

1. GİRİŞ

Bilgi sistemleri ve iletişim teknolojilerinin gelişmesi, pek çok alanda olduğu gibi sağlık alanında da yeniliklere imza atmıştır. Son zamanlarda yaygınlaşan ve dünya genelini etkileyen pandemi süresinde ve sonrasında daha da benimsenen çevrimiçi sistemler bu yeniliklerden biridir. Sağlık alanında

doktor-hasta görüşmelerinin çevrimiçi ortamlarda eş zamanlı gerçekleştirilmesi doktor-hasta ilişkisine yeni bir boyut kazandırmıştır. Bu durum ayrıca sağlık kurumları ve sağlık sigorta şirketleri üzerindeki fazla zaman ve personel kullanımı gibi ilave yükleri de önemli derecede düşürebilmektedir. Bu önemli gelişme aynı zamanda olası yeni sorunlara karşı çözüm arayışı ihtiyacını da gün yüzüne çıkarmıştır. Bu sorunların en önemlilerinden birisi, hasta mahremiyeti olarak özetlenen ve hastalara ait bilgileri içeren verilerin çokluğu ve gizliliğidir. Çevrimiçi sistemlerde oluşan video/ses kayıtlarının depolanması, hastaya ait bilgiler gibi verilerin tamamı büyük boyutlu verileri içerecektir ^[1]. Sağlık kayıtlarının, dünya genelinde büyük veri merkezlerinde saklanacağı düşünülmekte, ayrıca bu veri merkezlerinin hastalar, doktorlar, sağlık kuruluşları, eczaneler ve sigorta kurumları arasında veri alışverişinin gerçekleştirilmesi için kaynak teşkil edeceği de öngörülmektedir ^[2]. Bu noktada dikkat edilmesi gereken unsur, verilerin gizliliği, erişilemez ve değiştirilemez olmasının bir şekilde sağlanmış olması gerekliliğidir. Verilerin muhafaza edilmesi, tedavi sürecinin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi, ileride ortaya çıkabilecek anlaşmazlıklar esnasında hukuksal delil niteliğinde kullanılması için büyük önem taşımaktadır ^[3].

Giderek gelişen ve her alanda yeni gelişmelerin öncüsü olan teknoloji, e-sağlığın merkezi olarak kabul edilebilir. E-sağlık sistemlerinin yalnızca mesleki eğitim ve ulusal protokollere bağlı kalmadan, küresel düzenleme ve yasalarla birlikte çalışabilir olması gerekir. Bu durum farklı e-sağlık sistemlerindeki veri alışverişlerinin, farklı yetki alanları içindeki ağlarda gerçekleştiğini ortaya koyar ^[4].

Verilerin güvenliği ve depolanması, literatürde çok sayıda çalışmanın ana konusu olmuştur. Literatürde yer alan bir çalışmada, e-sağlık sistemlerinin temel bir takım etik ilkelere dayandırılması gerektiği yer almaktadır. Çalışmada sağlık alanında büyük önem taşıyan elektronik verilerin kullanılmasının karmaşık yapıda olması, standart dışı olması, yasal engeller gibi çeşitli nedenlerle önyargı oluşturduğundan bahsedilmektedir. Yayında bu durumlara çözüm olarak sağlık verilerinin kaydedilmesi ve depolanmasının belirli bir çerçevede standart hale gelmesi tavsiye edilmiştir. Sağlık çalışanlarının, elektronik kayıt sistemlerine ve burada yer alan verilerin kullanımına hakim olabilmesi için bilgi teknolojileri konularında gerekli eğitimlerle donatılması gerekmektedir ^[5].

Ancheta vd., tarafından yapılan bir çalışmada, Pandemi gibi durumlarda fiziksel kısıtlamalar ve mali sorunlar yaşayan hastalar için çevrimiçi doktor-hasta danışmanlığının, mobil ve web tabanlı platformlarda gerçekleşmesi için bir platform önerilmiştir. Bu çalışmanın amacı tıbbi hizmetin maliyetinin düşürülmesi ve doktor-hasta-kurum gibi muhatapların zaman kaybının önlenmesidir. Bunun için Manila Üniversitesi'nde bulunan bir klinik kullanılmış, danışan hastalar çevrimiçi rezervasyon ve randevu zamanlaması için Microsoft Bookings kullanarak tercih ettikleri saat ve tarihte randevu alabilmişlerdir. Hastaların bu mobil uygulama sayesinde doktor veya hemşire tarafından yapılan duyurulardan haberdar olacağı ifade edilmiştir ^[6].

J. M. Cann vd., tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, kronik ağrısı olan çocuklar için interaktif bir değerlendirme sistemi üzerinde durulmuştur. Çalışmada 3 ay veya daha uzun süren ağrıların kronik ağrı olarak tanımlandığına, kronik ağrıların büyüme çağındaki bireyler için yaygın bir şikâyet olduğuna yer verilmiştir. Ayrıca çalışmada Amerika'da yapılan bir anket sonucuna da yer verilmiştir. Sonuçlara göre ankete katılanların yaşadıkları ağrılar değerlendirildiğinde yaşanan bölgesel ağrıların sırasıyla sırt, bacak-ayak, kol-el ve baş ağrısı olduğu bilgisi belirtilmiştir ^[7]. Çalışmadaki hedef bir çocuğun, normal ağrı sürecinde yerel hastane ya da kliniğe gitmesine ve bir anketle şikayetlerini bildirmesine gerek olmadan; ağrı araştırma merkezleri tarafından hazırlanan çevrimiçi anketlerin doldurulması ile anketler aracılığıyla toplanan verilerin analizi, özetlenmesi, tanımlanması ve değerlendirilmesi sonucu kullanıcılara geri dönüşlerde bulunulacak ve bilgi verecek bir sistemin oluşturulmasıdır. İstemci-sunucu mimarisi çerçevesinde geliştirilen sistem kullanıcı, bakıcı, araştırmacı ve yöneticilerin farklı arayüzlerden erişimlerine olanak sağlayacaktır ^[8].

M. Uddin ve arkadaşları, elektronik hasta kayıtlarının paydaşlar arasındaki paylaşımını incelemişlerdir. Çalışma, bu verilere erişimin kontrollü gerçekleştirilmesi, mahremiyet ve gizlilik gibi konularda mevcut sistemlerin yetersizliklerine dikkat çekilmiştir. Bu sorunun çözümü için farklı elektronik sağlık kayıtları sistemleri için bir Hyperledger Fabric mimarisi önerilmiştir. Önerilen mimaride sağlık hizmeti paydaşlar araştırmacı, sigorta şirketi, laboratuvar, eczane, merkezi sağlık kurumu, doktor, hasta ve hastane olarak belirtilmiştir. Çalışmada, elektronik sağlık kayıtlarını, sağlık hizmeti paydaşlarının oluşturduğu eşler arası bir ağda depolamak, paylaşmak ve veri alışverişi için güvenilir, şeffaf ve değişmez bir mekanizma oluşturmak hedeflenmiştir ^[9].

J. Abbasi ve arkadaşları teletıp ve akıllı e-sağlık uygulamasını ele aldıkları bir çalışmada, cep telefonlarında çalışacak bir mobil uygulamanın geliştirilmesini önermişlerdir. Çalışmada teletıp, doktor veya sağlık personelinin kolaylıkla bulunamadığı alanlarda sağlık hizmetinin iyileştirilmesi olarak belirtilmiştir. Önerilen yapıda, hastalara ait hayati değerlerden bazılarının otomatik olarak ölçülmesi hedeflenmiştir. Böylelikle değerlerin elle ölçülmesi ve kaydedilmesi ile oluşabilecek hataların önüne geçileceği belirtilmiştir. Önerilen SEHAT sistemi ile hastanın yaşı, cinsiyeti, hastalığa dair semptomlar ve bu verilere göre doktor havuzundaki en uygun hekimin bulunması gerçekleşmiş olacaktır. Bu sistem ile çevrimiçi danışmanlık hizmeti almayı sağlayan mobil uygulama yardımıyla vücut sıcaklığı, kan basıncı, kandaki oksijen seviyesi, boy, kilo gibi verilerin paylaşımının da kolaylıkla yapılması da sağlanabilir. Bu doğrultuda literatürde yer alan ilgili çalışmalardan bahsedilmiş, uzaktan izleme için biyosensörler ve bazı tıbbi cihazlar aracılığıyla vücut sıcaklığı, kan basıncı, nabız sayısı gibi birincil hayati değerlerin ölçüldüğüne yer verilmiştir ^[10].

Literatürde yer alan bir diğer çalışmada web uygulaması ile hasta sağlığının takibi amaçlanmıştır. Çalışma, vücut sıcaklığı sensörü ve nabız sensörü kullanılarak hasta verilerinin izlenmesi ve olağanüstü bir durumda doktora giden bildirim ile doktor hasta görüşmesinin sağlanması konusunu ele alarak, hastanın klinik dışı ortamlarda takibini kolaylaştırmayı hedeflemektedir. Projede vücut sıcaklığına bağlı sonuç analiz tablosuna yer verilmiştir. Tabloya göre her iki okuma arasındaki zaman farkının 20 dakika olduğu görülmektedir. Vücut sıcaklığına göre doktora giden bildirim ile doktor, hastaya ait önceki verilerin kontrolünü sağlayabilir ve gereken durumlarda hasta ile video görüşmesi yapabilir. Önerilen sistemde yer alan hastalara ait arayüzde, ilgili doktora ait iletişim bilgilerine de yer verilmesi planlanmaktadır ^[11].

Spiral Sağlık konulu çalışmada, yapay zekâ özellikli modüler bir yapı ve spiral sağlık adında kapsamlı bir platform ele alınmıştır. Önerilen sistem, doktorlar, hastaneler, laboratuvarlar, eczaneler ve sağlık sigortası yapan kurumlar dahil olmak üzere sektördeki bütün paydaşları kapsayan ve kesintisiz iletişimlerini sağlayan bir sistemdir. Mobil cihazlar aracılığıyla kullanılacak olan sistemde doktorlar, hastalara ait geçmiş sağlık verilerine ulaşabilecektir. Veri koruma algoritmaları kullanılarak hastalara ait verilerin saklanması ve güvenli bir şekilde iletilmesi gerektiği belirtilmiştir. Sistemde doktor seçimi, randevu alma-değiştirme-iptal etme gibi işlemleri yapabilen hastalar, doktor muayenesi sonuçlarına ilişkin raporları görüntüleyebilecek, böylelikle eczacının sistemine yönlendirilen reçete bilgileri ile ilaçlarını da temin edebileceklerdir. Sistem, ihtiyaç duyulan tüm tıbbi paydaşları tek bir çatı altında toplamayı hedeflemektedir ^[12].

Antunes ve Coutinho, online konsültasyon ve teşhis süreçlerini kapsayan e-sağlık sistemlerinde, yapay zekâ mekanizmalarının hayati belirtileri tespit edebilmesini incelemiştir. Söz konusu çalışmada, gerçek zamanlı olarak çevrimiçi hayati belirtilerin ve hastaya ait geçmiş tüm verilerin görselleştirilmesine olanak sağlayan yenilikçi bir yaklaşım sunulmuştur. Önerilen platforma ilişkin prototip, belirli sayıda kişinin katıldığı bir grup üzerinde denenmiştir. Prototip, kişilerin vücut ısısı, kan basıncı, kalp frekansı, solunum hızı gibi değerlerin izlenmesi ve analizi ile test edilmiştir. Prototipin doğruluğu, okumalar sonrasında elde edilen verilerin, gerçek değerlerle karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Geliştirilen algoritmanın, istenen işlevleri yerine getirebilecek ve bulaşıcı ya da

sürekli takip gerektiren vakalar için yardımcı olabilecek yenilikçi bir yöntem sunmayı mümkün kıldığı belirtilmiştir ^[13].

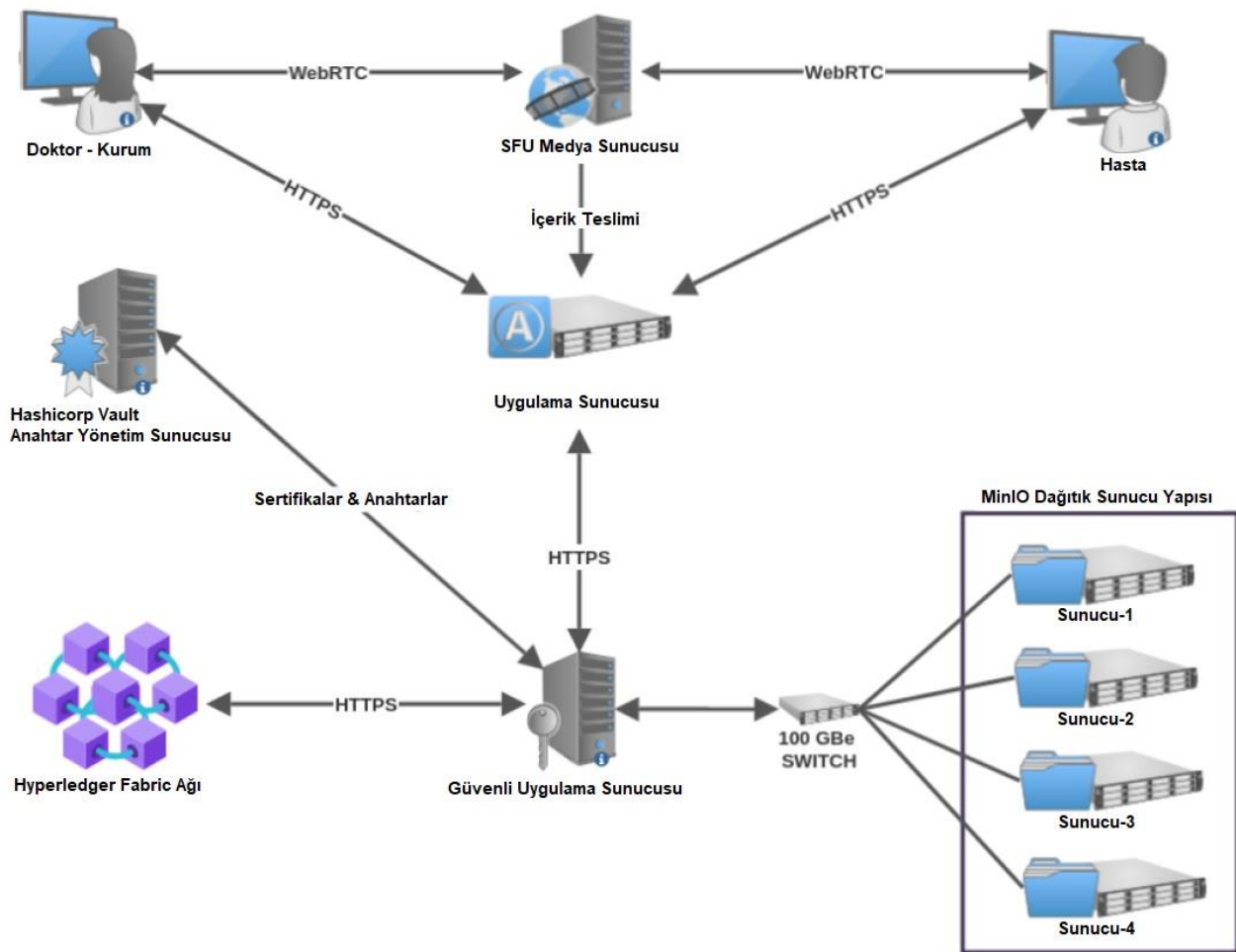
Çevrimiçi etkileşimli görüşmeye ait ses ve video kayıtlarının gerçek zamanlı olarak aktarılabildiği güvenilir Bilişim Teknolojileri çözümleri, Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK) ve Avrupa Birliği'nde geçerli olan Genel Veri Koruma Tüzüğü (GDPR)'ne göre kişisel verilerin tamamen veya kısmen otomatik araçlarla işlenmesi ve kayıt altına alınmasıyla ilgili kurallara uygun olmak zorundadır. Böylece doktor-hasta görüşmelerinde kaydedilen ses veya video kaydının erişilemez ve değiştirilemez olması, hastalara ait verilerin güvenli bir şekilde depolanması ve izinsiz erişimin engellenmesi sağlanmış olacak, olası hasta-doktor davalarında hukuki delil olarak kullanılabilir ve hizmete aracılık eden bütün kurumları güvenilir kılacaktır.

Bu çalışmada mobil veya web uygulamaları üzerinden çevrimiçi doktor-hasta görüşmelerinin gerçekleştirilmesi, doktor-hasta tanımlanması, randevunun belirlenmesi, sanal görüşme odalarında video/ses kayıtlarının alınması, güvenilir ve dağıtık depolanması, şifrelenmesi, veri değiştirilemezliği için blokzinciri uygulaması, verilere üçüncü kişilerin farklı zamanlarda erişebilmesi için akıllı sözleşmelerin oluşturulması gibi son derece karmaşık bir mimari yapı bütün bileşenleriyle tanımlanmış ve örnek bir senaryoda test edilmiştir. Etkileşimli ve hukuksal gereksinimleri yerine getirecek kurum-doktor-hasta platformumuz, önerilen kayıt örnekleri, akıllı sözleşmeler, dağıtılmış ve tek bir merkezde olmayan blokzinciri ağını içerecektir. Böylece görüşme başlangıcından itibaren otomatik olarak gerçekleştirilecek bütün işlemler izlenebilir ve geri çevrilemez olduğundan farklı kurum/kuruluşlar arasında güven hissi oluşacaktır.

Çalışmanın ikinci bölümünde güvenilir etkileşimli, yasal e-sağlık sistemi için önerdiğimiz platformun mimari yapısı verilmiş ve kullanılan bileşenlere ilişkin ayrıntılı açıklamalar yapılmıştır. Üçüncü bölümde verilen bulgular, platforma ilişkin farklı kullanıcı gruplarını ve bu grupların kullanacağı belirli fonksiyonlara ayrılmıştır. Dördüncü ve son bölümde sistemde çalışacak olan bütün fonksiyonlara ve yasal özelliklerine ilişkin değerlendirmeler verilmiş ve ilave platform fonksiyonları önerilmiştir.

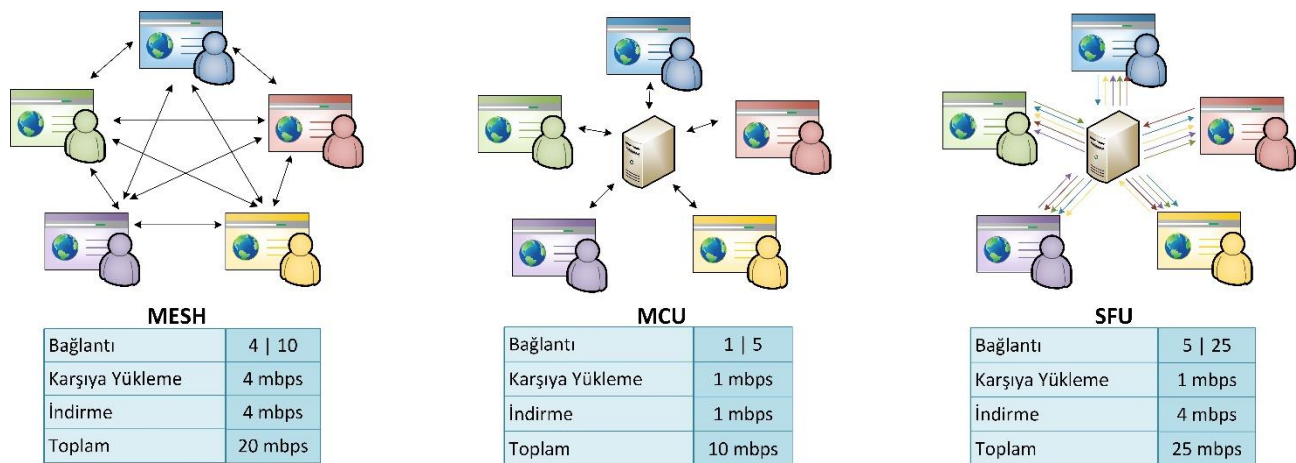
2. YÖNTEM

Etkileşimli kurum-doktor-hasta platformu için e-sağlık sistemine SFU medya sunucusu entegre edilmiş, video/ses kayıtlarına ait verilerin şifreli bir şekilde tutulması için gerekli anahtarların üretilmesinde Anahtar Yönetimi Sunucusu (Key Management Server-KMS) teknolojisi kullanılmıştır. Şifrelenen bütün veriler, MinIO dağıtık sunucusunda tutularak, olası veri kaybının önüne geçilmesi sağlanmıştır. Blokzincir teknolojisi olarak kurumlar için önerilen "Hyperledger Fabric" mimarisinden yararlanılmış, görüşmelere ait yasal kayıtların ve üçüncü kişilerle ilgili akıllı sözleşmelerin şifreli ve dağıtık bir şekilde tutulması sağlanmıştır. Etkileşimli platformun yasal olarak kullanılabilmesinde önemli bir bileşen olan "Hyperledger Fabric", blokzinciri uygulamasında kurum içindeki sunucuda çalışacak güvenli hesap defterimiz olacaktır. Önerilen sistemin mimarisi Şekil 1'de verilmiştir.



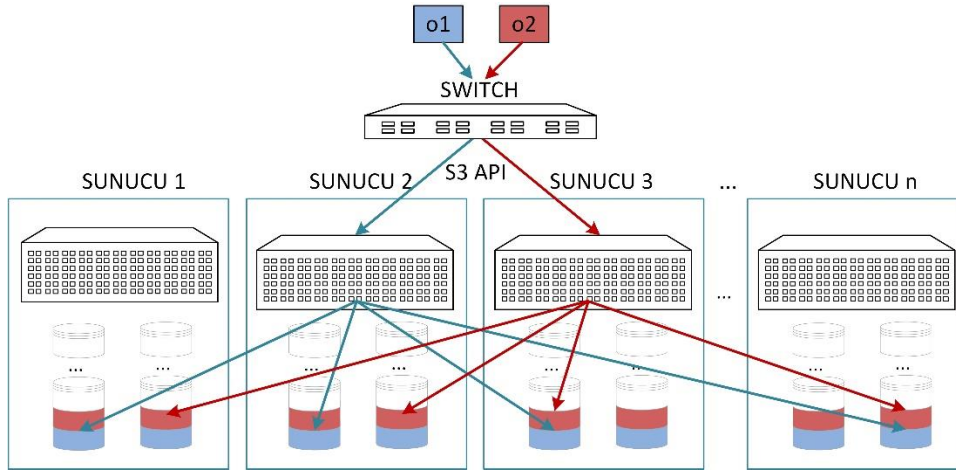
Şekil 1. Sistemin genel mimarisini ve sistem bileşenleri

Çalışmamıza esas olan sağlık sistemleri için güvenilir etkileşimli platformumuzda çevrimiçi muayenelerin gerçekleştirilmesi için SFU medya sunucuları tercih edilmiştir. SFU medya sunucularının tercih edilme sebepleri arasında adaptif yayın kalitesi sunması, üçüncü parti platformlar için anlık yayın akışı sağlaması, otomatik ölçeklenebilir olması ve bulut/yerel sunucu üzerinden servis sağlaması yer almaktadır. WebRTC tabanlı medya sunucuları Mesh, MCU veya SFU yapılarına sahip olabilmektedir. Bu mimariler Şekil 2’de verilerek karşılaştırılmıştır ^[14].



Şekil 2. Mesh, MCU ve SFU mimarilerinin karşılaştırılması ^[14]

MinIO, nesne depolamasını hızlı ve kolay bir şekilde organize eden yüksek performanslı, dağıtık bir sunucudur. Açık kaynaklı olan MinIO, her genel bulutta, herhangi bir Kubernetes dağıtımında, özel bulutta ve uç bilişim sistemlerinde kullanılabilir. MinIO, AWS S3 v2/v4 API spesifikasyonunun açık kaynaklı bir uygulaması olup, kullanıcı ortamına dağıtılabilen özel AWS S3 çözümü olarak işlev görebilir. MinIO, Azure Blob (Nesne) depolama ve Google Cloud Platform gibi çok büyük miktarlarda yapılandırılmamış verileri depolama çözümlerinden de yararlanabilir. Birden çok Bulut depolamaya erişim için tek bir arabirim sağlayarak, mevcut nesne depolamanın üzerinde şeffaf bir şekilde bir S3 nesne katmanı görevi görür. MinIO sunucusunun dağıtık yapısı görsel Şekil 3'te verilmiştir [15].



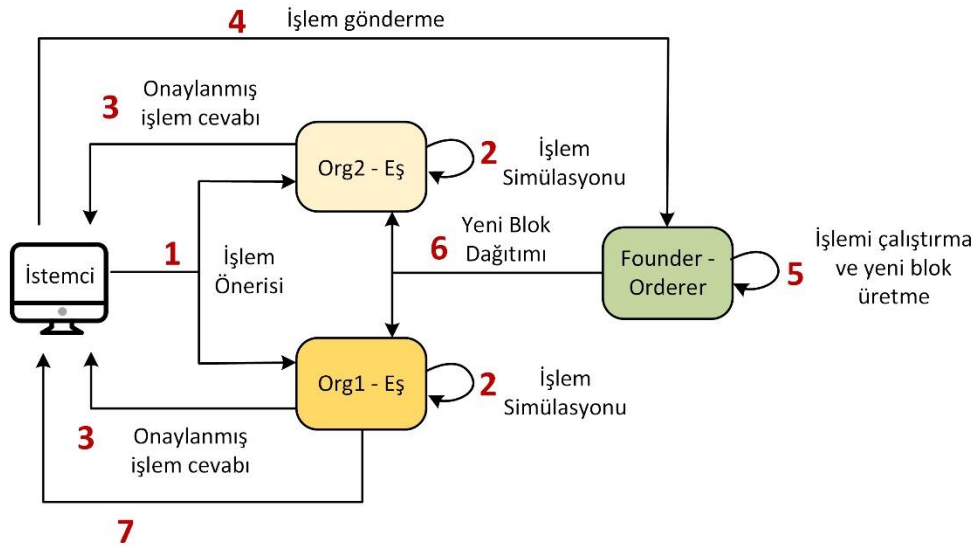
Şekil 3. MinIO ile verilerin dağıtık depolanması

MinIO'da görüşmeye ait şifreli video kayıtlarının değişmez URL'si, bu kayıtların şifresini çözmek için gereken özel anahtar ve görüşmeye ait özel bilgiler Blokzincir altyapısında saklanmaktadır. Blokzincir güvenlik, gizlilik, şeffaflık gibi özellikler barındırdığından ve merkezi bir otoriteye bağlı olmadığından dolayı popüler bir teknoloji haline gelmiştir. Önerilen sistemde bu teknolojinin kullanılması ile hasta kayıtlarının kendi izinleri olmadan açılmayacağı garanti edilmektedir. İzin istenilerek kaydedilen bu veriler, paydaşların ortak izni olmadığı sürece görüntülenemezler ve değiştirilemezler. Bu da hasta çevrimiçi muayene verilerinin yasal olarak kaydedilebilmesi için gerekli altyapıyı sağlamaktadır. Blokzincir ağlarını oluşturmak için çeşitli uygulamalar geliştirilmiştir. Çalışmada izin verilen özel blokzincir ağlar oluşturabilen "HyperLedger Fabric" tercih edilmiştir. Blokzincir alyapılarında "Besu" tercih edilmiştir. Besu'nun sunmuş olduğu avantajlar Ethereum ve R3 Corda ile karşılaştırılmalı olarak Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ethereum, Besu ve R3 Corda karşılaştırması

Özellik/Platform	Ethereum	Besu	R3 Corda
Programlama Dili	Solidity	Java	Kotlin
Denetim	Ethereum Geliştiricileri	Linux Vakfı	R3
Açık Kaynak	Evet	Evet	Hayır
Konsorsiyum	PoW	PoW, PoA	Özel
Akıllı Kontrat	Var	Var	Var
İzinli (özel) Ağ	Hayır	Evet	Evet
İşlem Doğrulama Süresi	≈ 12 sn.	Anında	Anında
İşlem Maliyeti	Ücretli	Ücretsiz	Ücretsiz
Gizlilik	Yok	Var	Var

Blokszincir ağı tasarımı eş düğümler kullanılmıştır. Bu eş düğümler kayıtların depolanmasını, işlemlerin oluşturulması ve doğrulanmasını sağlar. Blokszincir ağına kullanılan eşler “endorsing”, “leading”, “anchor” ve “committing” eşlerdir. Bu eşlerden “endorsing”, gelen işlemin simüle edilerek onaylanmasını, “committing” eş işlemin kuruluş içerisindeki eşlere dağıtılmasını ve kayıtların tutarlı olmasını, “leading” aynı kuruluştaki eşlerin iletişimini, “anchor” ise farklı kuruluştaki eşlerin iletişimini sağlamak için kullanılmıştır. Zincirkod içerisinde yer alan akıllı sözleşmeler ile blokszincir eşlerinin organizasyonu sağlanmıştır. İşlemler ilk olarak kuruluştaki “endorsing” eşlere gönderilerek onaylatılır. Onaylatılan işlemler “Orderer” düğüm aracılığıyla kuruluşlara dağıtılarak defterlerin güncellenmesi sağlanır. Blokszincir tasarımına ait görsel Şekil 4’te verilmiştir ^[16].



Şekil 4. Blokszincir ağı iş akış diyagramı

3. BULGULAR

16

Sağlık sistemleri için etkileşimli platform oluşturmak için ilk olarak sistem yöneticisi, yönetici, doktor ve hasta olmak üzere 4 farklı kullanıcı grubu tanımlanmıştır. Bu kullanıcı gruplarının genel tanımları aşağıda verilmiştir:

Sistem Yöneticisi: Erişim kontrol listeleri, akıllı sözleşmeler, depolama servisleri ve alt sistemlerle ilgili tüm verileri izleme dahil geniş yetkilere sahiptir. Alt sınıf yöneticilerin erişebileceği alt sistemleri ve izinleri tanımlar.

Yönetici: erişim kontrol listeleri, akıllı sözleşmeler, depolama hizmeti ve alt sistemlerle ilgili tüm verileri kısmen izlemek dahil olmak üzere birtakım yetkilere sahiptir. Doktor ve hastalara verilen izinleri tanımlar.

Doktor: Yönetici tarafından verilen yetkiler dahilinde hastaları arasındaki tüm tıbbi konsültasyon sürecini sürdürmek için yetkilere sahiptir.

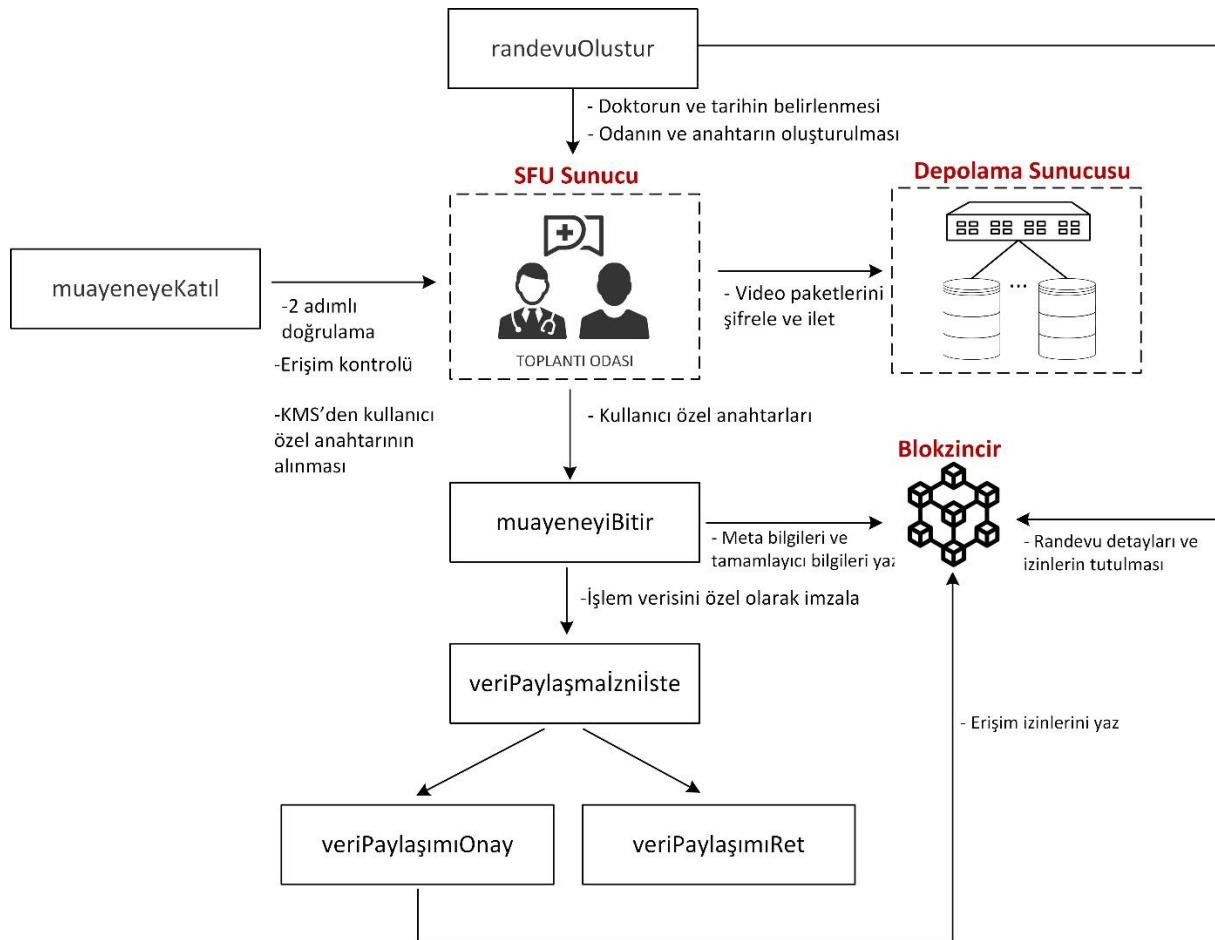
Hasta: Kendi tıbbi konsültasyon sürecini yürütmek ve kendi işlemlerini izlemek için sınırlı yetkilere sahiptir.

Yukarıda belirtilen kullanıcı gruplarını içeren sistemde belirli grupların kullanılması için çeşitli fonksiyonlar yer almaktadır. Bu fonksiyonlar temel olarak kayıt olma, giriş yapma, randevu ayarlama, randevuya katılma, randevuyu tamamlama, veri paylaşım izni isteme, veri paylaşımına onay verme, veri paylaşımını ret etme, randevuyu güncelleme, randevuyu iptal etme, randevuları listeleme, işlemleri görme, kayıtları görme, alt sistemleri izleme ve tüm sistemi izleme işlemlerini gerçekleştirmektedir. Sistemde yer alan fonksiyonların hangi kullanıcı grupları tarafından kullanılacağı Şekil 5’te verilmiştir. Buradaki fonksiyonlar, tanımlı kullanıcıların kendilerini ilgilendiren veya kendilerine izin verilen kayıtlar üzerinde işlem yapmasına izin vermektedir.

	Randevu Oluştur	Muayeneye Katıl	Muayeneyi Bitir	Veri Paylaşma İzni	Veri Paylaşımı Onay	Veri Paylaşımı Ret	Randevu Güncelle	Randevu İptal	Randevu Listele	İşlemleri Gör	Kayıtları Gör	Alt Sistemi İzle	Tüm Sistemi İzle
Doktor	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
Hasta	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
Yönetici									✓	✓	✓	✓	
Sistem Yöneticisi									✓	✓	✓	✓	✓

Şekil 5. Sistemde yer alan temel fonksiyonlar ve erişim izinleri

Oluşturulan sistemin temel amacı interaktif doktor hasta görüşmelerini mümkün kılmak ve yasal kayıt ortamı sağlamaktır. Bu amaçla randevuların oluşturulması ve çevrimiçi muayenelerin gerçekleştirilmesi için izlenen genel adımlar Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Randevuların yönetilmesi, gerçekleştirilmesi ve görüşme kayıtlarının tutulması

Randevuların oluşturulması için önce hasta, seçmiş olduğu doktorun uygun zamanlarını görüntüleyerek çevrimiçi muayene olmak istediği tarih ve saati seçecektir. Oluşturulan randevu sonrası randevu bilgileri Bloklara yazılmaktadır. Hasta daha sonra almış olduğu randevuyu

güncelleme veya iptal etme yetkisine sahiptir. Randevunun iptal edilmemesi durumunda, ilgili randevu tarihi ve saatinde doktor ve hastanın sisteme girerek çevrimiçi muayene sürecini başlatması beklenir. Toplantıya katılacak hasta ve doktorun randevuya ait kullanıcılar olup olmadığı kontrol edilerek erişim kontrolü sağlanır. Hasta için iki adımlı doğrulama yapılarak giriş yapan kullanıcının gerçekten kendisi olup olmadığı kontrol edilir. KMS aracılığıyla hastaya ait özel anahtar oluşturulur ve toplantı başlatılır. Toplantı SFU medya sunucusu aracılığıyla uçtan uca şifreli bir şekilde gerçekleştirilir. Görüşmesinin bitmesi durumunda toplantıyı sonlandırmak için gerekli adımlar uygulanır. Kullanıcı özel anahtarı ile şifrelenmiş görüşme dağıtık sunucularda saklanmak üzere gönderilir. Toplantı sonlandığında görüşmeye ait üst bilgiler ve tamamlayıcı bilgiler ile ilgili bloklar güncellenir. Görüşme bittikten sonra hasta veya doktor birbirinden paylaşım izni isteyebilir. Paylaşım izni onay veya ret olarak cevaplanabilir. Paylaşım izni bilgileri blok üzerinde güncellenir ve randevu alma, çevrimiçi muayene süreçleri bu şekilde gerçekleşir.

Blokszincir, merkeziyetçi olmayan ve değiştirilemeyen bir sistem mimarisi olup, verilerin güvenli bir şekilde depolanması veya transfer edilmesi için kullanılan yenilikçi bir teknolojidir. Ağ üzerindeki düğümlerin dağıtık konumlandırılması merkeziyetsiz oluşunu sağlarken, değiştirilemez oluşu da güvenlik zafiyetlerinin önüne geçmektedir. Blokszincir mimarisi, doktor-hasta görüşmelerine ait verilerin değiştirilemezliğini sağlarken, muhafaza edilmesi gereken kayıtların da dağıtık bir şekilde tutulmasına olanak tanır. Blokszincirde tutulan hastaya ait verilere akıllı sözleşmelerde belirtilen kurallar dışında erişim sağlanamaz. Sistem mimarisinde, blokszincirde saklanan videoya ait veri özütüne tüm paydaşların onayı ile erişilebilir ve bu özüt sayesinde şifreli videonun değiştirilip değiştirilmediği kontrol edilebilir. Blokszincirde dağıtık depolama için kullanılan MinIO sunucusu sayesinde, videoların saklandığı sunucuların çökmesi ve verilerin kaybolması gibi durumların önüne geçilmiş olur.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Blokszincirinin özellikle e-sağlık gibi mevcut çevrimiçi sağlık sistemlerinde kullanımı oldukça kritik bir rol oynamaktadır. Önerilen blokszinciri tabanlı e-sağlık sisteminde doktor-hasta görüşmelerine ait veri toplama, doğrulama, verilerin değişmezliğinin sağlanması ve en uygun koşullarda sürekli saklanabilir olması bu verilerin muhtemel siber suçlara karşı son derece güvenilir olmasını sağlamaktadır. Bu platformda katılımcı görüşmeleri için SFU medya sunucusu, alınan bütün kayıtların şifreli bir şekilde tutulması için KMS, veri kaybının önüne geçmek için de MinIO dağıtık sunucusu kullanılmıştır. Blokszincir teknolojisi olarak kurumlar için önerilen “Hyperledger Fabric” değişmez defter mimarisi ile de hem merkezi otorite ve sistemdeki tek bir arıza noktası riski ortadan kaldırılmıştır.

Doktor-hasta-kurum bileşenli e-sağlık platformunun önerilen mimarisi, tüm katılımcılar için hasta verilerine yönelik gizlilik ve güvenlik fonksiyonlarını, erişim kontrol politikalarını, sistem yöneticileri tarafından yapılandırılabilen akıllı sözleşmelere bağlamaktadır. Böylece görüşmelere ait yasal kayıtların güvenilirliği sağlanmıştır.

Önerilen sistemin performans değerlendirmesi, çalışmanın dayandığı projedeki iş paketlerinin gerçekleştirilmesine bağlı olarak, farklı sayıdaki ve ilişkideki kurum-doktor-hasta katılımcıları kullanılarak yapılandırılacaktır. Görüşme başından itibaren oluşturulacak blok boyutları, blok oluşturma zamanı, onay politikası ve çevrimiçi ağdan kaynaklanabilecek gecikme, verim, ağ güvenliği gibi değerlendirme ölçümleri optimize edilmeye çalışılacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 1501 (Sanayi Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı) kapsamında desteklenmiştir. Proje No: 3210947.

5. KAYNAKLAR

- [1] Kahveci Yetiş, A., Şahin, K., Ercan, T., Edebali, A. (2022). İnteraktif E-Sağlık Sistemlerinde Güvenli Kayıt Sistemi İçin Blokzinciri Kullanım Tasarımı. Abant 1st International Symposium on Contemporary Academic Studies, 651-659.
- [2] Shimrat, O. (2009). Cloud computing and healthcare. San Diego Physician. Org, 26–29.
- [3] Söğüt, İ. S. (2013). TIBBİ KAYITLAR. Maltepe Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 2, 63–86.
- [4] Kluge, E.-H. W. (2007). Secure e-health: Managing risks to patient health data. International Journal of Medical Informatics, 76(5–6), 402–406.
- [5] Ay, F. (2008). Elektronik hasta kayıtları: Güvenlik, etik ve yasal sorunlar.
- [6] Ancheta, S. C., Soria, S. J., Francisco, C., Antonio, K. D., & Catacutan-Bangit, A. E. (2021). NUCare: A Framework for Mobile and Web Application for Online Consultation in One University in Manila. 2021 1st International Conference in Information and Computing Research (ICORE), 17–22.
- [7] Hardt, J., Jacobsen, C., Goldberg, J., Nickel, R., & Buchwald, D. (2008). Prevalence of chronic pain in a representative sample in the United States. Pain Medicine, 9(7), 803–812.
- [8] Mc Cann, J., Wang, H., Zheng, H., & Eccleston, C. (2012). An interactive assessment system for children with chronic pain. Proceedings of 2012 IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics, 926–929.
- [9] Uddin, M., Memon, M. S., Memon, I., Ali, I., Memon, J., Abdelhaq, M., & Alsaqour, R. (2021). Hyperledger fabric blockchain: Secure and efficient solution for electronic health records. CMC Comput. Mater. Continua, 68, 2377–2397.
- [10] Abbasi, J., Alina, L., Abro, A. M., & Lal, B. (2021). SEHAT: Smart E-Health App for Telediagnosis and first opinion. 2021 6th International Multi-Topic ICT Conference (IMTIC), 1–6.
- [11] Visvesvaran, C., Shankar, B. M., Kaviya, S., Kaviya, P., Monika, K., & Kumar, I. J. B. (2021). Quarcare-IoT Based Patient Health Monitoring System. 2021 Second International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC), 870–874.
- [12] Singh, T. (2021). Spirals Health: A Comprehensive Web-based Cloud-based e-Health Platform. 2021 5th International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer Technologies and Optimization Techniques (ICEECCOT), 33–37.
- [13] Antunes, C., & Coutinho, C. (2022). Employment of Artificial Intelligence Mechanisms for e-Health Systems in Order to Obtain Vital Signs Improving the Processes of Online Consultations and Diagnosis. 2022 International Symposium on Sensing and Instrumentation in 5G and IoT Era (ISSI), 109–114.
- [14] Honney, K. (2019, March 7). 5 Reasons to Prefer Ant Media Server over SFU. Medium. https://medium.com/@khan_honney/5-reasons-to-prefer-ant-media-server-over-sfu-bbea131807f
- [15] dan. (2020, February 12). MinIO – Not Your Father’s Object Storage Platform. PenguinPunk.Net. <https://www.penguinpunk.net/blog/minio-not-your-fathers-object-storage-platform/>
- [16] Choudhury, O., Sarker, H., Rudolph, N., Foreman, M., Fay, N., Dhuliawala, M., Sylla, I., Fairoza, N., & Das, A. K. (2018). Enforcing human subject regulations using blockchain and smart contracts. Blockchain in Healthcare Today.