

**BLOKZİNCİR BAZLI HASTA KAN YÖNETİM SİSTEMİ
MİMARİSİ GELİŞTİRME VE DEVREYE ALINMASI**

**SYSTEM ARCHITECTURE AND IMPLEMENTATION OF
BLOCKCHAIN ENABLED PATIENT BLOOD
MANAGEMENT SYSTEM**

ALİ EMRE MANAV

DR. ÖĞR. ÜYESİ VOLKAN SÖNMEZ

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

Sevgili Aileme

ÖZET

BLOKZİNCİR BAZLI HASTA KAN YÖNETİM SİSTEMİ MİMARİSİ GELİŞTİRME VE DEVREYE ALINMASI

Ali Emre MANAV

Yüksek Lisans, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Volkan SÖNMEZ

Mayıs 2022, 134 sayfa

Kan, insan hayatının devamlılığını sağlayan vücut sıvısıdır. Bağışçıdan alınan kanın kalite ölçütleri kadar bağışçıya ait bilgiler de medikal operasyonlarda önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle kalite kriterlerine, veri gizliliği standartlarına ve operasyonel emniyete uygun kan temini tüm paydaşlar için çok önemlidir. Kalite standartları ve veri gizliliğini sağlamak için bazı yaklaşımlar ve yöntemler geliştirilmiş olsa da insan hatası/manipülasyonu ve mevcut durumda kullanılan sistemlerin saldırılara açık olması nedeniyle veri ihlalleri mümkün olabilmektedir. Blokzincir, eşler arası ağ aracılığıyla dağıtılmış defterde veri depolamak için kullanılan bir teknolojidir. Sadece yetkisi olan kullanıcıların erişebileceği verilerin değişmezliğini teminat altına alan özelliklere sahiptir. Bu çalışmanın amacı, bağışçıya ait kişisel verileri korumayı, toplanan verilerin tutarlı olmasını sağlamayı ve operasyonel kaliteyi iyileştirmeyi amaçlayan bir kan transfüzyon yönetim sistemi için özel (private) bir blokzincir ağı geliştirmektir. Yaklaşımın uygulanabilirliğini test etmek için Hyperledger Fabric platformu üzerinden üç paydaşlı bir vaka çalışması geliştirilmiştir. Yapılan bu çalışma ile sağlık sisteminde

önemli bir rolü olan kan transfüzyonu yönetiminde veri güvenliğinin önemi vurgulanmış ve benzer yöndeki çalışmalar için bir zemin oluşturulmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kan yönetim sistemi, Blokzincir teknolojisi, Hyperledger fabric,

ABSTRACT

SYSTEM ARCHITECTURE AND IMPLEMENTATION OF BLOCKCHAIN ENABLED PATIENT BLOOD QUALITY MANAGEMENT SYSTEM

Ali Emre MANAV

Master of Science, Department of Industrial Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Volkan SÖNMEZ

May 2022, 134 pages

Blood is a body fluid that ensures the continuity of our life. The quality information of the received blood as well as information of the donor have an essential role in treatments. For this reason, it is very important for all stakeholders to supply blood in accordance with quality criteria, data privacy standards and operational safety. Although some approaches and methods have been developed to ensure quality and data privacy, data breaches are still possible due to human error/manipulation and the specification of the employed systems. Blockchain is a remarkable technology to store data on distributed ledger through the peer-to peer network. It enjoys technologies that make the data immutable more over the data can only be accessible to the users who have authorization. The goal of this study is to develop a private blockchain network for a blood transfusion management system aiming to protect the donor's personal data, to ensure the data is consistent, and to improve operational quality. A small case study with three stakeholders is developed in Hyperledger Fabric to test the applicability of the approach. With this

study, the importance of data security in the management of blood transfusion, which has an important role in the health system, was emphasized and it was tried to establish a basis for similar studies.

Keywords: Blood management system, Blockchain technology, Hyperledger fabric,

TEŞEKKÜR

Tez süreci boyunca ilgisini ve desteğini eksik etmeyen, gerekli yönlendirmeler ve önerileriyle her zaman yol gösterici olan değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Volkan SÖNMEZ'e içten bir teşekkürü borç bilirim.

Yüksek lisans serüvenimin başlangıcından itibaren yol gösterici olan, tez konusu seçiminde ve tez çalışmaları kapsamında çok büyük desteği olan sevgili Doç. Dr. Reza Vatankhah BARENJI'ye çok teşekkür ederim.

Lisans ve lisansüstü eğitimim esnasında üzerimde çok emeği bulunan değerli Hacettepe Üniversitesi Endüstri Mühendisliği hocaları ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

En önemlisi hayatta her zaman ve her koşulda anlayış, sabır ve her daim sevgi ile destek olan sevgili eşim Büşra Poyraz MANAV'a çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1 Kan Bileşenlerine Ait Verilerin Yönetimi	5
2.2 Blokzincir Teknolojisinin Özellikleri ve Kullanım Alanları	8
2.2.1 Blokzincirin Genel Özellikleri.....	8
2.2.2 Blokzincirin Kullanım Alanları	11
2.2.2.1 Elektronik Ödeme Sistemleri	11
2.2.2.2 Akıllı Sözleşmeler	12
2.2.2.3 Verilerin Korunması ve Gizlilik	14
2.3 Blokzincir Teknolojisinin Sağlık Sektöründe Kullanımı.....	15
2.3.1.1 Veri Güvenliği ve Gizliliğin Korunmasına Yönelik Uygulamalar	15
2.3.1.2 Tedarik Zinciri Yönetimine Yönelik Uygulamalar.....	20
2.4 Çalışmanın Önceki Çalışmalardan Farkı	21
3. PROBLEM TANIMI	22
3.1 Mevcut Operasyonlar ve İş Akışları.....	22
3.2 Problem Tanımı	26
3.3 Çalışmanın Amacı.....	28
3.3.1 Veri Güvenliği	29
3.3.2 Veri İzlenebilirliği.....	29
3.3.3 Operasyonel Kalitenin Artırılması	30
3.4 Çalışmaya Engel Olabilecek Kaynak Kısıtları ve Zorluklar.....	31
3.4.1 Teknolojik Gereksinimler.....	31
3.4.2 Yatırım Gereksinimleri	31
3.4.3 Yazılım Hataları ve Siber Saldırıları	31
4. METODOLOJİ	32
4.1 Sistem Tasarımı ve Kavramsal Mimarinin Oluşturulması	32

4.1.1	Blokszincir Ağı	32
4.1.2	Akıllı Sözleşmeler	36
4.1.2.1	Akıllı Sözleşmelerin Genel Yapısı	36
4.1.2.2	Kan Transfüzyonu Sürecinin Ethereum Akıllı Sözleşme Yapısıyla Modellenmesi.....	39
4.1.2.3	Ethereum ve Hyperledger Akıllı Sözleşme Yapıları Arasındaki Farklar	44
4.1.2.3.1	Kullanım Amacı.....	44
4.1.2.3.2	Gizlilik Seviyesi ve Kullanıcı Erişim Yapısı	44
4.1.2.3.3	Eşlerin (Peers) Rolü	45
4.1.2.3.4	Mutabakat Yapısı (Consensus Mechanism)	46
4.1.3	Hyperledger Fabric Sistem Mimarisi	46
4.1.3.1	Hyperledger Fabric Sistem Elemanları	47
4.1.3.1.1	Eşler (Peers).....	47
4.1.3.1.2	Dağıtılmış Defter (Distributed Ledger).....	48
4.1.3.1.3	Uygulama Programlama Arayüzü (API).....	49
4.1.3.1.4	Uygulama (API) ve Eş (Peer) Etkileşimi	49
4.1.3.1.5	Kanallar (Channels)	50
4.1.3.1.6	Organizasyonlar (Organizations).....	50
4.1.3.1.7	Dijital Sertifika (Digital Identity) ve Üyelik Hizmet Sağlayıcısı (Membership Provider Service).....	51
4.1.3.1.8	Siparişçi (Orderer)	51
4.1.3.2	Hyperledger Fabric İşlem Akışı	52
4.1.4	Blokszincir Tabanlı Kan Transfüzyonu Modelinin Oluşturulması.....	57
4.1.4.1	Kan Transfüzyonu Operasyonları ve İşlemlerin (Transactions) Belirlenmesi 57	
4.1.4.2	Eşlerin (Peers) Belirlenmesi.....	60
4.1.4.3	Organizasyonlar ve Kanalların Belirlenmesi.....	60
4.1.4.4	Blokszincir Bazlı Kan Transfüzyonu Sürecinin Oluşturulması	61
5.	YAZILIM GELİŞTİRME.....	71

5.1	Fabric Yazılım Geliştirme Kiti (SDK)	71
5.2	Blokzincir Ağı Fonksiyonel Elemanları	71
5.3	Kurulum.....	75
5.3.1	Sistem Gereksinimleri	75
5.3.2	Zincir Kodunun Hyperledger Fabric Ağında Paketlenmesi ve Kurulumu	76
5.3.3	Kullanıcı Arayüzü Kurulumu	77
5.4	Zincir Kodu ve Kullanıcı Ekranları.....	78
5.4.1	Bağışçı Kaydı	79
5.4.2	Kullanıcı Girişi	80
5.4.3	Bağışçı Kayıtlarını Getirme.....	81
5.4.4	Medikal Değerlendirme Formu Ekleme.....	82
5.4.5	Medikal Değerlendirme Listesini Alma	84
5.4.6	Kan Testi Raporu Ekleme	85
5.4.7	Kan Testi Rapor Listesini Alma	86
5.4.8	Kan Bileşeni Tedarik Sözleşmesi Ekleme.....	87
5.4.9	Kan Bileşeni Tedarik Sözleşmesi Görüntüleme ve Onayı	88
5.4.10	Depolama ve Taşıma Bilgileri Ekleme	89
5.4.11	Depolama ve Taşıma Bilgileri Görüntüleme ve Onayı	91
5.5	Yazılım Testi	92
5.5.1	Kullanıcı Testi	92
5.5.2	Performans Testi	93
6.	SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	95
6.1	Değerlendirme	95
6.2	Uzman Görüşleri.....	96
6.3	Maliyet Analizi	101
6.3.1	Senaryo 1	103
6.3.2	Senaryo 2.....	104
6.4	Önerilen Çözümün Avantajları ve Dezavantajları	108
6.5	Uygulama Geliştirme Aşamasında Yaşanan Zorluklar	109

6.6	Gelecek Çalışmalar	109
7.	KAYNAKLAR.....	111
8.	EKLER	Error! Bookmark not defined.
	EK 1 – Zincir Kodları	Error! Bookmark not defined.
	EK 2- Tez Çalışması Orjinallik Raporu	Error! Bookmark not defined.
9.	ÖZGEÇMİŞ	Error! Bookmark not defined.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Kan Alma Birimi İş Akış Şeması [17].....	6
Şekil 2:Genesis Bloğunun Oluşturulması ve Birbirini Takip Eden Yapı [21]	8
Şekil 3: Blokların Bir Önceki Bloğun Dijital İmzasını İçerecek Şekilde Birbirini Takip Ettiği Yapı [21]	9
Şekil 4: Geleneksel Gizlilik Modeli ve Yeni Blokzincir Gizlilik Modeli [21].....	10
Şekil 5: Blokzincirin dağıtık ağ yapısını simgeleyen bir görsel	10
Şekil 6: Elektronik Ödeme Sistemlerinde Blokzincir Kurgusu [10].....	11
Şekil 7: Ethereum Akıllı Sözleşmede İşlem Örneği [31]	13
Şekil 8: Blocktrust Güven Ağı [32].....	13
Şekil 9: Dağıtılmış Ağ Platformun Görünümü [33].....	14
Şekil 10: Klinik Araştırmada Akıllı Sözleşme Kullanımının Örnek Bir Kavramsal Mimarisi [34]	16
Şekil 11: MedRec Akıllı Sözleşmelerinin İşleyişi-1 [35].....	17
Şekil 12: MedRec Akıllı Sözleşmelerinin İşleyişi-2 [35].....	18
Şekil 13:Akıllı Sözleşme Kontrollü Erişimi ile Sistem İş Akışı [36]	19
Şekil 14: Laboratuvar Test Sonuçlarının Paylaşılmasında Sistemin Paydaşları.....	19
Şekil 15: Blokzincir Temelli Kan Transfüzyonu Tedarik Zinciri Yönetimi [37].....	20
Şekil 16: Kan Alım İşlemi İş Akışı	23
Şekil 17: Laboratuvar Test/Analiz İş Akışı	24
Şekil 18: Kan Transfüzyonu İş Akışı	25
Şekil 19: Karar Verme Aşamaları [44].....	27
Şekil 20: Blokzincir Blok Hiyerarşisi [21]	33
Şekil 21: Dağıtılmış Defter Yapısı	34
Şekil 22: Blokzincir Blok Yapısı [37].....	34

Şekil 23: Blokzincir Mutabakat Genel Yapısı [21].....	35
Şekil 24: Akıllı Sözleşme Genel Yapısı	37
Şekil 25: Akıllı Sözleşme Örneği.....	38
Şekil 26: İşlem Teklifi Örneği	38
Şekil 27: Kan Transfüzyonu Operasyonunun Ethereum Blokzincir Altyapısında Kavramsal Tasarımı	40
Şekil 28: Kan Transfüzyonu Operasyonunun Ethereum Blokzincir Altyapısında Akıllı Sözleşmeler	41
Şekil 29: Hyperledger Fabric Sistem Mimarisi	47
Şekil 30: Hyperledger Fabric Eşlerin (Peer) Sistem İçindeki Rolü	47
Şekil 31:Hyperledger Fabric Dağıtılmış Defter Yapısı.....	48
Şekil 32: Hyperledger Fabric-Eş Yapısı.....	48
Şekil 33: Hyperledger Fabric Eş (Peer) ve Uygulama (API) Etkileşimi.....	49
Şekil 34: Hyperledger Fabric Kanal Yapısı.....	50
Şekil 35: Hyperledger Fabric Organizasyon Yapısı.....	51
Şekil 36: Hyperledger Fabric Süreç Akışı- 1	53
Şekil 37: Hyperledger Fabric Süreç Akışı-2.....	54
Şekil 38: Hyperledger Fabric Süreç Akışı-3.....	54
Şekil 39: Hyperledger Fabric Süreç Akışı-4.....	55
Şekil 40: Hyperledger Fabric Süreç Akışı-5.....	56
Şekil 41: Hyperledger Fabric Süreç Akışı-6.....	56
Şekil 42: Organizasyon ve Kanalların Belirlenmesi	60
Şekil 43: Kan Transfüzyonu İş Akışı Faz-1	62
Şekil 44: Kan Transfüzyonu İş Akışı Faz-2	64
Şekil 45: Kan Transfüzyonu İş Akışı Faz-3	66
Şekil 46: Kan Transfüzyonu İş Akışı Faz-4	68
Şekil 47: Kan Transfüzyonu İş Akışı Faz-5	70
Şekil 48:Zincir Kodunun Paketlenmesi ve Kurulumu	76
Şekil 49: Kullanıcı Arayüz Kurulum İşlemleri.....	77
Şekil 50: Bağışçı Kayıt Formu.....	79
Şekil 51: Bağışçı Sorgulama Formu.....	80
Şekil 52: Kullanıcı Giriş Ekranı.....	80
Şekil 53: Bağışçı Kayıtlarının Getirilmesi.....	81
Şekil 54: Bağışçı Sorgulama Formu Detaylarının Getirilmesi	81

Şekil 55: Medikal Değerlendirme Formu Ekleme-1	82
Şekil 56: Medikal Değerlendirme Formu Ekleme-2	83
Şekil 57: Medikal Değerlendirme Listesini Alma-1	84
Şekil 58: Medikal Değerlendirme Listesini Alma-2	84
Şekil 59: Kan Testi Raporu Ekleme Ekranı.....	85
Şekil 60: Kan Testi Rapor Listesini Alma	86
Şekil 61: Kan Testi Raporunu Görüntüleme.....	86
Şekil 62: Kan Tedarik Sözleşmesi Ekleme	87
Şekil 63: Kan Tedarik Sözleşmeleri Listeleme.....	88
Şekil 64: Kan Tedarik Sözleşmesi Onayı	88
Şekil 65: Kan Tedarik Sözleşmesi Onayı-2.....	89
Şekil 66: Depolama ve Taşıma Bilgileri Ekleme	90
Şekil 67: Depolama ve Taşıma Bilgilerini Listeleme	91
Şekil 68: Depolama ve Taşıma Detaylarını Görüntüleme	91
Şekil 69: Hyperledger Explorer Tool – Performans Testi 1	93
Şekil 70: Hyperledger Explorer Tool – Performans Testi 2	94
Şekil 72: Uzman Görüşü-Soru 1	97
Şekil 73: Uzman Görüşü-Soru 2	97
Şekil 74: Uzman Görüşü-Soru 3	98
Şekil 75: Uzman Görüşü-Soru 4	98
Şekil 76: Uzman Görüşü-Soru 5	99
Şekil 77: Uzman Görüşü-Soru 6	99
Şekil 78: Uzman Görüşü-Soru 7	100
Şekil 79: Uzman Görüşü-Soru 8	100
Şekil 80: Senaryo 1 - Veritabanı Hacmi Hesaplaması	103
Şekil 80: Senaryo 1 – AWS Ücret Hesaplaması.....	103
Şekil 82: Senaryo 1 – IBM Blockchain Platform Ücret Hesaplaması	104
Şekil 83: Senaryo 2 - Veritabanı Hacmi Hesaplaması	104
Şekil 84: Senaryo 2 – 19 Ayrı Bölge AWS Hesaplaması	105
Şekil 85: Senaryo 2 – Bütünleşik AWS Hesaplaması.....	105
Şekil 86: Senaryo 2 – 19 Ayrı Bölge IBM Blockchain Platform Hesaplaması.....	106
Şekil 87: Bütünleşik IBM Blockchain Platform Hesaplaması.....	106
Şekil 88: Senaryo ve Modellere Bağlı Değişen Hesaplamaların Karşılaştırılması.....	107

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

AIDS	Acquired Immune Deficiency Syndrome
API	Application Programming Interface
AWS	Amazon Web Services
B2B	Business-to-Business
B2C	Business-to-Customer
BKM	Bölge Kan Merkezi
CA	Certificate Authority
DLT	Distributed Ledger Technology
DSL	Digital Subscriber Line
HIV	Human Immunodeficiency Virus
IPFS	Gezegenler Arası Dosya Sistemi
KBM	Kan Bağış Merkezi
MSP	Membership Service Provider
PBFT	Practical Byzantine Fault Tolerance (Bizans Hata Toleransı)
PoS	Hisse İspatı
PoW	Emek İspatı
PPR	Hasta-Hizmet Sağlayıcı Sözleşmesi
RC	Kayıt Sözleşmesi
SDK	Software Development Kit
TM	Transfüzyon Merkezi

1. GİRİŞ

Kan, atardamar, toplardamar ve kılcal damarlardan oluşan damar ağının içinde dolaşan; oksijeni ve besinleri dokulara taşıyan ve atık ürünleri uzaklaştıran dolaşım dokusudur. Normal bir erişkin vücut ağırlığının yaklaşık 1/13'ü kandan oluşmaktadır. Kan plazmasının ağırlıklı bir kısmı sudan oluşmaktadır. Kan plazmasında bulunan suyun bünyesinde hayati önem taşıyan besinler, proteinler ve kimyasal bileşenler bulunur. Kanın insan vücudunda 3 temel önemli görevi vardır: taşıma, düzenleme ve koruma. En önemli görevi oksijen, besin maddeleri, su, vitamin ve hormonların dokulara taşınmasıdır. Bunun yanında vücudun asit-baz, su-tuz dengesinin korunmasını sağlar [1].

Günlük hayatta birçok farklı ihtiyaçtan dolayı kan bağışına ihtiyaç duyulur. Sağlıklı bir bireyden kan bileşenlerinin alınması (tam kan veya eritrosit, trombosit vb. ürünler) ve ihtiyaç sahibi hastaya nakledilmesi işlemine kan transfüzyonu adı verilmektedir. Kan bileşenleri ve kan ürünlerinin bağışında gönüllülük esastır ve maddi hiçbir çıkar gözetilmez. Kampanyalar yoluyla veya kişilerin kendi iradeleri ile kan bağışı gerçekleştirilir ve devamında ilgili transfüzyon merkezinde ortaya çıkan kan bileşeni ihtiyacı giderilir [2].

Kan bileşenleri, genel sağlık hizmetlerinin yerine getirilmesinde çok önemli bir yer tutmaktadır. Belirtiler ve belirli şüpheler sonucunda sağlık hizmetlerine başvurmuş bir hasta adayına ilgili testlerin uygulanması, hastalığının teşhis edilmesi, ilgili tedavinin uygulanması ve tedavi işlemlerinin takip edilmesi süreçlerinde önemli rol oynar. Kan bileşenleri hastaya ait değerleri ve hasta hakkında bilgileri sağlık çalışanlarına vermekte, elde edilen sonuçlar ışığında genel sağlık hizmetleri yerine getirilmektedir [3].

Kan transfüzyonu işlemleri esnasında kimlik bilgileri başta olmak üzere bağışının hastalık geçmişi, mahrem ve özel hayata ilişkin ayrıntılar gibi birçok gizli kalması gereken konu sorgulanmaktadır. Bu nedenle bağışçıya ait bilgi ve verilerin muhafaza edilmesi, bu verilerin korunmasına yönelik alınması gereken önlemler bir hayli önem taşımaktadır. Öte yandan muhafaza edilmesi gerekenler sadece özel hayat, hastalık geçmişi vb. ait değil aynı zamanda bağışının verdiği numune üzerinde yapılan testler ve bu testlerin sonuçlarına ait verilerdir. Bu nedenle veri gizliliğini ve bütünlüğünü koruyabilmek son derece önemlidir [2].

Kan transfüzyonu talepleri sonucunda kan bileşenlerine ait numunelerin tarama testleri ve analiz aşamasında manuel veya elektronik ortamda birçok kullanıcının (hasta bakım elemanı, teknisyen, laboratuvar uzmanı, doktor vb.) işlem ve onayıyla gerçekleşmektedir. Kan bileşenlerine ait değerler, bağışçı ve hasta bilgileri gibi birçok önemli veri bu çalışmalar esnasında incelenmekte ve sistem içerisinde büyük bir veri akışı oluşmaktadır [5].

Bu denli büyük veri akışlarının gerçekleştiği bir sistemde verilerin doğruluğunu korumak ve veri manipülasyonunu önlemek mevcut veritabanı teknolojilerinde gerçekleştirmek oldukça zor bir görevdir. Kompleks verilere erişmenin veya görüntülemenin kolay ve güvenli bir yolu olmadığından bu verilerin denetimini sağlamak oldukça zordur [6].

Büyük veri akışlarının gerçekleştiği bir ekosistemde kullanıcı sayısı arttıkça kasıtlı veya kasıtsız biçimde oluşabilecek insan hataları da artacaktır. Bunun yanında, farklı sağlayıcı ve hastane sistemleri arasında oluşan koordinasyon eksiklikleri, etkili veri paylaşımının önünde ek engeller oluşturmaktadır [7].

Genel sağlık hizmetleri verilerinde bir başka önemli husus da veri kalitesinin belirli standartlar eşliğinde korunabilmesidir. Ne yazık ki genel sağlık hizmeti verilerinin kalitesi bu alanda arz ettiği önem ile paralel şekilde ilerlememektedir. Yapılan araştırmalarda, medikal kayıtların farklı sebeplerle (medikal kayıtların yer ve saat bilgilerinin değiştirilmesi, ağa farklı zamanlarda giriş yapılması vb.) farklı araştırmalara göre %17 ila %40 arasında değişen hata veya eksik bilgi içerdiği görülmektedir. Medikal kayıtlar ve ilgili doktor/hemşire verilerinin takip edilmesi ve güncellenmesi gerekli prosedürler olmasına rağmen, üzerinde işlem yapılması gereken sayısız sistem olması nedeniyle bu yöntem manuel ve işlevsellik bakımından problemlidir [7,8].

Bütün bunların yanında, verilerin izlenebilirliği ve şeffaflığının sağlanması genel sağlık hizmetlerinin uygulanabilmesi açısından son derece önemlidir. Verinin orijinal kaynağına kadar adım adım izlenebilir olması, süreç esnasında yapılan operasyonların gözden geçirilmesi ve bu sayede kasıtlı/kasıtsız hataların düzeltilmesi için önemlidir. Aynı zamanda, geçmiş medikal kayıtların takip edilerek yeni teşhis ve tedavi yöntemlerinin geliştirilmesi açısından da geliştirici bir etkiye sahip olacaktır [9].

Blokzincir, birbirine zincir halinde bağlı blokların tuttuğu ve s¼rekli b¼y¼yen bir işlem kayıt defterini ifade eder. Eşten eşe birbirine bağlı olan bu blokların işlem kayıtlarını sakladığı depoya ise dijital defter ismi verilir. Blokzincir verileri dağıtılmış ağındaki binlerce aygıtta saklandığı için sistem teknik arızalara ve kötü niyetli saldırılara karşı oldukça dayanıklıdır. Bunun yanında blokzincir güvene dayalı olmayan yani herhangi bir aracıya ihtiyacı bulunmayan bir sistemdir. Blokzincir teknolojileri son yıllarda birçok finans, sağlık, askeri teknolojiler vb. birçok alanda kullanılmaktadır [10].

Blokzincir teknolojisinin yaygın kullanımının altında yatan temel neden veri güvenliğini ve verinin izlenebilirliğini sağlamasıdır. Blokzincir teknolojileri sağlık alanında elektronik sağlık kayıtları, tıbbi araştırmalar, ilaç tedarik zinciri gibi amaçlarla kullanılabilir. Blokzincirin gerçek zamanlı takip ve kayıtların b¼t¼nl¼ę¼n¼ sağlama kabiliyeti sayesinde kullanımı g¼nden g¼ne artmaktadır [11,12].

Blokzincir teknolojisi en temelde, hastaların ve sağlık hizmeti sağlayıcılarının talep bilgilerini paylaşma şekli, sağlayıcı verilerinin bir ağ üzerinde nasıl g¼ncellenip kaydedileceğini, bir hastanın tıbbi kayıtlarının tedavi s¼resi boyunca nasıl paylaşıldığını ve g¼ncellendiğini değiştirecektir [13].

Blokzincir uygulamalarında, medikal bilgileri anlamak, izlemek ve kontrol etmek için şifreli, merkezi olmayan bir blokzincir defteri üzerine gerçek zamanlı g¼ncellemeler yapılır. Bu aynı zamanda sağlıkta yetki sahibi olmayan kişilerin hassas bilgilere erişimini kısıtlamasını kolaylaştırır.

Bu tez çalışması kapsamında, blokzincirin kayıt b¼t¼nl¼ę¼ sağlama, veri güvenliğine yönelik ihlalleri azaltma ve gerçek zamanlı takip işlevleri kullanılarak kalite y¼netimi odaklı hasta kan y¼netim sistem mimarisi tasarlanmış, tasarlanan sistem mimarisinin blokzincir uygulamaları üzerinden modellenmesi gerçekleştirilmiş ve gerçek hayat problemlerine öz¼m sağlamak amacıyla implementasyonu hayata geçirilmiştir.

Bu tez çalışmasında blokzincir uygulamalarına uygun olması, genel sağlık hizmetlerinin yapıtaşlarından biri olması ve ulusal/uluslararası alanda blokzincir uygulamalarının bu alanda yeni bir konu ve sayıca yetersiz olması nedeniyle kan transfüzyonu işlemleri uygulama alanı olarak seçilmiştir. Blokzincir teknolojisinin kan transfüzyonu gibi temel bir alanda uygulanması, çalışmanın uzun vadede yapılacak değişiklikler ve güncellemelerle sağlık sisteminin farklı departmanlarında da uygulanabilmesini sağlayacaktır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde literatürde genel blokzincir uygulamaları ve sağlık alanında verilerin saklanması konusunda nasıl kullanıldığına yönelik kaynak ve literatür araştırması yapılmıştır.

Temeli sağlam ve kapsayıcı bir çalışma yapabilmek için öncelikle mevcut sistemi iyi analiz etmek, verileri toplamak, iş akışlarını incelemek, iyileştirme alanlarını tespit etmek gerekmektedir. Bu nedenle çalışmanın üçüncü bölümünde detaylı bir kaynak taraması ve Gazi Üniversitesi Hastanesi'nin kan transfüzyonuna dair mevcut iş akışı analiz edilmiş ve figürlere aktarılarak sunulmuştur. Aynı zamanda, problemin tanımı yapılmış ve çalışmanın temel amaçları bu bölümde açıklanmıştır.

Tez çalışmasının dördüncü bölümünde çalışmaya konu sistemin kavramsal mimarisi tasarlanmış, yöntem olarak seçilen blokzincir uygulamalarında hangi altyapıların kullanılabilceği araştırılmış, kan transfüzyonu işlemleri bu uygulamalarda modellenerek hangisinin en iyi alternatif olduğu belirlenmiştir.

Tez çalışmasının beşinci bölümünde kan transfüzyonu seçilen en iyi alternatif uygulama olan Hyperledger Fabric üzerinden yazılım geliştirme ve test işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmasının son bölümünde ise önerilen çözüm ve geliştirilen yazılımın sonuçları değerlendirilmiş, süreç içerisinde karşılaşılan sorunlar ve elde edilen sonuçlar ele alınmış ve son olarak da gelecek çalışmalara kaynak oluşturması açısından yapılan çalışma yorumlanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, ilk olarak kan bileşenlerine ait verilerin yönetimi, mevcut sistemde ilgili kayıtların güvenilirliği ve izlenebilirliği, blokzincir teknolojisinin sağlık sektöründe kullanımı ile ilgili önceki çalışmaların genel bir incelemesini sunulmuştur. Ardından yapılan çalışmanın literatürdeki öncekilerle çalışmalarla karşılaştırması yapılmıştır.

2.1 Kan Bileşenlerine Ait Verilerin Yönetimi

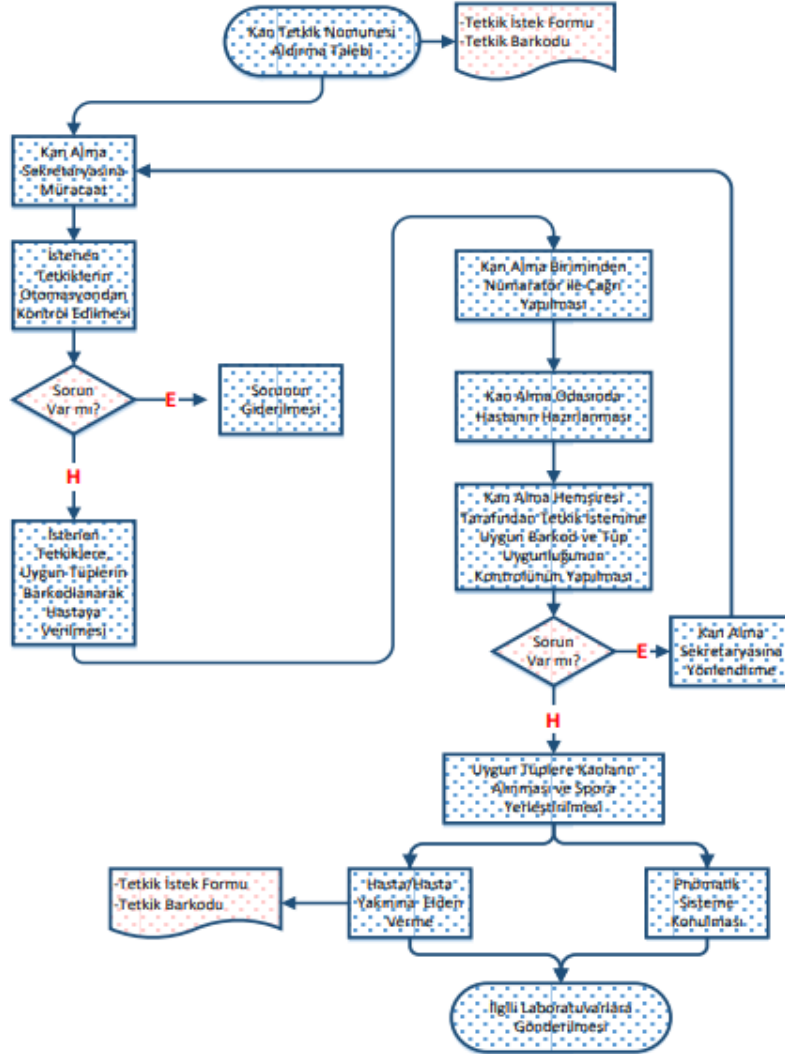
Kan, vücudun tüm organ, doku ve hücrelerine oksijen, besin, kimyasal, hormon ve su taşıyan ve aynı şekilde ilgili organ, doku ve hücrelerde oluşan tüm atık ürünleri uzaklaştıran yaşamsal sıvıdır. Kan bileşenleri, vericiden alınan kandan hazırlanan kan ürünleridir. Bağışçıdan temin edilen kan bileşenleri bir an evvel işlenmekte ve en çok kullanılan kan ürünlerine dönüştürülmekte ve depolanmaktadır. [14].

Günümüz genel sağlık hizmetleri ve tıbbi uygulamalarında bağışçıdan alınan kan ve ilgili kanın işlenmesi sonucunda oluşturulan kan ürünleri numunelerinin farklı yöntemlerle analiz edilmesi sonucunda teşhis, tedavi ve bilimsel/klinik çalışmalar gerçekleştirilmektedir. İlgili kan bileşenlerinin temin edilmesi işlemi preanalitik evre olarak da adlandırılan uzman doktorun teşhis koyma ve devamında mümkünse tedavi uygulama amacıyla hasta/bağışçıdan kan değerlerini öğrenmek istemesiyle birlikte başlar. Teknik ve lojistik imkanlara bağlı olarak sağlık kuruluşlarında veya ilgili laboratuvarlarda hasta/bağışçıdan kan alma işlemleri tamamlanır [15].

Uzman doktor talebi ile başlayan preanalitik evre süresince alınan numuneler barkodlanarak kaydedilir, sonrasında örneğin uygunluğu test edilir ve gerekli transfer ve taşıma işlemlerinin tamamlanmasının ardından kan örnekleri eğer uygunsa kabulü yapılarak test çalışmaları öncesindeki işlemler tamamlanmış olur. Başarılı laboratuvar teknikleri ve uygulamaları için, transfüzyona uygun numune toplanması son derece önemlidir. Uygun yöntemle toplanmayan numuneler tekrardan numune alımı ve test işlemleri, maliyet artışları, yanlış tedavi veya tanı, ölüm gibi istenmeyen sonuçlara yol açabilir.

Analitik evre öncesinde yapılan transfer işlemleri istenen analizde değişikliğe neden olmayacak koşullarda, örneklerin bozulmayacağı şekilde dizayn edilmiş bir pakette ve en kısa sürede ilgili laboratuvara ulaştırılmalıdır. Örnek vermek gerekirse birtakım analizler için belirli bir sıcaklık değerinin altında/üstünde (Örn: 4°C altında) taşınması veya ışıktan korunması önemlidir. Analitik evrede numunelerin analiz öncesi işlenmesi ve sınıflandırılması, ilgili analiz ve test işlemlerinin yapılması, panik değerler listesi hesaplamaları gerçekleştirilir. Post-analitik evrede ise analiz ve test işlemleri gerçekleştirilmiş numunelerin sonuçlara göre yorumlanması, değerlendirilmesi, raporlanması ve sonuç raporunun iletilmesi işlemleri gerçekleştirilir. [16]

 GAZİ HASTANESİ	KAN ALMA BİRİMİ AKIŞ ŞEMASI	DOKÜMAN KODU	POL.AŞ.004
		YAYIN TARİHİ	08.05.2016
		REVİZYON NO	0
		REVİZYON TARİHİ	-
		SAYFA NO/SAYISI	1/1



Şekil 1: Kan Alma Birimi İş Akış Şeması [17]

Şekil 1’de basit bir şekilde şematize edilmiş iş akışında analiz ve test işlemleri için alınan numunelere ait verilerin birçok personelin erişimine açık olduğu görülmektedir. Pratik uygulamalarda, analitik evrenin başlangıcından itibaren laboratuvar teknisyeni, laboratuvar uzmanı, uzman doktor, hemşire ve hasta kayıt elemanı gibi birçok personel bağışçı/hastaya ait ilgili verileri görebilmektedir.

Verilerin erişimine sahip personel sayısı arttıkça insana bağılı olarak kasıtlı veya kasıtsız hataların/manipölasyonların artması daha mümkün olduğu gözlemlenmektedir. Yapılan araştırmalara göre klinik araştırmaların %17’sinde araştırmacıların kasıtlı bir şekilde manipölasyon yaptığı veya veri manipölasyonuna göz yumduğu görülmüştür [7,8,42].

Bu tür uygulamaların önüne geçmek için uluslararası düzeyde benimsenmiş kılavuzlar olarak standart operasyon prosedürleri hazırlanmış ve kullanıma sunulmuştur. Her ne kadar bu kılavuzlar hazırlanmış olsa da araştırmaları ve klinik analizleri yönetmek için uluslararası olarak uyumlu bir çerçevenin bulunmaması, klinik araştırmayı manipölasyon için oldukça savunmasız bir alan haline getirmektedir [18].

İnsan faktörünün devreye girmesi ve yapılan işlem sayısının artmasıyla birlikte mevcut sistemler daha kompleks bir hal almaktadır. Bu durumda analiz ve test işlemleri için toplanmış olan kan ve kan ürünlerinin numunelerine dair ortaya çıkacak bir başka problem verilerin şeffaflığı ve izlenebilirliğidir. Medikal kayıtların tutulduğu ve izlendiğı veritabanlarının standart olmaması, birden fazla kaynaktan sağlanan verilerin uyuşmaması gibi problemler verilerin şeffaflığına gölge düşürmekte ve verilen hizmetin kalitesini sorgulatmaktadır.

Yapılan son araştırmalar, hastanın/bağışçının veya kuruluşun elinde bulunan doktor kayıtlarının %40’lara varan hata veya eksik bilgi içerdiğini göstermektedir. Bu, sağlık personellerinin sürekli olarak hizmetin sağlandığı ağlara giriş-çıkışı, yer ve saat değıştirmesinin doğrudan bir sonucu olarak gözükmektedir. Doktor bilgilerinin izlenmesi ve güncellenmesi için işlemler mevcut olmasına rağmen doğru şekilde güncellenmesi gereken sayısız sistem nedeniyle manuel ve bu sebeple de işlevsel olmadığı gözükmektedir [19].

2.2 Blokzincir Teknolojisinin Özellikleri ve Kullanım Alanları

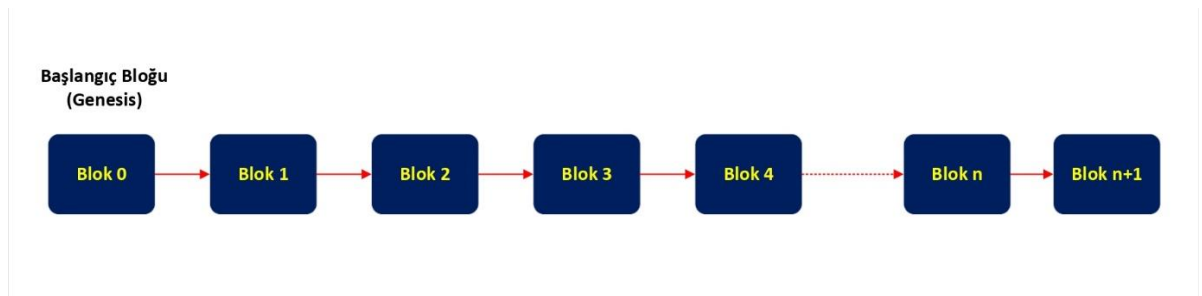
2.2.1 Blokzincirin Genel Özellikleri

Blokzincir teknolojisi ilk olarak Satoshi Nakamoto tarafından eşten eşe elektronik ödeme sistemi Bitcoin'in önerilmesiyle ortaya çıkmıştır. Değer atfedilen varlıklar ve verilerin uçtan uca transferinin sağlanması, işlem kayıtlarının güvenli ve şifrelenmiş bir şekilde dijital ortamda tutulmasına olanak tanımaktadır. Blokzincir teknolojisi kullanıcıya ait veri ve değerli varlıkların güvenli bir şekilde saklanması ve gerektiği durumlarda doğrulanabilmesi için dağıtık (decentralized) şekilde kurgulanmıştır [10].

Blokzincir temelde bünyesindeki bağlı blokların zincir şeklinde bütünleştiği ve devamlı olarak genişleyen bir işlem kayıt defterini ifade eder. Uçtan uca birbirine bağlı olan bu blokların işlem kayıtlarını sakladığı depoya ise dijital defter (digital ledger) ismi verilir [20].

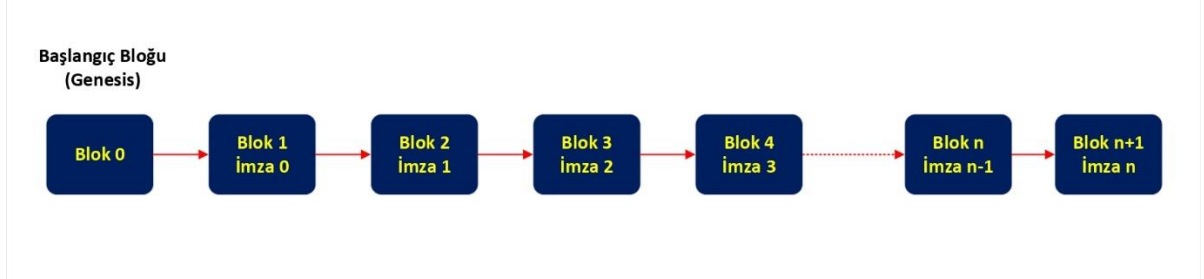
Yapılan her bir işlem ilgili zincire eklenen yeni bir bloktur. Ekosistem içerisinde bir zincir birden çok blok içerir ve zincirin ilk bloğuna "genesis block" adı verilmiştir. Her bir blok, kırılmamış bir zincir oluşturmak için önceki bloğu referans alır ve kendi işlemini tanımlar, bu sayede zincire yeni bloklar eklenerek işlemler yapılmaya devam eder, her bir kullanıcı kriptografik doğrulama ile sisteme dâhil edilir. Çok sayıda kullanıcının bulunduğu bir ekosistemde, sistem bütünlüğünün korunabilmesi için sisteme dâhil olacak her verinin belirli ve geçerli standartlara sahip olması gerekmektedir. Merkeziyeti olmayan yapılarda birbirini tanımayan kullanıcıların varlığından dolayı, "protokol" adı verilen kurulan sistemin bütünü tarafından onaylanmış kurallara bağlı bir yapı kurgulanmıştır. Protokol, yeni düzenlemelerin veya girişlerin nasıl başlatıldığını, doğrulandığını, kaydedildiğini ve dağıtıldığını yönetir [21].

Şekil 2 ve Şekil 3'te blokzincir yapısı görsel şekilde aktarılmıştır:



Şekil 2: Genesis Bloğunun Oluşturulması ve Birbirini Takip Eden Yapı [21]

Blokszincir dijitalleştirilmiş bir imza halkası olarak tanımlanmaktadır. Her eş, verinin bir önceki işlemiyle birlikte, veriyi alacak kişinin açık anahtar özetini dijital olarak imzalayıp verinin sonuna ekleyerek, bir sonraki sahibe o veriyi yollamaktadır.



Şekil 3: Blokların Bir Önceki Bloğun Dijital İmzasını İçerecek Şekilde Birbirini Takip Ettiği Yapı [21]

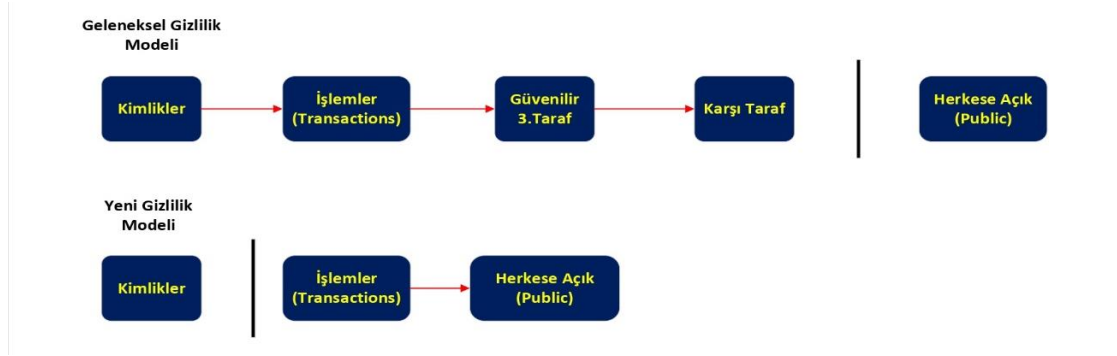
Kullanışlı ve güvenli bir dijital kayıt ortamı oluşturmak ve ortamı kullanıma açabilmenin arkasında temelde aşağıdaki 3 teknoloji unsurunun yattığı gözükmektedir [22]:

- Özel ve paylaşımlı anahtar kriptografi yapısı,
- Merkeziyeti olmayan (dağıtık) bir işlem defteri,
- Ağ işlemleri gerçekleştirilirken kayıtların gerçekleşmesi ve sistemin güvenli tutulmasına yönelik ödül mekanizması

Blokszincir teknolojisinin temelinde güvenli bir dijital kimlik referansı oluşturmak yatar. Kimlik, dijital sertifika olarak adlandırılan özel ve paylaşımlı (private and public key) kriptografik anahtarların bir kombinasyonuna sahip olmaya dayanmaktadır. Fakat bu anahtarlara sahip olmak sadece kimlik doğrulamak için yeterli olmayacaktır. Blokszincir sistemi içerisinde güvenli bir şekilde işlem yapabilmek için bunun işlemleri ve izinleri onaylama mekanizması ile birleştirmesi gerekmektedir [23].

Blokszincir ekosisteminde bu durum dağıtılmış ağ (decentralized network) ile sağlanmaktadır. Dağıtılmış ağ, içerisinde birçok onaylayıcı bulunduran çok büyük bir ağdır. Bu onaylayıcılar aynı anda aynı işlemlere tanıklık edebilmek için matematiksel doğrulama yöntemini kullanmaktadır. Onaylayıcılar yaptıkları işlem sonucunda kayıtların gerçekleşmesini ve sistemin güvenli tutulmasını sağladıkları için belirli bir miktarda ödül alır [24].

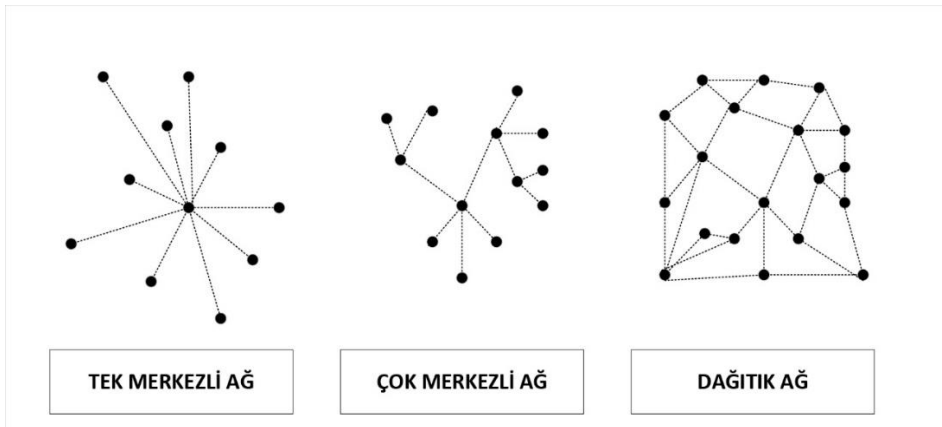
Geleneksel iş modelleri bilgiye erişimi ilgili taraflar ve güvenilir bir üçüncü tarafla sınırlayarak, belli bir seviyeye kadar gizliliği sağlamaktadır. Blokzincir teknolojisinin tüm işlemleri herkese açık bir şekilde duyurma zorunluluğu bu yöntemi engeller ancak gizlilik açık anahtarları anonim tutarak sürdürülebilir [21].



Şekil 4: Geleneksel Gizlilik Modeli ve Yeni Blokzincir Gizlilik Modeli [21]

Blokzincir teknolojisinde transferi sağlanacak olan veri bir merkez veya bir merkez grubu tarafından değil, sisteme üzerinde yer alan tüm kullanıcılar tarafından kayıt altına alınmaktadır. Bu düzende güven unsuru en başta sistem genelinde belirlenmiş kurallar ve bu kurallar dâhilinde kullanıcılara üretilmiş kayıt zincirinin kullanıcılara dağıtılmasıdır [25].

Blokzincir verileri dağıtılmış ağdaki binlerce aygıtta şifrelenmiş şekilde saklandığı için sistem teknik arızalara ve kötü niyetli saldırılara karşı oldukça dayanıklıdır. Blokzincir kayıtlarının dağıtıldığı tüm kullanıcılar, iletişim içerisinde sistemin düzgün çalıştığının mutabakatını gerçekleştirirler. Eğer veri kayıt zinciri yapısında, aradan bir blok çıkarsa veya değişirse, zincir kırılır ve sistemin geneli kırık/bozuk halkaya sahip noktayı dağıtılmış kayıt defteri ağından çıkarır. Böylece geriye kalanlar, zincirin kırılmadan devam ettiği noktada mutabık kalarak sistemi kullanmaya devam ederler [26].



Şekil 5: Blokzincirin dağıtık ağ yapısını simgeleyen bir görsel

Blokszincir ağ mimarisi üzerindeki veri kayıt zincirinde meydana gelebilecek herhangi bir değişiklikte zincirin kırılması ve ilgili verinin sistemden çıkarılması nedeniyle kayıt zinciri içerisinde verilerin sistem üzerinde değiştirilebilmesi pratikte imkânsıza yakındır, bu sayede verilerin güvenliği ve şeffaflığı korunabilmektedir. Bu durum sistem güvenirliliği açısından blokszincir teknolojisini önemli bir noktaya taşımaktadır [27].

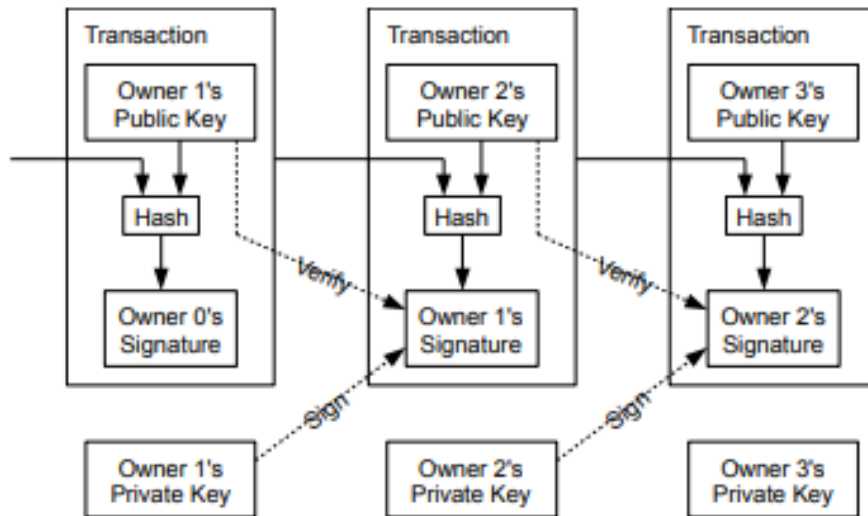
Blokszincir teknolojileri son yıllarda birçok finans, sağlık, askeri teknolojiler vb. birçok alanda kullanılmaktadır. Blokszincir teknolojisinin yaygın kullanımının altında yatan temel neden veri güvenliği ve doğruluğunu mevcut sistemlere nazaran maksimum şekilde koruması ve bunu yaparken verilerin anlık şekilde izlenebilmesini sağlamasıdır.

2.2.2 Blokszincirin Kullanım Alanları

Blokszincir teknolojisinin henüz emekleme safhasında olduğu düşünülse de günümüz dünyasında birçok farklı sektörde elektronik ödeme sistemleri, akıllı sözleşmeler, süreç ve iş optimizasyonu, kamu ve sağlık kayıtlarının güvenliğinin sağlanması, şans oyunları, oy kullanma ve bunlar gibi güven protokolü gerektiren tüm alanlarda kullanımı yaygınlaşmıştır.

2.2.2.1 Elektronik Ödeme Sistemleri

Blokszincir teknolojisinin en yaygın kullanıma sahip olduğu alan elektronik ödeme sistemleridir. 2008 yılında Satoshi Nakamoto ismiyle yayınlanan Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System makalesi eşten eşe elektronik ödeme sistemlerinin ve blokszincir teknolojisinin tetikleyicisi olmuştur.



Şekil 6: Elektronik Ödeme Sistemlerinde Blokszincir Kurgusu [10]

Blokzincirin elektronik ödeme sistemleri için kullanılmasında temel amaç 3.tarafları ortadan kaldırmak ve merkezi olmayan yöntemler ile bağımsız değer üretmektir. Bunun yanı sıra blokzincir teknolojisi, sadece ulusal ölçekte değil uluslararası ödeme sistemlerinde de 3.tarafları ortadan kaldırması ve bu sayede arabuluculuk maliyetlerini azaltmasıyla birlikte operasyonel verimliliği artıran ve maliyetleri azaltan bir kurgu sağlamaktadır [28].

2.2.2.2 Akıllı Sözleşmeler

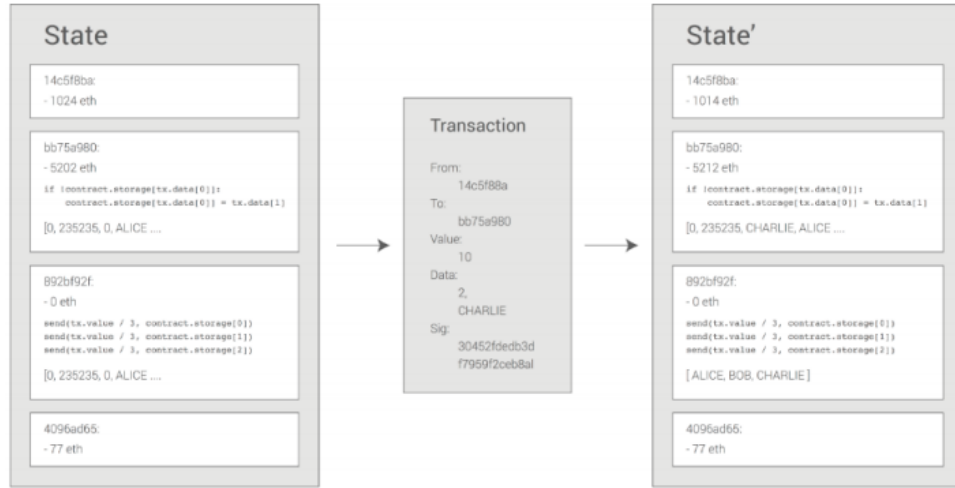
Blokzincir teknolojisinin eşten eşe elektronik ödeme sistemleri dışında popüler olarak kullanıldığı ve üzerine çalışmalar yapıldığı bir diğer araç ise akıllı sözleşmelerdir. Akıllı sözleşme, taraflar arasında sağlanan anlaşma/sözleşmenin şartlarının yerine getirildiğini temin eden bilgisayarlı bir işlem protokolü olarak tanımlanmıştır. Akıllı sözleşme tasarımının genel hedefleri, ortak sözleşme koşullarını (ödeme koşulları, hacizler, gizlilik, yaptırım vb.) karşılamak, kötü niyetli veya kaza sonucu oluşmuş istisnaları en aza indirmek ve güven ilişkisine dayalı 3.tarafları ortadan kaldırmaktır [29].

Akıllı sözleşmeler, ilgili tarafların anlaşmasıyla birlikte hazırlanır, kriptografik altyapıya uygun olarak imzalanır ve blokzincir ağına yüklenir. Ağa yüklenmiş sözleşmeler, ağ üzerindeki diğer bileşenler ile karşılıklı gönderilen "mesajlar" üzerinden etkileşim kurar. Söz konusu etkileşim herhangi bir işlemin başlatılması veya sözleşmeye ait bilginin gönderimi şeklinde olabilir. Sözleşmede taraflar arasında belirtilen koşulların oluştuğu teyit edildiğinde akıllı sözleşmeler otomatik olarak içerisinde tanımlanmış olan anlaşma koşullarının çalıştırılmasını sağlar [30].

Blokzincir ekosisteminde oldukça popüler olan Ethereum'un mimarı Vitalik Buterin ise akıllı sözleşmeleri dijital varlıkları önceden belirlenmiş rastgele kurallara göre otomatik olarak hareket ettiren sistemler olarak tanımlamış, aktarılacak olan değer finansal olup olmadığına bakmaksızın ilgili verinin kullanıcılar tarafından tamamen kendi isteklerine göre oluşturulmuş kurallarına bağlı olarak mantıksal bir mimari çizecek bir uygulama yaratmıştır [31].

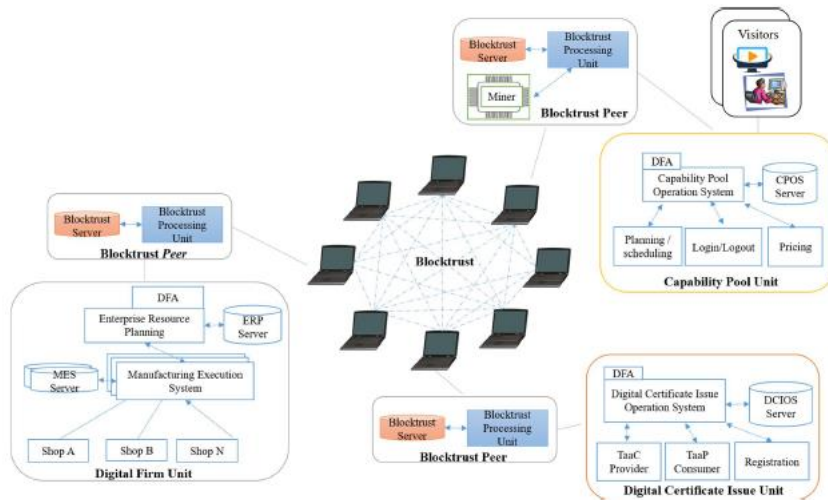
Ethereum akıllı sözleşme mimarisine göre "işlem" terimi, harici olarak sahip olunan bir hesaptan gönderilecek bir mesajı saklayan imzalı veri paketini ifade etmek için kullanılır. İşlemler, mesajın alıcısını, göndereni tanımlayan bir imzayı, Ether miktarını, gönderilecek veriyi ve ayrıca STARTGAS ve GASPRICE adlı iki değeri içerir.

GASPRICE değeri her hesaplama başına madenciye ödenecek ücreti, STARTGAS değeri ise işlemin yürütülmesi esnasında izin verilen maksimum hesaplama adımı temsil eder. İşlemin yürütülmesi esnasında GAS değerinin bitmesi durumunda madenciye ödenen ücretlerin ödenmesi dışında tüm durum değişiklikleri geri alınır. Algoritma işlemlerin doğru değer setine sahip olup olmadığını kontrol eder, devamında sıralı bir dizi işlemle birlikte iki paydaş arasındaki değer alışverişini sağlar. Eğer gönderilecek olan değerlerde eksiklik olması durumunda işlemler iptal edilir [31].



Şekil 7: Ethereum Akıllı Sözleşmede İşlem Örneği [31]

Yapılan bir diğer çalışmada blokzincir teknolojisinin eşler arasında ağlar üzerinden otonom akıllı sözleşme sağlamasıyla bulut tabanlı üretimde yaşanan güven temelli problemlerin ortadan kaldırılması ve bir güven sistemi tesis edilmesi üzerine bir model önerilmiştir [32].



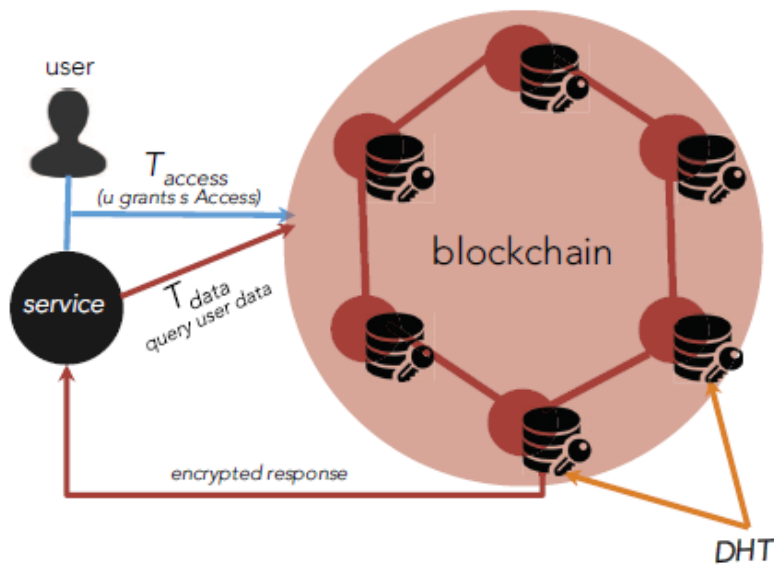
Şekil 8: Blocktrust Güven Ağı [32]

Bu modele göre bulut tabanlı üretimin blokzincir teknolojisiyle desteklenmesiyle birlikte belirlenen kaliteye uygun tedarikçi/iş ortağı arama süreçlerinde verimlilik sağlama, gerçekleştirilmesi gereken bir operasyon için sistem dahilinde daha etkili kaynak arama imkânı, üretimde verimliliğin artması, daha efektif felaket yönetimi senaryoları dahil olmak üzere sistem işlemlerinin birçok yönüne pozitif etki sağlaması amaçlanmıştır.

Şekil 8’de gösterilen Blocktrust güven ağı yapısında tüm birimler bir “Blocktrust” eşine sahiptir. Merkezi Blocktrust, dağıtık eşler arası ağda birçok eş içermektedir. Her birimin tüm güven bilgileri bu ağa kaydedilir. Herhangi bir merkezi koordinasyona ihtiyaç duyulmadan Bir “Blocktrust” eşi herhangi bir merkezi koordinasyona ihtiyaç duymadan diğer eşler tarafından doğrudan erişilebilen ağın tüm güven puanlarını kaydeder. Bir “Blocktrust” eşi dağıtık eşler arası ağa bağlandığında güven skorları güncellenir ve tüm eşlerde saklanır, bu sayede güven skorları kaybolmadan veya değiştirilemeden saklanabilmektedir [32].

2.2.2.3 Verilerin Korunması ve Gizlilik

Blokzincir teknolojisi çoğunlukla finansal ve ticari faaliyetlerde kullanılıyor olsa da kişisel/kurumsal verilerin korunması ve gizliliği açısından da önem arz eden bir potansiyele sahiptir. Yapılan bir çalışmada kullanıcıların kendi verilerini kontrol etmelerini sağlayan dağıtık kişisel veri yönetim modeli sunulmuştur. Diğer blokzincir modellerinden farklı olarak bu çalışma, işlemler (transactions) ticari değer yerine veri saklama, sorgulama ve paylaşma gibi talimatlar taşımak için gerçekleştirilmiştir.



Şekil 9: Dağıtılmış Ağ Platformunun Görünümü [33]

Şekil 9’da görüldüğü üzere sistemi oluşturan üç varlık, uygulamaları indirmek ve kullanmakla ilgilenen cep telefonu kullanıcıları, hizmetler ve düğümlerdir. Blokzincir yapısı iki yeni işlem türünü kabul eder: Erişim kontrolü ve veri depolama.

Yeni bir kullanıcı, gizliliğini korumak için platformu kullanan bir uygulama yükleyip kaydolduğunda yeni bir kimlik oluşturulur ve blokzincire gönderilir. Telefonda toplanan veriler (konum, sağlık verileri, multimedya vb.), paylaşılan bir şifreleme anahtarı kullanılarak şifrelenir ve blokzincire gönderilir. Bu noktadan sonra hem platform hem de kullanıcı, kendisiyle ilişkilendirilmiş özel anahtar ile verilerini sorgulayabilir. Ardından blokzincir platformu dijital imzanın kullanıcıya veya hizmete ait olmadığını doğrular. Kullanıcı, önceden depolanan verilere erişimi iptal etme de dahil olmak üzere yeni bir izin kümesiyle herhangi bir zamanda bir hizmete verilen izinleri değiştirebilir [33].

2.3 Blokzincir Teknolojisinin Sağlık Sektöründe Kullanımı

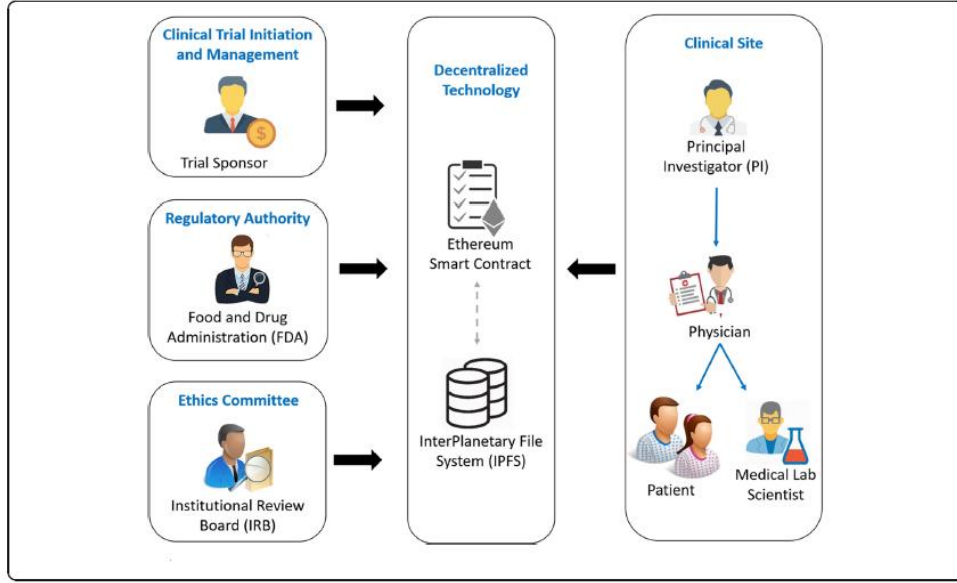
Blokzincir teknolojileri sağlık alanında elektronik sağlık kayıtları, klinik araştırmalarda veri aktarımı ve güvenliği, tedarik zinciri yönetimi gibi amaçlarla kullanılabilir. Blokzincirin veri güvenliği, gerçek zamanlı takip ve kayıtların bütünlüğünü sağlama kabiliyeti sayesinde sağlık sektöründe kullanımı da günden güne artmaktadır.

2.3.1.1 Veri Güvenliği ve Gizliliğin Korunmasına Yönelik Uygulamalar

Blokzincir teknolojisiyle sağlık sektöründe veri güvenliği ve gizliliğinin sağlanması konusunda çalışmalar son dönemde hız kazanmıştır. Özellikle akıllı sözleşmeler altyapısının verinin kiminle, nerede ve ne ölçekte paylaşabileceğini kontrol etmesi bu çalışmalarda önemli ölçüde aşama kaydedilmesinde etkindir.

Blokzincir teknolojisinin klinik araştırmalar ve medikal kayıtlar konusunda potansiyel olarak çözebileceği konulardan birisi de hasta mahremiyetinin ve güvenliğinin sağlanmasıdır. Bu konuda medikal verilerin yönetimi, protokol uyumluluğu, veri bütünlüğü ve şeffaflık sağlamak amacıyla akıllı sözleşme ve IPFS kullanarak bir klinik araştırma sürecindeki çeşitli paydaşlar arasındaki ilişki ve etkileşimi detaylandıran blokzincir tabanlı bir model önerilmiştir [34].

Şekil 10’da görüldüğü üzere önerilen kavramsal mimaride Ethereum akıllı sözleşmesi, paydaşların sözleşmeyle ve birbirleriyle aktif olarak etkileşime girebilecekleri modelin merkezine yerleştirilmiştir. Bu sayede verinin ve araştırmanın koordinasyonu sözleşmeli araştırma kuruluşları alınarak bizzat modelin kendisine verilmiştir. Böylece organizasyonun sorumlulukları, herhangi bir müdahaleyi ortadan kaldıran ve otomatik olarak işleyen bir akıllı sözleşmeye dönüştürülecektir.



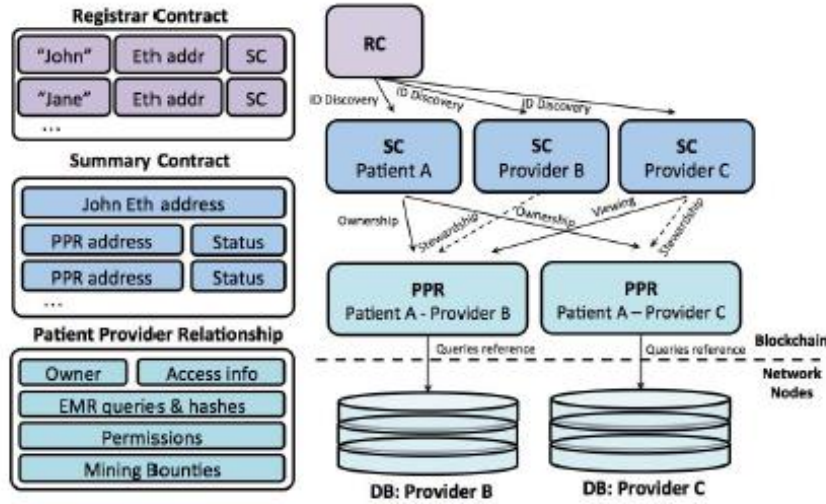
Şekil 10: Klinik Araştırmada Akıllı Sözleşme Kullanımının Örnek Bir Kavramsal Mimarisi [34]

Blokzincirin sağlık sektöründe kullanımına dair bir başka yaklaşım elektronik medikal kayıtların işlenmesi için blokzincir tabanlı merkezi olmayan bir kayıt yönetim sistemi kurulmasıdır. Blokzincirin akıllı sözleşmelerinden yararlanan bu model kimlik doğrulama, gizlilik, izlenebilirlik ve veri paylaşımını yönetmektedir.

Bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkı sağlık sektöründe yer alan diğer paydaşları (araştırmacılar, halk sağlığı yetkilileri vb.) dağıtılmış ağa blokzincir madencileri olarak katılmaya teşvik etmesidir. Madenciler çalışma/emek ispatı (PoW) ile ağın devamlılığını ve güvenliğini sağlarken karşılığında ödül olarak anonimleştirilmiş toplu verilere erişim sağlar [35].

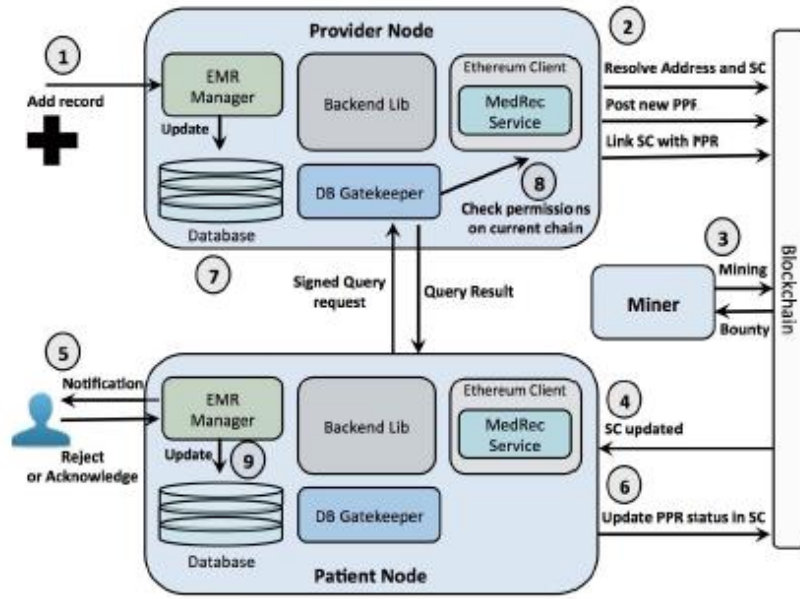
Sistemin genel işleyişi bir Ethereum blokzincirdeki akıllı sözleşme yapısı aracılığıyla tıbbi bir kaydı harici veri tabanlarında yürütmek için görüntüleme izinleri ve veri alma talimatlarıyla ilişkilendiren hasta-hizmet sağlayıcı ilişkilerinin deftere (ledger) kaydedilmesi üzerine kuruludur. Kaydın değiştirilmesini önlemek için blokzincire kriptografik bir hash eklenir ve böylece veri bütünlüğü sağlanmış olur. Medikal hizmet sağlayıcılar, belirli bir hastayla ilişkili yeni bir kayıt ekleyebilir ve aynı zamanda hastalar kayıtların sağlayıcılar arasında paylaşılmasına izin verebilir. Her iki durumda da ilgili taraf sistem üzerinden otomatik bir bildirim alır ve verileri kabul etmeden veya reddetmeden önce önerilen kaydı doğrulayabilir. Bu sayede veri gizliliği sağlanmış olur [35].

Şekil 11’de görüldüğü üzere kayıt sözleşmesi (registrar contract) veritabanına yeni kimliklerin kaydedilmesini veya mevcut kimliklerin eşlemesini değiştirmeyi düzenler. Bu nedenle kimlik kaydı yalnızca sertifikalı kurumlarla sınırlandırılmıştır. Kayıt sözleşmesi ayrıca kimlik dizelerini blokzincirdeki bir adrese eşler; bunu gerçekleştirmek için de özet sözleşme (summary contract) adı verilen özel bir sözleşme bulunur. Hasta-hizmet sağlayıcı sözleşmesi ise bir hasta bir hizmet sağlayıcı tarafından sağlık hizmeti aldığı anda ilgili verilerin paylaşılması konusundaki sözleşmedir [35].



Şekil 11: MedRec Akıllı Sözleşmelerinin İşleyişi-1 [35]

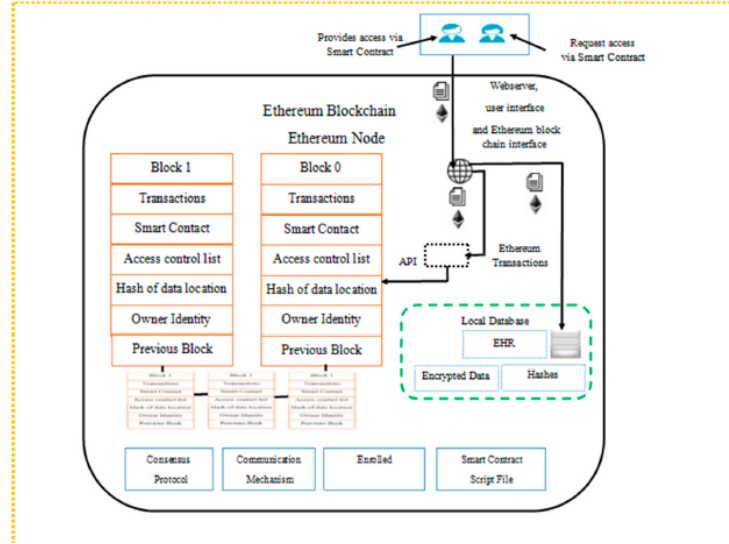
Şekil 12’de görüldüğü üzere yeni bir kayıt ekleneceği zaman kayıt sözleşmesi (RC) kullanılır. Blokzincir üzerindeki kayıt sözleşmesi (RC) kullanılarak, hastanın kimlik bilgileri önce eşleşen Ethereum adresine çözülür ve karşılık gelen özet sözleşme bulunur. Devamında hizmet sağlayıcı, hastanın Ethereum adresine ait olan verileri yönettiğini belirten yeni bir hasta-hizmet sağlayıcı sözleşmesini (PPR) blokzincire yükler. Sağlayıcı düğümü daha sonra bu verilere başvurmak için bir sorgu oluşturur ve buna göre PPR’yi günceller [35].



Şekil 12: MedRec Akıllı Sözleşmelerinin İşleyişi-2 [35]

2020 yılında yayınlanan bir çalışmada sağlık sektöründe daha efektif veri yönetimi için blokzincir teknolojisi kullanılarak birden fazla iş akışının akıllı sözleşme modeliyle uygulama önerisi ve bu uygulamanın fizibilite çalışması yapılmıştır. Cerrahi ve klinik deneyler, laboratuvar testleri gibi karmaşık tıbbi prosedürleri içeren işlemler Ethereum blokzincir platformu kullanılarak tasarlanmış ve uygulanmıştır.

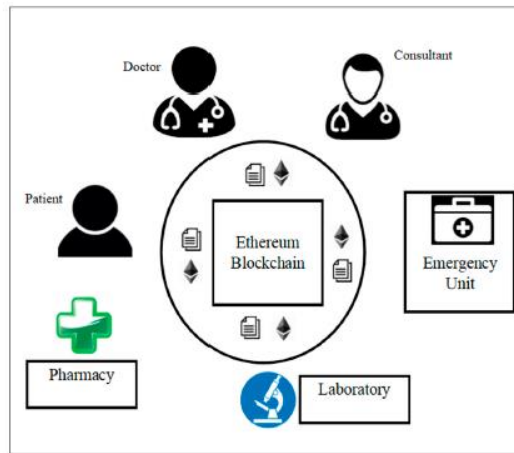
Sistemin blokzincir işlemleri (transactions), bu özelliklerin yönetilebilmesi için kriptografik olarak imzalanmış talimatlar taşır. Sistem kullanıcıları tarafından belirlenmiş bir talimat, üçüncü bir tarafa görüntüleme izni vermeden önce hem hastalardan hem de sağlık uzmanlarından ayrı onay işlemleri göndermeyi zorunlu kılabilir [36].



Şekil 13: Akıllı Sözleşme Kontrollü Erişimi ile Sistem İş Akışı [36]

Şekil 13'te görüldüğü üzere farklı izinlerin yönetilmesinden verilere erişime kadar tüm koşullara sahip olabilen bir akıllı sözleşme tasarlanabilir ve bu şemada farklı birçok paydaş yer alabilir. Kurgulanmış yapıda veri yetkilendirme kuralları akıllı sözleşmelere yerleştirilmiştir. Ayrıca bu durum kaynağından teslim edilmesine kadar süreçte benzersiz bir kimlik numarası (unique ID) ile takip edilmesini sağlayacaktır.

Bu iş akışında akıllı sözleşmelerin uygulanmasının amacı farklı paydaşların (laboratuvar, doktorların vb.) bir hastaya ait bilgilerin etkili bir şekilde erişimine ve paylaşmasına izin vermektir. Örnek olarak bağışçı/hastanın kan testi için laboratuvara gittiği bir örnekte kan alınıp işlendikten sonra, laboratuvar sonuçları hasta kayıtlarına işlenir ve hasta bu bildirimleri Ethereum blokzincir aracılığıyla test sonuçlarının erişilebilir olduğuna dair bir bildirim alır ve laboratuvarın bilgileri kodlamasını ve koymasını etkinleştirip etkinleştirmeyeceğini seçebilir [36].

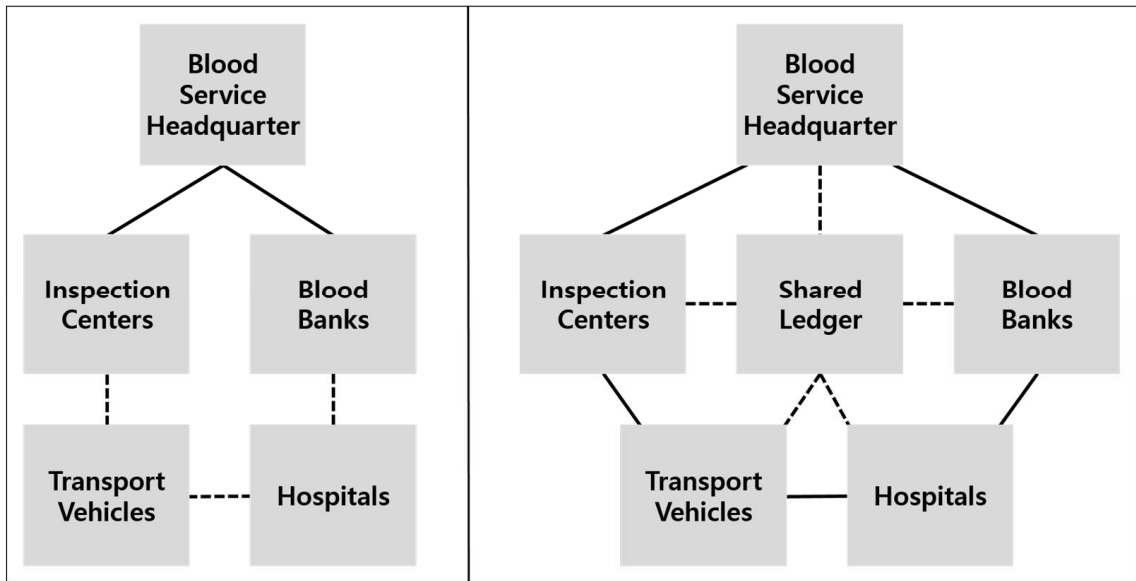


Şekil 14: Laboratuvar Test Sonuçlarının Paylaşılmasında Sistemin Paydaşları

2.3.1.2 Tedarik Zinciri Yönetimine Yönelik Uygulamalar

Kan transfüzyonu operasyonlarında yaşanan tedarik zinciri merkezli problemler ve mevcut merkezi kan yönetim sistemlerinde bilgilerin gerçek zamanlı paylaşılabilmesi sorunu için çözüm olarak blokzincir kullanımıyla birlikte yeni yaklaşımlar ortaya çıkmaktadır.

Kan transfüzyonunda tedarik zinciri yönetimine ilişkin genel bilgilerin dağıtılmış deftere kaydedilmesi ve kullanıcılara sunulmasıyla birlikte bilgi görünürlüğünü artırmayı amaçlayan ve acil durumlarda kan bankaları ve transfüzyon merkezleri arasında doğrudan kan tedariki işlemlerini öneren bir çalışma sunulmuştur [37].



Şekil 15: Blokzincir Temelli Kan Transfüzyonu Tedarik Zinciri Yönetimi [37]

Kan transfüzyonu sürecinde yer alan bütün paydaşları sistem içerisine dahil eden bu yaklaşımla birlikte kan transfüzyonu süreci içerisinde paylaşılması istenen bütün bilgiler özel (private) blokzincir ağı üzerinden paylaşılacaktır. Hassas ve güvenliği yüksek olması beklenen bu veriler operasyon bazlı yetki sahibi personeller tarafından görüntülenebilecek şekilde tasarlanmıştır [37].

2.4 Çalışmanın Önceki Çalışmalardan Farkı

Blokszincir teknolojisi bugüne kadar sağlık sektöründe farklı birçok çalışmada önemli bir araç olarak kullanılmıştır. Özellikle medikal kayıtların korunması, klinik deneylere ait verilerin doğruluğu ve şeffaflığının sağlanması, yine aynı şekilde tedarik zinciri yönetiminin blokszincir teknolojisi ile geliştirilmesi gibi birçok farklı örnek mevcuttur.

Literatür araştırması kısmında bugüne kadar blokszincir konusunda yapılan ve ilgili tez konusuna katkı sağlayabilecek çalışmalar incelenmiştir. Tez çalışmasının bundan önce bu konuda yapılmış çalışmalardan farkı şu şekilde özetlenebilir:

- Blokszincir teknolojisi kullanılarak sadece kan transfüzyon operasyonuna ait verilerin yönetimi, bu verilere ait gizliliğin sağlanması ve şeffaflığının korunmasına yönelik bir yaklaşım ortaya koyulmuştur.
- Kan transfüzyonu operasyonlarında operasyonel kaliteyi iyileştirmek amacıyla kullanımı ve bu sayede kan transfüzyonunda yaşanabilecek muhtemel hata/kayıpların önlenmesine yönelik bir sistem mimarisi oluşturulmuştur.
- Kavramsal tasarım, prototip olarak kullanıma hazır bir yazılım ile desteklenmiş ve örnek çalışmalar yapılacak akışkanlıkta kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır.

3. PROBLEM TANIMI

3.1 Mevcut Operasyonlar ve İş Akışları

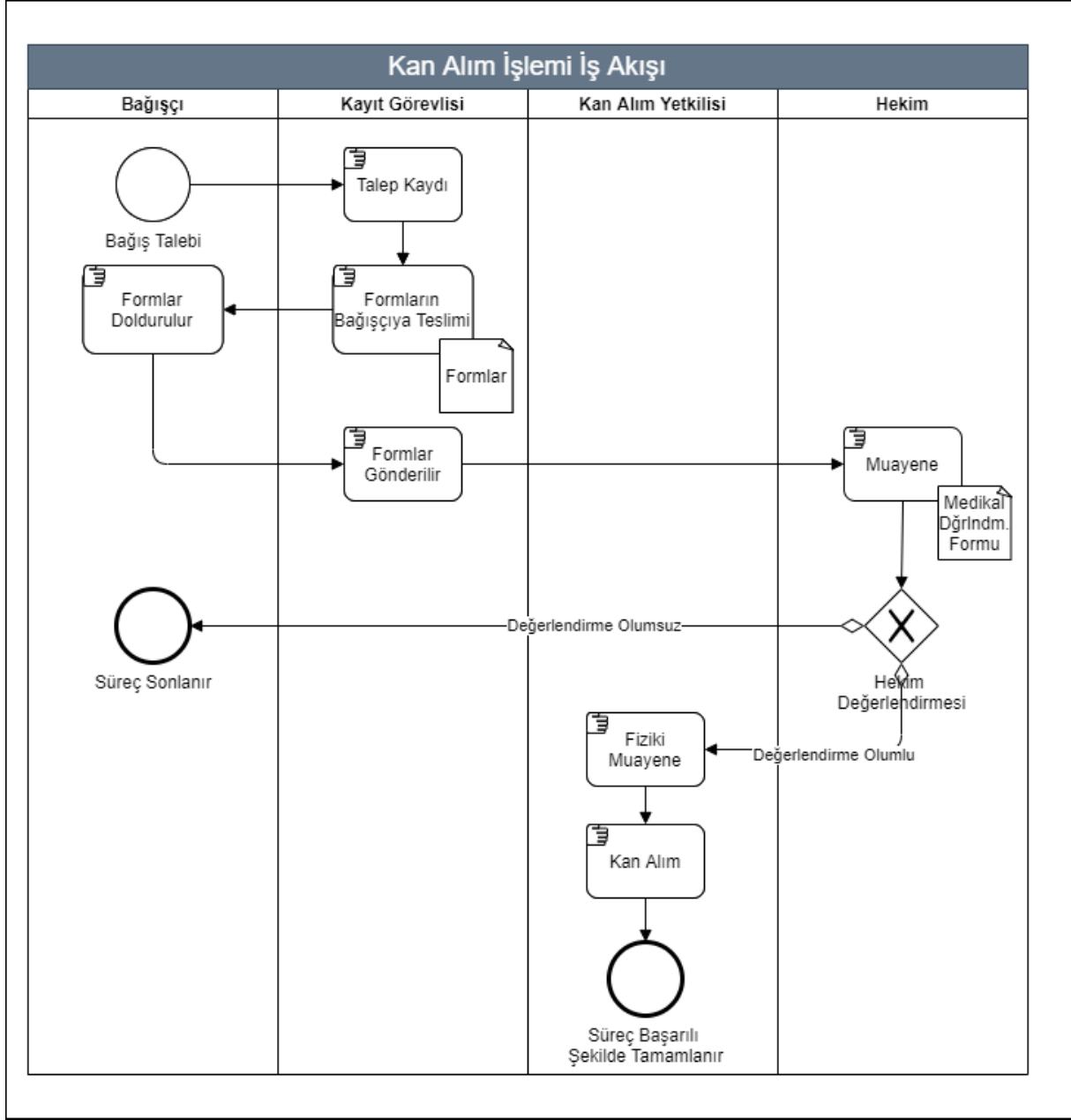
Mevcut durumda organizasyonu etkin bir şekilde çalışan sistemlerde kan bağıışı faaliyetleri iki aşamada tanımlanmıştır: Donasyon kan bankacılığı ve transfüzyon kan bankacılığı. Donasyon kan bankacılığı, acil bir ihtiyaç durumu oluşmadan bağıışçının güvenli kan arzını sağlaması, bağıışlanan kana laboratuvar işlemlerinin yapılması ve devamında kan bileşenlerinin saklanması ve ihtiyaç halinde hastanelere ulaştırılmasını temsil eder. Transfüzyon kan bankacılığı ise kanın acil durumda hastalar için kullanılması ve kullanıldıktan sonra kayıt altında bilgilerin takip edilmesini temsil eder [38].

Acil ihtiyaçlar dışında kan bağıışı kabul etme yetkisi sadece Bölge Kan Merkezleri ve bu merkezlere bağılı olarak çalışan Kan Bağıışı Merkezleri'ndedir. Transfüzyon merkezi olarak nitelendirilen hastane ve sağılık kuruluşları kan ve bileşenlerini bağılı bulunduğu Bölge Kan Merkezi üzerinden temin eder, transfüzyon için gerek duyulan diğıer testleri yaparak hastalarda kullanımı için hazırlar. Transfüzyon merkezleri, ihtiyaç duyulan kan bileşenlerini Bölge Kan Merkezleri ile yapılacak olan protokol/sözleşmeler üzerinden sağılar [39].

Düzenlenen kampanyalar veya bağıışçılarının bireysel olarak gönüllü bir şekilde başvurması ile kan bağıışı Bölge Kan Merkezleri ve bu merkezlere bağılı çalışan Kan Bağıışı Merkezlerinde gerçekleştirilir. Acil ihtiyaç durumlarında ise transfüzyon merkezleri gönüllü bağıışları kabul edebilmektedir.

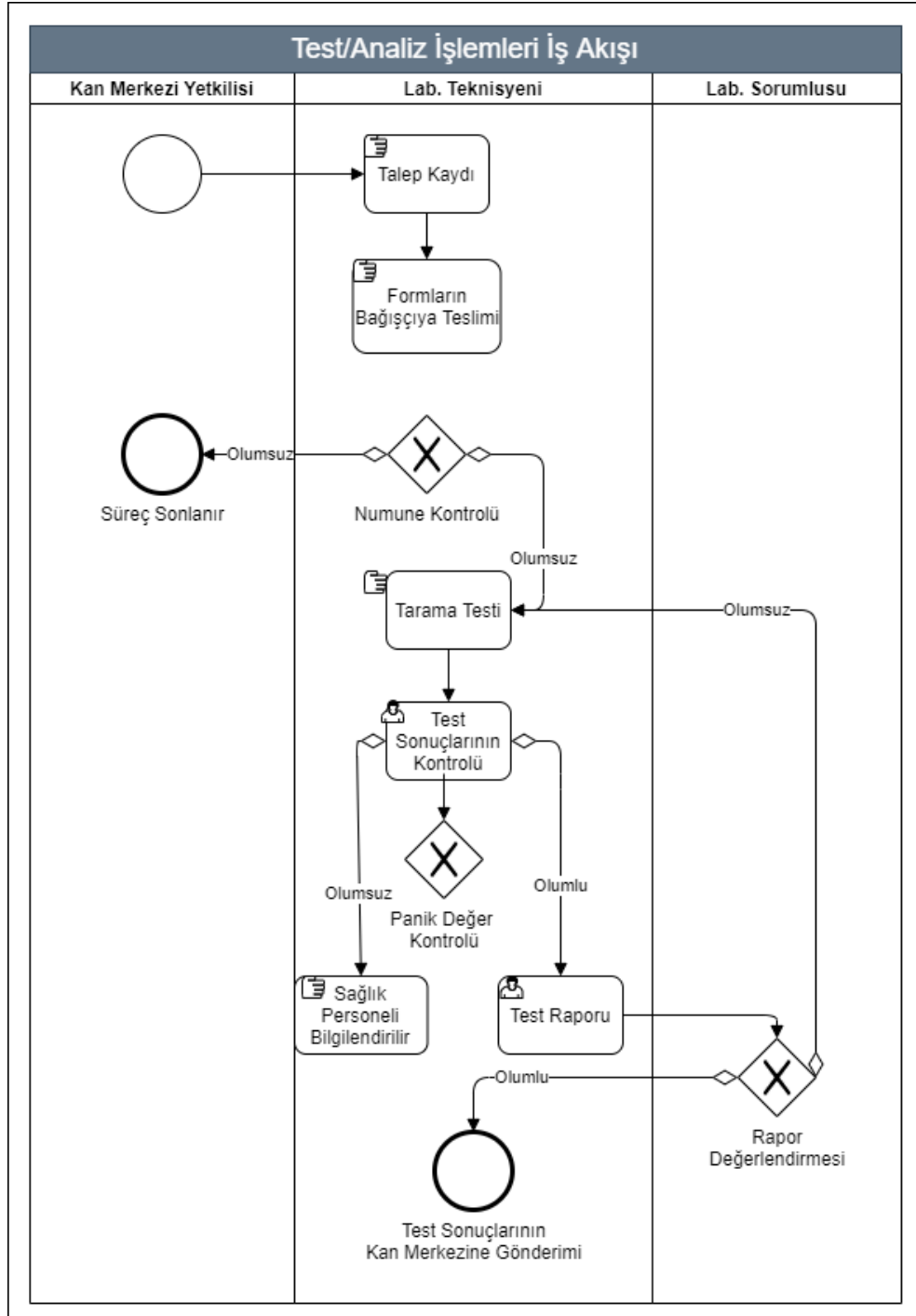
Acil transfüzyon gerektiren durumlarda ilgili hekim tarafından bildirilen transfüzyon ihtiyacı transfüzyon merkezi stoklarından karşılanır. Transfüzyon merkezi bu talebi karşılayamadığı durumlarda Bölge Kan Merkezlerinden acil talepte bulunur. Bölge Kan Merkezlerinin uygun kan veya kan bileşenini karşılayamaması halinde kan bileşenleri transfüzyon merkezlerinde alınır. Gerekli testler acil şartlarda çalışılır. Yapılan testlerle ilgili tüm sorumluluk transfüzyon merkezlerine aittir. Ayrıca transfüzyon merkezleri bu uygulama ile ilgili bilgileri Bölge Kan Merkezlerine iletmekle yükümlüdür [40].

Bölge Kan Merkezleri ve acil durumlarda transfüzyon merkezlerinde gerçekleştirilen kan alım işlemi aşağıda yer alan iş akışında ayrıntılı olarak incelenmiştir:



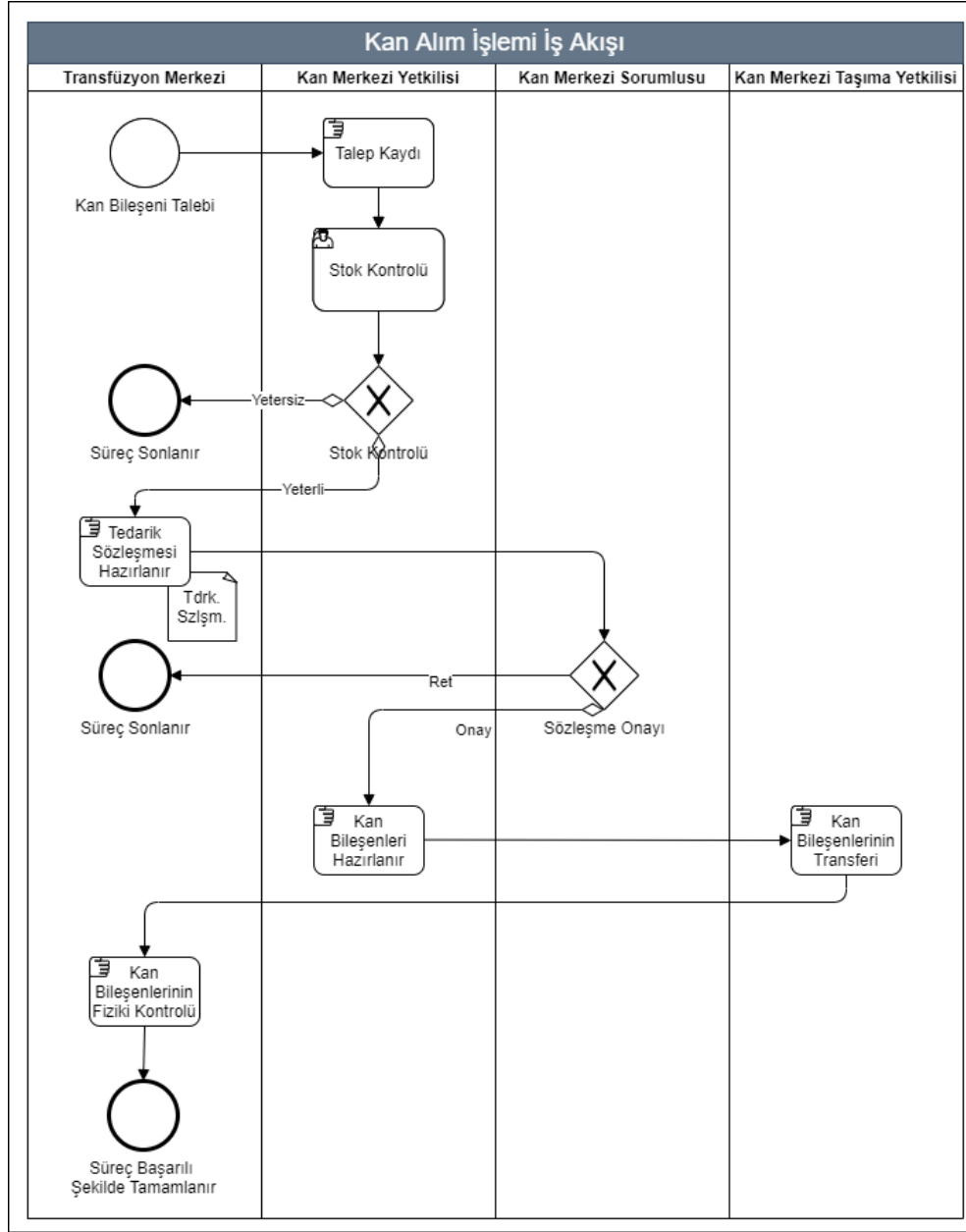
Şekil 16: Kan Alım İşlemi İş Akışı

Kan alma işlemlerinin tamamlanmasının ardından bölge kan merkezleri/transfüzyon merkezleri kan bileşenlerinin transfüzyona uygun olup olmadığını tahlil edebilmek için laboratuvara gönderir ve laboratuvarlarda kan bileşenlerine yönelik ilgili test ve analiz çalışmaları (AB gruplandırılması, cross-match, tarama testi vb.) uygulanır. Bu işlemler aşağıda yer alan şekilde açıklanmıştır.



Şekil 17: Laboratuvar Test/Analiz İş Akışı

Laboratuvar testleri sonucunda panik/pozitif değeri bulunmayan numuneler raporlanarak kan merkezi/transfüzyon merkezine bildirilir. Devamında kan ihtiyacı eğer acilse transfüzyon merkezine gönderilir ve burada ihtiyacı olan hastaya verilir. Eğer bölge kan merkezinden gelen ve acil duruma sahip olmayan bir kan bileşeniye raporlanır ve bölge kan merkezi stoklarına teslim edilir. Stoklarda uygun koşullarda (sıcaklık, basınç vb.) muhafaza edilen kan bileşenleri transfüzyon merkezlerinin ihtiyacı olması halinde yapılan protokol/sözleşme karşılığında transfüzyon merkezine teslim edilir.



Şekil 18: Kan Transfüzyonu İş Akışı

3.2 Problem Tanımı

Kan alım işleminden ihtiyaç duyan hastaya kan bileşenlerinin temin edilmesi sürecine kadar resmedilmiş iş akışında bağışçıya ait kişisel bilgiler, hastalık geçmişi, özel hayat ve bilgileri ve en önemlisi testler sonucunda bağışçıya ait kan ve hormon değerleri fiziksel raporlama veya merkezi veritabanı üzerinden paydaşlarla paylaşılmakta ve devamında muhafaza edilmektedir [40].

Günümüzde halen birçok kan merkezi/transfüzyon merkezinin bu verileri sağlıklı bir şekilde aktarabilmek için bilgi işlem sistemi olmadığı bilinmektedir. Öte yandan, bu veriler merkezi veritabanlarında saklanıyor ve ihtiyaç halinde operasyonel paydaşlarla paylaşılıyor olsa bile siber saldırılara açıktır. Siber saldırılar sonucunda hastaya ait özel bilgilerin yasal olmayan yollarla temin edilmesi, verilerin değiştirilmesi ve usulsüzlük yapılması gibi olumsuz durumlarla karşı karşıya kalınabilir [41].

Kan ve kan ürünlerinin tutulduğu veritabanlarının büyük veri akışlarını içerdiğini düşündüğümüz bir ekosistemde verilere erişim imkânı olan kişi/personel sayısı arttıkça kasıtlı veya kasıtsız hataların artacağı şüphe götürmez bir gerçektir. Yapılan araştırmalarda klinik araştırmaların %17'sinde araştırmacıların kasıtlı bir şekilde manipülasyon yaptığı veya veri manipülasyonuna göz yumduğu görülmüştür [42].

Kasıtlı hata/manipülasyon olmasa dahi günümüzde sağlık personellerinin iş yükü ve yoğunluğu da düşünüldüğünde fiziksel raporlamalar ve merkezi veritabanları üzerinden bağışçı ve hastaya ait verilerin korunması oldukça güçtür. Yapılan herhangi bir dikkatsizlik veya ihmal bağışçı/hasta verilerinin niyeti iyi olsun veya olmasın 3.kişilerin erişimine açık olacak ve bu da veri gizliliğini ihlal edecektir.

Son olarak, mevcut ekosistemde analiz ve test işlemleri için toplanmış olan kan bileşenlerinin numunelerine dair ortaya çıkacak bir başka problem verilerin şeffaflığı ve izlenebilirliğidir. Medikal kayıtların tutulduğu ve izlendiği veritabanlarının standart olmaması, birden fazla kaynaktan sağlanan verilerin uyuşmaması gibi problemler verilerin şeffaflığına gölge düşürmekte ve verilen hizmetin kalitesinin düşmesinin yanı sıra yanlış teşhis ve dolayısıyla yanlış tedavinin sonucunda yaralanma ve ölümlerle sonuçlanabilen durumlar ortaya çıkmaktadır [43].

Bu çalışmada, genel sağlık hizmetleri sisteminin bir alt sistemi olan kan bağıışı sisteminde bağıışçıların veri güvenliğini korumak, verilerin şeffaf ve tutarlı olmasını sağlamak, verilerin anlık olarak izlenebilmesi yoluyla operasyonel kaliteyi artırmak hedeflenmektedir.

Tezin yapılma amaçları ise aşağıdaki sorularla belirlenmiştir:

1. Mevcut sistemde veri gizliliği hangi seviyededir? Belirlenen yöntemler aracılığıyla hangi seviyeye ulaştırılmalıdır?
2. Blokzincir uygulamalarından hangisi bu sistem için daha efektif olacaktır?
3. Kan transfüzyonu sürecinde operasyonel kalite nasıl artırılabilir?

Tezin amaçlarının belirlenmesinin ardından çalışma genelinde Şekil 19’da yer alan sistematığe göre hareket edilmiştir. Tanımlanan problemi giderecek yöntem belirlenmiş, bu yöntemle birlikte sisteme en uygun alternatif ve uygulamalar belirlenmiş. Devamında çözüm uygulanmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.



Şekil 19: Karar Verme Aşamaları [44]

3.3 Çalışmanın Amacı

Bu tezin temel amacı, kan transfüzyonu işlemlerinde kan bileşenlerinin verilerinin yönetimini kaliteye dayalı, veri güvenliğini ve verinin izlenebilirliğini artıran bir sistem tasarlamak ve bu sistemin modelleme ve uygulamasını gerçekleştirmektir.

Genel sağlık uygulamalarında hasta hakkında en önemli bilgilere ulaşmayı sağlayan en önemli verilerden biri kan değerleridir. Kan değerleri kişinin sağlık durumu, rahatsızlıkları ve genel yaşantısı hakkında bilgiler verir ve gizli tutulması son derece önemlidir. Örneğin HIV virüsü taşıyan bir bireyin bu hastalığa sahip olması gizli kalması gereken bir durumdur. Aynı şekilde bir hastanın farklı etken maddelere karşı hassas olması ve bu durumun onun aleyhine kullanılması büyük bir risk olacaktır.

Bu çalışmada kan transfüzyon operasyonu ve sonrasında raporlama sırasında istenilen paydaşlarla (doktor, hemşire, laboratuvar teknisyeni vb.), istenilen ölçekte ve istenilen zamanda bu verilerin paylaşımı sağlanması için blokzincir akıllı sözleşmeler tabanlı bir veri yönetim sistemi mimarisi kurgulanmıştır.

Kalite yönetimi perspektifiyle duruma yaklaşabilmek amacıyla depolama ve taşınması sağlanacak olan kan ürünlerinin taşıyıcı personel tarafından girilmesi ve bu sayede kan ürünlerinin kalite kriterlerine uygunluğunun sistem üzerinde transfüzyon merkezleri aracılığıyla denetlenmesi sağlanarak operasyonel kaliteyi artırmak çalışmanın bir başka amacıdır.

Bu tez çalışmasında, kan transfüzyonu esnasında paydaşlar arasında paylaşılan veriler blokzincirin dağıtılmış veritabanı yapısı üzerinden kavramsal sistem mimarisi fazında kurgulanmış, Hyperledger Fabric uygulaması ile birlikte modellenmiş ve gerçek hayat problemlerine uygunluğu kan yönetim merkezleri/kan bankalarında bulunan verilerin kullanımı ve işlenmesi ile birlikte test edilmiştir.

Sistemin kavramsal mimarisi oluşturma aşamasında kan transfüzyonu operasyonlarında kullanılan verilerin işlenmesi ve paylaşımı yönünden 3 temel perspektif göz önünde bulundurulmuş ve sistemin modellenmesi bu temeller üzerine oturtulmuştur:

- Veri güvenliği
- Veri izlenebilirliği
- Kalite yönetimi

3.3.1 Veri Güvenliği

Kan transfüzyonu işlemlerinin başlangıcından itibaren “Kan Bağışçısı Kayıt Formu” ve “Kan Bağışçısı Tıbbi Değerlendirme ve Kan Alma Formu” aracılığıyla bağışçıya ait birçok tıbbi/özel hayata dair ve dış ortamlarla paylaşmak istemediği veri (kronik hastalıklar, cinsel tercih/ilişki, AIDS vb.) kan merkezi/hastane tarafından alınmaktadır. İlgili formlar fiziki olarak doldurulmakta ve bu formların iletimi aynı şekilde fiziksel yollarla gerçekleştirilmektedir.

Bunun yanında, yapılan tarama testleri sonucunda yer alan raporlarda bağışçının dış ortamlarla paylaşmak istemeyeceği kan değerleri ve tıbbi durumları söz konusu olabilmektedir. Bu raporlar fiziksel veya elektronik yollarla doktor, hemşire, laboratuvar teknisyeni gibi kan merkezi/hastane içi paydaşlarla paylaşılmaktadır.

Sağlık personellerinin işgücü yoğunluğu da düşünöldüğünde dikkatsizlik veya başka sebeplerle (evrakların yanlış gönderimi, kötü niyet vb.) fiziksel yollarla iletilen form ve raporların 3.kişiler tarafından ele geçirilmesi mümkündür. Aynı şekilde, mevcut elektronik kayıt ve veritabanı teknolojileri kullanıcı hataları, sistem arızaları, siber saldırı vb. birçok sebeple ilgili verilere erişimi mümkün olmayan kişilerin bu verileri ele geçirmesi, niyeti her ne olursa olsun kullanması karşısında güçlü savunma mekanizmalarına sahip değildir.

3.3.2 Veri İzlenebilirliği

Blokszincir mimarisinde dağıtılmış deftere eklenen bir verinin değiştirilmesi mümkün olmadığı için belirli bir zaman periyodunda spesifik olarak yapılmış bir işlemi takip edebilmek oldukça kolaydır. Öte yandan, hali hazırda ağ üzerinde bulunan bir verinin değiştirilmesi için işlem teklifi gönderildiğinde bu işlemler kayıt altına alınır. Verinin değiştirilmesi halinde önceki hali ve yeni hali blokszincir ağında rahatça bulunabilmektedir.

Kan transfüzyonu işlemleri kapsamında bağışçı ve kan ürünlerine ait bilgiler değiştirilemez bir şekilde blokszincir ağı üzerinde tutulmuş ve gözlemlenen herhangi bir sorgu/güncelleme sisteme kaydedilmiştir. Bu sayede veri izlenebilirliği sağlanmış ve sistemin şeffaflığı artırılmıştır.

3.3.3 Operasyonel Kalitenin Artırılması

Kan transfüzyonu operasyonlarında en çok karşılaşılan kalite yönetimi problemi Bölge Kan Merkezi ve transfüzyon merkezleri arasında gerçekleşen taşıma operasyonlarında olmaktadır. Kan bileşenlerinin işlevselliğini devam ettirmesi için kısıtlı bir süre bulunmakta ve belirli koşullarda saklanması gerekmektedir.

Bölge kan merkezi ve transfüzyon merkezi arasında gerçekleşen taşıma operasyonları öncesi yetkili personeller numunenin fiziksel kontrolünü yapmakta ve devamında transfüzyon merkezine transferini gerçekleştirmektedir.

Ancak, depolama ve saklama koşullarının uygun olmaması veya taşıma operasyonları esnasında karşılaşılan aksaklıklar sebebiyle kan bileşenleri her zaman ideal bir şekilde temin edilememekte ve bu sebeple bölge kan merkezleri ve transfüzyon merkezleri arasındaki sözleşmeye dayanarak iade/iptal durumları gerçekleşmektedir.

Depolama, saklama ve taşıma operasyonlarında ortaya çıkan bu aksaklıkları giderebilmek amacıyla depolama ve taşıma esnasında tedarik yetkilisinin blokzincire giriş yapması ile sisteme geri bildirim sağlayacaktır. Bu sayede fiziksel kontrol esnasında gözden kaçması muhtemel hatalar ve sonrasında yaşanan iade/iptal durumları bertaraf edilecektir.

3.4 Çalışmaya Engel Olabilecek Kaynak Kısıtları ve Zorluklar

3.4.1 Teknolojik Gereksinimler

Blokzincir teknolojisinin getirdiği çözümler merkezi otorite ve güven yapısını ortadan kaldırır ve bu güven sürecini/protokolünü paydaşlar arasında dağıtır. Bu nedenle günümüz teknolojisi ve iş yapış stillerinden bir hayli farklılaşmaktadır. Mevcut iş süreçlerinin blokzincir uygulamalarıyla modellenebilmesi ve dönüştürülebilmesi için öncelikle dijital dönüşümün benimsenmesi ve bu amaç uğrunda dijital dönüşüm stratejisi oluşturmak gereklidir [45].

Günümüzde bölge kan merkezleri ve transfüzyon merkezlerinin tamamı dijital altyapı çözümlerine ne yazık ki sahip değildir. Bu sebeple öncelikle dijital dönüşüm stratejisi ortaya koymak ve devamında önerilen sistemi tesis etmek gereklidir.

3.4.2 Yatırım Gereksinimleri

Blokzincir uygulamaları her ne kadar işlem maliyetleri ve zaman tasarrufu anlamında ciddi katkı ortaya sunuyor olsa da başlangıç maliyetleri bir hayli yüksektir. Direkt olarak bir yazılım satın almak yerine açık kaynaklar aracılığıyla operasyon ve testlere başlamak mümkün olsa da ülkemizde bu konuda insan kaynağı yeterli değildir. Bu nedenle ciddi bir zaman ve eğitim desteği gerekli olacaktır, bu durum da maliyeti ciddi anlamda artırıcı bir etki yaratacaktır [46].

3.4.3 Yazılım Hataları ve Siber Saldırıları

Blokzincir uygulamaları her ne kadar mevcut veritabanlarına göre hayli yüksek güvenlik sağlamasına rağmen yazılım geliştirme kısmında yapılabilecek hatalar/kod yanlışları siber saldırı ve sistem aksamasına yol açabilmektedir.

Sistem açıklıklarının giderilmesine yönelik güncelleme desteği sağlanıyor olsa da blokzincirin demokratik yapısı sebebiyle her eşin (peer) birlikte hareket etmesi gerekmekte, aksi durumda ise çatallaşma (forking) adı verilen sonuçlar ortaya çıkabilmektedir [47].

4. METODOLOJİ

4.1 Sistem Tasarımı ve Kavramsal Mimarinin Oluşturulması

Bu çalışmanın amacı blokzincir ağı ile kan transfüzyonu operasyonlarında veri güvenliği ve izlenebilirliğini mevcut duruma göre artırmak, transfüzyonu sağlanacak kana ait verileri sürekli güncelleyen ve onay mekanizmalarına ileten cihazlar sayesinde kan yönetiminde operasyonel kaliteyi artırmaktır.

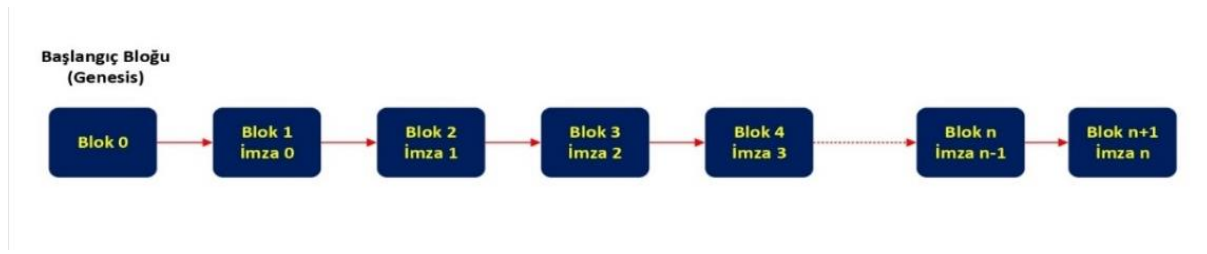
Veri güvenliği, veri izlenebilirliği ve operasyonel kalite yönetimini artırmak için merkezi bir sunucu veya güvenilir bir üçüncü tarafın dahlini ortadan kaldırıp, sistemdeki bütün eşleri onay mekanizmasına dâhil eden blokzincir ağının kullanılmasına karar verilmiştir.

Çalışmanın bu evresinde blokzincir ağına uygun teknolojiler kullanılarak sürecin kavramsal modeli oluşturulmuş, modele uygun araçlar tespit edilmiş, bu araçların nasıl verimli çalışabileceğine dair bir iş akışı oluşturulmuş, sistem içerisindeki aktörler ve görev dağılımları belirlenmiş, blokzincir ağı üzerinden işleme alınan her bir operasyon verisi iş akışı üzerinde açıklanmıştır.

4.1.1 Blokzincir Ağı

Herhangi bir güvenilir taraf ya da otoriteye ihtiyaç duymadan verilerin merkezi olmayan dağıtık ağ üzerinde kriptografik şifreleme yöntemiyle saklandığı kayıt teknolojisine blokzincir adı verilir. Geleneksel veri tabanlarının aksine blokzincirde merkeziyet bulunmaz ve aynı veri kaydı birbiri ile etkileşimde bulunan farklı aygıt ve kullanıcılar üzerinde muhafaza edilir [48].

Blokzincir temelde zincir şeklinde birbirine bağlanmış işlem/işlem grupları olan blokları ifade etmektedir. Blokzincir ağı üzerinde yapılan her bir işlem veya işlem grubu bir zincirin sonuna eklenen yeni bir bloktur. Ağ üzerindeki bir zincir birçok blok içerir ve zincirin ilk bloğuna “genesis bloğu” denir. Her bir blok, yapısı düzgün ve bozulmayan bir zincir oluşturmak için önceki bloğa atıfta bulunur ve önceki bloğu tanımlar [49].



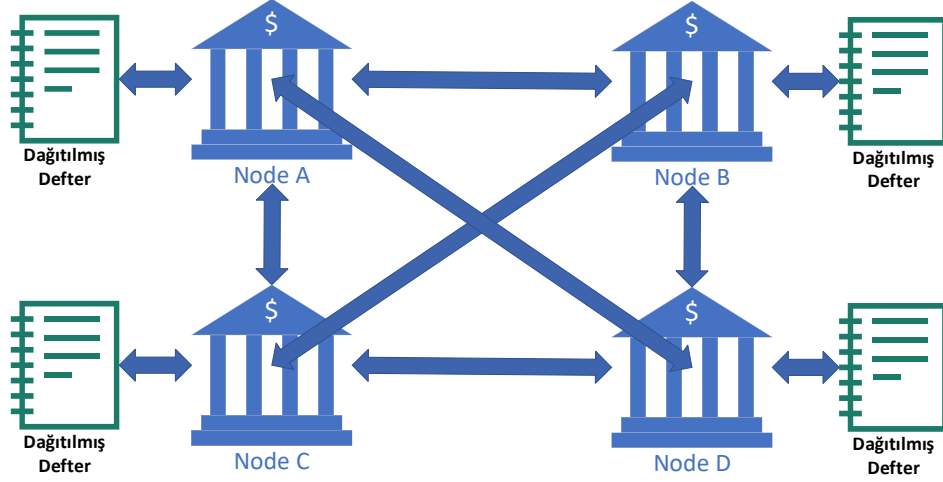
Şekil 20: Blokzincir Blok Hiyerarşisi [21]

Dağıtık ağ yapısı üzerinde verilerin korunmasını sağlamak için bir blokzincir ağının temelinde, ağda gerçekleşen tüm işlemleri kaydeden dağıtılmış bir defter (distributed ledger) bulunur. Bir blokzincire kaydedilen bilgiler, deftere bir işlem eklendikten sonra değiştirilemeyeceğini garanti eden kriptografik teknikler kullanılarak eklenir. Bu "değişmezlik" özelliği, verinin kaynağının belirlenmesini kolaylaştırır [50].

Dağıtılmış defter, birden kullanıcı arasında mutabakatla paylaşılan, senkronize edilen ve deftere erişim izni olan kullanıcıların erişebildiği bir kayıt günlüğüdür. Kullanıcılar, blokzincir ağı üzerindeki işlemleri (transactions) veya diğer veri alışveriş türlerini işlemek, doğrulamak veya kimliğini doğrulamak için dağıtılmış defter teknolojisini kullanır. Sisteme dahil olan her eş (peer) defteri kendi üzerinde tutar. Böylelikle veri tüm katılımcılarda bulunmuş olur.

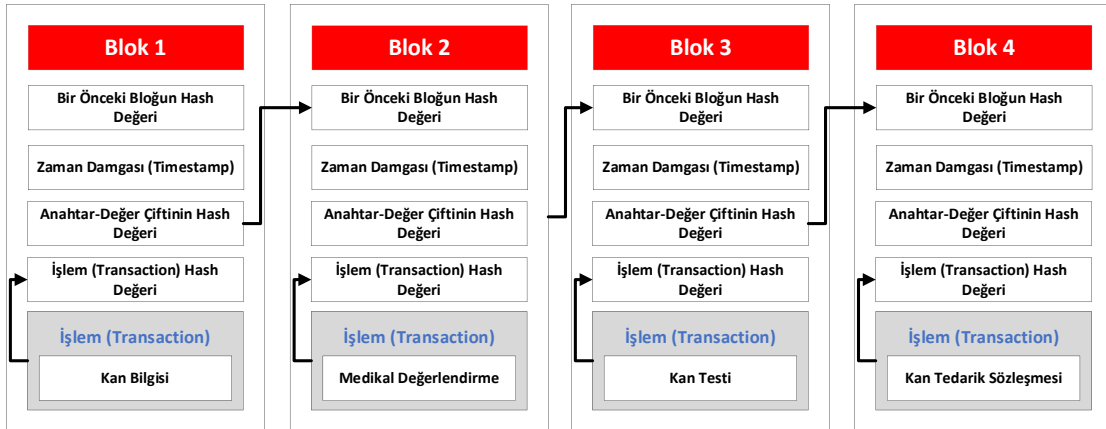
Ağın her bir düğümündeki kullanıcı, o ağda paylaşılan kayıtlara erişebilir ve aynı kopyaya sahip olabilir. Defter üzerinde yapılan herhangi bir değişiklik veya ekleme, saniyeler içerisinde ağ üzerinde bulunan kullanıcılara kopyalanır ve aktarılır. Bu kayıtlar sadece ilgili taraflarca mutabakata varıldığında defterde saklanır [51].

Dağıtılmış defter, günümüzde hala sıklıkla kullanılan merkezi kayıt sistemleri ve veritabanlarından ayrılır. Merkezi kayıt sistemleri ve veritabanları üzerinde yapılan işlemlerin denetimi sınırlı olduğu için siber saldırılara ve manipülasyonlara karşı çok daha dayanıksızdır. Dağıtılmış defterde ise ağa erişim izni bulunan bütün katılımcıların denetimi sebebiyle dışarıdan gelecek saldırılar veya manipülasyonlara karşı oldukça güvenli bir güvenlik sistemi sunmaktadır [52].



Şekil 21: Dağıtılmış Defter Yapısı

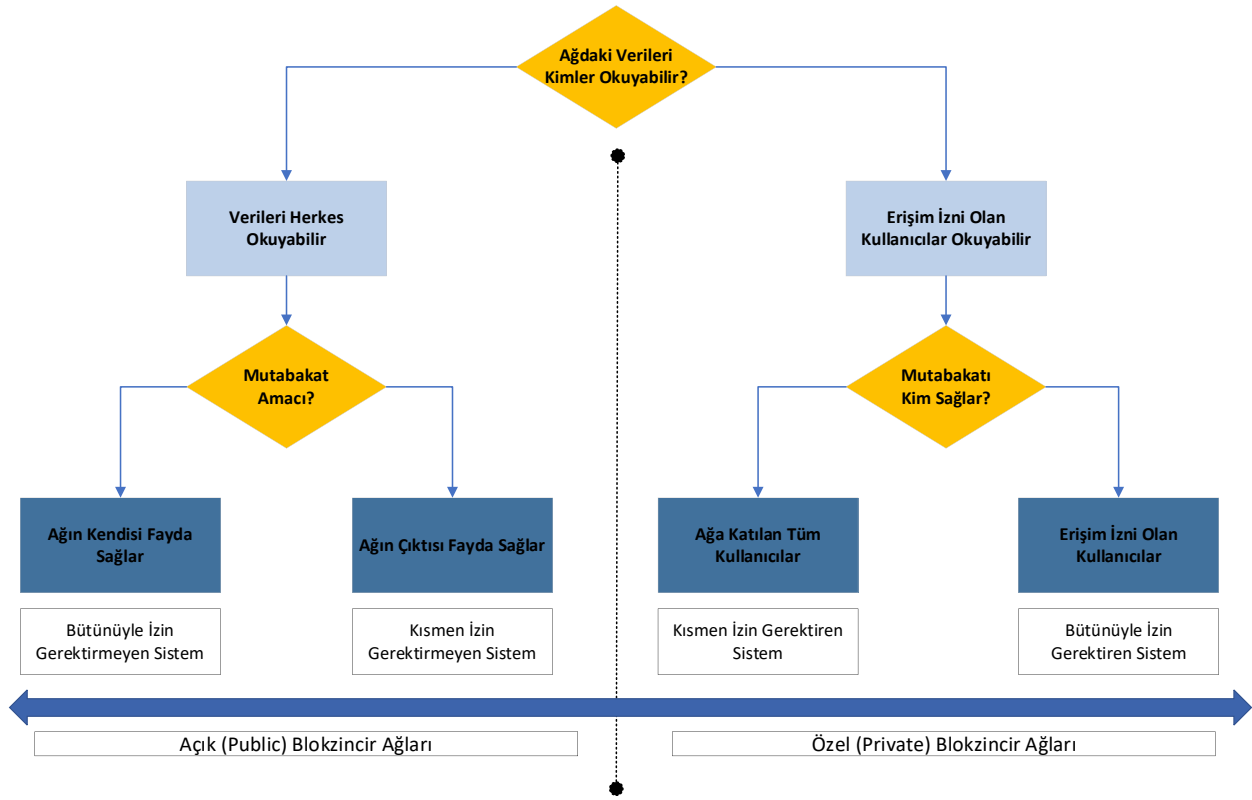
Bir defterdeki her blok, bloğun zincirdeki yerini göstermek için bir indekse, bir önceki bloğun doğrulayabilmek için bir önceki bloğun hash numarası, bloğun zincire ne zaman eklendiğini gösteren zaman damgası, zincire saldırıları önlemek için bloğa özgü rasgele bir numara blok için üretilen hash numarasına ve blok içerisinde tutulan veri/bilgiye sahiptir. Bir bloğun saklanan verilerini değiştirmek onun hash numarası değerini değiştirecektir. Böylelikle değiştirilen verinin olduğu blok ve sonraki tüm bloklar geçersiz kılınacaktır.



Şekil 22: Blokzincir Blok Yapısı [37]

Blokzincir kayıtlarının dağıtıldığı tüm eşler, mutabakat yapısına uygun bir şekilde sistemin düzgünce çalıştığının teyidini gerçekleştirir. Veri kayıt zinciri yapısında zincirden bir bloğun çıkması veya değiştirilmesi durumunda bu zincir kırılır ve sistemin geneli kırılmış/bozulmuş bölgeyi dağıtılmış kayıt defteri açısından çıkartır. Bu durumda geriye kalanlar, zincirin kırılmadan devam ettiği noktasında mutabık kalarak sistemi kullanmaya devam ederler [53].

Birçok tarafın dahil olduğu bir ekosistemde, eklenecek olan her veri/bilginin standart bir yapıya sahip olması beklenir, bu sayede sistemin bütünlüğü muhafaza edilir. Fakat dağıtık bir yapı içerisinde birbirini tanımayan ve arasında güven ilişkisi bulunmayan taraflar olduğundan sistemin genel mimarisini tüm kullanıcılar tarafından kabul edilmiş bir kurallar bütünüyle kurgulamak gerekecektir. Bu kurallar bütünü ve çalışma prensiplerine mutabakat yapısı veya konsensüs adı verilmektedir. Mutabakat yapısı kurgulanacak olan sistemler için farklılık göstereceğinden sistem tasarımı aşamasında belirlenir ve ihtiyaç duyulan fonksiyonel özelliklere göre değişiklik gösterebilir.



Şekil 23: Blokzincir Mutabakat Genel Yapısı [21]

Dağıtılmış yapıda bulunan bir mimaride bulunan blokların aynı veya eşlenik yapıya sahip olabilmesi için sisteme eklenen her bir blok için mutabakat sağlanması gerekmektedir. Blokzincir ağında mevcut kullanımlarda birçok farklı çözüm mevcuttur: Proof of Work (POW), Proof of Stake (PoS), Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT) vb.

Proof of Work mutabakat yapısında bir bloğun sistem içerisine eklenmesi için çözümü zor matematiksel bir problem üzerinden ilerlenir. Problem genellikle bloktaki hash değerinin belirli bir yapıya uyması gerekliliğidir. Uygun bir değer üretimi için genellikle çok fazla deneme yapmak gerekmektedir. Bu işlem sektörde madencilik olarak bilinir. Karmaşık problemi çözmek ve blokzincire yeni bloklar eklemek için birçok farklı madenci çalışır, problemi çözen ve blok işlemlerini ilk doğrulayan kullanıcı ödülü almaya hak kazanır [54].

Proof of Stake mutabakat yapısı da Proof of Work mantığında olduğu gibi sistem içerisine bir bloğun eklenmesi esnasında çözümü zor bir matematiksel bir problem sunulur ancak blok ekleme ve mutabakat geçerliliği mekanizması kullanıcıların ağ üzerindeki paya göre belirlenir. Madencinin sahip olduğu paya bağlı olarak fonksiyon yürütülür ve sonuç olarak ağda payı yüksek olan madencinin problemi çözmek için seçilme şansı yüksektir. Fonksiyona göre belirlenen doğrulayıcı yeterli bir sürede geçerli bir blok eklemeyen ise sıradaki madenciye geçilir [55].

Bir diğer mutabakat yapısı olan Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT) ise diğer mutabakat yapılarından farklı olarak aynı anda birden çok doğrulayıcı kullanır. Blokzincir ağına dahil doğrulayıcılar açık-gizli anahtar ikilisine sahiptir ve her doğrulayıcıda diğer doğrulayıcıların açık anahtarı mevcuttur. Her bir doğrulayıcı, üzerine atanan işlem (transaction) bilgisini, veri yapısını kullanarak kontrolünü sağlar ve işlemin uygun olması halinde imzalar ve blokzincir ağıyla paylaşır. İlgili işlem yeterli miktarda doğrulayıcı tarafından onaylanmışsa mutabakat sağlanır ve işlem statüsü geçerli olarak kayıtlara geçer [56].

Bu çalışma kapsamında, kan transfüzyonu operasyonlarının doğası gereği onay/mutabakat mekanizmasının birçok paydaşa sahip olması ve probleme kurumsal bir çözüm geliştirilmek istendiğinden Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT) mutabakat mekanizması kullanılmıştır.

4.1.2 Akıllı Sözleşmeler

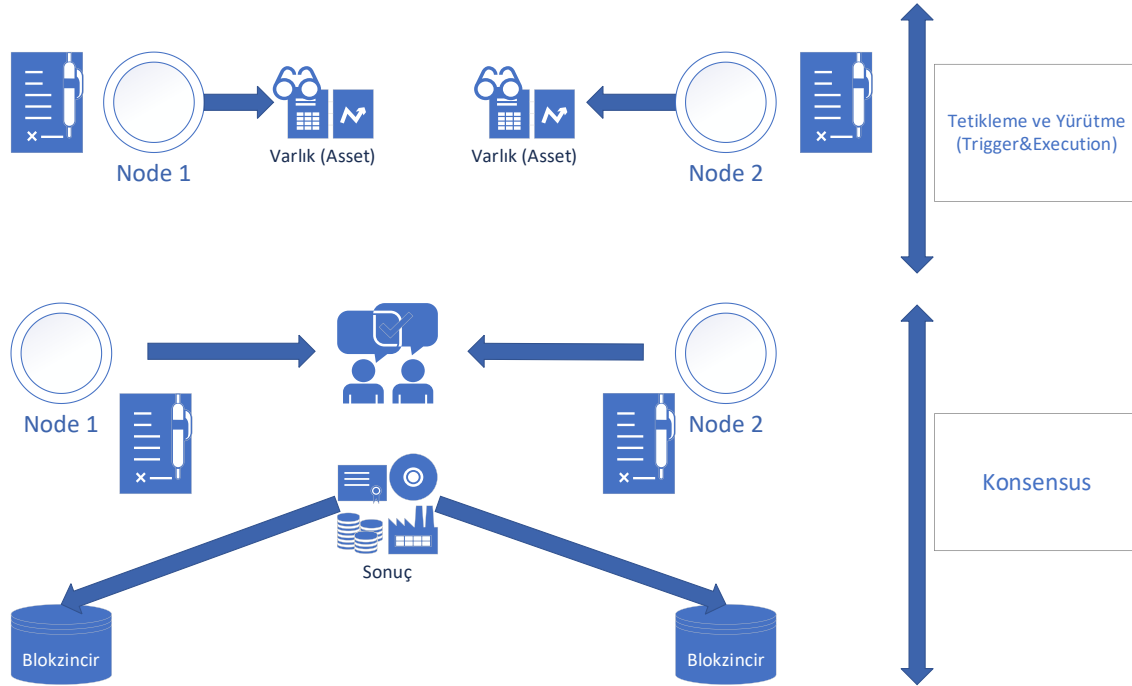
4.1.2.1 Akıllı Sözleşmelerin Genel Yapısı

Bir blokzincir ağı, bilgi güncellemelerinin tutarlı olmasını sağlamak ve defter(ledger) üzerinde sorgulama, işlem (transaction) vb. fonksiyonları devreye alabilmek için akıllı sözleşmeleri kullanır. Akıllı sözleşme, blokzincir dağıtık veri yapısının içinde bir sözleşmenin şartlarını dijital ortamda yerine getiren, bilgisayarla yürütülen bir işlem protokolü olarak tanımlanmaktadır. Akıllı sözleşmeler blokzincirlere gömülü halde bulunur ve taraflar arasında yapılmış olan bir anlaşmaya

ait sözleşme koşullarının güvenilir üçüncü kişiler tarafından müdahale olmadan otomatik şekilde yerine getirilmesini sağlar [57].

Akıllı sözleşmeler veri/bilgileri paketleme ve ağ genelinde karmaşıklıktan kurtarmanın yanı sıra, aynı zamanda katılımcıların işlemlerin (transactions) belirlenmiş taraflarını otomatik olarak yürütmelerine izin vermek için de yazılabilir.

Her iki tarafın mutabık kaldığı ve defterde (ledger) belirlenmiş olan şartların sağlanması halinde ilgili varlıklar (emtia, veri, sözleşme vb.) otomatik olarak yer değiştirir [58].



Şekil 24: Akıllı Sözleşme Genel Yapısı

Akıllı sözleşmeler, anlaşma sahibi tarafların ilgili konu üzerinde anlaşmalarından sonra hazırlanır ve kriptografik olarak imzalanıp blokzincir ağına yüklenir. Ağa dâhil edilmiş sözleşmeler, blokzincir ağı üzerinde olan diğer paydaş ve bileşenlerle bir işlem teklifi (transaction proposal) veya bilgi aktarımı/alımı şeklinde etkileşime girebilir.

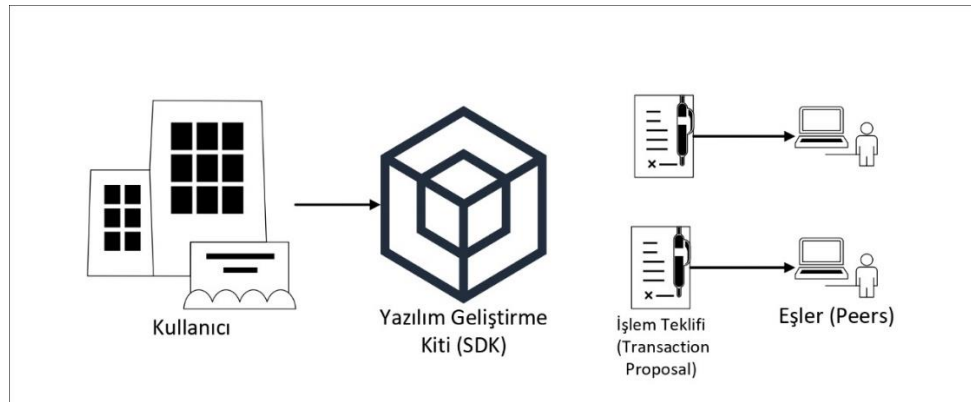
Akıllı sözleşmeler yapısında değişimi yapılacak her emtia veya veri için işlem teklifi (transaction proposal) oluşturulur ve her bir adım işlemler (transactions) üzerinden gerçekleştirilir. Sistem üzerinde işlemler (transactions), bu özelliklerin yönetilebilmesi için kriptografik olarak imzalanmış mantıksal talimatlar taşır. Bu talimatlar, belirli bir kan verisini düzenleyen herhangi bir kurallar dizisini uygulayacak şekilde yapılandırılabilir.

Örneğin, kan tahlili ve hastaya ait tıbbi verileri içeren tarama testi raporunun görüntülenebilmesi ancak donör ve veri görüntüleme izni olan sağlık personeli tarafından yapılabilmektedir. Bağışçının işlem teklifi (transaction proposal) oluşturmasının ardından bağışçı tarafından yetkilendirilmiş sağlık personeli bu veriyi görüntüleyebilir, görevi her ne olursa olsun yetkilendirilmemiş sağlık personeli tarafından bu verilere erişim sağlanamaz.



Şekil 25: Akıllı Sözleşme Örneği

Akıllı sözleşme koşullarının yerine getirilebilmesi için işlem teklifi (transaction proposal) olarak sunulacak bir veri, veri paylaşımı için teklif gönderen bir kullanıcı, bu teklifi onaylayan bir eş ve sistem içerisinde doğrulanmış verinin paylaşılmasını sağlayan kullanıcıların bulunması gereklidir. Sistemin organizasyon yapısı ve süreç işleyişine göre bu sayı artabilir. Örnek vermek gerekirse, sisteme dâhil olan organizasyon ve bu organizasyonlar bünyesindeki eşler (peers) aracılığıyla kan transfüzyonu işlemleri kapsamında operasyonlarda elde edilen veriler paylaşılır, onaylama izni olan eşler tarafından işlem teklifi onaylanır ve yine sistem içerisinde verinin aktarımı için görevlendirilmiş eşler tarafından onaylanır ve veri aktarımı tamamlanmış olur [59].



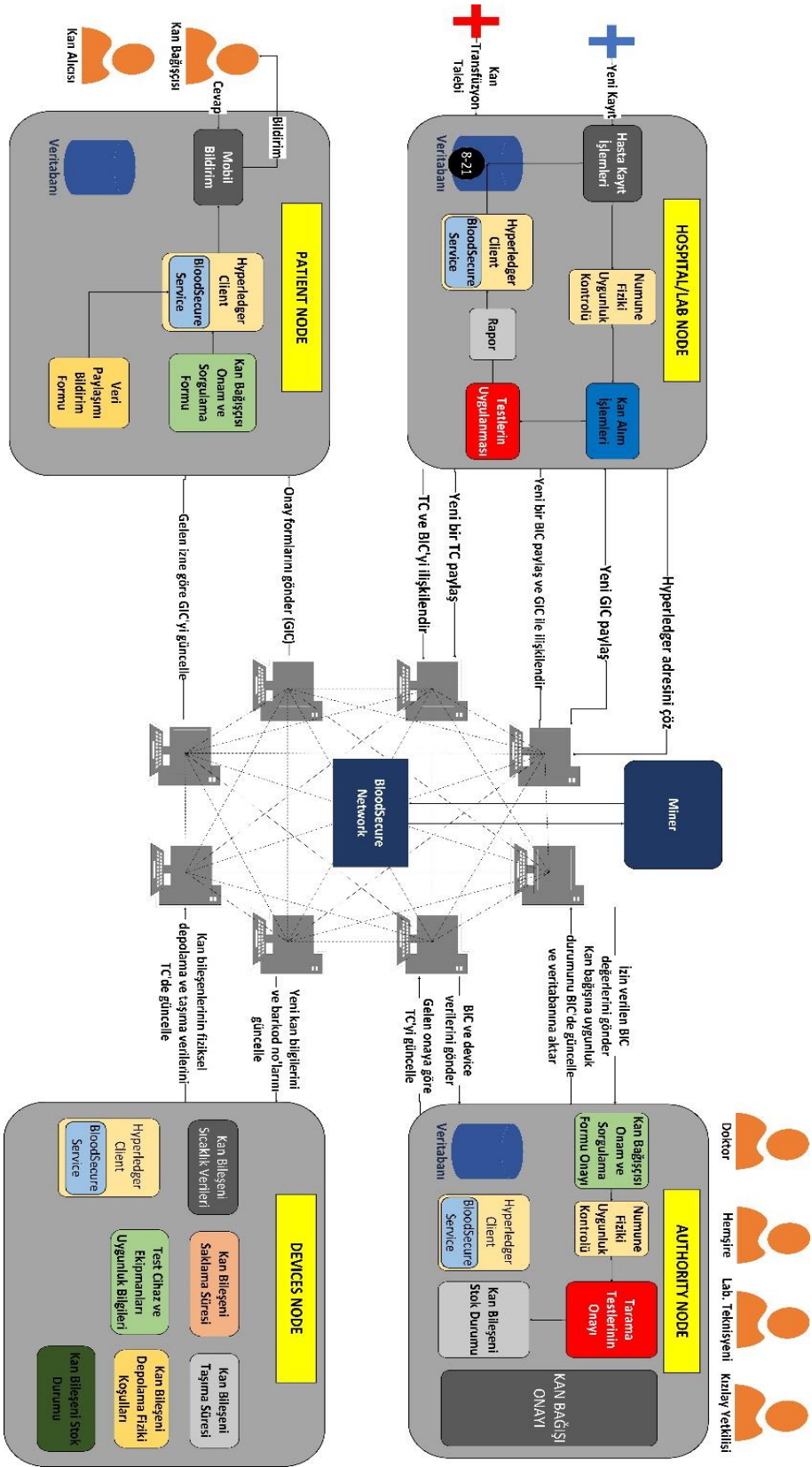
Şekil 26: İşlem Teklifi Örneği

Akıllı sözleşme için kullanılan altyapıya bağlı olarak onaylayan ve sistem üzerinde veri aktarımını sağlayan eşler (peers) değişmektedir. Örnek vermek gerekirse Ethereum akıllı sözleşme altyapısında bu iki görev de madenci olarak adlandırılan kullanıcılar tarafından yapılırken Hyperledger Fabric altyapısında ise onaylama ve sistem içerisinde verinin aktarımını sağlanması görevleri iki farklı tür eş(peer) tarafından yapılmaktadır. Hyperledger Fabric veri politikasına göre talebi gönderilen işlemi doğrulayan onaylayan eş (endorsing peer) ve sistem içerisinde bütün eşlere doğrulanmış verinin aktarımını sağlayan teslim edici eş (committing peer) bulunmaktadır [60].

4.1.2.2 Kan Transfüzyonu Sürecinin Ethereum Akıllı Sözleşme Yapısıyla Modellenmesi

Ethereum, akıllı sözleşme altyapısını blokzincir ağında kullanan ilk blokzincir teknolojisidir. Diğer birçok blokzincir ağında olduğu gibi Ethereum'da da Proof of Work (PoW) konsensüs yapısı kullanılmakta ve dolayısıyla yeni bir bloğun zincire eklenmesi esnasında madencilik işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışma temelde Hyperledger Fabric ağı altyapısıyla hazırlanmış olsa da Ethereum blokzincir ağında sağlık kayıtlarının saklanması konusunda geçmişte yapılmış çalışmalara göre de modellenmiş ve yapılan bu çalışma için bir altyapı oluşturması hedeflenmiştir. Bu model Şekil 27'de yer alan görselde temsil edilmiştir:

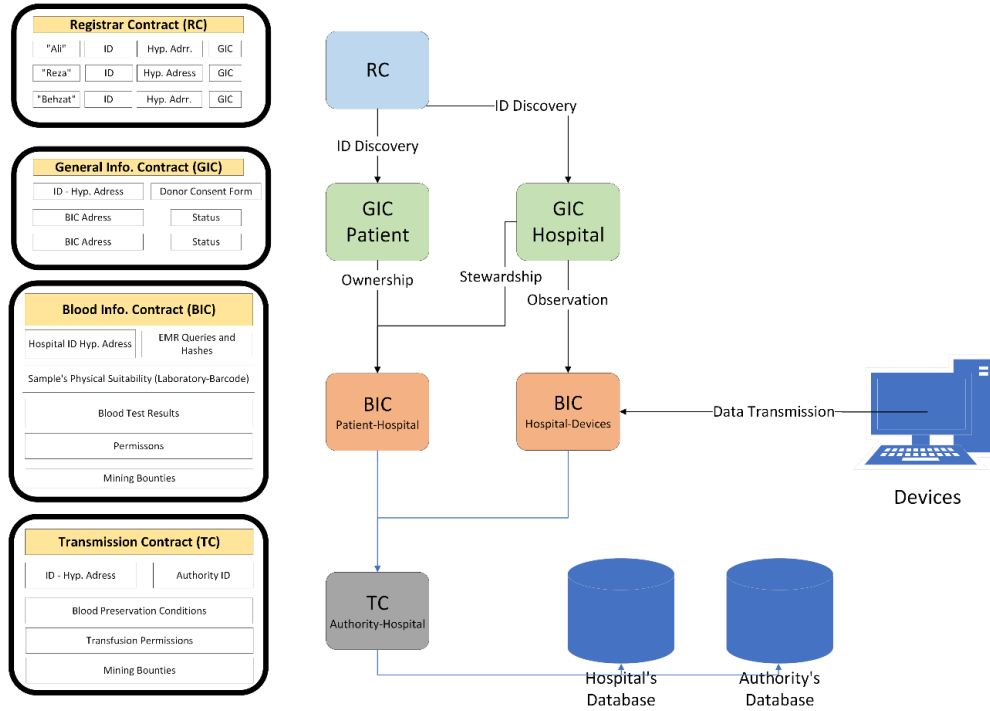


Şekil 27: Kan Transfüzyonu Operasyonunun Ethereum Blokzincir Altyapısında Kavramsal Tasarımı

Sistemin merkezinde blokzincir ağı yer alır. Aktörler arasında gerçekleşen tüm işlemler bu blokzincir ağı üzerinde gerçekleşmiş olur. 2 farklı tip aktör bulunmaktadır: Düğüm (node) ve madenci (miner). Düğümler sistem içerisinde yer alan ve kan transfüzyonu esnasında fiziki veya dijital yolla ilgili işlemleri gerçekleştiren kişi/kurumları ifade etmektedir.

Toplamda 4 adet düğüm(node) oluşturulmuştur: Hastane, Bağışçı, Yetkili Kuruluş, Aygıtlar. Sistemin tam merkezinde, blokzincir ağı üzerinde yapılan işlemleri doğrulayıp sistem içerisinde ekleyen, yeni bir blok olarak zincire kaydeden madenciler de sistemin bir diğer aktörüdür.

Veri aktarımı/değişiminin gerçekleşmesi için kayıt sahipliği, veri bütünlüğü ve izinler gibi meta verileri içeren akıllı sözleşmeler oluşturulmuştur. Sistemdeki blokzincir işlemleri (transactions), bu özellikleri yönetmek için kriptografik olarak imzalanmış talimatlar taşır. Sözleşmenin durum geçiş işlevleri (state-transition functions), yalnızca meşru işlemlerle veri değişimini zorunlu kılan politikalar yürütür. Bu tür politikalar, sayısal olarak temsil edilebildiği sürece, belirli bir tıbbi kaydı yöneten herhangi bir kurallar dizisini uygulamak üzere tasarlanabilir.



Şekil 28: Kan Transfüzyonu Operasyonunun Ethereum Blokzincir Altyapısında Akıllı Sözleşmeler

Kayıt Sözleşmesi (Registrar Contract) kullanıcı kimlik bilgilerini Ethereum adresiyle eşler. Sözleşmeye yüklenen politikalar, yeni kimliklerin kaydedilmesini veya mevcut kimliklerin eşlenmesinin değiştirilmesini düzenler. Kimlik bilgilerinin blokzincirdeki Ethereum adresine işlenmesiyle birlikte bağışçıya ait özet bilgilerin yer aldığı Genel Bilgiler Sözleşmesi'ne (General Information Contract) erişimi sağlar.

Genel Bilgiler Sözleşmesi (GIC), ağ üzerindeki katılımcıların tıbbi kayıt geçmişlerini bulmaları için bir ipucu işlevi görür. Katılımcının sistemdeki diğer düğümlerle olan tüm önceki ve mevcut katılımlarını temsil eden Kan Bilgileri Sözleşmesi'ne (Blood Information Contract) ait referansların listesini tutar.

Genel Bilgiler Sözleşmesi (GIC), blokzincir ağında önemli bir yedekleme ve geri yükleme işlevi görmektedir. Kan bağışçıları belirli periyotlar dâhilinde sistemden birden çok kez ayrılabilir, yeniden katılabilir ve ağdan en son blokzinciri indirerek her zaman geçmişlerine yeniden erişebilir. Ağa katılan düğümler olduğu sürece blokzincir günlüğü korunur.

Bağışçı ve kan bağışını gerçekleştirdiği medikal kuruluş arasındaki kan değerleri ve diğer bütün tıbbi bilgileri saklayabilmek amacıyla Kan Bilgileri Sözleşmesi (BIC) oluşturulmuştur. Bu sözleşmenin içerisinde hastanın kan değerleri, hastanın kan bağışına uygun olup olmadığı konusunda hekim/hemşireler tarafından yapılmış değerlendirmeler ve hastanın bu bilgilerden hangilerinin 3.kişilerle paylaşılacağı konusunda verdiği izinler bulunmaktadır. Aynı zamanda yeni bir blok eklendiği zaman bu bloğun işlenmesi amacıyla madencilerin kazanacağı ödül bilgisi de bu sözleşmede yer alır.

Taşıma Sözleşmesi (Transmission Contract), bağışçıdan alınan kanın analiz edilmesi ve ilgili kan merkezi/hastane tarafından depolanması sonrasında herhangi bir kan bağış talebinin oluşmasıyla birlikte devreye girer. Kan bağış talep eden sağlık kuruluşuna ilgili kan ürünlerinin taşınması esnasında kan ürünlerinin sıcaklık, uygun saklama koşulları, taşıma süresi vb. lojistik kalite değerlerini gerçek zamanlı olarak IoT aygıtlarından gelen veriler ışığında saklar. Kan bağışına uygun koşullarda saklanmış kan ürünlerinin ilgili kan merkezi/hastaneye taşınması esnasında doğruluğunu kontrol eder ve bir nevi kalite kontrol süreci ortaya çıkarmış olur. Kan bağış talebinin gelmesinin ardından kan ürünlerinin saklandığı merkezde yer alan kan transfüzyonu yetkilisi tarafından uygun değere sahip kan ürünleri onaylanır ve aktarım gerçekleşir. Aynı zamanda taşıma esnasında yine IoT aygıtlarından gelen veriler ışığında kan transfüzyonu yetkilisi ve taşıma

ekipleri tarafından onaylandıktan sonra kan transfüzyonu işlemi gerçekleşebilir. Bu sayede kan ürünlerinin transfüzyona uygunluğu iki kez kontrol edilmiş olur ve taşıma esnasında kan ürünlerinin kalitesi ve doğruluğu konusunda ortaya çıkabilecek problemler minimuma indirilmiş olur.

Şekil 28’de gösterildiği gibi süreç kan bağış talebi ve devamında bağışçı adına yeni bir kayıt açılmasıyla başlar. Bağışçının kimlik bilgileri çözümlenir ve Ethereum adresiyle ilişkilendirilir. Bunun devamında yeni bir Genel Bilgiler Sözleşmesi (GIC) paylaşılır. Bu işlemler madenciler (miner) tarafında blokzincir ağı üzerinde yazılır ve yeni bloklar eklenmiş olur ve Genel Bilgiler Sözleşmesi (GIC) güncellenir.

Hastane/kan bağış merkezi tarafından gerçekleştirilen bu işlemlerin ardından bağışçıya ilgili kan verilerinin paylaşılması için izin bildirimini gönderilir. Bağışçının veri paylaşımını onaylaması halinde buna müteakip olarak bağışçı ve hastane/kan bağış merkezinin veritabanına ilgili veriler işlenir.

Devamında hastane/kan merkezi düğümünden Kan Bilgileri Sözleşmesi (BIC) paylaşılır ve bu sözleşme bağışçıya ait özet bilgilerin bulunduğu Genel Bilgiler Sözleşmesi (GIC) ile ilişkilendirilir. Madencilerin bu veriyi işlemesi ve yeni bir blok yaratması ile birlikte kan bilgileri Yetkili Kuruluş düğümüne gönderilir ve burada onaya sunulur. Yetkili Kuruluş düğümünde ilgili personellerin onaylamasının ardından kan bilgisinin uygunluk durumu Kan Bilgileri Sözleşmesi’nde (BIC) güncellenir ve bilgiler veritabanına aktarılır, yeni kan bilgileri ve barkod numaraları güncellendikten sonra kan fiziki olarak kan merkezinde saklanır.

Kan transfüzyon talebi ile süreç yeniden başlatılır. Transfüzyon talebiyle birlikte yeni bir Taşıma Sözleşmesi (TC) paylaşılır. Madencilerin bu veriyi işlemesi ve yeni bir blok yaratması ile birlikte IoT aygıtlarından gelen kan bileşenlerinin fiziksel depolama verileri Taşıma Sözleşmesi’nde güncellenir. Kan Bilgileri Sözleşmesi (BIC) ve Taşıma Sözleşmesi (TC) verilerinin Yetkili Kuruluş düğümüne aktarılmasıyla birlikte burada yer alan yetkili personel ilgili kan transfüzyon talebini karşılayacak stok olup olmadığını ve mevcut stokun kalite ve nicelik anlamında yeterli olup olmadığını kontrol eder. Transfüzyon talebine onay verilmesiyle birlikte veritabanı ve Taşıma Sözleşmesi’nde (TC) bulunan izinler güncellenir ve kan transfüzyonu için taşıma işlemlerine başlanır. Bu işlemlerin de tamamlanmasıyla birlikte veri aktarımı tamamlanır ve ardından fiziksel operasyon gerçekleşir.

4.1.2.3 Ethereum ve Hyperledger Akıllı Sözleşme Yapıları Arasındaki Farklar

Kan transfüzyonu sürecinin modellemesinde de olduğu gibi Ethereum ve Hyperledger Fabric blokzincir altyapılarının temel farklılıkları bulunmaktadır. Bu temel farklılıklar yaratılan model ve sistemlerde teorik olarak birbirine benzeyen yapılar olmasına rağmen altyapısal ve fonksiyonel farklılıklar getirmektedir. Temelde Ethereum ve Hyperledger Fabric arasındaki temel farklılıklar 4 ana başlıkta gözlemlenmektedir [61].

- Kullanım amacı
- Gizlilik seviyesi ve kullanıcı erişim yapısı,
- Eşlerin (peers) rolü
- Mutabakat yapısı

4.1.2.3.1 Kullanım Amacı

Ethereum, akıllı sözleşmeleri Ethereum Sanal Makinesi (EVM) üzerinden yürütmek amacıyla oluşturulmuş ve devamında finansal teknolojilerde kullanılmaya başlanmış açık kaynaklı bir blokzincir platformudur. Kullanıcıların dijital anlaşmalar yapmalarını ve finansal varlıklarını kontrol etmelerini sağlamaktadır [62].

Öte yandan Hyperledger Fabric ise yüksek performanslı ve yüksek güvenilirli bir blokzincir ağı oluşturmak, kişisel/kurumsal ihtiyaçlara bağlı olarak kişiselleştirilmiş blokzincir geliştirilmesini sağlayan bir blokzincir altyapısıdır [63].

Bir diğer önemli fark ise Ethereum B2C yani şirketten direkt olarak müşteriye hizmet veren bir blokzincir ağı iken Hyperledger Fabric B2C'ye ek olarak kurumlar arası blokzincir gelişimini artırma amacı taşıdığı için B2B yani şirketten şirkete hizmet sağlar. Kan transfüzyonu operasyonel mimarisinde olduğu gibi Hyperledger Fabric kurumlar arası çalışabilen bir yapıya da sahiptir.

4.1.2.3.2 Gizlilik Seviyesi ve Kullanıcı Erişim Yapısı

Kullanılan blokzincir teknoloji ve altyapısına göre ağın gizlilik seviyesi ve kullanıcıların erişim izinleri farklılık göstermektedir. Blokzincir ağında kaydedilen tüm işlemlerin her eş (peer) tarafından görülebilir ve erişilebilir durumda olduğu blokzincir ağlarına açık(public) blokzincir ağları adı verilir. Ethereum açık blokzincir ağlarına bir örnektir. Ethereum'daki çalışma sistemi herkese açıktır, bu da herkesin blokzincir ağına erişebileceği ve ağa erişmek için izne gerek olmadığı anlamına gelir.

Ağ üzerinde gerçekleşen işlemlerin sadece yetkili kişiler tarafından görülebildiği ve aynı zamanda yeni bir işlemi(transaction) yapma yetkisinin izne bağlı olduğu ağlara ise özel (private) blokzincir ağları adı verilmektedir. Hyperledger Fabric özel blokzincir ağlarına bir örnektir. Hyperledger Fabric’te ağ üzerinde gerçekleşen işlemler ve eklenen yeni bloklar sadece yetkilendirilmiş katılımcılar tarafından görüntülenebilir. İşlemlerin öncesinde ağ üzerinde tanımlanmış bir katılımcı topluluğu yer alır, erişim izni ve işlem yapma yetkisi bu kullanıcılara aittir.

4.1.2.3.3 Eşlerin (Peers) Rolü

Eşler(peers), blokzincir ağı içerisinde yer alır, dağıtılmış defter ve akıllı sözleşmeleri barındırması sebebiyle blokzincir ağının temel unsurudur. Blokzincir altyapısına bağlı olarak eşlerin rolü değişkenlik gösterebilir.

Ethereum’da her eşin bir rolü vardır, yani bir işlemin (transaction) gerçekleşmesi için ağ üzerindeki eşlerin birçoğunun bu işleme katılması ve onaylaması gerekmektedir. Bu durum ölçeklenebilirlik, gizlilik ve verimlilik gibi çeşitli problemlere yol açmaktadır.

Öte yandan, Hyperledger Fabric bir işlem gerçekleştirmek için ağdaki her bir eşe bilgi vermeye dayanmayan dağıtılmış bir defter teknolojisi (DLT) sunar. Hyperledger Fabric ekosisteminde ağa katılım sınırlı ve sadece erişim yetkisi bulunan kullanıcılar tarafından sağlanmaktadır. Sınırlı sayıda katılımın yanında ağ içerisinde bulunan her bir eşin (peer) ağ üzerinde yapmakla sorumlu olduğu bir görev mevcuttur. Hyperledger Fabric aktörleri bu noktada 4’e ayrılır [64]:

- Onaylayıcı Eş (Endorsing peer)
- Teslim Edici Eş (Committing peer)
- Bağlantı Eşi (Anchor peer)
- Lider Eş (Leading Peer)

Eşlerin görev paylaşımı ayrıntılı bir şekilde Hyperledger Fabric Sistem Mimarisi başlığında aktarılmıştır.

4.1.2.3.4 Mutabakat Yapısı (Consensus Mechanism)

Ethereum blokzincir ağı her eşin/düğümün fikir birliğine dayanan Proof of Stake (PoS) mutabakat yapısını kullanmaktadır. Ağ üzerinde çözümü zor matematiksel bir problem üzerinden madencilik (mining) olarak bilinen işlem protokolleri uygulanır ve sonucunda madenciler finansal kazanç sağlar.

Hyperledger Fabric ise farklı bir mutabakat yapısı olan PBFT-Practical Byzantine Fault Tolerance kullanmaktadır. Ağ yapısına dâhil her onaylayıcı eş (endorsing peer) rolüne sahip eş için özel bir açık-gizli anahtar ikilisi yer almakta ve her eş diğer eşlerin açık anahtar bilgisine sahiptir [65].

Her eş, kendisine gelen bir işlem (transaction) bilgisini, kendi üzerinde tutulan veri yapısını kullanarak kontrol eder, onayladığı bir işlemi imzalayarak ağ ile paylaşır. Eğer bir işlem belirli bir sayıda eş tarafından onaylanmış ise mutabakat sağlanmış kabul edilir ve bu işlem ağ tarafından geçerli işlem olarak tanımlanır.

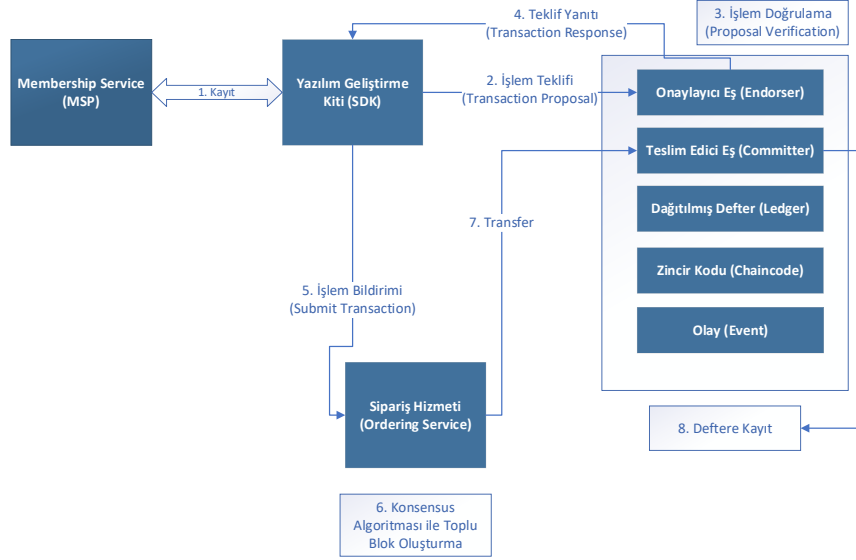
4.1.3 Hyperledger Fabric Sistem Mimarisi

Hyperledger Fabric, kurumlar arası operasyonlarda kullanılmak üzere tasarlanmış, diğer dağıtılmış defter veya blokzincir platformlarına göre bazı kişiselleştirme yetenekleri sunan, açık kaynaklı, özel(private) dağıtılmış defter teknolojisi (DLT) platformudur.

Hyperledger Fabric özel(private) ve sadece izin verilen (permissioned) katılımcıların dâhil olabildiği blokzincir uygulamaları geliştirmek üzere tasarlanmış bir platformdur. Bu sayede kurumsal süreçlerin blokzincir altyapısına aktarılması, operasyonlarının güvenliğinin sağlanması, sadece yetkili ve uzman kişiler tarafından operasyonel süreçlere dair veri girişi yapılması ve diğer blokzincir platformlarına göre dar bir konsensüs havuzu olması sebebiyle operasyonel süreçlerin hızlanmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Hyperledger Fabric, kısıtlı etki alanına özgü diller (DSL) yerine Java, Go ve Node.js gibi genel amaçlı programlama dillerinde yazılan akıllı sözleşmeleri destekleyen ilk dağıtılmış defter platformudur. Öte yandan, akıllı sözleşme yürütmesini için bir kripto para birimi gerektirmeyen mutabakat protokollerinden yararlanır. Bu durum bazı önemli siber saldırı risklerini azaltır ve sistemin operasyonel maliyetinin azaltılmasını sağlar.

Tüm bunlara ek olarak kullanım kolaylığı ve güçlü bir ekosistem olması sebebiyle sistemin tasarımı için Hyperledger Fabric platformu seçilmiştir.

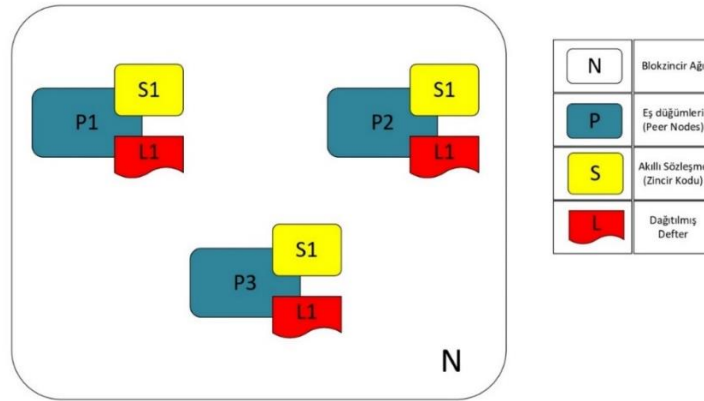


Şekil 29: Hyperledger Fabric Sistem Mimarisi

4.1.3.1 Hyperledger Fabric Sistem Elemanları

4.1.3.1.1 Eşler (Peers)

Eşler(peers), blokzincirde verinin saklandığı ve işlemlerin (transactions) gerçekleştirildiği düğümlerdir. Ağ üzerindeki temel eleman olarak bünyesinde dağıtılmış defteri ve aynı zamanda blokzincir ağı üzerinde yer alan akıllı sözleşmeleri barındırır. Sonuç olarak akıllı sözleşmelere bağlı olarak tanımlanan ve yönetilen varlıklar ve dağıtılmış defter içerisindeki veriye sahiptir.



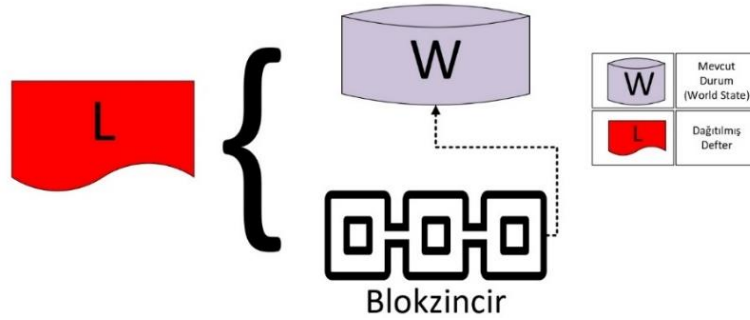
Şekil 30: Hyperledger Fabric Eşlerin (Peer) Sistem İçindeki Rolü

Bir blokzincir ağı, her biri defterlerin kopyalarını ve akıllı sözleşmelerin kopyalarını tutabilen eş düğümlerden oluşur. Bu örnekte, N ağı, her biri kendi dağıtılmış defter L1 örneğini koruyan P1, P2 ve P3 eşlerinden oluşur. P1, P2 ve P3, bu dağıtılmış defterin kopyalarına erişmek için aynı zincir kodunu, S1'i kullanır.

4.1.3.1.2 Dağıtılmış Defter (Distributed Ledger)

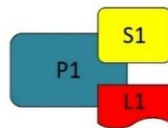
Dağıtılmış defter(ledger), blokzincir ağında veri/bilginin sıralı ve değiştirilemez olarak tutulduğu veritabanıdır. Sisteme dâhil olan her eş dağıtılmış defteri kendi bünyesinde tutar, bu sayede verinin tüm katılımcılara aktarılması sağlanmış olur. Dağıtılmış deftere yazılan her işlem (transaction) birbirine hash linkleri ile bağlıdır. Her işlem sonrası oluşan anahtar-değer çiftleri, hash linkleri ile bağlı halde dağıtılmış defterde saklanır. Böylelikle verinin değiştirilemezliği garanti altına alınmış olur.

Hyperledger Fabric platformunda yer alan defter yapısında birbiriyle ilişkili iki ayrı kısım – blokzincir ve state- bulunmaktadır. State, dağıtılmış defterde oluşan anahtar/değer çiftlerinin son halini muhafaza eder, bir dağıtılmış defter ilk oluşturulduğunda state kısmı boştur. Dağıtılmış defterde yer alan verilerin mevcut değerlerini tutan bir veritabanı olarak işlev görür. Blokzincir kısmı ise, state kısmında yer alan mevcut duruma ait tüm işlemleri ve değişiklikleri kaydeden bir veritabanıdır. State kısmına eklenen her veri ve yapılan işlemleri kaydeder ve bu bilgiler değiştirilemez, blokzincir kısmını “state” kısmından ayıran fark da budur.



Şekil 31: Hyperledger Fabric Dağıtılmış Defter Yapısı

Şekil 32’de, P1, bir defter L1 örneğini ve bir zincir kodu S1 örneğini barındırır. Tek bir eşte barındırılan birçok defter ve zincir kodu olabilir. Eşler, dağıtılmış defter ve akıllı sözleşmeler için temel sunucu olduğundan bu kaynaklara erişilmek istendiği durumda ilgili eş ile etkileşime girilmesi zorunludur.



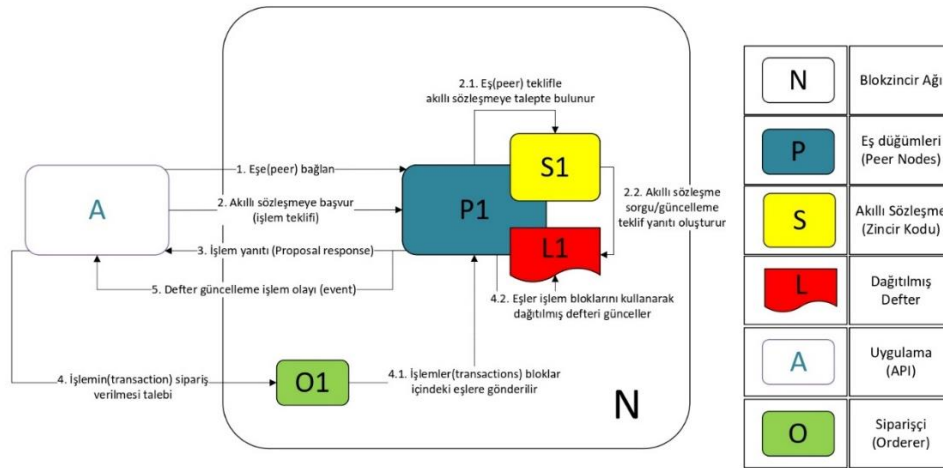
Şekil 32: Hyperledger Fabric-Eş Yapısı

4.1.3.1.3 Uygulama Programlama Arayüzü (API)

Blokzincir ağında kullanıcılar bir işlem yapmak istediği zaman blokzincire erişimi sağlamak için hazırlanmış uygulamalar (Software Development Kit-SDK) üzerinden kullanırlar. Bu uygulama içerisindeki uygulama programlama arayüzü (API), defterlere ve akıllı sözleşmelere erişimleri gerektiğinde eşlere bağlanır, işlemler (transactions) oluşturmak için akıllı sözleşmelerin çağırılması işlemlerinin yanı sıra işlem teklifi, doğrulama ve dağıtım için dağıtılmış deftere taahhüt edilen işlemlerin gönderilmesini ve işlem gerçekleştiğinde bildirim/sonuçları almasını sağlar.

4.1.3.1.4 Uygulama (API) ve Eş (Peer) Etkileşimi

Bir blokzincir ağında sorgulama/güncelleme işlemleri basit bir şekilde Şekil 33'te gösterilmektedir:



Şekil 33: Hyperledger Fabric Eş (Peer) ve Uygulama (API) Etkileşimi

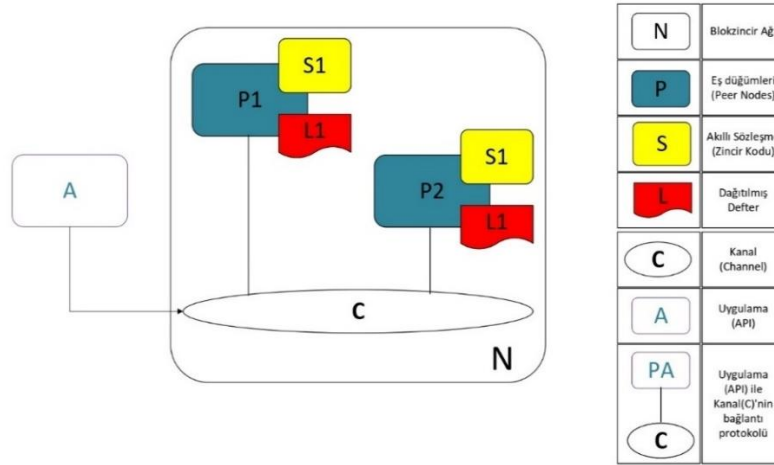
Şekil 33'te N blokzincir ağını, A uygulama programlama arayüzünü (API), L dağıtılmış defteri, P eşleri, S akıllı sözleşmeleri, O ise işlemlerin bloklara paketlenmesinden ve bunları ağdaki ilgili eşlere dağıtılmasından sorumlu siparişçiyi(orderer) temsil etmektedir.

Şekil 33'te yer alan yapıyı şu şekilde açıklayabiliriz: Dağıtılmış defteri güncellemek veya sorgulamak amacıyla talep sahibi uygulama (A) üzerinden P1'e bağlanır. L1 defterini sorgulamak veya güncellemek için S1 akıllı sözleşmesini çağırır. Aynı şekilde P1, sorgu veya güncelleme işlemlerini gerçekleştirmek için S1'i çağırır. Eğer işlem sorgulama ise işlem burada sonuçlanır ve teklif yanıtı (proposal response) uygulama A üzerinden gönderilir.

Güncelleme işlemi için ise uygulama A, O1'e göndermiş olduğu tüm işlemlerden gelen yanıtları toplar ve bu yanıtlardan bir işlem oluşturur. O1, ağdaki işlemleri bloklar halinde toplar ve bunları P1 dâhil olmak üzere ağda bulunan bütün eşlere(peers) dağıtır. P1 işlemi doğrular ve L1'e teslim eder. L1 güncellendiğinde P1 işlemin tamamlandığını belirtmek bir olay üretir ve A'ya gönderilir.

4.1.3.1.5 Kanallar (Channels)

Kanallar, belirli bir dizi eş(peer) ve uygulamanın (API) bir blokzinciri ağı içinde birbirleriyle iletişim kurmasına izin verir. İhtiyaca göre eşlerin(peers) birden çok kanalı olabilir ve farklı işlemlerini bu kanallar aracılığıyla yürütebilir. Kanallar belirli eşler ve uygulamalar arasındaki iletişimi sağlamak için oluşturulmuş bir yol olarak genel bir şekilde ifade edilebilir.



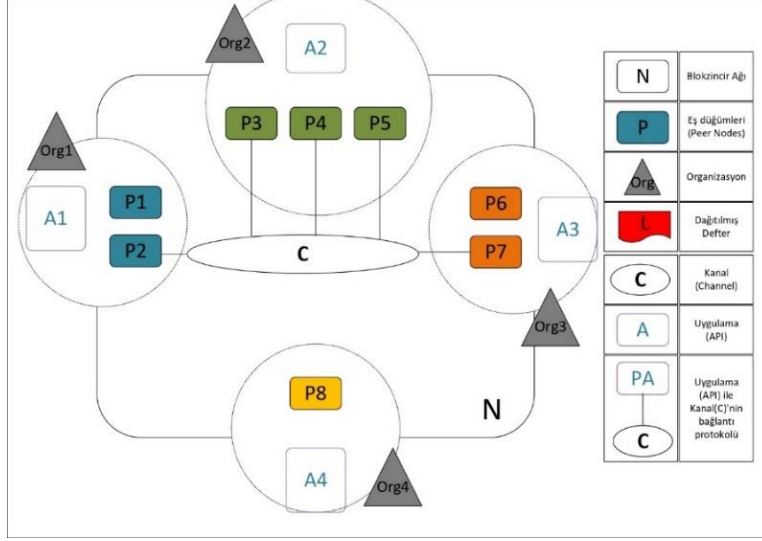
Şekil 34: Hyperledger Fabric Kanal Yapısı

Şekil 34'te uygulama A, C kanalını kullanarak P1 ve P2 eşleriyle doğrudan iletişim kurmaktadır.

4.1.3.1.6 Organizasyonlar (Organizations)

Hyperledger Fabric platformunda her bir katılımcı ağa "organizasyon" bünyesinde dâhil olur. Organizasyonlar eşlerini (peers) ağ içerisine dâhil eder ve yönetimini sağlar, böylece blokzincir ağında birçok organizasyon bulunur ve tek bir organizasyon tahakkümü engellenmiş olur.

Blokzincir ağları tek bir organizasyondan ziyade birçok organizasyonun bir araya gelmesiyle birlikte yönetilir. Eşler organizasyona ait olup organizasyonlar için ağa temel bağlantı noktaları olarak konumlanmaktadır.



Şekil 35: Hyperledger Fabric Organizasyon Yapısı

4.1.3.1.7 Dijital Sertifika (Digital Identity) ve Üyelik Hizmet Sağlayıcısı (Membership Provider Service)

Eşler, belirli bir sertifika yetkilisinden alınan dijital sertifika aracılığıyla kendilerine atanan bir kimliğe sahiptir. Dijital sertifika, bir eş hakkında birçok doğrulanabilir bilgi sağlayan bir kimlik kartına benzer. Ağdaki her eşe, sahibi olduğu kuruluştan bir yönetici tarafından bir dijital sertifika atanır.

Bir eş bir kanala bağlandığında, dijital sertifikası ilgili kanalın üyelik hizmet sağlayıcısı (MSP) aracılığıyla sahip olduğu organizasyon tanımlanır. Üyelik Hizmet Sağlayıcısı (MSP) bir eşin belirli bir organizasyonda belirli bir role nasıl atandığını belirler ve buna göre blokzincir kaynaklarına erişim haklarını belirler. Atanan dijital sertifika üzerinden eş ile bu eşin organizasyonel rolü arasında bağlantı sağlayan bir sistem olarak da düşünülebilir. Bir eş yalnızca bir organizasyona ait olabilir ve bu nedenle bir tane Üyelik Hizmet Sağlayıcısı (MSP) ile ilişkilendirilebilir.

4.1.3.1.8 Siparişçi (Orderer)

Her bir eşin defterinin birbiriyle tutarlı tutulmasını sağlamak için uygulamaların ve eşlerin birbirleriyle etkileşime girdiği mekanizmaya, siparişçi (orderer) adı verilen özel düğümler aracılık eder. Dağıtılmış defteri güncellemek isteyen uygulamalar, bir blokzincir ağındaki tüm eşlerin defterlerini birbirleriyle tutarlı bir şekilde muhafaza etmesini sağlayan üç aşamalı bir sürece dâhil olur:

- İşlem teklifi (transaction proposal)
- Bloklar halinde paketleme ve sipariş işlemleri
- Doğrulama ve iletme

İlk aşamada talep sahibi uygulama (API) aracılığıyla işlem teklifi (transaction proposal) oluşturur. Bu işlem sipariş hizmeti (ordering service) içermez. İşlem teklifi onaylayıcı eşlere (endorsing peers) gönderilir ve bu eşlerin her biri işlem teklifi yanıtı (proposal response) oluşturabilmek için işlem teklifini kullanarak bir akıllı sözleşme(chaincode) yürütür. Alınan yanıtlar sonucunda yapılan güncelleme dağıtılmış deftere gönderilmez ve uygulamaya (API) geri döndürülür. İlk aşama işlem teklifi yeterli sayıda eşten imzalı teklif yanıtı aldığı anda sona erer.

İkinci aşamada siparişçi eş (ordering peer) imzalanmış teklif yanıtlarını alır ve işlemleri bloklar halinde sipariş eder.

Sipariş hizmetinden (ordering service) blokları alan eşler işlem üzerindeki işlem tekliflerine gelen yanıtların mutabakat politikasına uygunluğunu kontrol eder. İşlem uygunsa, işlemi çalıştırır ve dağıtılmış deftere ekler.

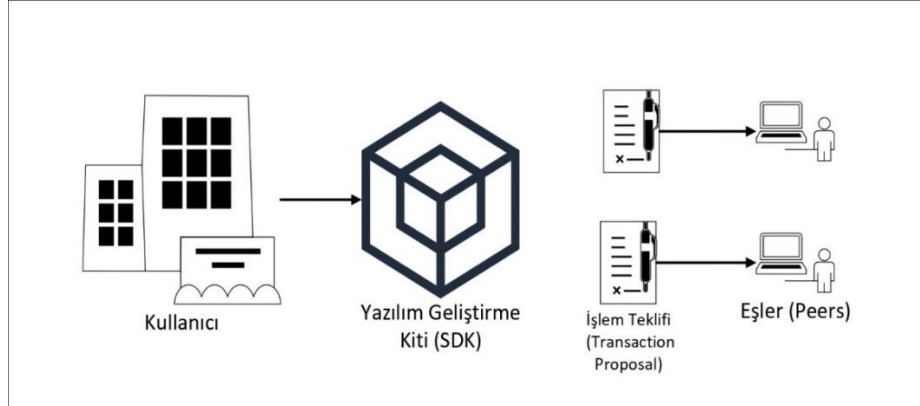
4.1.3.2 Hyperledger Fabric İşlem Akışı

Bütün blokzincir ağlarında olduğu gibi Hyperledger Fabric'te de bir işlemin(transaction) gerçekleştirilmesi için öncelikle akıllı sözleşmeye ait en az 2 tarafın bulunması gerekmektedir. Bununla birlikte akıllı sözleşme(chaincode) bir dizi işlem talimatını içerir ve her iki tarafın sahip olduğu onay politikaları (endorsement policy) akıllı sözleşmeler üzerinde tanımlanır.

Sözleşmeye taraf kullanıcılardan blokzincir üzerinde güncelleme yapmak isteyen talep sahibi dâhil olduğu organizasyonun sertifika yetkilisi (certificate authority) vasıtasıyla dijital kimliğini alır ve sisteme dâhil olur. Devamında Hyperledger Fabric yazılım geliştirme kiti (SDK) üzerinden işlemi başlatır.

Yazılım geliştirme kitinin (SDK) kullandığı uygulama program arayüzü (API) üzerinden onaylayıcı eşlere (endorsing peers) bir işlem teklifi (transaction proposal) gönderilir. İşlem teklifi, dağıtılmış defteri güncellemek amacıyla belirli özelliklere sahip bir akıllı sözleşmeyi çağırma istemidir.

İşlem teklifi kullanıcının kimlik bilgisi, çalıştırılacak akıllı sözleşme numarası, aktarımı gerçekleştirilecek veri bilgisi, zaman damgası ve kullanıcının imzasını içerir. Görselle ifade edecek olursak bir işlem teklifi aşağıdaki gibi bir görünüme sahiptir:

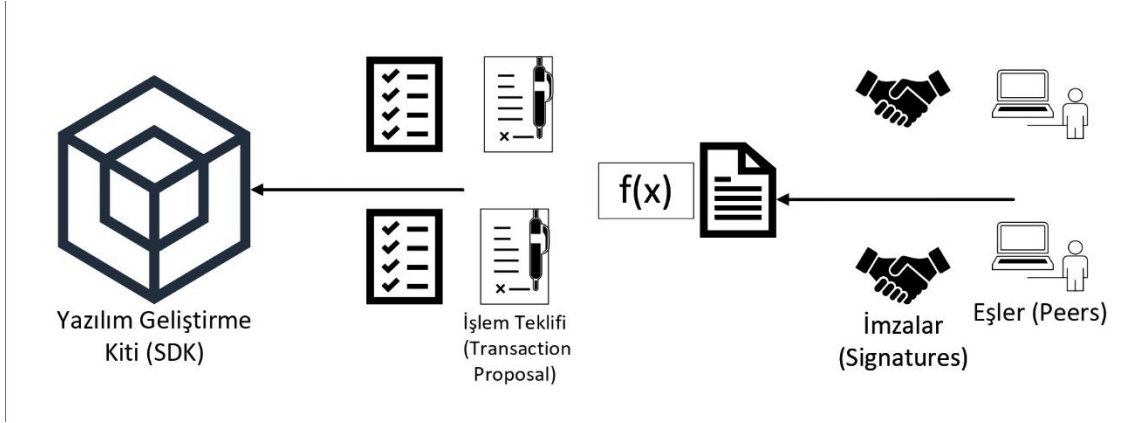


Şekil 36: Hyperledger Fabric Süreç Akışı- 1

Onaylayıcı eşler kullanıcılardan gelen işlem tekliflerini 4 temel parametreye göre kontrol eder:

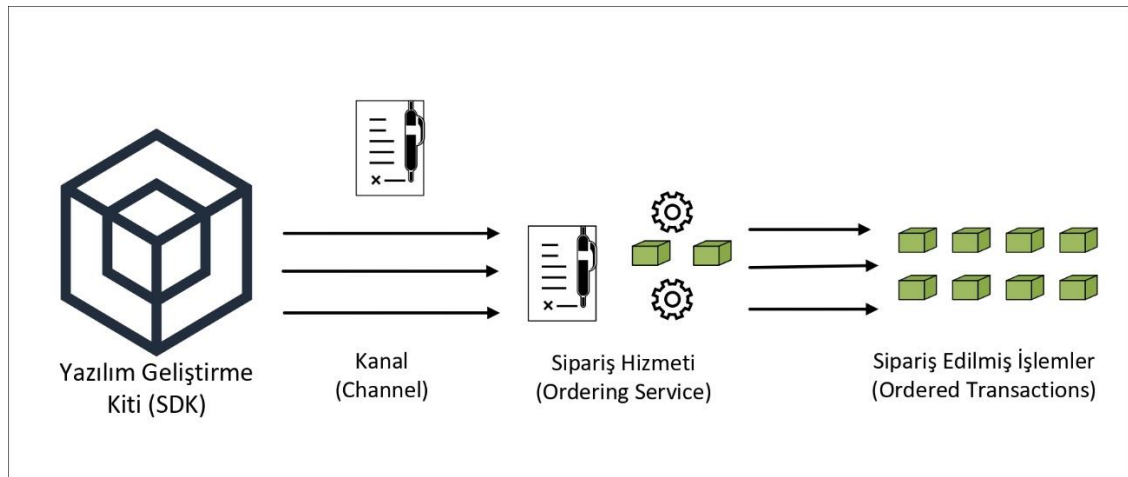
- İşlem tekliflerinin istenen formatta olup olmadığı
- İşlem teklifinin daha önceden gönderilip gönderilmediği
- Gönderen kullanıcının imzasının geçerli olup olmadığı
- Kullanıcının bu işlemi yapmak için yetkili olup olmadığı

Onaylayıcı eşler işlem teklifi girdilerini kullanılan akıllı sözleşme koduna argüman olarak ekler. Onaylayıcı eşler parametrelere göre uygunluğu kontrol ettikten sonra akıllı sözleşmeleri çalıştırır ve simülasyon gerçekleştirir. Bu esnada dağıtılmış deftere herhangi bir kayıt veya log eklenmez. Simülasyon esnasında yapılan sorgu/güncelleme işlemleri elde edilen yanıtta onaylayıcı eşin özgün imzası ile birlikte eklenir ve yazılım geliştirme kitine (SDK) teklif yanıtı (proposal response) olarak gönderilir.



Şekil 37: Hyperledger Fabric Süreç Akışı-2

Yazılım geliştirme kiti (SDK) öncelikle eş imzalarını doğrular. Devamında onaylayıcı eşlerden gelen işlem onay yanıtlarını gözden geçirir. Tamamlanmış bütün işlem yanıtlarının aynılığını kontrol eder ve aralarından hatalı olanlar varsa bu işlemi (transaction) devam ettirmez. Kullanıcı tarafından sadece sorgulama yapıldıysa süreç bu noktada sona erer ve sipariş hizmetine (ordering service) iletilmez. Kullanıcı eğer güncelleme gerçekleştirdiyse ve dolayısıyla bir işlem(transaction) gerektiren bir süreç varsa yazılım geliştirme kiti (SDK), onaylayıcı eşlerden gelmiş olan işlem onay yanıtlarını (endorsement response) ekleyerek işlemi (transaction) sipariş hizmetine (ordering service) işlem mesajı (transaction message) olarak gönderir.

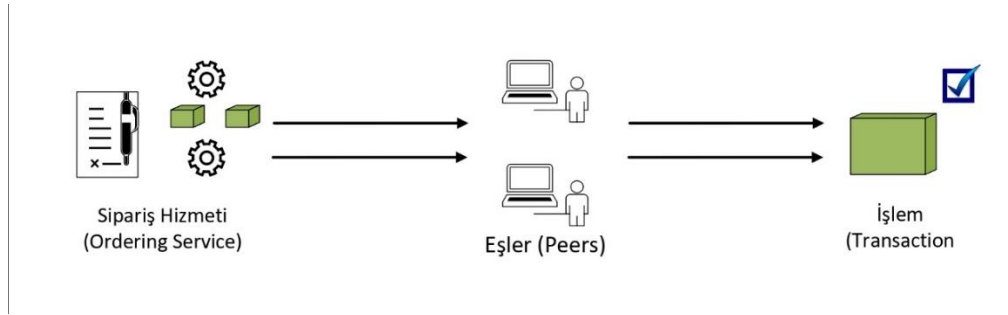


Şekil 38: Hyperledger Fabric Süreç Akışı-3

Yazılım geliştirme kiti (SDK) tarafından sipariş hizmeti (ordering service) gönderilen işlem mesajı içerisinde sorgu/güncelleme setleri, eş imzası (peer signature) ve kanal kimlik numarasını (channel ID) onaylayan bir işlem içerir. Sipariş hizmeti (ordering service) bu mesajdaki her bilgiyi incelemeyi, sadece ağdaki tüm kanallardan tüm işlemleri alır, kronolojik olarak sipariş eder ve kanal başına bir işlem bloğu oluşturur. Sipariş, onaylanan işlemlere ve diğer uygulamalar tarafından gönderilen sorgu/güncelleme setlerine paralel olarak ağ genelinde gerçekleşir.

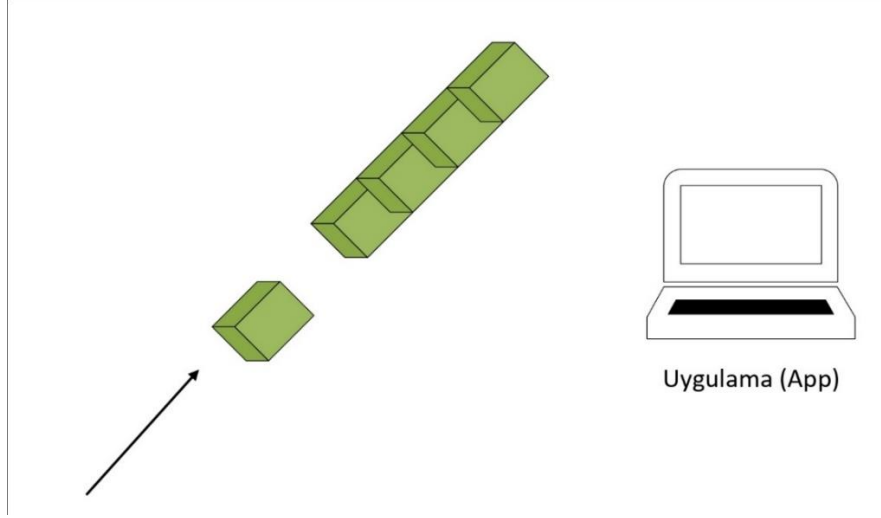
Sipariş hizmetinin işlemleri valide etmek gibi görevleri yoktur, sadece kanal içerisinde işlemlerin(transaction) iletimini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Sipariş hizmeti, onaylanan işlemleri kabul eder ve bu işlemlerin deftere işleneceği sırayı belirtir. Sipariş hizmeti (ordering service) kanal bilgilerini ve blokzincirin başlangıç bloğunu (genesis block) üzerinde bulundurur ve işlemleri başlangıç bloğunun devamına onaylanan işlemleri sıralı olarak ekler.

Sipariş hizmeti onaylanan işlemleri lider eşe (leader peer) iletir ve işlemler buradan sıralı olarak kanala dağıtılmaya başlar. Lider eşler her organizasyon için bir tane bulunur ve sipariş hizmeti ile iletişimi kurmak başlıca görevidir. Lider eşler kanal kurulumunda belirlenebilir veya her bir süreç için kullanıcılar tarafından lider seçimi yapılabilir. Lider eş sipariş hizmetinden aldığı blokları bağlantı eşi (anchor peer) aracılığıyla kendi organizasyonunda yer alan diğer eşlere aktarır.



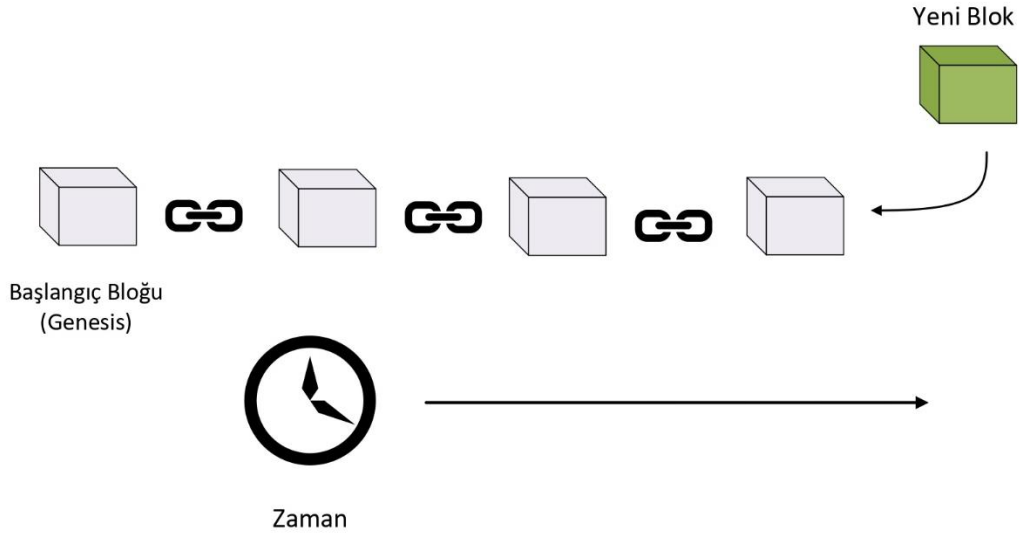
Şekil 39: Hyperledger Fabric Süreç Akışı-4

Sipariş hizmetinden (ordering service) gelen blokları alan onaylayıcı eşler işlem(transaction) üzerindeki işlem onay yanıtlarının (endorsement response) onaylama mutabakatına (endorsement policy) uygunluğunu kontrol eder. İşlemin doğruluğunu onaylamasının ardından işlemi çalıştırır ve dağıtılmış deftere ekler. Bu aşamada bloktaki işlemler geçerli veya geçersiz olarak etiketlenir ve geçersiz işlemler dağıtılmış deftere işlenmez. İşlem teklifi (proposal request) göndermeden direkt olarak sipariş hizmeti üzerinden işlemi yayınlamak isterse onay mutabakatları bu fazda kontrol edileceğinden işlem onaylanmaz ve dağıtılmış deftere işlenmez.



Şekil 40: Hyperledger Fabric Süreç Akışı-5

Onaylayıcı eşler bloğu kanalın zincirine ekler ve geçerli etiketine sahip olan her bir işlem için güncelleme(yazma) kümeleri mevcut durum veritabanına (State) bağlanır. Her eş tarafından işlemin (transaction) blokzincire değişmez bir şekilde eklendiğini ve işlemin doğrulanıp doğrulanmadığının kullanıcı uygulamasına bildirmek için bir olay yayınlanır.



Şekil 41: Hyperledger Fabric Süreç Akışı-6

4.1.4 Blokzincir Tabanlı Kan Transfüzyonu Modelinin Oluşturulması

4.1.4.1 Kan Transfüzyonu Operasyonları ve İşlemlerin (Transactions) Belirlenmesi

Kan transfüzyonuna dair ülke genelinde yapılan uygulamalar ve kan transfüzyonu süreci “Mevcut İş Akışı” başlığında incelenmiş ve bu kapsamda bağışçının başvurmasından alıcının ilgili kan ürününü temin etmesine kadar uygulanan tüm işlemler bu başlıkta aktarılmıştır.

Özetlemek gerekirse, kan bağışı amacıyla bireysel veya topluluk halinde başvuru yapan bağışçılar ilgili kan merkezi/hastanede bilgilendirilir ve ilgili kurum tarafından bağışçıya “Kan Bağışçısı Kayıt Formu” ve “Kan Bağışçısı Sorgulama Formu” sunulur. Bağışçının bu bilgileri fiziksel olarak doldurmasının ardından bağışçının kimlik tespiti ve kayıt işlemleri gerçekleştirilir. Devamında kan bağışçısı adayının kan bağışına uygunluğu hekim tarafından yapılan incelemeler neticesinde değerlendirilir. Uygun bulunması halinde kan bağışçısının fiziksel özellikleri ve hayati bulguları ölçülür ve kaydedilir. Ardından kan alım işlemleri gerçekleşir ve ilgili numuneler uygun bir şekilde barkodlanarak laboratuvar ortamına iletilir.

Numunelerin laboratuvar ortamında ilgili personeller tarafından fiziki kontrolü, uygunluk değerlendirmesi ve kimlik doğrulaması yapılır. Aynı zamanda kan grubu ve RhD sınıflandırması gerçekleştirilir. Antikor taraması ve ilgili tarama testlerinin yapılmasının ardından numunenin uygunluğu değerlendirilir, tarama testi sonucu pozitif olan numuneler bildirilir ve gerektiği durumlarda imha edilir.

Kan bağışına uygun numuneler ise etiketlenip kan bağışı için uygun ortamda saklanır. Kan transfüzyonu talebi geldiğinde ilgili kan ürünleri talep birimine teslim edilir.

Bu kapsamda kan transfüzyon sürecinin bütününe blokzincir tabanlı modellenmesi için 5 ana operasyon ve transfer/muhafaza edilecek veriler belirlenmiştir. Bu operasyonlar belirlenirken sistem üzerinde iletimi gerçekleştirilecek veriler temel alınmıştır. 5 adet operasyon aşağıdaki gibidir:

- Kayıt ve Sorgulama Formu
- Medikal Değerlendirme Formu
- Kan Testi Raporu
- Kan Bileşeni Tedarik Sözleşmesi
- Taşıma ve Depolama Bilgileri

Kayıt ve Sorgulama Formu: Kan bağışçısı kayıt formu, kan bağışçısı adayına ait kimlik, adres, iletişim ve kişisel bilgileri içeren bir formdur. Mevcut durumda bu form fiziki yollarla doldurulmakta, incelenmesi ve taşınması yine fiziksel yollarla yapılmaktadır. Bu sebeple üçüncü kişilerin erişimine ve manipülasyonuna karşı dijital uygulamalara göre daha savunmasızdır.

Kan bağışçısı sorgulama formu ise medikal geçmişe yönelik ayrıntılı sorgulamanın gerçekleştirildiği formdur. Sorgulama formunda cinsel hayat, hastalık geçmişi, özel hayat vb. kişiye özel bilgiler bulunmaktadır. Bu sebeple formda sorulan soru ve verilen cevapların gizli kalması, üçüncü kişilerin erişimine açık olmaması son derece önemlidir. Aynı şekilde mevcut durumda bu form fiziki yollarla doldurulmakta, incelenmesi ve taşınması yine fiziksel yollarla yapılmaktadır.

Blokszincir altyapısında bu formlar ve ilgili verilerin aktarımı dijital ortamda kriptografik imzalanmış şekilde ve sadece izin verilmiş personelin erişimi olacak şekilde kurgulanmıştır.

Medikal Değerlendirme Formu: Kayıt ve sorgulama formlarının doldurulmasının ardından hekim gözetiminde yapılan değerlendirme neticesinde hekim tarafından “Medikal Değerlendirme Formu” doldurulur. Kan bağışısı öncesi bağışçıya ait hayati bulgu ve ölçüm değerleri, hekim değerlendirmesi ve kan bağışısına uygunluğuna dair değerlendirmeler bulunur. Aynı şekilde mevcut durumda bu form fiziki yollarla doldurulmakta, incelenmesi ve taşınması yine fiziksel yollarla yapılmaktadır.

Blokszincir altyapısında Medikal Değerlendirme Formu ve ilgili verilerin aktarımı dijital ortamda kriptografik imzalanmış şekilde ve sadece izin verilmiş personelin erişimi olacak şekilde kurgulanmıştır.

Bağışçı Kan Bilgileri: Kan transfüzyonuna bağışçı kan bilgileri ve test rapor sonuçları numunelere laboratuvarında uygulanan testlere göre belirlenmektedir. Mevcut durumda laboratuvar personelleri geleneksel veritabanları üzerinden medikal kayıt sistemine yüklenmekte veya gönderilmesi gereken birime fiziksel yollarla iletilmektedir. Yine bu durumda blokszincir tabanlı dijital kayıt sistemlerine göre siber saldırılara ve üçüncü kişilerin erişimine karşı daha savunmasızdır.

Blokszincir altyapısında Bağışçı Kan Bilgileri ve ilgili test raporlarının aktarımı dijital ortamda kriptografik imzalanmış şekilde ve sadece izin verilmiş personelin erişimi olacak şekilde kurgulanmıştır.

Kan Bileşeni Tedarik Sözleşmesi: Mevcut durumda Transfüzyon Merkezi (TM) ile Bölge Kan Merkezi (BKM) arasında kan ve kan bileşenlerinin tedarik kurallarını belirten bir sözleşme yapılmaktadır. Bahsi geçen sözleşme paydaşların en üst düzey yetkililerinin onayı ile yürürlüğe sokulur. Sözleşme hazırlanırken transfüzyon merkezinin ihtiyaçları esas unsurdur. Her transfüzyon merkezi, acil durum ve kritik stok seviyesi de dahil olmak üzere “Stok Yönetim Planını” Bölge Kan Merkezi’ne sunar. Bölge Kan Merkezi'nin bu plana uygunluğunu belirtmesinin ardından, mutabık kalınan stok planı sözleşme ekinde yer alır.

Transfüzyon merkezi, oluşturduğu stok planının içeriğinde Bölge Kan Merkezi’nden talep edilecek özellikli bileşenlerin (ışınlanmış, filtrelenmiş vb.) niteliklerini ve numaralarını belirtir. Kan bileşenlerinin teslimat ve iade koşulları sözleşmede açıkça belirtilir. Kan bileşenleri transfüzyon merkezi personellerine teslim ve teslim tutanağı ile Bölge Kan Merkezi personeli tarafından iletilir, tutanak paydaşlar tarafından imzalanır.

Evrak prosedürlerinin dijital ortalama aktarılması ve güvenliğinin sağlanması amacıyla blokzincir altyapısında Kan Bileşeni Tedarik Sözleşmesi prosedürü dijital ortamda kriptografik imzalanmış şekilde ve sadece izin verilmiş personelin erişimi olacak şekilde kurgulanmıştır.

Kan Taşıma ve Depolama Bilgileri: Güncel durumda mevcut kan numunelerinin saklanması ve taşınması belirli prosedürlere göre gerçekleştirilmekte ve buna Standart İşlem Prosedürü adı verilmektedir. Kan ürünlerinin belirli sıcaklık, ortam ve koşullarda saklanması ve aynı şekilde yüksek özellikli taşıma araçlarıyla taşındığı bilinmektedir.

Kan tedarik sözleşmesine konu kan ürünlerinin teslimi öncesinde kan ürünlerinin mevcut durumunu transfüzyon merkezine ulaşmadan sisteme girebilecek bir altyapı mevcut değildir. Bu nedenle, kan ürünlerinin saklama ve taşıma koşullarını operasyonun başlangıç ve bitişinde bildiren, buna göre kan merkezi yetkilisinin kan transfüzyon talebine etkin cevap vermesini sağlayan bir altyapı blokzincir altyapısıyla entegre şekilde çalışacak ve sistemi sürekli besleyecek bir şekilde tasarlanmıştır.

Sonuç olarak, kan transfüzyonu işlemlerinin gerçekleştirilmesi için 5 adet operasyon ve bu operasyonlarda aktarılacak veriler belirlenmiştir. Bu veriler akıllı sözleşme mekanizmasıyla Hyperledger Fabric üzerinde geliştirilen yazılım aracılığıyla eşler arasında transfer olacaktır.

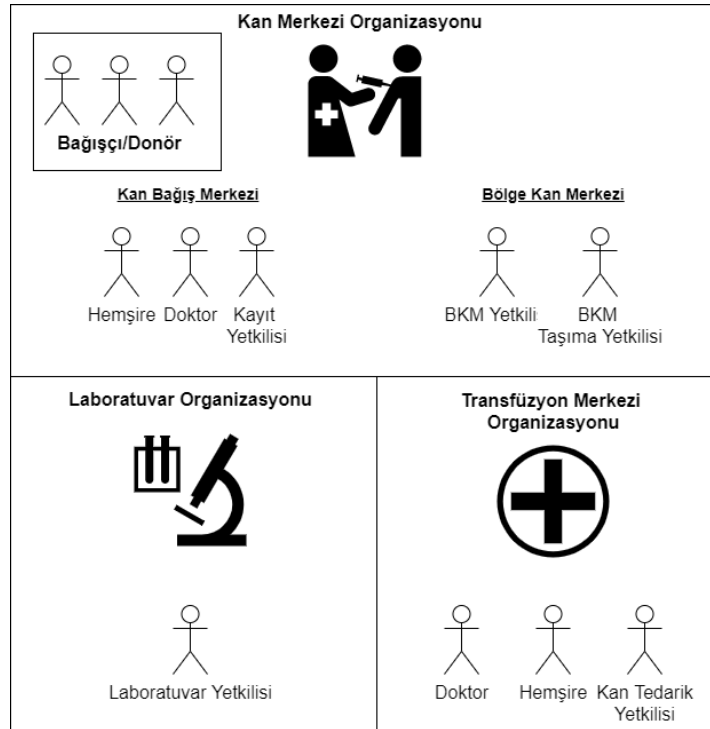
4.1.4.2 Eşlerin (Peers) Belirlenmesi

Bir blokzincir ağında eşler (peer), dağıtılmış defter ve akıllı sözleşmeleri üstünde tutar. Blokzincir ağında bir eş, işlemin doğru olup olmadığını farklı metriklere göre valide eden sanal makinelerdir. Bir işlemin blok olarak eklenmesi ve valide edilebilmesi için organizasyon bazında belirlenmiş eşler(peers) tarafından onaylanması gerekir. Bu çalışmada, her organizasyon için bir adet eş (peer) belirlenmiştir. Belirlenmiş olan 5 adet operasyonda görev alacak eşler (peers) mevcut kan transfüzyonu iş akışına uygun olarak belirlenmiştir: Kan Merkezi Organizasyonu Eşi, Laboratuvar Organizasyonu Eşi, Transfüzyon Merkezi Eşi

4.1.4.3 Organizasyonlar ve Kanalların Belirlenmesi

Temelde 4 adet organizasyon oluşturulması ve işlemlerin bu organizasyonlar üzerinden ilerlemesi beklenmektedir: Kan Merkezi Organizasyonu, Laboratuvar Organizasyonu, Transfüzyon Merkezi Organizasyonu, Siparişi (Orderer) Organizasyonu.

Aktörlerden Kan Bağışı Merkezi ve Bölge Kan Merkezi çalışanları “Kan Merkezi Organizasyonu”, laboratuvar yöneticisi “Laboratuvar Organizasyonu”, transfüzyon merkezinde görev alan (hastane vb.) doktor, hemşire ve kan tedarik yetkilisi “Transfüzyon Merkezi Organizasyonu” içerisinde rol alacak şekilde kurgulanmıştır.



Şekil 42: Organizasyon ve Kanalların Belirlenmesi

4.1.4.4 Blokzincir Bazlı Kan Transfüzyonu Sürecinin Oluşturulması

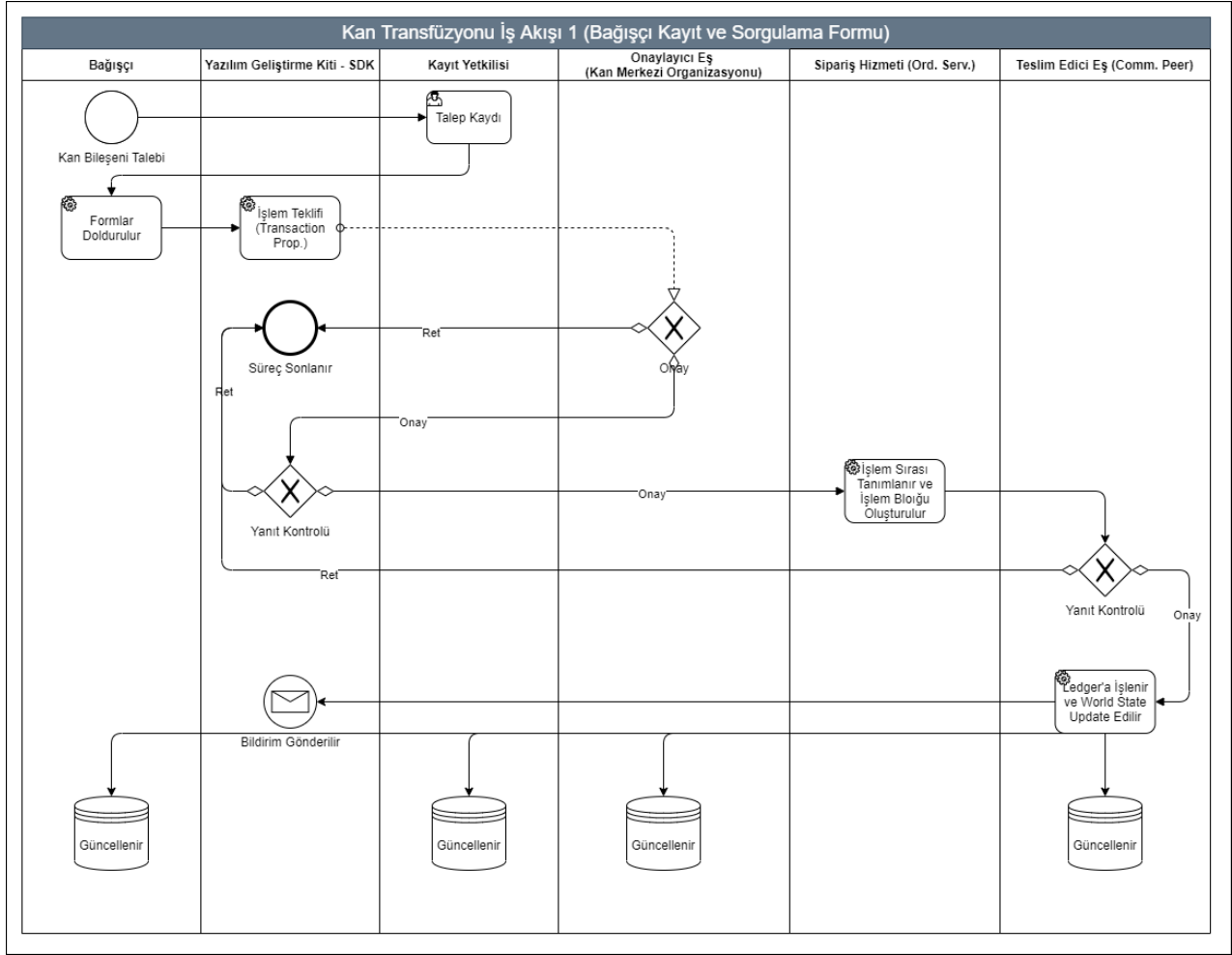
Bu kısımda kan transfüzyonuna dair bütün sistem girdilerinin belirlenmesinin ardından operasyonların süreç dâhilinde bütünleştirilmesi ve görsellerle aktarılması gerçekleştirilmiştir.

Bu kapsamda belirlenen 5 adet operasyon ve bu operasyonlar gerçekleşirken aktarımı blokzincir ağı üzerinden sağlanan veriler açıklanmıştır.

Operasyon-1 (Bağışçı Onay ve Sorgulama Formu)

Kan bağışı için başvuran bağışçı ilgili kan merkezi/hastaneye gelir ve kan alım işlemleri için başvuru yapar. Bunun ardından hasta kayıt yetkilisi kendisine dijital ortamda kayıt ve sorgulama formlarını sunar. (1) Bağışçının formları doldurmasının ardından Hyperledger Fabric yazılım geliştirme kiti(SDK) aracılığıyla bağışçıya ait bilgiler işlem teklifi (transaction proposal) olarak gönderilir. (2) Bu operasyonda onaylayıcı eş(endorsing peer) olarak Kan Merkezi Organizasyonu'na tanımlanmış eştir. Gerekli bilgilerin doldurulup doldurulmadığı hasta kayıt yetkilisi tarafından doğrulanır. Medikal değerlendirme öncesinde bağışçının kan vermeye uygun olup olmadığına dair değerlendirme ise doktor tarafından yapılır. Onaylayıcı eş tarafından işlem onay yanıtı yazılım geliştirme kitine(SDK) gönderilir. (3) İşlem onaylanmamışsa süreç burada sonlanır, onaylanması halinde ise yazılım geliştirme kiti(SDK), onaylayıcı eşlerden gelmiş olan işlem onay yanıtlarını (endorsement response) ekleyerek işlemi (transaction) sipariş hizmetine (ordering service) işlem mesajı (transaction message) olarak gönderir.(4) Sipariş hizmetinden(ordering service) gelen blokları alan teslim edici eşler (committing peers) işlem(transaction) üzerindeki işlem onay yanıtlarının (endorsement response) onaylama mutabakatına (endorsement policy) uygunluğunu kontrol eder.(5) İşlemin doğruluğunu onaylamasının ardından işlemi çalıştırır ve dağıtılmış deftere ekler.(6) Dağıtılmış defterin güncellenmesinin ardından kullanıcıya gönderilmesi amacıyla bir “olay” oluşturulur ve yazılım geliştirme kiti(SDK) üzerinden kullanıcıya bildirim gönderilir. (7)

Şekil 43'te bağışçı kayıt ve sorgulama formu işlemleri iş akışı şeklinde açıklanmıştır.



Şekil 43: Kan Transfüzyonu İş Akışı Faz-1

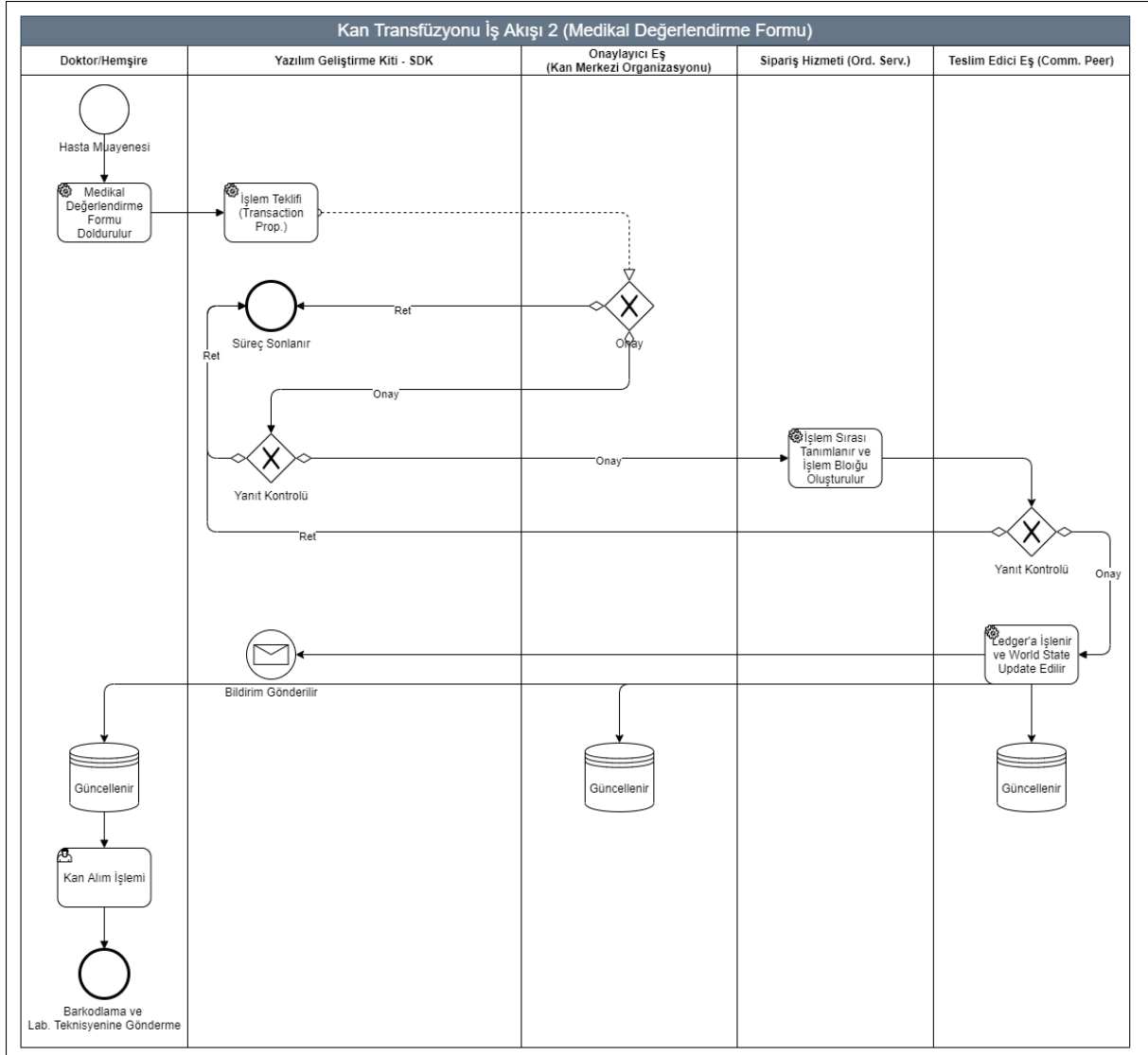
Operasyon-2 (Medikal Değerlendirme Formu)

Kayıt ve sorgulama formu işlemlerinin tamamlanmasının ardından doktor tarafından hastanın kan bağışına uygun olup olmadığına dair muayene yapılır. Muayene sonuçlarına göre hastanın bağışa uygun veya geçici/kalıcı reddine dair bilgiler girilir ve “ Medikal Değerlendirme Formu” doldurulur. (1) Devamında “Medikal Değerlendirme Formu” ve kan alımı için oluşturulmuş “barkod” yazılım geliştirme kiti(SDK) üzerinden işlem teklifi(transaction proposal) olarak gönderilir. (2) Onaylayıcı eş olarak Kan Merkezi Organizasyonu eşi(peer) işlemin doğruluğunu kontrol eder ve işlem onay yanıtını (endorsement response) yazılım geliştirme kitine(SDK) gönderir. (3) İşlem onaylanmamışsa süreç burada sonlanır, onaylanması halinde ise yazılım geliştirme kiti(SDK), onaylayıcı eşlerden gelmiş olan işlem onay yanıtlarını (endorsement response) ekleyerek işlemi (transaction) sipariş hizmetine (ordering service) işlem mesajı (transaction message) olarak gönderir.

(4) Sipariş hizmetinden (ordering service) gelen blokları alan teslim edici eşler (committing peers) işlem(transaction) üzerindeki işlem onay yanıtlarının (endorsement response) onaylama mutabakatına (endorsement policy) uygunluğunu kontrol eder. (5) İşlemin doğruluğunu onaylamasının ardından işlemi çalıştırır ve dağıtılmış deftere ekler. (6) Dağıtılmış defterin güncellenmesinin ardından kullanıcıya gönderilmesi amacıyla bir “olay” oluşturulur ve yazılım geliştirme kiti (SDK) üzerinden kullanıcıya (bu işlemde doktor) bildirim gönderilir. (7)

Bu işlemlerin ardında Operasyon 3 (Bağışçı Kan Bilgileri) öncesinde hemşire/kan alım yetkilisi tarafından alınan kan, Medikal Değerlendirme Formu ile birlikte doktor tarafından gönderilen barkodla uygun tüplere yerleştirilir. Devamında laboratuvar testlerinin yapılması için ilgili laboratuvara gönderilir. (8) Bu operasyonun blokzincir ağında temsil edilmemesinin sebebi ise kan numunelerinin fiziksel bir yolla iletilmesi ve bağışçıya ait kan değerlerini içeren bir veri olmamasıdır.

Şekil 44’te bağışçı medikal değerlendirme formu işlemleri iş akışı şeklinde açıklanmıştır.



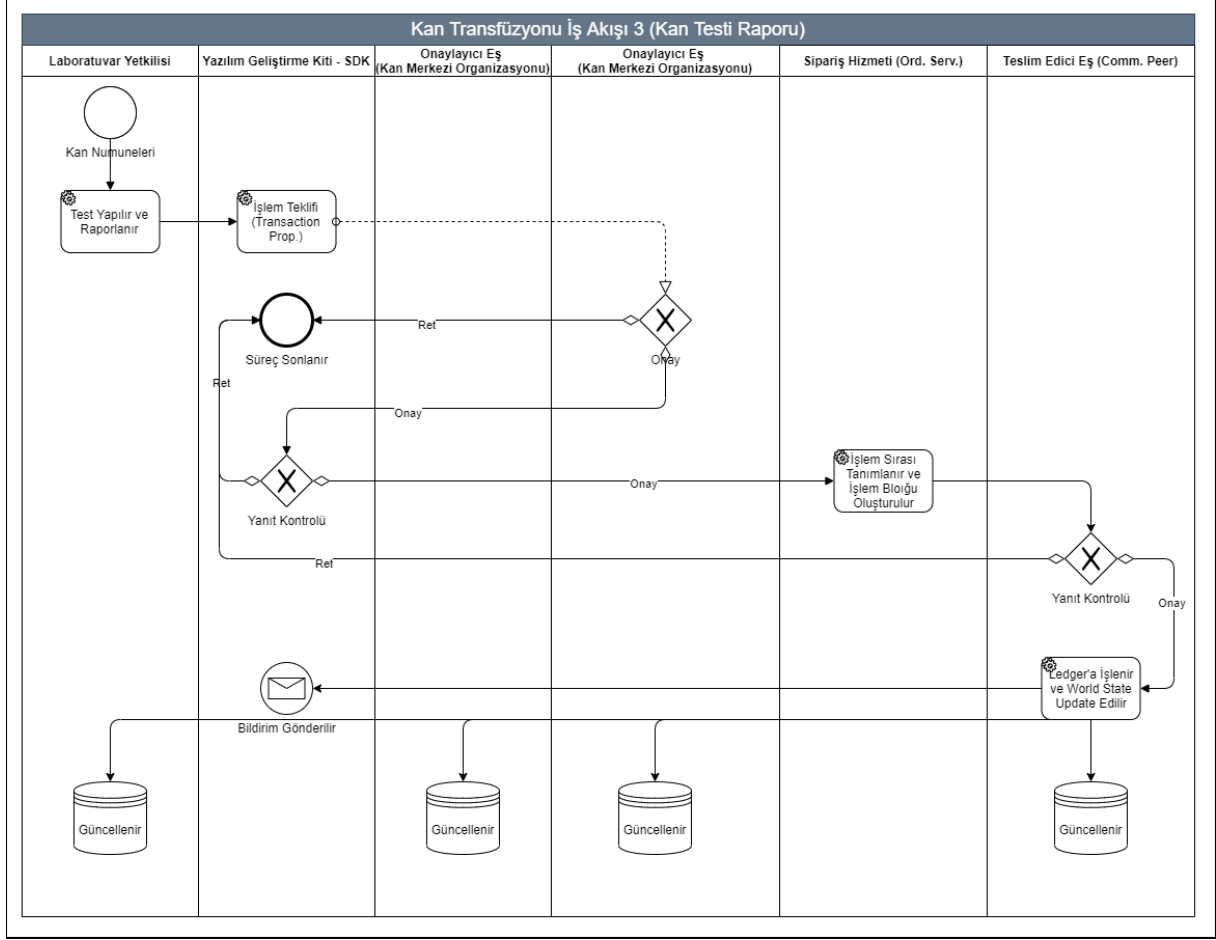
Şekil 44: Kan Transfüzyonu İş Akışı Faz-2

Operasyon-3 (Kan Testi Raporu)

Laboratuvar teknisyeni tarafından gelen numunelerin barkod doğruluğu, fiziksel ve niteliksel kalitesi, hemolizli olup olmaması gibi kontroller gerçekleştirilir. Devamında kan grubu, antikor testi, tarama testi vb. testler gerçekleştirilir. Test sonuçları elde edilir ve testlerin uygunluğu kontrol edilir. Panik değer olması halinde sisteme girilir ve ilgili sağlık personeline bilgi verilir. Test sonuçları raporlanır ve onaya sunulur. (1)

Onaylanan rapor laboratuvar teknisyeni tarafından yazılım geliştirme kiti(SDK) üzerinden işlem teklifi(transaction proposal) olarak gönderilir. (2) Onaylayıcı eş olarak Kan Merkezi organizasyonu eşi/eşleri işlemin doğruluğunu kontrol eder ve işlem onay yanıtını (endorsement response) yazılım geliştirme kitine(SDK) gönderir. (3) İşlem onaylanmamışsa süreç burada sonlanır, onaylanması halinde ise yazılım geliştirme kiti(SDK), onaylayıcı eşlerden gelmiş olan işlem onay yanıtlarını (endorsement response) ekleyerek işlemi (transaction) sipariş hizmetine (ordering service) işlem mesajı (transaction message) olarak gönderir. (4) Sipariş hizmetinden(ordering service) gelen blokları alan teslim edici eşler (committing peers) işlem(transaction) üzerindeki işlem onay yanıtlarının (endorsement response) onaylama mutabakatına (endorsement policy) uygunluğunu kontrol eder. (5) İşlemin doğruluğunu onaylamasının ardından işlemi çalıştırır ve dağıtılmış deftere ekler. (6) Dağıtılmış defterin güncellenmesinin ardından kullanıcıya gönderilmesi amacıyla bir “olay” oluşturulur ve yazılım geliştirme kiti(SDK) üzerinden kullanıcıya (bu işlemde laboratuvar teknisyeni) bildirim gönderilir. (7)

Şekil 45'te kan testi raporu ve ilgili işlemleri iş akışı şeklinde açıklanmıştır.



Şekil 45: Kan Transfüzyonu İş Akışı Faz-3

Operasyon-4 (Kan Tedarik Sözleşmesi)

Mevcut durumda Transfüzyon Merkezi (TM) ile Bölge Kan Merkezi (BKM) arasında kan ve kan bileşenlerinin tedarik kurallarını belirten bir sözleşme yapılmaktadır. Her transfüzyon merkezi, acil durum ve kritik stok seviyesi de dahil olmak üzere “Stok Yönetim Planını” Bölge Kan Merkezi'ne sunar. Bölge Kan Merkezi bu plana uyabileceğini belirtirse, mutabık kalınan stok planı sözleşme ekinde yer alır. Transfüzyon Merkezi ayrıca oluşturduğu stok planının içeriğinde Bölge Kan Merkezi'nden talep edilecek özellikli bileşenlerin (ışınlanmış, filtrelenmiş vb.) niteliklerini ve numaralarını belirtir [40].

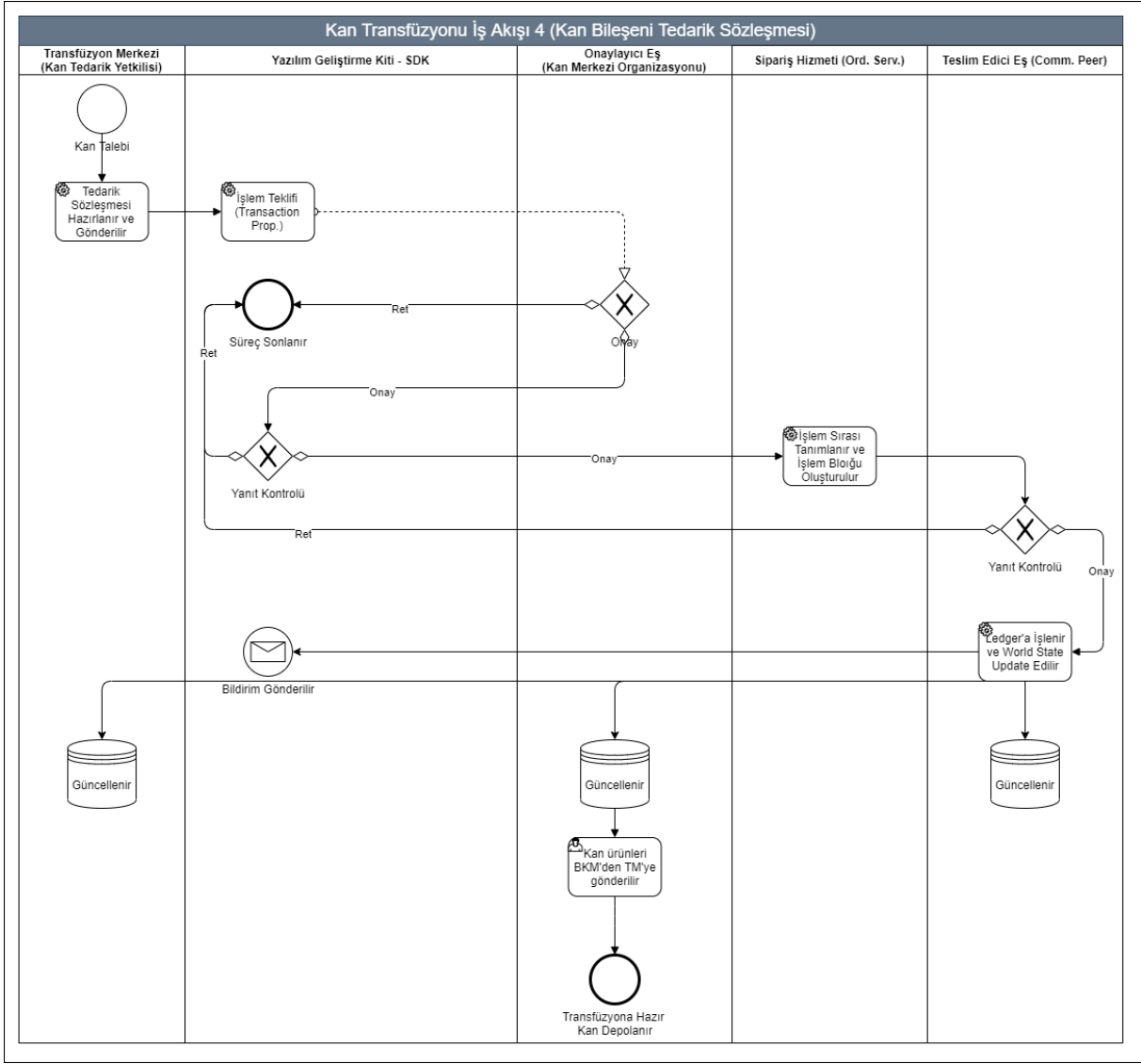
Kavramsal modele göre, Transfüzyon Merkezi organizasyonunda Kan Tedarik Yetkillisi, ağ üzerinde “Kan Bileşeni Tedarik Sözleşmesini” paylaşır ve Bölge Kan Merkezi yetkilisinin onayına sunar.

İlk adımda kan tedarik sözleşmesi paylaşılır ve yazılım geliştirme kiti(SDK) üzerinden işlem teklifi(transaction proposal) olarak gönderilir. (1-2) Onaylayıcı eş olarak Kan Merkezi organizasyonu işlemlerin doğruluğunu kontrol eder ve işlem onay yanıtını (endorsement response) yazılım geliştirme kitine(SDK) gönderir.

(3) İşlem onaylanmamışsa süreç burada sonlanır, onaylanması halinde ise yazılım geliştirme kiti(SDK), onaylayıcı eşlerden gelmiş olan işlem onay yanıtlarını (endorsement response) ekleyerek işlemi (transaction) sipariş hizmetine (ordering service) işlem mesajı (transaction message) olarak gönderir.(4) Sipariş hizmetinden(ordering service) gelen blokları alan teslim edici eşler (committing peers) işlem(transaction) üzerindeki işlem onay yanıtlarının (endorsement response) onaylama mutabakatına (endorsement policy) uygunluğunu kontrol eder.(5) İşlemin doğruluğunu onaylamasının ardından işlemi çalıştırır ve dağıtılmış deftere ekler.(6) Dağıtılmış defterin güncellenmesinin ardından kullanıcıya gönderilmesi amacıyla bir “olay” oluşturulur ve yazılım geliştirme kiti(SDK) üzerinden kullanıcıya (bu işlemde hemşire) bildirim gönderilir. (7)

Bu işlemlerin tamamlanmasının ardından transfüzyona hazır kan ilgili kan merkezine gönderilir. (8) Talep halinde bu kanın kullanılabilmesi için ilgili kan merkezi uygun koşullarda saklar, depolar ve ihtiyaç olması halinde talep sahibi sağlık kuruluşuna gönderir.

Şekil 46'da kan bileşeni tedarik sözleşmesi ve ilgili işlemleri iş akışı şeklinde açıklanmıştır.



Şekil 46: Kan Transfüzyonu İş Akışı Faz-4

Operasyon-5 (Kan Taşıma ve Saklama Bilgileri)

Kan merkezi yetkililerince onaylanmış taleplerin karşılanabilmesi için talep formu ve sözleşmede belirtilmiş olan barkodlu kan bileşenleri taşıma operasyonuna uygun saklama düzenekleriyle birlikte sağlıklı taşıma koşullarına (sıcaklık, basınç vb.) uygun araçlara yüklenir. (1)

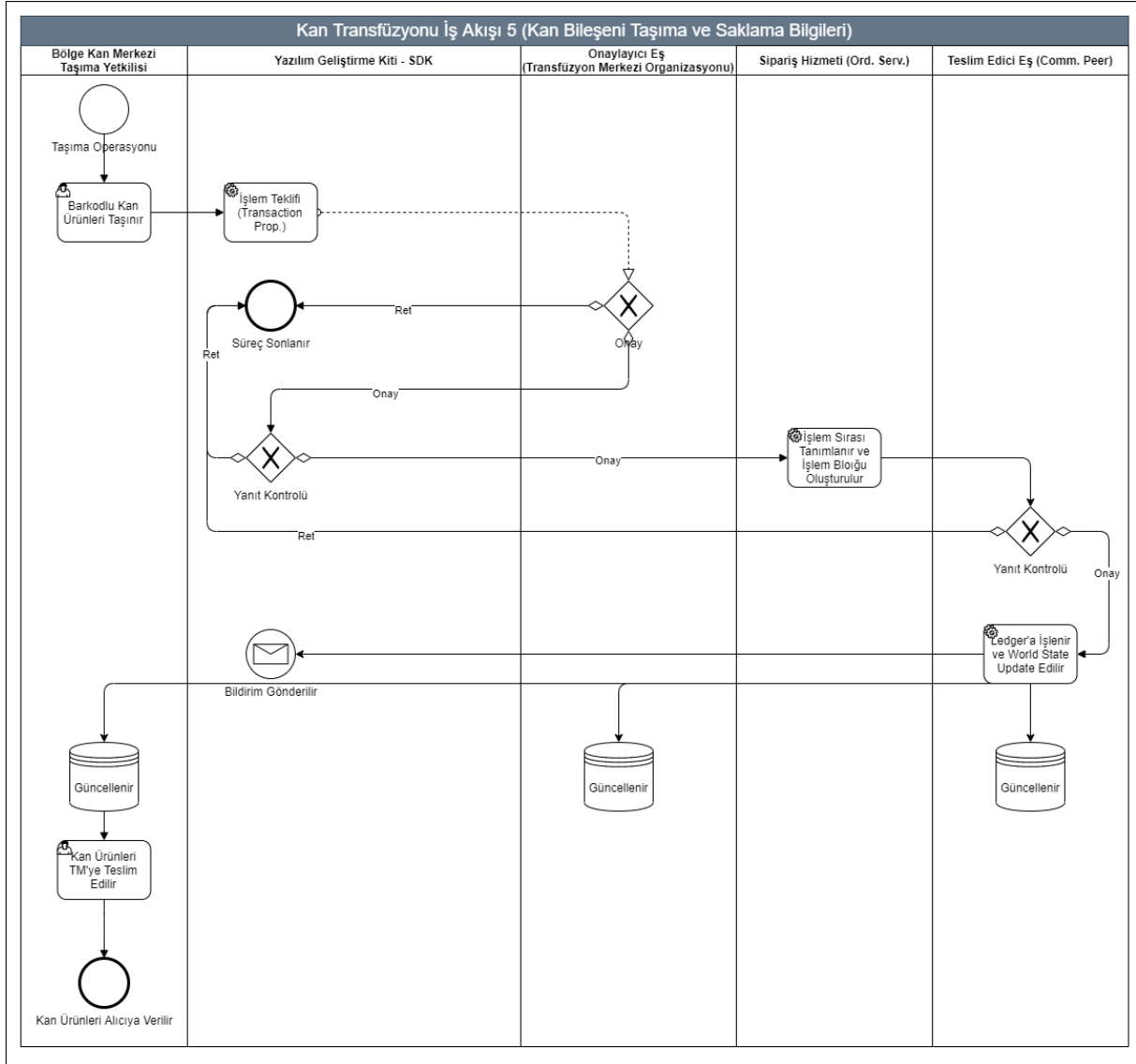
Tasarlanan modelde kan bileşenlerinin uygun koşullarda saklanması ve taşınması taşıma yetkilisinin bilgi girişiyle mümkündür. Taşıma süreci boyunca herhangi bir aksilik olması halinde sisteme geri bildirimde bulunur ve kan bileşenlerinin koşullarında kayda değer ve operasyonu engelleyici bir gelişme olmasını engeller.

Bu operasyonda akıllı sözleşme iki farklı aktör tarafından gönderilir. Kan bileşenlerinin saklama ve taşıma bilgileriyle ilgili dijital bir form oluşturulur ve bu form işlem teklifi olarak gönderilir. (2) Onaylayıcı eş olarak Kan Merkezi Organizasyonu eşi işlem doğruluğunu kontrol eder ve işlem onay yanıtını (endorsement response) yazılım geliştirme kitine(SDK) gönderir. (3) İşlem onaylanmamışsa süreç burada sonlanır, onaylanması halinde ise yazılım geliştirme kiti(SDK), onaylayıcı eşlerden gelmiş olan işlem onay yanıtlarını (endorsement response) ekleyerek işlemi (transaction) sipariş hizmetine (ordering service) işlem mesajı (transaction message) olarak gönderir. (4) Sipariş hizmetinden(ordering service) gelen blokları alan teslim edici eşler (committing peers) işlem(transaction) üzerindeki işlem onay yanıtlarının (endorsement response) onaylama mutabakatına (endorsement policy) uygunluğunu kontrol eder. (5) İşlemin doğruluğunu onaylamasının ardından işlemi çalıştırır ve dağıtılmış deftere ekler. (6) Dağıtılmış defterin güncellenmesinin ardından kullanıcıya gönderilmesi amacıyla bir “olay” oluşturulur ve yazılım geliştirme kiti(SDK) üzerinden kullanıcıya (bu işlemde ilgili sağlık görevlisi) bildirim gönderilir. (7)

Mevcut iş akışında kan bileşenlerine ait nitelik ve nicelik uygunluğu bölge kan merkezi ve hastane/ilgili sağlık merkezi yetkililerince oluşturulmuş protokoller üzerinden yapılmaktadır. (8)

Bu noktada bölge kan merkezi taşıma yetkilisinin işlem teklifi olarak gönderdiği bilgiler transfüzyon merkezi doktor/hemşiresinin onayına sunulur. Onaylanması halinde kan bileşenleri transfüzyon merkezine teslim edilir.

Şekil 47’de kan taşıma ve saklama bilgileri operasyonu ve ilgili işlemleri iş akışı şeklinde açıklanmıştır.



Şekil 47: Kan Transfüzyonu İş Akışı Faz-5

5. YAZILIM GELİŞTİRME

Sistemin kavramsal tasarımının tamamlanmasının ardından Hyperledger Fabric uygulaması üzerinden geliştirme işlemleri bu aşamada gerçekleştirilmiştir.

5.1 Fabric Yazılım Geliştirme Kiti (SDK)

Hyperledger Fabric blokzincir ile etkileşim kurabilmek amacıyla Hyperledger Fabric Client Yazılım Geliştirme Kiti (SDK), uygulama programlama arayüzleri (API) sağlar. Etkileşimin kapsamı akıllı sözleşmelerle etkileşime girmek, işlemleri(transaction) belirli bir deftere göndermek ve bu işlemleri(transaction) sorgulama gibi işlem adımları olabilir.

Uygulama programlama arayüzleri farklı paketler halinde sağlanır. Bu paketler:

1. Fabric-CA Client: Blokzincir ağında güvenilir kimlikler oluşturmak ve bu kimlikleri sistemde kayıt altına alabilmek için uygulama programlama arayüzleri (API) sağlanır. Bu paket kan transfüzyon merkezi sertifika yetkilisi (certificate authority-CA) ile bağlantı kurabilmek için yeni bir sertifika yetkilisi (CA) istemcisi oluşturur.
2. Fabric-Common: Blokzincir ağında gerçekleşen olayları(events) gözleme, loglama işlemlerini gerçekleştirme, yapılandırma ve bellek içi ayarları izlemek için uygulama programlama arayüzleri (API) sağlar.
3. Fabric-Network: Hyperledger Fabric ağına bağlanmak, işlemleri(transaction) sorgulamak veya dağıtılmış defteri düzenlemek için gerekli uygulama programlama arayüzlerini (API) sağlar.

5.2 Blokzincir Ağı Fonksiyonel Elemanları

Blokzincir ağı fonksiyonel elemanları kanal sertifika yetkilisi (CA), organizasyonlar, siparişiçi(orderer), eşler (peers), akıllı sözleşme(chaincode) ve sertifika yetkilisidir. Proje kapsamında oluşturulmuş fonksiyonel elemanlar aşağıdaki gibidir:

Kanal (Channel): Kanal temelde ağın kendisidir. Her organizasyon kanalın bir parçasıdır, dağıtılmış defteri veya blokzinciri kanalın paydaşları olan diğer organizasyonlar ile paylaşabilir. Bu çalışma kapsamında blokzincir ağı için 1 adet kanal oluşturulmuştur.

Sertifika Yetkilisi: Sertifika yetkilisi (CA), bir blokzincir ağı kullanıcılarına bir dizi sertifika hizmeti (kullanıcı kaydı, blokzincir ağında çağırılan işlemler, bağlantı güvenliği vb.) sağlar. Her sertifika yetkilisi (CA) bir organizasyonla ilişkilidir, yeni veya mevcut kullanıcıları oluşturma ve kaydetme yetkisine sahiptir. Kayıtlarla birlikte kullanıcıya ait genel anahtar, özel anahtar ve x509 anahtar sertifikaları oluşturulur, ağ içindeki belirli bir klasörde saklanır.

Kullanıcı oluşturma süreci aşağıdaki gibidir:

1. Kullanıcının oluşturulması gereken organizasyonun sertifika yetkilisi, önce organizasyonun yönetici kullanıcıyı kaydeder. (Kayıt, bir kullanıcının ağa fiilen bağlandığı ve onu aktif hale getirdiği zaman gerçekleşir)
2. Sertifika yetkilisi, yönetici kullanıcının kayıt sertifikasını kullanarak yeni kullanıcıyı kaydeder.
3. Sertifika yetkilisi, genel ve özel anahtarları ve uygun sertifikaları oluşturur, bunları ağ üzerinde depolar.

Bu çalışma kapsamında her organizasyon için 1 adet olmak üzere toplamda 4 adet sertifika yetkilisi oluşturulmuştur.

Organizasyon: Blokzincir ağında her bir katılımcı ağa organizasyonlar aracılığıyla katılır. Organizasyonlar eşlerini (peers) ağ içerisine dâhil eder ve yönetimini sağlar. Blokzincir ağları tek bir organizasyondan ziyade birçok organizasyonun bir araya gelmesiyle birlikte yönetilir. Bu kapsamda, kan transfüzyonu süreçleri göz önünde bulundurularak toplamda 4 adet organizasyon oluşturulmuştur: Kan Bağış Merkezi, Laboratuvar, Transfüzyon Merkezi ve Siparişçi (Orderer)

İlk 3 organizasyon (Kan Bağış Merkezi, Laboratuvar, Transfüzyon Merkezi) kan transfüzyonu süreçleri gereği oluşturulması gereken doğal organizasyonlardır. Öte yandan, siparişçi(orderer) organizasyonu ise blokzincir ağı yapısı gereği oluşturulması gereken fonksiyonel bir organizasyondur. Siparişçi(orderer) organizasyonu ağın bünyesinde yer alan ve işlemlerin(transaction) gerçekleştirilmesi için çok önemli role sahip bir paralel organizasyondur. Blokzincir ağı içerisinde işlem siparişlerini (transaction order) gerçekleştiren ve son aşamada blokları doğrularak blokzincire ekleyen sistem parçasıdır.

Eşler (Peers) ve Kullanıcılar (Users): Her eş(peer), dağıtılmış defterin bir kopyasını kendi bünyesinde tutar. Eşler, işlemleri(transaction) doğrulamak, bunları bloklar halinde gruplandırmak ve bloklar üzerinde bir karma zincir oluşturmak için bir konsensüs protokolü yürütür. Blokzincir ağındaki her bir organizasyonun gerekli fonksiyonel işlemlere sahip olabilmesi için en az 1 adet eş(peer) ihtiyacı vardır. Bir eş üzerinde birden fazla kullanıcı(user) bulunabilir.

Bu çalışma kapsamında, kompleks bir eş-kullanıcı(peer-user) yapısı oluşturmak yerine her organizasyon için 1 adet eş(peer) oluşturulmuş ve organizasyona dahil kullanıcılar(user) işlemlerini tek bir eş(peer) üzerinden yürütecek şekilde bir mimari tasarlanmıştır. Her bir rol için kullanıcı oluşturulmuş ve bu kullanıcılar ait oldukları organizasyona ait eşler(peers) bünyesinde işlemlerini gerçekleştireceklerdir. Organizasyon ve kullanıcı yapıları aşağıda belirtildiği şekildedir:

1. Kan Bağış Merkezi Organizasyonu
 - a. Yönetici (Admin)
 - b. Doktor
 - c. Hemşire
 - d. Kan Merkezi Hasta Kayıt Yetkilisi
 - e. Bölge Kan Merkezi Yöneticisi
 - f. Bölge Kan Merkezi Taşıma Görevlisi
2. Laboratuvar Organizasyonu
 - a. Laboratuvar Yöneticisi
3. Transfüzyon Merkezi Organizasyonu
 - a. Doktor
 - b. Hemşire
 - c. Transfüzyon Merkezi Tedarik Görevlisi

Zincir Kodu (Chaincode): Zincir kodu bir dosya içinde tanımlanmış şekilde tüm akıllı sözleşmelerin içinde bulunduğu bir kümedir. Kan transfüzyonu operasyonları için oluşturulan birçok akıllı sözleşme oluşturulmuş ve tek bir zincir kodu bünyesinde toplanmıştır. Akıllı sözleşmeler için Golang (Go Programlama Dili) kullanılmıştır.

Zincir kodu tarafından çağırılabilir 3 adet fonksiyon mevcuttur:

- Başlatma Fonksiyonu (Init Function): Zincir kodunu başlatırken yalnızca bir kez çağrılan fonksiyondur.
- Sorgu Fonksiyonu (Query Function): Yalnızca defteri sorgulamak için çağrılır ve herhangi bir onay politikasına gerek yoktur. Bu fonksiyon herhangi bir işlem yapmaz ve blokzincire herhangi bir işlem eklemes.
- Çağırma Fonksiyonu (Invoke Function): İşlem tekliflerinin (transaction proposal) yapılması, doğrulanması ve ardından blokzincir bloklarına eklenmesi için çağrılır. Bu fonksiyon onay politikalarına ihtiyaç duyar ve onay alınması halinde uygular.

Bu kapsamda, blokzincir tabanlı kan transfüzyonu uygulamasında kullanılmak üzere aşağıdaki akıllı sözleşmeler 1 adet zincir kodu üzerinde toplanarak tanımlanmıştır:

- Bağışçı Bilgi ve Talep Formu Kaydı (Çağırma Fonksiyonu)
- Tıbbi Değerlendirme Formu Kaydı (Çağırma Fonksiyonu)
- Depolama ve Taşıma Bilgilerinin Kaydı (Çağırma Fonksiyonu)
- Kan Bileşeni Tedarik Sözleşmesi Kaydı (Çağırma Fonksiyonu)
- Kan Testi Raporu Kaydı (Çağırma Fonksiyonu)
- Bağışçı Bilgileri ve Talep Formu Alma (Sorgu Fonksiyonu)
- Donör Kimliği ile Tıbbi Değerlendirme Formunun Kaydı Alma (Sorgu Fonksiyonu)
- Depolama ve Taşıma Bilgilerini Alma (Sorgu Fonksiyonu)
- Kan Bileşeni Tedarik Sözleşmesi Alma (Sorgu Fonksiyonu)
- Donör Kimliğine Göre Kan Testi Raporu Alma (Sorgu Fonksiyonu)
- Depolama ve Taşıma Bilgi Kayıtlarının Sorgulama/Alma (Sorgu Fonksiyonu)
- Tüm Kan Bileşeni Tedarik Sözleşmesi Kayıtlarının Sorgulama/Alma (Sorgu Fonksiyonu)
- Belirli Bir Anahtar İçin İşlem Geçmişini Sorgulama/Alma (Sorgu Fonksiyonu)

Tek bir zincir kodu içerisinde toplanmış akıllı sözleşmelere ait kodlar Ek-1'de yer almaktadır.

5.3 Kurulum

5.3.1 Sistem Gereksinimleri

Hyperledger Fabric platformunun istenilen seviyede kullanılabilmesi için önkoşullar aşağıda belirtilmiştir:

- Linux veya Microsoft için Ubuntu işletim sistemi
- Docker
- Docker Compose
- Golang Programlama Dili-Zincir Kodu

Hyperledger Fabric platformu Linux Foundation tarafından blokzincir teknolojilerin üretmek üzere kurulmuştur. Doğal olarak Hyperledger Fabric platformunda bir uygulama geliştirilirken Linux işletim sisteminin kullanılması performans anlamında daha verimli olacaktır. Linux harici işletim sistemine sahip bir bilgisayara Ubuntu kurulumuyla birlikte Linux işletim sistemi üzerinden geliştirmeler yapılabilir.

Docker, açık kaynaklı bir kapsayıcı (container) teknolojisidir. Docker uygulaması, yazılımları derlemek, paketlemek, dağıtmak ve test etmek için pratik bir araçtır. Belirlenen işletim sistemi üzerinde, birbirinden bağımsız konteynerler sayesinde sanallaştırma işlemlerinin yürütümünü temin eder. Öte yandan sunucu maliyetlerini azaltır ve bireysel geliştiriciler için kolaylık sağlar [66].

Docker Composer ise karmaşık yazılım ve uygulamaların sisteme tanımını ve çalıştırılmasını temin eden bir araçtır. Docker Composer ile çok sayıda birden fazla konteynir tek dosyada tanımlanabilir, konteynirler basit bir algoritma ile canlıya alınabilir.

Golang programlama dili akıllı sözleşme altyapılarında sıklıkla kullanılan, Docker ve Docker Composer uygulamaları ile uyumlu şekilde çalışabilen bir programlama dilidir. Zincir kodu geliştirmede yaygın kullanımı sebebiyle bu programlama dili tercih edilmiştir.

5.3.2 Zincir Kodunun Hyperledger Fabric Ağında Paketlenmesi ve Kurulumu

Zincir kodunun paketlenmesi, blokzincir ağında konuşlandırılacak tek bir dosya oluşturmak için önemli bir prosedürdür. Zincir kodundan kullanılacak kitaplıkları belirten bazı extra.go dosyaları olduğu sürece Golang dosyalarını içerir.

Zincir kodunun kurulumu, ağın parçası olan ve aynı kanala ait olan tüm kuruluşların tüm eşlerine (peer) yapılmalıdır. Tüm organizasyonlarda (Kan Bağış Merkezi, Laboratuvar, Transfüzyon Merkezi) kurulumun altında görüntülenir.

```
o_edger/aemanav
aemanav@B ~$ rm -rf ./chaincode/bloodtransfusion.tar.gz
aemanav@B ~$ peer lifecycle chaincode package ./chaincode/bloodtransfusion.tar.gz --path ./chaincode --lang golang --label bloodtransfusion
aemanav@B ~$ ./packInstall.sh
Error: invalid path 'Organizations.1.OrdererEndpoints', missing key 'OrdererEndpoints' in struct.
Error: invalid path 'Organizations.2.OrdererEndpoints', missing key 'OrdererEndpoints' in struct.
Error: invalid path 'Organizations.3.OrdererEndpoints', missing key 'OrdererEndpoints' in struct.
Error: invalid path 'Organizations.8.AnchorPeers.8.Port', missing key 'AnchorPeers' in struct.
Peers: BTCMSP,BTC,7051
***** Installing chaincode to all peers of each organization *****
***** Installing chaincode to BTC organization *****
18:02:57.437 EET [cli.lifecycle.chaincode] submitInstallProposal -> INFO 001 Installed remotely: response<status:200 payload:"\n@bloodtransfusion:cb3eecb39bb2959bf0b2ffc9daf883a9d35c42c4d4de30fd541177312bcc385f(02)020blodtr
nsfusion" >
18:02:57.437 EET [cli.lifecycle.chaincode] submitInstallProposal -> INFO 002 Chaincode code package identifier: bloodtransfusion:cb3eecb39bb2959bf0b2ffc9daf883a9d35c42c4d4de30fd541177312bcc385f
Peers: LaboratoryMSP,Laboratory,8051
***** Installing chaincode to all peers of each organization *****
***** Installing chaincode to Laboratory organization *****
18:03:07.810 EET [cli.lifecycle.chaincode] submitInstallProposal -> INFO 001 Installed remotely: response<status:200 payload:"\n@bloodtransfusion:cb3eecb39bb2959bf0b2ffc9daf883a9d35c42c4d4de30fd541177312bcc385f(02)020blodtr
nsfusion" >
18:03:07.810 EET [cli.lifecycle.chaincode] submitInstallProposal -> INFO 002 Chaincode code package identifier: bloodtransfusion:cb3eecb39bb2959bf0b2ffc9daf883a9d35c42c4d4de30fd541177312bcc385f
Peers: TransfusionMSP,Transfusionc,9051
***** Installing chaincode to all peers of each organization *****
***** Installing chaincode to Transfusionc organization *****
18:03:16.715 EET [cli.lifecycle.chaincode] submitInstallProposal -> INFO 001 Installed remotely: response<status:200 payload:"\n@bloodtransfusion:cb3eecb39bb2959bf0b2ffc9daf883a9d35c42c4d4de30fd541177312bcc385f(02)020blodtr
nsfusion" >
18:03:16.715 EET [cli.lifecycle.chaincode] submitInstallProposal -> INFO 002 Chaincode code package identifier: bloodtransfusion:cb3eecb39bb2959bf0b2ffc9daf883a9d35c42c4d4de30fd541177312bcc385f
aemanav@B ~$
```

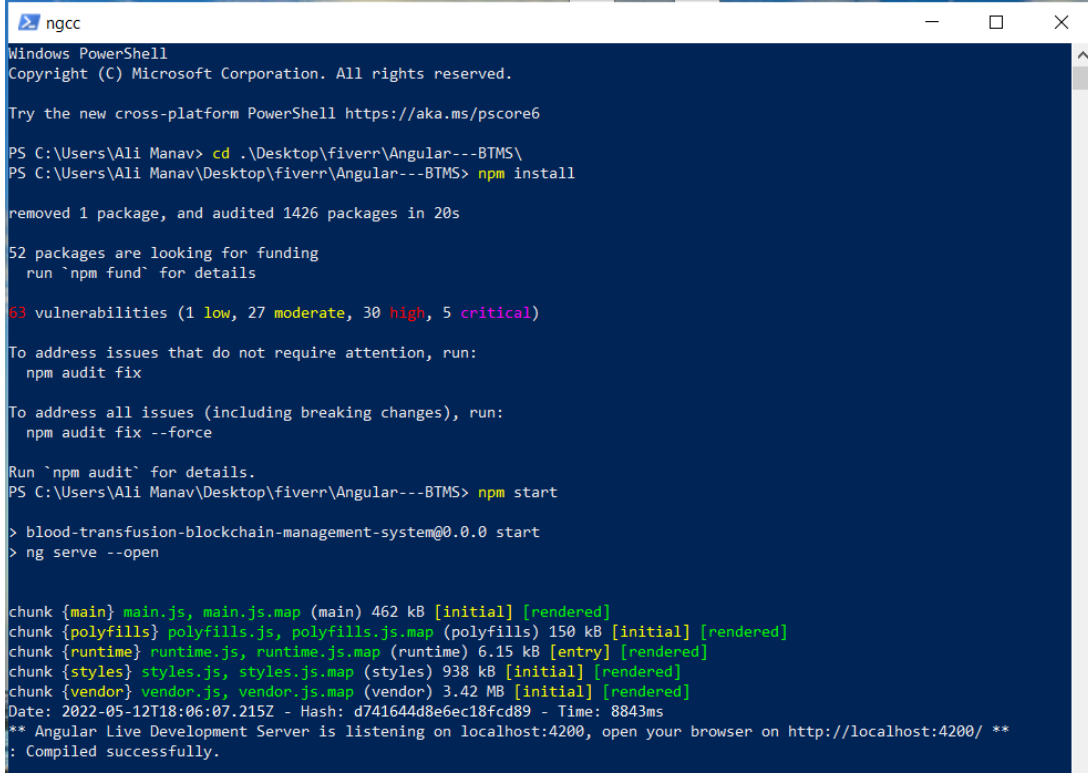
Şekil 48: Zincir Kodunun Paketlenmesi ve Kurulumu

Hyperledger Fabric'in resmi prosedürüne göre kurulumdan sonra, devam etmek için tüm organizasyonların yerine getirmesi gereken bir prosedür olan zincir kodunun onayı gerçekleşir. Bir organizasyonda birden çok eş(peer) bulunan yapılarda bu onayın tüm eşler(peer) tarafından yapılması gerekmez ancak her organizasyonda bulunan en az bir eş tarafından yapılması gerekir. Bu çalışmada her organizasyon için bir eş(peer) olduğundan onayın organizasyonlarda bulunan eşler(peer) tarafından yapılması gerekmektedir.

Onaydan sonraki son adım ise zincir kodunun kanala taahhüt edilmesidir. Bu adım herhangi bir organizasyon tarafından ve yalnızca bir eş(peer) tarafından yapılabilir. Bu adım tamamlandıktan sonra zincir kodu kullanılmaya, çağrılmaya veya sorgulanmaya hazırdır.

5.3.3 Kullanıcı Arayüzü Kurulumu

Kullanıcı arayüzü kullanımı için yapılması gerekenler ve izlenmesi gereken adımlar Şekil 49’da gösterilmiştir:



```
ngcc
Windows PowerShell
Copyright (C) Microsoft Corporation. All rights reserved.

Try the new cross-platform PowerShell https://aka.ms/pscore6

PS C:\Users\Ali Manav> cd ./Desktop/fiverr/Angular---BTMS\
PS C:\Users\Ali Manav\Desktop\fiverr\Angular---BTMS> npm install

removed 1 package, and audited 1426 packages in 20s

52 packages are looking for funding
  run `npm fund` for details

63 vulnerabilities (1 low, 27 moderate, 30 high, 5 critical)

To address issues that do not require attention, run:
  npm audit fix

To address all issues (including breaking changes), run:
  npm audit fix --force

Run `npm audit` for details.
PS C:\Users\Ali Manav\Desktop\fiverr\Angular---BTMS> npm start

> blood-transfusion-blockchain-management-system@0.0.0 start
> ng serve --open

chunk {main} main.js, main.js.map (main) 462 kB [initial] [rendered]
chunk {polyfills} polyfills.js, polyfills.js.map (polyfills) 150 kB [initial] [rendered]
chunk {runtime} runtime.js, runtime.js.map (runtime) 6.15 kB [entry] [rendered]
chunk {styles} styles.js, styles.js.map (styles) 938 kB [initial] [rendered]
chunk {vendor} vendor.js, vendor.js.map (vendor) 3.42 MB [initial] [rendered]
Date: 2022-05-12T18:06:07.215Z - Hash: d741644d8e6ec18fcd89 - Time: 8843ms
** Angular Live Development Server is listening on localhost:4200, open your browser on http://localhost:4200/ **
: Compiled successfully.
```

Şekil 49: Kullanıcı Arayüz Kurulum İşlemleri

Angular.js programlama dili kullanılarak oluşturulan kullanıcı arayüzünün kurulumu şu adımlarla gerçekleştirilir:

1. Docker Composer programında var olan zincir kodu aktif hale getirilir
2. Windows Power Shell açılır
3. cd ./Desktop/fiverr/Angular-BTMS yazılır
4. npm install kodu yazılır
5. npm start kodu yazılır
6. Kullanıcı arayüzü aktif hale gelir ve localhost4200’de çalışmaya başlar

5.4 Zincir Kodu ve Kullanıcı Ekranları

Bu kısımda paylaşılan ekranlar kan transfüzyonunda kullanım amacıyla tasarlanmış Hyperledger Fabric Blockchain uygulamasının ana akışını göstermektedir. Front-End uygulaması Angular.js dili kullanılarak oluşturulmuş ve herhangi bir merkezi veritabanı entegre edilmemiştir.

Uygulamanın tüm kullanıcıları, uygulamanın yerel deposunda (local storage) saklanır ve projenin amacı için kullanılacak sabit kullanıcılardır. Yerel depolamada oluşturulan her kullanıcı, kendi kullanıcı adı kullanılarak Hyperledger Fabric'teki gerçek kayıtlı blokzincir kullanıcısıyla ilişkilendirilmiştir.

Belirtildiği gibi, Hyperledger Fabric'e kayıtlı her kullanıcının bir özel anahtar, genel anahtar ve kendi sertifikası vardır. Bu kimlikler, Node.js dili kullanılarak oluşturulan ve gerçek ağ ile etkileşim kurmak için resmi Hyperledger Fabric yazılım geliştirme kiti (SDK) kullanan arka uç (back-end) uygulamasında depolanır.

Kullanıcılara ait kimlikler Hyperledger Fabric Wallet uygulaması kullanılarak saklanır. Blokzincir, zincir kodunun çağrılması veya sorgulanmasıyla işlemlerinde kullanıcı arayüzünde (front-end) aramayı yapan kullanıcının kullanıcı adını tanımlamak ve cüzdandan uygun sertifikayı seçmek için kullanılır.

Bir operasyon üzerinden (Bağışçıların Kaydı) örnek vermek gerekirse şu şekilde ilerleyecektir:

1. Tüm bağışçıların kaydettirilmesi için kullanıcı arayüzünden talep iletilir. (Talepte bulunanların kullanıcı adı)
2. Arka uç(back-end) isteği alır ve isteği yapan kullanıcının kullanıcı adını alır.
3. Arka uç(back-end), bu kullanıcı adıyla ilişkili Hyperledger Fabric kimliğini cüzdandan (Hyperledger Fabric Wallet) alır.
4. Hyperledger Fabric yazılım geliştirme kitini (SDK) kullanan arka uç(back-end), istekte bulunan sorguyu kullanıcının sertifikasına tanımlar.

Bu işlemler esnasında tüm erişim kontrolü zincir kodu içerisinde paketlenmiş akıllı sözleşmeler aracılığıyla gerçekleşir. Her kullanıcının sertifikasında, sertifikanın özniteliğinde tanımlanan bir rolü vardır, bu roller aracılığıyla kullanıcılar arasındaki ayrım ortaya çıkar.

5.4.1 Bağışçı Kaydı

Herhangi bir yetkilendirme olmadan yapılandırılmış Bağışçı Kayıt Formu, bağışçı tarafından doldurulur ve bu sayede bağışçının kaydı oluşturulur. Bağışçı bilgilerinin blokzincirine kaydı, zincir kodunun uygun akıllı sözleşmesini çağırarak bir işlevselliktir.

Normal koşullarda blokzincir yetkilendirme işlemleri için arka planda uygulamadan(back-end) yönetici sertifikası kullanılmaktadır. Ancak önerilen çalışmada yetkilendirme işlemleri organizasyonlar bazında inşa edildiğinden, bağışçının blokzincir üzerinde kayıt dışında başka bir yetkisi yoktur.

Şekil 50’de görüldüğü üzere bağış yapmak için kan merkezine başvuru yapan bağışçı elektronik cihaz üzerinden kendisine sunulan Bağışçı Kayıt Formu’nu doldurur. Formda isim, soy isim, kan merkezi tarafından kendisine sunulmuş kullanıcı numarası, yaşı, kan grubu ve cinsiyet bilgilerinin girişini yapar. “Next” butonu aracılığı ile Bağışçı Sorgulama Formu ekranına geçiş yapar.

Donor Registration Form

First Name:

Last Name:

ID Number:

Occupation:

Address:

Age:

Blood Type:

Gender:

Şekil 50: Bağışçı Kayıt Formu

Bağışçı kayıt formunun doldurulmasının ardından Şekil 51’de görüldüğü gibi Bağışçı Sorgulama Formu üzerinden kan bağışı yapılabilmesi için gerekli sağlık bilgileri girilir.

Inquiry Form

Do you have AIDS disease/HIV drugs:
No

Do you have allergic reaction?
No

Do you have sexually transmissible diseases?
No

Do you have chronic disease?
No

Do you have blood disease?
No

Have you ever had epileptic attack?
No

Have you ever used drugs?
No

Have you had surgery or endoscopic examination in the last 12 months?
No

Have you used hormone?
No

Have you ever cancer disease?
No

Do you have diabetes?
No

Do you have hepatitis disease?
No

Have you had a blood, tissue or organ transplant in the past 12 months?
No

Have you had in arrest last 1 year?
No

Have you had sexual intercourse with someone you know has AIDS?
No

Have you had any vaccinations in the last 1 month?
No

Back Submit

Şekil 51: Bağışçı Sorgulama Formu

5.4.2 Kullanıcı Girişi

Bağışçılar dışındaki diğer kullanıcılar uygulamada gerekli diğer tüm işlemlerin gerçekleştirilebilmesi için (Örn: Medikal bilgilerin değerlendirilmesi, test raporlarının eklenmesi vb.) “Kullanıcı Giriş Ekranı” üzerinden girişlerini yapar. Şekil 52’de kullanıcılara sunulan giriş ekranı gösterilmiştir:

BTMS

Username
btcdoc

Password

Login

Şekil 52: Kullanıcı Giriş Ekranı

5.4.3 Başışçı Kayıtlarını Getirme

Başışçının kayıt ve sorgulama formlarının başarılı bir şekilde doldurulup sisteme aktarılmasından sonra, KBM sağlık yetkilileri ve KBM kayıt personeli, blokzincir ağı üzerinden formlarını gönderen tüm başışçıların bilgilerini içeren bir liste ve formlarını alabilir. Bu liste zincir kodu içerisinde paketlenmiş "Get_All_Donors_Registered" akıllı sözleşmesinin çağırılmasıyla alınır.

#	Donor ID	First Name	Last Name	Blood Type	View Details
1	12345	Büşra Poyraz	Manav	A+	View
2	1654	Harold	Finch	AB+	View
3	1907	Ali	Manav	A+	View
4	512651	Ali Emre	Manav	A+	View
5	56231	Mustafa	Manav	A-	View
6	56328	Rafail	Kiloudis	A+	View
7	78456	Volkan	Sönmez	A-	View

Şekil 53: Başışçı Kayıtlarının Getirilmesi

Şekil 53'te gösterilmiş olan ekranın en sağında bulunan "View Details" kolonu aracılığıyla başışçı tarafından doldurulan sorgulama formunda bulunan bilgiler "View" seçeneği üzerinden görüntülenebilir. Aşağıda yer alan Şekil 54'te "View" üzerinden ulaşılabilen medikal bilgiler ekranı gösterilmiştir:

User Information Donor ID: 512651 Firstname: Ali Emre Lastname: Manav Age: Blood Type: A+ Gender: Male	Inquiry Form 1 Do you have AIDS disease/HIV drugs: No Do you have allergic reaction: No Do you have sexually transmissible diseases: No Do you have chonical disease: No Do you have blood disease: No Have you ever had epileptic attack: No Have you ever used drugs: No Have you had sexual intercourse with someone you know has AIDS: No	Inquiry Form 2 Have you had surgery or endoscopic examination in the last 12 months: No Have you used hormone: No Have you ever cancer disease: No Do you have diabetes: No Do you have hepatit disease: No Have you had a blood, tissue or organ transplant in the past 12 months: No Have you had in arrest last 1 year: No Have you had any vaccinations in the last 1 month: No
--	--	--

Şekil 54: Başışçı Sorgulama Formu Detaylarının Getirilmesi

5.4.4 Medikal Değerlendirme Formu Ekleme

Bağışçı Sorgulama Formu'ndan gelen verilerin incelenmesi ve bağışcının fiziksel olarak muayene edilmesiyle birlikte Kan Bağış Merkezi'nde bulunan doktor bağışcının kan bağışına uygun olup olmadığına dair medikal değerlendirmeyi yapar, Medikal Değerlendirme Formu oluşturur ve bu formu blokzincire gönderir. Medikal Değerlendirme Formu “add_Medical_Assessment” akıllı sözleşmesi çağırılarak dağıtılmış deftere kaydedilir.

Medikal Değerlendirme Formu doldurulması zorunlu alan olarak belirlenen kullanıcı numarası (Donor ID) aracılığıyla bağışçı ile ilişkilendirilir. Blokzincire kaydolmuş bağışcılar Medikal Değerlendirme Formu'nun ilk alanı olan “Select Donor” başlığı altında listelenir ve doktor tarafından hangi bağışçıya ait medikal değerlendirme açılacağı seilir. Şekil 55 ve Şekil 56'da Medikal Değerlendirme Formu oluşturmak için kullanılan sayfalar gsterilmiştir:

Add Medical Assesment Data

Select Donor:
Ali Emre - Manav

Blood Donation Center Name:
Bahçelievler Kan Bağışı Merkezi

Barcode:
5408

Phlebotomist Name:
Volkan Sönmez

Body Weight:
85

Body Temperature:
36.5

Pulse:
90

Blood Pressure:
120

Şekil 55: Medikal Değerlendirme Formu Ekleme-1

Blood Pressure:	<input type="text" value="120"/>
Hemoglobin:	<input type="text" value="14,5"/>
No. of Thrombocyte:	<input type="text" value="300000 hücre/ml"/>
Blood Type:	<input type="text" value="A+"/>
Assessment of Phlebotomy:	<input type="text" value="Completed"/>
Completion Time:	<input type="text" value="14:08"/>
Collected Blood Amount:	<input type="text" value="500mL"/>
Suitable for Donation:	<input type="text" value="Yes"/>
Permanent Refusal:	<input type="text" value="No"/>
Temporary Refusal:	<input type="text" value="No"/>
Temporary Conditional Refusal:	<input type="text" value="No"/>
<input type="button" value="Submit"/>	

Şekil 56: Medikal Değerlendirme Formu Ekleme-2

5.4.5 Medikal Değerlendirme Listesini Alma

Kan bağış merkezi doktorunun blokzincire eklediği Medikal Değerlendirme Formu'nu kan bağış merkezi hemşiresi sistem üzerinden giriş yaparak görüntüleyebilir. Doktor tarafından oluşturulmuş barkodu kontrol eder, doğru barkod numarasına göre bağışçıdan kan bileşenlerini alır. Bir form gönderildikten ve blokzincirde saklandıktan sonra, yalnızca Hyperledger Fabric'te kayıtlı kan bağış merkezi hemşireleri tüm formların bir listesini alabilir ve ayrıntılarını görebilir. Bu liste zincir kodu içerisinde paketlenmiş "Get_List_of_all_Medical_Assessment_Forms" akıllı sözleşmesinin çağırılmasıyla alınır. Şekil 57'de liste ve Şekil 58'de görüntüleme ekranları gösterilmiştir:

#	Donor ID	BDC Name Code	Barcode	Is Suitable	View Details
1	12345	c	d	Yes	View
2	1654	Bahçelievler Kan Bağış Merkezi	324324324	Yes	View
3	1907	Bahçelievler Kan Bağış Merkezi	12345	No	View
4	512651	Bahçelievler Kan Bağış Merkezi	5408	Yes	View
5	56231	Mut Kan Bağış Merkezi	56246	No	View
6	56328	Bahçelievler Kan Bağış Merkezi	74152	Yes	View
7	78456	Beytepe	5631865	Yes	View

Şekil 57: Medikal Değerlendirme Listesini Alma-1

Medical Assessment Information

Donor ID: **512651**

Blood Donation Center Name: **Bahçelievler Kan Bağış Merkezi**

Barcode: **5408**

Phlebotomist: **Volkan Sönmez**

Body Weight: **85**

Body Temperature: **36.5**

Pulse: **90**

Hemoglobin: **14,5**

No. of Thrombocyte: **300000 hücre/ml**

Blood Type: **A+**

Assessment of Phlebotomy: **Yes**

Completion Time: **14:08**

Collected Blood Amount: **500mL**

Suitable for Donation: **Yes**

Permanent Refusal: **No**

Temporary Refusal: **No**

Temporary Conditional Refusal: **No**

Şekil 58: Medikal Değerlendirme Listesini Alma-2

5.4.6 Kan Testi Raporu Ekleme

Kan bağış merkezindeki hemşirenin bağışçıdan aldığı kan bileşenlerini laboratuvara iletmesi ve bu bileşenlere test uygulanmasının ardından Laboratuvar Yetkilisi rolüne sahip bir kullanıcı Kan Testi Raporu oluşturur. Rapor oluşturulurken bağışçının kullanıcı numarası (ID) bilgileri, testin yapıldığı kan bileşenine ait barkod numarası, laboratuvar ismi ve testi yapan kullanıcı bilgileri girilir. Ayrıca, biri ekran testi ve diğeri doğrulama testi için olmak üzere iki ekstra tablo içerir. Bu tablolar dinamik olarak oluşturulur ve sırasıyla birden fazla alan eklenebilir. Şekil 59’da kan testi raporu ekleme ekranı gösterilmiştir:

Add Blood Test Report

ID:

Barcode:

Lab Name:

Lab Manager Name:

Screen Testing

#	Test Type	Method	Result	Add	Remove
1	HbsA	EIA	Pozitif	<input type="button" value="+"/>	<input type="button" value="X"/>
2	Anti-	CLIA	Negat	<input type="button" value="+"/>	<input type="button" value="X"/>
3	HIV	ELIA	Negat	<input type="button" value="+"/>	<input type="button" value="X"/>
4	Sifiliz	TPHA	Negat	<input type="button" value="+"/>	<input type="button" value="X"/>

Verification Testing

#	Test Type	Method	Result	Add	Remove
1	Anti-	Nötraliz	Negat	<input type="button" value="+"/>	<input type="button" value="X"/>

Şekil 59: Kan Testi Raporu Ekleme Ekranı

5.4.7 Kan Testi Rapor Listesini Alma

Laboratuvar yetkilisi tarafından sisteme eklenen kan testi raporları Bölge Kan Merkezi yetkilisi tarafından blokzincir ağında sunulan tüm kan testi raporlarını içeren bir listeyi alabilir ve görüntüleyebilir.

#	Donor ID	Laboratory Name	Lab Manager Name	View Details
1	12345	Bahçelievler Laboratuvarı	Murat Kandaz	View
2	1654	Bahçelievler	Fusco	View
3	512651	Gazi Üniversitesi Hastanesi Laboratuvarı	Volkan Sönmez	View
4	78456	Tandoğan Lab	Erdi Daşdemir	View
5	985421	Tandoğan Laboratuvarı	Murat Caner Testik	View

Şekil 60: Kan Testi Rapor Listesini Alma

“View Details” sekmesinde bulunan “View” seçeneği aracılığıyla Bölge Kan Merkezi personeli, belirli bir kan testi raporunun tüm ayrıntılarını görüntüleyebilir. Doldurulan formların tüm bilgileri, dinamik olarak oluşturulan tüm tablolarla birlikte görüntülenir.

Blood Test Report
Donor ID: **512651**
Barcode: **5408**
Lab Name: **Gazi Üniversitesi Hastanesi Laboratuvarı**
Lab Manager Name: **Volkan Sönmez**

Screen Testing #1
Barcode: **HbsAg**
Lab Name: **EIA**
Lab Manager Name: **Pozitif**

Screen Testing #2
Barcode: **Anti-HCV**
Lab Name: **CLIA**
Lab Manager Name: **Negatif**

Screen Testing #3
Barcode: **HIV**
Lab Name: **ELIA**
Lab Manager Name: **Negatif**

Screen Testing #4
Barcode: **Sifiliz**
Lab Name: **TPHA**
Lab Manager Name: **Negatif**

Verification Testing #1
Barcode: **Anti-HBc**
Lab Name: **Nötralizasyon**
Lab Manager Name: **Negatif**

Şekil 61: Kan Testi Raporunu Görüntüleme

5.4.8 Kan Bileşeni Tedarik Sözleşmesi Ekleme

Transfüzyon merkezi kan tedarik yetkilisi tarafından belirli periyotlarda ihtiyaç olması durumunda bölge kan merkezlerine kan tedarik talebi yapılır. Bu talep kan bileşenleri tedarik sözleşmesi aracılığıyla gerçekleştirilir. Şekil 62’de yer alan ekran aracılığıyla tedarik sözleşmesi blokzincir ağında zincir kodu paketinde yer alan akıllı sözleşmenin çağırılmasıyla oluşturulur.

Transfüzyon merkezinin hangi türde, hangi miktarda ve hangi belirli özelliklerde (sıcaklık, basınç vb.) kan bileşenine ihtiyaç duyduğunu ekleyebilmek için sırasıyla bileşen bazında sisteme girişi yapılır ve “Submit” butonunun seçilmesiyle birlikte kan tedarik sözleşmesi oluşturulur.

Blood Component Supply Contract

ID: Transfusion Center Name:

District Blood Center Name: Transfusion Center Officer:

District Blood Center Manager:

Details

#	Blood Type	Special Property	Amount of Demand	Affordable Amount	Storage Conditions	Storage Duration	Add	Remove
1	Tam Kan	Taşıma sırası	<input type="text" value="320L"/>	<input type="text"/>	2-6 C	Kullanılan sc	<input type="button" value="+"/>	<input type="button" value="X"/>
2	Dondurul	İla taşınabilir	<input type="text" value="56L"/>	<input type="text"/>	Buhar fazlı sıv	Max 1 yıl	<input type="button" value="+"/>	<input type="button" value="X"/>
3	Trombosit	Taşıma sırası	<input type="text" value="100L"/>	<input type="text"/>	20-24 C	5-7 Gün	<input type="button" value="+"/>	<input type="button" value="X"/>
4	Taze Donr	Taşıma sırası	<input type="text" value="220L"/>	<input type="text"/>	-18 ila -25	Max 3 ay	<input type="button" value="+"/>	<input type="button" value="X"/>

Şekil 62: Kan Tedarik Sözleşmesi Ekleme

5.4.9 Kan Bileşeni Tedarik Sözleşmesi Görüntüleme ve Onayı

Transfüzyon merkezi kan tedarik yetkilisi tarafından paylaşılan tedarik sözleşmesi, bölge kan merkezi yetkilisi tarafından görüntülenir.

List with all blood component supply contracts in the blockchain					
#	Donor ID	Transfusion Center Name	DBC Name	Status	View Details
1	+4545664	dsfsdfs	dsfsdfs	Pending	View
2	1	test	test	Accepted	View
3	39226	Polatlı Devlet Hastanesi	Bahçelievler Bölge Kan Merkezi	Pending	View
4	45464	a	s	Pending	View
5	654616	asddfs	dsfsdf	Accepted	View
6	797949	a	c	Accepted	View
7	8945	Başkent Üniversitesi Hastanesi	Bahçelievler Kan Bağış Merkezi	Accepted	View
8	986532	x	z	Accepted	View

Şekil 63: Kan Tedarik Sözleşmeleri Listeleme

Şekil 63'te görüldüğü gibi "View" butonu üzerinden tedarik sözleşmesine dair ayrıntılar incelenebilir, sözleşme koşullarının uygun olması halinde Şekil 64'te görüldüğü gibi onay veya reddet butonu aracılığıyla tedarik sözleşmesi için tercih yapılır.

Status: Pending

AcceptReject

Blood Component Supply Contract
ID: **39226**
Transfusion Center Name: **Polatlı Devlet Hastanesi**
DBC Name: **Bahçelievler Bölge Kan Merkezi**
Transfusion Center Officer: **Erdi Dağdemir**
DBC Manager Name: **Oumout Chouseinoglou**

Details #1
Blood Type **Tam Kan**
Special Property: **Taşıma sırasında 2-6 C koşulunda taşınmalı**
Amount of Component: **320L**
Affordable Amount: **320**
Storage Conditions: **2-6 C**
Storage Duration: **Kullanılan solüsyon CPD ise max 21 gün, CPDA ise max 35 gün**

Details #2
Blood Type **Dondurulmuş Trombosit Konsantresi**
Special Property: **Dondurulmuş olarak taşınacaksa -150C'de, kısa süreli taşımalarda 20-24C arasında taşınabilir**
Amount of Component: **56L**
Affordable Amount: **56**
Storage Conditions: **Buhar fazlı sıvı nitrojende -150 C**
Storage Duration: **Max 1 yıl**

Şekil 64: Kan Tedarik Sözleşmesi Onayı

Şekil 65'te ise onaylanmış tedarik sözleşmesi gösterilmiştir:

Status: Accepted

Accept Reject

You have successfully updated the record.

Blood Component Supply Contract
ID: 39226
Transfusion Center Name: Polatlı Devlet Hastanesi
DBC Name: Bahçelievler Bölge Kan Merkezi
Transfusion Center Officer: Erdi Daşdemir
DBC Manager Name: Oumout Chouseinoglou

Details #1
Blood Type Tam Kan
Special Property: Taşıma sırasında 2-6 C koşulunda taşınmalı
Amount of Component: 320L
Affordable Amount: 320
Storage Conditions: 2-6 C
Storage Duration: Kullanılan solüsyon CPD ise max 21 gün, CPDA ise max 35 gün

Details #2
Blood Type Dondurulmuş Trombosit Konsantresi
Special Property: Dondurulmuş olarak taşınacaksa -150C'de, kısa süreli taşımalarda 20-24C arasında taşınabilir
Amount of Component: 56L
Affordable Amount: 56

Şekil 65: Kan Tedarik Sözleşmesi Onayı-2

5.4.10 Depolama ve Taşıma Bilgileri Ekleme

Kan bileşenleri sözleşmesinin bölge kan merkezi stoklarına uygun bir şekilde onaylanmasının ardından transfüzyon merkezinin talebine ve belirttiği koşullara uygun şekilde taşınması gerekmektedir. Bu bilgilerin takibini sağlamak amacıyla akıllı sözleşme ve kullanıcı ekranı oluşturulmuştur.

Bu akıllı sözleşme bölge kan bağış merkezi taşıma yetkilisi tarafından kullanılabilir. Operasyon numarası (ID), transfüzyon merkezi, bölge kan bağış merkezi, transfüzyon merkezi yetkilisi, bölge kan bağış yetkilisi ve taşınan kan bileşenlerine ait miktar, nitelik ve zaman bilgileri taşıma yetkilisi tarafından girilir ve “Submit” seçeneği aracılığıyla kaydedilir. Bu ekran aynı operasyonda birden fazla girişe uygun bir şekilde dinamik bir dizayna sahiptir. “Add” veya “Remove” seçenekleri ile farklı kan bileşenleri eklenebilir veya çıkartılabilir. Şekil 66'da depolama ve taşıma bilgisi ekleme ekranı gösterilmiştir:

Add Storage & Transportation Data

ID:

39226

Transfusion Center Name:

Polatlı Devlet Hastanesi

DBC Name:

Bahçelievler Kan Bağış Merkezi

Transfusion Center Officer:

Ceren Tuncer Şakar

DBC Manager:

Murat Caner Testik

Properties

#	Blood Type	Special Property	Amount of Component	Transportation Time	Add	Remove
1	Tam Kan	Depolama Sıcaklığı:	320L	19/05/2022 / 14:08-16	Add	Remove
2	Dondurulmuş Trom	Depolama Sıcaklığı:	56L	19/05/2022 / 14:08-16	Add	Remove
3	Trombosit Konsantı	Depolama Sıcaklığı:	100L	19/05/2022 / 14:08-16	Add	Remove
4	Taze Donmuş Plazn	Depolama Sıcaklığı:	220L	19/05/2022 / 14:08-16	Add	Remove

Submit

Şekil 66: Depolama ve Taşıma Bilgileri Ekleme

5.4.11 Depolama ve Taşıma Bilgileri Görüntüleme ve Onayı

Bölge kan merkezi yetkilisi tarafından eklenen depolama ve taşıma bilgileri transfüzyon merkezi organizasyonunda bulunan hemşire ve doktorlar tarafından görüntülenebilir. Depolama ve taşıma bilgilerinin onaylanması ve kan bileşenlerinin teslim edilmesiyle birlikte operasyon tamamlanmış olur.

#	Donor ID	Transfusion Center Name	DBC Name	Status	View Details
1	12345	Başkent Hastanesi	Sincan Bölge Kan Merkezi	Accepted	View
2	232165163	Dişkayı Hastanesi	Sincan Bölge Kan Merkezi		View
3	39226	Polatlı Devlet Hastanesi	Bahçelievler Kan Bağış Merkezi	Rejected	View
4	56	Bahçelievler	Baskent		View
5	61613	assdsdf	sdfdsf	Accepted	View
6	986532	x	y	Accepted	View

Şekil 67: Depolama ve Taşıma Bilgilerini Listeleme

“View Details” sekmesinde bulunan “View” seçeneği aracılığıyla Transfüzyon Merkezi hemşire/doktoru, belirli bir kan bileşeni tedarik sözleşmesine ait tüm ayrıntılarını görüntüleyebilir. Aynı ekran üzerinden depolama ve taşıma bilgilerinin onay durumunu güncelleyebilir.

Status: Rejected

[Accept](#) [Reject](#)

You have successfully updated the record.

Storage & Transportation Information
ID: 39226
Transfusion Center Name: Polatlı Devlet Hastanesi
DBC Name: Bahçelievler Kan Bağış Merkezi
Transfusion Center Officer: Ceren Tuncer Şakar
DBC Manager Name: Murat Caner Testik

Details #1
Blood Type Tam Kan
Special Property: Depolama Sıcaklığı: 4C, Depolama Süresi: 25 Gün, Taşıma Sıcaklığı: 3,5C
Amount of Component: 320L
Transportation Time: 19/05/2022 / 14:08-16:24

Details #2
Blood Type Dondurulmuş Trombosit Konsantresi
Special Property: Depolama Sıcaklığı: -150C, Depolama Süresi: 4 Ay, Taşıma Sıcaklığı: -150C
Amount of Component: 56L
Transportation Time: 19/05/2022 / 14:08-16:24

Şekil 68: Depolama ve Taşıma Detaylarını Görüntüleme

5.5 Yazılım Testi

5.5.1 Kullanıcı Testi

Yazılım geliştirme aşamasında uygulamanın komponentleri oluştukça parça parça kullanıcı test aktiviteleri gerçekleştirilmiştir. Yazılım geliştirme yaşam döngüsünün doğal bir sonucu olarak geliştirmeler sonrasında veri eksiklikleri ve hatalar gözlemlenmiştir. Bu eksiklik ve hatalar geliştirme döngüsü devam ettiği sürece parça parça düzeltilerek giderilmiştir.

Yazılım geliştirme ve test aşamasında karşılaşılan majör hatalar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

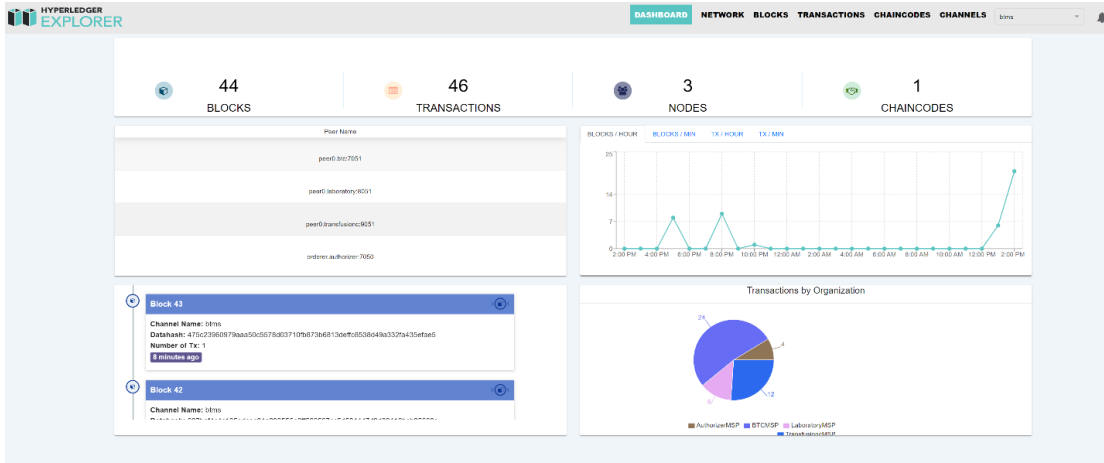
1. Yazılım testleri esnasında transfüzyon merkezi yetkilisi tarafından kan bileşeni tedarik sözleşmesi eklenmesi esnasında kan merkezi yetkilisinin tedarik sözleşmeleri listesinin çekilemediği gözlemlenmiştir. Testler esnasında bu problemlerle karşılaşılması sebebiyle gerekli düzeltmeler yapılmıştır.
2. Yazılım testleri esnasında onay mekanizmasına ihtiyaç duyulduğu gözlemlenmiş ve yüklenen yeni pakette kan bileşeni tedarik sözleşmeleri ve depolama bilgilerine dair operasyonlarda onay mekanizması eklenmiştir.
3. Yazılım testleri esnasında bazı kullanıcıların işlevsiz olduğu gözlemlenmiş ve bu kullanıcılar yazılım paketinden çıkarılmıştır. (Örn: Laboratuvar teknisyeni)
4. Yazılım testleri esnasında bağışçı kaydı yapıldığında kan bağış merkezi doktorunun ekranına bazı verilerin (kan grubu bilgisi, yaş bilgisi vb.) atılmadığı gözlemlenmiş ve bu sorunlar düzeltilmiştir.
5. Yazılım testleri esnasında kan bağış onay butonuna ait “Kan Bağışına Uygun Mu?” sorusuna verilmesi beklenen iki cevap mevcuttur: Evet/Hayır. Yazılımın sondan bir önceki sürümünde “Evet” veya “Hayır” seçeneğinden hangisi seçilirse seçilsin kullanıcıya “Hayır” cevabını döndürdüğü tespit edilmiş ve hata düzeltilerek tekrardan test edilmiştir.
6. Yazılımın uzun bir süre stabil olamadığı, sürekli farklı nedenlerle hata verdiği tespit edilmiş ancak yapılan test ve düzeltmelerle çözüm bulunmuştur.

Sonuç olarak, yapılan tüm testlerin ardından geliştirmeye ve düzeltmeye ihtiyaç duyulan alanların tamamı düzeltilmiş ve kullanıma hazır hale getirilmiştir. Basit birkaç arayüz eksiklikleri dışında prototip kullanıma hazır olduğu gözlemlenmiştir.

5.5.2 Performans Testi

Hyperledger Explorer, blokzincir ağıyla etkileşime giren ve yöneticilerin ağla ilgili aşağıdakiler gibi önemli bilgileri görüntülemeleri için bir kullanıcı arabirimi sağlayan kullanışlı bir araçtır:

- Blok Numarası ve Bilgi
- İşlemler (Transactions) ve Bilgileri
- Yüklenen Zincir Kodu
- Oluşturulan Kanallar
- Onay Politikaları



Şekil 69: Hyperledger Explorer Tool – Performans Testi 1

Uygulama, Şekil 69’da gösterildiği gibi Hyperledger Explorer aracı ile performans testine dahil edilmiş ve bu test sonucunda aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmıştır:

- Uygulamanın son versiyonunda tüm akıllı sözleşmeler tek bir zincir kodu ile çalışmaktadır.
- Toplamda 3 adet node veya diğer bir ismi ile eş (peer) çalışmaktadır. Her bir organizasyon için işlemlerin (transaction) teknik doğruluğunu kontrol etmesi için sanal makine olarak bulunmaktadır.
- Son versiyonda 46 adet işlem gerçekleştirilmiş ve buna bağlı olarak 44 blok oluşturulmuştur.
- 46 adet işlemin 4 adeti organizasyon kullanıcılarının yetkilendirilmesi için kullanılmıştır.
- Kalan 42 işlem için 44 adet blok oluşturulmuştur.

Peer Name	Request Uri	Peer Type	MSPID	Ledger Height		
				High	Low	Unsigned
peer0.btc:7051	peer0.btc:7051	PEER	BTCMSP	0	44	true
peer0.laboratory:8051	peer0.laboratory:8051	PEER	LaboratoryMSP	0	44	true
peer0.transfusion:9051	peer0.transfusion:9051	PEER	TransfusionMSP	0	44	true
orderer.authorizer:7050	orderer.authorizer:7050	ORDERER	AuthorizerMSP	-	-	-

Şekil 70: Hyperledger Explorer Tool – Performans Testi 2

Şekil 70’te her bir eş (peer) ve bu eşlere ait özellikler gösterilmektedir. Toplamda 4 adet eş bulunduğu, bu eşlerin 3 tanesinin organizasyonlara ait olduğu ve bir tanesinin de sisteme katılım için yetki veren MSP’ye ait olduğu görülmektedir.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

6.1 Değerlendirme

Bu çalışmada, hasta kan yönetiminde veri güvenliğinin sağlanması ve operasyonel kalitenin artırılmasını sağlamak amacıyla kan transfüzyonu operasyonlarının blokzincir ağında modellenmesi ve bu modele uygun olarak yazılım tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla öncelikle, mevcut kan transfüzyon operasyonları iş akışı analiz edilmiş ve iş modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu iş modeliyle, mevcut sistem belirli varsayımlar ve amaçlar doğrultusunda incelenmiş ve mevcut iş modeline en uygun olan blokzincir platformları değerlendirilmiştir.

Mevcut iş akışının analizi ve platform değerlendirmelerinin ardından en uygun blokzincir platformu olarak Hyperledger Fabric belirlenmiştir. Bu platform altyapısında akıllı sözleşmeler Golang yazılım dili ile geliştirilmiş, devamında arka-uç (back-end) uygulaması Node.js yazılım dile ile geliştirilmiştir.

Yazılım geliştirme faaliyetinin son aşaması olarak da kullanıcı arayüzü tasarlanmış ve ön-uç (front-end) uygulaması Angular yazılım dili ile geliştirilmiştir. Ardından yazılım geliştirme işlemleri tamamlanmış ve en nihayetinde yazılım testleri gerçekleştirilmiştir.

Yazılım testi aşamasında her bir operasyon için 1000'den fazla kayıt ve işlem oluşturulmuş, her bir operasyonun iş akışına uygun olup olmadığı denetlenmiş, algoritmanın doğru çalışıp çalışmadığı kontrol edilmiş ve en nihayetinde yazılımda bulunan kod hataları düzeltilerek yazılımın kan transfüzyonu yönetimi için kullanılabilmesi doğrulanmıştır.

Oluşturulan kavramsal mimari ve yazılım tasarımıyla birlikte kan transfüzyon yönetiminde donör ve kurumsal paydaşlara ait verilerin izni olmayan üçüncü kişilerce erişimi sınırlandırılmış ve yalnızca erişim izni olan paydaşlar tarafından görüntülenebilmesine olanak tanınmıştır. Buna ek olarak, blokzincir teknolojisinin yapısı gereği sistemin art niyetli saldırılara karşı önlenmesi sağlanmıştır.

Kan transfüzyonu iş akışının başlangıcı olan bağışçı kaydından, kan ürünlerinin transfüzyon merkezine teslimine kadar olan tüm operasyonlar blokzincir altyapısında dijital ortama aktarılmış, bugüne kadar fiziki evraklar ve güvenlik hassasiyeti yüksek olmayan yazılım ve veritabanları üzerinden yürütülen işlemlerin tamamı blokzincir altyapısında siber saldırılara karşı son derece dayanıklı bir ortama aktarılmıştır. Bu sayede, çalışmanın temel amacı olan veri güvenliği ve şeffaflığının sağlanması temin edilmiştir.

Çalışmanın diğer bir amacı olan operasyonel kalitenin iyileştirilmesi kan tedarik sözleşmesi, depolama ve taşıma bilgilerinin blokzincir altyapısına taşınmasıyla sağlanmış, tedarik aşamasında kan ürünlerinin ilgili kalite standartlarına uygun olup olmadığı akıllı sözleşme yoluyla güvence altına alınmıştır. Transfüzyon merkezine aktarım esnasında kan ürünlerine ait kalite kriterlerinin (sıcaklık, basınç, zaman vb.) taşıma ve depolama yetkilileri tarafından girilmesiyle transfüzyon merkezi yetkilileri kriterlere uygunluğu dijital ortamda görüntüleyebilecektir.

Sonuç olarak, bu çalışmayla birlikte kan transfüzyonu operasyonlarına ait verilerin blokzincir altyapısına taşınmasıyla birlikte mevcut durumda yapılan işlem sürelerinin dijital ortama aktarım ile azaltılması, bağışçı ve diğer paydaşlara ait verilerin siber saldırılara karşı korunması, insan kaynaklı hata veya manipülasyon ihtimallerinin en aza indirilmesi ve kan ürünlerinin aktarımı esnasında operasyonel kalitenin iyileştirilmesi sağlanmıştır.

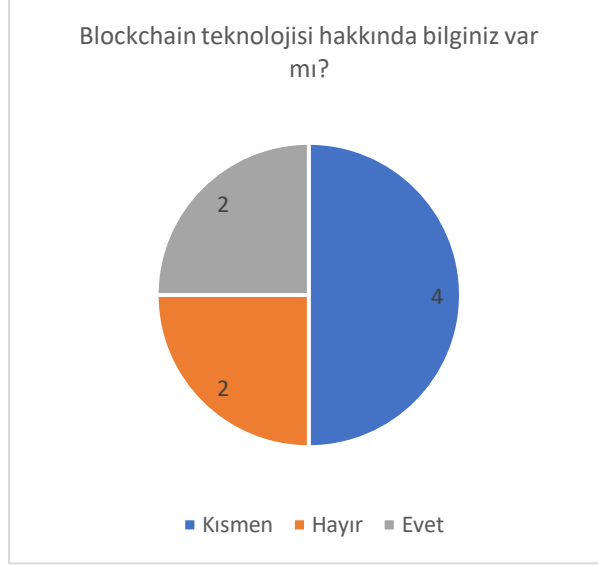
6.2 Uzman Görüşleri

Tez çalışması kapsamında, mevcut kan transfüzyon operasyonlarının durumu, kavramsal tasarım ve prototip olarak uygulamaya alınmış yazılımın verimliliği ve çalışmanın literatüre ve uygulamaya sunacağı katkılar uzman görüşüne sunulmuş ve bu görüşler değerlendirilmiştir.

Kan transfüzyonu operasyonlarının paydaşı olan resmi kuruluş yetkilileri, transfüzyon merkezlerinde görev yapan çalışanlar ve laboratuvar süreçlerinde çalışan, görev yılı 5-10 yıl arasında değişen görevleri uzman, doktor, hemşire, laboratuvar teknisyeni olan 8 uzman personel ile görüşülmüş kendilerine sorular yöneltilmiş, uygulama tanıtılmış ve görüşleri alınmıştır.

Uzmanların sorulara verdiği cevapların genel eğilimine bakıldığında mevcut sistemin yetersiz olmasa da belli başlı eksiklikleri olduğu ve bu eksikliklerin büyük bir kısmının tez çalışmasında önerilen çözüm ile giderilebileceğini belirtmişlerdir.

Uzmanlara blokzincir teknolojisi hakkında bilgisi olup olmadığı sorulmuş ve sonuç olarak 2 uzman bilgisinin olduğunu, 4 uzman kısmen bilgisinin olduğunu, 2 uzman ise bilgi sahibi olmadığını belirtmiştir.



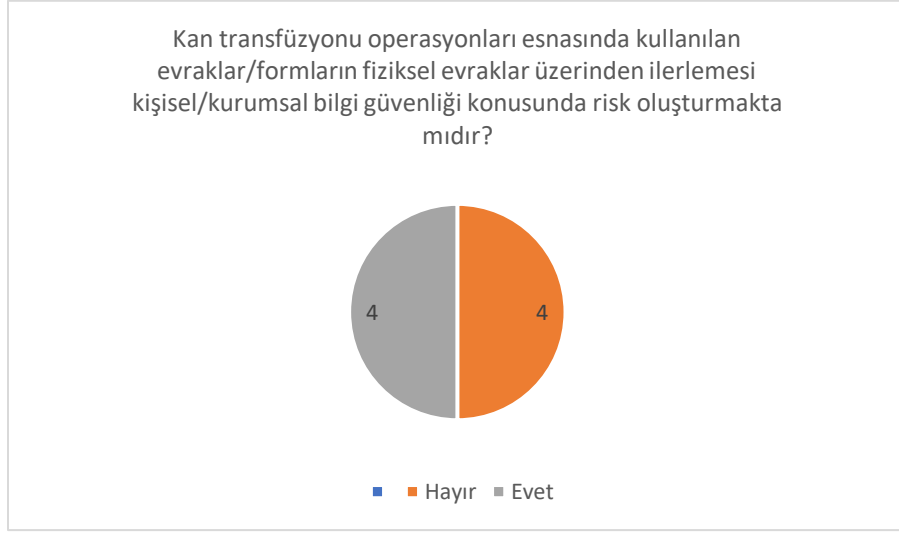
Şekil 71: Uzman Görüşü-Soru 1

Uzmanlara mevcut durumda kan transfüzyonu operasyonlarının dijitalleşme seviyesinin yeterli olup olmadığı sorulmuş ve sonuç olarak 3 uzman yeterli görmediğini, 5 uzman ise gelişme kaydedilmesinin verimi artıracağını düşündüğünü belirlenmiştir.



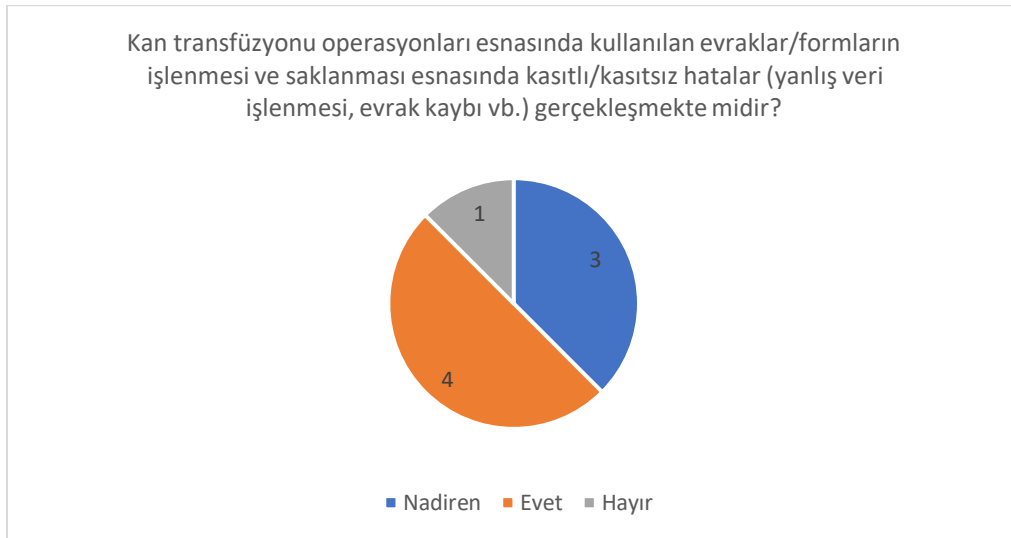
Şekil 72: Uzman Görüşü-Soru 2

Uzmanlara mevcut durumda kan transfüzyonu operasyonları esnasında kullanılan fiziki evrakların kişisel/kurumsal bilgi güvenliğini tehdit edip etmediği sorulmuş ve sonuç olarak 4 uzman bilgi güvenliği için risk oluşturduğunu, 4 uzman ise bilgi güvenliği için risk oluşturmadığını belirlenmiştir.



Şekil 73: Uzman Görüşü-Soru 3

Uzmanlara mevcut durumda kan transfüzyonu operasyonları esnasında kullanılan fiziki evrakların işlenmesi ve saklanması esnasında kasıtlı/kasıtsız hataların kaynaklanıp kaynaklanmadığı sorulmuş sonuç olarak %4 uzman hataların gerçekleştiğini, 3 uzman hataların az da olsa gerçekleşebildiğini, 1 uzman ise hiç hata gerçekleşmediğini belirtmiştir.



Şekil 74: Uzman Görüşü-Soru 4

Uzmanlara kan transfüzyonu operasyonlarına ait adımların tamamının dijitalleşmesinin transfüzyon sürecinin verimliliğini artırıp artırmayacağı sorulmuş sonuç olarak 7 uzman verimin artacağını, 1 uzman ise gözle görülür bir etkisinin olmayacağını belirtmiştir.



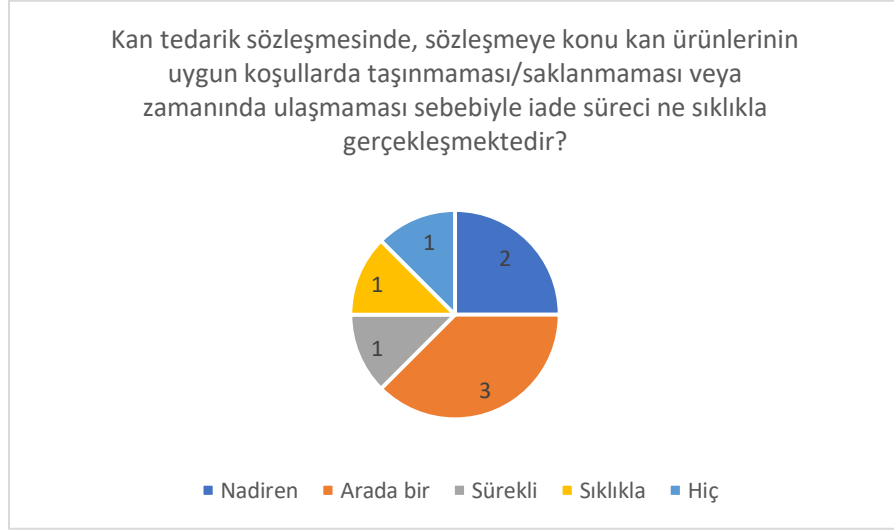
Şekil 75: Uzman Görüşü-Soru 5

Uzmanlara kan transfüzyonu operasyonlarına ait adımların dijitalleşmesinde yüksek güvenlik sağlayan blokzincir teknolojisinin kullanımının veri güvenliği/şeffaflığının artırıp artırmayacağı sorulmuş ve sonuç olarak 7 uzman veri güvenliği/şeffaflığının artacağını, 1 uzman ise gözle görülür bir etkisinin olmayacağını belirtmiştir.



Şekil 76: Uzman Görüşü-Soru 6

Uzmanlara kan tedarik sözleşmesinde, sözleşmeye konu kan ürünlerinin uygun koşullarda taşınmaması/saklanmaması veya zamanında ulaşmaması sebebiyle iade sürecinin ne sıklıkla gerçekleştiği sorulmuş ve sonuç olarak 3 uzman arada bir, 2 uzman nadiren, 1 uzman sürekli, 1 uzman sıklıkla gerçekleştiğini ve 1 uzman ise hiç gerçekleşmediğini belirtmiştir.



Şekil 77: Uzman Görüşü-Soru 7

Son olarak uzmanlara, kan transfüzyonu operasyonlarına ait işlemlerin yüksek güvenli blockchain platformunda dijitalleştirilmesinin operasyonel verimliliği artırıp artırmayacağı sorulmuş sonuç olarak 7 uzman verimin artacağını, 1 uzman ise gözle görülür bir etkisinin olmayacağını belirtmiştir.



Şekil 78: Uzman Görüşü-Soru 8

6.3 Maliyet Analizi

Tez çalışması kapsamında kan transfüzyonu operasyonlarının blokzincir ağında modellenmesi sırasında prototip yazılım oluşturulmuş ve lokal ağda çalıştırılmıştır. Gerçek hayat uygulamalarında daha büyük kapsamlı ağlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Güncel durumda Hyperledger Fabric platformu için kapsamı geniş projelerde kullanılmak üzere servis hizmeti sağlayan iki alternatif bulunmaktadır: Amazon Web Service Managed Blockchain, IBM Blockchain Platform.

Tez çalışmasının bu kısmında servis hizmeti sağlayan iki platform için iki adet senaryo uygulanacaktır. Bu kapsamda ilk senaryo seçilen bir bölgede (Orta Anadolu Bölge Kan Merkezi) servis hizmeti sağlayan iki platformun maliyet karşılaştırılması yapılacaktır. İkinci senaryoda ise ülke genelinde bir ağ kurulması durumunda hizmet sağlayan iki platformun maliyet analizi karşılaştırılacaktır.

Uygulanacak senaryolar için aktörlerden alınan bilgilere göre varsayımlar ve kabuller belirlenmiştir. Buna göre Kızılay'dan alınan bilgilere göre belirlenmiş varsayım ve kabuller aşağıdaki gibidir:

- Türkiye genelinde toplamda 18 adet bölge kan merkezi bulunmaktadır. Yerleşik ve mobil kan bağış merkezleri (toplamda 360 adet), bölge bölge ayrılmış 18 bölge kan merkezine bağlı çalışmaktadır [67].
- Türkiye genelinde transfüzyon merkezleri (hastaneler, sağlık merkezleri vb.) ilgili kan ürünlerini bölge olarak bağlı bulunduğu bölge kan merkezinden tedarik etmektedir.
- Kan transfüzyonu kapsamında kan testleri, bölge kan merkezlerinin merkezi laboratuvarlarında gerçekleştirilmektedir. Toplamda 18 adet merkezi laboratuvar bulunmaktadır [67].
- 2021 yılında Türkiye genelinde toplamda 2,751,692 adet kan bağış operasyonu gerçekleşmiştir. Gün başına hesaplandığında, ortalama 7500 kan bağış düşmektedir [68].

Amazon Web Service yetkilileri ile yapılan görüşmeler ve resmi internet sitesinde yer alan hesaplama alanlarından alınan bilgilere göre belirlenmiş varsayım ve kabuller aşağıdaki gibidir [69]:

- Hyperledger Fabric kullanıcılarına 2 tip üyelik paketi sunulmaktadır: Başlangıç ve Standart
- 2 pakete özel eş tipleri belirlenmiş ve tip seçimlerine göre ücretlendirme değişmektedir.
- Başlangıç paketi test ağları ve kapsamı dar organizasyonlar için oluşturulmuştur. Ağ genelinde maksimum 3 kanal, 5 organizasyon ve her organizasyon başına 2 adet eş (peer) tanımlanmaktadır.
- Standart paket ağına kıyasla daha dar işlem kapasitesine sahiptir.
- Standart paket, daha kapsamlı organizasyonlar için tasarlanmıştır. Ağ başına maksimum 8 kanal, 14 organizasyon ve her organizasyon başına 3 adet eş (peer) tanımlanmaktadır.
- Üyelik paketi seçimi, eş (peer) tipi seçimi, organizasyon başına seçilen eş (peer) sayısı, eş (peer) depolama kapasitesi ve yazılan veri kapasitesine (data written) göre değişmektedir.

IBM Blockchain Platform'dan alınan bilgilere göre belirlenmiş varsayım ve kabuller aşağıdaki gibidir [70]:

- IBM Blockchain Platform ücretlendirmesini kullanılan sanal işlemci (vCPU) üzerinden hesaplamaktadır.
- IBM Blockchain Platform kullanıcılarına 2 tip üyelik paketi sunulmaktadır: Demo, Pilot ve Üretim
- Ekstra özellikler (depolama alanı, hız vb.) dışında standart ücretler belirlenmiştir ve Amazon Web Service'te olduğu gibi esnek bir fiyatlandırma yapısı bulunmamaktadır.
- Pilot pakette, maksimum 5 organizasyon ve organizasyon başına 2 eşe (peer) izin verilmektedir.
- Üretim paketinde 5 veya daha fazla organizasyona ve organizasyon başına 2 eşe (peer) izin verilmektedir.

Kavramsal mimariye göre 5 adet operasyonda işlem teklifi gönderilmekte ve dağıtılmış deftere yazılmaktadır, diğer işlem sorgulama işlemi olduğu için veritabanında bir yük yaratmamaktadır.

6.3.1 Senaryo 1

Senaryo 1’de pilot bölge olarak seçilen Orta Anadolu Bölge Kan Merkezi’nin veritabanı hacmi hesaplaması aşağıdaki gibidir:

Hesaplama Kalemi	Değer
Kan Bağışı Başına İşlem Teklifi Sayısı	5
Günlük Kan Bağışı Sayısı	1.213
Aylık Kan Bağışı Sayısı	36910
İşlem Teklifinin Veritabanındaki Hacmi (Max)	0.005 GB (1 MB)
Aylık Veritabanı Hacmi (MB)	922750
Aylık Veritabanı Hacmi (GB)	0,92275

Şekil 79: Senaryo 1 - Veritabanı Hacmi Hesaplaması

Senaryo 1’e göre pilot bölge olarak seçilen Orta Anadolu Bölge Kan Merkezi için toplamda tek bir kanal ve 3 adet organizasyona ihtiyaç duyulmaktadır: Bölge Kan Merkezi, Laboratuvar, Transfüzyon Merkezi.

Tek bir ağ gereken Senaryo 1’e göre AWS Managed Blockchain hizmetine ait hesaplama Şekil 81’de gösterildiği gibidir:

Eş (Peer):bc.t3.small Eş Sayısı: 2 AWS Managed Blockchain Organizasyon Sayısı: 3 1 ay=730 saat Eş (Peer) Depolama Kapasitesi: 5 GB Eş (Peer) Veri Yazım Kapasitesi: 10 GB				
Amazon Web Service Gider Kalemleri	Birim Başına Gider	Saatlik Toplam Gider	Aylık Toplam Gider	Yıllık Toplam Gider
Platform Üyelik Ücreti (\$/hr)	\$0,36	\$1,08	\$788,40	\$9.460,80
Eş Üyelik Ücreti (\$/hr)	\$0,038	\$0,23	\$166,44	\$1.997,28
GB Başına Depolama Ücreti (\$/hr)	\$0,12	\$0,72	\$4,32	\$51,84
GB Başına Veri Yazma Ücreti (\$/hr)	\$0,12	\$0,72	\$4,32	\$51,84
TOPLAM	\$0,64	\$2,75	\$963,48	\$11.561,76
TARİH: 13.06.2022				

Şekil 80: Senaryo 1 – AWS Ücret Hesaplaması

Şekil 80’de yer alan hesaplamada tek bir ağ gerektiği için AWS’nin başlangıç paketi kullanılmış, bu nedenle eş sayısı maksimum 2 olarak belirlenmiştir. AWS’nin belirlediği sabit ücretler ve kısıtlar seçilerek hesaplanmıştır.

Senaryo 1 kapsamında benzer hizmeti sağlayan platform olan IBM Blockchain Platform hizmetine ait hesaplama Şekil 81’deki gibidir:

Paket Tipi: Functional Test/Demo				
Eş Sayısı: 1				
Organizasyon Sayısı: 3				
1 ay=730 saat				
Eş (Peer) Depolama Kapasitesi: 120 GB				
Eş (Peer) Veri Yazım Kapasitesi: 120 GB				
Amazon Web Service Gider Kalemleri	Birim Başına Gider	Saatlik Toplam Gider	Aylık Toplam Gider	Yıllık Toplam Gider
Hosting Ücreti	606\$	0,830136986	\$606,00	\$7.272,00
Üyelik Ücreti	\$368,00	\$1,51	\$1.104,00	\$13.248,00
GB Başına Depolama Ücreti (\$/hr)	Üyelik ücretinin içindedir			
GB Başına Veri Yazma Ücreti (\$/hr)				
TOPLAM	\$368,00	\$2,34	\$1.710,00	\$20.520,00
TARİH: 13.06.2022				

Şekil 81: Senaryo 1 – IBM Blockchain Platform Ücret Hesaplaması

Şekil 82’de görüldüğü üzere IBM Blockchain Platform ücretlendirme yöntemi olarak AWS’den ayrışmakta, hosting ve üyelik ücretleri üzerinden ücret hesaplamalarını yaparak veri depolama, hız vb. özellikleri standart olarak sağlamaktadır.

6.3.2 Senaryo 2

Senaryo 2’ye göre ülke genelinde kurulacak bir ağda veritabanı hacmi hesaplaması aşağıdaki gibidir:

Aylık olarak veritabanı hacmi hesaplaması aşağıdaki gibidir:

Hesaplama Kalemi	Değer
Kan Bağışı Başına İşlem Teklifi Sayısı	5
Günlük Kan Bağışı Sayısı	7538
Aylık Kan Bağışı Sayısı	226140
İşlem Teklifinin Veritabanındaki Hacmi (Max)	0.005 GB (1 MB)
Aylık Veritabanı Hacmi (MB)	5653500
Aylık Veritabanı Hacmi (GB)	5,6535

Şekil 82: Senaryo 2 - Veritabanı Hacmi Hesaplaması

Senaryo 1’den farklı olarak bu senaryoda ağ genelinde 19 farklı yapının kurulması gerekmektedir: 18 tane bölge kan merkezi bünyesinde gelişen ve içerisinde organizasyonları bulunduran ağ ve 1 adet bölge kan merkezlerinin yönetiminden sorumlu ağ.

Hizmet sağlayıcılarının kapasite farklılıkları sebebiyle hesaplama ve yöntem farkları da oluşmaktadır. Bu nedenle iki hizmet sağlayıcıya dair hesaplamalar yapılırken iki farklı yöntem kullanılmıştır: Senaryo 1’de olduğu gibi başlangıç ve pilot paketlerinden ayrı ayrı 19 tane ağ oluşturmak ilk yöntem olurken, hizmet sağlayıcıların çok paydaşlı ağlar için kullandığı standart veya üretim paketleriyle bir model oluşturmak ikinci yöntem olmuştur.

Buna göre AWS’nin başlangıç paketinden 19 adet ayrı ayrı blokzincir ağı oluşturulması ve kan transfüzyonu operasyonlarının ayrı ayrı bölge bazında gerçekleştiği yöntemdeki hesaplama Şekil 84’teki gibidir:

<p style="text-align: center;">Eş (Peer):bc.t3.small Eş Sayısı: 2 AWS Managed Blockchain Organizasyon Sayısı: 3 1 ay=730 saat Eş (Peer) Depolama Kapasitesi: 5 GB Eş (Peer) Veri Yazım Kapasitesi: 10 GB</p>				
Amazon Web Service Gider Kalemleri	Birim Başına Gider	Saatlik Toplam Gider	Aylık Toplam Gider	Yıllık Toplam Gider
Platform Üyelik Ücreti (\$/hr)	\$0,36	\$1,08	\$788,40	\$9.460,80
Eş Üyelik Ücreti (\$/hr)	\$0,038	\$0,23	\$166,44	\$1.997,28
GB Başına Depolama Ücreti (\$/hr)	\$0,12	\$0,72	\$4,32	\$51,84
GB Başına Veri Yazma Ücreti (\$/hr)	\$0,12	\$0,72	\$4,32	\$51,84
TOPLAM	\$0,64	\$2,75	\$963,48	\$11.561,76
19 Farklı Ağ İçin Hesaplama	\$12,12	\$52,21	\$18.306,12	\$219.673,44
TARİH: 13.06.2022				

Şekil 83: Senaryo 2 – 19 Ayrı Bölge AWS Hesaplaması

Şekil 85’te ise AWS Managed Blockchain hizmet sağlayıcısının kaynak kısıtlarından dolayı (Ağ başına maksimum 8 kanal, 14 organizasyon ve her organizasyon başına 3 adet eş) 5 farklı blokzincir ağı kurulmasıyla kurgulanmış model ve hesaplaması gösterilmiştir.

<p style="text-align: center;">Eş (Peer):bc.c5.large Eş Sayısı: 3 AWS Managed Blockchain Organizasyon Sayısı: 12 Kanal Sayısı:4 1 ay=730 saat Eş (Peer) Depolama Kapasitesi: 5 GB Eş (Peer) Veri Yazım Kapasitesi: 10 GB</p>				
Amazon Web Service Gider Kalemleri	Birim Başına Gider	Saatlik Toplam Gider	Aylık Toplam Gider	Yıllık Toplam Gider
Platform Üyelik Ücreti (\$/hr)	\$0,36	\$12,96	\$9.460,80	\$113.529,60
Eş Üyelik Ücreti (\$/hr)	\$0,04	\$1,37	\$998,64	\$11.983,68
GB Başına Depolama Ücreti (\$/hr)	\$0,12	\$4,32	\$21,60	\$259,20
GB Başına Veri Yazma Ücreti (\$/hr)	\$0,12	\$4,32	\$21,60	\$259,20
TOPLAM	\$0,64	\$22,97	\$10.502,64	\$126.031,68
Kurulacak Farklı 5 Ağ İçin Hesaplama	\$12,12	\$436,39	\$49.887,54	\$598.650,48
TARİH: 13.06.2022				

Şekil 84: Senaryo 2 – Bütünleşik AWS Hesaplaması

Şekil 85’te oluşturulmuş kurguda, AWS’nin bir blokzincir ağında maksimum 14 organizasyonu kabul etmesi ve her bölgede 3 adet organizasyon olması sebebiyle bir blokzincir ağında 4 bölge olacak şekilde ayrılmış ve bu şekilde 4 adet blokzincir ağı hizmeti ücreti hesaplanmıştır. Kalan 2 adet bölge ve bölgeler arası koordinasyonu sağlamak üzere 1 adet organizasyonun da ayrı bir blokzincir ağına dahil edilebilmesi için 1 blokzincir ağı daha eklenmiştir. Toplamda kurulacak 5 blokzincir ağı için öngörülen maliyet Şekil 84’ün son satırında belirtilmiştir.

Şekil 86’da gösterildiği üzere, IBM Blockchain Platformu’nun demo paketinden 19 adet ayrı ayrı blokzincir ağı oluşturulması ve kan transfüzyonu operasyonlarının ayrı ayrı bölge bazında gerçekleştiği yöntemdeki hesaplama aşağıdaki gibidir:

Paket Tipi: Functional Test/Demo Eş Sayısı: 1 Organizasyon Sayısı: 3 1 ay=730 saat Eş (Peer) Depolama Kapasitesi: 120 GB Eş (Peer) Veri Yazım Kapasitesi: 120 GB				
Amazon Web Service Gider Kalemleri	Birim Başına Gider	Saatlik Toplam Gider	Aylık Toplam Gider	Yıllık Toplam Gider
Hosting Ücreti	606\$	0,830136986	\$606,00	\$7.272,00
Üyelik Ücreti	\$368,00	\$1,51	\$1.104,00	\$13.248,00
GB Başına Depolama Ücreti (\$/hr)	Üyelik ücretinin içindedir			
GB Başına Veri Yazma Ücreti (\$/hr)				
TOPLAM	\$368,00	\$2,34	\$1.710,00	\$20.520,00
19 Farklı Ağ İçin Hesaplama	\$6.992,00	\$44,51	\$32.490,00	\$389.880,00
TARİH: 13.06.2022				

Şekil 85: Senaryo 2 – 19 Ayrı Bölge IBM Blockchain Platform Hesaplaması

Şekil 87’de IBM Blockchain Platformu hizmet sağlayıcısının Üretim paketinde 5’ten fazla organizasyona izin vermesi ve bu nedenle kaynak kısıtı bulunmamasından dolayı hesaplamalar tek bir blokzincir ağı üzerinden hosting ve üyelik ücretinin hesaplanması ile yapılmıştır.

Paket Tipi: Production Eş Sayısı: 2 Organizasyon Sayısı: 19 1 ay=730 saat Eş (Peer) Depolama Kapasitesi: 250 GB Eş (Peer) Veri Yazım Kapasitesi: 500 GB				
Amazon Web Service Gider Kalemleri	Birim Başına Gider	Saatlik Toplam Gider	Aylık Toplam Gider	Yıllık Toplam Gider
Hosting Ücreti	\$5.778,00	7,915068493	\$5.778,00	\$69.336,00
Üyelik Ücreti	\$3.467,00	\$66,49	\$48.538,00	\$582.456,00
GB Başına Depolama Ücreti (\$/hr)	Üyelik ücretinin içindedir			
GB Başına Veri Yazma Ücreti (\$/hr)				
TOPLAM	\$9.245,00	\$74,41	\$54.316,00	\$651.792,00
TARİH: 13.06.2022				

Şekil 86: Bütünleşik IBM Blockchain Platform Hesaplaması

Şekil 88’de iki farklı platformdan alınan hizmetlerin farklı senaryo ve farklı modellere göre Hesaplaması aktarılmıştır:

Senaryo	Üyelik Tipi	Eş (Peer) Sayısı	Eş Depolama Kapasitesi	Veri Yazma Kapasitesi	Aylık Maliyet	Yıllık Maliyet
AWS Managed Blockchain - Tek Bölge (Pilot)	Başlangıç	2	5GB	10GB	\$ 963,48	\$ 11.561,76
IBM Blockchain Platform - Tek Bölge (Pilot)	Functional Test/Demo	2	120GB	120GB	\$ 1.710,00	\$ 20.520,00
AWS Managed Blockchain - 19 Bölge (Bölgeler Bağımsız)	Standart	3	5GB	10GB	\$ 18.306,12	\$ 219.673,44
IBM Blockchain Platform - 19 Bölge (Bölgeler Bağımsız)	Production (Üretim)	2	250GB	500GB	\$ 32.490,00	\$ 389.880,00
AWS Managed Blockchain - 19 Bölge (Bölgeler İletişim Halinde - 5 Farklı Ağ)	Standart	3	5GB	10GB	\$ 49.887,54	\$ 598.650,48
IBM Blockchain Platform - 19 Bölge (Bölgeler İletişim Halinde - Tek Ağ)	Production (Üretim)	2	250GB	500GB	\$ 54.316,00	\$ 651.792,00
TARİH: 13.06.2022						

Şekil 87: Senaryo ve Modellere Bağlı Değişen Hesaplamaların Karşılaştırılması

6.4 Önerilen Çözümün Avantajları ve Dezavantajları

Önerilen çözüm, Endüstri 4.0 konularından birisi olan blokzincir altyapısının tez konusu olarak belirlenen kan transfüzyonu operasyonlarına entegre edilmesi ve bu sayede operasyonel verimin artırılmasıdır.

Önerilen çözümle birlikte kan transfüzyonu operasyonlarında;

- Bağışçı ve diğer paydaşlara ait veri güvenliği artırılmış
- Verilerin değışmezliğı sağlanmış ve bu sayede şeffaflığı temin edilmiş
- Operasyonel kalite iyileştirilmiş
- Mevcut iş akışı fiziksel evrak işlemlerinden arındırılmıştır.

Önerilen çözüm her ne kadar vaat ettikleri açısından uygun bir çözüm sunuyor olsa da gerçekleştirilebilmesi için önünde birçok zorluk ve uygulanabilmesi için dezavantajları da mevcuttur.

- Büyük çaplı organizasyonlarda kullanımının sağlanabilmesi için büyük hacimli veriler ve sistem tanımlamalarına ihtiyaç duyulmaktadır.
- Kullanım kapsamının genişletilebilmesi için veri güvenliği farkındalığı ve buna yönelik kaynak yatırımlarına ihtiyaç duyulmaktadır.
- Blokzincir altyapıları konusunda uzman seviyede yeterli insan gücüne ihtiyaç duyulmaktadır.

6.5 Uygulama Geliştirme Aşamasında Yaşanan Zorluklar

Tez çalışması esnasında uygulama geliştirme safhasında kaynak kısıtları ve zorluklar ile karşılaşmıştır. Bu zorluklar temelde 3 başlık altında toplanabilir: Bütçe yetersizliği, teknik altyapı yetersizliği, uygulamanın test edilebilmesi için ortam yetersizliği.

Dijital teknolojilere ait fiyatların ülkemiz koşullarında bir hayli yüksek olması ve yazılım geliştirme esnasında danışılan uzman sayısının az olması ve bu çalışmanın herhangi bir destek veya hibe programı kapsamında desteklenememesi finansal zorluklar oluşturmuştur.

Çalışmanın başlangıç hedeflerinde kan ürünlerine ait kalite kriterlerinin transfüzyon merkezi yetkilileri tarafından değil direkt olarak IoT cihazları üzerinden tam otomatik şekilde yapılması yer almaktaydı ancak finansal kısıtlarla bağlantılı olarak bu hedef gerçekleştirilememiştir.

Son olarak, yazılım ürününün test edilebilmesi için örnek bir kurum araştırılmış olsa da ilgi gösteren veya sistem kullanımına izin veren herhangi bir kurum bulunamamıştır. Uygulamanın yazılım testi yapılmış olsa da gerçek hayat uygulaması olarak örnek bir kurumda çalışma yapılamamıştır.

6.6 Gelecek Çalışmalar

Bu çalışma kapsamında sağlık sisteminin önemli konularından kan transfüzyonu operasyonları incelenmiştir. Gelecek çalışmalarda genel sağlık hizmetleri ve sağlık kayıtlarının blokzincir altyapısına taşınması ve veri yönetiminin bu kanal üzerinden sağlanması mümkün olabilir. Elbette bu durumda ağ büyüdükçe, birçok işlem talebi, daha fazla organizasyon ve eşe (peer) ihtiyaç olur. İşlem talebi ve hacim arttıkça daha kompleks sistemler ve işlemleri hızlandırabilmek için daha büyük altyapılara ihtiyaç duyulacaktır.

Kan ürünlerinin hassas olması ve kullanım ömrünün kısa olması sebebiyle stok yönetimi ve ürünlerin izlenebilirliği bir hayli önemlidir. Benzer bir yaklaşım kan bankalarının tedarik işlemlerini optimize etmek için blokzincirin tedarik zinciri yönetiminde kullanımı sağlanabilir. Benzetim modelleriyle birlikte blokzincir altyapısının kullanımı orta ve uzun vadede literatüre ve gerçek hayat uygulamalarına büyük fayda sağlayabilir.

Tedarik zinciri yönetimine ek olarak, IoT cihazlarının (sensör, çip vb.) kullanımıyla birlikte kan ürünlerinin geçtiği her aşama anlık olarak izlenebilir, bu sayede anlık olarak kan ürünleri takip edilebilir. Bu durum, tedarik zinciri yönetiminin daha gelişmiş çözümlerle yönetilmesi ve hizmet kalitesinin artırılmasını sağlayabilir.

Sektörel gelecek çalışmaların yanında tez çalışması kapsamında oluşturulan yazılıma ait geliştirilebilecek özellikler ve yapılabilecek gelecek çalışmalar da mevcuttur. Bunlar 3 farklı başlıkta incelenebilir:

- Arayüz tasarımı ve kullanıcı deneyiminin geliştirilmesi
- IoT cihazlarının entegrasyonu
- İşlem hacmi yüksek, eş zamanlı ve çoklu kullanıma açık bir ortamda geliştirilmesi

Bu çalışmada, finansal ve deneyimsel kısıtlardan dolayı kullanıcı arayüzü tasarımı oldukça basit bir kullanıma yönelik geliştirilmiştir. Kullanıcıların her yazılımda olduğu gibi bu yazılımda da birçok ihtiyacı olacaktır. Örnek vermek gerekirse, kullanıcılar şifrelerini veya kullanıcı isimlerini unutabilir ve bunların hatırlatılması için bir e-postaya ihtiyaç duyabilir. Aynı şekilde, yapılan işlemlere ait özet bilgiler kullanıcıların mailine otomatik bir şekilde gönderilebilir.

Bir başka başlık ise IoT cihazlarının entegrasyonunun sağlanmasıdır. Bu entegrasyonun sağlanması ile birlikte kan ürünlerine ait anlık veriler depolama ve taşıma safhalarında sisteme kaydedilebilir, erişim izni olan personeller tarafından anlık bir şekilde görüntülenebilir. Bu da operasyonel kalitenin artması ve veri şeffaflığının artırılmasına olanak sağlayabilir.

Son olarak, kaynak kısıtlarından dolayı işlem hacmi yüksek, birçok farklı kullanıcının canlı ortamda tanımlandığı ve sistemi kullanabildiği bir ortamda yazılım çalıştırılabilir. Kubernetes gibi altyapıların kullanımıyla local host yerine birçok farklı kullanıcı üzerinden canlı ortama alınabilir, veriler ölçeklendirilebilir ve yönetimi sağlanabilir.

7. KAYNAKLAR

- [1] M. Göray ve S. Peker, Kan ve kan ürünleri hizmetleri yönetimi, *Disiplinlerarası Yenilik Araştırmaları Dergisi*, c. 2, sayı. 1, ss. 15-28, **2022**.
- [2] S. Ördekçi, Kan ve kan transfüzyonları, *Bakırköy Tıp Dergisi*, pp. 113-122, **2006**.
- [3] C. Booth and S. Allard, Blood transfusion, *Medicine*, vol. 45, no. 4, pp. 244–250, **2017**.
- [4] W. H. Organization, *Laboratory quality management system: handbook: World Health Organization*, **2011**.
- [5] K. Pendry, The use of big data in transfusion medicine, *Transfusion Medicine*, vol. 25, no. 3, pp. 129–137, **2015**.
- [6] T.-T. Kuo, H.-E. Kim, and L. Ohno-Machado, Blockchain distributed ledger technologies for biomedical and health care applications, *Journal of the American Medical Informatics Association : JAMIA*, vol. 24, no. 6, pp. 1211–1220, **2017**.
- [7] A. Gupta, Fraud and misconduct in clinical research: A concern, *Perspectives in Clinical Research*, vol. 4, no. 2, p. 144, **2013**.
- [8] S. L. George, and M. Buyse, Data fraud in clinical trials, *Clinical Investigation*, vol. 5, no. 2, pp. 161–173, **2015**.
- [9] T. Nugent, D. Upton, and M. Cimpoesu, Improving data transparency in clinical trials using blockchain smart contracts, *F1000Research*, vol. 5, p. 2541, **2016**.
- [10] S. Nakamoto, *Bitcoin: a Peer-to-Peer Electronic Cash System*, **2008**.
- [11] R. Dennis and G. Owen, Rep on the block: A next generation reputation system based on the blockchain, *2015 10th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST)*, **2015**.
- [12] D. Puthal, N. Malik, S. P. Mohanty, E. Kougianos, and G. Das, Everything You Wanted to Know About the Blockchain: Its Promise, Components, Processes, and Problems, *IEEE Consumer Electronics Magazine*, vol. 7, no. 4, pp. 6–14, **2018**.

- [13] B. Shen, J. Guo, and Y. Yang, MedChain: Efficient Healthcare Data Sharing via Blockchain, Applied Sciences, vol. 9, no. 6, p. 1207, **2019**.
- [14] American Society of Hematology, <https://www.hematology.org/education/patients/blood-basics> (Erişim Tarihi: **27 Ocak 2022**)
- [15] L. T. Goodnough, J. H. Levy, and M. F. Murphy, Concepts of blood transfusion in adults, The Lancet, vol. 381, no. 9880, pp. 1845–1854, **2013**.
- [16] A. Bhatt, Quality of clinical trials: A moving target, Perspectives in Clinical Research, vol. 2, no. 4, p. 124, **2011**.
- [17] Gazi Üniversitesi Hastanesi, Kan Alma Birimi İş Akış Şeması-
https://hastane.gazi.edu.tr/assets/uploads/other/files/is_akis_semalari/Kan_Alma_Birimi_Ak_emas_.pdf (Erişim Tarihi: **1 Şubat 2022**)
- [18] D. R. Wong, S. Bhattacharya, and A. J. Butte, Prototype of running clinical trials in an untrustworthy environment using blockchain, Nature Communications, vol. 10, no. 1, 2019.
- [19] EY, Blockchain in health: How distributed ledgers can improve provider data management and support interoperability, <https://www.hyperledger.org/wp-content/uploads/2016/10/ey-blockchain-in-health.pdf> (Erişim Tarihi: **3 Şubat 2022**)
- [20] F. M. Benčić and I. Podnar Žarko, Distributed Ledger Technology: Blockchain Compared to Directed Acyclic Graph, IEEE Xplore, **2018**.
- [21] S. Doğantekin ve A. Usta, Blockchain 101 v2. İstanbul: Bankalararası Kart Merkezi, **2018**.
- [22] K. N. Khaqqi, J. J. Sikorski, K. Hadinoto, and M. Kraft, Incorporating seller/buyer reputation-based system in blockchain-enabled emission trading application, Applied Energy, vol. 209, pp. 8–19, **2018**.
- [23] D. Mingxiao, M. Xiaofeng, Z. Zhe, W. Xiangwei, and C. Qijun, A review on consensus algorithm of blockchain, 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), **2017**.
- [24] C. Zhang, C. Wu, and X. Wang, Overview of Blockchain Consensus Mechanism, Proceedings of the 2020 2nd International Conference on Big Data Engineering, **2020**.

- [25] A. M. Sánchez Pérez, J. Tarifa Fernández, and S. Cruz Rambaud, Assessing Blockchain Investments through the Learning Option: An Application to the Automotive and Aerospace Industry, *Mathematics*, vol. 8, no. 12, p. 2213, **2020**.
- [26] A. Shahnaz, U. Qamar, and A. Khalid, Using Blockchain for Electronic Health Records, *IEEE Access*, vol. 7, pp. 147782–147795, **2019**.
- [27] X. Li, P. Jiang, T. Chen, X. Luo, and Q. Wen, A survey on the security of blockchain systems,”*Future Generation Computer Systems*, vol. 107, **2017**.
- [28] Q. K. Nguyen, Blockchain- A Financial Technology for Future Sustainable Development, 2016 3rd International Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD), **2016**.
- [29] N. Szabo, The idea of smart contracts, Nick Szabo’s papers and concise tutorials, **1997**.
- [30] Zheng, Z., Xie, S., Dai, H. N., Chen, W., Chen, X., Weng, J., & Imran, M., An overview on smart contracts: Challenges, advances and platforms, *Future Generation Computer Systems*, vol. 105, pp. 475–491, **2020**.
- [31] V. Buterin, A next-generation smart contract and decentralized application platform, White paper, **2014**.
- [32] R. Vatankhah Barenji, A blockchain technology based trust system for cloud manufacturing, *Journal of Intelligent Manufacturing*, **2021**.
- [33] G. Zyskind, O. Nathan, and A. ‘Sandy’ Pentland, Decentralizing Privacy: Using Blockchain to Protect Personal Data, 2015 IEEE Security and Privacy Workshops, **2015**.
- [34] I. A. Omar, R. Jayaraman, K. Salah, M. C. E. Simsekler, I. Yaqoob, and S. Ellahham, Ensuring protocol compliance and data transparency in clinical trials using Blockchain smart contracts, *BMC Medical Research Methodology*, vol. 20, **2020**.
- [35] A. Azaria, A. Ekblaw, T. Vieira, and A. Lippman, MedRec: Using Blockchain for Medical Data Access and Permission Management, 2016 2nd International Conference on Open and Big Data (OBD), **2016**.
- [36] A. Khatoon, A Blockchain-Based Smart Contract System for Healthcare Management, *Electronics*, vol. 9, no. 1, p. 94, **2020**.

- [37] Kim, J. W. Blockchain Technology and Its Applications: Case Studies, Journal of System and Management Sciences, **2020**.
- [38] Türk Kızılay Kan Hizmetleri, Dünya’da ve Türkiye’de Kan Bankacılığı <https://www.kanver.org/sayfa/e-kutuphane/dunyada-ve-turkiye-de-kan-bankaciligi/43> (Erişim Tarihi: **14 Kasım 2021**)
- [39] Resmi Gazete, Kan ve Kan Ürünleri Yönetmeliği. Kan Bağışçılarının Uygunluk Kriterleri. EK-5, 4-12, **2008**.
- [40] Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ulusal Kan ve Kan Bileşenleri Hazırlama, Kullanım ve Kalite Güvencesi Rehberi, Ankara, **2016**.
- [41] . Luna, E. Rhine, M. Myhra, R. Sullivan, and C. S. Kruse, Cyber threats to health information systems: A systematic review, Technology and Health Care: Official Journal of the European Society for Engineering and Medicine, vol. 24, no. 1, pp. 1–9, **2016**.
- [42] T. Hirano et al., Data Validation and Verification Using Blockchain in a Clinical Trial for Breast Cancer: Regulatory Sandbox, Journal of Medical Internet Research, vol. 22, no. 6, p. e18938, **2020**.
- [43] B. Gökteş et al., Türkiye’de Sağlık Bilgi Sistemleri Üzerine Bir Araştırma, Ankara Sağlık Bilimleri Dergisi, vol. 6, no. 1, pp. 125–138, **2017**.
- [44] V.Sönmez, Kan Bankası İş Gücü Planlamasında Benzetim Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2009**.
- [45] A. Kosba, A. Miller, E. Shi, Z. Wen, and C. Papamanthou, Hawk: The Blockchain Model of Cryptography and Privacy-Preserving Smart Contracts, 2016 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP), **2016**.
- [46] M. R. Biktimirov, A. V. Domashev, P. A. Cherkashin, and A. Yu. Shcherbakov, Blockchain Technology: Universal Structure and Requirements, Automatic Documentation and Mathematical Linguistics, vol. 51, no. 6, pp. 235–238, **2017**.
- [47] M. Brandenburger, C. Cachin, R. Kapitza, and A. Sorniotti, Blockchain and Trusted Computing: Problems, Pitfalls, and a Solution for Hyperledger Fabric, arXiv:1805.08541 [cs] (Erişim Tarihi: **14 Kasım 2021**)

- [48] C. Ge, Z. Liu, and L. Fang, A blockchain based decentralized data security mechanism for the Internet of Things, *Journal of Parallel and Distributed Computing*, vol. 141, pp. 1–9, **2020**.
- [49] A. M. Saghiri, *Blockchain Architecture*, *Studies in Big Data*, pp. 161–176, **2019**.
- [50] T. Ali Syed, A. Alzahrani, S. Jan, M. S. Siddiqui, A. Nadeem, and T. Alghamdi, A Comparative Analysis of Blockchain Architecture and its Applications: Problems and Recommendations, *IEEE Access*, vol. 7, pp. 176838–176869, **2019**.
- [51] L. Ismail and H. Materwala, Article A Review of Blockchain Architecture and Consensus Protocols: Use Cases, Challenges, and Solutions, *Symmetry*, vol. 11, no. 10, p. 1198, **2019**.
- [52] Z. Zheng, S. Xie, H. Dai, X. Chen, and H. Wang, An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends, 2017 IEEE International Congress on Big Data (BigData Congress), **2017**.
- [53] B. Lashkari and P. Musilek, A Comprehensive Review of Blockchain Consensus Mechanisms, *IEEE Access*, vol. 9, pp. 43620–43652, **2021**.
- [54] L. M. Bach, B. Mihaljevic, and M. Zagar, Comparative analysis of blockchain consensus algorithms, *IEEE Xplore*, **2018**.
- [55] S. King, S. Nadal, Ppcoin: Peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake. Self-published paper, **2012**.
- [56] H. Sukhwani, J. M. Martínez, X. Chang, K. S. Trivedi, and A. Rindos, Performance Modeling of PBFT Consensus Process for Permissioned Blockchain Network (Hyperledger Fabric), *IEEE Xplore*, **2017**.
- [57] R. Tonelli, A. Pinna, G. Baralla, and S. Ibba, Ethereum smart contracts as blockchain-oriented microservices, *Proceedings of the 19th International Conference on Agile Software Development: Companion*, **2018**.
- [58] S. Wang, Y. Yuan, X. Wang, J. Li, R. Qin, and F.-Y. Wang, An Overview of Smart Contract: Architecture, Applications, and Future Trends, 2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), **2018**.

- [59] B. K. Mohanta, S. S. Panda, and D. Jena, An Overview of Smart Contract and Use Cases in Blockchain Technology, 2018 9th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT), **2018**.
- [60] D. Macrinici, C. Cartofeanu, and S. Gao, Smart contract applications within blockchain technology: A systematic mapping study, Telematics and Informatics, vol. 35, no. 8, pp. 2337–2354, **2018**.
- [61] M. Dabbagh, M. Kakavand, M. Tahir, and A. Amphawan, Performance Analysis of Blockchain Platforms: Empirical Evaluation of Hyperledger Fabric and Ethereum, 2020 IEEE 2nd International Conference on Artificial Intelligence in Engineering and Technology (IICAIET), **2020**.
- [62] N. Atzei, M. Bartoletti, and T. Cimoli, A Survey of Attacks on Ethereum Smart Contracts (SoK), Lecture Notes in Computer Science, pp. 164–186, **2017**.
- [63]. M. Kuzlu, M. Pipattanasomporn, L. Gurses, and S. Rahman, Performance Analysis of a Hyperledger Fabric Blockchain Framework: Throughput, Latency and Scalability, IEEE Xplore, **2019**.
- [64] Hyperledger Linux Foundation, Hyperledger Fabric-Peers <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.2/peers/peers.html> (Erişim Tarihi: **3 Mart 2022**)
- [65] Y. Hao, Y. Li, X. Dong, L. Fang, and P. Chen, Performance Analysis of Consensus Algorithm in Private Blockchain, IEEE Xplore, **2018**.
- [66] C. Anderson, Docker [Software engineering], IEEE Software, vol. 32, no. 3, pp. 102-c3, **2015**.
- [67] Kan Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Kan Hizmetleri Genel Müdürlüğü 2020 <https://www.kanver.org/Upload/Dokuman/Dosya/khgmweb-2020-12-08-2021-62161230.pdf> (Erişim Tarihi: **6 Haziran 2022**)
- [68] Türk Kızılay, 2021 Faaliyet Raporu <https://www.kizilay.org.tr/Upload/Dokuman/Dosya/turk-kizilay-2021-faaliyet-raporu-11-05-2022-98842565.pdf> (Erişim Tarihi: **6 Haziran 2022**)
- [69] Amazon Web Services, AWS Pricing Calculator <https://calculator.aws/#/createCalculator/ManagedBlockchain> (Erişim Tarihi: **3 Haziran 2022**)

[70] IBM Blockchain Platform for IBM Cloud, Detailed Pricing Scenarios

<https://cloud.ibm.com/docs/blockchain?topic=blockchain-ibp-detailed-pricing> (Erişim Tarihi: **4 Haziran 2022**)