

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENTSEL RAYLI SİSTEM PROJELERİ ÖZELİNDE
BİM VE AKILLI SÖZLEŞME ENTEGRASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Uğur ÇELİK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

MAYIS 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENTSEL RAYLI SİSTEM PROJELERİ ÖZELİNDE
BİM VE AKILLI SÖZLEŞME ENTEGRASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Uğur ÇELİK
501161416**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Pelin ALPKÖKİN

MAYIS 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501161416 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Uğur ÇELİK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “Kentsel Raylı Sistem Projeleri Özelinde BIM ve Akıllı Sözleşme Entegrasyonu”başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Pelin ALPKÖKİN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Hüseyin Onur TEZCAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Zeynep IŞIK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 06 Mart 2020
Savunma Tarihi : 01 Mayıs 2020



Son nefesine kadar mücadeleye eden kedim Arwen'e,



ÖNSÖZ

Dünya hızlı bir değişim içerisinde ve bu değişimin bir parçası olarak inşaat sektöründe de hızlı bir inovasyon devam etmekte. Bu inovasyonun en önemli ayağı olan BIM sektörde yeni ufuklara imkân tanımakta, sektörün geri kalmış yapısına ve verimsizleşen iş yapış şekillerine karşı şeffaflık ve işbirliği stratejisi temelinde bir süreç yönetimi sunmaktadır. Ancak bu şeffaflığın tam olarak sağlanabilmesi yeni teknolojilerle işbirliği ile olacaktır. Özellikle yolsuzluk ve kayıt dışılık ile birlikte kişilerin ve firmaların kendi çıkarlarını gözeterek yaptıkları işler ve uzun süren prosedürler sektörde ve küresel ekonomide derin yaralar açmaktadır. Bu çalışmada akıllı sözleşmeler ve BIM'in entegrasyonu ile inşaat sektöründe yaşanan sorunlara çözüm önerisi sunma ve sektörün dijitalleşmesine katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Çalışmam boyunca beni hiç yalnız bırakmayan ve değerli hukuki bilgileriyle yardımlarını esirgemeyen sevgili eşim Av. Pınar Başman Çelik'e, her zaman derin bilgileriyle desteğini benden esirgemeyen, çalışmam ve yüksek lisans eğitimim boyunca yanımda olan, gerekli araştırmaları yapmam konusunda beni yönlendiren tez danışmanım, çok değerli ve sevgili hocam Doç. Dr. Pelin Alpkökin'e teşekkürü borç bilirim.

Eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olan, yol göstericim abim Çağrı Çelik ve her zaman destekleriyle yanımda hissettiğim annem Zuhale Çelik ve babam Mustafa Çelik'e minnet duygularımı ifade etmek isterim. Son olarak tüm benlikleriyle her zaman yanımda olan köpeğim Leia ve kedim Ceku'ya manevi destekleri için teşekkür eder, tezi hazırlama sürecinde kaybettiğimiz güzel kedim Arwen'i özlemle anarım.

Herkese sonsuz teşekkür ederim.

Mart 2020

Uğur ÇELİK
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1.GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	1
2. YAPI BİLGİ MODELLEMESİ (BUILDING INFORMATION MODELLING).....	7
2.1 Yapı Bilgi Modellemesi (Building Information Modelling - BIM) Kavramı....	7
2.1.1 Literatürde BIM tanımları	8
2.1.2 Ortak veri ortamı	12
2.1.3 Nesne tabanlı parametrik modelleme.....	14
2.1.3.1 Akıllı nesne kavramı	15
2.1.3.2 Federe model kavramı.....	15
2.1.3.3 Veri ambarı olarak BIM modeli	16
2.2 BIM'in kullanım alanları.....	17
2.2.1 3D modelleme	17
2.2.1.1 BIM koordinasyon	19
2.2.1.2 Çakışma tespiti	21
2.2.2 4D: Model bazlı planlama ve ilerleme takibi.....	22
2.2.3 5D: Model bazlı metraj, maliyet tahmini ve bütçe.....	24
2.2.4 6D Sürdürülebilirlik	26
2.3 BIM Kullanımının İnşaat Sektörüne Getirdiği Faydalar.....	28
2.3.1 İhale ve teklif aşamasında beklenen faydalar	31
2.3.2 Tasarım aşamasında beklenen faydalar.....	32
2.3.3 Yapım aşamasında beklenen faydalar.....	33
2.4 İnşaat Sözleşmeleri ve İnşaat Sözleşmelerinde BIM'in Uygulanmasına İlişkin Hükümler	34
2.4.1 Türk Hukukunda sözleşme kavramı	34
2.4.2 İnşaat sözleşmelerinin hukuki niteliği.....	38
2.4.3 İnşaat sözleşmelerinde BIM'in kapsamı	40
3. BLOKZİNCİR VE AKILLI SÖZLEŞMELER	47
3.1 Akıllı Sözleşme Kavramı	49
3.1.1 Blokzincir.....	49
3.1.1.1 Blok.....	52
3.1.1.2 Kriptografik özet (Hash) ve özet fonksiyonları	52
3.1.1.3 Merkle ağaç papısı (Merkle Tree).....	53
3.1.1.4 Şifreleme	54
3.1.1.5 Mutabakat algoritmaları	55

3.1.1.6 İşlemler (Transactions).....	58
3.1.1.7 Blokzincir türleri	58
3.1.2 Akıllı sözleşme tanımı ve temel unsurları.....	60
3.1.3 Akıllı sözleşme uygulama alanları	64
3.1.4 Akıllı sözleşme politikaları ve stratejileri	65
3.1.5 Akıllı sözleşme uygulamaları.....	66
3.1.5.1 Dijital kimlik uygulaması.....	66
3.1.5.2 Tedarik zincirinde akıllı sözleşme uygulanmasına yönelik örnek çalışma	68
3.1.5.3 Sağlık sektöründe akıllı sözleşme uygulanmasına yönelik örnek çalışma	69
4. BIM, BLOKZİNCİR ve AKILLI SÖZLEŞME ENTEGRASYONU	71
4.1 BIM, Blokzincir ve Akıllı Sözleşmenin Dayandığı Temeller Bakımından Ortak Yönleri	72
4.2 BIM, Blokzincir ve Akıllı Sözleşme Entegrasyonun İnşaat Sektöründe Uygulanması ile Hedeflenen Faydalar ve Kullanım Alanları.....	74
4.3 BIM ve Akıllı Sözleşme Entegrasyonunun İnşaat Sektöründe Uygulanmasına Yönelik Örnek İş Akış Modeli.....	85
4.3.1 Blokzincir ağının seçilmesi ve mutabakat protokolü	87
4.3.2 İş akış modeli	89
4.3.3 BIM modellerinin blokzincir ağına dâhil edilmesi	91
4.3.4 Akıllı nesnelerin sistem içerisindeki yeri	92
4.3.5 BIM, blokzincir ve akıllı sözleşme entegrasyonu akış şeması.....	94
5. KENTSEL RAYLI SİSTEM PROJELERİ ÖZELİNDE BIM VE AKILLI SÖZLEŞME ENTEGRASYONU	97
5.1 Kentsel Raylı Sistem Projelerinin Genel Özellikleri.....	97
5.2 Dünyada ve Ülkemizde Kentsel Raylı Sistem Projelerinin Yeri ve Önemi...	100
5.3 Kentsel Raylı Sistem Projelerinde Karşılaşılan Riskler	105
5.4 Kentsel Raylı Sistem Projeleri Özelinde BIM ve Akıllı Sözleşme Entegrasyonu	111
5.4.1 Fizibilite raporlarının hazırlanmasında BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu	113
5.4.2 Tasarım aşamasında BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu.....	116
5.4.3 İhale sürecinde BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu	119
5.4.4 Personel mesleki yeterliklerinin akıllı sözleşmeler ile değerlendirilmesi	122
5.4.5 Malzeme onaylarında BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu.....	125
5.4.6 Tedarik sürecinde BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu.....	127
5.4.7 İmalat sürecinde BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu.....	130
5.4.8 Çevre yapı deplasmanlarının izlenmesinde BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu	132
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	135
KAYNAKLAR.....	141
ÖZGEÇMİŞ.....	157

KISALTMALAR

BIM	: Building Information Modelling
AIA	: The American Institute of Architects
CAD	: Computer Aided Design
bsi	: The British Standards Institution
NBS	: National BIM Standarts
CDE	: Common Data Environment
IC	: Information Container
PIM	: Project Information Model
AIM	: Asset Information Model
DIKW	: Data, Information, Knowledge and Wisdom
WBS	: Work Breakdown Structure
CO	: Change Order
RFI	: Request for Information
TBK	: Türk Borçlar Kanunu
KİK	: Kamu İhale Kanunu
AGC	: Associated General Contractor of America
CIC	: Construction Industry Council
JCT	: Joint Contracts Tribunal
ATM	: Automatic Teller Machine
TMK	: Türk Medeni Kanunu
TDK	: Türk Dil Kurumu
CPU	: Central Processing Unit
PoW	: Proof of Work
PoS	: Proof of Stake
PBFT	: Practical Byzantine Fault Tolerance
PWC	: Price Waterhouse Coopers
PoC	: Proof of Concept
IoT	: Internet of Things
AI	: Artificial Intelligence

ML : Machine Learning
MIT : Massachusetts Institute of Technology
TBM :Tunnel Boring Machine
GPS : Global Positioning System



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Akıllı sözleşmelerin inşaat projelerine getireceği faydalar [131].	76
Çizelge 5.1 : İnşaat projelerini etkileyen temel riskler ve etkileri.	106
Çizelge 5.2 : Ulaşım altyapı projelerinde karşılaşılan riskler.	107
Çizelge 5.3 : Kentsel raylı sistem projelerinde karşılaşılan risklerin sınıflandırılması.	108



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Paul Baran Diyagramı [92].....	51
Şekil 3.2 : Hashing (Özetleme) işlem yapısı.	53
Şekil 3.3 : Merkle Ağaç Yapısı [92].....	54
Şekil 3.4 : Simetrik şifreleme [92].....	54
Şekil 3.5 : Asimetrik şifreleme [92].	55
Şekil 3.6 : Türkiye dağıtık kimlik çalışması şeması [123].	67
Şekil 4.1 : Tasarım ve proje işbirliğinde Blokzincir [131].	78
Şekil 4.2 : Kalite kontrol aşamasının akıllı sözleşmeler ile yürütülmesi [131].	79
Şekil 4.3 : Ham madde tedarikinde akıllı sözleşme [131].	79
Şekil 4.4 : BIM, akıllı sözleşme ve Blokzincir konsept modeli [131].....	80
Şekil 4.5 : Saha imalatlarının kontrolünde akıllı sözleşme ve BIM kullanımı [131].	81
Şekil 4.6 : CDE ağ yapısı.....	86
Şekil 4.7 : Blokzincir tabanlı dağıtık defter yapısı.	87
Şekil 4.8 : Kullanıcı tanımlı BIM ve akıllı sözleşme iş akış modeli.	89
Şekil 4.9 : BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonunun temel iş akış modeli.	91
Şekil 4.10 : BIM modellerinin proje yaşam döngüsü boyunca Blokzincir ağında akıllı sözleşme ile entegrasyonu.....	92
Şekil 4.11 : Akıllı nesneler aracılığı ile imalat süreçlerinde BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu.....	93
Şekil 4.12 : BIM, akıllı sözleşme ve Blokzincir akış şeması.	95
Şekil 5.1 : Kentsel raylı sistem projelerinin etkileşimde olduğu kurum ve kuruluşlar	99
Şekil 5.2 : Dünya nüfus artış eğrisi [143].	100
Şekil 5.3 : 1960-2017 yılları arası kentlerde yaşayan insanların toplam nüfusa oranı [144].	101
Şekil 5.4 : Kentsel alan nüfus yoğunluğunun yıllara göre değişimi [144].	102
Şekil 5.5 : 2019 yılı İstanbul metro ağı [149].	103
Şekil 5.6 : Kentsel raylı sistem projelerinde risk faktörleri [139].	108
Şekil 5.7 : Fizibilite raporlarının hazırlanmasında BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu.	115
Şekil 5.8 : İhale sürecinde BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu akış şeması.....	120
Şekil 5.9 : Personel mesleki yeterliklerinin akıllı sözleşmeler ile değerlendirilmesi.	124
Şekil 5.10 : Malzeme onaylarında BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu.....	126
Şekil 5.11 : Tedarik süreçlerinin yönetiminde BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu	129
Şekil 5.12 : TBM imalatları için iş akışı.....	130
Şekil 5.13 : Aç-kapa istasyon kazı destek imalatları için iş akışı.....	131
Şekil 5.14 : Çevre yapı deplasmanlarının izlenmesinde BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu.....	133



KENTSEL RAYLI SİSTEM PROJELERİ ÖZELİNDE BIM VE AKILLI SÖZLEŞME ENTEGRASYONU

ÖZET

İnsanlık tarihi boyunca ulaştırma yapıları toplumların sosyal ve ekonomik hayatlarını şekillendiren ana unsurlardan olmuştur. Uygarlığın gelişmesinde, devletlerin kurulmasında, savaşlarda, küresel ticarete, yani globalleşen dünyanın oluşmasında ulaştırma yapıları lokomotif görevini üstlenmiştir. Bu değişimi sağlayan en temel ulaşım yapısı ise 19 yy 'da hızla gelişmeye başlayan demiryollarıdır.

Demiryolları önce şehirleri sonra ülkeleri ve hatta kıtaları birbirine bağlayarak kültürlerin hızla yayılmasını sağlamıştır. Zamanla devlet yapıları değişmiş, ekonomi globalleşmiş ve metropoller oluşmaya başlamıştır. Metropollerin git gide artan nüfusu beraberinde ulaşım sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Ulaşım problemlerinin çözümünde de demiryolları hızlı, güvenilir ve çevreci yapısı ile ulaşım master planlarında ilk sırada yer almıştır.

20.yy ve 21 yy. kentsel raylı sistemlerin hızla gelişimine şahit olmuş ancak hala raylı sistem ihtiyacı birçok metropolde devam etmektedir. Bu kapsamda devletler raylı sistem yatırımlarına hızla devam etmektedir. Ancak sektörün içinde bulunduğu dijitalleşme eksikliği ve verimsizlik raylı sistem inşaatlarında da süregelmektedir. Projeler zamanında tamamlanamamakta ve ek maliyetler ortaya çıkmaktadır. Sektör temsilcileri ve hükümetler bu sorunların üstesinden gelmek için Building Information Modelling ile süreçlerini yürütmeyi tercih etmekte ve politikalarını bu yönde şekillendirmektedir.

BIM, inşaat sektörüne işbirliğine dayalı, şeffaf, tüm paydaşların sorumluluğu paylaştığı veri odaklı çözümler üretirken, yeni nesil teknolojilerle adapte olarak sektörün sorunlarına kalıcı çözümler üretmekte ve bu çözümlerin sisteme dâhil olabileceği politikalar belirlenmektedir.

Bu tez kapsamında BIM ile sözleşme edimlerinin yerine gelmesi ile otomatik olarak sözleşme maddelerinin uygulandığı programlanabilir akıllı sözleşmelerin entegre edilmesine yönelik bir öneri sunulmakta olup, inşaat sektörünün devam eden sorunlarına karşı geliştirilebilecek uygulamalar kentsel raylı sistem projeleri üzerinden ele alınacaktır. Akıllı sözleşmelerin temelini oluşturan Blokzincir ağı ile BIM süreçlerinin entegrasyonu tüm inşaat aşamalarının güvenilir, şeffaf ve işbirliğine dayalı dijital platformda yürütülmesini sağlayacak ve akıllı sözleşmeler ise süreçlerin otomatik bir şekilde algoritmalarla yürütülmesine olanak sağlayacaktır. BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu ile kentsel raylı sistem projelerinde verimin yükseleceği, maliyet ve zaman kayıplarının azalacağı, insan odaklı hataların ve kötü niyetli yaklaşımların azalacağı, tüm süreçlerin kayıt altına alındığı bir proje yönetim anlayışıyla projelerin yürütüleceği savunulmaktadır. Bu çalışma teorinin teknik altyapısına yönelik öneriler ve çözümler üretmek amacıyla yapılmış olup, ileride yapılacak çalışmalar için bir kaynak olması hedeflenmektedir.



INTEGRATION OF BIM AND SMART CONTRACT FOR URBAN RAIL SYSTEM PROJECTS

SUMMARY

Throughout the history of mankind, transportation structures have been one of the main factors shaping the social and economic lives of societies. In the development of civilization, the establishment of states, wars, global trade, that is, the formation of a globalizing world, transport structures assumed the role of locomotive. The most fundamental transportation structure that enables this change is the railways which started to develop rapidly in the 19th century.

Railways connected the cities initially, then it connected the countries and even continents, and provided cultures to spread rapidly. Over time, the state structures changed, the economy became globalized and metropolises began to form. The growing population of metropolitan areas has brought along transportation problems. Railways have taken the first place in transportation master plans with its fast, reliable and environment-friendly structure as a solution of transportation problems. The 20th century and the 21st century have witnessed the rapid development of urban rail systems, but the need for rail systems continues in many metropolises. In this context, governments are continuing their investments in rail system rapidly.

The institutions running the urban rail system projects face many problems. The most common problems are planning routes without feasibility conducted independently or without conducting any feasibility, incomplete or incorrect designs at the tender stage, inadequate geotechnical parameters, inadequate company experience, construction method changes, interaction with surrounding structures, archaeological excavations, compatibility between equipment, coordination, relations with third parties, deviations in cost and time targets. To overcome all these problems, projects need to be managed with a corporate management approach. The organization that undertakes the work should consist of professional people who are independent from political influences and has the principles to manage urban rail system projects to make preliminary design and technical analysis; to prepare the project management plan, technical specifications, quality level, security standards and budget; to conduct contract audit; to create financial resources; to ensure coordination between stakeholders; to carry out expropriation and land use processes.

As a result, the adequate management of urban rail system projects, that directly affect the public during the construction phase and are made for public benefit purposes during the operation phase, is of great importance for the development of the city and the welfare of the people living in the city. This is one of the main reasons for the study to focus on urban rail systems.

In the literature review conducted within the scope of the study, the main problems encountered in urban rail system projects are identified and researches on technological developments and digitalization trend have been carried out in order to produce solutions to the problems experienced. As a result of the research, the concepts

of Building Information Modelling (BIM) and Smart Contract were focused on. Research has been done on the current use of these technologies and its development. Professionals and governments prefer to carry out their processes with BIM to overcome the problems encountered in urban rail system projects and it is seen that their policies are shaped in this direction. BIM is a data-oriented thinking and management approach that digitalises all processes of a building throughout its life cycle and develops in parallel with technology. BIM, which has become widespread in our country also, is being implemented in many metro projects run by public institutions. However, problems remain in the implementation of BIM in all processes of the projects and it is still in the development phase.

While BIM produces collaborative, transparent, data-oriented solutions for all construction partners, it creates permanent solutions to the problems of the sector by adapting to new generation technologies, and policies are determined by public authorities that these solutions can be included in the system. BIM can be described as a big step towards digitalization of the sector; however, it would be proper to think of this step as a beginning. In this context, UK BIM Level 3 studies aim to develop a new open data standard that enables easy sharing of data in the entire market, including building materials industrialists. It is expected to be an open data target and the way to achieve automation in construction, that is, to achieve the BIM Level 3 goal, is Smart Contract, which controls self-contractual performance and enables automatic implementation of the results determined in the contract, and Blockchain technology, which is trusted by cryptographic passwords.

Within the scope of this thesis, a proposal is made for the integration of programmable smart contracts which automatically apply the contract clauses with the fulfilment of the contract with BIM. The applications that can be developed against the ongoing problems of the construction sector are examined through an urban rail system project. The integration of BIM processes with Blockchain network, which forms the basis of smart contracts, will ensure that all construction phases are carried out on a reliable, transparent and collaborative digital platform, and smart contracts will enable the processes to be executed with algorithms automatically. It is argued that with the integration of BIM and smart contract, efficiency in urban rail system projects will increase, costs and time losses will decrease, the causes of conflict will be resolved, human-oriented errors and malicious approaches will be reduced, and projects will be carried out more efficiently with a project management approach where all processes are recorded.

The processes established with the core philosophy of the implementation of urban rail system projects by decentralized, autonomous organizations with Smart Contract and BIM integration are defined in the scope of the thesis. In the defined process, a city where smart contract protocols are used is discussed. These defined protocols form a decentralized autonomous organization that takes part in the city administration according to pre-coded rules, using the BIM models that make up the digital twin of the city with live data from every point of the city. This organization, which is among the decision-makers of the city, evaluates alternative solutions by detecting the transportation problem in line with the data received from different data sources in the blockchain network. Within this system, in which city residents play an active role in the decisions taken, it is among the data affecting the decision of the autonomous organization in all requests, suggestions and complaints. Thus, the city is managed with a participatory, transparent system in which all the stakeholders of the city play an active role, instead of the system that is managed only according to the decisions taken by the person or persons who are given administrative authority.

The study was carried out based on the above-mentioned problems and other problems encountered in practice. Most of the problems experienced can be solved by computer and can be controlled by automatic systems. With the implementation of BIM and Smart Contract Integration in urban rail system projects, infrastructure will be established for the studies to be carried out for the execution of processes with design-to-business algorithms. The outputs aimed with the suggestions presented in this study, preventing shadow economy, corruption and waste in the construction industry, improving the supply processes, tackling the difficulties caused by urban construction sites, resolving the problems related to ground uncertainties, preventing damages arising from interaction with surrounding structures, reducing conflicts and preventing timeouts cost increases. The autonomous organization manages the entire life cycle of the urban rail system project in line with the described protocols, minimizes the risks that may be encountered and ensures the continuous improvement of the system with the data it accumulates in all these processes.

This study aims to be a road map for public and private institutions who want to increase their resources and efficiency, and academicians who want to research on BIM and smart contract technologies, that are not yet mature enough in our country and not received the necessary importance in government policies and industry.



1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Günümüz medeniyeti oluşturan unsurlar insanoğlunun yerleşik hayata geçmesi ile oluşmuştur. Arkeolojik çalışmalar insanlığın tarihine ve modernleşme sürecine ışık tutarken bir yandan da kentleşmenin temellerini anlamamızı sağlamaktadır. Yaptıkları yapılar ile gelişimin en büyük kahramanları kuşkusuz dönemin mühendisleridir. Topluluk halinde yaşamaya başlayan insanların devletleşme adımları yine mühendislik yapıları ile atılmıştır. Neolitik çağdan günümüze devletlerin gelişmişlikleri şehirlerin modernliği ile paralel ilerlemiştir. Antik çağdaki zamanın modern şehirlerindeki çalışmalar günümüz bilimine ve sosyal hayatına öncü olmuştur.

Neolitik Çağ'a ait Çayönü ve Göbeklitepe kazıları gittikçe karmaşık yapılar yapan insanoğlunun ilk örneklerini bizlere sunmaktadır. Çayönü kazılarında M.Ö. 10.200'e dayanan yapılara rastlanılmıştır. Yapıların her bir dönem git gide geliştiği arkeologlar tarafından söylenmekte olup, bu yapılar arasında iki katlı yapılar, meydan, kutsal yapıları, sosyal alanlar ve pazar yeri gibi birçok modern çağın kullanımının temellerini oluşturan yapılar vardır [1]. Yaklaşık 12 bin yıllık geçmişi olan Neolitik Çağ'dan günümüze gelen Göbeklitepe ise bize ilk ticaret amaçlı kurulan yapıları göstermektedir. İnsanoğlunun bilinen en eski yerleşim yeri olan Göbeklitepe; dönemin mühendislerinin eserleri ile medeniyetin ilk taşlarını oluşturmuştur [2].

1900'lü yıllarında başlarında değişen dünya konjonktürü inşaat sektörünün altın çağını başlatmıştır. İnşaat sektörü, artan nüfus ve enerji ihtiyacı ile hızla büyümüş, modern şehirler mühendislerin mega yapıları ile şekillenmiştir. 21. yüzyılın başlarında bilişim sektörünün hızlı yükselişi ile tüm sektörlerde dijital dönüşüm sayesinde gelişim her alanda git gide hızlanmıştır. Ancak inşaat sektörü bu dönüşüm karşısında çağa ayak uyduramamış ve teknolojinin geri kalmış endüstrisi olarak kalmıştır. McKinsey&Company'nin araştırmasına göre dijitalleşmede inşaat sektörü tarım ve hayvancılığın arkasında sonuncu sırada yer almaktadır [3].

4. Sanayi Devrimi (Endüstri 4.0) ile fabrikalar otomasyon sistemleri, veri analizleri ve yeni nesil üretim teknolojileriyle yeniden şekillenirken ve verimli iş modelleri ortaya çıkartırken inşaat sektörü modern çağda sorun olarak nitelendirilemeyecek problemlerle karşı karşıya gelmektedir. Bu da kuşkusuz yapılan işlerdeki verimi düşürmekte zamanında teslim edilemeyen ve maliyetin üstünde tamamlanan milyarlarca liralık yatırımlara sebep olmaktadır.

Uzun yıllar teknoloji noksanlığı içerisinde kaybolan ve verimsizleşen inşaat sektörünün yüksek bütçeli ve ekonomik konjonktürde büyük yer tutması bu verimsizliğin dünya ekonomisine büyük bir yük olarak yansımaya hatta bazı ülkelerde büyük krizlere neden olduğu görülmüştür [4].

Küresel ekonominin lokomotiflerinden olan inşaat sektörünün dijitalleşme yolunda en büyük adımı Yapı Bilgi Modellemesi (Building Information Modelling-BIM) olmuştur. BIM ile inşaat sektörünün yapımdan işletmeye tüm süreçleri dijital bir ikiz üzerinden yürütülmektedir. Bu dijital ikiz yapının geçirdiği her aşamasında ürettiği tüm verileri ortak bir veri ortamında toplanması ve yönetilmesini sağlamaktadır. Dijital ikizler yapının üç boyutlu zenginleştirilmiş görsel öğelere sahip akıllı parametrik objelerin bir araya gelmesinden oluşan akıllı modellerdir. Her bir akıllı obje temsil ettiği varlığın tüm özelliklerini içerebilmekte, bunları anlamlı veriler halinde depolamaktadır. Yani BIM'i bir veri modeli olarak tanımlamak doğru bir yaklaşım olacaktır. Ama bununla sınırlı bırakmak BIM'in etki ettiği alanı azaltmak anlamına gelmektedir. BIM sadece bir modelleme veya tasarım aracı değil ayrıca yeni bir düşünme yönteminin uygulanmasıdır. Bu düşünme yöntemi, tüm disiplinler ve paydaşlar arasında işbirliği stratejisinin benimsendiği şeffaf ve açık veriye dayalı bir sistem felsefesi üzerine kurulmaktadır. Bu felsefenin teknolojik altyapısını oluşturan temel öğeler veri zengini akıllı objelerden oluşan programlanabilir modeller ve bu modellerin herkes tarafından erişilebilir kılan ortak veri ortamıdır.

BIM'in hızlı gelişimini tetikleyen en önemli etkenlerden birinin teknolojinin üssel ilerlemesi olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Ancak en önemli tetikleyici ülkelerin ulusal inşaat politikalarını bu çerçevede şekillendirmesidir. Özellikle İngiltere'nin BIM Level 2 hedefleri ve bunun için yaptığı çalışmalar sektörün hızla ilerlemesinde büyük bir tetikleyici olmuştur. BIM Level 2 bir yapının tüm yaşam döngüsü boyunca oluşturulan ortak bir veri ortamında bilgi alışverişi standartlarına göre BIM modelleri aracılığı ile sağlanması amacıyla ortaya atılmış ve büyük oranda başarılı olmuştur [5].

İngiltere BIM Level 3 ile verilerin tüm pazarda, inşaat malzemeleri sanayicileri dâhil, kolayca paylaşılmasını sağlayan yeni açık veri standardı geliştirilmesi amaçlanmaktadır [6]. Bu sayede üretilen tüm veriler aynı ortamda transfer edilmeden, değiştirilmeden işbirliğine dayalı çalışmayı teşvik edici şekilde yönetilecektir. Bu kesintisiz uçtan uca ekonomik sistem hedefi sektörün alışagelmış birçok alışkanlığını kökten değiştireceği gibi ülkelerin ve şirketlerin iş yapış kültürlerinde radikal yeniliklere beraberinde getirecek, her geçen gün daha da yaygınlaşan yeni nesil teknolojilerin kullanımını daha da arttıracaktır. Drone, lazer tarama, 3D yazıcı, robotik teknolojiler, nesnelerin interneti, bulut, yapay zekâ, makine öğrenmesi, iş zekâsı sistemleri gibi 21. yüzyılın getirdiği teknolojik imkânlar yapıların veya tesislerin tasarımdan işletmeye kadar tüm süreçlerinde aktif olarak kullanılmaya başlanmış ve git gide yaygınlaşmaktadır [7,8].

Peki, Level 3 nasıl uygulanacak? Mevcut sözleşmeler bu sisteme uygun mu? Hukuk sisteminde ne gibi değişikliklere ihtiyacımız var? Bu sorular henüz tam olarak yanıt bulamamıştır. Ancak BIM Level 3'ün ana hedefleri açık ve nettir. Birleşik Krallık BIM Level 3 hedefi sadece İngiltere'de değil tüm dünyada köklü değişiklikler yaratacaktır. BIM Level 3 hedefinin temelini oluşturan açık veri hedefi ve inşaat otomasyonunun nasıl gerçekleşebileceğine yönelik çalışmalar devam etmektedir. Açık veri hedefi ve inşaat otomasyonunun sağlanmasının yani BIM Level 3 hedefine ulaşmanın yolu, kendi kendine sözleşme edimlerinin yerine getirilmesini denetleyen ve sözleşmede belirlenen sonuçların otomatik uygulanmasına olanak sağlayan Akıllı Sözleşme (Smart Contract) ve kriptografik şifrelerle güvenilir kılınan Blokzincir (Blockchain) teknolojisi olması beklenmektedir [9,10].

Ülkemizde ve dünyada BIM'in gelişiminde kentsel raylı sistem projeleri önemli bir yer tutmuştur. Londra'nın en uzun metro projelerinden olan ve BIM ile yürütülen Cross Rail BIM standartlarının oluşturulmasında kaynak teşkil etmiştir. Ülkemizde ise İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin yürütmekte olduğu metro projeleri 2015'den itibaren BIM'in Türkiye'de gelişiminde önemli bir misyon edinmiştir. Kentsel raylı sistem projelerinin multidisipliner yapısı ve yaşanan problemlerin kapsamı BIM'den elde edilecek faydaların artmasını sağlamaktadır. Bu durum kentsel raylı sistem projelerinin BIM'de öncü olmasında önemli bir etkidir.

Çalışmanın, kentsel raylı sistem projeleri odaklı olmasının temel sebeplerinden biri yukarıda açıklanmış olmakla birlikte; odak noktası BIM ve Akıllı Sözleşme Entegrasyonu ile kentsel raylı sistem projelerinde yaşanan sorunlara çözüm getirmektir. Ülkemizde ve dünyada sık sık karşılaşılan ve dünya kaynaklarının verimsiz kullanımına sebep olan bazı yaklaşımlar ne yazık ki kentsel raylı sistem projelerinde günümüzde hala devam etmektedir. Bu problemlere örnek; mühendislik hesaplarından uzak, belirli kesimlere rant sağlama amaçlı halkın ihtiyaçlarını göz önüne almayan yaklaşımla belirlenen güzergahlar, istasyon ve çıkış yapıları, tasarımların ihale aşamasından hatalı ve/veya eksik yapılması ve bunun neticesinde yapım sırasında revize edilmesi, yeterli zemin etüdleri yapılmadan yapılan imalatların kırım ve yeniden yapıma sebep olması, deneyimsiz veya yaptığı işlerde yetersiz kalan firmaların tekrar tekrar ihalelerde başarılı olması, yürüyen merdiven/asansör gibi yapısal projelerde açılacak rezervasyonları etkileyen ekipmanların seçiminde yaşanan gecikmeler ve sonrasında verilen hatalı siparişlerden doğan kırım işleri, yapım yöntemi değişikliklerinden doğan zararlar ve uyuşmazlıklar (TBM – NATM dönüşümü gibi), kazı bölgesi ve çevre yapı deformasyonlarının takibinin eksik yapılmasından kaynaklı zararlar, benzer sorunların tekrar tekrar yaşanması, yapılan işlerde standartlaşmanın sağlanamaması, işçi ücretlerinin zamanında ödenmemesi, sosyal hak ve hürriyetlerinin gözetilmemesi gibi problemler gösterilebilir.

Çalışma, yukarıda bahse konu problemler ve pratikte karşılaşılan diğer sorunlar baz alınarak oluşturulmuştur. Yaşanılan problemlerin büyük bir bölümü bilgisayar kontrolünde yürütülebilecek ve otomatik sistemler ile kontrol altına alınabilecektir. Kentsel raylı sistem projelerinde BIM ve Akıllı Sözleşme Entegrasyonun uygulanması ile tasarımdan işletmeye algoritmalar ile süreçlerin yürütülmesine yönelik yapılacak çalışmalar için altyapı kurulmuş olacaktır. Bu çalışmada sunulan öneriler ile amaçlanan çıktılar inşaat sektöründe yaşanan kayıt dışılığın, yolsuzluğun ve israfın engellenmesi, tedarik süreçlerinin iyileştirilmesi, kent içi şantiyeciliğinin getirdiği zorluklarla mücadele, zemin belirsizliklerine bağlı sorunların çözülmesi, çevre yapılarla etkileşimden doğan zararların engellenmesi, uyuşmazlık sebeplerinin çözüme kavuşması ile zaman aşırımları ve maliyet artışlarının engellenmesidir.

Tez kapsamında tüm dünyada büyük bir sorun haline gelen kamu kaynaklarının yetersiz kişiler tarafından yönetilmesi ve çıkar sahipleri tarafından yönlendirilmesinin getirdiği zararların engellenmesinin ancak ve ancak şeffaflık, işbirliği ve veri odaklı

özmler ile olacağı inancıyla bu ışıkta öneriler sunulmuştur. Kentsel raylı sistem projelerini yürüten kurumların öncelikle kapsamlı bir standartlaşma sürecine girmesi ve ilerleyen süreçte bu standartları bilgisayar destekli sistemler ile uygulanmasına ynelikalışmalara odaklanması zaruri görünmektedir. Gelişen teknolojilere paralel olarak sektörün bu kapsamda yaratacağızmlerğalacaktır.

Ülkemizde henüz yeterli olgunluğa erişmeyen, devlet politikalarında, sektörde ve akademide gerekli önemin verilmediğine inanılan BIM ve akıllı sözleşme teknolojileri konusunda araştırma yapmak isteyenlere kaynak oluşturma ve yol gösterme tezin en önemli amaçlarından biridir.





2. YAPI BİLGİ MODELLEMESİ (BUILDING INFORMATION MODELLING)

2.1 Yapı Bilgi Modellemesi (Building Information Modelling - BIM) Kavramı

Türkçeye Yapı Bilgi Modellemesi olarak giren Building Information Modelling kavramı inşaat sektörünün son yıllarda yaşadığı değişimin temelini oluşturan kavram olarak sıkça akademi ve sektör uzmanları tarafından gündeme getirilmektedir. Yeni bir düşünme yolu olarak ifade edebilecek olan BIM kavramının tanımı çeşitlilik göstermektedir. Esasında bu durumu yaratanın BIM'in tek bir tanım üzerinde kalmayacak kadar geniş bir alana hitap etmesi ile ilgili olduğu söylenebilir. Literatürdeki farklı tanımları kavram kargaşasından çok kavram zenginliği olarak düşünmek doğru olacaktır. Teknolojik devrimin hızlı bir şekilde yaşandığı modern çağda insanoglu durdurulamayacak bir değişimin içerisindeyiz. Değişim teknoloji temelli sistemlerde tanım zenginliği yaratmaktadır. BIM kavramını kabaca inşaat sektöründeki teknolojik devrimin ilk adımı olarak tanımlamak doğru bir yaklaşım olacaktır.

Endüstri 4.0 ile hayatımıza yoğun bir şekilde giren otomasyon süreçlerindeki iyileştirmeler, ürünlerin yapımında sarf edilen emek-iş maliyetlerinden çok AR-GE çalışmaları ile ortaya çıkarılan teknolojiye yapılan yatırımların maliyeti oluşturması modern çağın iş yapış şeklinde çarpıcı bir değişikliğe sebep olmuştur. Otomasyon ve süreç iyileştirme yöntemleri sektörlerin hızla büyümesini sağlamıştır. Endüstride 80'li yıllarda benimsenen Kazien yöntemi mevcut süreçlerin analizi ve iyileştirilmesine yönelik farklı bir bakış açısı kazandırmıştır [11].

İnşaat sektörü, aynı diğer sektörler gibi, süreç analizi ve iyileştirme ihtiyacı duymaktadır. Ancak sektörün klasik yaklaşımla iş özetindeki değişken yapısı ve hızla işi bitirme kaygısı uzun vadede süreçleri iyileştirme yöntemlerine odaklanmasını engellemiştir. 90'lı yıllarda bankacılık ve finans sektöründeki dijital dönüşümü BIM ile yakalayan sektör, kendini dijital platforma adapte etmek için önemli bir adım

atmıştır. BIM, sürekli gelişen ve ilerleyen teknolojilerin inşaat sektörüne uygulanmasında temel oluşturmaktadır. Sensörler, nesnelerin interneti, yapay zekâ, sanal gerçeklik, arttırılmış gerçeklik, akıllı şehir, 5G, büyük veri ve Blokzincir gibi kavramlar inşaat sektöründe BIM ile birlikte çok sık anılmakta ve sektörde kurallar baştan yazılmaktadır.

Çalışmanın bu kısmında, literatürdeki BIM tanımlarına değinilecek olup, tanımların araştırılmasında sadece akademi değil uluslararası araştırma kuruluşları ve hükümetlerin yayınladığı raporlardan da alıntılar yapılacaktır. BIM tanımlarının ardından BIM'in bu tez kapsamında önemli görünen ve anlaşılması gerektiği düşünülen ana unsurlarına değinilecektir.

2.1.1 Literatürde BIM tanımları

Teknolojilerin temellerinde ilham verici kişiler yatmaktadır. Teknoloji yaratıcıları bu kişilerin yazdıkları makaleler, denemeler, romanlar veya söyledikleri bir sözden esinlenirler. BIM'in temelleri benzer şekilde Douglas C. Engelbart tarafından 1962 yılında yayınlanan “Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework” adlı makaleye dayandırılabilir. Engelbart makalesinde insanların temel bilgi işleme becerilerini arttırarak karmaşık sorunlara çözüm bulabileceği bir teori üzerine durmaktadır [12]. Bilgi işleme becerilerinin arttırılmasını ise elektronik yardımcılar ile sağlanacağına inanan Engelbart, bilgisayar teknolojisinin gelişimine yardımcı olacak kavramsal bir çerçeve yaratmak ve ilerleyen araştırmalara bir esin kaynağı olması amacıyla çalışmasını yayınladığını ifade etmektedir [12]. Makalede “Bilgisayar Destekli Sistem” olarak geçen sistemden farklı disiplinlerin yararlanacağı belirtilmekle beraber, sistemin daha rahat anlaşılabilmesi için verilen örnek;

“Augmenting Architect” olarak tanımlanan bilgisayar destekli tasarım yapan mimarın tasarlamayı hayal ettiği binanın yerleşim planına ait veriler sisteme girilmiş ve perspektif bir görünüm olarak ekranda mevcuttur. Mimar bilgisayar aracılığı ile çizgiler çizerek hayal ettiği yapıyı temel hatlarıyla oluşturuyor ve içerisine yapının temel bilgilerini girmektedir. Tasarımı yaparken bilgisayar ona tasarımın tasarım kriterlerine uygunluğu konusunda yardımcı olmakta, kontrol listelerine göre yapının uygunluğunu denetleyebilmektedir. Kullandığı bu sistem içerisinde istediği kadar kesit alabilmekte, farklı görünüşler yaratarak odaların detaylarını inceleyebilmektedir. Verilen örnekte mimar bir odanın penceresinden yansıyan güneş ışığının binanın

yakınından geçen karayolunu etkileyeceğini düşünür ve bilgisayar destekli sistem ile kontrolünün sonucunda 6.00 ile 6.30 arasında güneş ışığının pencereden yansıması sebebiyle sürüş konforunda düşüş olduğunu tespit edip tasarımında değişikliğe gitmektedir. Mimar binanın aydınlatma ihtiyaçlarını ve yaya etütlerini bilgisayar yardımıyla yapmaktadır. Yaptığı çalışmaları kurallar dizisi halinde bilgisayara matematiksel işlem olarak tanımlamakta ve herkes tarafından tekrar kullanılabilir hale getirebilmektedir.” [12].

Engelbart, yaptığı çalışma ile çoğu disiplin için ilham vermiştir. Yapı tasarımı ile ilgili verdiği örnek günümüz BIM kavramının temellerini oluşturmakla beraber tam olarak kavramın tanımı yapma amacı gütmemektedir. Çalışma amacı olan kavramsal çerçeve yaratma, ilerleyen zamanlarda karşılığını çoğu alanda bulmuştur.

BIM kavramına en yakın tanım ilk olarak Carneige-Mellon Üniversitesinde “Building Description System” adını verdikleri sistem üzerine çalışan bir grubun çalışmasının anlatıldığı yazı ile Charles M. Eastman tarafından 1975 yılında yapılmıştır. Bu yazıda bina yapım ve tasarım konularından yaşanan sorunlara karşı yeni sistemde olması gereken özellikleri aşağıda verilen maddelerle açıklamıştır [13]:

- Etkileşimli olarak tanımlayıcı elemanlar kullanılmalı,
- Bölümlerin, planların, izometrik bakış açılarının aynı eleman tanımından türetilmeli
- Gelecekteki tüm çizimlerin güncellenmesi için herhangi bir revizyon sadece bir kez yapılmalı,
- Aynı eleman revize edilmesinden türetilen tüm çizimler otomatik olarak tutarlı olmalı,
- Herhangi bir kantitatif analiz türü doğrudan tanımlamaya bağlanmalı,
- Maliyet tahmini veya malzeme miktarları kolayca üretilmeli,
- Görsel ve nicel analizler için tek bir entegre veritabanı sağlanmalı,
- Otomatik yapı standarttı kontrolü yapılabilmeli,

Eastman’ın bu çalışmada detaylıca anlattığı 3D model geometrisi, günümüz BIM tasarım yazılımlarının da temel aldığı sistemin alt yapısını kurmuştur. Çalışmada 3D modelin uzaysal düzlemdeki özellikleri ile veri modeli kavramı açıkça ifade

edilmektedir. Eastman'ın yapı standartlarının otomatik kontrolünün sağlanabileceği ve süreçlerin otomatik bir şekilde ilerleyebileceği fikri bu çalışmanın da dayandığı en temel fikirlerden biri olmakla beraber, BIM'in tanımları içerisinde de yer almaktadır.

Literatürde “Yapı Modeli (Building Model)” kavramının ilk tanımı Robert Aish tarafından 1986 yılında yayınlanan “Building Modeling the Key to Integrated Construction CAD” makalesinde yapılmıştır. Aish bu makalede yapı modelinin üç temel dizayn prosesini belirtmiştir [14]. Bu prosesler aşağıda sıralanmıştır:

- Yapılandırılmış tasarım verileri
- Yapılandırılmış tasarım verilerini 3D modeli oluşturmak için kullanımı
- Binanın gerçek geometrisini ve sembolik gösterimlerini aynı 3D yapı modelinde birleştirilmesi

Aish tarafından tanımlanan üç temel tasarım süreci BIM kavramını oluşturan esasların belirlenmesinde büyük önem arz etmektedir. Çalışmada anlatılan çakışma analizi, bağlantılar aracılığıyla ortak bir model üzerinde çalışma, ilişkili veri zengini model kavramı, geometri özelliklerinin modelden alınması, koordinasyon, mühendislik hesaplarının ve tasarımlarının aynı model üzerinden yapılması gibi yaklaşımlar günümüzde BIM için artık standart haline gelmiş kavramlardır [14].

G.A.van Nederveen tarafından 1992 yılında yayınlanan “Modeling Multiple Views on Buildings” adlı makale tanımlanan “Building Information Model” kavramı, bugün kullandığımız terimin oluşmasını sağlamıştır [15].

Teorik alt yapısı ve basit düzeyde örnekleriyle sağlam temeller üzerine kurulan BIM fikri, teknolojinin ilerlemesiyle hızla yaygınlaşmıştır. Başta akademik çalışmalarla sınırlı kalan BIM, ilerleyen zamanlarda hükümetlerin inşaat sektörü politikalarında ve standartlarında kendine geniş yer bulmuştur. Bununla birlikte farklı kuruluşlar ve otoriteler tarafından da BIM kavramı tanımlanmıştır. Bu tanımların bir kısmı aşağıda verilmiştir:

- PAS 1192-2:2013: “BIM, dijital objektif bilgileri kullanarak bir bina ya da altyapı varlığını tasarlama, inşa etme ya da işletme sürecidir.” şeklinde tanımlanmıştır [16].
- The British Standards Institution (BSI)'de “BIM, farklı kişilere farklı anlamlar ifade edebilir. BIM, mühendisler, işverenler, mimarlar ve müteahhitler

arasında, üç boyutlu bir ortam (ortak bilgi ortamı) içindeki işbirliğine dayanır ve bu disiplinler arasındaki bilgi paylaşımını sağlar. BIM, inşa edilmiş bir yapı için, ilk tasarım sürecinden yapım aşamasına, bunun devamına ve hizmetin sonlandırılmasına uzanan bir bilgi yönetim sistemidir.” şeklinde tanımlanmıştır [17].

- National BIM Standarts (NBS)’de “BIM, bir inşaat projesinin proje yaşam döngüsü boyunca bilgilerinin üretilmesi ve yönetilmesi prosesidir. BIM’in en önemli çıktılarından biri, varlığın bütün yönleriyle dijital açıklaması olan Bina Bilgi Modelidir. Bu model, ortaklaşa toplanan ve projenin kilit aşamalarında güncellenen bilgileri kullanır.” şeklinde tanımlanmıştır [18].
- Alman Federal Ulaştırma ve Dijital Altyapı Bakanlığı “BIM, bina ile ilgili tüm planlama ve uygulama bilgilerinin sanal bir bina modeline entegre edilerek sayısallaştırılmasıdır. Bu yöntem geleneksel yöntemden çok daha fazla bilgi kullanmakta ve paydaşların hepsinin erişebileceği senkronize bir veritabanı oluşturmaktadır.” şeklinde tanımlamıştır [19].
- Yeni Zelanda BIM El Kitabı “BIM’in sadece bir süreç olmadığı vurgulanmaktadır. Diğer süreçlerden izole edilmiş 3D model üretme veya bilgisayar tabanlı üretim değildir. BIM, sürecin bir parçasını üstlenirken diğer süreçlerin bilgi gereksinimlerinin farkında olmaktır. BIM Model tasarım, lojistik, işletme, bakım, bütçe, iş programı ve birçok bilgiyi/veriyi içermekte olup, BIM’de yer alan bilgiler, geleneksel işlemlere göre daha zengin bir analiz sağlamaktadır. Bir aşamada yaratılan bilgiler gelişme ve tekrar kullanım için diğer aşamalara aktarılabilir.” şeklinde açıklamıştır [20].
- Autodesk: “Building Information Modeling (BIM), mimarlık, mühendislik ve inşaat profesyonellerine bina ve altyapıyı daha verimli planlama, tasarlama, inşa etme ve yönetme konusunda bilgi ve araçlar sağlayan akıllı 3D model tabanlı bir süreçtir.” şeklinde tanımlamaktadır [21].
- McKinsey & Company: “BIM uygulanması, projelerin ilerlemesinde verimliliğin artırılmasına yardımcı olur, çünkü tüm bilgiler tek bir yerde toplanır. BIM araçları 3D model tabanlıdır ve bu araçlar planlamacılara tasarım çakışmalarından kaçınmalarında yardımcı olur.” şeklinde tanımlamaktadır [22].

BIM ile gelişen terminoloji kendi sözlüğünün oluşturulması ihtiyacına kadar gitmiştir [23]. İnşaat sektörünün geleneksel terimlerine yenileri eklenmiş ve git gide bu terminoloji genişlemektedir.

BIM için farklı tanımların oluşma sebebi hitap ettiği çözümlerin çeşitliliği ve kullanımdaki değişkenlikler olarak düşünülebilir. Bununla birlikte teknolojiye uyum sağlama konusunda esnekliği ile sürekli gelişen bir kavram olması doğal bir süreçtir. Ancak temelinde yatan düşünce sistemi aynı olup, temel fikir çerçevesinde yapılan tanımların hepsi kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmaktadır.

Yapılan literatür taramasına göre bir BIM tanımı yapmak gerekirse: BIM, bir yapının yaşam döngüsü boyunca geçirdiği tüm süreçleri dijitalleştiren, teknolojiye paralel bir şekilde sürekli gelişen veri odaklı bir düşünme biçimi ve yönetim anlayışıdır. Bir sonraki bölümde yapılan bu çalışma için önemli görülen bazı terimler açıklanacaktır.

2.1.2 Ortak veri ortamı

Ortak Veri Ortamı (Common Data Environment - CDE), bilgi yönetimi için projeye ait tüm verilerin dijital olarak saklandığı ve paylaşıldığı veri ortamıdır. Bir yapının proje yaşam döngüsü boyunca üretilen verileri yönetmek için CDE iş akışı belirlenmekte ve ona uygun bir dijital çözüm uygulanmaktadır. Uygulanan dijital çözüm bir veritabanı yönetiminin sahip olduğu özelliklere sahip ve proje yaşam süresince canlı kalan tüm verilerin ortak yönetildiği platformdur [24]. Ortak veri ortamını oluşturmakla görevlendirilecek taraf, işveren veya proje paydaşları tarafından alınan ortak bir kararla belirlenmektedir [25]. Bu platform lokal sunucuda olabileceği gibi bulutta da olabilmektedir. CDE bir projenin tüm aşamalarında üretilen verileri içeren bir platformdur. Bu platform içerisinde tüm revizyonlar geçmiş sürümleriyle birlikte Bilgi Konteynırları (Information Container – IC) içerisinde kayıt altında tutulmaktadır.

Burada bahsedilen Bilgi Konteynırları içerisinde projeye dair bilgilerin olduğu bilgi kümeleri olarak tanımlanmaktadır. CDE içerisinde yer alan IC'ler aşağıda anlatılan üç alandan birinde bulunmaktadır [24].

- Çalışma Alanı (Work in Progress): Devam eden çalışmaları tanımlayan alandır. Bu alanda yer alan IC'ler sadece projeyi oluşturan ekipler tarafından görülmektedir

- Paylaşım (The Shared State): Paylaşılan durumuna getirilen bir IC, BIM modelinin işbirliğine dayalı gelişimi için diğer proje ekipleriyle paylaşılması için tanımlanan alandır. Paylaşılan alanda yer alan bir IC erişilebilecek ancak değiştirilemez bir şekilde paylaşılmaktadır. Bu alan aynı zamanda işverene teslim için paylaşılan IC'ler için de kullanılmaktadır. IC'ler paylaşılan durumundayken onay için hazır durumda olmaktadır.
- Yayın (The Published State): Bir projenin inşaatı veya bir varlığın işletilmesi için gerekli verileri içeren seviyeye gelen IC'ler yayınlanan alana taşınmaktadır. PIM veya AIM'lerin nihai aşaması bu durum olup, geçmiş veriler arşiv alanında saklanmaktadır.

Varlık yönetimi için proje bilgi modelinden varlık bilgi modeline IC'lerde yer alan bilgilerin taşınması gerekmektedir. Diğer IC'ler ise arşiv olarak uyumsuzluk durumunda kullanılmak üzere ve tecrübelerin aktarımında yardımcı olmak adına salt okunur olarak saklanmaktadır [24].

CDE iş akışında onaylar, yetkilendirmeler ve aşamalar net bir şekilde tanımlanmaktadır. Proje paydaşları arasında yapılan tüm paylaşımlar bu kurallar dizisine göre yapılmaktadır. Paylaşılan her bir IC belge yönetim standardı olan IEC 82045-1'e standardına uygun bir revizyon kodu ve bilgi kullanım durumunu gösteren bir kodu içeren metaveri ile benzersiz bir kimliği içermektedir. IC'ler yapılandırılmış ve yapılandırılmamış olarak ikiye ayrılmaktadır. Yapılandırılmış IC'ler içerisinde geometrik modelleri, iş programlarını ve projenin veri tabanlarını içermektedir. Yapılandırılmamış IC'ler ise dokümanlar, video klipler ve ses kayıtlarını içeren IC'lerdir. [24] Ortak veri ortamının temelini oluşturan IC'ler farklı durum tanımlarına göre değiştirilebilmekte ve değiştirilme tarihi ile birlikte değişikliği yapan kişinin kimliğiyle kayıt altına alınmaktadır [25].

CDE bir projenin yaşam döngüsünde üretilen verilerin bütününe içeren bir kayıt defteri, bilgi yönetim platformudur. CDE'nin oluşturulmasında yaşanan gecikmeler projede bilgi kaybına sebep olacaktır. Bu sebeple CDE ihale aşamasındayken oluşturulmalı ve standartlara uygun bir belirlenen iş akışlarına göre sürdürülmelidir. Projenin yaşam döngüsü boyunca projeye dahil olan tüm paydaşlar yetkileri net bir şekilde tanımlanarak CDE sistemine dahil olmalıdır.

2.1.3 Nesne tabanlı parametrik modelleme

BIM ile birlikte anılan en temel kavramlardan biri “Nesne Tabanlı Parametrik Modelleme (Object Based Parametric Modeling)” kavramıdır. Parametrik modelleme, bir dizi önceden programlanmış kural veya algoritmayı temel alan dijital modelin oluşturulmasıdır [26]. Oluşturulan bu dijital model, içerisinde tasarımda, yapımda ve/veya işletmede kullanılmak üzere nesnelere ve/veya modele tanımlanmış parametreler ve kurallar içerir. Parametrik modelleme ile geleneksel CAD araçlarını ayıran temel özelliklere baktığımızda [27]:

- Geometrik şekiller oluşturulabilmekte ve bu şekillere parametrik ilişkiler ve sınırlamalar tanımlanabilmektedir. Oluşturulan şeklin değerleri ve ilişkileri kullanıcı tanımlı parametrelere göre değiştirilebilmektedir.
- Farklı parametrik nesneler arasında kısıtlamalar oluşturulabilmektedir.
- Nesne içerisinde tanımlanan parametreler açıktır. Bu sayede bir nesnede kullanılan parametreden, diğer bir nesne ile ilişkili parametre türetilabilmektedir.
- Parametrik modellemede kullanılan kısıtlamalar ve kurallar otomatik olarak sürdürülebilmektedir.
- Bina tasarımında ve yapımında kullanılan 2D şekiller, 3D yüzeyler ve 3D katı elemanlar parametrik kurallarla yönetilmek zorundadır.
- Nesne tabanlı ve parametrik olmalıdır. (obje tabanlı modelleme ve obje odaklı programlamanın ayrı kavramlar olduğu vurgulanmalıdır.) Kullanıcılar, geometrik nesnelerin ve parametrelerin aralarındaki anlamsal ilişkileri gruplayabilmekte ve tanımlayabilmektedir.

Parametrik modelleme aracının sahip olması gereken özellikler yukarıda tanımlanmıştır. Peki, bu araçlarla üretilen modellerden elde edilen faydalar nelerdir? Bu faydaları anlatabilmek ve bu kavramın anlaşılması adına bir kaç örnek vermek doğru olacaktır.

En basit örneklerden biri duvar üzerine yerleştirilecek bir kapı veya pencere için duvar üzerinde boşluğun otomatik bir şekilde açılmasıdır. Önceden tanımlanan kural tasarımcının yaptığı tekrarlı işlerde iş yükünü azaltmakla beraber tasarım sırasında yapılan hataları da en aza indirmektedir. Örneğin bir metro istasyonu tasarımında

mahale göre kullanılmasına karar verilen tasarım öğeleri önceden tanımlanmış bir kural kapsamında otomatikleştirilebilir veya malzeme revizyonuna göre tasarım değişiklikleri analiz edilebilmektedir.

Nesne tabanlı parametrik modelleme, yapıların tasarımını etkileyen etmenlerin analizinde de kullanılmaktadır. 632 metre uzunluğundaki Shanghai Tower'ın geometrik formu ile rüzgâr yükleri arasındaki ilişkilerin belirlenerek ideal çözüme ulaşmak için parametrik modelleme kullanılması örneklerinden biridir [28].

BIM'in temelini oluşturan parametrik modelleme yukarıda da belirtildiği üzere sadece tasarım aşamasında kullanılmamaktadır. Oluşturulan 3D parametrik model veri bakımından zengin ve proje yaşam döngüsü boyunca kullanılmaya açıktır. Yapım aşamasının bitmesi ile işletme aşamasında kullanılmak üzere parametrelerin zenginleşmesi ve model detay seviyesinin artırılması, BIM süreçlerinin bitmeyen döngüsünün değişmez parçasıdır. Örneğin, zaman ve maliyet parametreleri girilerek yapım sürecine katkı sağlanabilmekte veya modelin işletme aşamasında da kullanılmasına yönelik parametreler tanımlanabilmektedir.

2.1.3.1 Akıllı nesne kavramı

Parametrik modeller akıllı nesnelerin birleşiminden oluşmaktadır. Aynı milyonlarca hücrelerin birleşiminden oluşan insan gibi her bir akıllı nesne yapı modelini oluşturan bağımsız veya birbiriyle ilişkili objelerdir. Akıllı nesneler, parametrik modeller içerisine yerleştirilebilen ürün ve ekipmanın dijital ikizidir. Bu dijital ikizler kuralları kısıtlamaları, ilişkileri ve bilgiyi kullanma prosedürlerini içerebilen veri zengini objelerdir.

2.1.3.2 Federe model kavramı

Ortak bir model üzerinden çalışma fikri BIM'i ilk oluşturan temeller arasında yer almaktadır. Geleneksel tasarımda karşılaşılan disiplinler arası koordinasyon problemlerinin karşı çözüm üretmesinin yanı sıra, federe model kavramı yapıyı ilgilendiren tüm detayların ortak bir veri tabanı oluşturma hedefi açısından kritik öneme sahiptir [30]. Tasarım ve yapım aşamasında çok sık karşılaşılan bu durum maliyetinin yanı sıra projelerin gecikmesinde de önemli sebeplerinden biridir.

Federe modeller, tüm disiplinlerin tek bir merkez dosyada yetkileri doğrultusunda sorumlu oldukları modelleri bulut ve/veya yerel bir sunucu içerisinde, eş zamanlı

olarak tasarım/koordinasyon süreçlerini yürüttükleri birleştirilmiş çok disiplinli modellerdir. Federe model içerisinde yapıyı oluşturan tüm elemanlar(akıllı nesneler) şartnamede belirlenen detay seviyesinde yer almaktadır.

2.1.3.3 Veri ambarı olarak BIM modeli

Veriden bilgiye doğru giden yol DIKW (Data, Information, Knowledge and Wisdom) hiyerarşisi ile gösterilmektedir [31]. Bir enformasyon sisteminin geliştirilmesinde DIKW hiyerarşisi temel bileşenlerinin doğru tanımlanması ve anlaşılması gerekmektedir [32]. Bilgi sistemleri bir projenin veya organizasyonun tüm faaliyetlerinin çok boyutlu olarak analiz ve sentez edilmesinde kullanılmaktadır [32]. Bu çok boyutlu analiz ve sentez için ilişkisel veri tabanlarından oluşan bir veri ambarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Veri ambarı, veri tabanlarındaki verilerin analiz ve sentez için ilişkisel bağlamli sorgular(query) ile bilgiye dönüştürülüp, farklı veri tabanlarından gelen bilgileri zamansal çok boyutlu çıkarımlar yapılmasına olanak sağlayan yaklaşım olarak tanımlanmaktadır [31-32]. BIM modelleri temel özellikleri ile aynı veri ambarı sistemleri gibi çalışmaktadır. İçerisinde barındırdığı veriler ile görselleştirilmiş dijital karar destek sistemleri olarak proje yöneticilerine ve uygulayıcılarına yönetim süreçlerinde destek olmaktadır. Analitik çalışmalara elverişli veri ambarlarını beslemekte ve proje öngörülerinin, planlamalarının ve farklı senaryolara göre alınacak önlemlerin değerlendirilebildiği, riskleri ortadan kaldıran tüm aşamaları ile birbirinden ayrılmaz bir süreci oluşturmaktadır. Toplanan bu verilerin makine öğrenmesi ve yapay zekâ ile analizi yapının tasarımı ve yapımı ile geliştirilen bilgiler ile işletme aşamasında sensörlerden toplanan verilerin birleşimi olacaktır [33].

BIM süreçlerinde oluşturulan veri ambarı; yerleşik ortam varlığının tüm yaşam döngüsü boyunca kararlar almak için gerekli bilginin yapılandırılmış depoları tasarım ve yapımını, mevcut varlıkların yenilenmesini ve bir varlığın işletilmesini ve bakımını içeren varlık bilgi modelleri (AIM) ve proje bilgi modellerinden (PIM) alınan verilerin işlenebilir duruma getirildiği platformdur [24]. BIM ile bir yapının tüm yaşam döngüsü boyunca bilgi yönetiminin tariflendiği, varlıkların teslim aşamasının açıklandığı standart olan BS EN ISO 19650-2:2018’de belirtildiği üzere bütünleşik bir yaklaşım gerektiren BIM’de, kurgunun projenin ilk aşamasından sonuna kadar proje

yaşam döngüsü boyunca işleyecek temellere bağlı kurgulanmalı ve bilginin yönetimi tanımlanmalıdır [25].

2.2 BIM'in kullanım alanları

BIM farklı kullanımlara sahiptir. Bu kullanımlar BIM'in ilk fikrini oluşturan unsurlardan türetilmiş kullanımlardır. Boyutsal olarak tanımlanan bu unsurlar beş ana boyuttan oluşmaktadır. 3D olarak adlandırılan boyut yapının üç boyutlu dijital temsili ve unsurları, 4D üç boyutlu model içerisine planlama verilerinin entegre edilmesi ile oluşan zamansal analiz sağlayan model, 5D maliyet ve metraj bilgilerini içeren üç boyutlu model, 6D sürdürülebilirlik ile ilişkili analizlerin yapıldığı model, 7D yapım sonrası süreçte işletme parametreleri ile zenginleşen modelin yapım sonrasında da kullanımına yönelik yapılan çalışmaların bütünü olarak kısaca tanımlanabilmektedir. Bu boyutlara detaylı olarak alt bölümlerde değinilmiş olup, kısa tanımlardan da anlaşılacağı üzere hepsinin ana unsurunda bilgi (information) ve üç boyutlu dijital bir model kavramı bulunmaktadır [34,35].

Görsel zenginliklerin verilerle entegrasyonu insan beyninin algılama ve hataları tespit etme yönünden yardımcı olması, BIM'in doğası ile birlikte gelen temel faydalarından biri olarak düşünülebilir. Ancak verilerle dolu bir modelin uzun vadede getireceği faydalar kuşkusuz üç boyutlu temsilin önüne geçecektir. Gelişen teknoloji ile birlikte bilgisayarların insan faktörünü minimize ederek süreçleri yürütmesi tüm sektörlerde olduğu gibi inşaat sektöründe de gerçekleşmesi beklenmektedir. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar ve araştırmalar bu odak noktası ile oluşturulmuş olup, aşağıda verilen tanımlar, BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu kapsamında şekillendirilmiştir.

2.2.1 3D modelleme

3D modelleme, özel yazılımlar sayesinde bir matematiksel modelin tüm yüzeylerinin ve tüm objelerinin üç boyutlu hale geliştirilmesi süreci olarak tanımlanmaktadır. Üç boyutlu modeller üçgenler, çizgiler, kavisli yüzeyler gibi çeşitli geometriler ile birbirine bağlanmış nokta koleksiyonunu kullanan fiziksel bir gövdeyi temsil etmektedir [36]. BIM açısından 3D model ise yapı ve yapıyı oluşturan öğelerin veri ile zenginleştirilmiş üç boyutlu dijital temsidir. 3D modeller BIM için bilgi yönetim sisteminin bir aracıdır ve bu araçlar bir varlık veya bir proje ile ilişkili tüm bilgileri

içeren kaynaklardır [24]. ISO 19650’de belirtilen varlık (asset) ifadesi ile ISO 55000’de tanımlanan varlık kavramı ifade edilmektedir [37].

ISO 55000 ve ISO 19650 serilerinde geçen varlık terimi bir işletmenin sahip olduğu maddi ve manevi değerlerin bütünü olarak tanımlanabilir. Varlık yönetimi ise işletmenin hedeflerini risk temelli bir yaklaşım kullanarak varlıkla ilgili kararlara, planlara ve faaliyetlere dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir [37]. ISO 55000 bir işletmenin amaçlarını ulaşmak için ihtiyaç duyduğu varlık türünü etkileyen faktörleri aşağıda verildiği gibi belirtmiştir [37]:

- Örgütün niteliği ve amacı,
- İşletme içeriği,
- Finansal kısıtlamalar ve yasal gereklilikler
- Kuruluşun ve paydaşlarının ihtiyaç ve beklentileri

İşletme için tanımlanan bu faktörler inşaat sektöründe her projede sıfırdan yeni paydaşlarla tekrar başlayan döngünün içerdiği varlık türünü etkileyen faktörlerinden farklı değildir. Tasarım ve inşaat aşamalarında proje bilgi modeli olarak adlandırılan modelde aynı işletmelerde olduğu gibi inşaat projelerinde de maliyet, risk ve performans dengesini sağlamada ve fırsatların yönetilmesinde etkin bir rol oynamaktadır [37].

ISO 19650-1’de tanımlanan Varlık Bilgi Modeli (Asset Information Model - AIM) ve Proje Bilgi Modeli (Project Information Model - PIM) bilgi transfer mekanizmasının temelini oluştururken 3D modelleri veri ile zenginleştirerek tüm proje yaşam döngüsünde değerini arttırmaktadır [24].

3D model içerisine eklenen veriler, varlığın tasarımından işletmesine kadar kullanılabilecek veriler olabilmekte, tüm süreçler yapının dijital temsili haline gelmektedir. Bu dijital temsil tasarım, yapım ve işletmede karşılaşılabilecek sorunların dijital platformda çözülmesine olanak sağlayacak olup, süreç içerisine farklı zamanlarda dâhil olan tüm paydaşların şeffaf bir şekilde katılımı sağlanacaktır. Böylece raylı sistemler gibi yüz sene kullanım ömrü ön görülen karmaşık tesislerin tasarımından inşa edilmesine ve yönetilmesine kadar tüm yaşam döngüsü sıkı bir bağ ile bağlanmaktadır.

Katı modelden fazlası olan BIM modelleri proje yönetimine yeni bir bakış açısı ve yönetim aracı kazandırmaktadır. Tüm imalat ve bakım/işletme süreçlerinin 3D dijital temsilinin oluşturulması projenin/varlıkların efektif bir şekilde yönetilmesine ve sürekli kayıt altına alınan dijital bilgilerle süreçlerin analiz edilmesine katkı sağlamaktadır.

İnşaat projeleri çok disiplinli yapısı ile koordinasyon ve çakışma problemleriyle yüz yüze gelmektedir. Bu problemlerin temel sebepleri arasında disiplinlerin birbiri ile uyumlu ve eş zamanlı çalışmamasıyla birlikte görsel doküman yetersizliği yer almaktadır. Geleneksel yöntemde sınırlı sayıda kesit ve plan görünüşe sahip olunup, ayrıca projelerin süperpozei manuel olarak yapılmaktadır. Disiplinlerin geleneksel süreçte yaşadığı bilgi ve iletişim eksiklikleri yapım aşamasında telafisi zor sonuçlara yol açmaktadır.

3D modellerin bir diğer katkısı yüksek detay seviyesine sahip görselleştirme ile koordinasyon ve çakışma problemlerinin önüne geçmesidir. 3D modeller sayesinde sınırsız kesit ve plan görünüş elde edilebilmekle beraber eş zamanlı tasarım imkânı doğmaktadır. Bu sayede disiplinler ve taraflar yapımdan önce sanal bir şantiyede problemleri çözülebilmektedir. İlerleyen bölümlerde BIM koordinasyon ve çakışma kontrolleri süreçleri incelenmiştir.

2.2.1.1 BIM koordinasyon

İletişim, insanoğlunun var olduğu günden bu yana hayatta kalabilmek için kullandığı en temel becerisidir. İlk insanlar doğanın gücüne karşı koyabilmek için topluluk halinde yaşamış ve iş bölümü yaparak hayatta kalabilmişlerdir. İnsanoğlunun bu temel becerisi toplumun temelini oluşturduğu gibi örgütsel ve yönetsel yapının düzenli işleyişini sağlayan bir araçtır [38].

İletişim her sektörde olduğu gibi inşaat sektöründe de en önemli yönetim araçlarından biri olmakla beraber en büyük sorunlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Farklı disiplinlerin ve farklı paydaşların bir arada çalışmasını gerektiren inşaat projelerinde, karmaşık yapısı ile iletişim ve koordinasyon problemleriyle sık sık karşılaşmaktadır. Bu problemler ekstra maliyetlere ve iş gecikmelerine sebep olduğu gibi aynı zamanda uzun hukuki süreçlere de sebep olmaktadır.

Koordinasyon eksikliği ve paydaşlar arasındaki zayıf iletişim inşaat projelerinde en sık karşılaşılan uyumsuzluk sebeplerindendir [39]. Bu uyumsuzluklar ile tasarım

aşamasında olduğu gibi yapım aşamasında da çok sık karşılaşılmaktadır. Disiplinlerin farklı platformlarda çalışması ve birbirleriyle yeterince iletişim kurabilecekleri bir alt yapının olmaması koordinasyon problemlerinin temelini oluşturmaktadır. Geleneksel yöntemle üretilen bir projede farklı 2D çizimler üzerinde çalışan disiplinler birbirleriyle güncel hallerini manuel olarak paylaşmakta ve bu durum revizyon takibini zorlaştırmaktadır. 2D projelerin bir diğer önemli eksikliği ise projelerin farklı disiplinler veya paydaşlar tarafından anlaşılabilmesidir. Yeterince görünüme sahip olmayan bir çizim her zaman hata yapmaya açık olmakla beraber, bu noktada yeterlilik kişinin proje okuma becerisiyle de sınırlanmaktadır. Tasarım aşamasında fark edilemeyen ancak yerinde imalatının tamamlanması sonucunda fark edilen problemler tüm paydaşlar için büyük sorunlara yol açmaktadır. Taraflar yapılan hatanın çözülmesi ve hatanın kaynağının bulunması konusunda anlaşmazlıklara düşmekte bu da proje açısından olumsuz sonuçlar doğurmaktadır.

BIM Koordinasyon sürecinde geleneksel yöntemden farklı olarak tüm disiplinler ve paydaşlar federe model üzerinden iletişim kurmaktadır. Bölüm 2.1.3.2’de de anlatıldığı gibi federe model yapım için ihtiyaç duyulan tüm verileri içermekle beraber devamlı güncel olan bir modeldir. Yani paydaşların veya disiplinlerin versiyon farkı kaynaklı yapabilecekleri hataların önüne geçilmektedir. Vurgulanması gereken diğer noktalar koordinasyon modelleri üzerinden yapılan tüm yorumların(revizyon taleplerinin) değiştirilemez bir şekilde kayıt altına alınabilmesi, şeffaf bir şekilde herkesle paylaşılması ve yapılan yorumların durumlarının (aktif, pasif, çözüldü vb.) yetkilendirme doğrultusunda değiştirilebilmesidir. Tüm kayıtlar dijital olarak 3D modeller içerisinde saklanmakta ve bu sayede tarafların düşeceği herhangi bir anlaşmazlıkta kanıt niteliği taşıyan güvenilir bir takip mekanizması sağlanabilmektedir.

Geleneksel toplantı kayıtlarına göre ispatlanabilirliği daha yüksek olan dijital modeller uyumsuzlukların hızlı bir şekilde çözülmesine büyük katkı sağlamaktadır. Ayrıca koordine edilen modellerin geçmiş versiyonlarla beraber ortak veri ortamında bulut destekli araçlar içerisinde tüm paydaşların kendi ağlarında saklanabilir olması kanıtların kaybolmasını zorlaştırmaktadır.

Şeffaflık vurgusu koordinasyon süreçlerinin önemli özelliklerinden bir diğeridir. Paylaşılan modeller tüm disiplinlerce ulaşılabilen ve değişikliklerin izlenebildiği

modellerdir. Bu durum tarafların ortak sorumluluk bilincinde hareket etmesinde büyük rol oynadığı söylenebilmektedir.

Dijital temsil üzerinden yapılan revizyon talepleri mahal, sistem ve/veya sadece bir obje üzerinden yapılabilmektedir. Yapılan bu revizyon talepleri özel bir durumu ifade edebilmekle beraber sözleşmede veya normlarda belirtilen bir tasarım kriterinin uygulanmasına yönelik de olabilmektedir. Bu kriterler model içerisinde programlanabilmekte ve tasarımı/kontrolü otomatikleştirilebilmektedir. Örneğin, metro istasyonları mahallerinin boyutları ve içerisinde bulunması gereken ekipmanları ile ince işler imalatlarının kontrolü parametrik modelleme araçları ile programlanarak otomatik bir şekilde yapılabilmektedir.

2.2.1.2 Çakışma tespiti

İnşaat projeleri farklı disiplinleri içinde barındıran karmaşık yapıya sahip projeler olup, bu durum disiplinler arası çakışma sorunlarına neden olmaktadır. Çakışma kaynaklı yeniden yapım ve kırım işleri yüzünden taraflar maliyet ve zaman kaybına uğranmakta, taraflar arası uyumsuzluklar görülmektedir [40].

Bu tip sorunların önüne geçmek adına çakışma analizleri öncelikli BIM hedefleri ve kullanımları arasında yer almaktadır. Projelerin inşaat aşamalarında karşılaşılabileceği muhtemel çakışma sorunlarının tasarım aşamasında giderilmesi zaman ve maliyet tasarrufu açısından büyük önem taşımaktadır [41]. BIM ile yürütülen çakışma analizi senaryosunda federe model kavramı yine öne çıkmaktadır. Tüm disiplinlerin ortak çalışma modeli belirli aralıklarla güncellenmekte ve onun birlikte BIM tabanlı yazılımlar aracılığı ile belirli kurallar çerçevesinde çakışma testleri yapılmaktadır. Bu testler neticesinde tespit edilen çakışmalar sorumluluk matrisine göre ilgili disiplinlere görevlendirilmektedir. Yapılan çözümler neticesinde güncellenen modelde çakışma testi tekrar uygulandığında otomatik bir şekilde sorunun çözülüp çözülmediği denetlenebilmektedir. Bu sayede inşaat aşamasına geçilmeden tasarım aşamasında çakışma sorunları çözülebilmektedir [41].

Çakışma testleri BIM Uygulama Planı'nda belirlenen kurallar çerçevesinde yürütülmektedir. Burada hassasiyet derecesi sorumluluk matrisleri ve çakışmaların hangi aşamalarda hangi disiplinler veya obje grupları arasında yapılacağı tanımlanmaktadır. Çakışmaların tespiti tasarım sürecinde yaşanan disiplinler arası sorunlara çözüm ürettiği gibi sorunların tespiti ve çözümü için harcanan zamanı

azaltmaktadır. Bu da kısa sürede daha kaliteli projeler üretilmesine olanak tanımaktadır.

2.2.2 4D: Model bazlı planlama ve ilerleme takibi

İnşaat projelerinde planlama zor ve zahmetli bir iştir. Gerçekçi bir planlama için işin iyi analiz edilmesi aktivitelerin ve kaynakların doğru seçilmesi şarttır. Projelerin değişken yapısı ve dış etmenlere bağlı hassaslığı planların her proje için değişmesine hatta proje devam ederken bile çoğu zaman revize edilmesine neden olmaktadır. McKinsey & Company yaptığı araştırmayla bu durumu açıkça göstermiş olup, büyük inşaat projelerinde %20 gecikme görüldüğüne yapılan araştırmalar neticesinde varmıştır [42].

İyi bir iş programı proje süresince karşılaşılabilecek tüm riskler ve zorluklar göz önüne alınarak oluşturulmalıdır. Birbiriyle ilişkili binlerce aktiviteyi içinde barındıran ve sayısız kaynakla yönetilen inşaat projelerinde iyi bir iş programının oluşturulması ve takip edilmesi zorlu ve zahmetli bir süreçtir. Aktivitelerin birbirine bağlı yapısı küçük bir hatanın kurulan zincirin tamamen bozulmasına sebebiyet verebilmektedir. Ayrıca zinciri oluşturan aktivitelerin birbirlerine bağlantısının yanlış kurulması tüm planın değişmesine sebep olacaktır.

İş programının oluşturulmasından imalat ve teslim aşamalarına kadar canlı bir şekilde devam eden bu süreçlerin iyi kurgulanmasının yanı sıra güncel projeler üzerinden değerlendirmelerin yapılması proje hakkında optimum kararların verilmesini sağlayacaktır. İnşaat projelerinin hızlı ve canlı yapısı bu anlamda uygulayıcılara büyük baskı oluşturmaktadır. Koşullar sürekli değişmekte yeni koşullara uygun kararların hızla alınması gerekmektedir. Standart bir iş analizinden farklı olarak operasyonel yapısı ile inşaat sektöründe karar destek sistemlerinin karar vericilere daha dinamik bir şekilde yardımcı olması gerekmektedir.

Tüm bu riskler ve zorluklar planlama için farklı metotların üretilmesine sebep olmuştur. Kullanılan ilk metot Henry Gantt tarafından geliştirilen çubuk diyagram yöntemidir [43]. Henry Gantt bu yöntemi işlerin zamana dayalı planlanması ve yürütülmesinde kullanılmak üzere geliştirmiştir [43]. Gantt diyagramı olarak adlandırılan bu yöntem birçok sektörde aktif olarak kullanılmaktadır. Tanımlanan aktiviteleri çubuklar şeklinde alt alta zaman çizelgesinde başlangıç ve bitiş zamanlarına göre sıralayan yöntem, aktivitelerin birbirleriyle ilişkisini ve öncelik

sıralarını alt kaynaklarına göre tanımlanması teorisi üzerine kurulmuştur [43]. Gantt bu teoriyi ortaya attığında sistemin bir ütopya olarak görüldüğünü ancak gerçek operasyonel yaklaşımlara yakınlığı ile gelecekte gerçekleşeceğini görüleceğini söylemektedir [43]. Sistemin endüstrileri tanıyan ve bilimsel araştırma yöntemlerini araştıranlar tarafından mükemmelleştirilmesi gerekliliğini vurgulamaktadır. Sistemin uygulandığı tesisin büyük olması veya çok çeşitli işler yapıldığı durumda malzeme kontrolü, planlama ve çalışanların verimliliğin arttırmada da avantajların çok daha fazla olduğunu ifade eden Gantt kısa sürede görselleştirme ile sorunların azalacağını ve karlılığın artacağını ifade etmektedir [43]. Gantt'ın ön görüleri ilerleyen süreçte karşılığını bulmuş ve Gantt diyagramı hala günümüzde planlamanın temelini oluşturmaktadır [43]. Gantt grafiği tüm sektörler için aktivite kırılım yapısı, kaynak ataması ve görselleştirme gibi özellikleriyle yapılan işin daha iyi yönetilebileceğini kanıtlamıştır. Ancak binlerce aktivite içeren inşaat projelerinde iş programının oluşturulmasında ve takibinde yaşanan problemler devam etmektedir. Farklı disiplinlere ait projelerin bütüncül bir yaklaşımla değerlendirmesinde ve doğru planlamanın yapılmasında zorluklar yaşanmaktadır. Çoğu zaman proje yöneticisinin veya planlama yöneticisinin zihninde kalan süreçlerin denetimi ve değerlendirilmesi geçmiş tecrübelerle dayanılarak yapılabilmektedir.

4D, iş programındaki aktivitelerin dijital temsille görselleştirilmesi ve simüle edilmesi olarak tanımlanabilmektedir. Genel olarak kullanılan yöntem, aynı geleneksel planlama gibi iş kırılım yapısı (Work Breakdown Structure(WBS)) kodlarının objelere atanması ve planlama aktiviteleriyle eşleştirilmesidir. Ancak geleneksel yöntemle oranla beklenen faydalar çok daha fazladır. 4D modelde sadece yapının değil aynı zamanda şantiyenin tüm değişken süreçleri izlenebilir olmaktadır.

4D modellerin dört aşaması bulunmaktadır. Birinci aşama 3D model ve iş programının WBS kodu benzeri yapılarla birleşimidir. Sonrasında modele inşaat faaliyetleri ve kaynakları (işçilik, malzeme, makine vb.) entegre edilmektedir. Üçüncü aşama sahadan gelen imalat bilgilerinin iş programına eklenmesidir. Son seviye ise yapısal analizler için bilgilerin arttırılmasıdır [44]. Birçok kaynakta ilk üç aşama ortak olarak alınmakla beraber, dördüncü aşamanın farklı tanımlandığı ve aşamaların arttırılarak modele yeni yetenekler kazandırılan çalışmalarda bulunmaktadır. Örneğin, yapılan bir çalışmada 4D modeller ile risk analizi bilgileri entegre edilmiştir. Yapılan bu

çalışmada risk analiz fonksiyonunun 3D modeller ile entegrasyonu ile saha mühendislerinin risk bilgilerinin kullanılabilirliğini arttırılması hedeflenmiştir [45].

Bir diğer çalışmada ise metro projelerinin şantiye güvenliğinin analizi için 4D modellerden yararlanılmıştır [46]. Yapılan çalışmada literatür ve saha araştırmalarına göre potansiyel iş güvenliği riskleri modellenmiştir. Metro inşaatlarının zamana bağlı karşı karşıya gelinecek riskleri ve güvenlik problemleri görselleştirilerek karar destek aracı haline getirilmiştir. Bu güvenlik analizinde bir diğer önemli husus risk analizi için sayısal analizlerin de modele parametrik olarak eklenmesidir. Yapılan çalışmanın sonucunda; tüm sürecin simüle edilmesi ile uygunsuz inşaat yöntemlerinin tespit edilebildiği, iş güvenliği risklerinin zamansal ve mekânsal olarak değişken yapısına karşı 4D modellerin etkin çözümler üretebileceği, 3D modellerin gerçek zamanlı aktivite izleme verileriyle kıyaslanması sonucunda güvenlik durumunun analiz edilebileceği ve bu sayede yöneticilerin daha hızlı önlem alabileceği belirtilmektedir [46]. Son olarak yüksek riskli alanların renklendirme gibi yöntemlerle tanımlanabileceği, böylece yerel yönetimlerin riskli durumlardan kaynaklanan kazaları önlemek için önlem alabileceği belirtilmiştir [46].

Yapılan çeşitli çalışmalarda da görüleceği üzere 4D BIM modelleri sadece iş programı aktivitelerinin oluşturulması ve takibi için kullanılmamaktadır. Hazırlanan bu modeller tasarım planlaması, iş güvenliği, tedarik süreçleri ve risk analizleri ile sınırlı kalmamak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Sözleşme ve normlar çerçevesinde tanımlanan tüm süreçler BIM modellerine parametre olarak eklenebilmekte ve bunların 4D BIM simülasyonları yapılabilmektedir. Yapım iş programının oluşturulmasından uygulanması ve takibine sonrasında ise işletme aşamasında da canlı olarak kalabilecek şekilde süreçler kurgulanabilmektedir.

2.2.3 5D: Model bazlı metraj, maliyet tahmini ve bütçe

Mühendislik ekonomisi, farklı alternatiflerin belirli bir hedefi gerçekleştirmek için değerlendirilmesi ve bu alternatiflerin mühendislik hesaplarıyla birleştirilmiş parasal yönetiminin yapılması ile ilgilenen ekonomik analizlerdir. Mühendislerin ekonomi yönetiminde oynadığı başlıca rol, teknik analizler ile topladığı verilerin ve bunların neticesinde yaptığı değerlendirmelerin ekonomi yönetiminde kullanılmasıdır.

Bir işletme alacağı yatırım kararlarında ve firma stratejilerinin belirlenmesinde yapılan bu teknik analizlerden yararlanmaktadır. Yapılan teknik analizler ne kadar doğru

olursa firmaların karar vericileri için kaynakların yönetimi de o kadar doğru olacaktır [47].

İnşaat projelerinin değişken ve belirsizliklerle donatılmış yapısı maliyet analizlerini zorlaştırmaktadır. Bu durum sadece yüklenici değil ayrıca işveren için de riskleri beraberinde getirmektedir. İşverenin teklif alırken yetersiz proje ve şartnamelere sahip olması yüklenicinin ihale teklifinde hata yapmasına sebep olacaktır. Bu durum her iki taraf için de olumsuz sonuçlar doğuracaktır. İhalenin kazanılması için veya proje verilerindeki eksiklerden kaynaklı artan risk faktörü sebebiyle ihale bedelini altında/üstünde yapılan teklifler her iki taraf için de zarara yol açmaktadır [48].

İnşaat sektöründe maliyet analizlerinde yaşanan sıkıntıların başladığı ilk nokta henüz ihaleye çıkılmadan öncedir. Sonrasında da bu sıkıntılar artarak devam etmektedir. İhale aşamasında keşif ve teklif ile başlayan bu süreç, yapım aşamasında hakedişler üzerinden yaşanan uyuşmazlıklar kesin kabule kadar sürmektedir.

3D modeller içerdikleri geometrik parametrelerle maliyete esas hesapların yapılmasında güvenli bir analiz yöntemi olarak değerlendirilebilir. Akıllı obje parametrelerinin zenginleştirilebilir yapısı içerisine maliyet bilgilerinin entegre edilebilir kılmaktadır. 5D BIM en basit tanımıyla 3D modellere maliyet bilgilerinin işlenmesi ile oluşturan 3D modellerdir. Oluşturulan 3D modeller maliyet analizlerinde, hakedişlerde, varlık yönetiminde ve bir yapının maliyetle ilgili tüm işlemlerinde kullanılabilen dijital temsillerdir.

5D BIM modelleri güncel metraj bilgilerinin hızlı ve güvenilir bir şekilde ulaşılmasını sağlamakla beraber, farklı tasarım alternatiflerinin yaratacağı maliyet değişikliklerinin de rahatça tespit edilebilmesini sağlamaktadır [49]. Federe model üzerinde tüm imalat kalemleri için detaylı bir maliyet analizi yapılmasını sağlayan 5D'nin sadece model tabanlı maliyet analizi değil, ayrıca maliyetin bütünleşik olarak değerlendirildiği bir maliyet yaşam planı olduğu vurgulanmaktadır [49].

Yukarıda belirtilenler ışığında 5D BIM 3D modeller içerisine maliyet parametresinin işlenmesi ile akıllı obje içerisinde yer alan geometri ve malzeme bilgilerini kullanarak bir yapının bütününe ait maliyetin parametrik olarak hesaplanmasıdır. 4D iş programı entegrasyonu ile birlikte yapının zamana bağlı maliyet hesaplarının izlenebilmesi ve alternatif senaryolara göre tüm sonuçların değerlendirilmesi için kullanılabılır dijital temsil elde edilmesi 5D'nin bir diğer önemli özelliğidir. Her aşama için faydalar

sağlayabilen 5D BIM tüm bu süreçler için dijital bir kayıt defteridir. Bu kayıt defteri değiştirilemez bir altyapıya sahip veritabanında saklandığında, zamana bağlı olarak bir imalatın veya varlığın ödeme bilgilerinin tutulduğu güvenilir bir arşiv niteliği kazanacaktır.

2.2.4 6D Sürdürülebilirlik

Dünya Bankası'nın 2012'de yayınladığı rapora göre yapı malzemeleri dünya çapında üretilen katı atıkların yarısını oluşturmaktadır [50]. İnşaat ve yıkım artıkları Avrupa Birliği'nde (AB) üretilen tüm atıkların %25-%30'u arasını oluşturmakta olup, bu atıkların büyük bir kısmı geri dönüştürülebilir atıklardan oluşmaktadır [51]. Avrupa Komisyonu bu geri dönüşebilir atıkların geri kazanılması ve kontrolünün sağlanması için bir İnşaat Yıkım & Atık Protokolü'nü yayınlamıştır [52]. Bu protokol ile inşaat ve yıkım artıklarının geri dönüştürülmesi ile sürdürülebilirlik ve yaşam kalitesine büyük katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Binalar ve inşaat sektörü global enerji tüketiminin %36'sından ve CO₂ emisyonunun %40'ından sorumlu olduğu belirtilmektedir [54]. Sektörün hızla büyümesi ve bununla birlikte çevreye verdiği zararın da hızla büyüyecek olması yapım aşamasından işletme aşamasına kadar geniş bir perspektifte süreçlerin analiz edilmesi ve verimliliğin artırılmasına yönelik gelişmelerin hızla hayata geçirilmesi konusunda ulusal ve uluslararası çalışmalara teşvik olmaktadır.

AB, 2010 yılından bu yana yürürlükte olan Binaların Enerji Performansı Direktifi'ni 2018 yılında revize ederek enerji birliği ve ileriye dönük iklim değişikliği politikası oluşturmaya yönelik bir adım atmıştır [55]. Tüm Avrupa için temiz enerji politikası doğrultusunda ulusal enerji ve iklim planı geliştirilmesini tüm üye ülkelere zorunlu kılmıştır [56]. Uzun vadeli bu eylem planlarının iklim değişikliğini önlemeye yönelik hedeflenen çalışmalarda yeni ve mevcut binaların enerji verimliliğini arttırmak için akıllı teknolojiler benimsenerek bina otomasyonunun sağlanması vurgusu yapılmaktadır [56].

Sektörün yaşadığı bu sorunlara karşı BIM, veri modelleri için bir temel, bir çalışma yöntemi ve/veya bir binanın dijital ikizini yönetmek için kullanılabilir. Enerji hesapları açısından BIM modelleri planlama, tesis inşaatı ve işletme açısından önemli bir avantaja sahip olmaktadır [7]. BIM modellerini enerji analiz yazılımları ile bağlamak tasarım aşamasında enerji kullanımlarının değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Tasarım aşamasında yapılan bu değerlendirme sayesinde bina enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik yapılacak çalışmalar tasarımın erken aşamasında yapılabilmektedir [8].

Analizleri yapabilmek için oluşturulan Enerji Analiz Modeli (EAM) tüm yapının enerji simülasyonu için kullanılabilir [7]. BIM modelleri içerisinde yer alan enerji analiz parametreleri ile otomatik bir şekilde Enerji Analiz Modeli oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu sayede EAM yapının tasarımı ile eş zamanlı oluşturulabilmektedir. Tasarıma yön veren temel etkenlerden biri olarak enerji analizleri kullanılabilir ve enerji verimliliğine göre tasarım alternatifleri rahatça değerlendirilebilmektedir.

Tüm bu değerlendirmeler ve analizler BIM modellerinin veri odaklı programlanabilir yapısı sayesinde yapılabilmektedir. BIM modellerinin bu kritik özelliği sayesinde yapının enerji standartlarına uygunluğunun kontrolü yapılabilmektedir. AB'nin ve diğer ülkelerin temel politikası haline gelen enerji verimliliği ve atık yönetimi standartları model içerisinde kural olarak tanımlanabilmekte ve bu kurallar dâhilinde kontroller otomatikleştirilebilmektedir.

BIM modellerinin yapı enerji simülasyonlarında kullanılabilmesi için Enerji Analiz Modellerini temsil eden gbXML veri değişim formatında veriler dışarı aktarılmaktadır. XML tabanlı bir veri değişim formatı olan gbXML geometrik verileri, kullanıcı profillerini, hava durumu bilgilerini ve diğer enerji verilerini büyük ölçüde yansıtmaktadır. Bir diğer yaygın veri değişim formatı olan SimXML ise HVAC sistemi tasarımlarında kullanmak üzere daha gelişmiş özellikler içermektedir [7,57]. Her iki formatta da amaç doğru bir şekilde veri değişim süreçlerini yönetmektir.

Dışarı aktarılan veriler sayesinde gerçek zamanlı enerji analizleri yapılabilmekte ve enerji verimliliği yüksek yapılar için alternatifler tasarım aşamasında değerlendirilebilmektedir. Yapım aşamasında çevreye duyarlı malzeme seçimi, tedarik aşamaları, şantiye atık yönetimi gibi konularda 6D verilerinden yararlanılabilmekle birlikte, 6D verileri sayesinde tasarım ve yapım aşamasında toplanan tüm veriler işletme aşamasında toplanan verilerle kıyaslanabilir, bu sayede yapının hizmet ömrü boyunca enerji tüketimiyle ilgili iyileştirmeler için bir veri kaynağı elde edilmiş olmaktadır.

2.3 BIM Kullanımının İnşaat Sektörüne Getirdiği Faydalar

BIM'in kullanımları ve faydalarını ölçmek için birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmaların odak noktaları ve analiz yöntemleri farklılık göstermekle beraber BIM uygulamalarında da elde edilen faydalarda çeşitlilik yaratmaktadır.

BIM'in proje yönetiminde hitap ettiği geniş alan; çalışmaların zenginliğini de beraberinde getirmiş olup, kullanım durumu ve seviyesine göre elde edilen faydalar değişiklik göstermektedir. Burada kritik konu bu faydaların nasıl ölçüleceğidir. Bazı faydaların sayısal yöntemlerle ölçülebilmesine karşılık büyük bir kısmı sadece sözel yöntemlerle analiz edilebilmektedir [58,59]. Bu bölümde BIM'in inşaat sektörüne getirdiği pozitif etkiler ve fırsatlar ile ilgili yapılan araştırmalar incelenmiştir.

Azhar ve diğ. (2011) göre BIM modellerinden beklenen faydalar [60]:

- Hızlı ve kaliteli görselleştirme yapılabilmesi
- İmalat çizimlerinin oluşturulmasının kolaylaşması
- Farklı disiplinlerin analizler için BIM modellerini kullanabilmesi
- Maliyetlerin alternatifler ile nasıl değiştiğinin saptanması
- Malzeme siparişi, imalat ve teslimin etkin bir şekilde yönetilmesi iş programında iyileşmeler
- Çakışmaların tespiti ve sahaya yansımadan engellenmesi
- Yapının yapım ve işletme aşamasında karşılaşılabileceği risklerin analiz edilebilmesi
- Tesis yönetiminde bakım ve işletme

Mesároš ve Mandičák (2017) tarafından yapılan araştırmaya göre BIM kullanımından beklenen faydalar [61]:

- Proje yönetiminde maliyet düşürme
- Dokümantasyona harcanan zamanı azaltma
- Tasarım aşamasından başlayarak tüm yaşam döngüsü boyunca projenin süresini azaltmak
- Tüm katılımcılarının bilgi ve belgelere hızlı erişiminin sağlanması

- Çalışanların verimliliğinin arttırılması
- Mali kontrolün arttırılması
- Karar vermeyi desteklemek ve daha kolay karar alınmasının sağlanması
- İnşaat süresince karşılaşılan hataların giderilmesi ve kalitenin arttırılması

Bensalah ve diğ. (2018) tarafından yapılan araştırmada BIM'in getirdiği faydaların demiryolu projeleri özelinde incelenmesi yapılmıştır. Yapılan araştırmada farklı demiryolu projeleri için BIM ile elde edilen faydalar derlenmiştir [62].

İlk proje İsveç'te Vectura şirketinin yükleniciliğini yaptığı Mälarbanan projesidir. Konsept, fizibilite ve tasarım süreçlerinde iyileşmeler olduğu, yapı performansının ve kalitesinin arttığı, işbirliğinin, entegre proje teslim süreçleri ile iyileştirildiği, tasarım aşaması boyunca maliyet tahminleri yapılabilirdiği, tasarım hatalarının yapımdan önce fark edilebildiği, yalın inşaat tekniklerinin daha iyi uygulanabildiği, işletme aşamasıyla entegrasyon, CAD tasarımcılarının projenin erken aşamasında federe 3D model üzerinden tasarımı daha iyi anlaması, federe 3D model üzerinde tüm süreçlerin yürütülmesi, dijital olarak dizayn malzemelerinin görselleştirilmesi, simule edilebilmesi, metraj, planlama ve maliyet hesaplamalarının yapılabilmesi, 4D modelleme ile zamandan tasarruf edilmesi ve kalitenin yükselmesi araştırma kapsamında tespit edilen faydalardır [62].

İkinci proje TUC Rail firması tarafından Belçika'da yapılan Schuman-Josaphat Tüneli projesidir. Bu proje kapsamında tasarım entegrasyonun geliştirilmesi, yeniden yapımların ve kırımaların önlenmesi için çakışma analizlerinin yapılması, proje teslim kalitesinin yükselmesi ve zamanında teslim edilebilmesi BIM'den elde edilen faydaların başlıcaları olarak belirtilmiştir [62].

Üçüncü raylı sistem projesi; Fransız Ulusal Demiryolları Şirketi (Société nationale des chemins de fer français - SNCF) tarafından yürütülen Charles de Gaulle Express projesi kapsamında yürütülen bakım ve yenileme işidir. İstasyonların ve rayların bakım/yenileme çalışmaları sırasında BIM kullanıcıların güvenliğinin korunmasında yardımcı olmuştur [62].

Becthel Civil tarafından yürütülen Crosrail (Elisabeth Line) raylı sistem projesinde BIM kullanımına bağlı elde edilen faydalar; atık ve yeniden yapımlarda %25 azalma, tasarım hatalarının sahaya yansımadan koordinasyon aşamasında giderilmesi,12

haftadan fazla zaman tasarrufu, yatırımcı ve borçlu arasında güvenin artması, hak taleplerinde (claim) %70 azalma ve pozitif yatırım getirisi olarak belirtilmiştir [62].

Bensalah ve diğ. (2018) vaka incelemeleri neticesinde elde ettikleri bulguları değerlendirdiklerinde, BIM'in demiryolunda kullanımının maliyet kontrolü, karar desteği, planlama, prefabrikasyon ve tesis yönetimi süreçlerini iyileştirdiği, tasarım hatalarını azalttığı sonucuna varmışlardır [62].

Olbina ve Elliot (2019) tarafından BIM'in faydalarını ölçmek için yapılan araştırmada katılımcılarla anket çalışması yapılmıştır [63]. Yapılan bu çalışmada araştırılan temel faydalar:

- İnşaat dokümanlarında iyileşme
- İnşaat maliyetlerini daha doğru bir şekilde tahmin etme
- Tekliflerin doğru ve eksiksiz yapılabilmesi
- Yapım aşamasında ve lojistiğin planlanmasında iyileşme
- Planlamada kritik aktivitelerin belirlenmesinde daha doğru sonuçlar elde etme
- Öngörülebilirlikte artış ve beklenmeyen değişikliklerde azalma
- Yeniden yapımlarda azalma
- Verimliliğin artması
- Tasarım çözümlerinde önerilerin daha iyi anlaşılması
- Tasarım sürecine tüm paydaşların katılımının artması
- Nihai tasarımın iyileştirilmesi ve kalitesinin artırılması
- İş güvenliği sorunlarında azalma
- Malzeme atıklarında azalma

BIM ile elde edilen faydanın maddi karşılığının ölçülmesi için yapılan bir çalışmada İngiltere'de sağlık bakanlığına bağlı bir kamu binasının yenilenmesi ve kiralanması işi incelenmiştir [64]. Tasarım ve yapım maliyeti yaklaşık 13 milyon £ olan projeden elde edilen faydanın toplam 676.907 £ olduğu hesaplanmış olup, bu faydanın %6,3'ünün dizayn, %21'inin yapım ve teslim aşamalarında, %72,8'inin ise 12 yıl sürecek işletme aşamasında elde edileceği belirtilmektedir [64].

Yapılan alışmalar genel olarak BIM'in faydaları ile ilgili ortak noktalarda kesişmesine karşılık, yatırım geri dönüş hesapları açısından yapılan çalışmalar çok daha azdır. Yatırımların geri dönüşünün tam ölçülememesi, geleneksel yöntemle göre ne gibi fırsatlar ortaya çıkacağı ve bunların parasal karşılığının hesaplanması yönündeki eksikler sürmektedir [64]. BIM'e geçiş sürecinde yatırım geri dönüşünün ispat edilemez olması firmaların yenilikten kaçmasına sebep olacaktır. Bu sebeple elde edilen faydaların parasal karşılığının hesaplanabildiğı çalışmalar kanıtlanabilirlik açısından daha kuvvetli olacaktır [64].

Bu bölümde BIM'in faydasının ölçülmesi için yapılan çalışmalar üzerinden BIM'in inşaat sektörüne getirdiğı faydalar açıklanmıştır. Yapılan çalışmalarda ortaya konulan faydalar değeriendirildiğinde yapının yaşam döngüsü boyunca geçirdiğı tüm süreçlerde değışik oranlarda BIM'den faydalandığını söyleyebiliriz. Bu kapsamda ihale, tasarım ve yapım aşamaları için BIM'in getirdiğı faydalar aşağıda özetlenmiştir.

2.3.1 İhale ve teklif aşamasında beklenen faydalar

İhale ve teklif aşamalarının doğru yönetilmesi hem yüklenici hem de işveren açısından kritik önem arz etmektedir. Bir işin zamanında ve bütçesinde tamamlanması için ilk adım bu aşamada gerçekleşmektedir. İhale ve teklif süreçlerinin gerçekçi ve yapılabilir şartlarda sürdürülmesi projenin sağlıklı bir şekilde yürütülmesi için çok önemlidir. Taraflardan birinin yapacağı hata proje açısından geri dönüşü çok zor olumsuz sonuçlar doğuracaktır. Bu durum iki tarafa da belirli sorumluluklar ve riskler yüklemektedir.

İhale türüne göre risklerin paydaşlar arasındaki dağılımı değışmekle beraber riskler proje için sürmektedir. İhale aşamasında ne kadar çok bilgiye sahip olunursa teklif o kadar gerçeğe yakın olacaktır. Bu noktada genelde paydaşlara geçmiş deneyimler yardımcı olmaktadır. Ancak inşaat projelerinin değışken yapısı bu yaklaşımda hatalara sebebiyet vermektedir. Bu sebeple süre ve maliyet aşimlarıyla çok sık karşılaşılmaktadır.

BIM, bu kritik aşamada farklı noktalarda tüm paydaşlara katkı sağlayacaktır. Projelerin 3D modellerle üretilmesiyle maliyet analizlerinde doğru sonuca yaklaşılabilecek ve bu sayede ihale bedelinin belirlenmesindeki riskte azalma olacaktır.

Daha önce BIM ile yürütölen benzer bir iş tecrübesi olan firmalar tüm süreçlerin kayıt altına alınmasından bu aşamada da yararlanacaklardır. Projenin sonuna kadar

karişılacak risklerin zamana bağlı analizinde gerçekçi bir arşive sahip olan işveren veya yüklenici belirsizlikleri azaltacak ve bu süreci daha doğru yürütecektir. BIM ile dijitalleşen veriler istatistik çalışmalarını kuvvetlendirecek ve makine öğrenmesi gibi teknolojilerle desteklenebilecektir [65].

Farklı alternatifler üzerinden proje maliyetinde ve sresinde yaşanacak değişimlerin belirlenmesinde BIM modelleri dinamik yapısı ile yardımcı olacaktır. 3D modellerin parametrik yapısı sayesinde tasarım değişikliklerinin geleneksel yönteme göre çok daha kolay bir şekilde yapılabilmektedir [65].

2.3.2 Tasarım aşamasında beklenen faydalar

Tasarım süreçlerinde kaybedilen zaman, projelerin zamanında teslim edilememesi, tasarım kaynaklı hatalar, tasarımın yetersizliği, tasarımın imalat koşullarına uymaması, farklı disiplinlerin iletişim eksikliğinden kaynaklı yaptığı hatalar, tasarımın imalatın gerisinden gelmesi gibi sorunlar inşaat sektöründe çok sık görülmektedir. Bu durumlar çoğu zaman ilave maliyete ve zaman kayıplarına sebep olmaktadır.

BIM'in tasarım aşamasında efektif kullanımı bu tip hataların ve eksikliklerin önüne geçecektir. Federe modeller farklı disiplinleri içeren yapısı ile iletişim eksikliğine bağlı hataları giderdiği gibi yapımdan önce çakışmaların da önüne geçecektir. akışmaların BIM tabanlı yazılımlar tarafından otomatik bir şekilde yapılabilmesi ve tespit edilen çakışmaların giderilmesi için kurulan iş akışları sayesinde tasarım kaynaklı çakışmalar neredeyse sıfırlanmaktadır.

İhale aşamasında olduğu gibi 3D modellerin farklı alternatiflerin oluşturulmasında ve görsel alt yapısı sayesinde karar vermeyi kolaylaştıran yapısı tasarım süreçlerinde harcanan zamanda tasarruf sağlamaktadır.

Tasarım sırasında işveren veya işveren vekili tarafından talep edilen revizyonların 3D modeller üzerinden takip edilmesi ve değiştirilmesi süreçleri tasarımcıya zaman kazandıracadı gibi taleplerin takibini kolaylaştıracaktır. Versiyon karşılaştırma gibi özelliklere sahip olan BIM tabanlı yazılımlar bu süreçlerin kontrolünün otomatikleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu durum taraflar arasında tasarıma bağlı oluşan uyuşmazlıkların engellenmesinde büyük rol oynamaktadır. Modellerin her iki taraf için kanıt niteliği taşımasının yanı sıra kontrollerin kurulan algoritmalar aracılığı ile yapılması güveni arttırmaktadır.

BIM'in 3D modellerle zenginleştirilmiş görselleri projenin anlaşılabilirliğini kolaylaştırmaktadır. BIM modellerinden sayısız kesit ve plan görünüş türetilmesi ve paftalama işlemleri için harcanan zamanın azalması tasarım aşamasında yaşanan gecikmelerin önüne geçmektedir. Ayrıca imalat sırasında talep edilen ilave görünüşlerin türetilmesi çok daha kısa sürede yapılabilmektedir.

Tüm bunlar değerlendirildiğinde BIM'in doğru tasarıma giden yolda büyük bir rol oynadığı söylenebilmektedir. Özellikle algoritmalar yardımıyla tasarım yapmaya elverişli yapısı yapay zekânın da katkısıyla bilgisayar destekli tasarıma farklı bir boyut kazandırmaktadır.

2.3.3 Yapım aşamasında beklenen faydalar

İnşaat projelerinde yapım aşamasında tasarım kaynaklı hatalardan zaman ve maliyet kayıpları yaşanmaktadır. Yapım aşamasında karşılaşılan tasarım kaynaklı hatalar projenin genelini etkileyen büyük problemlere sebebiyet vermektedir. Bir önceki bölümünde anlatılanlar ışığında doğru tasarım yapım süreçlerinde BIM ile elde edilecek en önemli fayda olarak belirtilebilir. Tasarım kalitesinin artması yeniden yapımların önüne geçmekte, çakışmaları engellemekte ve disiplinler arası sorunları sahaya yansımadan çözülmesini sağlamaktadır. Değişiklik talepleri (CO) ve bilgi talepleri (RFI) azalmakta, tasarım kaynaklı uyuşmazlıklar BIM sayesinde engellenmektedir.

BIM modelleri aracılığı ile oluşturulan yapım aşamalarının dijital temsilleri proje süresince karşılaşılabilecek risklerin tespitinde fayda sağlamaktadır. Aşamalara göre iş güvenliği riskleri, çevre yapılarla ilişkiler, kritik aktiviteler, maliyet analizleri, varlık yönetimi gibi proje boyunca karşılabilecek tüm süreçler simüle edilebilmektedir.

Planlama çalışmalarının parametrik modeller aracılığı ile yapılması iş programının oluşturulmasında büyük katkı sağlamaktadır. Tüm disiplinlerin planlama çalışmalarının ortak bir modelde değerlendirilebilmesi iş programının hazırlanmasında karşı karşıya kalınabilecek muhtemel hatalar engellenecektir.

Dijitalleşen takip mekanizması sayesinde anlık olarak projenin son durumu hakkında bilgi elde edilebilmekte ve yapılan işlerin takibinin dijital ikiz üzerinden yürütülmesi ile olası gecikmeler engellenebilmektedir. İmalatların anlık takibi ve keşfin model üzerinden alınması maliyet parametresini içeren 5D modellerde hakediş yapılmasını kolaylaştırmaktadır. İmalatın gerçekleştirildiğine ve proje değerlerine uygun olduğuna

dair kayıtların dijital olarak kontrol edilebilmesi ve saklanabilmesi taraflar arasında şeffaf bir kontrol mekanizmasının oluşmasını sağlamaktadır. Bu kontrol mekanizması kabul ve kesin hesap aşamalarında da paydaşlara zaman kazandıracaktır.

2.4 İnşaat Sözleşmeleri ve İnşaat Sözleşmelerinde BIM'in Uygulanmasına İlişkin Hükümler

2.4.1 Türk Hukukunda sözleşme kavramı

Sözleşme, karşılıklı birbirine uygun irade beyanları ile kurulan bir hukuki işlem türüdür. Sözleşme tanımına baktığımızda öncelikle hukuki işlem ve irade beyanı ifadelerinin irdelenmesi gerekmektedir. Tarafların (bir veya birden fazla) irade beyanları ile hukuki düzeninin kabul ettiği bir hukuki sonuç doğurmasına hukuki işlem denilmektedir. Hukuki işlemler tek taraflı, iki taraflı veya çok taraflı olarak gerçekleşebilir. İnşaat projelerini kapsamı altına alan eser sözleşmeleri iki taraflı sözleşmelerin, tam iki taraflı sözleşmeleri türüne girmektedir. Tam iki taraflı sözleşmeler her iki tarafın da borç altına girdiği sözleşmelerdir [66].

Sözleşmenin kurulması için tarafların iradelerini karşılıklı ve birbirine uygun olarak açıklamaları gerekmektedir. İrade beyanında karşılıklılık ilkesi önem arz etmektedir. Borçlar Kanunu tek taraflı irade beyanını borcun doğumu için yeterli görmemektedir. Sözleşmenin kurulmasında rıza beyanları (irade açıklaması) esastır. Bu beyanlardan ilkinde öneri (icap), ikincisine ise kabul beyanı denilmektedir. Sözleşmenin kurulması için iradenin açık veya örtülü belirtilmesi gerekmektedir. Bunlar sözleşmenin kurucu unsurlarıdır. Eğer bu unsurlar yok ise sözleşmede yoktur [66]. Açık irade beyanında iradenin ne olduğu yoruma bağlı olmaksızın iradenin direk kendisinden anlaşılabilmektedir. Örtülü irade de ise irade yorum yoluyla anlaşılabilmekte sadece belirli bir yönde irade beyanı açıklanmaktadır [66].

Sözleşmenin kurulumunda karşılıklı rıza beyanları esastır. Bu beyanın uygun olması için tarafların sözleşmenin esaslı noktaları ve ikinci derecedeki noktaları üzerinde uyuşmuş olmaları gerekmektedir. İkinci derecedeki noktalardaki anlaşmazlık durumlarında sözleşme kurulumu gerçekleşmiş sayılmamaktadır. Ancak eğer ikinci derecedeki noktalarla ilgili bir açıklama yoksa esaslı noktalar sözleşmenin kurulumu için yeterlidir [66].

Sözleşmenin esaslı noktaları ilk olarak sözleşmenin niteliğini belirleyen unsurlar olarak belirtilmektedir. Sözleşmede eğer taraflarca özel önem verilen ve olmazsa olmaz unsurlar varsa bunlarda sözleşmenin esas unsurlarını oluşturmaktadır [66].

Bir sözleşmenin kurulması için belirli bir süre içerisinde yapılan öneriye karşı kabul beyanının bildirilmesi gerekmektedir. Eğer bu süre içerisinde kabul beyanı bildirilmez ise öneride bulunan taraf artık öneriden bağılı olmamaktadır. Bu süreyi öneride bulunan kendisi belirleyebileceği gibi eğer belirtmediyse kanuna göre belirlenmektedir [66].

Önerinin muhataptı öneriye hemen cevap verebilecek durumdaysa yani hazırlar arasındaysa derhal kabul beyanında bulunmalıdır. Aksi durumda öneride bulunan bağılılıktan kurtulmaktadır [66]. Telefon gibi anında ve kesintisiz iletişim sağlayabilen araçlarla yapılan öneriler hazırlar arasında yapılmış sayılır. Benzer şekilde internette yapılan önerilerde de muhatap hazırlar arasında sayılmaktadır. Eğer aksi durum söz konusuysa yani muhatap öneriye hemen cevap veremeyecek durumda ise muhatap hazır olmayanlar veya gaipiler arasında sayılır [66]. Bu durumda öneride bulunan, normal koşullar altında önerinin muhataba ulaşması ve uygun bir sürede düşünmesine ve gene uygun bir süre zarfında usulüne uygun bir şekilde cevap göndermesi halinde cevabın kendisine ulaştığı süre de göz önüne alınarak önerisiyle bağılı olmaktadır [66].

Sözleşmenin ne zaman kurulduğuna baktığımızda iki farklı durum söz konusu olmaktadır; sözleşme eğer hazırlar arasında ise kabul beyanı ile birlikte kurulmuş olmaktadır. Gaipiler arasında bir sözleşme söz konusu ise öneride bulunana kabul beyanının ulaşması ile sözleşme kurulmuş olacaktır. Fakat burada vurgulanması gereken detay kabul haberinin gönderildiği andan itibaren hükmün doğmuş olacağıdır [66].

Sözleşmenin kurulması için iki ana unsur olduğundan yukarıda bahsedilmişti. Bu kurucu unsurlar sözleşmenin var olabilmesi için şart olmakla birlikte, bazı tamamlayıcı unsurlarda sözleşmenin kurulumu için şart teşkil edebilmektedir. Tamamlayıcı unsurların olmadığı durumda sözleşme hükümlerini doğurmamaktadır. Yani sözleşme, ilave unsurlar tamamlanana kadar askıda kalmaktadır. Eğer sözleşmede bu unsurların gerçekleşmeyeceği belli ise bu durumda sözleşme kesin olarak hükümsüz hale gelmektedir. Tamamlayıcı unsurlar kaynağına göre iki farklı tipte olmaktadır. İlki tarafların iradesinden gelen koşul (şart), ikincisi ise kanundan kaynaklanan yasal koşullardır [66].

Bir sözleşmenin ana unsurları ve tamamlayıcı unsurları sağlansa dahi sözleşmenin geçerli olması için koşullar mevcuttur. Hükümlerin doğması için geçerlilik koşulları sağlanmalıdır [66]. Sözleşmenin Türk Hukuku'nda gerekli geçerlilik koşulları aşağıda sıralandığı gibidir:

- Tarafların fiil ehliyetine sahip olması (TMK 15);
- Sözleşmenin konusunun hukuka (kanunun emredici hükümlerine, kamu düzenine, kişilik haklarına) aykırı olmaması (TBK 27/I)
- Sözleşmenin ahlaka aykırı olmaması (TBK 27/I)
- Sözleşmenin konusunun baştan itibaren ve objektif olarak imkansız olmaması (TBK 27/I)
- Kanunun emrettiği bir geçerlilik şekli varsa, buna uyulmuş olması (TBK 12/II)
- Sözleşmenin muvazaalı olmaması (TBK 19/I)
- İrade beyanlarının yanıltma, aldatma veya korkutma sebebiyle sakat olmaması (TBK 30 vd.)
- Aşırı yararlanma (gabin) halinin bulunmaması (TBK 28)

Türk hukukunda taraflar sözleşme serbestisine sahiptir. Yani kanunda öngörülen sınırlar dâhilinde taraflar istedikleri sözleşmeyi yapabilmektedir. Bu ilke Türk hukuk sisteminin kişilerin irade özgürlüğüne sahip olduğu temel ilkesinin borçlar hukukundaki karşılığıdır. Sözleşme serbestisi ile kişiler borç ilişkilerini hukuk düzeni içerisinde kalacak şekilde hazırlanan sözleşmeler ile yapabilmektedir [67]. Sözleşme serbestisi ilkesi sözleşmenin içeriğini, tipini, şeklini, sözleşme yapma özgürlüğünü kanunun emredici hükümlerine, kamu düzenine, kişilik haklarına veya ahlaka aykırı olmayacak şekilde düzenleme hakkı tanımaktadır.

Bu çalışma kapsamında sözleşmenin geçerlilik koşullarından şekil şartı büyük önem arz etmektedir. Türk hukuk sisteminde sözleşmeler kanunda aksi öngörülmedikçe hiçbir şekle tabi değildir. Ancak bir sözleşme için kanunda şekil koşulu belirtildiyse şekil geçerlilik koşulu olarak dikkate alınmaktadır. Kanunun öngörmediği durumlarda taraflarda kendi aralarında bir şekilde şartı belirme serbestisine sahiptirler [66].

İnşaat sözleşmelerinin dâhil olduğu tip sözleşme biçimi olan eser sözleşmeleri şekle tabi değildir. Fakat yapım işlerinde inşaat sözleşmelerinin yanı sıra tedarik, satın alma gibi sözleşmelerinde süreç içerisinde kullanıldığı unutulmamalıdır. Bu kapsamda

kanunun öngördüğü sözleşme şekil şartlarına baktığımızda; adi yazılı şekil, resmi şekil, ispat şekli ve düzen şekli Türk hukuk sisteminde yer almaktadır [66].

Adi yazılı şekil, TBK’da yazılı bir metnin onunla borç altına girmek isteyenler tarafından imzalanması olarak tanımlanmaktadır. Adi yazılı şekil şartı kapsamında metnin el yazısı ile yazılması veya yazıldığı yer önemli değildir. Burada önemli olan sözleşmenin anlaşılır olması ve güvenilir bir imzayla kanıtlanmış olmasıdır. TBK md. 14/f.1; imza unsurunun güvenli elektronik imza ile de karşılanabileceğini belirtmektedir. Güvenilir elektronik imza Türk hukuk sisteminde karşılığını bulmakta ve uzun zamandır kullanılmaktadır. İmzanın ıslak imza olmasına dair TBK’da herhangi bir sınırlama bulunmamakla birlikte ortam veya teknolojiyle ilgili de bir açıklık getirilmemektedir. Sadece TBK imzanın elle atılmasını düzenlemekte olup, biyometrik imzaların da elle atılan imzalar olduğu söylenebilmektedir. Islak imza gibi atan kişinin kanıtlanabilir olmasının yanı sıra, imzanın atıldığı zamanın kesin olması, şifreleme yöntemleriyle korunabilmesi, loglama ile kanıtlanabilir olması ve elektronik veriye erişimi kontrol eden ID Management teknolojisi ile ispat gücü ıslak imzaya göre kuvvetli ve geniştir. HMK md. 199/f.1 kapsamında belge olarak nitelendirilen yazılı veya basılı metin, senet, çizim, plan, kroki, fotoğraf, film, görüntü veya ses kaydı gibi verileri ile elektronik ortamdaki veriler ve bunlar benzer bilgi taşıyıcıları kanuna göre uyumsuzluk konusu vakıalar için ispata elverişli şartı olması ile belge olarak nitelendirilmekte olup, bu belgelerin yeni teknolojilere uygun imzalama yöntemleriyle imzalanamamasına yönelik HMK ve TBK nötr kalmakta ve bir sınırlandırma bulunmamaktadır [68].

Resmi şekil sözleşme yapmaya dair iradenin resmi bir memur tarafından senede geçirilmesi ile olmaktadır. Kanunda yetkili makam belirtilmediği sürece noterler tüm sözleşmeler için yetkili olmaktadır. Resmi şekle tabi sözleşmelerin başlıcaları; taşınmazlar üzerindeki aynı haklara ilişkin borç sözleşmeleri, taşınmaz üzerindeki intifa hakkının kurulmasına ilişkin sözleşmeler, mal rejimi sözleşmeleri, finansal kiralama sözleşmeleri, motorlu araç satış ve devir sözleşmeleri gibi sözleşmeleridir [66].

Bir hukuki işlemin yargı karşısında ispatına yönelik aranan şekil koşuluna ispat şekli denilmektedir. İspat şekli hukuki işlemi geçersiz kılmamakta ancak yargı nezdinde tarafı kanıt açısından zor duruma düşürmektedir. Yukarıda belirtildiği gibi elektronik ve biyometrik imzalar ispat açısından yeterli kanıtlanabilirlik özelliklerine sahiptir.

Ayrıca eser sözleşmeleri özelinde baktığımızda yapılan işin sonucunun maddi olay niteliğinde olması her türlü yasal delille kanıtlanabilmektedir [66].

Düzen şekli sözleşme geçerliliğini etkilemeyen bir unsur olmakla birlikte tanım olarak belirli bir merciin işlemleri yaparken uymak zorunda olduğu şekil şartları olarak tanımlanabilmektedir [66]. Tüm bu değerlendirmeler ışığında tarafların belirli bir sözleşme şeklini kendilerinin belirleyebiliyor olması tez kapsamında önemle vurgulanmalıdır. Kanun öngörmese dahi taraflar ispat ve geçerlilik şartlarını sözleşme içerisinde belirleyebilmekte ve karşılıklı anlaştıkları şekil şartına uymak zorundadır. Bu bölüm Türk hukuk sistemindeki sözleşme unsurlarını ve geçerlilik şartlarını açıklayarak çalışmanın devamında anlatılan BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonunun temellerini sağlamlaştırmak amacıyla yazılmıştır.

2.4.2 İnşaat sözleşmelerinin hukuki niteliği

İnşaat sözleşmeleri Borçlar Kanunu Yedinci Bölüm Eser Sözleşmesi, Türk Ticaret Kanunu'nun işletme ve tacirle ilgili tüm maddelerine, Medeni Kanun'a ve Kamu İhale Kanunu'nun tüm maddelerine bağlı olarak değerlendirilmektedir. BK. m. 470' göre "Eser sözleşmesi, yüklenicinin bir eser meydana getirmeyi, iş sahibinin de bunun karşılığında bir bedel ödemeyi üstlendiği sözleşmedir." [67]. Eser sözleşmesinde taraflar yüklenici ve iş sahibidir (işveren). Eser sözleşmesinde işveren bir eser meydana getirmeyi yükleniciye veren gerçek veya tüzel kişidir. Yüklenici ise eseri meydana getirip teslim etmeyi borçlanan her hangi bir kişidir [69]. İşveren genel olarak eserin meydana gelmesi işinin yönetimini bir mühendis veya mimara görevlendirmektedir. Bu kişi işverenin temsilcisi niteliğinde olup, aralarında yapılan sözleşme işe bir vekâlet sözleşmesidir [69].

Eser sözleşmelerinde yer alan eser sadece maddi bir eseri tanımlamamakta, ayrıca maddi olmayan çalışma sonuçlarını da kapsamaktadır. Yani burada belirtilen objektif olarak kanıtlanabilen belirli bir maddi veya maddi olmayan neticenin meydana getirilmesi eser sözleşmesi kapsamına girmektedir. Bir yapının projesini yapan mimar ile yapılan sözleşme eser sözleşmede eser sözleşmesi kapsamına girmektedir [69].

Eser sözleşmesi her iki tarafa borç yükleyen sözleşmelerdir. Burada taraflar arasında bir değiş tokuş ilişkisi mevcuttur. Bu ilişkiyi oluşturan edimler eser meydana getirme ve ücret ödenmesidir. Eser sözleşmelerinde ücret bir edim olarak yer almakla beraber unsur olarak yer almamaktadır. Ücretin nasıl ödeneceği, neye göre belirlendiği, para

ile tayini vs. kurulan sözleşmenin eser sözleşmesi niteliğini değiştirmemektedir. Taraflar ücreti tek bir rakam olarak belirleyebildiği gibi birim fiyat üzerinden veya çalışma günü/saatine göre de belirleyebilmektedir. Ancak taraflar arasında ücret konusunda mutabakata varılmaması durumunda BK m. 481 çerçevesinde mesleki birliklerin belirlediği bir tarife var ise bu tarifin göz önüne alınacağı belirtilmektedir [69].

Eser sözleşmesini oluşturan taraflar BK m. 480’de yüklenici ve iş sahibi olarak geçmektedir. Burada yüklenici eseri meydana getirme borcu altına giren, işveren ise eser meydana getirilmesi karşılığı ücret ödeme borcu altına girendir. Taraflara yüklenen bu borçlar yapılan anlaşmanın niceliğinden çıkan sonuçlardır. Kural olarak bu anlaşmanın geçerliliği her hangi bir şekle tabi değildir [69]. Türk Borçlar Kanunu (TBK) m. 1’e göre sözleşme tarafların iradelerini karşılıklı ve birbirine uygun olarak açıklamasıyla kurulmaktadır. Burada irade açık ve örtülü olabilmektedir [70]. Eser sözleşmesinin kurulabilmesi için de öneri ya da kabulün örtülü olarak yapılabilmesi mümkündür. Ancak ispat şekline uyulması sözleşmenin pratik ve hukuki açıdan yararı olmaktadır [69]. Burada taraflar hakları ve borçlarıyla ilgili önemli konuları yazılı şekle tabi tutma istekleri ispat açısından tercih ettikleri bir yoldur [69]. Ancak yazılı şekil şartı zorunlu olmamakla birlikte ispatın nasıl olacağı tarafların iradesine bırakılmıştır. Eser sözleşmesinin ivazlı, şekle tabi olmayan, rızaî sözleşme görünümünde olması bu durumu doğurmaktadır.

Yukarıda da belirtildiği gibi eser sözleşmeleri her iki tarafa da borç yüklemektedir. Yüklenicinin eserin meydana getirilmesinde yüklendiği borçların yanında işverenin ücret ödeme borcu bulunmaktadır. BK m. 479-481 hükümleri işverenin borçlarını düzenlemektedir [70]. İşveren borçlarının eser sözleşmesinin ilgili hükümlerinde sadece ücretin ödenmesi kapsamında değerlendirilmesine karşın bu durum işverenin tek borcunun ücret ödenmesi olduğunu göstermemektedir. Diğer hükümlerden ve sözleşmeden doğan bazı borçlarda işveren yükümlülüğündedir. Ayrıca yapılan işin ve sözleşmenin özelliğine bağlı olarak ilgili şartnamelerle de işverenin bazı borçların yükümlülüğü altına girdiği vurgulanmalıdır [69].

Eser sözleşmesinde taraflar yaptıkları sözleşme ile ücreti açıkça belirtebilmekle beraber ücretin miktarına ait bir hüküm getirmeme hakkını da sahiptirler. Ücretin sözleşmede belirlenmesi veya belirlenmemesi farklı hükümlere göre değerlendirilmektedir [69].

BK. m. 479’da ücretin zamanına ilişkin “bedelin muaciliyeti” kapsamında düzenleme getirilmektedir. BK. m. 479 “*İşsahibinin bedel ödeme borcu, eserin teslimi anında muaccel olur*”(f.1); “*eserin parça parça teslim edilmesi kararlaştırılmış ve bedel parçalara göre belirlenmişse, her parçanın bedeli onun teslimi anında muaccel olur.*” [70]. Burada önemli olan nokta alacağın eserin tesliminden önce (tamamlanması anında) veya daha sonra (gerekli kontrollerin yapılmasının ardından) müeccel olmaması, teslim anında müeccel olmasıdır. Ancak bu kurala istisna olarak kısmi teslimler için kısmi ödemeler yapılabilmektedir. Bu durum özellikle nicelik olarak tespit edilebilen (sayı, ölçü ve ağırlık) birbiri ardına tesliminin yapılabildiği eser sözleşmelerinde uygulanmaktadır. İnşaat sözleşmeleri bu tip eser sözleşmelerindendir [69].

İnşaat sözleşmelerinin ana unsurları TBK kapsamında yukarıda derlendiği gibi olup, bir sonraki bölümde uluslararası örneklerle inşaat sözleşmelerinde BIM’in kapsamı incelenmiştir.

2.4.3 İnşaat sözleşmelerinde BIM’in kapsamı

BIM bir inşaat projesinin yönetim anlayışında önemli değişikliklere sebep olmaktadır. Sadece bir projenin 3D modeli olarak sunulması olarak yorumlandığında etkinin çok fazla olmayacağı düşünülebilir ancak BIM planlama, maliyet, satın alma ve tedarik, imalat ve işletmeye yönelik proje yönetiminde kritik değişikliklere sebep olmaktadır. Ayrıca modellerin içerdiği zengin verilerle BIM beraberinde yeni uygulama zorlukları ve sorumlulukları getirmekte olup, özellikle veri güvenliği ve fikri mülkiyet konularında yeni tartışmalara yol açmaktadır. Birlikte çalışma fikri, federe model, ortak veri ortamı ve bunlarla birlikte gelen kavramlar da sözleşmelerin yeniden yapılandırılmasına yönelik tartışmaları beraberinde getirmiştir.

Paydaşların BIM kullanımından etkin bir şekilde yararlanabilmesi için tip sözleşme oluşturması gerekliliği BIM kullanımının yaygınlaşması ile artmıştır. Bu ışıktaki ilk tip sözleşme çalışması olarak nitelendirebileceğimiz sözleşmeler Amerika Birleşik Devletleri’nde American Institute of Architects (AIA) tarafından yayınlanan AIA E202-2008 ve Associated General Contractor of America (AGC) tarafından yayınlanan ConsensusDock 301 BIM Addendum olmuştur [71]. Bir diğer önemli tip sözleşme ise 2013 yılında Construction Industry Council (CIC) tarafından İngiltere’de yayınlanan Building Information Model Protokolü olmuştur [72]. Kanada’da 2014

yılında benzer bir tip sözleşme CanBIM tarafından AEC(CAN) BIM Protocol adı ile yayınlanmıştır [73]. Benzer sözleşmeler farklı ülkelerin kamu, özel veya bağımsız kuruluşlarınca yayınlanmış ve uygulamada aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sözleşmeler, hazırlayan kuruluşlar ve sözleşmelerin içeriklerinde farklılıklara sahip olmakla beraber genel olarak BIM hedefine ulaşmak için ayrıntılı koşullar ve adımları içeren sözleşmeler olarak nitelendirilebilirler. Sorumluların kim olduğu, neyin, ne zaman, nasıl ve kim tarafından teslim edileceği gibi detaylar sözleşmelerde yer almaktadır [74].

Tip sözleşmelerin yanı sıra kamu ve özel kuruluşlar da benzer nitelikte dokümanları kendi ihalelerinde kullanmak üzere yayınlamıştır. Bu dokümanlar daha çok BIM kullanımı tariflerinin yapıldığı standartlar, kılavuzlar veya raporlardır. Sözleşmede referans gösterilen veya sözleşmeye ek olarak eklenen bu dokümanlar, işverenin BIM kullanım beklentilerinin belirtildiği detaylı çalışmalar olarak nitelendirilebilirler [74]. New York City Council, The State of Ohio, ABD ordusu kendi BIM kılavuzlarına sahip olan kamu kuruluşlarına örnek olarak verilebilmektedir [75].

Türkiye’de ise kamuda İstanbul, İzmir, İzmit ve Mersin gibi şehirlerin büyükşehir belediyelerine bağlı raylı sistemleri yürüten alt birimlerinde hazırlanan BIM sözleşme taslakları bulunmaktadır. Ancak kamuya açık bir şekilde paylaşılan bir tip sözleşme bulunmamakla birlikte yaygın olarak kullanılan Yapım İşleri Genel Şartnamesinde de BIM ile ilgili hiçbir açıklama yer almamaktadır. Bağımsız meslek kuruluşlarının ve üniversitelerin genelde öncü olduğu birçok ülkede görülmektedir. Fakat Türkiye’de buna yönelik bağımsız meslek odaları veya üniversitelerin de çalışmalarına rastlanılmamıştır.

Dünyada gelişen teknoloji ve buna bağlı BIM kullanımına bağlı olarak tip sözleşmelerde de güncellemeler yapılmaktadır. AIA son olarak E203-2013’ü yayınlamıştır [76]. CIC ise BIM Level 3 için yetersiz görünen 2013 yayınından sonra BIM Protocol 2018 ile kapsamlı bir güncelleme yapmıştır [77].

Ancak tip sözleşmelerin hukuki niteliği ve yeterliliği hala tartışma konusu olmaktadır. BIM ile ilgili hükümlerdeki belirsizlikler ve yetersizlikler BIM kullanımından elde edilecek faydayı azaltmakla birlikte, kullanımda tutarsız uygulamalara sebep olduğu görülmektedir [78].

İngiltere’de inşaat tip sözleşme dokümanı hazırlama konusunda en yaygın kullanıma sahip kuruluşu olan Joint Contracts Tribunal (JCT) 2016 yılında BIM metodolojileri ve prensiplerinin belirlenmesi için işbirlikçi ve entegre yönetime değinen bir uygulama notu yayınlamıştır. JCT, inşaat sözleşmelerinde BIM ile ilgili hak ve yükümlülüklerin tüm paydaşlar için açık bir şekilde belirtilmesinin önemini vurgulamaktadır. Bu kapsamda JCT 2016 versiyonuna BIM tip sözleşmelerinin kullanımına izin verdiğini eklemiştir [79].

BIM tip sözleşmeleri ile ilgili en dikkat çekici araştırmalardan biri King’s College London İnşaat Hukuku ve Uyuşmazlık Çözüm Merkezi tarafından 2016 yılında yapılmıştır. Araştırmanın odak noktaları: BIM’in yasal yükümlülükleri nasıl etkilediği, BIM tip sözleşmelerinin nasıl değerlendirilmesi gerektiği, CIC BIM Sözleşmesinin nasıl işlediği, BIM’i destekleyen sözleşme hükümlerinin neler olduğu, BIM dokümanlarının sözleşmesel statüsü, BIM yazılımlarına duyulan güven, BIM Bilgi Yöneticisinin (BIM Information Manager) rolü, satın alma modellerinin BIM’e etkisi, BIM’in tedarik ve sözleşme arasındaki bağlantının kanıtı, BIM ile varlık yönetimi, gelecekteki BIM sözleşme özellikleridir [80].

Sözleşmeye geçmeden önce yüklenicinin proje kapsamı ve danışmanın hangi aşamalarda bulunacağı konusundaki sözleşme hükümlerini değerlendirmek doğru olacaktır. Burada bazı önemli noktaların kontrol edilmesi gerekmektedir. Sözleşmede danışmanın veya yüklenicinin BIM’i nasıl uygulayacağı konusunda açık bir şekilde yükümlülüklerinin tamamlanması ilk olarak kontrol edilmesi gerektir. Sözleşmenin proje yaşam döngüsündeki yeri irdelenmeli, sözleşme geçerliliği tasarım aşamasından mı başlıyor ve sonrasında işletme aşaması için devam edecek mi soruları mutlak suretle sözleşme kapsamında cevaplanmalıdır. Yüklenici veya danışmandan beklenen deneyimin sözleşmede açıklandığı kontrol edilmelidir. BIM kullanımları açıkça belirtilmeli, belirlenen kullanımlara göre danışman veya yüklenicinin tasarım, maliyet hesapları, iş programı, proje yönetimi, yapım ve varlık yönetimi konularında spesifik görevlerine olan etkileri doğru bir şekilde değerlendirilmeli sözleşme hükümleri bu kapsamda incelenmelidir [80].

Önemle vurgulanması gereken bir diğer nokta BIM Bilgi Yöneticisinin paydaşlarca tam olarak anlaşılmasıdır. Veri güvenliği ve paylaşımı konusunda kritik öneme sahip olan bu pozisyonundaki kişinin hangi görevlere ve yetkilere haiz olduğu ile birlikte proje yöneticileriyle olan ilişkisinin net bir şekilde tanımlandığına emin olunmalıdır [80].

Pratikte, sözleşme hükümlerinde BIM'den doğan etkiler bulunmaktadır. Sözleşme hükümlerinin bu doğrultuda değerlendirilmesi, uygulama açısından önem arz etmektedir. BIM ile proje tasarım süreçlerinde değişiklikler meydana geldiği göz önüne alınmalıdır. Tasarım detaylarının sunum ve onay prosedürleri ile tasarımların teslim sürelerinin etkileneceği iyi anlaşılmalıdır [80].

Uygulamada tasarım firmalarının genel endişesi BIM'in emeği yapımdan tasarıma doğru kaydırması olmaktadır. BIM dijital modellerde sorunların tasarım sürecindeyken yapıma yansımadan çözülmesine odaklanmaktadır. Bu durum tasarımcı tarafından ilave emeğe, dolayısıyla tasarım sürelerinde artışa sebebiyet vermektedir. Sözleşme hükümlerinde bu sürelerin adil ve açık olarak belirlenmesi gerekmektedir. Dijital dokümanların sunum ve onay prosedürleri diğer önemli sözleşme etkisi olarak vurgulanmalıdır. Dokümanların CDE içinde paylaşımının ve burada izlenen onay prosedürlerinin yeterliliği konusu ilgili kanun hükümlerine uygun olarak sözleşmeye eklenmelidir. Dijital dokümanlarda onay mekanizmasının sadece CDE'de durum değişikliği ile yapılabileceği hukuki karşılığı olmayan bir yaklaşım olacaktır. Dijital bir dokümanın onay usulünün belirlenmesinde elektronik imza veya biyometrik imza gibi güncel teknolojik yaklaşımlar benimsenebilir.

Türk hukuk sisteminde elektronik imza 5070 sayılı Elektronik İmza Kanunu ile tanımlanmıştır ve imza sahibinin kimliğini onaylatan bir yöntem olarak kullanılabilmektedir [81]. Ancak bunların modellere nasıl ekleneceği teknolojik yeterlilikler açısından belirsizliğini korumaktadır. Sözleşme hükümlerinin bu kapsamda hukuki değerlendirmesinin yapılarak oluşturulması ileride yaşanacak uyuşmazlıkların ve uygulamadaki belirsizliklerin önüne geçecektir.

BIM modellerinin iş programı ve maliyet bilgileri gibi projenin kritik verilerini içermesi modelin sorumluluk alanını da genişletmekle beraber, uygulamada değişiklik talepleri ile bilgi taleplerinin de BIM modeli üzerinden takibine yönelik çalışmalar, dijital kanıt kavramının tartışılmasına yol açmaktadır. Model içerisinde yer alan bilgilerin kötü niyetli kişiler tarafından değiştirilmesinin önüne geçecek önlemlerin sözleşme hükümleriyle güvence altına alınmaması, modelin dijital kanıt olarak değerlendirilmesinin önünde bir engel olarak karşımıza çıkmaktadır.

BIM Bilgi Yöneticisinin sözleşme hükümleriyle yetki ve sorumluluklarının belirlenmesi dijital kayıtların güvence altına alınmasında büyük önem taşımaktadır

[81]. Üretilen verilerin korunması ve güvenilirliğinde paydaşların mutabakata varması için sözleşmede hükümlerin açık ve net dille belirtilmesi gerekmektedir. Bunun yetki ve sorumlulukları net bir şekilde belirlenen söz konusu BIM Bilgi Yöneticisi aracılığı ile yapılması gerekmektedir [82]. Sözleşmede bu hükümlerin net bir şekilde ifade edilmesi uygulamada karşılaşılabilecek uyuşmazlıkların da önüne geçecektir [83].

BIM modellerinin sürekli gelişen canlı yapısı ve proje yaşam döngüsü boyunca detay seviyesinin değişimi, hangi aşamada tedarikçiden hangi verilerin isteneceği tartışmalarını ortaya çıkarmaktadır. Sözleşme hükümlerinde işletmeye yönelik bir modelin istenmesi bu durumu daha da karmaşık hale getirmekte olup, belirsizliklere yol açmaması için model detay seviyesi tariflerinin net bir şekilde yapılması gerekmektedir. Gerekirse sözleşme ekleriyle bu detaylar belirlenmelidir. Bu sebeplerden dolayı tip sözleşmeler hazırlanırken alt yüklenici ve tedarikçilerin BIM uygulama süreçlerine hâkim olmamasından doğacak sorunların önüne geçecek sözleşme maddelerinin eklenmesi uygulamada fayda sağlayacaktır.

Proje süresince değişen BIM Uygulama Planı'nın hukuki niteliği konusundaki belirsizliklerin kesin bir hükme varmada sorun yaratacağı görüşü, bu tip sorunlarda başvurulacak kaynağın açıkça belirlenmesinde sorunlarla karşılaşılabileceğini göstermektedir [82]. Sözleşme hazırlanırken detay olarak nitelendirilebilecek bazı konuların BIM Uygulama Planı'nda çözülebileceğine yönelik yaklaşım doğru bulunmamaktadır. BIM Uygulama Planı iş yapış yöntemini anlatmak olup, işin gerekliliklerini tanımlayan bir sözleşme veya eki değildir. Eğer böyle bir statü kazandırılmak isteniyorsa işverenin sözleşme tasarısına kendi BIM Uygulama Planı'nı eklemesi daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Uygulamada, ABD Ordusunun benzer bir yöntemle tasarımdan işletmeye geniş kapsamlı bir standartlar dizisi ile sözleşmelerini kurduğu görülmektedir [83].

Bu noktada olması gereken, sözleşme eklerinin detaylı bir şekilde BIM'e destek olacak şekilde hazırlanmasıdır. İşverenlerin uluslararası standartlara uygun bir şekilde hazırladığı şablonları tüm işlerinde kullanması veri yönetimi açısından da büyük bir fayda sağlayacağı gibi tarafların kendi çıkarları için sözleşme maddelerini manipüle etmelerinin de önüne geçecektir [79].

İşbirlikçi bir strateji ile inşaat yönetimini benimseyen BIM, paydaşların sorumluluk anlayışlarında da kökten değişikliklere sebep olacaktır. BIM modeline yapılan tüm

katkıların, yapan tarafın sorumluluğunda olduğu unutulmamalıdır. Buna, tasarımı yapan farklı disiplinlerin katkısı kadar yüklenicinin, tedarikçilerin ve işverenin de sorumluluğunun dâhil olduğu vurgulanmalıdır [79].

Sözleşmeler bu kapsamda revize edilmeli ve çift taraflı sözleşme anlayışından çok partili bir sözleşmeye geçiş için çalışmalar yapılmalıdır. Projede yer alan tüm alt yükleniciler ve tedarikçilerin aynı BIM sözleşme hükümlerine karşı sorumlu olması ve bu sorumluluğun sadece işveren-yüklenici ilişkisiyle sınırlı kalmaması gerekmektedir. Çok partili sözleşme sistemi ile birlikte projeye dâhil olan herkes işbirliği stratejisine uygun bir şekilde aracı olmaksızın iletişim halinde olmalıdır [79]. Bu iletişimin işbirliğinin yanında şeffaflık algısını da değiştireceği mutlaka vurgulanmalıdır.

Sonuç olarak sözleşme maddeleri projeye dâhil olan herkesin şeffaf, aracısız, mutlak bir iş birliği ve koordinasyon içerisinde sorumluluğu adaletli bir şekilde paylaşacağı açık ve net hükümlerle belirsizliklerin ortadan kalktığı bir temel üzerine kurulmalı ve dijitalleşen dünyanın getirdiği yeniliklere uygun tip sözleşme geliştirilmelidir.



3. BLOKZİNCİR VE AKILLI SÖZLEŞMELER

Sözleşme, Türk Dil Kurum’unda “Hukuki sonuç doğurmak amacıyla iki veya daha çok kişinin, kuruluşun karşılıklı ve birbirine uygun irade beyanlarıyla gerçekleşen işlem, bağıt, akit, mukavele.” olarak tanımlanmaktadır [84]. Sözleşme kavramının kökeni ise birlikte yapmak, ortaklık kurmak fiilinden türeyen Latince “Contractus” kelimesinden gelmektedir [85].

Sözleşme, insanlık tarihinin başından itibaren var olan bir kavramdır. İnsanların iletişime başladıkları zamandan bu yana ticaret vazgeçilmez bir toplumsal ihtiyaç olarak hayatın bir parçası olmuştur. İlkel topluluklarda karşılıklı güven esasına dayanan ticaret, ileri toplumlar da sözleşme niteliğindeki etik kodlarla sürdürülmüştür [86]. Kişiler toplum içerisinde yaşamının getirdiği işbirliğini sözleşmeler ile güvence altına almaktadır. Adam Smith insanın ihtiyaçlarını karşılamının temelinde yatan öneriyi "Gereksindiğimi bana verin, siz de benden şu gereksindiğinizi alın.” deyişiyile açıklamakta olup, ihtiyaç duyulanların sözleşme, değiş etme, satın alma ile karşılanacağını ifade etmektedir [87]. Bu durumda sözleşmeyi insanın ihtiyaçlarını karşılarken tarafları karşılıklı güven altına alan kurallar dizisi olarak tanımlamanın doğru olacaktır.

Uygarlığın gelişimi ile ihtiyaç kavramı da değişmiştir. Ticarete bu ihtiyaçlar doğrultusunda ilerlemiş ve günümüz iktisadi düzenini oluşturmuştur. Ancak sözleşmelerin temelinde yatan unsur değişmemiştir. Taraflar karşılıklı edimler doğrultusunda yükümlülüklerini yerine getirmekle mükelleftir. Günümüzde edimler sadece madde ile sınırlı kalmamakta, para olarak nitelendirilen kâğıtlar dahi bankaların muhasebe defterlerindeki rakamlardan oluşmakta ve çoğu zaman dijital olarak yer değiştirmektedir.

Modern çağda yapılan birçok işlem dijital veriler üzerinden yürütülmektedir. Örneğin bankaların para transfer mekanizmaları, sağlık kayıtları, alışveriş, bağışlar, tedarik ve satın almalar, sigorta poliçeleri, adli kayıtlar, vergi işlemleri, kimlik bilgileri gibi

günümüz insanının hayatını oluşturan birçok unsur dijital dünyada güvenli veritabanlarından yönetilmektedir. Örneğin bir hastaneye gidildiğinde yapılan testler bir veritabanı ile hekime ulaşmakta veya hekimin yazdığı ilaçlar farklı bir veritabanı ile eczanelerle paylaşılmaktadır. Süreci gözden geçirdiğimizde testlerin fiziksel dünyada yapılmasına karşın testin sonuçları, sonuçların değerlendirilmesi ve neticede uygulanan tedavinin belirlenmesi aşamalarının hepsi dijital veriler aracılığı ile sürdürülmektedir.

Aynı şekilde bir inşaat projesinde dijital bir doküman üzerinden çizimleri ve hesapları yapılan projenin fiziksel olarak gerçekleşmesini sağlayan tedarik ve satın almalar da çoğu zaman dijital varlıklar üzerinden yapılmaktadır. Ticarete dayalı işlemlerin büyük bir çoğunluğu artık dijitalleşmekle beraber, bilgiye dayalı işlemlerde dijital dönüşüme ayak uydurmuştur. Kitaplar, haberler, akademik araştırmalar, istatistikler ve bilgiye ulaşmanın tüm yolları artık dijital dünyaya adapte olmaktadır.

Varlıklar hızla dijitalleşirken varlıkla ilgili tüm mekanizmalar da git gide dijitalleşmektedir. Kanıtlar, imzalar, taraflar, sözleşme ve diğer tüm unsurlar dijital ortama taşınırken sözleşmenin yerine getirildiğinin ispatının otonom hale getirilmesi fikrini kuvvetlendirmektedir. Bu fikir temeli üzerine kurulan akıllı sözleşmeler; dijital veri üzerinden sözleşme koşullarının gerçekleştiğinin kontrolünün yapıldığı ve sözleşme hükümlerinin otomatik bir şekilde uygulandığı sözleşmelerdir.

ATM'yi icat eden John Shepherd-Barron'un esin kaynağı olan çikolata otomatı da sözleşme temelli mantıkla çalışmaktadır [88]. Kişi para verirken karşılığında makinede çikolata vermekle edimini yerine getirmektedir. Kurulan bu sözleşme önceden programlanıp otonom bir şekilde sürmektedir. Akıllı sözleşmelerin de esin kaynağı olan otomat devre şeması ile aynı mantıktadır [89].

Nick Szabo 1997 yılında yayınladığı makalede akıllı sözleşmeleri tanımlarken en ilkel halinin otomatlar olduğunu ifade etmektedir. Ancak akıllı sözleşmeler dijital tüm varlıkların sözleşmeye yerleştirilmesi ile otomatların önüne geçmektedir [89]. Bu bölümde Blokzincir, akıllı sözleşme tanımı ve özellikleri ile akıllı sözleşmeyle birlikte değerlendirilmesi gereken unsurlar açıklanmıştır.

3.1 Akıllı Sözleşme Kavramı

Akıllı sözleşmeler merkezi otoriteye bağlı olmaksızın süreçlerin algoritmalarla yürütebileceği felsefesi ile ortaya çıkmıştır. Tüm sektörler için devrim niteliğinde olan akıllı sözleşme teknolojisi, günümüz ekonomik ve politik düzende rollerin radikal bir şekilde değişmesi, aracılarından kaynaklı zaman kayıplarını ve maliyet yükünü ortadan kaldırılması konularında ilerleyen zamanlarda geniş yer bulacaktır.

Bu bölümde; akıllı sözleşme kavramından önce akıllı sözleşmenin birlikte değerlendirilmesi gereken Blokzincir tanımlanmış, sonrasında akıllı sözleşmenin tanımı ve temel prensiplerinin ardından, akıllı sözleşmelerin uygulanmasından beklenen faydalarla birlikte uygulama alanları konusunda literatür taraması yapılmıştır.

3.1.1 Blokzincir

Sümerlerin M. Ö. 3500’lü yıllarda çivi yazısını icat etmesindeki ihtiyaç sosyal ve ekonomik ilişkilerin artmasıydı. Ticari faaliyetlerin kayıt altına alınması için kullanılan çivi yazısı, bugün insanlık tarihine dair bilgileri ulaşabildiğimiz tüm kaynakların atasıdır [90].

Yazı ve alfabenin bulunmasından sonra tabletlerden kâğıda geçiş süreci insanlık tarihindeki diğer kırılım noktasıdır. Kâğıtla hızla ve kolay bir şekilde yayılan bilgiler insanlığın gelişiminde büyük rol oynamıştır. İnsanlık, bilginin hızlı aktarımıyla büyük bir ivmeyle sosyal ve ticari hayatını geliştirmiştir.

Binlerce yıl kâğıthegomanyalı süren sosyal, ekonomik, ticari ve politik ilişkiler 20.yy’da dünyayı yeni bir çağa taşıyan internet teknolojisiyle farklı bir boyut kazanmıştır. 2019 yılı itibariyle günlük ortalama 6 saat 42 dakikalarını internette geçiren insanlar, sonsuz bir veri trafiği ile sosyal ve ticari ilişkilerini kurmaya başlamıştır [91].

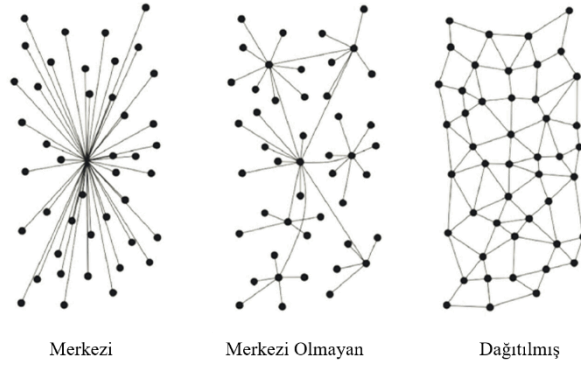
Verilerin hızlı trafiği bir taraftan mevcut sorunlara çözümler üretmekteyken bir taraftan ise yeni sorunlar yaratmaktadır. Bu sorunların en başında insanlık tarihinin süre gelen sorunu olan güven problemidir. Toplumların güven problemlerini kurdukları devletler, bankalar, şirketler ve diğer ulusal uluslararası kurumlarla sağlamakta bilgilerini merkezci otoritelerinin kontrolüne bırakmaktadır. Toplumlar, sosyal ve ekonomik kimliklerini oluşturan tüm verilerin kayıt altına alınmasından ve

tüm ilişkilerin kurallar dizisi içerisinde yönetilmesinde tarih boyunca hep merkezi yapılara muhtaç olmuştur [92].

İnsanlar merkezi yapılara tüm verilerinin kontrolünü bırakmaktadır ve onlara yine merkezi bir yapı olan devletlerin yasalarıyla koruma altına aldığı bir sisteme güven duymaktadır. Bu güvenin karşılığını ise harç, vergi ve benzeri ödemelerle maddi olarak yüklenmeye mahkûm bırakılmaktadır. Teknoloji hızla ilerken bu geleneksel anlayışın değişmeyeceğine inanmak doğru bir bakış açısı olmayacaktır. Peki, binlerce yıldır süre gelen bu merkezi otorite muhtaçlığı değişebilir mi? Blokzincir teknolojisinin temel felsefesini işte bu nokta oluşturmaktadır. Blokzincir, merkezi yapılara ihtiyaç duyulmadan matematik ve teknoloji sayesinde manipüle edilemeyen güvenli bir veri kayıt sistemi kurmanın mümkün olduğu bir sistem olarak ortaya çıkmıştır [92].

Blokzincir, merkezi bir yapıya bağlı olmadan verilerin güvenli bir şekilde saklandığı dağıtık bir veritabanıdır. Bu veritabanında veriler kriptografik şifreleme yöntemleriyle korunan blokların içerisinde saklanmaktadır. Her bir blok bir önceki bloğa şifrelenmiş imzalarla bağlanmıştır [93].

Blokzincir içerisindeki her kayıt diğer kayıtlarla bağlantılı bir zaman referansı içermektedir. Bu referanslar ve imzalar ilk bloktan son bloğa kadar zincirleme bir şekilde aktarılmaktadır. Sisteme eklenen bloklar bu sistem sayesinde değiştirilemez, güvenilir bir yapı haline gelmektedir. Bir bloğun değiştirilebilmesi için ilk bloktan (genesis) son bloğa kadar tüm zincire müdahale edilmesi gerekmektedir. Blokların %51'den fazlasına eş zamanlı saldırı yapılması durumunda teorik olarak mümkün görünen zinciri bozma, günümüz bilgisayarlar teknolojisinde mümkün görünmemektedir. Blokzincir'i güvenli bir veritabanı yapan bir diğer özellik ise blokların dağıtık kayıt defterlerinde tutulmasıdır. Dağıtık kayıt defterleri, verilerin birçok ağ noktasında tutulduğu yapılardır. Şekil 3.1'de verilen Paul Baran Diyagramı ile dağıtık ağ yapılarının diğer ağ yapılarından farkı görülmektedir [92]. Dağıtık kayıt defterlerinin ilk örnekleri eDonkey ve Bittorrent gibi ağlardır. Bu ağların temel özelliği verilerin ağa dâhil olan tüm sistemler tarafından birer kopyasını kendi sistemlerinde tutmasıdır. Blokzincir veritabanları da dağıtık kayıt defteri esasına dayanarak verileri saklamaktadır. Yani bir Blokzincir ağında değişiklik yapılmak istendiğinde ağa dâhil olan tüm sistemlere aynı anda saldırılması ve tüm blokların aynı şekilde değiştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.1 : Paul Baran Diyagramı [92].

Blokzincir'i klasik dağıtık kayıt defteri yapılarından ayıran özellik ise şifreleme yöntemlerini kullanmasıdır. Ancak bu sistemin de dezavantajları mevcuttur. Ağ üzerinde saklanan bir verinin şifresinin tek bir sistem tarafından tanınması sistemde oluşacak herhangi bir sorunda onu ulaşılamaz ve çalışamaz hale getirecektir. Blokzincir bu sorunu mutabakat süreçleriyle çözmektedir. Sisteme eklenen her bir blok katılımcılar tarafından ağ kurulurken kabul edilmiş belirli kurallar dizisinden geçmek zorunda olup, buna mutabakat yapısı denilmektedir. Ağa dışarıdan bir müdahale olduğunda veya hatalı bir veri zincire katılmaya çalışıldığında birbirleriyle sürekli iletişimde olan dağıtım noktaları mutabakatın kontrolünü gerçekleştirmektedir. Kötü niyetli bir saldırı olduğunda işlemi yapan sistem güvensiz kabul edilmekte ve dağıtık kayıt defterinden çıkarılmaktadır. Sistemde kalanlar ise zincirin bozulmadan devam ettiği yerde mutabık kalarak sistemi kullanmaya devam etmektedir [93].

Tüm bunlar ışığında Blokzincir'in temel prensipleri aşağıda verildiği gibi tanımlanabilir.

- Dağıtık veri tabanı
- Uçtan uca iletişim
- Şeffaflık
- Kayıtların geri alınamaması
- Programlanabilir yapısı

Dayandığı temel prensiplerle birçok sektörü kökten değiştirme potansiyeline sahip olan Blokzincir teknolojisinin başta bankacılık olmak üzere, yardım fonları, seçimler ve oylama, kimlik, altyapı güvenliği, araba kiralama ve satış, nesnelerin interneti, bulut teknolojisi, telif hakları ve lisanslama, tedarik zinciri yönetimi, gayrimenkul sektörü, sigorta, sağlık sektörü, kamu kayıtları, kanunlar, hukuk sistemi, insan kaynakları, atık

yönetimi, toplu taşıma, havayolu ulaşımı, inşaat ve akıllı şehirler gibi birçok farklı teknoloji veya sektörde yeni uygulamaların geliştirilmesinde rol sahibi olacağı beklenilmektedir [94].

Blokzincir teknolojisi özetle baştan kuralların belirlendiği (mutabakat yapısı) şekilde verileri kayıt altına alan, bu kayıtları iletişim ağları yardımıyla farklı noktalara dağıtan (dağıtık kayıt defteri) ve kurgusunu oluştururken verilerin tüm noktalarda aynı kaldığını şifreleme yöntemleriyle (kriptografi) garanti altına alan bir mutabakat sürecidir. Bu mutabakat süreci sonsuza kadar aynı kalmayı taahhüt etmekte olup, veri güvenliği kavramına dijital bir bakış açısı kazandırmaktadır [92]. Blokzincir'i oluşturan temel kavramlar alt başlıklar halinde aşağıda açıklanmıştır.

3.1.1.1 Blok

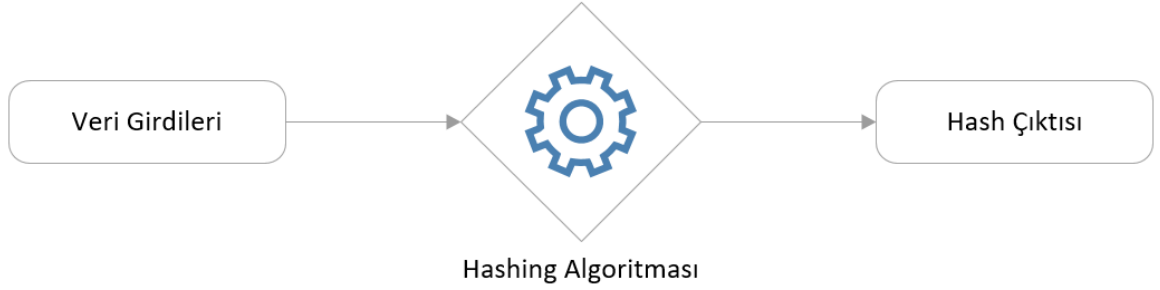
Bloklar Blokzincir altyapısındaki veri kümeleridir. Bu veri kümeleri içerisinde ilgili işlemlerin belirli bir sürede yapılan işlem ve onay kayıtlarını içermektedir [93]. Bloklar zaman çizgisinde doğrusal bir şekilde ilerler ve her biri kendinden önce gelen bloğun özet değerini (hash) içerir. Blok içerisinde yer alan verilere göre oluşan hash değeri benzersiz ve tekrarı mümkün olmayacak şekilde şifrelenmiştir. Başlangıç bloğuna girilen veriye göre bir hash değeri yaratılmış ve bu hash değeri ikinci bloğun içerisinde prev satırında da yer almaktadır. Blokzincir yapısında ilk bloğa genesisblock (başlangıç bloğu) adı verilmektedir. Zincirin ilk halkasını oluşturan bu blok oluşturulan Blokzincir yapısının kurallarının konulduğu bloktur [93].

Blokta yer alan verilerde herhangi bir değişiklik olması durumunda hash değeri değişmekte ve bir öncekinde tamamen farklı bir Blokzincir yapısı tanımlanmaktadır. Blokzincir'deki verilerde kötü amaçlı bir değişiklik olması durumunda örnekte olduğu gibi Blokzincir tamamen farklı bir hash değeri almaktadır. Bu değişikliğin hangi blokta meydana geldiği dağıtık defter yapısı sayesinde milyonlarca veri olsa dahi kolayca tespit edilebilmekte ve düzeltilebilmektedir. Zincir bu sayede koruma altında kalmaktadır.

3.1.1.2 Kriptografik özet (Hash) ve özet fonksiyonları

Yukarıda da belirtildiği üzere Blokzincir yapısını oluşturan blokların her birinde veriler ve verilerin şifrelenmiş özetleri yer alır. Rastgele sayı ve harf dizilerinden oluşan bu algoritmik yapıya hash (kriptografik özet) denilmektedir. Hash'ler

Blokzincir'ine girilen verilerin kriptografik özet olarak ifadesi olup, verilerin kimliğini oluşturmaktadır.



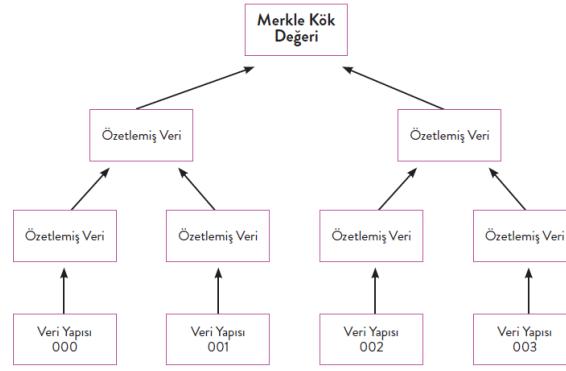
Şekil 3.2 : Hashing (Özetleme) işlem yapısı.

Hash değerlerini yaratan hash fonksiyonlarıdır. Sisteme giren tüm verilerin şifreleme algoritmalarıyla (Örneğin SHA-256) şifrelenmesi ve verinin seçilen algoritmaya göre belirli karakter sayısına indirgenmesine hash fonksiyonlar denilmektedir [93]. Şekil 3.2’de ki yapılan bu işleme ise hashing (özetleme) adı verilmektedir.

Yapılan bu işlem tek taraflı bir işlemdir yani kriptografik bir kimlik kazanan veri orijinal haline geri getirilemez ve farklı bir hash değeri alması mümkün değildir. Bu değiştirilemez ve taklidi neredeyse imkânsız olan hash değerine karşılık gelen veriyi kontrol etmek için veri SHA-256 ile şifrelenmiş hash değeri ile karşılaştırılabilmektedir. Böylece yapılan işlemin doğruluğu kanıtlanabilir olmaktadır.

3.1.1.3 Merkle ağaç yapısı (Merkle Tree)

Merkle ağaç yapısı (Şekil 3.3) soy ağacı gibi yapıya sahiptir her bir veri yapısını özetleyen (hash) yeni bir veriye bağlıdır. Oluşturulan özetlenmiş veriler ikili bir şekilde bir üst özetlenmiş veriyi oluşturur onlar ise Merkle Kök Değerine bağlanır. Bu yaklaşım sayesinde büyük veri kümelerinin hızlı ve güvenilir bir yapıda doğrulanabilmesi sağlanmaktadır. Merkle kök değerine bağlı herhangi bir alt veride değişiklik olduğunda yeni bir Hash değeri üretilcek ilk veriden tamamen farklı bir yapı ortaya çıkacaktır. Bu sistem sayesinde verilerdeki tüm değişiklikler izlenebilir ve güvenli hale gelecektir.



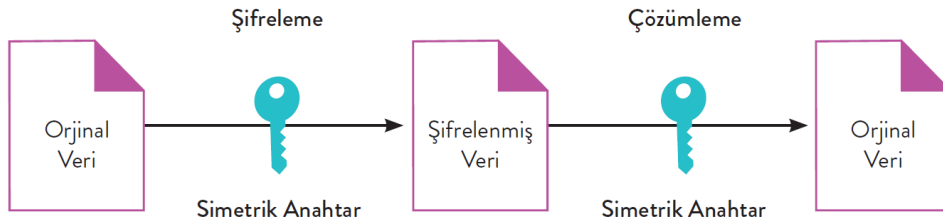
Şekil 3.3 : Merkle Ağaç Yapısı [92].

Blokszincir'in dağıtık kayıt defteri ile birleşen Merkle Ağaç Yapısı zincirin kötü niyetli saldırılarından korunmasını sağlamaktadır. Bloğun içerdiği verilerde herhangi bir değişiklik olması durumunda Merkle Kök Değeri de beraberinde değişecektir. Ağâ dâhil olan herkesin sahip olduğu ortak zincir yapısından farklı olan kötü niyetli sistem bu sayede tespit edilip sistem dışına atılabilmektedir [95].

3.1.1.4 Şifreleme

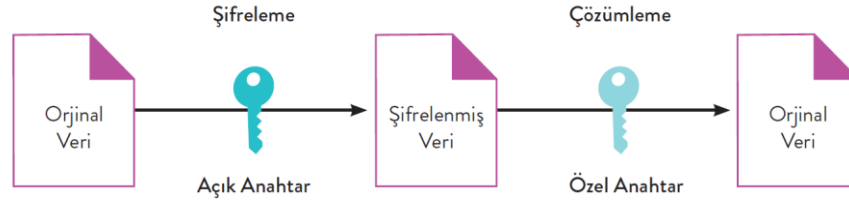
Şifreleme işlemleri Blokszincir ağında bir verinin kriptografik bir şifreleme yöntemiyle çözümünü bilmeyenler için verilerin anlamsız hale getirilmesinde kullanılmaktadır. Şifreleme yöntemiyle oluşturulan verinin hash değerine ulaşılsa dahi çözüm için gerekli olan anahtara sahip olmayan kişiler için veriler anlamsız sayı ve rakamlardan oluşmaktadır [92]. Şifrelemede iki ana teknik kullanılmaktadır:

Bunlardan ilki Şekil 3.4'de ki verinin şifrlenmesi için kullanılan anahtar ile, çözümleme için kullanılan anahtarın aynı olduğu yaklaşımına dayanan Simetrik Şifrelemedir. Burada anahtara sahip olan herkes veriyi anlamlı kılacak çözüme ulaşabilir [92].



Şekil 3.4 : Simetrik şifreleme [92].

İkinci yöntem ise Şekil 3.5’de ki açık ve özel anahtarlardan oluşan asimetrik şifreleme yöntemidir. Asimetrik şifreleme de hash değerini oluşturmak için herkese açık bir kişisel açık anahtar kullanılmaktadır. Verinin çözülmesi ise sadece özel anahtara sahip olan kişiler tarafından yapılabilmektedir. Benzer şekilde özel anahtarla şifrelenen bir veri sadece ilgili özel anahtarla çözülebilmektedir. Açık anahtar herkesle paylaşılabilir ancak açık anahtardan özel anahtara ulaşabilmek için yüksek hesap gücü gerekmesi güvenilirliği arttırmaktadır [92].



Şekil 3.5 : Asimetrik şifreleme [92].

3.1.1.5 Mutabakat algoritmaları

Mutabakat, TDK’da uzlaşma, anlaşma olarak tanımlanmaktadır. Blokzincir içerisinde de benzer bir anlam ifade etmektedir. Mutabakat, Blokzincir ağında bulunan katılımcıların yapılan işlemlerin doğruluğuna ve dağıtık defterlerde tutulan kopyaların birbirleriyle aynı olduğuna dair fikir birliğine varmaları olarak tanımlanabilmektedir [93]. Oluşturulan Blokzincir sisteminde sisteme katılanlar tarafından kabul edilen her bir sistem için kendine özel detaylar içeren kurallar dizisine mutabakat yapısı denilmektedir [92]. Günlük hayatta verilen sözlerle, el sıkışarak veya sözleşme gibi yazılı belgelerle kurulan mutabakatlar Blokzincir teknolojisinde yazılım kodlarıyla sağlanmaktadır.

Merkezi otoriteye bağlı sistemler bir kurum veya kişiye güvenerek sistem içerisinde olan olayların hepsinin onun kontrolünde güvenle sürdürüldüğünü kabul eder. Örneğin bir banka veri tabanında tuttuğu tüm verilerin güvenli ve doğru bir şekilde tuttuğunu müşterilerine taahhüt etmektedir. Aynı şekilde noterlerde bu güvenilirliği sağlayan araçlardır.

Merkezi otoriteye bağlı olmayan Blokzincir sisteminde bu tip aracı kurum veya kişilere ihtiyaç yoktur. Bu durum beraberinde yapılan işlemleri koruyacak klasik yöntemlerden farklı bir yaklaşım ihtiyacını doğurmaktadır. Sistem içerisinde yapılan işlemlerin doğruluğunun kanıtlanması için mutabakata katılım yetkisi olanlar

tarafından onaylanması ve fikir birliğine varılması gerekmektedir. Milyonlarca sistemin birleşiminden oluşmak üzere tasarlanan Blokzincir teknolojisinde bu fikir birliğinin sağlanması sistemin işlemesi için kritik öneme sahiptir. İşte bu fikir birliğini sağlayan ve sistemin doğru/güvenilirliğini kanıtlayan süreçlerin bütünü mutabakat algoritmalarıdır. Mutabakat algoritmaları bu fikir birliğini sağlarken bir yandan da sisteme dâhil olanlara fayda sağlayacak şekilde kurgulanan algoritmalarıdır. Mutabakat algoritmaları bunu farklı şekillerde sağlamaktadır. Oluşturulan Blokzincir ağına göre mutabakat yapısı farklılık göstermekle beraber temel felsefe hepsinde fikir birliğinin sağlanması, temel amaç ise sistemin güvenilir ve doğru bir şekilde yürütülmesidir. Mutabakat algoritmaları Blokzincir ağlarının temellerini oluşturmakta olup, ilk blok içerisinde tanımlanmaktadır. Sistemin ilk kurulumunda tanımlanan bu algoritmalar sisteme dâhil olan herkes tarafından kabul edilmektedir.

Satoshi Nakamoto tarafından oluşturulan Proof of Work (İş Kanıtı) algoritması mutabakat algoritmalarının başında gelmektedir [95]. Proof of Work (PoW) uygun bloğu bulmak için yapılan çalışmaların bütünü olarak tanımlanmaktadır. PoW Hash değerine gereken sıfır bit değerini veren bir değer buluncaya kadar bloktaki boşluğu arttırarak uygular. Oluşturulan blok belirli kurallara uymak zorundadır. Bu aşamada uygun değeri ve kurallara uygun bloğu bulmak için CPU (Merkezi İşlem Birimi) gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Uygun değeri bulan katılımcı sistem tarafından ödüllendirilir ve harcadığı zaman ve elektriğin karşılığını alır. CPU emeği odaklı bu sistemde sadece tüm dürüst düğümlerden daha fazla CPU gücü toplayan sistem, sisteme kötü niyetli saldırıda bulunabilecektir. Bu da günümüz teknolojisinde mümkün görünmemekle beraber saldırıyı yapan kendi varlığının da yok olmasını göze alması bundan kaçınmasını sebep olacaktır [95].

PoW sisteminin temelinde matematiksel bir problemi çözmek vardır. Bu sistemde problemi çözmeyi çalışanlara madenci yapılan işlere ise madencilik denilmektedir [92]. Madencilerin çözmeye çalıştığı matematiksel problemin çözümünden elde edilen çözüm ise hash değeri olmaktadır. Yapılan işlemin kriptografik temsili olan benzersiz hash değerini bulmak için tüm nodelar çalışır ve ilk bulan ödülü alır. Hash değerini ararken nodelar blok başlığında bulunan nonce değerinden yararlanmaktadır. Nonce değeri üzerinde değişiklikler yapılarak hash değeri yeniden hesaplanır, uygun hash değeri bulunca diğer madencilere bulunduğu bloğu iletir. Artık tek bir blok üzerinde doğrulama yapan madencilerin işi daha kolaylaşmıştır. Sisteme kayıtlı tüm madenciler

tek blok üzerinde nonce ve hash değerlerini çözmeye çalışır, çözülen matematik probleminin doğruluğuna diğer nodelar da şahitlik eder ve çözümü bulan madenci ödüllendirilmektedir [92]. Akabinde yeni blok kendinden önce gelen bloğun hash değeri ile birlikte zincire eklenmiş olmaktadır. Sistem bu şekilde tüm saldırılara karşı güvenli bir şekilde otomatik olarak sürmektedir [92]. Ancak bu işlem için çok fazla CPU kullanımı gerekmektedir. Bu da enerji ve zaman tüketimi demektir.

Bir diğer önemli mutabakat algoritması Proof of Stake'dir (PoS). Proof of Stake, sistem içerisinde varlığı çok olanın blok yaratma olasılığının çok olacağı temeline dayanmaktadır [96]. Yani sistemde varlığı çok olanın gücü de aynı oranda yüksek olmaktadır. PoS mutabakat algoritmasının başlıca avantajı sistemin zorlu matematik işleminin çözülmesine ihtiyaç duymaması, yani enerji kullanımının PoW'ya göre çok düşük olmasıdır.

Yüksek kapasiteli işlemci isteği madencilik için yatırım maliyetini ciddi oranda arttırmaktadır. PoS'un CPU kullanımına odaklı olmayan yapısı madenciler arasında denge sağlamaktadır [96]. Ayrıca bu sayede PoS mutabakat algoritması PoW'ya göre çok daha hızlı bir şekilde işlem doğrulaması yapabilmektedir. PoS'in dezavantajı ise sistemde sadece yüksek varlık sahiplerinin söz hakkına sahip olmasıdır. Her iki sistemin de en temel özelliği halka açık Blokzincir ağları için düşünülmüş olması olmakla beraber en temel farklılıkları ise PoS'u yaratan Ethereum projesinin akıllı sözleşme altyapısını desteklemesidir.

PoW ve PoS sırasıyla en yaygın kullanılan Blokzincir ağları olan Bitcoin ve Ethereum'un temelini oluşturmakla beraber bu mutabakat algoritmalarını kullanan farklı Blokzincir ağları bulunmaktadır. Mutabakat algoritmaları PoW ve PoS ile sınırlı değildir. Teknolojik gelişmelere ve araştırmalara bağlı olarak birbirinden farklı amaçlara hizmet eden onlarca mutabakat algoritması oluşturulmuştur.

Bir diğer mutabakat yapısı ise Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT)'dir. Bu yapı adını Bizans İmparatorluğu'nda generallerin kullandığı bir yöntemden almaktadır. İmparatorluktan gelen emirlerin doğruluğunun ispatı için generallerin, kendi aralarında kurdukları emirlerin generaller arasında dağılımını sağlayan ulak ağı ile emirlerin doğruluğunu teyit etmesi mantığına dayanmaktadır [97].

Blokszincir ağında bulunan her validator (doğrulayıcı) görevine sahip makine için açık-gizli anahtar çifti tanımlanmaktadır. Yapılan tüm işlemleri doğrulayıcılar tarafından kontrol edilir ve onayladığı işlemi imzalayarak ağın tamamı ile paylaşır.

İşlemler ağın içerisinde yer alan doğrulayıcıların yarısından fazlasından onay almış ise işlem mutabakat yapısından geçmiş ve onaylanmış bir işlem olmaktadır [92]. PBFT PoW gibi güçlü işlemciye veya PoS gibi en yüksek varlığa sahip olanın sisteminin doğrulama yetkisinin verilmesi yaklaşımlarının aksine herkesin söz hakkı olan bir mutabakat algoritmasıdır.

Sistemde onaylanmış bir doğrulayıcı olmak için merkezi bir yapının izninden geçmek gerekir. Bu Blokszincir'in merkezi yapıyı reddetme felsefesine aykırıdır ama sistemin amacı olan özel bir Blokszincir ağında akıllı sözleşme yönetimine uygundur.

3.1.1.6 İşlemler (Transactions)

Bir Blokszincir ağında gerçekleştirilen herhangi bir faaliyete işlem (transaction) denilmektedir [93]. Bu işlemler sadece para odaklı faaliyetler değildir. Yani Blokszincir'de yapılan tüm varlık transferleri kayıtları birer işlem olarak tanımlanabilmektedir. Yapılan transferler blok içerisinde saklanmaktadır. Bloklar içerisinde yer alan bir diğer unsur olan hashler bu varlıkların kriptografik benzersiz kimlikle korunmasını sağlamaktadır. İşlem güvenilirliği yukarıda anlatılan mutabakat altyapılarıyla güvence alınmaktadır.

3.1.1.7 Blokszincir türleri

Blokszincir teknolojisi öncelikle bitcoin ile para transferleri için kullanılsa dahi çeşitli sektörlerde farklı amaçlar için kullanılmaya açık yapısıyla git gide yaygınlaşmıştır. Bu süreçte Blokszincir teknolojisinin kullanım amacına uygun şekilde farklı yaklaşımlarla uygulamalar geliştirilmiştir. Yaklaşımların çeşitliliği ile Blokszincir ağları da açık Blokszincir ağları ve kapalı Blokszincir ağları olmak üzere iki ana türde çeşitlenmiştir [92].

Açık Blokszincir ağları

Açık Blokszincir ağları bitcoin gibi herkesin sisteme dahil olabileceği blok oluşturabileceği ve güven mekanizmasında rol alabileceği ağ yapısıdır. Bu ağ yapısında tüm işlemler herkese açık şekilde izlenebilmektedir. Ancak işlemi yapan taraflar anonimdir. Örneğin A kişisinden B kişisine yapılan bir işlem herkes tarafından

görülebilmekte ancak A ve B kişilerinin kim olduğu bilinmemektedir. Açık Blokzincir ağlarının güvenliğini sisteme dahil olan tüm kullanıcılar sağlayabilmektedir. Sistemin amacı fazla katılımcı ile mutabakat sürecini yürütmektir. Bu yaklaşımda katılımcı sayısı arttıkça dağıtık deftere sahip olan sistem sayısı artmakta ve böylece ağ daha güvenilir hale gelmektedir. Sisteme yeni eklenen blokların mutabakat yapısını kontrol eden kullanıcılar ödüllendirme yöntemiyle mutabakat sistemine dâhil olmak için teşvik edilmekte, sistem kendi kendine aracıya ve otoriteye ihtiyaç duymadan işlemektedir [92].

Açık Blokzincir ağları da kendi içinde ikiye ayrılmaktadır. Bunlardan ilki yaygın kullanıma sahip yukarıda da anlatılan bütünüyle izin gerektirmeyen ağlardır. Bu ağda sisteme herkesin blok ekleyebiliyor olması bazı uygulamalar için sakıncalı olabilmektedir. Bu sebeple alternatif çözümleri uygulayabilmek adına kısmen izin gerektirmeyen Blokzincir ağları geliştirilmiştir. Kısmen izin gerektirmeyen Blokzincir ağlarında veriler herkese açıktır ancak blok ekleme yetkisi sadece belirli hesaplara tanımlanmaktadır [92]. Bu hesaplar ağın yetkili kişileridir blok ekleme ve mutabakat yapısına uyumun denetlenmesi hususunda yetkilendirilmişlerdir. Bu ağ tipinin amacına uygun olarak telif hakları örneği veya haber kaynağı güvenilirliğinin sınanması örneği verilebilmektedir [92].

Kapalı Blokzincir ağları

Açık Blokzincir ağlarının şeffaf yapısı birçok alanda karşılığını bulmasına karşın şirketler, kamu kuruluşları veya organizasyonlar bilgilerin şeffaf olmasında güvenlik endişelerine sahip olabilmektedir. Verilerin değiştirilmesi dağıtık defter yapısı ile neredeyse imkânsız hale gelmesine karşın, bilgilerin sızdırılmasında anahtar sahibi kötü niyetli kişilerin engellenmesi mümkün olmamaktadır. İşte bu sebeple verilerin ağa dâhil olmayan kişilerce görülmesinde sakınca görülen durumalar için kapalı Blokzincir ağları geliştirilmiştir [92].

Kapalı Blokzincir ağlarına sadece izin verilen katılımcılar erişebilmekte ve yetkilendirme doğrultusunda mutabakat yapısına dâhil olabilmektedir [93]. Bu sistemlerde açık ağların aksine merkezi bir otoritenin varlığından söz edilebilir. Ancak bu merkezi otorite sadece katılımcıların izinlerini belirleyebilmekte ve verileri değiştirme veya manipüle etme ihtimaline karşın dağıtık defter yapısına sahiplik sürmektedir. Bir diğer önemli fark ise sisteme dâhil olan kullanıcıların anonim

olmamasıdır. Bu özellikleri ile Blokzincir'in ana felsefesine aykırı olan otoriteye bağlı kapalı sistemlerin günümüzde yürütülen süreçlerin adaptasyonu ve dijitalleşen dünyanın yeni teknolojilerinin uygulanması açısından kurumlara fayda sağlayabilmektedir [92].

Kapalı ağlar bir sözleşme doğrultusunda birleşen tarafların işlemlerini bloklar üzerinden yürütmesi, tüm paydaşların verilere şeffaf bir şekilde ulaşması ve mutabakat sürecini yürütmesi mimarisi üzerine kuruludur. Ancak sisteme dâhil olduktan sonra da kullanıcı bazlı sınırlamalar getirilebilmektedir. Kapalı ağları da kendi içinde ikiye ayırmak mümkündür. Kısmen izin gerektiren ağlarda ağa girmek için izin gerekmekte ancak girdikten sonra yeni bloklar eklenmesi ve mutabakat sürecine katılımın açık olmasıdır. Bütünüyle izin gerektiren sistemlerde ise hem ağa girmek için hem de blok ekleme ve mutabakat sürecine dâhil olmak için ilave izinleri gerektiği ağlardır [92].

Kentsel raylı sistem özelinde kapalı ağlara bir örnek vermek gerekirse metro yapım işini alan tarafların tüm paydaşların verileri görebildiği ancak sisteme blok ekleme konusunda istasyon, pozisyon veya alt yüklenici bazında sınırlamalar getirilebileceği bir sistem üzerine tartışılabilir. Örneğin A istasyonunda yapılan temel imalatını sadece ilgili istasyondan sorumlu olarak atanan kullanıcıların veya varsa ilgili istasyonu yapan alt taşeronların blok ekleme yetkisi tanımlanacaktır. Mutabakat sürecine dahil olacak kullanıcılar agregaların alındığı taş ocağından, donatı üretimi yapan fabrika ve beton santraline kadar imalata dahil olan tüm paydaşlar olabilmektedir. Örnek verilen bu sistemde blok ekleme ve mutabakat sınırlansa dahi projeye dâhil tüm paydaşlar şeffaflık ilkesi ışığında tüm süreçleri izleyebilecek ve dağıtık defter yapısı sayesinde verilerin değiştirilemezliği/güvenilirliği sağlanabilecektir. Bu sistem içerisinde akıllı sözleşmelerin yeri ve BIM konusu ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak tartışılacaktır.

3.1.2 Akıllı sözleşme tanımı ve temel unsurları

Akıllı sözleşme kavramı ilk olarak Nick Szabo tarafından 1994 yılında yayınlanan makalede tanımlanmıştır [98]. Akıllı sözleşme, sözleşmenin şartlarını yerine getiren bilgisayarla işlenmiş bir işlem protokolüdür. Akıllı sözleşmenin temel amaçları, ortak sözleşme koşullarını yerine getirmek, kötü niyetli işlemleri ve insan kaynaklı kazaları hataları en aza indirmektir [98].

1995 yılında Szabo Akıllı Sözleşmeler ile ilgili bir sözlük yayınlamıştır. [99] Çalışmada akıllı sözleşmeyi oluşturan terimleri açıkladığı gibi, Akıllı Sözleşmeyi de

detaylı bir şekilde tekrar tanımlamıştır: Akıllı sözleşmeler, tarafların diğer sözleşmelerde yaptığı gibi karşılıklı protokole göre edimlerde bulunduğu bir dizi söz dizisidir. Bu protokol bilgisayar ağındaki algoritmalarla veya dijital formlarla uygulanmakta olup, geleneksel sözleşmelerden daha akıllıdır [99].

Szabo 1997 yılında yayınladığı makalede ise akıllı sözleşme fikrini ve gelecekte sahip olacağı statüyü tanımlamıştır [86]. Yapılan çalışma geçtiğimiz yüzyılda oluşan kapitalist iktisadi düzenin temellerini yıkacak bir fikri anlatmaktadır. Mevcut düzenin güvenli aracıları(bir başka deyişle komisyoncuları) olarak nitelendirilen banka, noter ve benzer kuruluşların işlevini kökten değiştiren bu teori ilerleyen yıllarda dijital para anlayışının temelini oluşturacak altyapıyı tanımlamaktadır [86].

Szabo, akıllı sözleşmelerin ardındaki temel fikri açıklarken, akıllı sözleşmeye birçok türde sözleşmenin entegre edilebileceğini ve sözleşme ihlallerinde ihlal edenini zarar göreceğini ifade etmiştir [86]. Burada açıklanan, mevcut sözleşmelerde kesin ifadelerde belirtilmesine karşın insani acizlikler sebebiyle uygulanmasından kaçınılan maddelerin algoritma tarafından görmezden gelinmeden kesin bir şekilde uygulanması ve tüm sözleşmelerin işbirliği içerisinde ortak bir platformda yürütülebileceğidir.

Akıllı sözleşme, sözleşme koşullarının daha iyi belirlenmesine tarafları motive edecektir. Taraflar sözleşme kurulumunda detaylara daha hâkim olacak ve uygulanmasında sorumluluk bilinci yükselecektir. Akıllı sözleşme içerisinde belirlenen kurallar, tüm ihtimallere karşı aksiyon alacak şekilde tartışmaya mahal vermeden sözleşmenin uygulanmasını sağlamaktadır. Bu noktada sözleşmenin henüz kurulurken uyuşmazlıklara çözüm bulabileceği iddiası ortaya çıkmaktadır. Sözleşme şartları ne kadar iyi belirlenirse belirlensin istisna durumların ortaya çıkabileceği göz ardı edilemez ancak akıllı sözleşmelerin bazı temel uyuşmazlıklara uyuşmazlık oluşmadan çözeceği bazılarındaki ise Blokzinciri ağında içerdiği veriler ile ispat kaynağı olabileceği yadsınamaz bir gerçektir.

Akıllı sözleşmeler bir görevi kontrol edebilmekte ve kontrol neticesinde gerekli aksiyonu otomatik bir şekilde alabilmektedir. Akıllı sözleşmelerin otomatik aksiyonu alırken geçirdiği aşamalar aşağıda verildiği gibi tanımlanmıştır [100]:

- Paydaşlarca oluşturulan tüm iş olaylarını durdurur
- Sözleşme şartlarına uygunluğu konusunda gerekli analizleri yapar
- Analiz neticesinde gerekli kararı verir ve aksiyonu alır

- Yaratılan tüm verileri değiştirilemez bir günlüğe kaydeder.

Akıllı sözleşmelerin temelleri 90'lı yıllarda atılmış ancak teknolojik sebepler yüzünden gerçekleşmesi Blokzincir ile mümkün olmuştur. Satoshi Nakamoto adlı kişi veya bir grup tarafından yayınlanan whitepaper merkezi olmayan bir para birimini, bitcoini, 2008 yılında duyurmuştur. Bitcoinin temel amacı akıllı sözleşme ile aynı mantıktadır. Bitcoin, bir tarafın bir üçüncü partiden doğan güvene ihtiyacı olmaksızın karşı tarafa şifreleme kanıtına dayanan elektronik ödeme sistemi ile istenilen işlemi kriptografik altyapı ile güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamaktadır [95].

Ancak kurulan bu yapı sadece parasal bir değer transferi için kurgulanmıştır. Dijital bir verinin transferini tanımlamayan bu sistem akıllı sözleşmenin geniş yelpazesini karşılamamaktadır. 2015 yılında Ethereum adı verilen programlanabilir Blokzincirinin duyurulması ile akıllı sözleşmelerin uygulanabilirliğinde yeni bir dönem açılmıştır. Ethereum geliştiricileri Ethereum'u internetin yeni dönemi olarak tanımlamaktadır [101].

Ethereum, geleneksel internet sisteminin aksine kullanıcıların verinin sahibi olduğu temel ilkeye dayanan, herkesin açık finansal sisteme erişiminin olduğu hiçbir şirket veya kişi tarafından yönetilmeyen bir teknoloji girişimidir. Ethereum'un kendi içerisinde program geliştirilebilen bir yapıya sahip olması, Ethereum'u akıllı sözleşme geliştirilmesi için kuvvetli bir ağ haline getirmiştir [101].

Akıllı sözleşmelerin ilk tanımından sonra teknolojinin gelişimi ve Blokzincir ağının keşfi sonrasında farklı tanımlarla açıklanmaya çalışılmıştır. Bazı bağımsız araştırma kuruluşları ve teknoloji firmaları tarafından yapılan akıllı sözleşme tanımlarına baktığımızda:

- IBM akıllı sözleşmeleri, “Bir Blokzincir ağında depolanan ve önceden belirlenmiş şartların ve koşulların yerine getirilmesi durumunda otomatik olarak süreçlerin yürütülmesini sağlayan kod satırlarıdır.” şeklinde tanımlamıştır [102].
- SAP ise akıllı sözleşmeleri, “Akıllı sözleşmeler, Blokzincir teknolojisine dayalı koşullar yerine getirildiğinde işlemleri veya ödemeleri otomatik olarak tetikleyen sözleşmelerdir.” şeklinde tanımlamaktadır [103].
- Deloitte “Taraflar arasında yapılan bir anlaşmanın koşullarını otomatik olarak uygulayan Blokzincir üzerinde kendi kendini yürüten ve birden çok

veritabanına yayılmış olan süreçleri düzene sokan kodlar.” olarak tanımlamaktadır [104].

- PWC ise akıllı sözleşmeleri “İki veya daha fazla taraf arasında dijital olarak imzalanmış, hesaplanabilir anlaşma.” şeklinde tanımlamıştır [105].

Blokszincir ve Akıllı Sözleşme’nin temelinde merkezi otoriteye karşı bir muhalefet vardır. Ancak günümüzde neredeyse tüm süreçlerin merkezi otoritelerce yürütüldüğü unutulmamalı ve otoritelerin işlemlerini kamuya açık bir platformda yürütmeme isteği göz ardı edilmemelidir. Firmaların ve/veya kamunun etkileşimde olduğu, taraflar ile güvenli ve düşük maliyetli bir akıllı sözleşme yardımıyla süreçlerini yürütmesinin sağlayacağı katkılardan yararlanma isteği ve dijitalleşen dünyaya ayak uydurma ihtiyacı yeni çözümleri beraberinde getirmiştir. Blokszincir ile gelen mutabakat altyapıları merkezi otorite olmaksızın sistemin birbirini tanımayan kullanıcılar arasında güvenli bir şekilde işlenmesi için geliştirilmiştir. Peki, birbirini tanıyan insanlardan oluşan kurum veya kuruluşların merkezi otoriteye bağlı bir şekilde kapalı bir sistemde Blokszincir ile veri ve işlem güvenliğini sağlaması mümkün mü?

Kapalı bir sistemde akıllı sözleşmelerin yürütülmesi için Microsoft ve IBM gibi sektörün öncü firmaları Blokszincir ile akıllı sözleşme çözümleri üretmiştir. Microsoft, Azure Blokszincir Workbench ile IBM ise IBM Blokszincir platformu üzerinden Blokszincir çözümlerini sürdürmektedir [105,106]. IBM ve Microsoft’un birlikte çalıştığı önemli bir proje olan Hyperledger, akıllı sözleşme uygulamalarında önde gelen projelerdendir. Hyperledger, Ethereum’un aksine kapalı bir akıllı sözleşme ağı sunan ve PBFT mutabakat mekanizması ile kurum içi akıllı sözleşme uygulamasına daha yatkın olan açık kod kaynaklı bir platformdur [107]. Hyperledger projesi sektörler arası bir Blokszincir ağı kurmak için geliştirilmekte olup, Linux topluluğu tarafından yürütülmektedir. Microsoft ve IBM ile beraber aralarında SAP, American Express, Intel ve Deutsche Bank’ın da bulunduğu onlarca kuruluş ve uluslararası saygınlığa sahip üniversite tarafından desteklenmektedir [108]. Hyperledger mevcut süreçleri Blokszincir’e entegre etmek için araçları içeren bir platform ve işbirliği projesi olarak tanımlanabilir [109].

Hyperledger Blokszincir sisteminin hedefi uyarlanabilir, esnek, ölçeklenebilir ve gizlenebilir bir Blokszincir ağı yaratmaktır. Hyperledger üç ana özelliği ile öne çıkmaktadır. İlk olarak yaygın kullanıma sahip olan programlama dili olan JavaScript’i kullanmasıdır. Bu sayede firmalar kolayca sisteme adapte olabilmektedir. İkinci

özellik ise bir projenin işlevselliğinin kontrolü için sürdürülen Proof of Concept (PoC), yani konseptin kanıtı için sürdürülen süreçleri, içerisinde hazır şablon olarak barındırması ve bunların tekrar tekrar kullanılabilmesidir. Üçüncü ve en önemli özellik Hyperledger'in mevcut süreçlerle iş birliği içerisinde veri entegrasyonunu sağlayabilmesidir [110].

Hyperledger projesi kapsamında birçok alt proje bulunmaktadır. Bunlardan Hyperledger Fabric olarak adlandırılan proje akıllı sözleşme üretmek üzerine sürdürülmektedir. Hyperledger Fabric tamamen kurumsal çözümler üretmek üzere tasarlanan bir akıllı sözleşme platformudur. Bu platform katılımcıların birbirini tanıyan ve birbirine güvenen kişilerden oluştuğu varsayımı üzerine kurulmuştur [110]. Platform, yetkilendirmeye elverişli bir yapı sunmaktadır. Bir kurum veya farklı kurumlar arasında yapılacak sözleşmede kimlerin hangi konularda yetkili veya sorumlu olduğu baştan belirlenebilmektedir. Sözleşme belirsizliğine bağlı uyuşmazlıklar ve yetki karmaşaları bu sayede giderilebilmektedir. Ayrıca mutabakat algoritmasının getirdiği yapı gereği işlem onay mekanizması kripto paraya veya işlemci gücüne bağlı olmaksızın sürdürülebilmektedir [110].

Akıllı sözleşmeler görüldüğü üzere henüz gelişmekte olan bir yapıya sahiptir. Teknoloji ilerledikçe akıllı sözleşmelerin kapsamı ve yetenekleri git gide artmaktadır. Buna bağlı olarak tanımları ve kullandığı teknolojiler sürekli bir değişim ve gelişim içerisinde. Bu gelişime bağlı olarak akıllı sözleşmelerin farklı endüstrilerde kullanımı yaygınlaşmakta, süreçlerini akıllı sözleşmelere taşıyan veya bu alanda çalışmalarını sürdüren ticari kuruluşlar ve devletler çoğalmaktadır.

3.1.3 Akıllı sözleşme uygulama alanları

Sektörler hızla, yürüttükleri süreçleri dijital platforma taşımaktadır. Varlıklar fiziksel dünyada işlem görürken aynı şekilde dijital yansımaları da sürekli bir işleme tabidir. Fiziksel kanıtlar dijital dünyaya aktarılmakta ve farklı veritabanlarında tutulan kayıtlar üzerinden süreçler dijital olarak yürütülmektedir. Kağıt üzerinden yürütülen birçok süreç artık dijital olarak yürütülmektedir. Sektörlerin hızla dijitalleşmesi akıllı sözleşmelerden elde edilen faydaları ve kullanım alanlarını arttırmaktadır.

Akıllı sözleşme kavramı henüz çok yeni ve gelişmekte olan bir kavramdır. Sürekli gelişen teknoloji ile birlikte akıllı sözleşme altyapısı da gelişmekte, uygulanabilirliği artmaktadır. Sadece IBM, Microsoft gibi büyük yazılım şirketlerinin geliştirmeleri

değil ayrıca yeni nesil Blokzincir yaklaşımlarının oluşması da akıllı sözleşmelerin gücünü arttırmaktadır. Nesnelerin interneti, veri bilimi, yapay zeka ile sektörlerin dijitalleşme süreçleri hızlanmakta, akıllı sözleşmelerin teoriden pratiğe doğru geçmesinde firmaları ve devletleri bu alanda politikalar yayınlamaya itmektedir. Bu durum firmaların ve devletlerin gelişen dünyaya adaptasyonu için akıllı sözleşmelere geçişinde itici güç olmaktadır. Yaygın akıllı sözleşme uygulama alanlarına baktığımızda dijital kimlik, bankacılık işlemleri, vergi işlemleri, sigortacılık, emlak kiralama/satın alma, tedarik zinciri, fikri mülkiyet hakları ve sağlık uygulamaları gelmektedir. Bunlarla sınırlı kalmamakla beraber birçok araştırma ve geliştirme projesi akıllı sözleşme uygulamalarına yönelik sürdürülmektedir.

3.1.4 Akıllı sözleşme politikaları ve stratejileri

Blokzincir ve akıllı sözleşmeler ülke politikalarında ve stratejilerinde önemli yer tutmaya başlamıştır. Hükümetler vatandaş bilgilerinin güvenilir bir şekilde depolanması, emek yoğun süreçlerin azaltılması, hesap verilebilirliğin yönetilmesine ile ilişkili maliyetlerin azaltılması, yolsuzluk ile mücadele, istihbarat servisleri, toplum sağlığının geliştirilmesi, hükümetlere güvenin artırılması, kamu ihalelerinin şeffaflaşması, seçimler, merkez bankacılığı, mesleki yeterlilik doğrulanması, akıllı şehirler gibi birçok alanda ve kurumda Blokzincir kullanımına yönelik çalışmalarını sürdürmektedir.

Bu konuda en kritik gelişmelerden biri AB ülkeleri tarafından Nisan 2018’de oluşturulan Avrupa Blokzincir Ortaklığı’dır [111]. Tüm AB üye devletlerin imzaladığı bildirgeyle dâhil olduğu bu ortaklığın temel amacı Avrupa Blokzincir Hizmetleri Altyapısı inşa edilmesidir. Bu altyapı Avrupa çapında Blokzincir ağı kurarak seçilen kullanımlara göre uygulamaların oluşmasına imkân verecektir [112].

Kamu tarafından yürütülen bir diğer stratejik çalışma ise Dubai Emirliği tarafından yürütülen çalışmalardır. Dubai Blokzincir Stratejisi kapsamında 2020 yılı sonuna kadar şehrin dünyanın ilk Blokzincir ile desteklenen şehri olması hedeflenmektedir. Hükümet Blokzincir sayesinde her yıl yalnızca belge işleme maliyetlerinde 5,5 milyar Dirhem tasarruf etmeyi planlamaktadır [113].

Kanada Hükümeti sözleşmelerin şeffaf yönetimi ve verilerin kamuoyu ile güvenilir bir şekilde paylaşılması için Blokzincir ve akıllı sözleşmeleri kapsayan çalışmalar yürütmektedir [114].

Meksika Hükümeti halka açık ve şeffaf bir şekilde kamu ihale süreçlerini yürütmek gibi kamu altyapısını ve kamusal güveni güçlendirecek çalışmaları sürdürmektedir [115].

ABD Hükümeti, çok yönlü olarak çalışmalarını sürdürmektedir. Gelişmiş Savunma Araştırma Projeleri Ajansı Blokzincir tabanlı bir platform üzerinden siber güvenliğin sağlanması ve istihbarat üyeleri arasında iletişimin sağlanması için çalışmalarını sürdürmektedir [116]. ABD posta servisi kullanıcı bilgilerini doğrulamak için Blokzincir teknolojisini içeren patent başvurusunda bulunmuştur [117]. ABD İç İşleri Bakanlığı Blokzincir tabanlı dijital kimliklerin geliştirilmesi için çalışmalar yapmaktadır [118]. Arizona Eyaleti akıllı sözleşmeleri diğer sözleşmelerle aynı yasal geçerlilikte ve uygulanabilirlikte kabul eden kanunu kabul etmiştir [119].

Estonya Blokzincir uygulamasına erken başlayan ülkelerdendir. 2008 yılından itibaren kullanıma başladığı Blokzincir teknolojisini günümüzde yargı, ulusal sağlık ağı, vergi beyanları ve dijital kimlik gibi birçok konuda aktif olarak kullanmaktadır. Estonya Hükümeti Blokzincir ağı üzerinden akıllı sözleşmeler geliştirilmesine yönelik çalışmalarını sürdürmektedir [120].

Gürcistan Hükümeti vatandaşların hükümete olan güvenini arttırmak ve veri güvenliğini güçlendirmek amaçlı Blokzincir tabanlı akıllı sözleşme altyapısına uygun tapu sicil sistemini kullanmaktadır [121].

3.1.5 Akıllı sözleşme uygulamaları

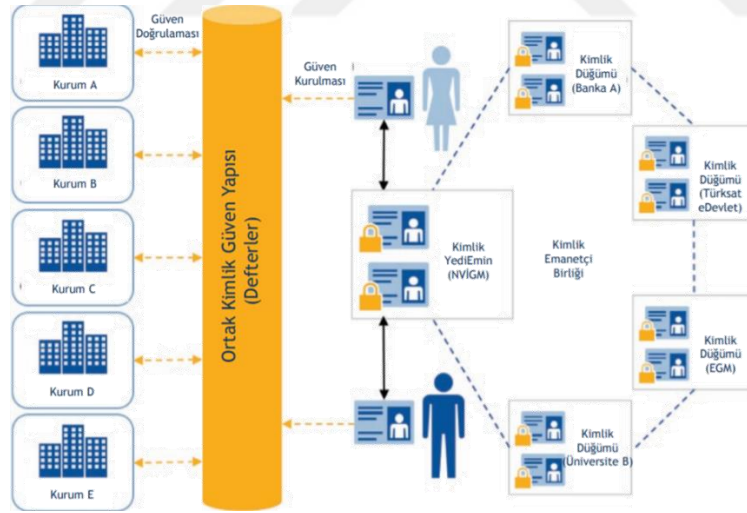
Bu bölümde akıllı sözleşmeler ve Blokzincir uygulamalarının uygulama örnekleri ve yapılan çalışmalardan örnekler verilmiştir.

3.1.5.1 Dijital kimlik uygulaması

Kişinin kim olduğunu tanıtan belgelerin tümüne kimlik denilmektedir.[84] Kimlikler farklı yerlerde karşımıza çıkmaktadır. Nüfus cüzdanı, ehliyet, pasaport öğrenci kimliği, kurum kartları ve diğer tüm benzer nitelikteki belgeler insanın kimliklerini oluşturmaktadır. Bir insanın onlarca kimlik belgesi olabilmekte ve bunlar özel veya kamu kuruluşlarının kendi veritabanlarında saklanmaktadır. Kimlik belgeleri gerçek bir kişiye ait özniteliklerin toplandığı belgelerdir. Kimlik yaşam döngüsü ise bu özniteliklerin kişinin yaşam süresince aktif, ölümünden sonra ise pasif olarak kimlik doğrulanmasında güvenilir otoritelerce verilmesi veya atanmasını içeren döngüye

verilen isimdir. Bu belgeler ve döngü kâğıt üstünde yazılabileceği gibi günümüzde ağırlıklı olarak dijital kayıtlar olarak tutulmaktadır. Dijital kimlik, kimlik bilgilerinin dijital olarak sağlanmasının, doğrulanmasının, yetkilendirilmesinin ve veri paylaşımının yönetilmesine olanak sağlayan kimliklerdir [122].

Dijital kimlikler, kimlik yaşam döngüsü boyunca güvenilir otoritelerce saklanmaktadır. Farklı veri tabanlarında saklanan bu bilgiler kurumlar arası iletişimi sağlayan bir protokol olmaması durumunda bürokrasiyi arttırmakta ve süreçlerin yavaşlamasına sebep olmaktadır. Blokzincir bu noktada bir çözüm olarak görülmektedir [123]. Blokzincir dağıtık defter üzerinde tuttuğu kayıtlarla ortak bir kimlik altyapısına geçmekte doğru teknoloji olarak görülmektedir. Blokzincir teknolojisiyle birleştirilen dijital kimliklerde yapılan işlemler ve kayıtlar merkezi otoritelerce kontrol edilen veri tabanlarından çıkarak dağıtık noktalarda tutulabilmektedir. Sistem içerisinde yapılan tüm işlemler mutabakat algoritmasına göre onaylanabilmekte ve ağa eklenebilmektedir. Ağa eklenen her işlem kriptografik Blokzincir yapısıyla güvenilir ve değiştirilemez olmaktadır. Bu sayede sisteme dâhil olan tüm kuruluşlarda yapılan işlem tek bir Blokzincir ağı üzerinden yürütülebilecektir [122].



Şekil 3.6 : Türkiye dağıtık kimlik çalışması şeması [123].

Dijital kimliklerin Blokzincir ağında saklanması yönünde yapılan araştırmalar ve çalışmalar dünya genelinde yaygınlaşmaktadır [122]. Şekil 3.6’da şeması verilmiş olan Türkiye’de dağıtık kimlik altyapısının oluşturulmasına yönelik çalışmaları TÜBİTAK Bilgem sürdürmektedir. Bu sistem ile kamu ve özel kuruluşların kimlik doğrulaması tek bir kimlik üzerinden yapılabilecek. Yani ehliyet, diploma, meslek odası kartı gibi

farklı kurumlara ait doğrulama katmanları tek bir kimlik üzerinden yapılabilecek [123]. Tüm kimlik altyapısının Blokzincirne taşınması konusunda teorik araştırmalar sürerken bazı özel firmalar akıllı sözleşme kullanımı için dijital kimlikleri Blokzincir ağı üzerinde saklamaktadır [124]. Akıllı sözleşmelere taraf olan kişi veya kurumların kimlik bilgilerinin ortak bir Blokzincir ağına entegre edilmesi önemli bir kırılım noktası olacaktır. Bu entegrasyon akıllı sözleşme kullanımını arttıracak mevcut bir çok süreç Blokzincir ağına dahil olacaktır.

3.1.5.2 Tedarik zincirinde akıllı sözleşme uygulanmasına yönelik örnek çalışma

Milyarlarca dolarlık varlıklar tedarik zinciri içerisinde sürekli bir yerden başka bir yere taşınmaktadır. Birçok aracının ve tarafın olduğu bu sistemde güven mekanizması manuel sistemler üzerinden yürütülmektedir. Bu da hataya sebep olmakla beraber, dolandırıcılığı da yanında getirmektedir. Ayrıca süreçlerin detaylı bir şekilde kontrolü sırasında ciddi bir vakit kaybı yaşanmaktadır. Bir diğer önemli nokta tedarik zinciri içerisindeki tarafların ortak bir kayıt defterinden süreçleri yürütmemesidir.

Yapılan her işlem çok sayıda tarafça imza ve onay süreçlerinden geçmektedir. Bu da sistem içerisinde bürokrasiyi arttırmaktadır. Bu işlemlerin maliyetleri tedarikçiler için çoğu yüksek ve zorlayıcı olmaktadır [125]. Tedarik zinciri içerisinde taşınan ürünlerin taşıma koşullarından kaynaklı zararlarda çoğu zaman taraflar arasında uyuşmazlığa sebep olmaktadır.

Tedarik zincir içerisindeki iş akışlarına baktığımızda büyük bir çoğunluğu dijitalleşmeye yatkındır. Yapılan sözleşmeler ve bu sözleşmelerin uygulanması Blokzincir ve akıllı sözleşme entegrasyonuna uygun görülmektedir [125]. Taşıma koşullarının denetlenmesi için nesnelerin interneti (IoT) kullanılarak alınan dijital verilerin sözleşme koşullarına bağlanması mümkün görünmektedir.

IBM ve uluslararası deniz ticaret şirketlerinin ortaklığı ile geliştirilen Tradelens projesi tedarik süreçlerini Blokzincir dağıtık kayıt defterlerinde tutulmasına yönelik geliştirilmiş önemli bir projedir. Tradelens, deniz ticareti şirketleri, limanlar, üçüncü parti lojistik firmaları, gümrük makamları ve nakliyatçıları içeren geniş bir katılımı sürdürülmektedir. Blokzincir ve bulut teknolojisi ile bilgi paylaşımı ve işbirliğini sağlayan bu sistemde Uygulama Programlama Arayüzleri (Application Programming Interface – API) aracılığı ile tüm süreçler yürütülmekte ve Blokzincir ağında veriler saklanmaktadır [126].

Sistem içerisinde var olan tüm süreçler tüm katılımcıların katıldığı ortak bir platformda yürütülmektedir. Geleneksel sürece dâhil olan belgeler, izinler ve onay mekanizmalarının tamamı API'ler aracılığı ile düğümlerden oluşan kanallara taşınmaktadır. Her bir kanal sadece kanala katılan firmalarca görülebilmekte olup, bu sayede belgelerin gizliliği güvence altına alınmaktadır. Bu sistem sayesinde küresel ticaret tek bir dağıtık defter zinciri üzerinden canlı güncellemelerle izlenebilmekte ve şeffaf bir şekilde sürdürülebilmektedir [126].

3.1.5.3 Sağlık sektöründe akıllı sözleşme uygulanmasına yönelik örnek çalışma

Elektronik sağlık kayıtları kurumlar arası iletişimde hep bir noksanlık içerisinde. Veriler tek bir platformda toplanmazken hastaların geçmiş kayıtlarına ulaşmada sorunlar yaşanmaktadır. MedRec projesi bu soruna çözüm bulmak için MIT ve bazı kuruluşların ortak çalışması ile geliştirilmektedir [127]. Dağıtılmış bir kayıt defteri içerisinde tüm hasta verilerinin şifrelenerek korunmasını sağlayan bu sistem sayesinde hastalar ve sağlık kuruluşları verilerine kolayca ve güvenli bir şekilde erişebilmektedir. Bu sistem sayesinde uluslararası bir sağlık zinciri sistemi kurulumu hedeflenmekte olup, hastanın geçmişinin dünyanın neresinde olursa olsun ortak bir ağdan erişimine olanak sağlanması hedeflenmektedir. MedRec sistemi içerisinde ilk akıllı sözleşme sisteme kayıta kurulmaktadır. Kişi kimlik ve sağlık durumunu ilgilendiren genel bilgileri akıllı sözleşmelere kodlamaktadır. Bir diğer akıllı sözleşme ise hasta ve sağlık kuruluşu arasında yapılan akıllı sözleşmedir. Bu akıllı sözleşme hastaya uygulanan tedavilerin, yapılan tahlillerin ve benzeri tüm uygulamaların bir Blokzincir'de toplanmasını sağlamaktadır. Son olarak bir özet sözleşme kurulmaktadır. Bu sözleşme ile hastanın sağlık kuruluşları ile yaptığı geçmiş sözleşmeleri içeren bir özet sözleşme oluşturulmaktadır. Hasta farklı bir sağlık kuruluşuna gittiğinde eski sözleşmelerine erişim için izin verebilir ve bu sayede hastanın geçmişi hakkında değiştirilmesi mümkün olmayan kesin bilgilere sağlık kuruluşu ulaşmış olur. Sistem henüz deneme aşamasında olmakla beraber geliştirme çalışmaları sürmektedir [128]. Bir diğer uygulama ise nesnelerin interneti ile organ nakli için yapılan taşıma işlemlerine yöneliktir. Taşıma sırasında organların bozulmaması için gerekli şartlar sürekli sağlanmalıdır. IoT ile taşıma sırasında geçirilen süreçlere ait bilgiler anlık olarak alınabilmektedir. Bunların Blokzincir ağında depolanması ve akıllı sözleşme entegrasyonu ile verilerin analizi sonucunda belirli şartların sağlanmaması durumunda organın kullanımının engellenmesine yönelik çalışmalar sürdürülmektedir. [128]



4. BIM, BLOKZİNCİR ve AKILLI SÖZLEŞME ENTEGRASYONU

İnşaat sektöründe yaşanan kayıpların ve dünya ekonomisine verdiği zararların engellenmesi için sayısız araştırma ve çalışma yapılmaktadır. BIM inşaat sektöründe yaşanan sorunlara çözüm olarak görülmekte ve sektörün ciddi bir dönüşüm içerisine girmesinde öncü teknoloji olmuştur. Bu dönüşüm gitgide yeni teknolojilerle beslenerek gelişmekte ve BIM'in sektörde etki altına aldığı alanlar hızla artmaktadır [33]. Ancak sektör profesyonelleri hala yeterli faydayı sağlamadığına inanmakta ve yeni teknolojilerden ilham alarak süreçlerini iyileştirmeye çalışmaktadır [33]. Tasarımdan işletmeye tüm süreçler tekrar gözden geçirilmekte ve geçmiş bilgi birikimleri ile yeni öğrenilenler birleşerek dijital dünyaya adapte olunmaktadır. İnşaat sektöründe artık yapay zekâ (AI), makine öğrenmesi (ML), 3D yazıcılar, lazer tarama, bulut tabanlı çözümler, büyük veri (Big Data), iş zekâsı, IoT, robotik çözümler gibi kavramlar çok daha fazla gündeme gelmekte ve bu teknolojileri kullanarak yapılan uygulamalar ile ilgili yayınlar artmaktadır. İnşaat sektörü artık dijital veri odaklı ve tüm süreçlerini adapte etmek hedefi doğrultusunda politikalarını belirlemektedir.

McGraw Hill Construction tarafından yapılan bir araştırma, BIM uygulayan firmalarda tasarım hatalarının azaldığını, proje paydaşlarıyla iş birliğinin arttığını, yeniden yapımların azaldığını, maliyetlerin azaldığını ve maliyet kontrolünü iyileştirdiğini, iş programında pozitif etkiler gözlemlendiğini ve uyuşmazlıkların azaldığı ortaya koymaktadır [129].

Tüm bu kazanımların temelinde BIM'in veri odaklı tasarım ve yönetim anlayışı yatmaktadır. Dijital veriyi gelişimin kırılım noktası olarak tanımlamak doğru bir yaklaşım olacaktır. İşte bu kırılım noktası Blokzincir ve akıllı sözleşmelerin BIM ile kesiştiği yerdir. Dijital verinin olduğu her yerde programlanabilir süreçler yani algoritmalar vardır.

Bu araştırmanın odak noktası da dijitalleşen süreçler, ona bağlı üretilen veriler, verilerin işbirliği stratejisine uygun bir şekilde Blokzincir altyapısında güvenli depolanması ve programlanabilir akıllı sözleşmelerle otomasyona adapte olabilecek

inşaat süreçlerinin BIM ile kesiştiği temel noktaların incelenmesi ve çözüm önerileri sunulmasıdır.

Bu bölümde ilk olarak BIM, Blokzincir ve akıllı sözleşmelerin temelleri bakımından kesiştiği ortak noktalar incelenecektir. Devamında BIM uygulanmasıyla elde edilen faydaların akıllı sözleşme ile birlikte nasıl daha iyileştirilebileceği ve mevcut süreçlerdeki sorunların akıllı sözleşme ile nasıl giderilebileceği irdelenecektir. Son olarak BIM, Blokzincir ve akıllı sözleşmelerin teknolojik altyapısına yönelik yaklaşım açıklanacaktır.

4.1 BIM, Blokzincir ve Akıllı Sözleşmenin Dayandığı Temeller Bakımından Ortak Yönleri

Akıllı sözleşmelerin teorisi günümüz teknolojisinden çok daha önce ortaya atılmasına karşın uygulanması Blokzincir teknolojisiyle gerçekleşmiştir. BIM de benzer şekilde uzun bir olgunlaşma süreci yaşamıştır. Teorinin ortaya atılmasından çeyrek asır sonra bilgisayar ve internet teknolojilerinin gelişimi ile uygulanmaya başlanabilmiştir. Her iki teori de pratikte uygulanması için bir teknolojik gelişim sürecine ihtiyaç duymuştur. Ancak temellerini oluşturan düşünceler değişmemiştir.

Charles M. Eastman, BIM'in temellerini oluşturan makalesinde; tüm paydaşların tek bir entegre veritabanında çalışacağı, programlanabilir otomatik kontrol mekanizmalarının olacağı, ve çizimlerin tek bir revizyon üzerinden devam ettiği bir yapıyı tanımlamaktadır [13]. Nick Szabo ise akıllı sözleşmeleri tanımlarken birçok türde sözleşmenin entegre edilebildiği şeffaf ve güvenilir bir sistemde üçüncü taraflara ihtiyaç duyulmaksızın algoritmalarla sözleşme hükümlerinin otomatik bir şekilde kontrolünün sağlandığı bir sözleşme tipi tanımlı yapmaktadır [86].

BIM işbirliği stratejisi üzerine kuruludur. Yani projeye dâhil olan tüm paydaşlar ortak bir model üzerinden çalışmalarını yürüttüğü ve sorumluluğu paylaştığı bir sistemdir. Bu paylaşım proje yaşam döngüsü boyunca devam ederek BIM modelinin canlı kalmasını sağlar. BIM modelinin bir diğer özelliği ise tüm paydaşlarca erişilebilir bir kaynak olmasıdır. Projeye dâhil olan tüm paydaşlar, modele ve modelin içerisindeki verilere erişebileceği şeffaf bir sistem üzerinden çalışmalarını sürdürmektedir.

Pratikte bununla ilgili endişeler devam etmekle birlikte belirli bir ölçüdeki şeffaflık olgunluğuna erişilemediği sürece tam bir işbirliği stratejisinden söz etmenin mümkün

olamayacağı da vurgulanmalıdır. İşbirliği ve şeffaflık vurgusunu Blokzincir ile BIM'in temel kesişim noktası olarak belirlemek doğru bir yaklaşım olacaktır.

BIM ve akıllı sözleşme teorilerinin her ikisinde de taraflar arası işbirliği ve şeffaflığın hakim olduğu güvenilir programlanabilir süreçler tanımlanmaktadır. Bu teknolojilerin birbirine entegre edilebileceği teorisini kuvvetlendiren teknoloji ise Blokzincirdir. BIM ve Blokzincir tek bir güvenilir kaynak olarak hizmet edebilecek veri ortamlarıdır. Bu iki veri ortamının kesiştiği noktada ise akıllı sözleşmeler devreye girmektedir. Akıllı sözleşmelerin tamamen dijital ve güvenli bir şekilde, algoritmalar aracılığı ile sözleşme hükümlerini otomatik bir şekilde uygulayabilmesi, aynı BIM modellerinin algoritmalar aracılığı ile tasarlanabilmesi veya kontrol edilebilmesi felsefesiyle kesişmektedir. Her iki teoride de süreçlerin önceden belirlenmiş hükümler doğrultusunda algoritmalar aracılığı ile otomatik bir şekilde yürütülmesi hedeflenmektedir.

Bir diğer önemli nokta BIM'in inşaat projelerinde üretilen tüm verilerin dijitalleşerek kontrol edilebildiği çözümler üretmesidir. Bunu yaparken sadece yapının üç boyutlu grafiksel dijital yansımasıyla ilgilenmemekte ayrıca bu yapının geçirdiği tüm aşamaların kayıt altına alındığı bir veritabanı görevini üstlenerek süreçlerin yönetilmesini sağlamaktadır. Burada anlatılmak istenen bir varlığın tasarım aşamasından işletme aşamasına kadar üretilen tüm verilerin dijital ikizi üzerinden kontrol edilebildiği ve yönetilebildiği bir kurgudur. Blokzincir, bu kurgunun ağ yapısını oluşturmaya en güçlü aday olarak görülmektedir.

IBM'in Hyperledger platformu tüm veritabanlarının tek bir blok zincirine entegre edilebildiği kapalı bir ağıdır. Özellikle IoT çözümleri için akıllı kontratları tetikleyebilecek canlı bağlantılar kurabilmesi dijital ikizlerin yuvası olabilecek veritabanının Blokzincir ağı olabileceği düşüncesini kuvvetlendirmekle beraber BIM'in temel felsefelerinden olan veri alışverişinin tüm paydaşların ulaştığı şeffaf bir sistem üzerinden yürütmesi fikri, Blokzincir'in evrensel, güvenilir ve merkezi olmayan veritabanı mantığı ile tam olarak kesişmektedir.

BIM ilk ortaya atıldığı teoriden bu yana büyük bir evrim içerisinde. Bu evrime sebep olan en önemli unsur hükümet stratejileri ile çizilen evrensel yol haritalarıdır. Bu stratejilerin en kabul göreni de kuşkusuz BIM'de öncü ülkelerden olan İngiltere'nin BIM Level 3'e geçiş süreci stratejisidir. İngiliz Hükümeti izlediği stratejide proje yaşam döngüsü boyunca üretilen tüm verileri kullanarak yeni teknolojilerle entegre iş modellerinin oluşturulmasını iBIM diye tanımladığı dijital ikize ulaşmanın yolu olarak

belirtmektedir. Bu strateji ile İngiltere sadece BIM Level 3' ulaşmayı değil ayrıca akıllı şehirleri ve dijital ekonomiyi inşa etmeyi hedeflenmektedir. Bu durum ekonomik ve sosyal yapının gelişiminde BIM'e kilit bir rol yüklemektedir. [6] BIM Level 3 için kilit noktalar, verilerin tüm pazarda kolayca paylaşılmasının sağlandığı uluslararası açık standartları oluşturmak ve işbirliğine dayalı çalışmayı teşvik eden tutarlı ve karışıklığın önleildiği yeni sözleşme tiplerinin yaratılmasıdır. Bunun neticesinde işbirlikçi sosyoekonomik bir ortamda tüm öğretilerin paylaşıldığı bir ortamın oluşacağı düşünülmektedir. Bu sayede inşaat ve varlık yönetiminde verim artarken bir yandan da sürdürülebilir bir ekosisteme geçiş mümkün olacaktır [6].

BIM'in temelleri, BIM Level 3 hedefleri ve engelleri ile BIM Level 2 seviyesi deneyimleri birlikte değerlendirildiğinde; Blokzincir ve akıllı sözleşmenin bu süreçte birçok sorunun cevabı olduğu söylenebilir. Tüm bu teknolojilerin birleşimi inşaat sektörünün geleceğini şekillendirecek yeni iskeletin başlangıç noktası olması beklenmektedir. Bu başlangıç noktası ile inşaat sektöründeki dönüşümün başlayacağı yedi kilit nokta; işbirliği, güven, şeffaflık, otomatikleşme, analiz, etkileşim ve iletişim olarak belirtilebilecek olup, bunlar mevcut tüm iş yapış şekillerini değiştireceği ön görülmektedir. BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonundan hedeflenen temel faydalar ve muhtemel kullanım alanları bir sonraki bölümde açıklanacak olup, devamında kentsel raylı sistem projeler özelinde muhtemel uygulama örnekleri verilecektir.

4.2 BIM, Blokzincir ve Akıllı Sözleşme Entegrasyonun İnşaat Sektöründe Uygulanması ile Hedeflenen Faydalar ve Kullanım Alanları

Yapılar tasarım, yönetim ve işletme kararlarından oluşan büyük miktarda ve çeşitli veriyi içermektedir. Bu verilerin BIM ile dijitalleşmesi sektörün karşı karşıya kaldığı birçok probleme çözüm önerileri sunmaktadır. Ancak bu çözümlerin karar alma mekanizmalarını otomatikleştirmesi konusundaki teoriler hala tartışılmaktadır. Karar alma mekanizmasının tamamen insan eliyle yapılması dijitalleşen dünyanın gerçekliğinden uzaklaşmaktadır. Algoritmaların optimum çözümler üretmesi veya doğru veriyi karar vericiye sunmasına karşın kararın nihayetinde insan tarafından verilecek olması manipüle edilmeye açık sistem üzerinden kurulan kurguları tartışmaya açık bırakmaya devam edecektir [130].

BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonundan edinilecek faydaların temel noktası buradan başlamaktadır. Bu başlangıç noktası yapının dijital yansıması olan BIM modelleri

içerisinde verilerle tanımlanan yaşam döngüsünün, beşeri bir müdahale olmaksızın sürdürülebilmesidir. Dijital verilerin değiştirilemez dağıtık defter altyapısında toplandığı senaryoda yapay zekâ algoritmalarını denetleyen makamın da algoritma olması verinin başlangıç noktasından nihai sonucuna kadar algoritmalar tarafından yönetilmesini sağlayacaktır. Böylece yaşam döngüsü boyunca üretilen tüm verilerin şeffaf, izlenebilir ve kanıtlanabilir olması hedefine ulaşılacaktır [131]. Akademik çalışmaların da desteği ile hızla gelişmesi beklenen bu işbirliği hakkında henüz literatürde yeterli kaynak bulunmamaktadır [132]. Bu bölümde BIM, Blokzincir ve Akıllı Sözleşme entegrasyonu sayesinde edinilen faydalar ve potansiyel kullanım alanları ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Institution of Civil Engineers (ICE) Blokzincir teknolojisinin inşaat sektöründe uygulanmasına yönelik yayınladığı raporda, ödeme yöntemi, proje yönetimi, satın alma ve tedarik zinciri yönetimi, BIM ve akıllı varlık yönetimi açısından olası uygulamaları incelemiştir [130]. Bölüm 4.1’de açıklanan ve Blokzincir teknolojisi ile BIM Level 3 hedeflerinin kesişim noktaları olan temeller bu raporun da ana yapısını oluşturmuştur. Bu kavramlar ödemelerin ve proje yönetiminin şeffaflaşması, izlenebilirliğin artması-değişmezlik ve işbirliği stratejileri olmuştur [130].

Blokzincir teknolojisinin inşaat sektöründe uygulanmasında başlangıç noktası tüm kilit paydaşları aynı Blokzincir ağına dâhil olması ile başlamaktadır. Bu sayede proje yönetimi tüm paydaşların fikir birliğine ve mutabakatına bağlanıp, değiştirilemez izlenebilir bir platforma taşınmış olmaktadır. Platformun dağıtık defter yapısı sayesinde tüm paydaşlarda bulunan iş kayıtları sektörde yaşanan ispat sorunlarına çözüm olmaktadır. Akıllı sözleşmeler ise bu sistem içerisinde işlem verimliliğini ve izlenebilirliği arttırmak için kullanılmaktadır.

Akıllı sözleşmeler bu ekosistem içerisinde süreçlerin geliştirilmesinde, çeşitlendirilmesinde ve otomatik hale getirilmesinde kilit rol oynamaktadır. Örneğin inşaat sahasına giren her işçi güvenlik ve sağlık için kimlik kontrol mekanizmasından geçer. Şantiye sahasına giren işçilerin çalışma saatleri ve diğer bilgileri Blokzincirnin dağıtık defter yapısında kaydedilir. Bilgileri doğrulamak için ise akıllı sözleşmelerden yararlanır. Bu kurgu içerisinde belirlenen şartlara bilginin doğrulanması ve ödemelerin yapılması Blokzincir içerisinde akıllı sözleşmelerle yapılır. Tanımlanan bu sistemde basit ama inşaat yönetimi açısından etkili bir yöntem olacaktır. Bu yöntem sosyal güvenlik kurumundan alınan bilgilerin de dâhil edilmesi ile işçi alacakları ve hakları

sistem tarafından otomatik bir şekilde kontrol edilebilmektedir. Denetim mekanizmasındaki aksaklıklar ve buna bağlı sorunlar çözülebilecektir [131].

ICE yayınladığı raporla akıllı sözleşmelerin inşaat sektöründe kullanımıyla sektörün endişe verici eğilimin tersine döneceğini savunmaktadır. Çizelge 4.1’de akıllı sözleşmelerin inşaat projelerine getireceği faydalar altı başlık altında toplanmıştır verilmiştir [131].

Çizelge 4.1 : Akıllı sözleşmelerin inşaat projelerine getireceği faydalar [131].

Doğruluk	Sözleşmeden doğan hüküm ve koşulların akıllı bir sözleşmeye tam kaydedilmesi durumunda koşulların yerine getirilmesi ve izlenmesinin de doğru olması sağlanabilecektir.
Şeffaflık	Tüm işlemler ve ödemeler blok zincirinde şeffaf ve takip edilebilir hale getirilebilecektir.
Risk Yönetimi	Akıllı sözleşmeler ile tüm tedarik süreçleri şeffaf ve daha az karmaşık olacaktır. Bu sayede geç ödeme riski ve uyuşmazlıkların sayısı azaltılabilecektir.
Uyumluluk	NEC3 ve NEC4 gibi sözleşmeler akıllı sözleşmelerin bir parçası olabilir. Böylece Blokzincir içerisinde tanımlanan proje bilgileri ile yasal uygunluk kolayca ispat edilebilecektir.
Maliyet Etkinliği	Genel giderler, yönetim ve proje kontrolünde önemli maliyet tasarrufları sağlanabilecektir. Proje tedarik bilgileri, maliyet tahminleri ve maliyet optimizasyonu izlenebilir hale gelebilecektir.
Kesinlik	Akıllı sözleşmelerle otomatik hale gelen inşaat sözleşmeleri sayesinde hak talepleri ve uyuşmazlık sayıları azaltılabilecek ve çözüme kavuşma sürelerinde kısalma olacaktır. Ayrıca bu sayede paydaşların ilişkileri iyileştirilebilecektir.

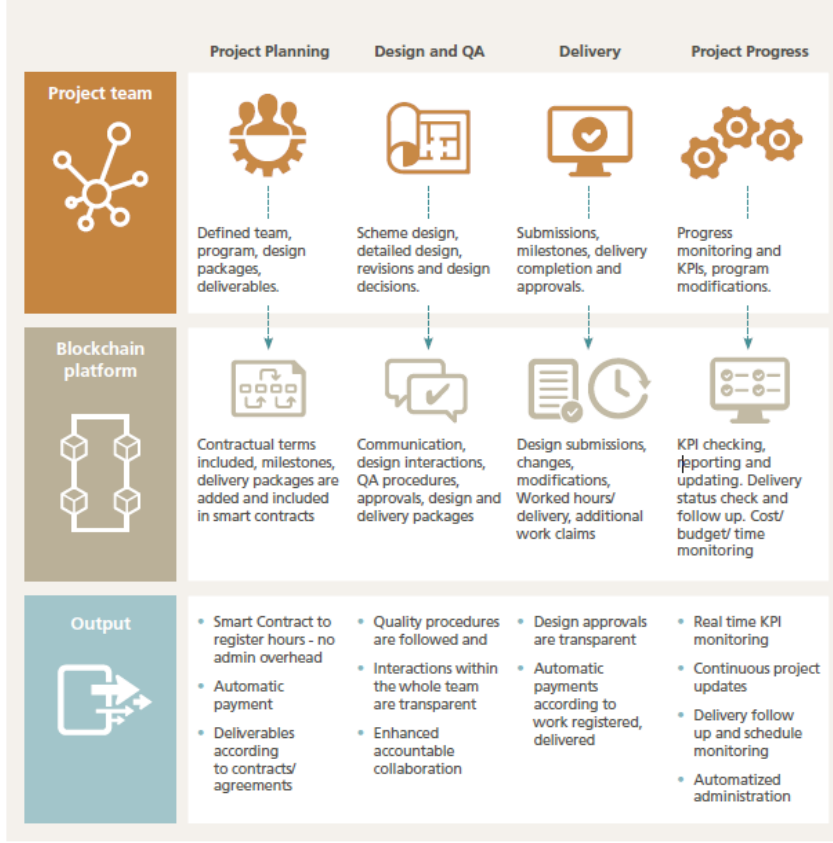
Bu faydalar ışığında değerlendirdiğimizde inşaat sektörü için değişimin köklü bir şekilde geleceği söylenebilir. Blokzincir ve akıllı sözleşmelerin inşaat sektöründe yaratacağı bu değişimde en büyük işbirliğini BIM ile yapması beklenmektedir. ICE raporunda bu kapsamda detaylı bir değerlendirme yapmıştır [131].

Ancak bu değerlendirmeden önce Blokzincir teknolojisinin inşaat sektöründe uygulanmasının ödemeler, proje yönetimi ve tedarik zinciri açısından etkisini anlamak

doğru olacaktır. Blokzincirnin inşaat sektöründe en önemli avantajlarından biri tüm proje süreci boyunca şeffaf bir ödeme yöntemi sunması olarak vurgulanmaktadır. Sektörde yaşanan geç ödemeler ve buna bağlı nakit akış sorunları projelerin gecikmesine/ firmaların büyük sorunlarla yüz yüze kalmasına sebep olmaktadır. Özellikle bu tip sorunlara karşı hazırlıksız olan alt taşeronlar veya bir başka deyişle küçük işletmeler alacaklarını geç almalarından kaynaklı büyük zararlar görmektedir. İnşaat sektörü bu sorunlara karşı NEC, JCT veya FIDIC gibi tip sözleşmelerle kendini güven altına almaya çalışmıştır ancak bunların da yeterli olmadığı yapılan çalışmalarda görülmektedir [131].

Blokzincir bu noktada radikal bir şekilde devreye girmektedir. Henüz proje tasarım aşamasındayken Blokzincir içerisinde akıllı sözleşmeler ile tüm süreçler tanımlanır. Akıllı sözleşmeler işin yapıldığına dair tetikleyici konumunda olur eğer ödemeye esas iş tamamlandıysa sözleşme devreye girer ve kontrolü yapar. İşlemin gerçekleştirdiği doğrulanırsa projeye ait banka hesabını ödemenin gerçekleşmesi için tetiklemekte ve tüm bu işlemler Blokzincir altyapısında şeffaf, izlenebilir ve değiştirilemez şekilde saklanmaktadır [131].

Şekil 4.1’de projenin tasarım aşamasından uygulanmasına kadar tek bir platformda süreçlerin yönetilmesine yönelik bir akış verilmiştir. Yukarıda belirtilen ödeme yönteminin pratikte yansımaları açıklayan bu şekle baktığımızda proje takımının süreçlerinde önemli bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Ancak kontrol mekanizmasına geçtiğimizde tüm süreçlerin Blokzincirne taşındığı görülmektedir. İlk olarak projeye ait sözleşme bilgileri, kilometre taşları ve teslim paketleri akıllı sözleşmeler içerisinde tanımlanmaktadır. Bu tanımlar doğrultusunda ödemelerin sözleşme maddelerine göre ilave bir denetim olmaksızın gerçekleşmesine yönelik altyapı kurulur [131].



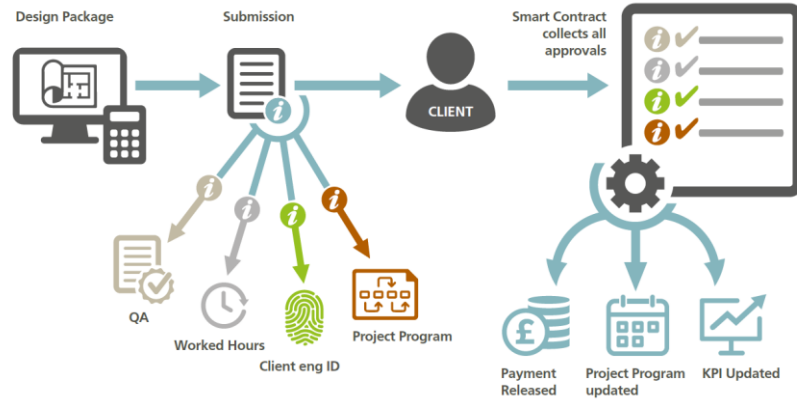
Şekil 4.1 : Tasarım ve proje işbirliğinde Blokzincir [131].

Tasarım ve tasarımın kalite kontrol aşaması da benzer bir akış içerisinde devam etmektedir. Bu aşamada da tüm paylaşımlar ve kontroller Blokzincir içerisinde sürdürülmekte olup, tasarım etkileşimleri, kalite kontrol prosedürleri, onaylar ve tasarım paketleri Blokzincir ağı içerisinde oluşturulmaktadır. Tasarım ekiplerinin iletişimi bu ağ içerisinde sürdürülmektedir. Bu sayede işbirliği ve şeffaflık ilkesi altında tüm tasarım yönetilmektedir [131].

Projelerin teslimi, tasarım değişiklikleri, ilave işler ve geleneksel süreçte yer alan tüm aşamalar da Blokzincir ağında yönetilmektedir. Tasarım onayları neticesinde ödemeler şeffaf ve otomatik şekilde akıllı sözleşmeler ile yapılmaktadır. Tüm bu süreçlerin Blokzincir ağında yönetilmesi sayesinde ilerleme takipleri de bu platformda yapılabilmektedir. KPI kontrolü, raporlama, teslim kontrolleri, maliyet ve zaman takibi gerçek zamanlı olarak izlenebilmekte, akıllı sözleşmeler ile yönetim otomatikleştirilmektedir [131].

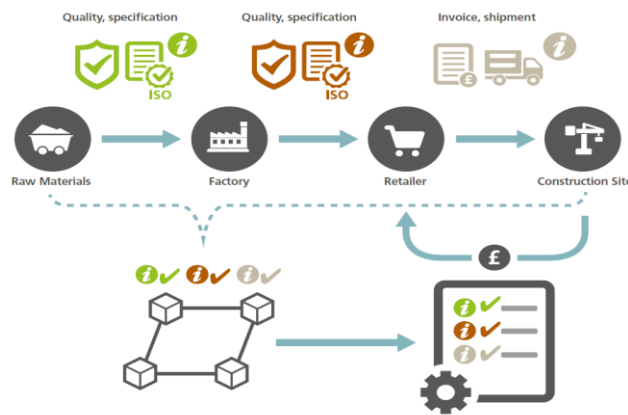
Şekil 4.2’de proje kontrol süreçleri üzerinden onay mekanizması iş akışı da tanımlanmış olup, sürecin geleneksel süreçlere göre güçlü kılan en büyük özelliği; proje yönetiminin izlenme kapasitesinin artırılması ve buna bağlı olarak karar

vericilere düzeltici eylemlerinde yardımcı olmasıyla birlikte ilerleme takibi ve maliyet analizlerinin doğruluğunun artırılması olarak belirtilmektedir [131].



Şekil 4.2 : Kalite kontrol aşamasının akıllı sözleşmeler ile yürütülmesi [131].

Yapı yaşam döngüsü boyunca kullanılan malzemelerin tedarik aşamasından başlayarak depolanmasına ve bu süreçler zarfında kalite ve sürdürülebilirlik gibi kontroller yapının sağlığı ve güvenliği için büyük önem arz etmektedir. Bu süreçlerde ve kontrollerde yaşanacak aksaklıklar dönüşü olmayan ciddi sorunlara sebebiyet verebilmektedir. ICE, raporda konunun Blokzincir uygulanmasıyla iyileştirilmesi ve sorunlara çözüm üretilmesine yönelik örnek bir süreç akışı tanımlamıştır. Şekil 4.3'deki sürece baktığımızda; yapım sırasında kullanılan bir malzemenin veya ekipmanın Blokzincir içerisinde kesintisiz şekilde kaydedildiği görülmektedir. Malzemenin ham maddesinden başlayarak, fabrikada üretimine, satın alması ve nakliyesine kadar tüm süreçlerin Blokzincir altyapısında tüm paydaşlarca şeffaf bir şekilde izlenmektedir. Yani tüm tedarik zinciri güvenilir ve değiştirilemez bir ortamda devam etmektedir [131].

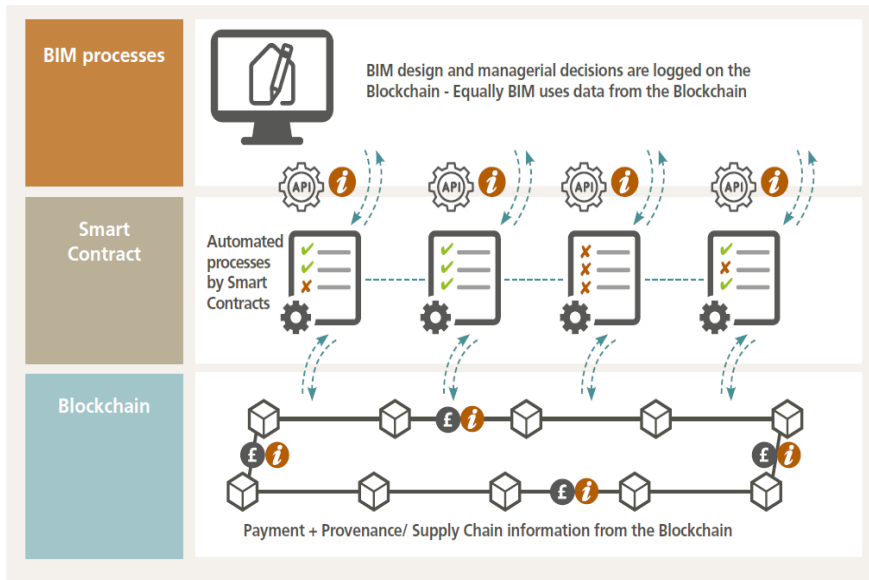


Şekil 4.3 : Ham madde tedarikinde akıllı sözleşme [131].

Vurgulanan bir diğer önemli konu ise tüm kalite kontrol ve sertifika onaylarının aynı Blokzincir üzerinde yapılmasıdır. Bu sayede paydaşların inşaat sahasına gelen malzemelerin standartlara uygun olduğuna güveninin artırılması ve uzun süren bürokratik aşamaların azaltılması hedeflenmektedir [131].

Blokzincirin inşaat sektöründe uygulanmasına yönelik yukarıda verilen örneklerin sektör içerisinde önemli iyileştirmeleri sağlayacağı ve büyük faydalar getireceği görülmektedir. Ancak bu iyileşmeyi çok daha ileriye taşıyacak olan BIM ve Blokzincir teknolojisinin entegrasyonunun olacağı vurgulanmaktadır [131]. BIM'in yapıyı oluşturan tüm nesneleri barındıran veritabanı Blokzincir ve akıllı sözleşmeler ile birlikte inşaat sektöründe devam eden birçok sorun için çözüm önerisi olabileceği savunulmaktadır [131].

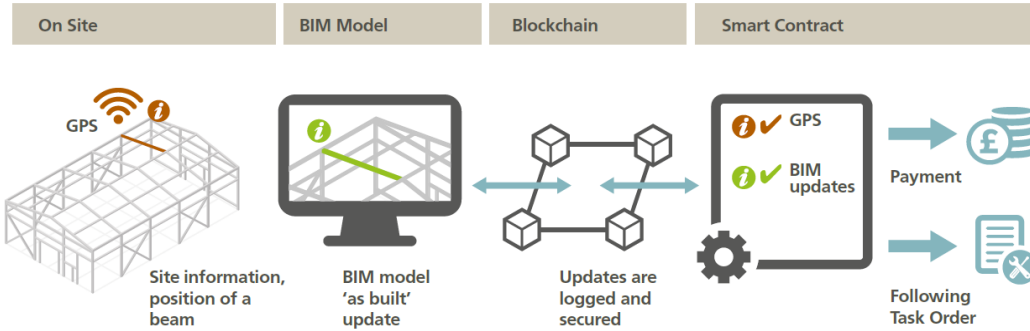
Veri odaklı dijital ikiz sisteminin ortaklığını ICE Şekil 4.4'deki konsept model üzerinden tanımlamaktadır. Bu modelde Blokzincir BIM modellerinde yer alan verilerin saklanması için bir altyapı olarak belirtilmektedir. Blokzincir ağında tanımlanan veriler; kararların, kontrollerin, tedarik ve işlem detaylarının yani yapının tüm yaşam döngüsü boyunca ürettiği detayların BIM modelleriyle bağlı güvenli ve canlı bir izleme mekanizması yaratacaktır. Paydaşların iş birliği içerisinde yürüteceği bu şeffaf sistem sayesinde uyuşmazlıkların büyük ölçüde ortadan kalkması beklenmektedir [131].



Şekil 4.4 : BIM, akıllı sözleşme ve Blokzincir konsept modeli [131].

Konsept modelde akıllı sözleşmelerle tanımlanan bölüm BIM modellerinin işlevselliğini arttıracak ve kontrol/onay mekanizmasını belirgin bir şekilde değiştirecek kısımdır. Nesne tabanlı modeller ile akıllı sözleşmelerin entegrasyonu tasarımdan teslimat kadar tüm süreçlerin dijital sözleşmelerle otomatikleşmesini sağlayacak kritik bir aşamadır. Akıllı sözleşmelerde tanımlanan kriterler yerine getirildiğinde önceden tanımlanmış işlemler tetiklenecek ve süreç kendi kendine işleyen bir mekanizmaya dönüşecektir. BIM modelleri bu noktada yapının dijital yansıması olarak devreye girmektedir.

Şekil 4.5’de verilen örnek şemada, üzerinde doğruluğu kanıtlanmış bir Global Positioning System (GPS) cihazı olan prekast kirişin sahada yerleştirilmesiyle BIM modelinin GPS verilerine göre güncellenmesi ve sonrasında Blokzincir ağında yer alan akıllı sözleşmenin ilgili hükümler doğrultusunda ilerlemeyi kaydedip bir sonraki aşama için siparişin verilmesini ve yerleştirilen kirişin ödemesini otomatik şekilde gerçekleştirmesine dayalı bir kurgu olarak tanımlanmıştır [131].



Şekil 4.5 : Saha imalatlarının kontrolünde akıllı sözleşme ve BIM kullanımı [131].

Tasarım aşamasından başlayarak yapım ve işletme aşamasındaki varlık yönetimine kadar tüm süreçlerin BIM, Blokzincir ve akıllı sözleşmelerin entegre çalışması ile beraber dijital veri akışı sağlayabilecek GPS, IoT ve diğer tüm teknolojilerin adapte olmasıyla inşaat sektöründe otomasyonun gelişmesi beklenmektedir. Bu sayede sözleşmeye ve standartlara göre belirlenen tüm şartlar güvence altına alınacak ve taraflar arasında güven ilişkisi pekiştirilecek, uygulamada karşılaşılan birçok sorunun önüne geçilecektir [131].

Blokzincir ve BIM süreçlerinin birleşiminden doğan potansiyel uygulama alanlarına yönelik yapılan bir diğer araştırmaya baktığımızda ICE raporunda incelenen benzer konulara vurgu yaptığı görülmektedir [131,132]. Bu araştırmada dağıtılmış kayıt

defteri ile ağ güvenliğinin sağlanması, veri depolama ve izinlerinin düzenlenmesi, veri sahipliği sorunları, işbirliği anlayışı, güven problemleri ve akıllı sözleşmelerle otomatikleşen süreçler gibi konular üzerinden değerlendirme yapılmış olup, Blokzincir ve BIM'in inşaat sektöründeki potansiyel kullanımlarına odaklanılmıştır [132].

Araştırmada BIM modellerinin görselleştirilmiş ve bulut tabanlı veritabanı yapısının akıllı sözleşmeler içerisine tanımlanan kurallar ile otomatik olarak gerçek zamanlı bir şekilde onay süreçlerinin yürütülmesi, sensörler ve IoT ile dijital varlıkların ikizleriyle tam entegre çalışmasının neticesinde tasarım ve yapımda kalite standartlarının yükselmesi, sorumluluğun artması, tasarım/yapım ekiplerinin ve süreçlerin değerlendirilmesinin güvenilir bir platformda yapılması ile iyileştirmelerin zamanında yapılabilmesi gibi etkili faydalar doğuracak çözümler önerilmektedir. İnşaat sektöründe kültür değişimi yaratacak bu etkiler sayesinde belirsizliğini koruyan sorumlulukları ve yükümlülükleri çözmekle beraber risklerin ve ödüllerin paydaşlar arasında paylaşılmasını sağlaması beklenmektedir. Değişmezlik ve şeffaflığın ön plana çıkması ile geniş bir uygulama alanı bulması beklendiği belirtilen Blokzincir ve BIM entegrasyonunun BIM'in potansiyel faydalarını arttıracak veri güvenliği gibi süre gelen sorunlara çözüm olabileceği vurgulanmaktadır [132].

İnşaat sektöründe yaşanan güven probleminin yeni teknolojilerle çözülmesini araştıran çalışmada, BIM ve Blokzincir işbirliğine dayalı bir sistemde ortak veritabanı üzerinden tüm süreçlerin yürütülebilmesine dayalı kurgu incelenmiştir [133]. Çalışmada BIM ile inşaat endüstrisinde oluşan işbirliği anlayışının Blokzincir ile birlikte paydaşlar arasındaki güveni arttıracak ifade edilmektedir. Blokzincir içerisinde oluşturulan zaman damgalı bloklar ve blokların içerisindeki değiştirilemez verilerin dağıtık defterlerde tüm paydaşlarda bulunmasının güven sorununa bir çözüm sunması beklenmektedir. Bununla birlikte BIM ile dijital olarak üretilen tasarım, planlama, maliyet ve işletme verileri ile yapım sırasında üretilen sipariş, tedarik, imalat ve diğer tüm verilerin tek bir platform üzerinden akıllı sözleşmelerde denetiminin otomatik şekilde yapılmasının sağlayacağı güvenin sektörde etkili faydalarının olması beklenmektedir [133].

Wang ve vd. tarafından yapılan inşaat proje yönetiminde Blokzinciri uygulanmasına yönelik yapılan çalışmada Blokzincirinin inşaat sektöründe işbirliğini arttırması ve buna bağlı fayda elde edilmesi beklenen üç konsept süreç üzerinde durulmuştur. İlk olarak yapı yaşam döngüsü boyunca üretilen tüm verilerin üçüncü kişiler tarafından

doğruluğunun ispatına ihtiyaç duymaksızın dağıtık defter kayıtlarında tutulması ve buna bağlı belge doğrulama için sarf edilen emeğin azaltılmasıdır. Dağıtık defter yapısı sayesinde belgenin geçirdiği tüm süreçler (oluşturma, silme, değiştirme) kayıt altına alınmakta ve tüm paydaşlarda değiştirilemez bir şekilde saklanması sağlanmaktadır. Saklanan verilerin kimin tarafından ne zaman oluşturulduğu da dâhil olmak üzere ihtiyaç duyulan tüm bilgileri tek bir platformda yer alabilmektedir. Böylece noter ve benzeri üçüncü doğrulama kurumlarına ihtiyaç kalmamaktadır. Bilginin kaynağı net olarak Blokzincirinde yer almaktadır [134].

Araştırmada vurgulanan ikinci konu tedarik ve ödeme sistemlerinin otomatikleşmesidir. Bu noktada akıllı sözleşmeler belirgin şekilde öne çıkmaktadır. Sistem içerisinde her türlü satın alma, kiralama, hakediş ödemeleri gibi hususlarda otomatikleşme sağlanacağı söylenmektedir. Bu sayede bu işlemlerden doğan uyuşmazlıkların giderilmesi ve zaman/maliyet tasarrufu sağlanması beklenmektedir. Yapılan araştırmada açıklanan üçüncü süreç ise tedarik zinciri boyunca izlenebilirlik ve şeffaflık sağlanmasıdır. Blokzincir sayesinde tüm varlıkların ve hizmetlerin geriye dönük bir şekilde kalite kontrolü izlenebilmektedir. Bir varlığın işletme aşamasında yaşadığı ciddi bir arızanın kusurlu tarafının tespiti hızlı, net ve basit bir şekilde Blokzincir ile yapılabilmesi beklenmektedir. Bu sayede uzun süren kusur tespit süreçleri hızlı şekilde sonuçlandırılabilir, varlık yönetiminde yaşanan sorunlara çözümler üretilebilecektir [134].

BIM, Blokzincir ve IoT teknolojilerinin birbirleriyle nasıl etkileşime geçebileceğini araştıran bir çalışmada her bir teknolojinin farklı etkileşim yollarının avantajlarını ve sınırlamalarını incelemiştir. Bu teknolojilerin etkileşiminden teknik ve yönetim açısından yenilikler doğurabileceği belirtilmekte olup, teknolojilerin ikili etkileşiminden etkilenecek alanlar aşağıda sıralanmıştır [135]:

- BIM ve Blokzincir: Akıllı sözleşme, tedarik zinciri, değişiklik kayıtları
- BIM ve IoT: Yeşil ve akıllı binalar, şantiye güvenliği, e-ticaret
- IoT ve Blokzincir: Merkezi olmayan veritabanı, gizlilik, harici işbirliği

BIM ve Blokzincir etkileşiminin iş akışında her sözleşme maddesinin akıllı sözleşme olarak yazılabilmesi durumunda mükemmel bir iş akışı sağlanacağı söylenmektedir. Ancak tüm süreçler için akıllı sözleşme oluşturulmasının iş yükü ve teknik gereksinimler sebebiyle zor olduğu vurgulanmakta olup, başlangıçta projenin verimliliğini, güvenliğini ve işbirliğini en fazla arttırabilecek belirli işlemlerde uygulanmasını önermektedir [135].

Araştırmada BIM'in uygulanmasındaki engellerden bir olarak tanımlanan modelin parçalanmış yönetimi ve sahiplik karmaşasının akıllı sözleşme kullanılarak çözülebileceği belirtilmektedir. Akıllı sözleşmeler sayesinde proje ekibindeki taraflar BIM modeline sadece belirtilen kurallar çerçevesinde erişebilecek ve yapılan tüm değişiklikler dağıtık defter yapısında yani Blokzincirinde kayıt altına alınacaktır.

Bu kurguda sorumluluklar ve haklar etkin bir şekilde bölüşülebilmekte ve tüm bilgiler Blokzincir veritabanına entegre edilebilmektedir [135]. Burada vurgulanan temel nokta farklı firmaların tasarımı ve/veya farklı paydaşların yorumları doğrultusunda gelişen BIM modellerindeki yetki ve sorumluluk karmaşasının yanı sıra kayıt izleme problemlerinin giderilmesidir.

Araştırmada BIM ve Blokzcinciri etkileşiminde bir diğer önemli husus ise kayıtların kalıcılığının sağlanması olarak vurgulanmaktadır. Blokzincirindeki zaman damgalı, değiştirilemez ve tüm paydaşlarda bulunan kayıtlar sayesinde veri paylaşımının etkinliğinin arttırılacağı belirtilmekte olup, bu sayede işbirliği ve güvenin arttırılacağı vurgulanmaktadır [135].

Değiştirilemez dağıtık kayıt defteri teknolojisinin BIM ile birlikte uygulanmasının bir diğer önemli faydasının inşaat sektöründe projeye dâhil olan altyüklenici ve tedarik firmalarıyla olan ilişkilerde şeffaflık ve izlenebilirliği arttırılması olarak belirtilmektedir. Blokzincirinde tutulan güvenilir veriler sayesinde üçüncü tarafların denetiminden kaynaklı hatalar olmaksızın projeye daha fazla yüklenici veya taşeron dâhil olabilmektedir. Güvenilir, açık ve rekabetçi bir pazar oluşturularak sektör içerisinde verimliliğini arttırılabileceği belirtilmektedir [135].

Yapılan araştırmada BIM, Blokzincir ve IoT entegrasyonu ile “Decentralized Autonomous Organizations” (DAO) (Merkezi Olmayan Otonom Kuruluş) kurulabileceği vurgusu en kritik noktalardan biridir [135]. DAO insan yönetimi olmaksızın kodlanan kurallara göre işleyen sistemlerdir. Bu sistemler akıllı sözleşmeler ile kurulan protokollere göre süreçlerin yürütülmesini sağlamaktadır [135]. IoT ile gelen dinamik veriler BIM ve Blokzincir entegrasyonu ile önceden belirlenmiş koşullara göre harekete geçen bir sistem yaratacaktır. Bu sistem ile yapının işletme ve bakım yönetiminde işçilik ve yönetim maliyetinden tasarruf sağlamakla birlikte sağlık ve güvenlik sorunlarını azaltılabileceği belirtilmektedir. Sisteme örnek olarak araştırmada asansör arıza senaryosu üzerinden bir kurgu anlatılmıştır. Verilen örnek, arızalanan asansörün sensör aracılığı ile bildirilmesi, arızanın asansörün hangi kısmından kaynaklandığının tespiti ve bunların Blokzincirne yüklenmesi neticesinde

DAO'nun akıllı sözleşmede tanımlanan kurallara göre rapor oluşturma, servis ile bağlantı kurma veya tedarikçiden yeni parça satın alma gibi işlemleri otonom şekilde yürütmesi üzerine bir kurgudur [135].

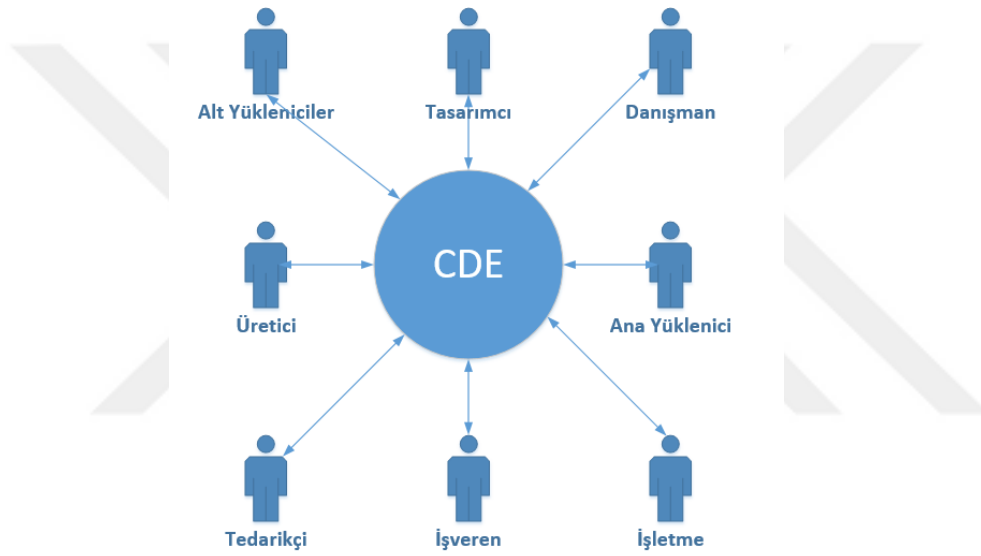
Shojaei ve diğerleri tarafından bu araştırmada imalatı gerçekleşen benzersiz kimliğe sahip bir çelik kolonun BIM modelinin oluşturulmasından sahada imalatı tamamlana kadar geçen tüm süreçte paydaşların akıllı sözleşmeler üzerinden yürüttüğü bir iş akışı tanımlanmıştır [136]. Akıllı sözleşmelerin BIM ve Blokzincir entegrasyonu ile uygulanmasına yönelik yapılan araştırmada Hyperledger platformu üzerinde mevcut para birimlerini kullanarak inşaat projelerinin yönetimi irdelenmiştir. İnşaat projelerinin doğası gereği işlem gizliliğinin öne çıktığı vurgulanan araştırmada; özel, izne bağlı ve yetkilendirmeler doğrultusunda işlem yapılabilen Hyperledger platformu Blokzincir ağı olarak önerilmektedir. Hyperledger platformu üzerinden yapılan işlemlerde her bir işlemin detayı sadece işleme dâhil olan taraflar ve yetkilendirilmiş taraflarca görülebilmektedir. Bu sayede inşaat projelerinde talep edilen gizlilik sağlanabilmekte, hatta geleneksel sisteme göre daha güvenli bir sistem kurgulanmaktadır. Bu sistemin ölçek fark etmeksizin tüm inşaat projelerinde uygulanabileceği ve sistemin temel avantajının manipüle edilemez olduğu araştırmada vurgulanmaktadır. Sistemde Hyperledger platformu üzerinde tanımlanan akıllı sözleşmeler ise yükümlülüklerin doğrulanmasında ve sistemin otomatik bir şekilde yürütülmesinde kullanılmaktadır [136]. Burada önemli olan vurgu mevcut kurgunun mevcut para birimleriyle devam etmesi, kapalı bir ağ önerilmesi, bürokrasinin önemli ölçüde azalması ve tüm süreçlerin fiziksel varlığın dijital yansıması üzerinden devam etmesidir. İnşaat sektöründe BIM, Blokzincir ve akıllı sözleşme entegrasyonundan doğan faydalar ve kullanım alanları bu bölümde incelenmiş olup bir sonraki bölümde BIM, Blokzincir ve akıllı sözleşme entegrasyonu için iş akışı önerisi yapılmıştır.

4.3 BIM ve Akıllı Sözleşme Entegrasyonunun İnşaat Sektöründe Uygulanmasına Yönelik Örnek İş Akış Modeli

BIM ve akıllı sözleşmelerin Blokzincir ağı üzerinde inşaat sektöründe uygulanmasına yönelik yapılan literatür taramasından da görüldüğü üzere sektörde devam eden birçok süreç bu entegrasyona adapte olmaya yatkındır. Özellikle BIM ile birlikte dijitalleşen varlıklar üzerinden inşaat projelerinin yürütülmesi süreçlerin adaptasyonunu kolaylaştıracaktır. Dayandığı temel felsefeler açısından ortak yönleri irdelenen

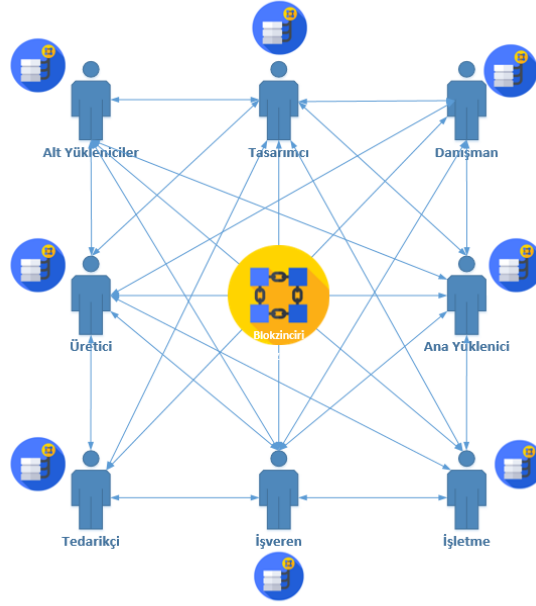
teknolojilerin kesiştiği değerlerin fazlalığı da adaptasyonu hızlandıran bir diğer temel avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak bunun yanında sistemlerin teknoloji altyapı açısından uyumunun değerlendirilmede göz önüne alınması gerekmektedir.

Blokszincir, CDE’de yer alan yapıya ait veriler ile üçüncü tarafların dahil olduğu tüm verilerin ortak güvenilir bir ağda depolanması ve birbirleriyle ilişkilendirilmesinin sağlanması açısından BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonunun başlangıç noktası olarak kabul edilmiştir. Tez kapsamında önerilen yeni ağ yapısı Şekil 4.6’da görülen CDE’nin merkeziyetçi yapısı yerine tüm paydaşların aktif iletişimde olduğu şeffaf ve artırılmış işbirliği içeren bir ağ sistemidir.



Şekil 4.6 : CDE ağ yapısı.

Bu sistemde daha önceki bölümlerde tartışılan modelin sahiplik karmaşası anlamını kaybetmektedir. Önerilen sistemde modelin sahibi projenin kendisi olup, tüm paydaşlar yetkilendirmeleri doğrultusunda belirli sınırlar içerisinde değişiklik ve onay mekanizmasına dahil olmaktadır. Şekil 4.7 ile tanımlanan sistemde, merkezde yer alan Blokszincir ağı esasında tüm paydaşlarda bulunan defterin temsildir. Yani kayıtlar dağıtılmış kopyaları ile paydaşlarda yer almaktadır. Bu ağ içerisinde tüm paydaşlar üçüncü kurumlara ihtiyaç duymaksızın birbirleriyle yetkilendirmeler doğrultusunda iletişim kurabilmektedir. Tarafların aralarında yaptığı tüm işlemler ise tüm paydaşların sahip olduğu zaman damgalı bloklar içerisinde yer almaktadır.



Şekil 4.7 : Blokzincir tabanlı dağıtık defter yapısı.

4.3.1 Blokzincir ağının seçilmesi ve mutabakat protokolü

Çalışma kapsamında önerilen iş akış modelinde ilk olarak Blokzinciri ağının seçilmesi gerekmektedir. Seçilen bu ağ inşaat projelerinin yapımdan işletmeye kadar tüm süreçlerinde uygulanabilme becerisine sahip olmalıdır. Ethereum ve Hyperledger Fabric akıllı sözleşmeleri destekleyen yapısı ile seçilebilecek Blokzincir ağları içerisinde öne çıkmaktadır. Hyperledger Fabric'in kurumsal çözümler sunması ve izne bağlı özel Blokzincir ağına elverişli yapısı (Kapalı Blokzincir Ağı) inşaat sektöründe uygulanabilirliği açısından daha uygun olacağı görülmektedir. Mutabakat algoritmaları açısından değerlendirdiğimizde anonim sistemlerde tercih edilen PoW iş kanıtı yaklaşımlarının kullanılmasının tarafların belirli olduğu inşaat projelerinde uygulanmasının gerekli olmadığı düşünülmektedir. PoW yaklaşımının bu sistemde kullanılması maliyetli ve yavaş bir yapıya sebep olacaktır. Hyperledger ise tam tersi maliyet olmadan hızlı bir şekilde işleyebilecek mutabakat algoritmalarına sahiptir. Tabi bu avantaj özel ve izne bağlı katılım gerçekleştirilen Blokzincir yapıları için geçerlidir. İnşaat projelerinin de bu şartlara göre değerlendirilmesi gerekmektedir. Ethereum tüm bu açılardan önerilen sistem için uygun Blokzincir ağı olarak seçilmemiş olup, sistem Hyperledger Fabric (HF) üzerinden yürütülen bir Blokzincir ağı olarak tasarlanmıştır.

HF'te kullanılan mutabakat mekanizması üç aşamaya ayrılmaktadır. Bunlar onay, emir ve doğrulama aşamalarıdır [137].

- Onay aşaması, ağı katılanların bir işlemi onayladığı politika doğrultusunda gerçekleştirildiği aşamadır [137].
- Emir aşaması, işlemler onaylandıktan sonra kabul eder ve deftere taahhüt etmek üzere doğrulamaya gönderildiği aşamadır [137].
- Doğrulama aşaması, işlemlerin emri verildikten sonra bir bloğunu alır ve önceki aşamaların doğruluğunun ve çift işlem hatasının denetiminin yapıldığı aşamadır [137].

HF’de sistem içerisinde mutabakat algoritması değiştirilebilmektedir. İhtiyaca göre farklı onay, emir ve doğrulama yöntemleri tanımlanabilmektedir. İnşaat projelerine baktığımızda onay süreçlerinin proje özelinde değişebildiğinin göz önüne alınması gerekmektedir. Bu da birden fazla mutabakat sistemi geliştirilmesi gerekliliğini doğurmaktadır. İnşaat sözleşmelerinin karşılıklı edimler doğrultusunda tüm taraflara borç yükleyebilen yapısı esasında sistemin tamamen borcun ifasını yerine getirmek olduğunu söylemek doğru olacaktır. Yani inşaat projelerinde yüklenici eseri yapmakla yükümlüken işveren ise eseri teslim alma ve karşılığında borcunu ödemekle yükümlüdür. Akıllı sözleşmeler bu noktada sisteme dâhil olmaktadır.

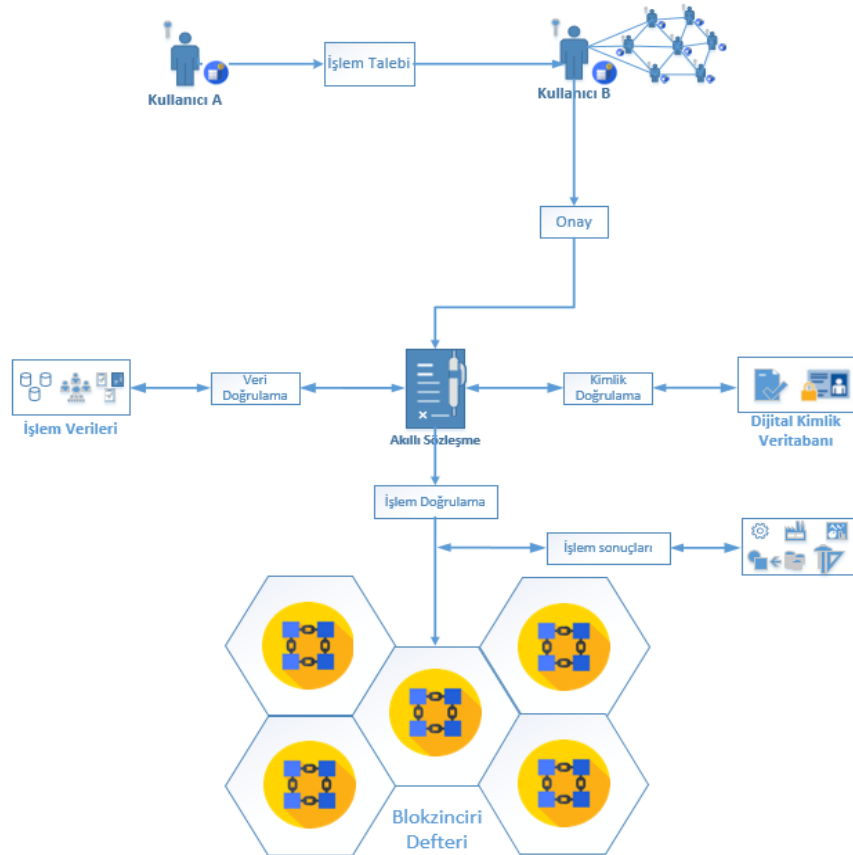
Akıllı sözleşme ve mutabakat katmanı yakın çalışarak zincire eklenecek blok için belirlenen koşullara göre denetimi yapar ve işlemin doğru bir şekilde gerçekleşmesini sağlar. Akıllı sözleşmeler üzerine işlemin geleneksel sözleşmelerdeki ve normlardaki mutabakat şartları tanımlanmakta olup, bu şartlara göre doğrulaması gerçekleşmektedir. Doğrulama Bölüm 4.2’de verilen örnekteki gibi GPS verileri gibi dış verilerle olabileceği gibi, sistem içerisinde tanımlanmış kurum, kişi veya pozisyona göre de yapılabilmektedir.

Burada ikinci bir katman devreye girmektedir. Bu katman HF’de bulunan kimlik hizmetleri katmanıdır. Akıllı sözleşme işlemi yapmak isteyen kurum veya kişinin kimliğini doğrulamak için kimlik hizmetleri katmanını kullanır. Akıllı sözleşme kimlik katmanından aldığı bilgiler ile işleme dahil olan tarafların Blokzincirinde tanımlı olduğunu ve akıllı sözleşmeyi uygulamak için uygun erişime sahip olduğunun kontrolünü yapmaktadır. Kapalı ve kullanıcıların kimliklerinin bilindiği bu sistemde sürecin başında kurum, kişi ve pozisyon bazında yetkilendirmeler sürecin başında akıllı sözleşmeye tanımlanmaktadır. Yani yapılan her işlemi onaylayacak pozisyon sözleşme kurulumunda belirlenmiştir. Kimlik doğrulamasında basit anahtar temelli kimlikler veya defter üzerinde yönetilen kimlikler kullanılabilmekle beraber Bölüm

3.5.1.1’de anlatılan Tubitak Bilgem tarafından yürütölmekte olan Blokzincir tabanlı dijital kimlik ve ticari kimlik de sisteme entegre olabilecektir. Dijital kimliklerin aktif olması ile doğrulama yetkisine sahip kişilerin mesleki yeterlilikleri de otomatik bir şekilde Blokzincir ağında kontrol edilebilecektir.

4.3.2 İş akış modeli

Şekil 4.8’de tanımlanan akışta kullanıcı A bir işlem talebinde bulunmaktadır. Bu işlem ödeme talepli bir işlem olabileceği gibi proje veya imalat kontrolü gibi çeşitli nitelikte herhangi bir işlem olabilmektedir. Ağa dâhil tüm kullanıcıların görebildiği bu talep sözleşmede tanımlanan yetkili kişi ve kişilerin mutabakatı ile onaylanabilmektedir. Kullanıcı B tarafından onaylanan işlem akıllı sözleşme tarafından farklı veritabanlarından alınan veriler ile kontrol edilmekle beraber talepte bulunan ve onaylayan kişilerin uygunluğu da dijital kimlik veri tabanı üzerinden kontrol edilmektedir. Akıllı sözleşmeye tanımlanan işlemden doğacak sonuç (para transferi, aktivite onayı, malzeme siparişi vb.) sözleşme tarafından gerçekleştirilir ve Blokzincirne hash değeri ile birlikte blok olarak eklenir.



Şekil 4.8 : Kullanıcı tanımlı BIM ve akıllı sözleşme iş akış modeli.

Kullanıcı A ve kullanıcı B sözleşmenin kurulması ile birlikte belirlenmiş ve yetkilendirilmiş paydaşlardır. Yetkilendirmeler sözleşmenin kurulmasında karşılıklı rıza beyanlarıyla belirlenmekte ve akıllı sözleşmelere tanımlanmaktadır. Kurguda bilgisayar programıyla tanımlı bir sözleşmenin varlığı göz önüne alındığında tüm irade beyanlarının yoruma bağlı olmaksızın açık irade beyanı olması beklenmektedir. Kullanıcıların ağda kriptografik şifreleme ile tanımlanmış olması ve her birinin sahip olduğu kişisel anahtarın ispat gücünü arttırması da kanıtlanabilirlik açısından sistemi kuvvetlendirmektedir. Bununla birlikte doğrulama için kullanılacak veriler ile onay mekanizmasındaki imzaların yeni teknolojilerle imzalanmasına yönelik HMK ve TBK'nın nötr kalması da uygulamada sınırlama bulunmadığını göstermektedir.

Kullanıcı A ile kullanıcı B arasında yapılan işlemleri sadece projenin tasarım veya yapım aşamasındaki bir işlem olarak değerlendirmek eksik olacaktır. Bu kurgu ihaleye katılan kurumların yetkinliğinin değerlendirilmesinde de aktif olarak çalışabilecek hatta ihale sonucunu belirlemede karar vericiye destek olabilecektir. Mevcut sistemde ihalelerde yaşanan şüphelerin bu ağ yapısında mümkün olmayacağını da söylemek mümkündür.

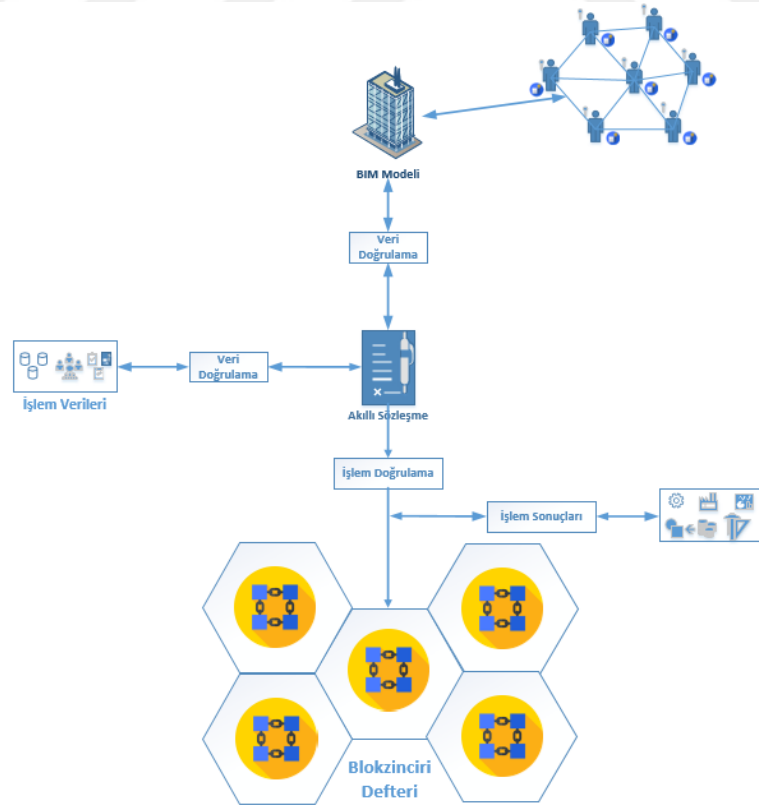
Tanımlanan akışın veri doğrulama aşamasına baktığımızda ise kanıtlanabilir verilerin akıllı sözleşme tarafından denetlendiği görülmektedir. Akıllı sözleşmenin doğrulamayı yapabilmesi için veritabanlarından dijital verilere ulaşabilmesi gerekmektedir. Bu iş akışında yapılan tüm işlemlerin dijital veya dijitalleşebilecek şekilde kurgulanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Dijital verilerin ispat açısından değerlendirdiğimizde HMK md. 199/f.1 kapsamında belge olarak nitelendirilen tüm elektronik verilerin akıllı sözleşmelerce doğrulama için kullanmasında bir sınırlanma bulunmamaktadır [138].

Doğrulan bir işlemin neticesi itibariyle doğan sonuçlar sözleşmeden doğan tüm edimler için uygulanabilir niteliktedir. Bu edimler inşaat sözleşmelerinin temel unsuru olan eserin yapılması ve karşılığında bedelinin ödenmesi olabileceği gibi sözleşmede belirtilen herhangi bir şart için de uygulanması mümkün bir altyapıya sahiptir. Örneğin bir imalatın yapıldığının onaylanması ile muaccel olan borcun ifasında akıllı sözleşme karar verebilmektedir. Bu sayede ödemelerde gecikmelerden kaynaklı hak kayıplarının önüne geçilecektir. Vurgulanması gereken bir diğer husus ödemelerin mevcut para birimleriyle yapılabildiği yani bitcoin gibi Blokzincir tabanlı bir para birimiyle yapılma zorunluluğunun olmadığıdır.

Bununla birlikte tanımlanan iş akışının sözleşmede belirtilen özel koşulların akıllı sözleşmeye entegre edilmesiyle sözleşme maddelerinden doğan sonuçlar otomatik bir şekilde gerçekleştirebilecek olması önemli bir noktadır. Kalite kontrol, ödül ve cezalar, yer teslimi, malzeme siparişleri, gecikmeler, iş güvenliği ve sağlığı gibi tüm özel koşullara bağlı oluşacak sonuçlar bu aşamada gerçekleştirilebilmektedir. Örneğin onaysız bir malzemenin imalatının engellenmesi veya kalite şartlarını sağlayan bir malzemenin otomatik bir şekilde onaylanarak iş programına göre tedarik için siparişinin üreticiye bildirilmesi gibi süreçler sisteme entegre edilebilmektedir.

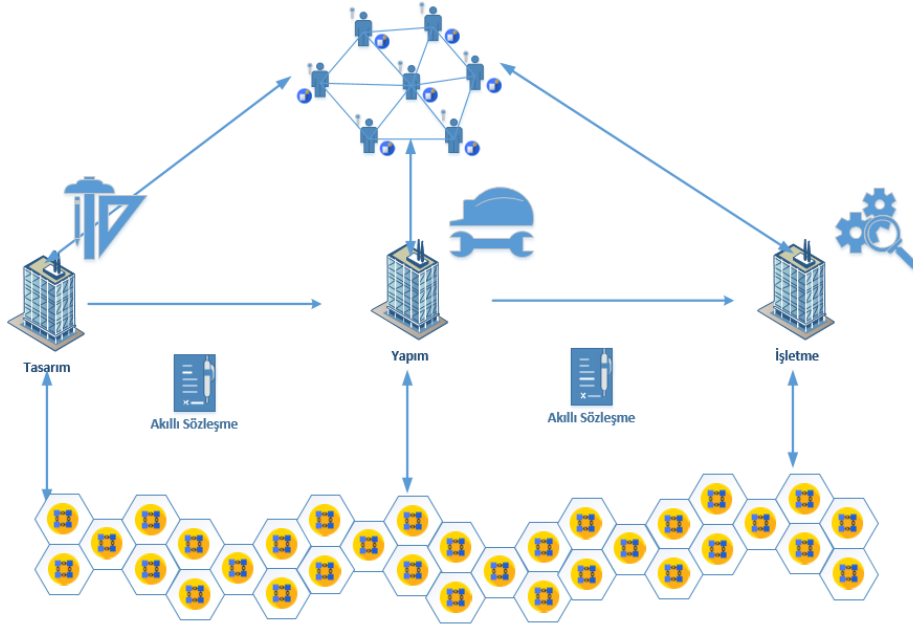
4.3.3 BIM modellerinin blokzincir ağına dâhil edilmesi

Şekil 4.9’da tanımlanan akışta onay mekanizmasına BIM modelleri dahil edilmiştir. BIM modelleri üzerinden yürütülen bu akışta modelleme çalışmalarından başlayarak, saha imalatına hatta işletme aşamasına kadar tüm veriler tek bir model üzerinden yönetilmektedir. Akıllı sözleşmeler ise BIM modellerinden gelen veriler doğrultusunda önceden tanımlanmış süreçler doğrultusunda işlemin doğrulanmasını ve sonrasında işlemden doğacak sonucunu gerçekleştirerek Blokzincir defterine kayıt edilmesi görevini üstlenmektedir.



Şekil 4.9 : BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonunun temel iş akış modeli.

Şekil 4.10 ile verilen proje yaşam döngüsünde yapının tasarım aşamasından başlayarak akıllı sözleşmeler ile yapılan işlemlerin otomatik bir şekilde denetlenmesi ve Blokzinciri ağı içerisine kayıt altına alınması tariflenmektedir.



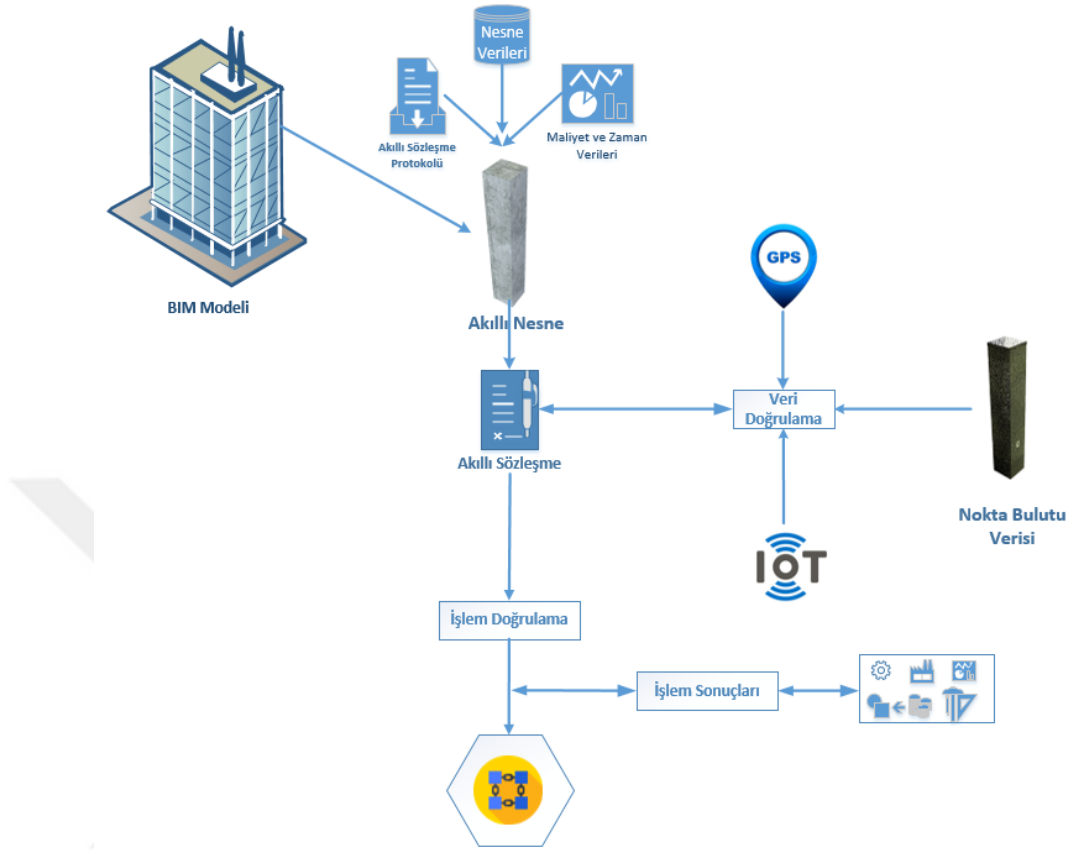
Şekil 4.10 : BIM modellerinin proje yaşam döngüsü boyunca Blokzincir ağında akıllı sözleşme ile entegrasyonu.

Bölüm 4.3.1’den farklı olarak bu sistemde imalata esas tüm süreçler BIM modelleri içerisindeki verilerle entegre bir şekilde yürümektedir. Bir diğer önemli fark ise tasarım aşamasında yapılan tüm işlemlerin BIM modelleri aracılığı ile Blokzincirde kayıt altına alınmasıdır. Bu sayede yapı tamamen dijital bir kurguda devam etmekle beraber tasarım, yapım ve işletme aşamasında üretilen tüm veriler değiştirilemez bir şekilde kayıt altına alınmaktadır.

4.3.4 Akıllı nesnelerin sistem içerisindeki yeri

Entegrasyonun nasıl işleyeceğine mikro düzeyde baktığımızda BIM modellerine işlenen verilerin doğruluğu ve güvenilirliği ile BIM modellerinin inşaat sahasından gelen verilerle entegre edilmesi süreçte kritik bir nokta olarak karşımıza çıkmaktadır. BIM modellerini oluşturan akıllı nesneler bu süreçte önemli bir rol daha kazanmaktadır. Verilerle zenginleştirilmiş akıllı nesnelerin içerisinde barındırdığı bilgiler akıllı sözleşmelerin tetiklenmesinde kullanılabilecek potansiyele sahiptir. Akıllı nesnelerden oluşan dijital ikizlerin yapı ile canlı bağlantı kurması sensörler,

görüntü işleme, nesnelerin interneti ve lazer bulut tarama gibi teknolojilerle sağlanabilmektedir.



Şekil 4.11 : Akıllı nesneler aracılığı ile imalat süreçlerinde BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu.

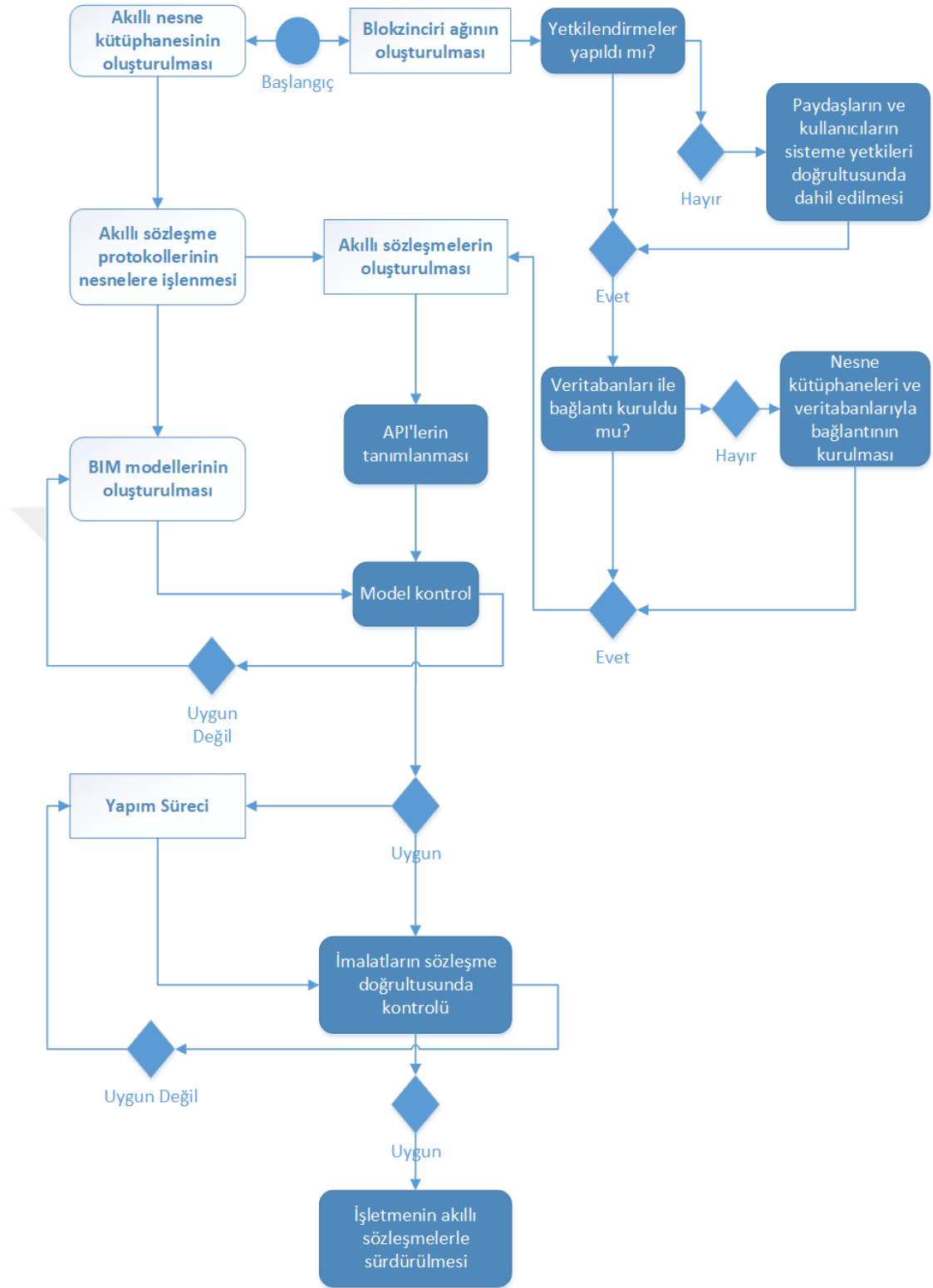
Şekil 4.11’de ki süreçte BIM modellerini oluşturan her bir nesne türüne özel bir akıllı sözleşme protokolü tanımlanmıştır. Yani modellenen her bir akıllı nesne, imalat türüne özel kontrolleri içeren akıllı sözleşme protokollerini içermektedir. İlgili imalatın iş programına göre yapım zamanı geldiğinde sözleşme imalat türüne özel protokolü çağırarak akıllı sözleşmeyi aktif hale getirmektedir. Akıllı sözleşme verileri doğrulamak için akıllı nesneden aldığı geometri, konum, zaman ve maliyet gibi veriler ile farklı veritabanından gelen sensör, GPS ve nokta bulutu gibi verileri kullanmaktadır. Sistem akıllı nesnelerden gelen verilerle sahadan gelen verileri karşılaştırarak doğrulanmış imalata esas gerekli ödemenin yapılması, imalat gerçekleşmediyse ceza koşullarının uygulanması veya bir sonraki imalatın tetiklenmesi gibi tanımlanmış olan süreçlerin otomatik çalışmasını esas almaktadır.

Bu akışta doğrulama için kullanılan ileri teknolojilerin yanı sıra geleneksel süreçlerdeki ispat yöntemleri de kullanılabilir. Yetkilendirilmiş ve yetkileri doğrulanmış kişiler tarafından imalatın ispatlanması da akıllı sözleşmeyi tetikleyebilmekte olup, kontrol formları, fotoğraflar ve dijital imzalar ispat niteliğinde hali hazırda kabul edilmektedir. Sistemin olgunlaşma sürecinde bu aşamadan geçmesi ön görülmektedir.

4.3.5 BIM, Blokzincir ve akıllı sözleşme entegrasyonu akış şeması

BIM, Blokzincir ve Akıllı Sözleşme entegrasyonunun iş akışı Şekil 4.12’de tanımlanmıştır. Süreç Blokzincir ağının oluşturulması ile başlamaktadır. Blokzincir ağının seçiminde farklı alternatifler olmakla beraber yukarıda anlatıldığı gibi HF bu sistem için uygun görülmüştür. Kapalı Blokzincir ağı olan HF’de paydaşların ve kullanıcıların tanımlanması ikinci aşama olarak belirtilmiştir. Sisteme dâhil olan kullanıcı ve paydaşların proje özelinde yetkilendirmeleri de bu aşamada yapılmaktadır. Yetkilendirmeden kasıt Blokzincir açısından mutabakat algoritmasının oluşturulmasıdır. Kurumların kim olduğundan bağımsız aynı tip sözleşmelerdeki gibi burada da yüklenici, işveren, altyüklenici, müşavir, mühendis, tedarikçi gibi tanımlarla ağın kurulması uygulanabilirlik açısından geniş kapsamda olacaktır. Akıllı sözleşmelere tanımlanan yetkilendirmeler ise bu tanımları baz alarak yapılan işleme göre özelleştirilmektedir.

Blokzincir ağına eş zamanlı olarak akıllı sözleşme protokollerini içerek akıllı nesne kütüphanelerinin de oluşturulması bu aşamada gerçekleştirilmelidir. Böylece her bir imalatın veya işin karşılığında tetiklenecek akıllı sözleşmeler proje başlamadan tanımlanmış olmaktadır. Örneğin bir çelik kolon imalatı için mutabakatın hangi yöntemlerle sağlanacağı, işlemin onayının hangi kurum ve pozisyon veya hangi teknoloji ile yapılabileceği gibi detayların akıllı sözleşmeye işlenmesi bu aşamada gerçekleşmektedir. Bu aşamada verilerin hangi veritabanlarından alınacağı da tanımlanmalıdır. Sistemin çalışması için temel veritabanlarının da Blokzincir ağının kurulum aşamasında tanımlanması gerekmektedir. Veritabanları ihtiyaca binaen sonradan tanımlanabilmektedir. Ancak akıllı nesnelerin ve BIM modellerinin dâhil edileceği veritabanları sisteme entegrasyonunu sağlayacak API’ler ile birlikte projenin başında oluşturulmalıdır.



Şekil 4.12 : BIM, akıllı sözleşme ve Blokzincir akış şeması.

Kurgunun devamında akıllı sözleşmeler aracılığı ile tasarım aşamasında BIM modellerinin oluşturulması ve kontrolünden başlayarak işletmeye kadar tüm işlemler Blokzincir ağında gerçekleştirilmektedir. Bu sayede proje yaşam döngüsü boyunca yapılan tüm işlemler zaman ve kişi damgalı olarak bloklara kayıt edilmektedir. Değiştirilemez, manipüle edilemez ve kayıt dışı hiçbir işlemin yapılamadığı bir döngü yaratılmaktadır. Sistemde insan ve/veya kodlama kaynaklı bir hata olması durumunda kayıt edilen bilgi silinememektedir. Ancak bu gibi durumlarda, ilgili blokta yapılan işlemin geçersiz olduğunun işlem için yetkilendirilmiş paydaşlarca kabul edilerek yerine yeni işlem tanımlanabilmektedir. Böyle bir durumda fikir birliği esas alınmakta olup, oy çokluğu durumunda uyuşmazlık kaçınılmaz olmaktadır. Kötü niyetli bir yaklaşımla blok değiştirmeye çalışan kullanıcı veya firmalar ağda kayıt altına alınarak belirli bir aşamadan sonra güvenilirmez kişi ilan edilerek sistemin güvenliği için ilave önlem alınabilmektedir. Kurgunun vaka bazında değerlendirilmesi bir sonraki bölümde kentsel raylı sistem projeleri özelinde yapılacak olup, bu bölüm entegrasyonun genel hatlarını çizme amacıyla hazırlanmıştır.

5. KENTSEL RAYLI SİSTEM PROJELERİ ÖZELİNDE BIM VE AKILLI SÖZLEŞME ENTEGRASYONU

Tez kapsamında 4. Bölümde BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu inşaat sektöründeki teorik ve pratik çalışmalar üzerinden incelenmiş, akıllı sözleşmelerle birlikte değerlendirilmesi gereken Blokzincirinin bu entegrasyondaki katkısı irdelenmiştir. Devamında ise BIM, Blokzincir ve akıllı sözleşmelerin inşaat sektöründe uygulanmasına yönelik iş akışları genel bir çerçevede kurgulanmıştır. Bu bölümde ise 4. Bölümde anlatılan genel çerçevenin kentsel raylı sistem projeleri özelinde uygulanmasına yönelik altyapı ve uygulama alanlarına yönelik iş akışları oluşturulmuştur. Bu kapsamda öncelikle kentsel raylı sistem projelerinin genel özelliklerinden, ülkemizde ve dünyada kentsel raylı sistem projelerinin öneminden ve kentsel raylı sistem projelerinde karşılaşılan zorluklar genel hatlarıyla açıklanmıştır. Bölümün devamında ise kentsel raylı sistem projelerindeki BIM uygulamalarından örnekler verilmiş ve akabinde BIM, akıllı sözleşme ve Blokzincirinin kentsel raylı sistem projelerinde uygulanmasına yönelik iş akışları oluşturulmuştur.

5.1 Kentsel Raylı Sistem Projelerinin Genel Özellikleri

19 yy.'ın sonlarında başlayan kentsel raylı sistem projelerinin gelişimi 20.yy'da hızla artarak günümüze kadar sürmüştür. 70'li yıllardaki enerji bunalımı ve 90'lı yıllardan itibaren oluşan çevre duyarlılığı kentsel raylı sistemlere olan yönelimi hızlandırmıştır. Kentsel raylı sistemlerde yaşanan bu gelişim sadece niceliksel olarak değil ayrıca niteliksel bir gelişimi de beraberinde getirmiştir. Bu gelişime bağlı olarak ihtiyaca göre çeşitlenen çeşitli kentsel raylı sistemler türleri kullanılmaya başlanmıştır [139].

Hızlı kentleşme, nüfus artışı ve kırsal alanlardan şehirlere yaşanan göçler kentlerin kapasitelerinin üzerinde nüfusa sahip olmasına neden olmuştur. Bu da yüksek yolcu kapasiteli raylı sistemlere yönelimi arttıran en önemli unsurlardandır. Kentsel raylı sistem projeleri arasında yüksek yatırım maliyetine ve yüksek yolcu kapasitesine sahip olan metrolar yüksek yapım maliyeti ve risklerine karşın nüfusu fazla olan şehirlerin

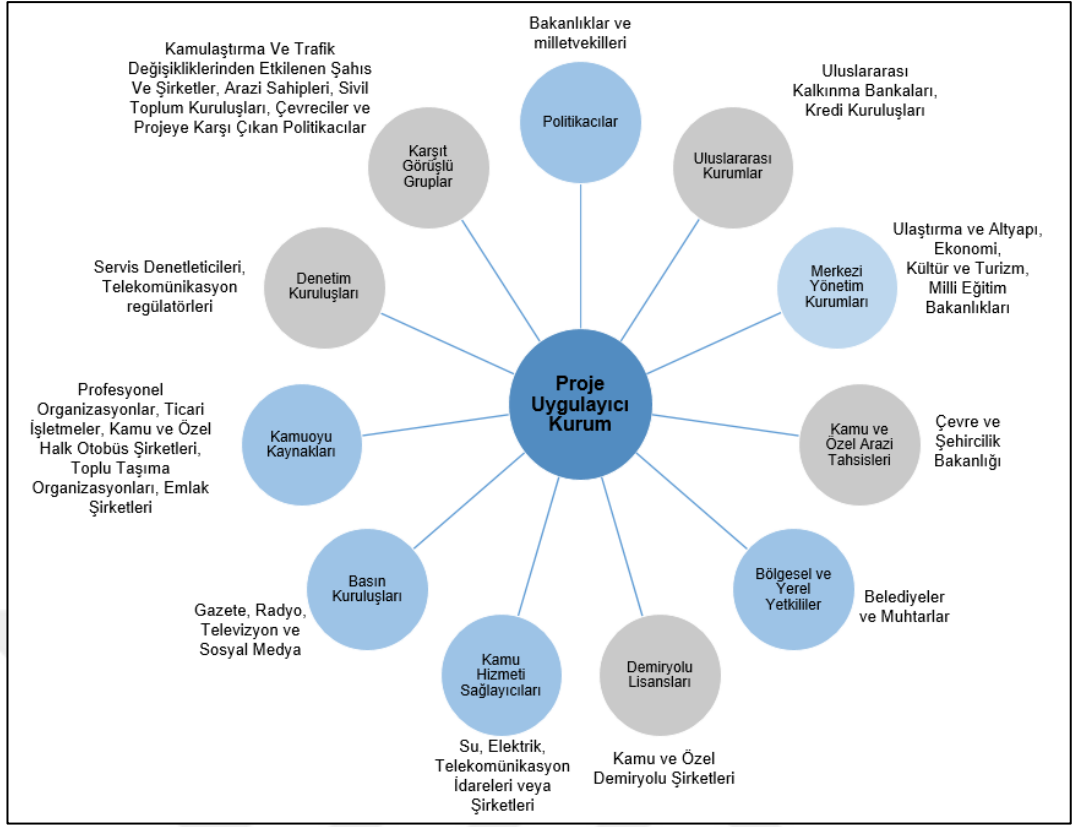
talebini karşılamakta öne çıkmaktadır. Dünyada birçok metropolde metro, kent içi ulaşım sorunlarına çözüm olarak tercih edilmektedir [140].

Kentsel raylı sistem projelerinin bir diğer önemli özelliği kamu yararına yapılan ve genellikle merkezi hükümetler veya yerel yönetimler tarafından yürütülen projeleridir. Yürütülen projeler yapım ve işletme süreci boyunca bölgede yaşayan insanları sosyal ve ekonomik olarak etkilemekte olup, güzergah boyunca kalıcı pozitif etkiler bırakmaktadır. Yapım aşamasında özellikle yoğun ve düzensiz kentleşmenin olduğu İstanbul gibi metropollerde problemler yaratmasına karşın, işletme aşamasında bölgenin gelişiminde pozitif etkileri olduğu görülmektedir. Özellikle trafikteki araçların azalması ile birlikte yolcu güvenliğinin artması, karbon emisyonundaki önemli azalış ve yolcuların trafikte harcadığı zamanda yaşanacak olan düşüş kamu için önemli pozitif etkilerdir. Bununla birlikte yapım ve işletme aşamasında yaratılacak istihdam ve ticari hareketlilik bölgesel kalkınmada büyük önem arz etmektedir [141].

Farklı sanayi kolları ile etkileşimde olan kentsel raylı sistem projeleri pazar hacmi açısından kritik bir noktadır. Metro araçları, sinyal sistemleri gibi alt sanayiye de etkileyen işler metro projelerinin pazar etkisini genişletmekte ve firmaların yatırım kararlarında belirleyici olmaktadır.

Projelerin önemli noktalarından biri kuşkusuz politik etkileridir. Politikacıların kentsel ulaşım projelerini propaganda konusu olarak kullanması siyasi etkilerini kanıtlamaktadır. Projelerde yaşanan gecikmeler veya maliyet artışları politikada etkili bir eleştiri kaynağı olarak kullanılmaktadır. İngiltere’de inşaatı devam eden Crossrail’de yaşanan gecikme ve maliyet aşımına parlamento üyelerinin gösterdiği tepki önemli bir örnek olarak gösterilebilir [142].

Kentsel raylı sistem projeleri Şekil 5.1’de de görüldüğü üzere birçok açıdan çeşitli kurum ve kuruluşlar ile kamunun doğrudan ve/veya dolaylı olarak etkilendiği etkileşimi yüksek projelerdir. Proje yöneticilerinin ihale sürecinden işletmeye kadar farklı aşamalarda ortaya çıkacak şahış veya kurumlarla iletişimi doğru yönetmesi gerekmektedir. Özellikle şehir içi şantiyeciliğinin yürütüldüğü projelerde bu durum çok daha zor ve karmaşık hale gelmektedir [139].



Şekil 5.1 : Kentsel raylı sistem projelerinin etkileşimde olduğu kurum ve kuruluşlar

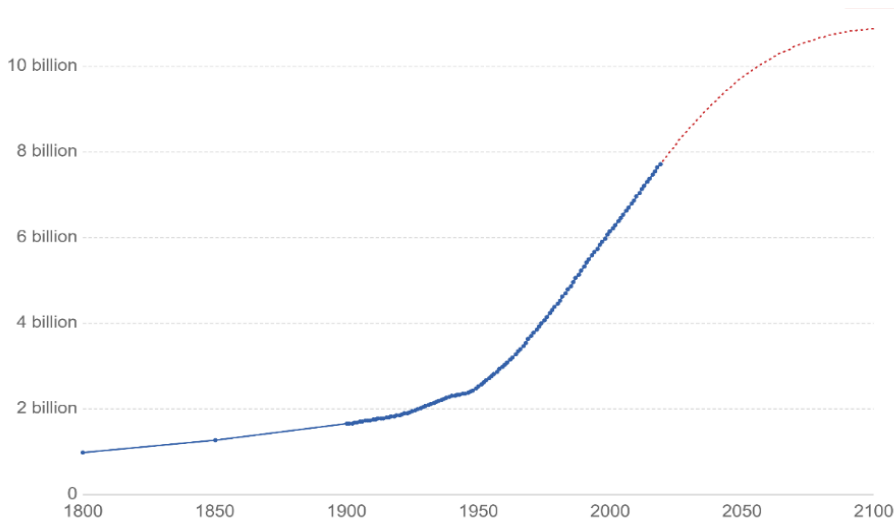
Karmaşık ilişkilere sahip kentsel raylı sistem projeleri bu özellikleri ile hataya karşı toleransı düşük projelerdir. Bu sebepten ötürü projenin iyi bir ön hazırlık aşamasından geçmesi gerekmektedir. Ön hazırlık aşaması sadece inşa faaliyetlerini kapsayan projelerin üretilmesi değil ayrıca kentlerde yaşayan insanların sosyal etkileşimine yönelik de hazırlıkların erken aşamada yapılması gerekmektedir. Henüz fizibilite aşamasında iken kamuoyu ile birlikte şeffaf bir sürecin yürütülmesi projenin yapım sürecinde bölgedeki kişilerin inşa süreci boyunca yaşayacağı sınırlamalara karşı toleransını arttırabilecektir. Ancak taahhüt edilen zamanda ve maliyette bitmeyen işlerin proje yönetici kuruluşa verdiği zararın yanı sıra kamuoyunda tepki oluşturabileceği göz önüne alınmalıdır. Ayrıca inşa süreci boyunca etkileşimde olunan binalar ve altyapı hatlarına verilecek zararlardan dolayı meydana gelebilecek güvenlik problemlerini engelleyecek şekilde detaylı tasarımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Kentsel raylı sistem tasarımları inşaatın getireceği olumsuz etkilerin tespit edip azaltmada, projenin çevre yapılarla etkileşimini azaltmada, kentlerin imar planlarının oluşturulmasında, yapım süreci boyunca alınabilecek olumsuz geri dönüşlerin azaltılma gibi çok yönlü unsurları içerisinde barındıran süreçler olarak değerlendirilmelidir.

Kentsel raylı sistem projelerini tüm bu açılardan değerlendirdiğimizde kurumsal bir yönetim anlayışıyla yönetilmesi gereken süreçleri içerisinde barındıran projeler olduğu söylenebilmektedir. İşin yapımını üstlenen kamu kuruluşu kentsel raylı sistem projelerini yönetebilecek ilkelere sahip gerekli yetkilerle donatılmış diğer kurumlarla iletişim için organizasyonel yapısını oluşturmuş özel bir birime ihtiyaç duymaktadır. Bu birim; ön tasarım ve teknik analizleri yapmak, proje yönetim planını, teknik şartnameleri, kalite düzeyini, güvenlik standartlarını, bütçeyi oluşturmak, sözleşme denetimini yapma, finans kaynakları yaratma, paydaşlar arası koordinasyonu sağlama, kamulaştırma ve arazi kullanım süreçlerini yürütme gibi özelliklere sahip siyasi etkilerden bağımsız kılınmış profesyonel kişilerden oluşmalıdır [139].

Karmaşık, çok paydaşlı, kendine has riskleri barındıran, çevresel etkileri yüksek ve sosyoekonomik etkilere sahip olan kentsel raylı sistem projelerinin genel özelliklerine bu bölümde kısaca değinilmiştir. Sonuç olarak yapım aşamasında kamuyu doğrudan etkileyen, işletme aşamasında ise kamu yararı amacı güden kentsel raylı sistem projelerinin doğru yönetilmesi kentin gelişmesi ve kentte yaşayan insanların refahı için büyük önem arz etmektedir. Bu durum çalışmanın kentsel raylı sistemler özeline indirgenmesinin ana sebeplerinin başında gelmektedir.

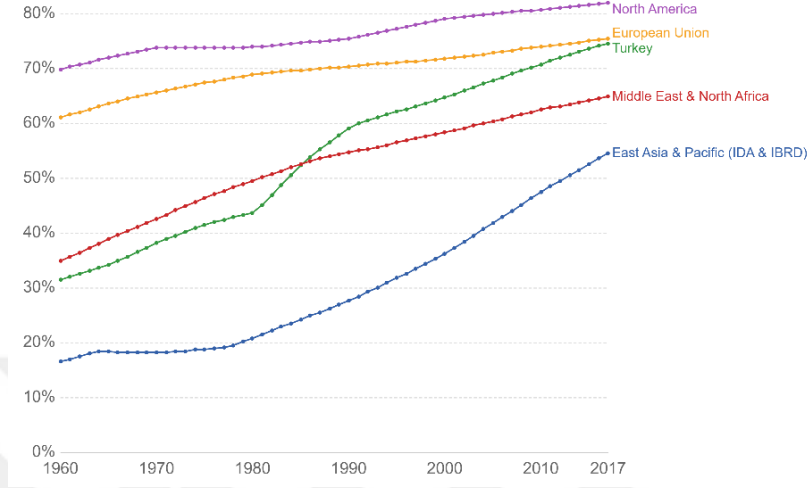
5.2 Dünyada ve Ülkemizde Kentsel Raylı Sistem Projelerinin Yeri ve Önemi

1800 yılında yaklaşık 1 milyar olan dünya nüfusu günümüzde 7 kat artarak 7 milyara kadar yükselmiştir. Şekil 5.2'ye baktığımızda 2100 yılına geldiğimizde ise nüfusun 11 milyara yaklaşması beklenmektedir [143].



Şekil 5.2 : Dünya nüfus artış eğrisi [143].

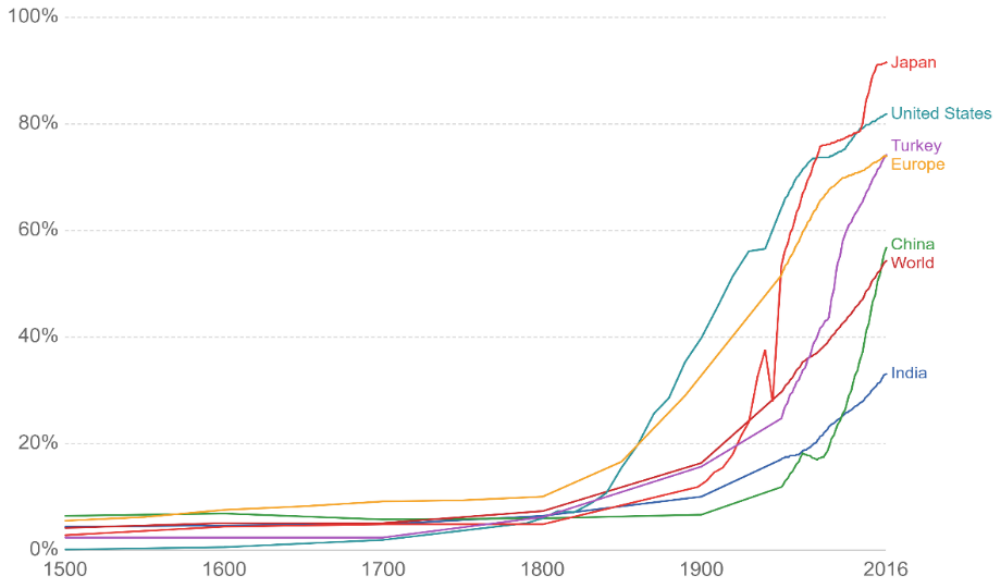
Nüfusun dağılımına baktığımızda 1960'lı yıllarda kentleşen gelişmiş ülkelerde kentlerde yaşayan insanların kırsala göre daha yoğun olduğu görülmektedir. Ancak Şekil 5.3'de de görüldüğü üzere gelişmekte olan ülkelerde bu oranın 1980'li yıllar itibariyle hızlı bir yükselişe geçtiği görülmektedir [144].



Şekil 5.3 : 1960-2017 yılları arası kentlerde yaşayan insanların toplam nüfusa oranı [144].

Günümüzde 4 milyardan fazla insanın kentlerde yaşadığı belirtilmektedir olup, Birleşmiş Milletlerin verilerine göre 2007 yılında ilk kez kentlerde yaşayan insan sayısı kırsal alanların önüne geçmiştir. Yükselen bu trendin getirdiği bir diğer çarpıcı sonuç 2050 yılına kadar dünya nüfusunun üçte ikisinden fazlasının kentlerde yaşayacağı beklentisidir [144].

Şekil 5.4 incelendiğinde kentlerde yaşayan nüfusun artışında en çarpıcı örnek, raylı sistemlerde en gelişmiş ülkelerden olan Japonya'da görülmüştür. 1945 yılında nüfusunun sadece %27'si kentlerde yaşayan Japonya'nın 2016 yılı itibariyle nüfusun %91'i kentlerde yaşamaya başlamıştır. Ülkemizde de kentlerde yaşayan insan sayısında yükselen bir eğilim söz konusudur. 1950 yılında nüfusun %25'i kentlerde yaşarken 2016 yılında bu oran %73'e yükselmiştir [144].



Şekil 5.4 : Kentsel alan nüfus yoğunluğunun yıllara göre değişimi [144].

Kentsel alanlarda yaşayan nüfusun artması ile birlikte kentsel ulaşım, ülkelerin çözmesi gereken önemli bir sorun haline dönüşmüştür. Bu sebeple ülkeler hızla kentsel ulaşım sorunlarına çözümler üretmeye çalışmış ve yüksek kapasiteli, çevreye zararı düşük kentsel raylı sistemlerden özellikle metro yatırımlarını arttırmıştır. 2017 yılı sonu itibariyle 56 ülkenin 178 şehrinde metro hattı bulunmakta olup, bu metrolarda günde ortalama 168 milyon yolcu taşınmaktadır [145].

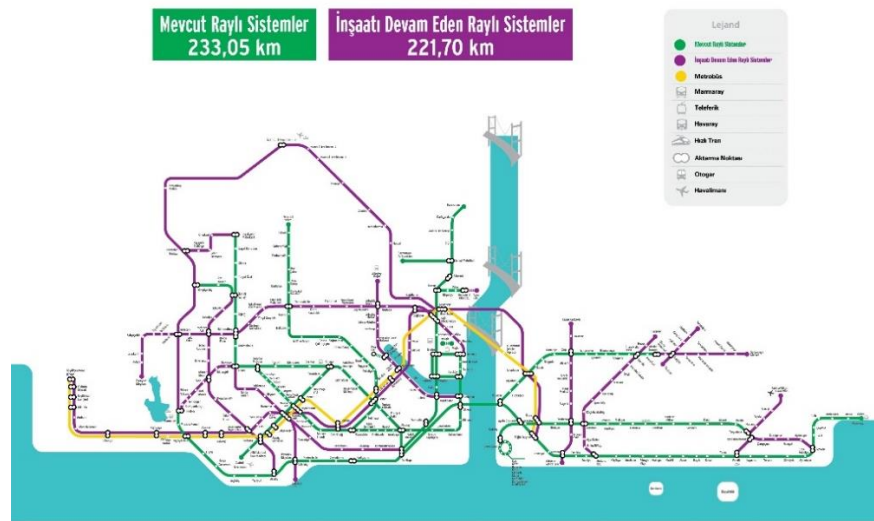
Metro hatlarının şehirlere göre dağılımına baktığımızda 639 km ile Şangay birinci sırada yer almaktadır. Şangayı 590 km ile Pekin takip etmekte olup, üçüncü sırada ise 466 km ile Seul yer almaktadır [145]. Kentlerde yaşayan nüfusun 1960'lardan sonra yükselen bir trend ile arttığı bu şehirlerin artan nüfusa paralel olarak metro yatırımlarını da arttırdığı net bir şekilde görülmektedir. Şehirleşmenin en hızlı arttığı Japonya'da da benzer bir durum görülmektedir. Tokyo 382 km'lik metro hattı ile Londra ve New York'un ardından 6. sırada yer almaktadır. Erken dönemde kentlerde yaşayan nüfusun arttığı Londra, New York gibi şehirler işletme altındaki metro hatlarıyla ön sıralarda yer almaktadır [145].

1970 yılından itibaren metro projelerinde yükselen bir eğilim olduğu görülmektedir. Özellikle Asya-Pasifik ülkelerinde 2000'li yıllardan itibaren yüksek bir ivmeyle metro yatırımlarının arttığı açıkça görülebilmektedir. İlk metro yatırımları ise ağırlıklı olarak Avrupa ve Kuzey Amerikada'dır [145]. Dünyada işletmeye alınan ilk metroya da sahip olan Londra Metrosu 1863 yılından bu yana metro işletmesine sahiptir. 1800'li yılların

ikinci yarısı ve 1900'lı yılların başında metro ağını hızla geliştiren Londra günümüzde 436 km'lik metro ağına sahiptir [146].

Ülkemizde ise kentsel raylı sistemlerin tarihi 1874 yılına dayanmaktadır. İstanbul'da Tünel ile Karaköy arasında hizmete alınan 574 metre uzunluğundaki hat dünyanın en eski kentsel raylı sistemleri arasındadır. İstanbul'da raylı sistemlerin ikinci örneği ise 1960'lı yıllarda kullanımdan kaldırılan tramvay hattıdır. İstanbul'da raylı sistem taşımacılığının ilk örneklerinden bir diğeri ise günümüzde Marmaray olarak adlandırılan banliyö hattıdır. Bu hat Marmara Denizi boyunca devam eden Avrupa Yakası'nda Sirkeci - Halkalı arasında Anadolu Yakası'nda ise Haydarpaşa – Gebze arasında işletilmektedir [147]. Banliyö hattı Marmaray boğaz geçişi ile birlikte Gebze'den Halkalı'ya kadar kesintisiz bir şekilde raylı sistem geçişine elverişli hale gelmiştir. 37 adet yüzey istasyon 3 adet ise yeraltı istasyonu ile 76,3 km'lik bir hat olan Marmaray Hattı TCDD tarafından işletilmektedir [148].

Benzer özellikteki metropoller ile kıyaslandığında İstanbul raylı sistem hatlarının gelişimi açısından çok geride kalmıştır. Şekil 5.5'de metro ağ haritası verilen İstanbul'da 20 yy'ın sonuna kadar kentsel raylı sistem gelişimine yönelik somut bir adım atılmamıştır. Şehrin ilk metrosu hafif raylı sistem tipinde Yenikapı – Atatürk Havalimanı – Kirazlı arasında 1989 yılında açılmıştır. 1992 yılında ise Bağcılar – Kabataş tramvay hattı işletmeye alınmış, bu hatların uzatılması dışında işletmeye alınan yeni bir raylı sistem hattı 2000 yılına kadar olmamıştır. 2000 yılında işletmeye açılan Taksim – Levent metrosu ile raylı sistemlerin kentsel ulaşımında ağırlığı artmaya başlamıştır [149].



Şekil 5.5 : 2019 yılı İstanbul metro ağı [149].

2000-2019 yılları arasında mevcut hatların iyileştirilmesi, uzatılması ve yeni hatların inşaatlarının tamamlanmasını içeren çalışmalar sürdürülmüştür. [150] Bu çalışmalar neticesinde İstanbul'da 2019 yılı itibariyle 15 kentsel raylı sistem hattı işletilmekte olup, toplamda 233 km'lik raylı sistem ağında günlük ortalama 2,3 milyon yolcu taşınmaktadır [150].

Diğer şehirlerimizde de İstanbul örneğine benzer şekilde yeterli gelişim sağlanamamıştır. Ülkemizin nüfus olarak ikinci büyük kenti olan Başkent Ankara'da ilk metro hattı 1997 yılında Batıkent – Kızılay arasında işletmeye açılmıştır. Devam eden süreçte de kentsel raylı sistem yatırımlarına gereken önem verilmemiş ve 2014 yılına kadar yeni bir metro hattı işletmeye alınmamıştır [151].

Nüfus açısından üçüncü büyük şehir olan İzmir'de ise ilk raylı sistem projesi 2000 yılında hizmete açılmıştır. Başlangıçta 10 istasyon ile işletmeye geçen İzmir Metro'su uzatma çalışmaları ile birlikte 2014 yılı itibariyle 17 istasyonla hizmet vermektedir. 2017 yılında işletmeye açılan Karşıyaka Tramvay hattı ve 2018 yılında işletmeye açılan Konak Tramvay hattı kentin sahip olduğu diğer kentsel raylı sistemlerdir. Banliyö olarak nitelendirebileceğimiz İZBAN kentin kuzey ve güney aksı boyunca devam etmektedir [152]. 4 milyonu aşkın nüfusuna karşın İzmir'de de kentsel raylı sistemlerin henüz yeterli seviyeye ulaşmadığı görülmektedir.

Ülkemizde 81 ilin sadece 11'inde raylı sistem hizmetinin bulunduğu göz önüne alındığında ülkemizin dünyadaki örneklerine göre yeterli olgunluğa erişemediği net bir şekilde görülmektedir [153]. Artan nüfus ile birlikte kentsel raylı sistem yatırımlarının diğer ülkeler gibi ülkemizde de artması beklenmektedir. Yüksek yatırım maliyetine karşın çevreci ve kapasitesi yüksek ulaşım olanağı sağlayan metro projelerinin ülkemizde yaygınlaşması ihtiyacı dünyadaki genel konjektür doğrultusunda değerlendirildiğinde açık bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Ancak bu ihtiyaçla birlikte kamuya yüklenen maliyetin doğru yönetilmesi gerekmektedir. Metro projelerinin inşaat ve işletme aşamalarında verimliliğin artırılması, yapım aşamasında harcanan zaman/maliyet ile işletme giderlerinin azalmasını, yatırım geri dönüşlerinin ise hızlanmasını sağlayacaktır. Spesifik riskleri ve zorlukları barındıran metro projelerinde verimliliğin artırılması için fizibilite aşamasından işletmeye kadar tüm süreçlerin geniş bir çerçevede ele alınması gerekliliğini beraberinde getirmektedir. Bir sonraki bölümde kentsel raylı sistem projelerinde karşılaşılan riskler ve zorluklar incelenecektir.

5.3 Kentsel Raylı Sistem Projelerinde Karşılaşılan Riskler

İnşaat projeleri birçok sürecin birleşiminden oluşan işe özgü farklı değişkenleri içerisinde barındıran, karmaşık ve geniş paydaş ilişkilerine sahip, dış etkenlere karşı hassas bir yapıdadır. İnşaat projelerinin bu yapısı karşılaşılan risklerin de proje özelinde değişmesine sebep olmaktadır. Pratikte risklerin proje özelinde değiştiği sık karşılaşılan bir durum olmakla beraber bazı risklerin tipleştiğine dair çalışmalar da mevcuttur. Projelerin özelleşmesi ile karşılaşılan risk faktörleri özelleşmeye paralel olarak tipleşmekte, risklerle karşılaşma oranları belirlenebilmekte ve risklerin sınıflandırılması yapılabilmektedir. Bu tip çalışmaların çizdiği çerçeve risklerin kök nedenlerini belirlemede karar vericilere ve araştırmacılara yardımcı olmaktadır. Özellikle artık kalıplaşmış anlayışla süren bazı süreçlerde yaşanacak değişimlerin riskleri büyük oranda azaltılabileceği günümüz teknoloji çağında mutlak suretle değerlendirilmelidir. Bu bölümün amacı kalıplaşmış ve sektör içerisine yerleşmiş risklerin kök nedenlerine yönelik bir çerçeve çizerek tez kapsamında önerilen yöntemin odak noktalarının belirlenmesine yardımcı olmaktır. Öncelikle inşaat projelerinde karşılaşılan tipik risklere değinilecek ve sonrasında bu risklerin kentsel raylı sistem projelerinde özelleştiği noktalar irdelenecektir.

İnşaat projelerinde karşılaşılan risklerin projeye olan etkisine göre sınıflandırılmasında beş konu başlığı belirleyen bir çalışmada; inşaat projelerinde karşılaşılan anahtar riskler tespit edilmiştir. Etkilerin sınıflandırılmasında kullanılan ana başlıklar; maliyet, zaman, kalite, çevresel ve güvenlik olarak belirlenmiş, alt başlıklar önem endeksi değerine göre sıralanmıştır. Başlıkların altında 51 risk tanımlanmış olup, bu risklerin önemli bir kısmı tüm risk sınıflarında görülmektedir. Yapılan araştırma neticesinde inşaat projelerini etkileyen 20 temel risk belirlenmiş olup, Çizelge 5.1’de tespit edilen riskler önem derecesine göre sıralanmıştır [154].

Çizelge 5.1 : İnşaat projelerini etkileyen temel riskler ve etkileri.

Risk	Risk Sınıfı				
	Maliyet	Zaman	Kalite	Çevresel	Güvenlik
Sıkışık proje takvimi					
Tasarım değişiklikleri	√	√	√		√
Kamunun onay prosedürleri	√	√		√	√
Yüksek performans/kalite beklentileri		√		√	√
Yetersiz iş programı	√	√	√	√	
Hatalı iş programı	√	√	√		√
İş programındaki değişiklikler		√	√		√
Alt yüklenicilerin yetersizliği			√	√	√
İşveren değişiklik talepleri	√	√		√	
Eksik onaylar, izinler ve belgeler	√				
Maliyet tahmininde yapılan hatalar	√		√		
Proje paydaşları arasındaki koordinasyon eksikliği			√		√
Yönetici veya uzmanların yetersizliği				√	√
Vasıflı iş gücü yetersizliği			√		√
Devlet bürokrasisi		√			
İş kazaları				√	√
Yetersiz veya hatalı saha verileri			√	√	
Uyuşmazlıklar	√				
Yapı malzemelerindeki fiyat enflasyonu	√				
İnşaat kaynaklı gürültü kirliliği				√	

Yapılan araştırmada risklerin proje yaşam döngüsündeki yerleri de irdelenmiş olup, risklerin büyük çoğunluğunun fizibilite ve tasarım aşamalarındaki eksik bilgilerden kaynaklandığı belirtilmiştir. Çalışmada fizibilite ve tasarım aşamalarındaki belirsizliklerin genel olarak yapım aşamasında ortaya çıkan sorunlara dönüştüğü vurgulanmıştır [154].

Bir diğer kaynakta ise inşaat projelerinde karşılaşılan tipik riskler aşağıda verildiği gibi listelenmiştir [155]:

- Tasarım ve yapımın zamanında tamamlanmaması
- Yasal izinlerin zamanında alınmaması
- Beklenmeyen zemin koşulları
- Hava koşullarına bağlı gecikmeler
- Yasal grevler
- İş gücü ve malzeme fiyatlarının olağandışı artması

- İşin tamamlanmasının akabinde kiracı veya işletmeci bulunamaması
- İş kazaları
- İşçilik kalitesinden doğan hatalar
- Sel, deprem gibi doğal afetler
- Tasarım değişikliklerinden kaynaklı kayıplar
- Bütçe aşırımları

İnşaat sektörünün karşı karşıya kaldığı tipik risklerin yanında spesifik işlerde ortaya çıkan riskler de bulunmaktadır. Özellikle belirsizliklerin fazla olduğu ulaşım altyapı projelerinde risklerin özelleştiği net bir şekilde görülmektedir. Ulaşım altyapı projelerinde karşılaşılan bu risklerin çoğu zaman paydaşlar arasında uyumsuzluklara sebep olmaktadır. Uyumsuzluk çözüm kurullarının incelendiği bir çalışmada irdelenen risk grupları ve riskler Çizelge 5.2’de verilmiştir [156].

Çizelge 5.2 : Ulaşım altyapı projelerinde karşılaşılan riskler.

Risk Tanımları	Alt Risk Grupları
Tasarım	İşveren tasarımı gecikmeleri, hatalı tasarımlar, tasarım onaylarında gecikmeler, tasarım değişiklikleri, eksik/hatalı zemin verileri
Saha	Kamulaştırma, saha teslimi gecikmeleri, altyapı deplasmanları, arkeolojik kazılar, zemin üstü binaların durumu, mevcut trafik ve geçici trafik yönetimi, iş güvenliği, saha koşullarına dair eksik bilgi
İnşaat	Zemin koşulları, zemin suyu, malzeme ekipman ve işgücü tedariki, hafriyat taşıma ve boşaltım alanı, hava koşulları, iş değişiklikleri, üçüncü kişiler ile interfazlar, işverenin işi hızlandırma talepleri
Finansal	Fiyat artışları, enflasyon, müteahhit ödemelerinde gecikmeler ve kesintiler
İzinler ve Onaylar	Yerel idare izin ve onaylarında gecikmeler, ilgili kamu kurumu izin ve onaylarında gecikmeler, izin ve onay süreçlerinin zorluğu, uzman eksikliği
Sözleşme	Sözleşme ve eklerindeki muallak tanımlar, sözleşme ve eklerinin taraflarca farklı yorumlanması, işverenin aşırı talepleri

Araştırmada öne çıkan risk faktörleri politik kaygılarla işverenin işi hızlandırma talepleri, kamulaştırma, üçüncü tarafların izin ve onayları, yükleniciye yapılan ödemelerde düzensizlikler, iş değişikliği talimatları, altyapı deplasmanları ve eksik - /hatalı zemin verileri olmuştur [156].

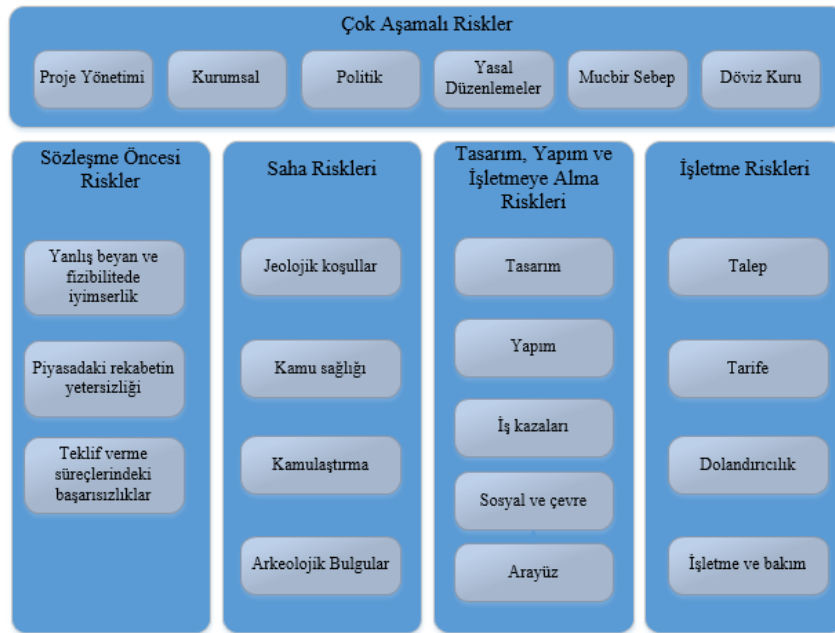
Yukarıda tanımlanan risklerin büyük çoğunluğu kentsel raylı sistem projelerinde de yüz yüze gelinen risklerdir. Kentsel raylı sistem projeleri diğer ulaştırma altyapı projelerine ilave olarak mega projelerin doğası gereği ortaya çıkan bazı riskleri de

içerisinde barındırmaktadır. Bu risklerden doğan risklerin seviyelerini etkileyebilecek temel özellikler Çizelge 5.3’de verilmiştir [139].

Çizelge 5.3 : Kentsel raylı sistem projelerinde karşılaşılan risklerin sınıflandırılması.

Risk Sınıflandırması	Açıklama
Boyut ve Kapsam	Milyarlarca dolarlık yatırımları gerektiren büyük projeler için gerekli fonun sağlanmasında ve siyasi mutabakatın sağlanmasında yaşanan zorluklar
Süre	Uzun vadeli projelerde siyasi etkiler ve fon sağlamada karşılaşılan zorluklar, uzun inşaat sürelerinden kaynaklı maliyet değişkenliği
Arayüzler	Projeden etkilenen halk ile koordinasyon, altyüklenici sayısının fazlalığı ve bunların yönetimi, altyapı, çevre yapılarla etkileşim
Teknoloji	Bir projenin şirket içi veya ülke içi uzmanlık ve deneyimlerinin sınırlı olabileceği eski sistemlerle genişletilmesi sırasında yeni teknolojilerin kullanımını içerebilir veya eski teknolojilerin uyarlanması ya da geliştirilmesini gerektirebilir
Finansman	Büyük maliyetler ve maliyet geri dönüşünün sınırlı olması, sabit gideler ve sınırlı fon kaynakları
Pazar	Nitelikli yüklenicilerin sınırlı olması
Tedarik Yönetimi	Tedarik sürecinin karmaşıklığı
Yönetim	Karar vericilerin niteliksizliği

Proje süresi uzun ve maliyeti yüksek olan kentsel raylı sistem projeleri, yapım süresi kısa ve maliyeti daha az olan inşaat projelerine göre daha fazla riski içerisinde barındırmaktadır. Kentsel raylı sistem projelerinde karşılaşılabilecek riskleri proje aşamasına göre sınıflandırarak incelendiğinde beş farklı risk kategorisi belirtilmektedir. Şekil 5.6’da bu risk sınıfları alt başlıkları ile birlikte verilmiştir [139].



Şekil 5.6 : Kentsel raylı sistem projelerinde risk faktörleri [139].

Şekil 5.6'da da görüleceği üzere kentsel raylı sistem projelerinin farklı aşamalarında çeşitli riskler ortaya çıkabilmektedir. Risklerin bir kısmı inşaat projelerinin tipik riskleriyle ortak olmasına karşın risklere detaylı baktığımızda tipik risklerde dahi kentsel raylı sistem özelinde belirgin farklılıklar olduğu görülmektedir. Bu farklılıklar yukarıda da belirtildiği üzere proje büyüklüğünden de gelebilmekle birlikte şehir içi şantiyeciliğinin getirdiği koşullardan da doğmaktadır. Şehir içi şantiyeciliği kentsel raylı sistem projeleri için üzerinde durulması gereken en önemli risk kaynaklarının başında gelmektedir. Özellikle yer altı metro inşaatlarında yapım sırasında karşı karşıya gelinen risklerin üçüncü şahıslara maddi ve manevi zararlı etkileri olabileceği göz ardı edilmemelidir. İnşa faaliyetleri yüzünden deplase edilen trafik güzergahları bölgede yaşayan insanların konforunu büyük oranda etkilemekle beraber kazı çevresinde bulunan işletmelerde de ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Ayrıca derin kazı uygulamaları ve tünel açma çalışmaları sırasında çevre yapılarla etkileşim içerisinde olunması göçüğe sebebiyet verebileceği gibi etkileşimde olduğu binaların hasar görmesinden doğan riskleri de beraberinde getirmektedir. Geçici kazı destek sistemiyle duran ve kalıcı kaplamalarına geçilmeyen tünellerde oluşabilecek deformasyonlar iş sağlığı ve güvenliği açısından dönüşü zor sonuçlar doğurabilmektedir. Bu durum İstanbul gibi dağınık, düzensiz ve kaçak yapılaşması olan büyükşehirlerde çok daha önemli bir risk haline gelmektedir. Bir diğer önemli konu ise kazı faaliyetleri sırasında deplase edilmesi gereken altyapı tesisleridir. Üçüncü tarafların yetersiz proje paylaşımı veya altyapılar tam olarak belirlenmeden yapılan kontrolsüz kazılarda bölgede bulunan altyapılara zarar verilebilmektedir. Altyapılara verilen zararlar kazı stabilitesini de olumsuz etkileyebilmekte, iş sağlığı ve güvenliği açısından önemli riskleri doğurabilmektedir. Yer altı metro projeleri özelinde karakteristik bir risk olarak belirtebileceğimiz bir diğer konu ise tünel açma çalışmaları sırasında zemin belirsizliklerden gelen risklerdir. Hat boyunca yapılan sondajların yetersiz olması ve/veya öngörülmesi zor zemin bazı spesifik zemin şartlarıyla karşılaşılması önemli bir risk faktörü olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kentsel raylı sistem projelerinin çok disiplinli yapısından doğan riskler de önemli risk faktörleri arasındandır. Elektromekanik sistemlerin karmaşıklığı ve sınırlı alanlarda çözülmeye çalışılması disiplinler arası koordinasyon problemlerini de beraberinde getirmektedir. Tanımlanan risklerin genel etkisi zaman, maliyet, kalite ve iş sağlığı ve güvenliği ile ilgilidir. Tüm bu risklerin işverene etkisi düşünüldüğünde riskin

sorumluluğunu kim alırsa alsın oluşabilecek tüm problemler işverene kamu yararına yapılan iş ile ilgili kamuya hesap verme yükümlülüğü yüklemektedir. Net bir şekilde görülmektedir ki riski kim üstlenirse üstlensin, doğrudan veya dolaylı olarak tüm paydaşlara etkisi yansımaktadır. Yukarıda belirttiğimiz üzere inşaat projelerinde karşılaşılan risklerin paydaşlar arasında doğru paylaşılması riskin belirlenmesi kadar önemli bir süreçtir. Sözleşme kurulurken risklerin doğru belirlenmesi ve yönetilmesi gerekmektedir. Aksi durumda paydaşlar arasında uyuşmazlıklar kaçınılmaz olmakta ve netice olarak projenin akıbeti derinden sarsılabilmektedir. Sözleşme kurulmadan önce proje hakkında bazı soruların sorulması karşılaşılabilecek risklerin efektif dağıtılmasını sağlamakla beraber yüklenici firmanın seçiminde daha şeffaf bir anlayış sağlayacaktır.

İnşaat sektöründe risk analizi yapılırken aşağıda verilen sorular sorulmalıdır [157]:

- Riskin oluşumuna neden olan olayları en iyi şekilde hangi taraf kontrol edebilir?
- Risk ortaya çıktığında hangi taraf riski kontrol edebilir?
- İşverenin risk kontrolünü paylaşmak istemesinin sonuçları ne olur?
- Taraflardan hangisi kontrolü dışında bir riski üstlenmeye daha yatkın?
- Riskin transferi için ödeme makul ve kabul edilebilir mi?
- Riski üstlenen taraf riskin gerçekleşmesinin sonuçlarını üstlenebilir mi?

Bu sorulardan da anlaşılacağı üzere risk esasında proje paydaşlarının niteliğinin belirlenmesinde de önemlidir. Sadece yüklenicinin değil işverenin de riskleri yönetebilecek yeteneğinin olması ve yetenekleri oranında riskin paylaştırılması gerekmektedir. Özellikle riskin gerçekleşmesini önlemek, gerçekleşme olasılığını azaltmak ve sonuçların hafifletilmesi noktasında risk dağılımının doğru yapılması gerekmektedir [157].

Risklerin önlenmesi noktasında bir diğer önemli konu geçmiş deneyimlerdir. Kişi hafızası odaklı giden bu deneyimler usta çırak ilişkisi gibi aktarılmakta veya yapılan akademik araştırmalarla ortaya çıkarılmaktadır. Bu noktada deneyimlerin kurum hafızasına dönüştürülmesi riskleri doğru yönetmede karar vericilere destek olacaktır. Yeni nesil araçlar yardımıyla toplanan verilerin veritabanlarında tutulması ve bu

verilerin çok yönlü analizi yapılan işlerde riskleri azaltacak iyileştirmeler yapılmasını sağlayacaktır.

5.4 Kentsel Raylı Sistem Projeleri Özelinde BIM ve Akıllı Sözleşme Entegrasyonu

Bu bölümde kentsel raylı sistem projelerinin ihale aşamasından başlayarak işletme aşamasına kadar BIM ve akıllı sözleşmelerle yürütülmesine yönelik süreçler tanımlanmıştır. Tanımlanan süreçlerin dayandığı temeller BIM Level 3'ün dayandığı temel anlayışlarla paraleldir. Şeffaflık, hesap verilebilirlik ve izlenebilirlik ile süreçlerin beşeri müdahaleden arınarak algoritmalarla otomatik bir şekilde yürütülmesi çalışmanın ana hedefidir.

Süreçlerin oluşturulmasında, kentsel raylı sistem projelerinin spesifik özellikleri göz önüne alınmış ve 4. Bölümde anlatılan genel entegrasyon şeması ana çerçeveyi oluşturmuştur. Bu süreçler kamu kurumu tarafından yürütülen bir akışı tanımlamakta olup, artan nüfus ile birlikte git gide ihtiyacı artan ve karşılaşılan riskler açısından en kritik kentsel raylı sistem tipi olarak değerlendirebileceğimiz metro projeleri baz alınmıştır. Bölüm 5.2'de de belirtildiği üzere metro yatırımlarının hızlı yükselişi tüm dünyada net bir şekilde görülmektedir. Kamu kurumlarının aynı anda benzer nitelikteki metro yapım işlerini yürütmekte ve yapım işleri uzun yıllar boyunca devam etmektedir. Bölüm 3.1.5.2'de anlatılan tedarik zinciri yönetimi uygulamasına benzer şekilde metro projeleri de tekrar eden benzer değişkenlere sahip süreçleri içerisinde barındırmaktadır. Tüm bu etkenler göz önüne alınarak süreçler belirli başlıklar altında toplanmış ve her bir süreç için iş akış modeli tanımlanmıştır. Süreçler Bölüm 2.4.1'de açıklanan Türk Hukukunda Sözleşme Kavramı ve Bölüm 2.4.2'de açıklanan İnşaat Sözleşmelerinin Hukuki Niteliği ışığında oluşturulmuştur. Örnek süreçlerin seçilmesinde pratikte karşılaşılan sorunlar ve Bölüm 5.3'te açıklanan kentsel raylı sistem projelerinde karşılaşılan riskler göz önüne alınmıştır.

Tanımlanan süreçte yönetiminde akıllı sözleşme protokollerinin kullanıldığı bir şehir bulunmaktadır. Tanımlanmış bu protokoller şehrin her noktasından gelen canlı veriler ile şehrin dijital ikizini oluşturan BIM modellerini kullanarak, önceden kodlanmış kurallara göre şehir yönetiminde görev alan merkezi olmayan otonom bir kuruluşu oluşturmaktadır. Şehrin karar verici unsurları arasında yer alan bu kuruluş, Blokzincir

ağında bulunan, farklı veri kaynaklarından alınmış veriler doğrultusunda ulaşım problemini tespit ederek alternatif çözümleri değerlendirmektedir.

Şehirde yaşayanların alınan kararlarda aktif rol oynadığı bu sistem içerisinde tüm talep, öneri ve şikâyetlerde otonom kuruluşun kararını etkileyen veriler arasında yer almaktadır. Böylece sadece yönetim yetkisi verilen kişi veya kişiler tarafından alınan kararlara göre yönetilen sistemin yerine, şehrin tüm paydaşlarının aktif rol oynadığı katılımcı, şeffaf bir sistem ile şehir yönetilmektedir. Tüm bu karmaşık veri ağı içerisinde Bölüm 5.4.1’de açıklanan sürece göre değerlendirmesini yapan otonom kuruluş kentsel raylı sistem ihtiyacını belirlemekte ve fizibilite çalışmasını yapmaktadır. Tasarım sürecinde de aktif rol oynayan otonom kuruluş Bölüm 5.4.2’de açıklanan süreç dahilinde BIM modelleri, akıllı nesne kütüphanesi ve geçmiş deneyimlerden elde edilen kazanımlardan yararlanarak ihale projelerini en uygun formda hazırlamaktadır. Bölüm 5.4.3’de açıklanan akışta ise otonom kuruluş ihale sürecini yönetmekte ve istekli firmaları tüm yönleriyle şeffaf ve adaletli bir şekilde değerlendirerek güvenilir bir sonuca varmaktadır. Otonom kuruluş işi yürütecek firmayı seçtiği gibi işin yapım sürecini yürütecek teknik personelleri Bölüm 5.4.4’de tarif edilen sürece göre değerlendirerek liyakatin sağlanmasına destek olmaktadır.

Projenin yapım aşamasında otonom kuruluş farklı süreçlerde sisteme dahil olmaktadır. Tez kapsamında bu süreçlere örnekler verilmiş olup, bu örneklerin çeşitlendirilmesi mümkündür. Bu çalışma içerisinde Bölüm 5.4.5’de malzeme onayları, Bölüm 5.4.6’da tedarik süreçleri, Bölüm 5.4.7’de TBM imalatları ve kazı destek sistemi imalatları ve son olarak Bölüm 5.4.8’de çevre yapı deplasmanlarının izlenmesinde BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu ile otonom kuruluş tarafından yürütülecek yapım süreçleri tariflenmiştir.

Otonom kuruluş tariflenen protokoller doğrultusunda kentsel raylı sistem projesinin tüm yaşan döngüsünü yöneterek, karşılabilecek riskleri en aza indirmekte ve yürüttüğü tüm bu süreçlerde biriktirdiği verilerle ise sistemin sürekli iyileştirilmesini sağlamaktadır.

Bu bölümde tanımlanan süreçlerin eksiksiz uygulanabilirliğinin belirli koşullarda mümkün olabileceği, ülke stratejilerinin ve mevzuatın bu anlayışa evrilmesine ihtiyaç duyulduğu önemle vurgulanmalıdır. Bölüm 2 ve Bölüm 3’de de anlatıldığı üzere günümüzde birçok ülkenin şeffaflık ilkesini ön plana çıkararak Blokszincir stratejilerini

yayınlanması, devlet kaynaklarını kötüye kullanımdan ve bürokrasiden kaynaklı zararları engelleme çabası içerisinde olması ve BIM ile inşaat sektöründe dijital dönüşümü sağlamaya yönelik çalışmalar yapması bu evrimin hızlı bir şekilde gerçekleşeceğinin kanıtı olarak gösterilebilir.

Tanımlanan tüm süreçler yukarıda anlatılan bakış açısı ile oluşturulmuş olup, karar verici otoritelere çözüm, bu alanda çalışma yapmak isteyen akademisyenlere kaynak ve verimliliğini arttırmak isteyen kamu veya özel kurumlara yol haritası olma amacındadır. Her bir başlık kendi içerisinde çok disiplinli bir araştırmaya ihtiyaç duymakta olup, tezin kapsamı sadece ana hatları teorik olarak çizmektir.

Kentsel raylı sistem projelerinde yaşanan temel sorunlara çözüm önerileri sunularak dijital çağın getirdiği yöntemlerle geleneksel anlayışta verimsizleşen sistemlerin iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Tanımlanan süreçlerin teknolojik altyapısının gelişme aşamasında olduğu kabul edilmekle birlikte çalışmanın amacı teorik bir yaklaşımla bu gelişim sürecine odaklanmaktır.

5.4.1 Fizibilite raporlarının hazırlanmasında BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu

Kentsel ulaşım projelerinin yaşam döngüsü fizibilite aşamasıyla başlamaktadır. Özellikle yatırım maliyeti yüksek metro projelerinin fizibilite çalışmalarının kamu kaynaklarının doğru yönetilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Karar vericilere ve kredi kuruluşlarına yatırımları değerlendirirken fizibilite raporları yardımcı olmaktadır [158]. Fizibilite raporlarının doğruluğu projelerin kaynak bulmasında yardımcı olabileceği gibi uzun vadeli finansal hesaplar ve şehrin doğru planlanmasında da kritik bir noktadır.

Süreç tanımına geçmeden önce fizibilite raporlarında bulunması gereken önemli parametreler irdelenmiştir. Raylı sistem projelerinde fizibilite raporlarının değerlendirilmesine yönelik yapılan 2018 yılında Türkiye’de yapılan bir çalışmada fizibilite raporlarında bulunması gereken başlıklar aşağıda listelenmiştir [158]:

- Bölgesel şartların tanımı
- Hedeflerin tanımı
- Projenin detaylı tanımı
- Teknik fizibilite

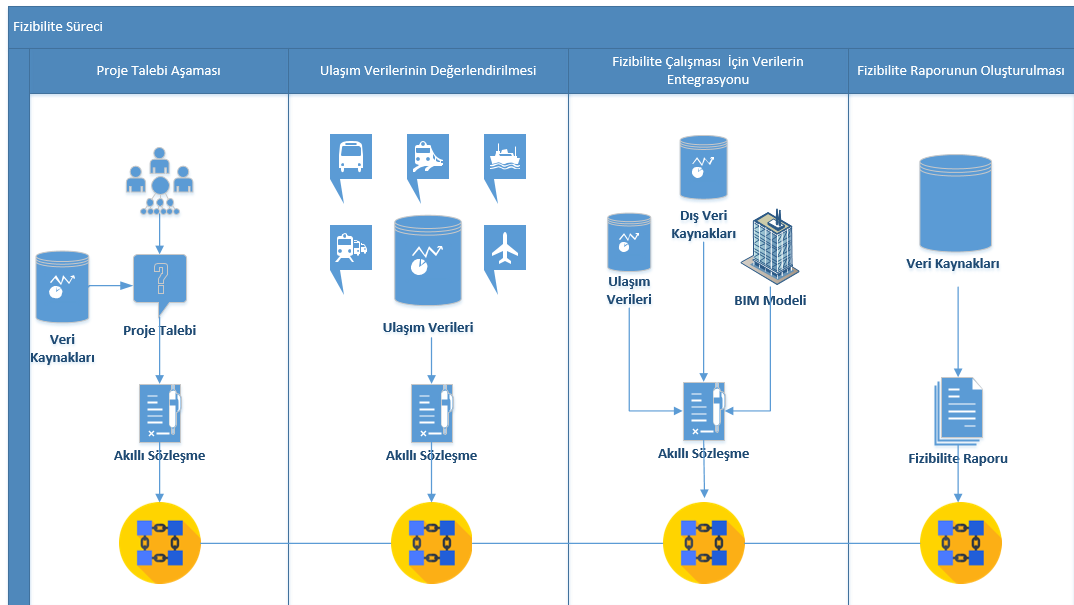
- Talep tahminleri

Bu başlıklar altında toplanan veriler üzerinden projenin mali ve ekonomik fizibilitesi yapılmaktadır [158]. Verilerin doğru ve gerçekçi bir şekilde toplanmış olması raporun hedefine ulaşması açısından önemlidir. Metro projelerinde yapım maliyetlerini etkileyen etkenlerin çeşitliliği ve jeolojik yapı gibi belirsizlikler fizibilite raporlarının doğru sonuca ulaşmasını zorlaştıran etmenlerin başında gelmektedir. Yapım kadar işletme maliyetleri de fizibilite raporlarını etkileyen unsurların başında gelmektedir. İşletme firmasından doğru verilerin alınması ve özellikle enerji analizlerinin gerçekçi veriler üzerinden değerlendirmeye tabi tutulması kiritik konulara örnek olarak verilebilir. Bunlarla birlikte ekonomik fizibilite çalışmalarını yaparken kullanılan yolculuk zaman değerleri, araç kullanım maliyetleri, kaza maliyetleri, çevresel dışsallık gibi parametreler göz önünde bulundurulmaktadır [158].

Raylı sistem projelerinin fizibilite raporlarını genel anlamda bakıldığında istatistiksel veriler odaklı hazırlanan çalışmalar olduğu görülmektedir. Verilerin gerçekçiliği raporların doğruluğunu arttıran en önemli unsur olarak görülebilir. Günümüzde hızla artan akıllı şehir altyapısına yönelik yatırımlar göz önüne alındığında gerçek zamanlı verilerden yararlanılarak fizibilite raporlarının oluşturulmasının mümkün olduğu açıkça görülmektedir [159]. Toplanan verilerin Blokzincir ağına entegre edilerek akıllı sözleşmelerle rapor sonuçlarının değerlendirilmesine katkı sağlanması bu bölümde çizilen ana çerçevedir. BIM modelleri ise bu süreçte yapım maliyetinin doğru hesaplanmasında ve işletme aşamasındaki enerji analizlerinin daha gerçekçi sonuçlar üzerinden yapılmasında yardımcı olacaktır.

Şekil 5.7’de verilen sürecin başlangıç noktası talebin veritabanlarından alınan bilgiler, kentte yaşayan insanların talepleri ve karar vericilerin araştırma talepleri doğrultusunda değerlendirilmesidir. Burada talep farklı koşullarda meydana gelmektedir. İlk aşama kentte yaşayan insanların yönetime aktif katılım ilkesi ışığında ulaşım problemlerinin karar verici organlara iletilmesidir. Akıllı sözleşmeyi tetikleyen ikinci unsur karar vericilerin bölgeye yatırım yapılması konusunda karar almasıdır. Bir diğer tetikleyici ise bölgeden gelen verilerdir. Bu verilerin akıllı şehir altyapısına sahip Blokzincir ağından saklanan veriler olduğu bir şehirde; trafik yoğunluk verileri, GPS veri kaynaklarından alınan zamansal hareketlilik verileri, bölgesel nüfus verileri, trafik kaza istatistikleri gibi projenin fizibil olmasında rol oynayan veriler akıllı sözleşme tarafından değerlendirilerek otomatik olarak talebi ortaya çıkarabilmektedir. Bu aşama

neticesinde talep meydana gelmekte ve Blokzincir ağında kayıt altına alınmaktadır. Talep bir sonraki aşamada blokzincir ağında tutulan diğer ulaşım verileri doğrultusunda ikinci bir değerlendirmeye tutulmaktadır. A noktasından B noktasına giden bir hat boyunca diğer toplu taşıma sistemlerinin kullanım durumu, bölgedeki trafik verileri, güzergâhın içinde bulunan cazibe merkezlerine ulaşım istatistikleri, kaza istatistikleri gibi ulaştırma verileri daha detaylı analiz yapan bir akıllı sözleşme tarafından tekrar değerlendirme altına alınmak ve sonuçta fizibilite çalışması yapılmasına karar verilen hattın istasyonların olası yerleri bu aşamada ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.7 : Fizibilite raporlarının hazırlanmasında BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu.

Üçüncü aşamada ise fizibilite raporunun içeriğini oluşturacak olan veriler dış veri kaynaklarıyla da bağlantı kurularak oluşturulmaktadır. Akıllı sözleşme içerisinde yer alan algoritmalar aracılığı ile finansman ve ekonomik analizler yapılmakta olup, analizlere esas verilerin güvenilir veritabanlarından alındığı kayıt altına alınmaktadır. Trafik hacim tahmini gibi kiritik verilerin analizinde fizibilite raporunu oluşturan kurumun kendi iç verileriyle bağımsız kuruluşların hazırladığı dış verilerin karşılaştırılması ve bu kapsamda değerlendirmelerin yapılması gibi güvenilirliği arttıracak süreçler sisteme dâhil edilmektedir.

BIM modelleri bu aşamada benzer nitelikteki projelerin sahip olduğu verilerin akıllı sözleşme tarafından değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Örneğin yapım

maliyetleri çıkartılmış, enerji analizleri tamamlanmış benzer nitelikteki işlerden alınan BIM modelleri sayesinde yapım ve işletme verilerinde daha gerçekçi sonuçlara ulaşılabileceğine inanılmaktadır. Karar vericilerin BIM modeliyle gerçekleştirenlerin kıyaslandığı verilere sahip olması fizibilite raporunun doğruluğuna katkı sağlayacaktır.

Son aşamada ise fizibilite raporu hazırlanmakta ve Blokszincir ağında manipüle edilemeyecek şekilde tüm gelişim süreciyle birlikte kayıt altına alınmaktadır. Tamamen şeffaf yürütülmesi önerilen bu akış sayesinde projenin fizibilite çalışmasının daha doğru yapılmasının yanı sıra, kamuoyu desteğinin artacağı, ihale süreçlerine ve kredi kuruluşlarının değerlendirmelerine katkı sağlanması beklenmektedir.

5.4.2 Tasarım aşamasında BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu

Raylı sistem projeleri doğası gereği farklı disiplinlerin bir arada çalışması gereken projelerdir. Özellikle metro projelerinde bu durum çok daha belirgin hale gelmektedir. Elektromekanik ekipmanlar açısından yoğun olan metro istasyonlarında pratikte çoğu zaman çakışma problemleri meydana gelmektedir. Bununla birlikte tasarım kaynaklı değişiklik talepleri taraflar arasında uyuşmazlıklara yol açmakta ve bu uyuşmazlıklar zaman ve maliyet kayıplarına sebep olabilmektedir. Bir diğer kritik durum ise projelerin ulusal ve uluslararası normlara uygunluğunun denetiminde yaşanan problemlerdir. Kesin sınırlarla belirli olan şartlar olmasına karşın eksik veya hatalı veriler veya insan odaklı hatalar yüzünden tasarım hataları projenin ilerleyen aşamalarından ortaya çıkmaktadır.

Tasarım hataları ihale aşamasından başlayarak yapım ve işletme aşamasına kadar proje yaşam döngüsü boyunca karşılaşılabilecek sorunlara sebep olabilmektedir. BIM modelleri bu aşamada tasarım sürecinin doğru yürütülmesi açısından kritik önem arz etmektedir. BIM modelleri; çakışma analizleriyle çakışmaların sahaya yansımadan çözülmesi, tüm paydaşların dahil olduğu şeffaf bir şekilde yürütülen koordinasyon süreci, tasarım alternatiflerinin teknik ve mali analizlerinin gerçekçi ve geleneksel sürece göre daha kolay bir şekilde yapılabilmesi, kritik kararların alınmasında görsel açıdan zengin 3D modellerden yararlanılması, mevcut altyapılar ve binalarla etkileşimin belirlenmesi gibi Bölüm 2’de detaylıca açıklanan bir çok faydayı beraberinde getirmektedir. Fakat tüm bu faydalara rağmen pratikte tasarımda insan

odaklı hatalar ve paydaşlar arasında yaşanan uyuşmazlıkların çözülmesinde sorunların bir kısmının devam ettiği görülmektedir.

Kentsel raylı sistem projeleri yatırımları artan nüfusla birlikte hızla arttığı ve aynı anda birden çok projenin tasarımın veya yapımının sürdürüldüğü görülmektedir. Bu projeler arasında farklılıklar olmakla birlikte işin niteliği gereği benzer süreçleri ve imalatları içerisinde barındırmaktadır. Tasarımda ve yapımda karşılaşılan problemlerin ve yapılan hataların doğru analizi her yeni projede kümülatif şekilde artan bilgi birikiminin doğal sonucu olarak tasarımın ve imalatın iyileşmesini sağlayacaktır. Tasarım süreçlerinde bu birikimin kullanılması yapım sürecinde karşılaşılan birçok riski engellenmesine yardımcı olacak ve kamu kaynaklarıyla, kamu yararına yapılan kentsel raylı sistem projelerinin gelişimine yardımcı olacaktır. Bu bölümde tanımlanan süreçte pratikte karşılaşılan süre gelen sorunlara çözüm önerileri sunulmakta ve kentsel raylı sistem projeleri tasarımlarının iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

Bölüm 4.3.5'te de belirtildiği üzere BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonunun başlangıç noktası içerisine akıllı sözleşme protokolleri tanımlanmış akıllı nesne kütüphanesinin kurulmasıdır. Kütüphanenin kurulmasında ilk olarak yapım ve işletme aşamasında görevli uygulayıcılar ile ortak yapılan çalışmaya göre yapım ve işletme aşamalarında kullanılan malzeme ve ekipmanlar tespit edilmektedir. Kentsel raylı sistem projesinin işvereni konumundaki kuruma özel nesne kütüphanesinin içeriğinin belirlenmesinden sonra her bir malzeme ve ekipman türüne göre özelleştirilmiş kodlama sistemi oluşturulmaktadır. Kodlama sistemi yapımdan işletmeye kadar proje yaşam döngüsü boyunca kullanılacak nitelikte olmalıdır. Bu sebeple kodlama sisteminin hazırlanmasında yapım sürecinde deneyimli kişilerin yanı sıra kentsel raylı sistem işletmesi deneyimi olan kişilerin katılması gerekmektedir.

Kurgulanan süreçte yapının dijital ikizi niteliğinde olacak olan akıllı nesneler, proje aşamasına göre farklı detay seviyelerinde kütüphane içerisinde yer almaktadır. İhale aşamasında birim fiyat tarifi verileri, teknik şartname koşulları gibi ihale aşamasını ilgilendiren verileri içerisinde barındıracak şekilde yaklaşık boyutlara göre modellenen akıllı nesneler, yapım aşamasında seçilen marka, model veya malzemeye göre detaylandırılmış verileri içerisinde barındıran, bire bir ölçüde kütüphanede yer almaktadır.

Yapım aşamasında kullanılacak akıllı nesneler ve malzemeler teknik özellikleri ile birlikte üretici firmalar tarafından oluşturulması beklenmekte olup, kurgulanan süreçte işverenin yürüttüğü projelerde kullanılacak tüm malzeme ve ekipmanların akıllı nesne kütüphanesinde yer alması şartı aranmaktadır. Akıllı nesne kütüphanesinin oluşturulmasından sonra her bir akıllı nesne içerisine sözleşme ve teknik şartname şartlarına koşullarına göre hazırlanmış, kurumun yer aldığı ülkenin ulusal kanun ve yönetmeliklerin getirdiği gereklilikleri karşılayacak şekilde hazırlanan akıllı sözleşme protokolleri tanımlanmaktadır.

Tasarım aşamasında BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu ihale eki modellerinin hazırlanması ile başlamaktadır. Bu modellerin hazırlanmasında kütüphanede ihale eki detay seviyesinde bulunan akıllı nesneler kullanılmaktadır. Modellerin hazırlanmasında öncelikle raylı sistemin etkileşimde olacağı çevre yapılara ait veriler ile altyapı verileri güncel olarak ilgili kurumların veritabanlarından gelmektedir. İstasyon yerlerinin ve çıkış noktalarının belirlenmesinde etkileşim içerisinde olunan çevre yapılar ve kent mobilyalarının yanında imar planları, cazibe merkezleri, bölgesel nüfus verileri, trafik verileri, kayıtlı araç sayıları, toplu taşıma kullanım verileri, GPS verileri, zemin verileri gibi önemli parametreler kurumların veritabanlarından güncel haliyle alınmaktadır. Böylece bürokrasi ve eksik iletişim kaynaklı veri kayıpları engellenerek tasarımın başlangıç noktası olan istasyon yeri konumlandırılması hataya veya kötü niyetli yaklaşımlara maal vermeden yapılabilmektedir. Akıllı sözleşme, yapay zeka algoritmalarının tetiklenmesini sağlayarak tüm bu veriler doğrultusunda istasyon ve çıkış yapılarının yerlerinin doğru seçilmesinde karar vericilere yardımcı olacaktır. İstasyon tasarımı için teknik kararların alınmasında da benzer süreç izlenmekte olup, disiplinler arası koordinasyonun sağlanması amacıyla farklı disiplinlerin etkileşimde olduğu tüm tasarım kararlarının onayları önceden yetkilendirilmiş kişiler tarafından Blokzincir ağı üzerinde yapılmakta ve mutabakat sağlanamayan tasarımlar onaylanmamaktadır.

Tüm tasarım sürecinin genel prensini ihale eki modellerinin tasarımında olduğu gibi devam etmektedir. Farklı paydaşların tasarıma dahil olması gerektiği durumlarda da tasarım değişiklik talepleri gibi paydaşlar arasında yapılan tüm işlemler Blokzincir ağına kayıt altına alınarak ilerleyen aşamada yaşanacak uyuşmazlıklara karşı kanıt niteliğinde saklanmaktadır. Tüm kayıtların dağıtık defter yapısı içerisinde tüm paydaşlarda yer alması kayıtların manipüle edilmesini engellemekte ve verilerin şeffaf

bir şekilde tüm paydaşlara dağıtılması ile veri güvenliği endişelerinin önüne geçilmektedir.

Proje yaşam döngüsü boyunca canlı kalan modeller üzerinde yapılacak her revizyonun nesne bazında yetkilendirilmesi akıllı sözleşmeler ile sağlanmaktadır. Yetki karmaşası, model sahipliği gibi sorunlar bu sayede çözülmekte, model verilerinin dağıtık defter yapısında tutulması ile ise BIM modeli tüm paydaşların veritabanında saklanan, kurumların değil projenin sahip olduğu modeller haline gelmektedir.

5.4.3 İhale sürecinde BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu

İhale, Türk Dil Kurum'u tarafından iş mal vb.ni birçok istekli arasından en uygun şartlarla kabul edene verme, eksiltme ve arttırma olarak tanımlanmaktadır [84]. Kamu İhale Kanunu'nda ise ihale; Bu Kanunda yazılı usul ve şartlarla mal veya hizmet alımları ile yapım işlerinin istekliler arasından seçilecek birisi üzerine bırakıldığını gösteren ve ihale yetkilisinin onayını müteakip sözleşmenin imzalanması ile tamamlanan işlemler olarak tanımlanmaktadır [160].

Yapılacak bir işin ve alımın doğru bir şekilde sürdürülmesi ihale sürecinin doğru yürütülmesine doğrudan bağlıdır. İhale aşamasında yapılan küçük hatalar bile uzun vadede projenin akıbetini etkileyen önemli sonuçlar doğurabilmektedir. İhale süreçlerinin kötü niyetli veya hatalı yönetilmesi kamuda büyük maddi zararlara yol açabilmektedir. Kentsel raylı sistem projelerinde bu zararlar kurumların ekonomik bunalımlara girmesine ve hatta politik düzeni bile etkileyebilecek geniş bir etki zincirine sebep olmaktadır.

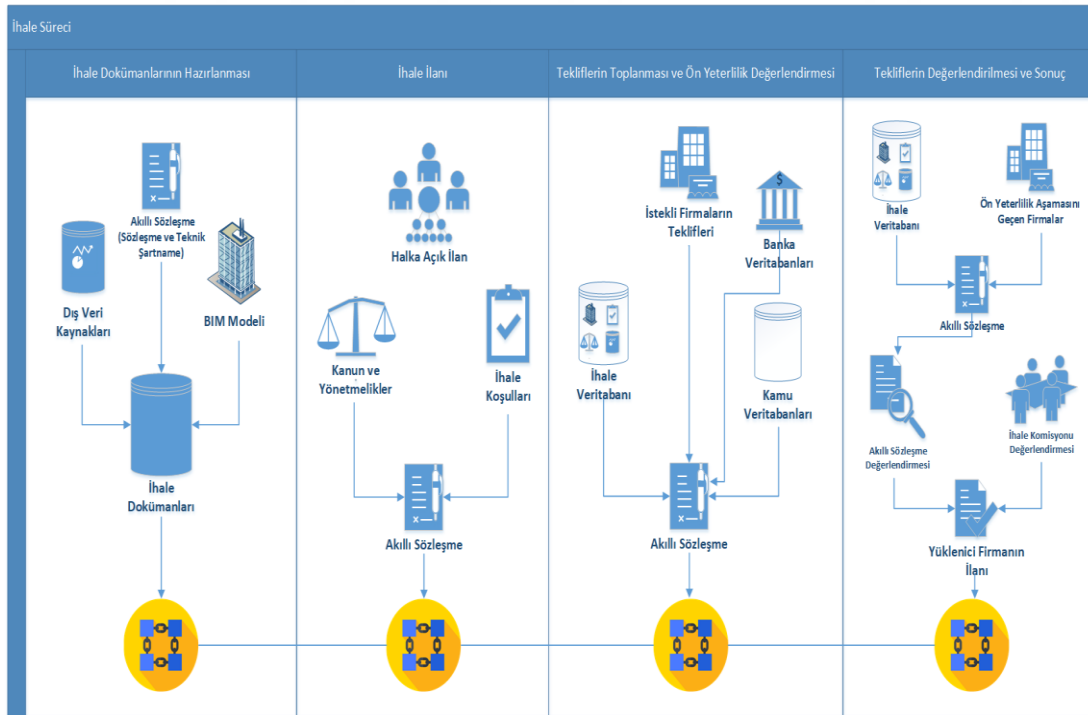
İhalelerin bedellerinin hatalı hesaplanması, ihaleye girecek firmalara yeterli hazırlık zamanının verilmemesi, ihale eki projelerinin eksik veya hatalı olması gibi etmenler ihale süreçlerini olumsuz etkilemekte, ihaleleri hataya açık hale getirmektedir. Bir diğer önemli husus ise ihale konusu olan işi yapımına talip olan firmaların ve personellerinin yeterlik belgelerinin çokluğu ve denetimsiz ortamda elde edilmesinden kaynaklı güvenilirliğinin tartışılmasıdır [161].

OECD'nin raporunda, OECD ülkelerinde kamu alımları GSYİH'nin yaklaşık %15'ini oluşturmakta olup, OECD ülkesi olmayan birçok ülkede bu rakam çok daha yüksek olduğu söylenmektedir [162]. Kamu tarafından yürütülen ihalelerin ülke ekonomilerindeki payı göz önüne alındığında süreçlerin doğru yürütülmesinin kamu işlerinde çok daha kritik hale geldiği açıkça görülmektedir. Ülkemizde kamu ihale

süreçleri 4734 sayılı Kamu İhale Kanunu ile düzenlenmekte olup, kanunun temel ilkeleri; idarelerin saydamlığı, rekabeti, eşit muameleyi, güvenilirliği, gizliliği, kamuoyu denetimini, ihtiyaçların uygun şartlarla ve zamanında karşılanmasını ve kaynakların verimli kullanılması olarak belirtilmektedir. Kanunda açıkça belirtilen ilkelere rağmen kamu ihale sisteminin uygulanmasında ülkemizde birçok problemle karşı karşıya kalındığı belirtilmektedir [161].

Kamu ihale kurul kararları baz alınarak yapılan bir araştırmaya göre uyumsuzluk kararlarının yoğunlaştığı noktalar; bütün tekliflerin reddi ve ihalenin iptali kararlarının hukuki gerekçelere dayandırılmadan iptal edilmesi, yaklaşık maliyetlerin hesaplanması yönünde yapılan hatalar, en düşük teklif kavramının yetersizliği, ihale dokümanlarının yetersizliği, tekliflerin gerçekçi olmaması, ihaleye katılımda yeterlik belgelerinin güvenilirliği, bürokratik yoğunluk, açık ve anlaşılır olmayan kanun ve yönetmelikler, kişiye özel imtiyazlar ve rekabet koşullarının adaletsizliği olarak belirtilmiştir [161].

Bu bölümde ihale süreçlerinin iyileştirilmesi amacıyla, yukarıda anlatılanlar ışığında kamu tarafından yürütülen kentsel raylı sistem projeleri için BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonuna dayalı Şekil 5.8’de verilen süreç tanımlanmıştır.



Şekil 5.8 : İhale sürecinde BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu akış şeması.

Süreç ihale dokümanlarının hazırlanmasıyla başlamaktadır. Öncelikle sözleşme şartları ve ihlal durumunda öngörülen yaptırımlar akıllı sözleşmeye kodlanmaktadır. Kodlamanın tavissiz, kesin ve net bir şekilde yapılması bu aşamada dikkat edilecek en önemli noktadır. Kodlamanın bu kurallara uygun yapılması sözleşme maddelerindeki belirsizlikleri engelleyeceği gibi, taraflar arasında sözleşmedeki belirsizliklerden doğan uyuşmazlıkların da engellenmesini sağlayacaktır. Kentsel raylı sistem projelerini yürüten kamu kuruluşlarının benzer tipte sözleşmeler ile ihaleye çıktığı göz önüne alındığında, akıllı sözleşme altyapısında oluşturulan sözleşmelerin ihaleye çıkılan tüm hatlar için ana hatlarıyla ortak olacağı söylenebilir. Sözleşmenin standartlaşmış yapıda olması sayesinde işveren ve yüklenici risklerinin azalacağı da vurgulanabilecek bir diğer noktadır.

Tekliflerin doğru yapılmasında ihale eki projeler büyük önem arz etmektedir. Bu süreçte ihaleye esas projeler BIM modelleri ile oluşturulmakta ve BIM modellerinin içerisinde yer alan akıllı nesnelere akıllı sözleşme protokolleri tanımlanmaktadır. Bu protokoller teknik şartname maddelerine göre hazırlanmakta olup, ihale aşamasından yapıma kadar her bir akıllı nesnenin akıllı sözleşmelerle kontrolünün sağlanması görevini üstlenmektedir. İhale aşamasında bu protokoller maliyet ve risk analizlerinde paydaşlara yardımcı olacağı gibi bu analizlerin yapılmasında otomatikleşmenin önünü açacaktır. İhale dokümanlarına dahil olan dış veri kaynağı veritabanı ise ihale dosyasının hazırlanmasında ihtiyaç duyulan çeşitli verilerin sisteme entegre olmasını sağlamaktadır. Kullanılabilir veritabanları geçmiş sondaj verileri, hattın etkileşimde olduğu yapılar, malzeme ve ekipmanların piyasa değerleri, işin yapıldığı ülkenin sosyoekonomik durumunu gösteren raporlar, benzer işlerin kayıt altına alınmış veriler olabilecek olup, bu veriler sayesinde yapılacak işin zaman/maliyet analizlerinin çok daha gerçekçi olması sağlanacaktır.

Bir sonraki aşama ihale ilanının yapılmasıdır. Bu aşamada ihale sürecinin ve ihale özel koşullarının yerel kanun ve yönetmeliklere uygun olmasının denetlenmesinde akıllı sözleşmelerden yararlanılmaktadır. İhale sürecinin yönetiminin usulüne uygun yapılmasının akıllı sözleşmelerle yürütülmesi sayesinde ihalelere yönelik itirazların azaltılması hedeflenmektedir. Bununla birlikte şeffaflık ilkesi altında sürecin kamuya açık yürütülmesi sayesinde projelere kamuoyu desteği sağlanması beklenmektedir.

İhalelerde karşılaşılan en yaygın sorunlardan biri de ihaleye katılan firmaların yeterli belgelerinin güvenilirliği ve bu belgelerin yeterli denetime tabi tutulmamasıdır.[160]

Ön yeterliğin güvenilir veritabanlarından alınan bilgiler ışığında akıllı sözleşmeler tarafından yürütülmesi ile bu aşamanın güvenilirliğini arttırılması ve bürokratik süreçlerin azaltılması hedeflenmektedir. Aday firmalardan istenen belgelerin kamu veritabanlarından belirli kurallar doğrultusunda otomatik bir şekilde alınması sayesinde aday firmalar ve ihaleyi yapan kuruluşlar fazla bürokrasiden kurtulmakla birlikte, belgelerin doğruluğunun teyidi konusunda yaşanan şüpheler de azaltılmaktadır. Aday firmaların benzer iş deneyimlerinin sadece iş bitirme belgeleri ile kontrolü tartışmaya açık bir konudur. Firmaların benzer işlerdeki performansının belirli kriterler altında manipüle edilemeyecek şekilde denetlenmesi projenin doğru yönetilmesine katkı sağlayacaktır. Aday firmaların mali yeterliğinin denetiminin ön yeterlik aşamasında yapılması ve bu denetimin banka veritabanlarından alınan bilgiler ışığında yapılması da proje açısından pozitif sonuçlar doğuracaktır. Vurgulanması gereken bir diğer nokta projenin BIM ile hazırlanması sayesinde detay seviyesinin artması ve buna bağlı olarak spesifik işlerin net bir şekilde belirlenebilmesi yeni yeterlik koşullarını da beraberinde getirecektir. Yeni oluşabilecek yeterlik koşullarının akıllı sözleşmeyi tetiklemesinde BIM modelleri içerisinde tanımlı protokoller kullanılabilir.

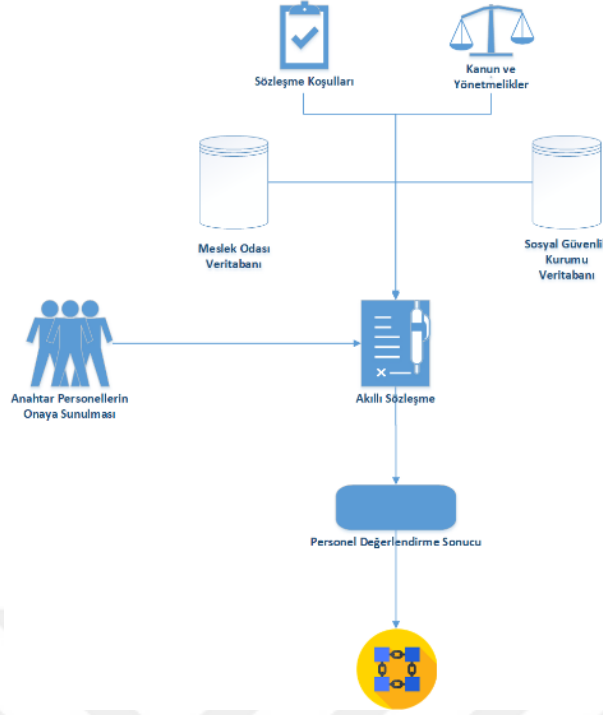
İhale sonuçlarının belirlenmesinde akıllı sözleşme karar vericilere destek amaçlı kullanılabilir gibi ihale komisyonunda oy hakkına sahip bir katılımcı da olabilecek hatta tek başına karar merci ile olabilmektedir. Yüklenici firmanın en düşük fiyat endeksli seçimi yerine BIM modelleri sayesinde daha gerçekçi bir şekilde hesaplanabilen yaklaşık maliyetlere göre seçiminin yapılması ileride yaşanabilecek hak taleplerinin önüne geçecektir. Ayrıca firmaların farklı veritabanlarından erişilen bilgiler ışığında algoritmalar tarafından değerlendirilmesi ihale süreçlerinin daha doğru, adaletli ve güvenilir şekilde yürütülmesini sağlamakla birlikte tüm aşamaların Blozincir ağında yürütülmesi ihale süreci boyunca gerçekleşen tüm adımların manipülasyonu engellenecek, şeffaf bir ihale süreci yaşanacaktır.

5.4.4 Personel mesleki yeterliklerinin akıllı sözleşmeler ile değerlendirilmesi

İnşaat projelerinde firmaların yeterlikleri kadar işi yürüten teknik personellerin yeterlikleri de kritik öneme sahiptir. Teknik personellerin sağlaması gereken koşullar ile birlikte net bir şekilde sözleşmede tariflenmesi gerekmekte ve bu koşullara uygun kişilerin çalıştırılması gerekmektedir. Aksi durumda proje personelinin

yetersizliğinden kaynaklı riskler ile taraflar karşı karşıya kalmaktadır.[139] Kentsel raylı sistem projeleri göz önüne alındığında özellikle metro projelerinde teknik personellerin alanında özelleşmiş, tecrübe ve mesleki birikime sahip kişiler olmasının önemi artmaktadır. Bu tip projelerde alınan kararların gerekli altyapıya sahip kişiler tarafından alınmaması sadece projeyi değil aynı zamanda projenin etkileşimde olduğu üçüncü kişi veya kurumlara da negatif etkiler yaratmaktadır. Özellikle tünel açma, istasyon yapılarının derin kazı uygulamaları gibi kaza riskinin fazla olduğu işlerde mesleki sorumluluk ve bilgiye sahip olmayan kişilerce alınan kararların can ve mal kaybına sebebiyet verebildiği pratikte ne yazık ki karşılaşılan bir durumdur. Bununla birlikte metro projelerinin 100 yıllık tasarım ömrüne sahip olması da alınan bazı kararların etkisinin uzun vadede ortaya çıkabileceği önemle altı çizilmelidir. Bu koşullar altında karar verici pozisyonda olan teknik personellerin seçiminde dikkat edilmesi gereken temel kuralların doğru bir şekilde belirlenmesi ve denetiminin de manipüle edilemeyecek şekilde yapılmasının öneminin artmaktadır.

Ülkemizde kamu tarafından yürütülen işlerde Yüklenicinin işi yürütecek teknik personelin yeterliliği ile ilgili işverenden onay alması Yapım İşleri Genel Şartnamesi Madde 19 uyarınca zorunlu olup, ilgili madde de verilen sürenin aşılması durumunda sözleşmede öngörülen ceza maddelerinin uygulanacağı belirtilmiştir. Teknik personel sunumunda diploma, meslek odası kayıt belgesi ve noterden alınan taahhütname bulunması aynı madde uyarınca yüklenicinin yükümlülüğü altındadır. İdare ise ilgili personellerin kabul edilip edilmediği belirli bir süre zarfında yükleniciye bildirmek zorundadır. [163] Ancak pratikte bu personellerin seçiminde yeterli özenin gösterilmediği ve/veya yeterli denetim yapılmaksızın mesleki yeterlilik dışında koşullar doğrultusunda teknik personellerin tercih edildiği görülmekle birlikte, istenen belgelerin yeterliliği ve güvenilirliği de tartışmaya açık bir konudur.



Şekil 5.9 : Personel mesleki yeterliklerinin akıllı sözleşmeler ile değerlendirilmesi.

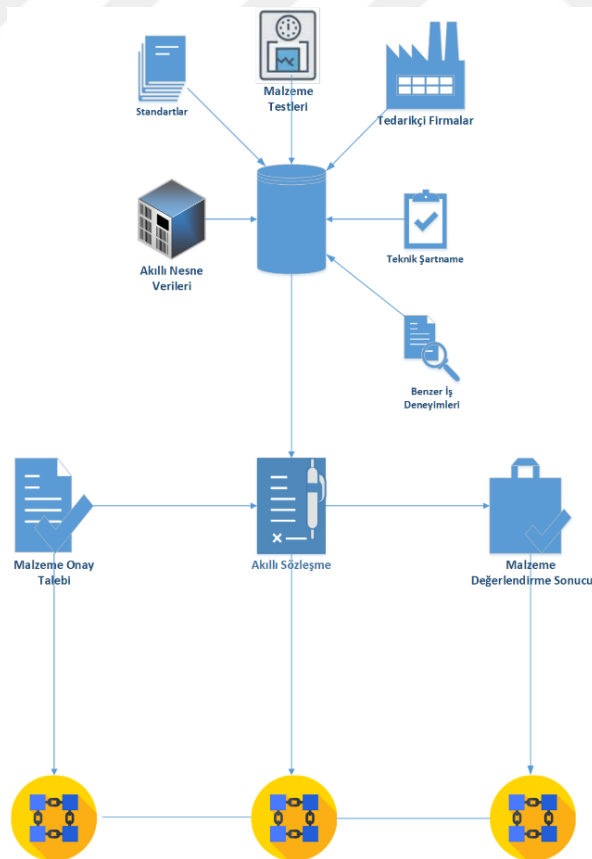
Şekil 5.9’da sözleşme koşullarına göre iş yerinde bulundurulması gereken personellerin farklı veritabanlarından alınan bilgiler doğrultusunda akıllı sözleşme tarafından değerlendirilerek Blokzincir ağında kayıt altına alınması süreci gösterilmiştir. Tarif edilen bu süreçte personelin işveren onayına sunulmasının akabinde akıllı sözleşme tetiklenmekte ve personelin sözleşme koşullarına göre değerlendirmesini yapmaktadır. Akıllı sözleşme, sözleşme koşulları ve kanun ve yönetmeliklere göre oluşturulmakta olup, sözleşmede belirlenen spesifik özelliklerin kontrolü için veritabanlarına bağlanmaktadır. Meslek odası veritabanından personelin diploması, işi yapma ehliyeti ve benzer iş deneyimleri sorgulanmakta olup, sosyal güvenlik kurumu verileri ile bu bilgiler doğrulanmaktadır. Akıllı sözleşme, sözleşme koşullarına göre arttırılabilecek olan veritabanları doğrultusunda personeli değerlendirerek değerlendirme sonucunun Blokzincir ağında kayıt altına alınmasını sağlamaktadır. Bu sayede, personel onaylarında bürokrasi azaltılmakta, personelin değerlendirilmesinde gerekli olan şartların denetimi güvenilir veritabanlarından gelen bilgiler doğrultusunda yürütülmekte ve süreç değiştirilemez şekilde kayıt altına alınmaktadır.

5.4.5 Malzeme onaylarında BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu

İnşaat sahasında kullanılan her türlü malzeme standartlarda ve teknik şartnamelerde belirtilen koşullara göre denetlenmek zorundadır. Yapım İşleri Genel Şartnamesi Madde 15 2. Bendi, *“Yüklenici kullanacağı her türlü malzemeyi yapı denetim görevlisine gösterip iş için elverişli olduğunu kabul ettirmeden iş başına getiremez.”* kullanılacak malzemeler için onay şartı getirmektedir. Kentsel raylı sistem projelerinde kullanılan binlerce malzeme için bu süreç her projede tekrar edilmektedir. Benzer zamanda başlayan ve aynı kamu kuruluşu tarafından yürütülen projelerde dahi malzeme denetim çalışmalarında yüklenicilerin farklı olmasından kaynaklı malzeme onayları tamamen bağımsız gidebilmektedir. Bir diğer önemli husus ise malzeme denetimleri için yapılan geziler, bu gezilerin kamuya yüklediği maddi yük ve uzun bürokrasi süreçleridir. Zorunlu istisnai durumlar haricinde de kötü niyetli yaklaşımlarla bu gezilerin yapıldığı pratikte rastlanılan ve kamu kaynaklarının israf edildiği süreçlerdir. Denetim süreçleri tartışmaya açık ve kötü niyetli yaklaşımlara karşı korunmayan süreçlerdir. Özellikle malzeme deneylerini yapan aletlerin kalibrasyonu gibi önemli ayrıntıların kontrolü yapılmadan onay verilen malzemelerin ilerleyen aşamalarda problemlerle sebebiyet verebilmektedir. Bu tip problemlerin önüne geçmek adına denetimler güvenilir ve sertifikalandırılmış laboratuvarlar aracılığı ile yapılmaktadır. Sürecin uzamasına, bürokrasiye ve maliyetin yükselmesine sebebiyet verdiği için yükleniciler şartnamede açık hüküm bulunmadığı durumlarda deneylerin yapılmasında sertifikalandırılmış laboratuvarlardan kaçınılmasıyla pratikte karşılaşabilmektedir. Genellikle test ve devreye alma aşamasında veya işletme aşamasında ortaya çıkan malzeme hatalarının sonuçları geri dönüşü zor süreçleri de beraberinde getirebilmekle birlikte kesin kabul zamanında uyuşmazlıklara da neden olabilmektedir.

Yer altı istasyon ve tünel imalatlarında denetimi iyi yapılmayan malzemelerden kaynaklı sorunlarla işletme aşamasında birçok kez karşılaşılmaktadır. Bu sorunların işletme aşamasında çözülmesi teknik zorluklarla birlikte yüksek maliyetleri de beraberinde getirmektedir. Hatta bu sorunların ne yazık ki ölümlü kazaların sebepleri arasında da yer aldığı görülmektedir [164]. Metro projelerinin 100 yıllık tasarım ömrü göz önüne alındığında kullanılan tüm malzemelerin tasarım ömrüne uygun nitelikte olması taviz verilmeyecek bir husustur. Metro projelerinde özellikle tünel ve istasyonların kalıcı yapı imalatlarından sonra bakım ve onarımı işletme aşamasında

Süreç malzeme onay talebinin yapılması ile başlamakta olup, talebin işverene iletilmesinin akabinde akıllı sözleşme tetiklenerek kontrol aşamasını başlatmaktadır. Akıllı sözleşme ilk olarak ilgili onaya sunulan malzemenin akıllı nesne kütüphanesinde tanımlı olup olmadığını araştırmaktadır. Eğer tanımlı ise ilgili malzemeye özel kuralları içeren protokolü çağırır. Tanımlı olmayan bir malzeme onaya sunulduğunda malzemenin tanımlanması için akıllı sözleşme kütüphanesi yöneticilerine uyarı gönderilmektedir. Bu noktada önemle vurgulanması gereken bir husus akıllı nesne kütüphanesinin kontrol eden birimin tasarım ve yapım süreçlerine müdahil olabilecek üst bir denetim birimi olarak çalışmasının önemidir.



126

Akıllı nesne kütüphanesinden gelen protokolün görevi içerisinde tanımlanmış kodlara göre kontrolü yapmak ve bu kontrollerin yapılması için gerekli veritabanlarını tetiklemektir. Örneğin standartlara göre denetim için ulusal standartlar enstitüsüne, firmanın yeterliliğinin denetimi için ilgili firmayı denetleyen kamu kuruluşunun veritabanına bağlanmaktadır. Malzeme testlerinin değerlendirilmesinde ise nesnelerin internetinden (IoT) yararlanılması ön görülmektedir. Testi yapan makina işverenin veritabanına bağlanarak test sonuçlarını insan müdahalesi olmaksızın aktarmakta ve üretilen verinin değişikliğe uğramadan kullanılması sağlanmaktadır.

Malzemenin kontrolü için yararlanılan bir diğer veritabanı işverenin benzer iş deneyimlerinden gelen bilgilerin olduğu veritabanıdır. İşverenin yapım ve işletme aşamasındaki deneyimlerini içeren veritabanında ilgili malzemenin avantajları ve dezavantajları analiz edilmekte, önceden belirlenmiş kurallara göre puanlaması yapılmaktadır. Ayrıca bu veritabanında malzemenin uygulanmasında dikkat edilecek hususlar da yer almakta ve yapım/işletme için deneyimler kesintisiz paylaşılmaktadır. Böylece malzemenin kullanımından kaynaklı sorunlar önceden tespit edilerek projenin diğer aşamalarında karşılaşılabilecek sorunlara karşı önlem alınmakla birlikte malzemenin onayına işverenin önceden belirlediği derecede etkisi olmaktadır.

Malzeme onayları için kurgulanan bu sürece dahil olacak veritabanları malzemenin spesifik özelliklerine göre arttırılmaya açıktır. Kontrollerin yapılmasının ardından akıllı sözleşme malzeme değerlendirme sonucu yayınlayarak karar vericilere destek olmaktadır. Böylece karar vericilerin kontrol aşamalarında ki hatalar azaltılacak ve onay sürecindeki bürokrasi azalarak zaman ve maliyet kayıplarının önüne geçilecektir. Tüm süreçlerin Blokzincir ağında kayıt altına alınmasıyla ise malzemenin tüm onay süreci değiştirilemez şekilde saklanmakta, ileride yaşanabilecek uyuşmazlıklara karşı kanıtlar tüm paydaşların ağında saklanmaktadır. Kontrol aşaması başlangıçta bir karar destek sistemi olarak kullanılabilecek olsa dahi zamanla tamamen otonom hale evrilmesi ön görülmektedir.

5.4.6 Tedarik sürecinde BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu

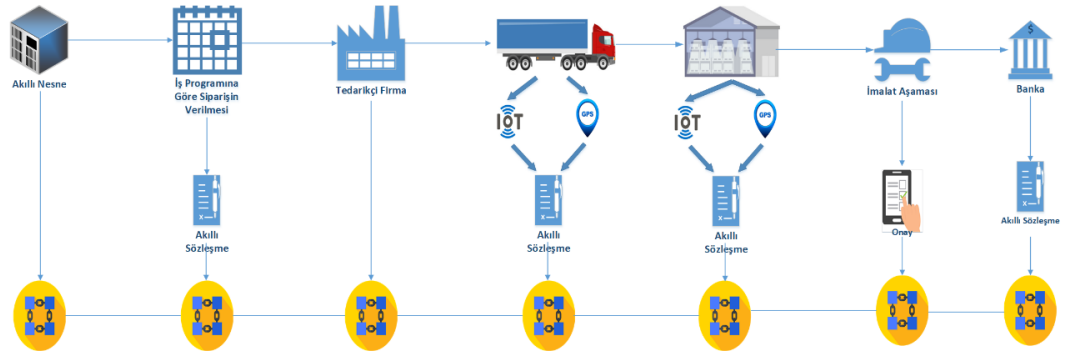
Dünya ekonomisinde önemli bir paya sahip olan inşaat sektörü, buna bağlı olarak zengin bir tedarik süreci ağına da sahiptir. 2018 yılında dünya inşaat malzemeleri pazarının 6,03 trilyon dolara ulaştığı belirtilmekte olup, pazar içerisinde en büyük payı 208,6 milyar dolar ile Çin almaktadır. Ülkemiz ise inşaat malzemeleri pazarında

21,569 milyar dolar ile dünyada 12.sırada yer almaktadır. Dünya ekonomisinde önemli bir yer tutan inşaat malzemelerinin pazar talebinin yaklaşık %20'sine yakını ise ithalat yoluyla karşılanmaktadır [165]. Pazarın %20'sinin ithalat yoluyla karşılandığı göz önüne alındığında uluslararası tedarik zincirinde inşaat malzemelerinin önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır.

İnşaat malzemelerinin ekonomideki önemli yerini oluşturan malzemeleri 36 alt gruptan oluşmaktadır. Bu alt gruplara örnek olarak demir çelik, yalıtımlı kablolar, çimento, elektrik malzemeleri, yapı kimyasalları, ısıtma ve soğutma cihazları verilebilir [165]. İnşaat malzemelerinin alt gruplarına baktığımızda farklı disiplinlere ait çeşitli malzemeler görülebilmektedir. Tüm bu malzemelerin inşaat sahasına doğru zamanında ve uygun koşullarda taşınması zorlu operasyonel süreçleri beraberinde getirmektedir. Her malzemenin standartlara ve teknik şartnameye göre taşıma/depolama koşulları çeşitlilik gösterebilmekte ve doğru bir denetim sürecine ihtiyaç duyulmaktadır. İnşaat projeleri elektomekanik ekipmanların fabrikadan sahaya teslim sürecinden, santralden çıkan betonun imalat sahasına ulaşmasına kadar çeşitli ve kendi içerisinde özelleşmiş uygulamaları içeren tedarik süreçlerine sahiptir. Tedarik süreçlerin doğru yönetilmesi projenin kalite standartlarına uygun, maliyetinde ve zamanında bitmesinde önemli rol oynamaktadır.

Kentsel raylı sistem projeleri kullanılan malzeme/ekipmanların çeşitliliği ve kalite standartları ile tedarik sürecinin denetiminin kritik olduğu projelerdir. Malzeme ve ekipmanların standartlara uygun seçilmesinin yanı sıra tedarik aşamasından başlayarak kesintisiz ve her aşamanın kayıt altına alındığı denetim sürecinin de sürdürülmesi gerekmektedir. Bu denetim süreci kalite yönetimi kadar sipariş sürecinin iş programına uygun olmasını da kapsamı gerekmektedir. Özellikle projenin kilometre taşlarını oluşturan aktivitelerde yaşanan gecikmelerin önüne geçmek için tedarik süreci doğru yönetilmelidir.

Ekipmanların tedarik sürecinde denetiminin yeterli yapılmaması yapım aşamasının yanı sıra işletme aşamasında da ortaya çıkabilecek güvenlik sorunlarına yol açabilmektedir. Özellikle belirli koşullar altında taşınması ve depolanması gereken hassas sinyal ekipmanları gibi işletme aşamasında geri dönüşü imkansız sonuçlar doğurabilen ekipmanların denetiminin tedarik sürecinden başlaması risklerin engellenmesini sağlayacaktır.



Şekil 5.11 : Tedarik süreçlerinin yönetiminde BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu

BIM modellerinin içerisindeki akıllı nesneler sürecin başlangıç noktasını oluşturmaktadır. Bölüm 4’de anlatılan sürecin devamı olarak düşünebileceğimiz bu süreç malzeme ve/veya ekipmanın seçilmesi ile başlamaktadır. Şekil 5.11’de tarif edilen süreçte öncelikle seçilen malzeme/ekipmana göre tedarikçi firmadan alınan akıllı nesneler model içerisine entegre edilmektedir. Her bir akıllı nesne veya akıllı nesne türü için tedarikçi bilgileri, iş programına göre siparişin ne zaman yapılacağı, sahaya teslim zamanı, hangi koşullarda taşınacağı, stoklanması nasıl yapılacağı, imalatın ne zaman yapılacağı, sorumlu kişiler, metraj ve hakediş verileri tanımlanmaktadır. Bu veriler doğrultusunda iş programına göre sipariş zamanı geldiğinde akıllı sözleşme tetiklenerek tedarikçi firmaya siparişi vermektedir. Eğer iş programına göre siparişin verilmesini engelleyen öncü aktivite bulunuyorsa veya kullanılacak ekipman/malzeme onaysız ise akıllı sözleşme siparişin verilmesini engellemektedir.

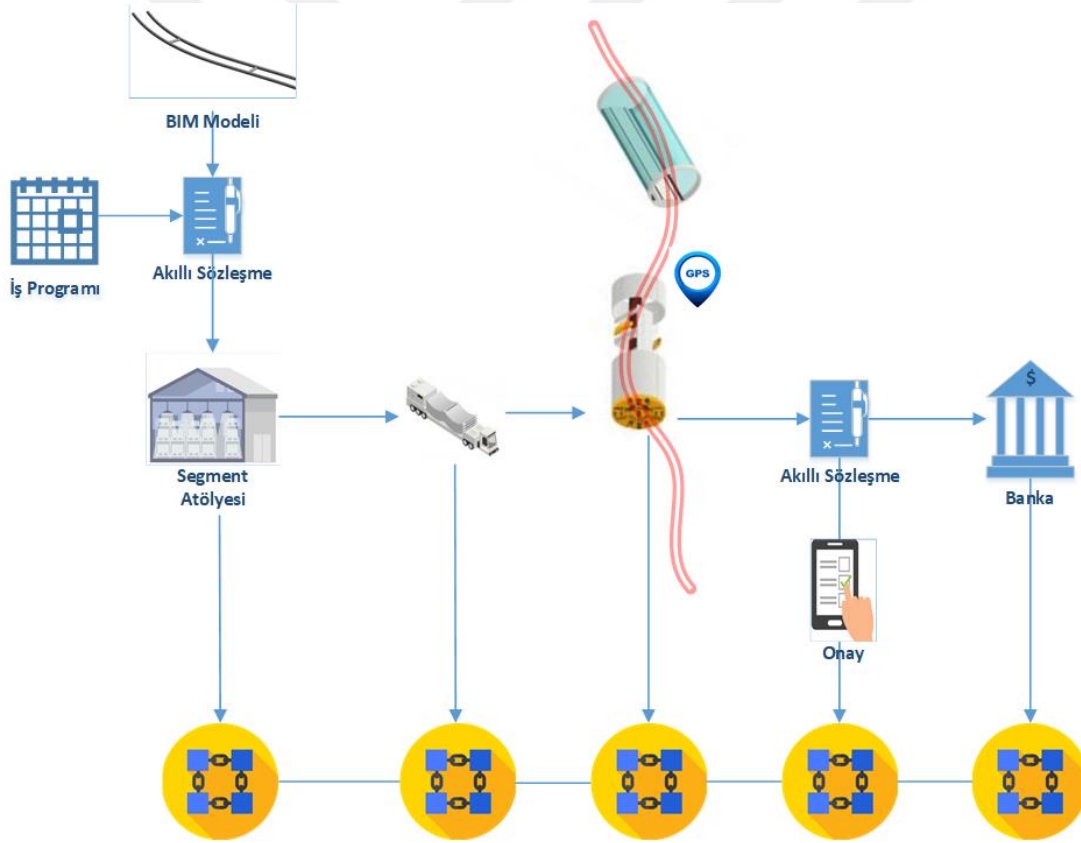
Tedarikçi firma ekipman veya malzemenin imalatını tamamlayıp şantiye sahasına göndermesiyle birlikte akıllı sözleşme tekrar tetiklenerek taşıma koşullarının sağlandığını denetlemektedir. Bu aşamada sensörlerden gelen verilere göre taşıma koşulları ekipmanın/malzemenin spesifik özelliklerine göre değerlendirilmektedir. Örneğin belirli sıcaklık seviyesinde gelmesi gereken hassas sinyal ekipmanlarının taşıma koşulları da en az depolanma koşulları kadar kritik olmakta ve uygun olmayan taşıma koşullarında ciddi sonuçlar doğurabilmektedir. Şantiye sahasına gelen ekipman/malzemenin depo koşulları da taşıma koşullarına benzer şekilde sensör verileri ile kontrol altına alınmaktadır. Yapım aşamasında ise iş programı ve teknik şartname koşullarına göre imalatı gerçekleşmekte ve sahada verilen onayın ardından akıllı sözleşme banka hesabından imalata esas ödemeyi gerçekleştirmektedir. Tarif

edilen tüm aşamalar Blokzincir ağında kayıt altına alınmakta ve ileride yaşanabilecek uyuşmazlıklara karşı değiştirilemez şekilde ilgili tüm paydaşlarda bulunmaktadır.

Tarif edilen süreç denetimi sensörler aracılığı ile yapılabilen tüm ekipman veya malzemeler için uygulanabilir bir şekilde kurgulanmış olup, disiplin ve malzeme özelinde farklı uygulamalar geliştirilmeye açıktır. Bu aşamanın sonucunda işletme aşamasında ilgili malzeme ve ekipmanların denetiminin yapıldığı süreç için gerekli kaynak oluşturulmuş olmaktadır.

5.4.7 İmalat sürecinde BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu

İnşaat projelerinde yaşanan temel sorunlardan biri de imalatların gecikmesi veya imalata esas ödemelerin zamanında yapılmamasıdır. Bu bölümde Bölüm 4.3.4’de tarif edilen süreç metro projeleri özelinde verilen örneklerle açıklanacaktır.



Şekil 5.12 : TBM imalatları için iş akışı.

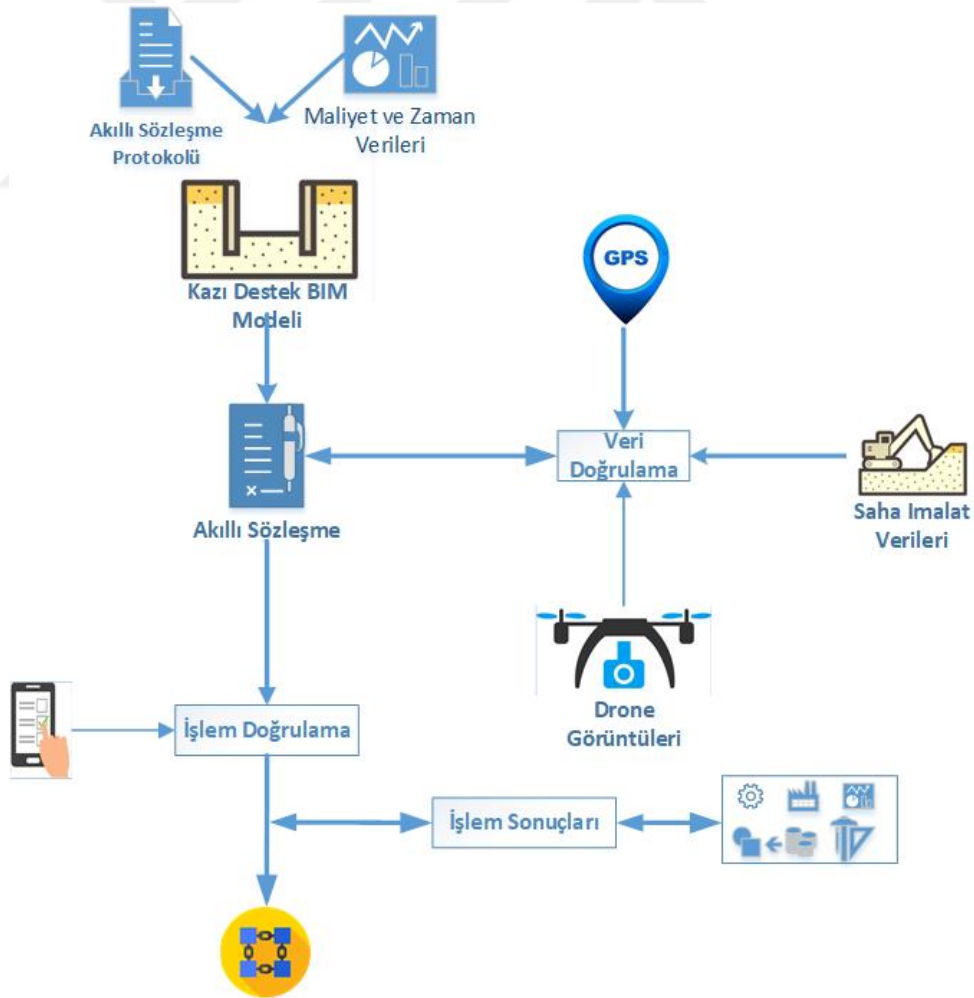
Metro projelerinin en kritik aktivitelerinden biri tünel imalatlarıdır. Bu doğrultuda ilk örnek iş akışı Tunnel Boring Machine (TBM) metodu ile açılan tüneller için Şekil 5.12’de verilmiştir. Tarif edilen süreçte iş programına göre BIM modelinden aldığı veriler doğrultusunda tetiklenen akıllı sözleşme, segment atölyesine üretim için

talimatı aktarmakta ve bu talimattan başlayarak tüm iş emirleri Blokzincir ağında kayıt altına alınmaktadır.

İş programının takibinde TBM'in GPS konumu göz önüne alınmakta olup, olası gecikme durumlarında uyarılar otomatik bir şekilde gerçekleşmektedir. Aynı veriler üzerinden segment transferinin de programlandığı akışta kaynak yönetiminde efektif bir yaklaşım benimsenmektedir.

Akıllı sözleşme TBM ilerlemelerini otomatik bir şekilde alarak tamir veya tadilat gerektirmediği onaylanan her ring için ödeme talimatını göndermekte ve Blokzincir ağı ile eş zamanlı olarak BIM modelinde ilerleme verileri güncellenmektedir.

Metro inşaatlarının bir diğer kritik aktivitesi şaft ve aç-kapa istasyon imalatları için yapılan kazı ve kazı destek çalışmalarıdır. İkinci örnek iş akışı aç-kapa bir istasyon yapısının kazı destek imalatları için verilmiştir.



Şekil 5.13 : Aç-kapa istasyon kazı destek imalatları için iş akışı.

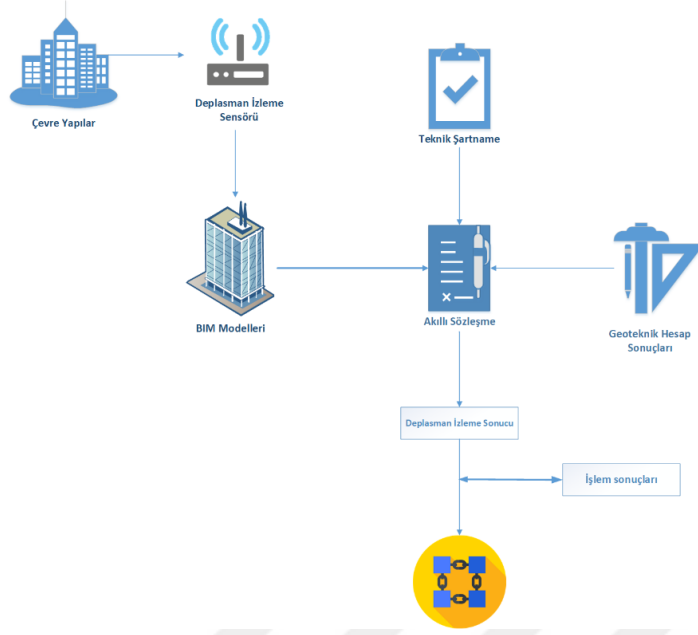
Şekil 5.13’de tarif edilen süreç aç kapa yapısının kazı aşamaları ilerlemelerinin BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu ile yapılmasına yönelik kurgulanmıştır. İçerisinde maliyet ve zaman verileri ile akıllı nesnelere ait akıllı sözleşme protokolleri yer alan kazı destek BIM modelleri akıllı sözleşmeye ilk veritabanıdır. İkinci veritabanı drone görüntüleri ve GPS verilerini içeren veritabanıdır.

Her bir kazı aşaması için sahadan iki tip veri gelmekte olup, bunlardan ilki drone görüntülerinden alınan kazı imalatları, ikincisi ise strut ve ankraj imalatlarının ispatının yapıldığı GPS verileridir. Akıllı sözleşme gelen verileri BIM modellerinden alınan verilerle kıyaslayarak işlemin doğrulanması için tetiklenmekte, saha formlarının da bu imalatları doğrulaması neticesinde ödeme emrini çıkarmakta ve akabinde yapılan işlemleri Blokzincir ağında kayıt altına almaktadır.

Bu bölümde iki temel örnek şema üzerinden süreç tanımlanmış olup, yapılan imalat türüne göre ana hatları benzer olacak şekilde yeni süreçlerin tanımlanması mümkündür.

5.4.8 Çevre yapı deplasmanlarının izlenmesinde BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu

Kentsel raylı sistemlerde karşılaşılan risklerin en önemlilerinden biri şehir içi şantiyeciliğinin getirdiği çevre yapılarla etkileşim sorunlarıdır. Özellikle İstanbul gibi yapı stoğunun yoğun olduğu ve çarpık ve kaçak yapılaşmanın fazla olduğu şehirlerde çevre yapılarla etkileşim kaynaklı problemlerle sık sık karşılaşılmaktadır. Geçici destek ile dinamik yükler etkisi altında hesabı yapılmadan duran tünel ve aç kapalarda bu sorun çok daha ciddi seviyelerde olmakta ve her geçen gün risk artmaktadır. Can ve mal kayıpların önüne geçmek ve önlemlerin zamanında alınması için geoteknik izleme çalışmalarının düzenli yapılması büyük önem arz etmektedir.



Şekil 5.14 : Çevre yapı deplasmanlarının izlenmesinde BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonu.

Şekil 5.14 ile verilen akışta güzergah boyunca riskli görülen yapılara imalatlar başlamadan anlık veri aktarma yeteneğine sahip deplasman izleme sensörleri yerleştirilmektedir. Bu sensörlerden alınan veriler BIM modellerine, yani yapıların dijital ikizlerine entegre edilerek canlı verilerin belirlenen periyotlarda modele aktarılması sağlanmaktadır.

BIM modelleri akıllı sözleşmelere, teknik şartnamede belirlenen deplasman koşulları ve geoteknik hesaplar sonucunda elde edilen maksimum deplasman verileri ile birlikte veri akışı sağlamaktadır. Eğer imalat sırasında sınır koşulların aşıldığı sensörlerce tespit edilirse akıllı sözleşme yetkilendirilmiş kişilere uyarı göndermekte ve doğrulama için talepte bulunmaktadır. Deplasman değerinin doğrulanması durumunda risk seviyesine göre belirlenen acil durum senaryoları uygulanmaktadır. Deplasman kritik seviyenin üstüne çıkmaya yönelik eğilim gösterdiği anda akıllı sözleşme gerekli yetkili mercilere haber verilmesi ve inşaat faaliyetlerinin acil durdurulmasına yönelik uyarıyı otomatik bir şekilde imalatın gerçekleştiği bölgede çalışanlara göndermektedir. Deplasmanların kritik seviyede olduğu saha ekiplerince teyit edilir edilmez bölgede tahliye senaryosu uygulanmakta ve bu sayede kazı bölgesinde ve etkilenen çevre yapılarda can kaybı olmadan gerekli reaksiyonun hızla alınması sağlanmaktadır.

İşe yeniden başlama izni mutabakat algoritması ile korunmakta olup, iş başlangıç emiri akıllı sözleşme tarafından verilmektedir. Yetkilendirilmiş kişiler tarafından mutabakat

algoritmasına uygun şekilde, gerekli önlemlerin alındığına dair kanıtların tüm paydaşlar ve gerektiği durumlarda dış denetim organlarınca kabul edilmesi neticesinde işe başlama izni verilmektedir. Bu süreçte alınan tüm önlemler ve iş kayıtları Blokzincir ağında değiştirilemez şekilde kayıt altına alınmaktadır.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

21. yy'da insan ve insan hayatı çok hızlı bir değişim dönemine girmiştir. Eski çağların yavaş ve hantal yapısı yerini sürekli değişen ve gelişen, teknolojik devrimlerle zenginleşmiş modern çağ yapısına bırakmıştır. Tüm bu değişimin yanında inşaat sektörü bu hızlı gelişime ayak uyduramamış, verimliliğini yıllardır arttıramayan bir sektör olarak kalmıştır. Sektörün karşı karşıya kaldığı bu durum, milyarlarca dolarlık yatırımların modern çağın sağladığı imkânlardan yararlanılmadan, işbirliği ve şeffaflıktan uzak bir şekilde hatalı yönetilmesiyle sonuçlanmaktadır. Yatırımların doğru yönetilememesi ülke ve dünya ekonomisine zarar vermektedir.

Ülkemizde ve dünyada hızla artan kentsel raylı sistem projeleri inşaatlarına milyarlarca dolarlık yatırım yapılmaktadır. Bu yatırımların fizibilite aşamasından işletme aşamasına kadar sürekli iyileşen bir sistematik altında verimli bir şekilde yürütülmesi yerel yönetimlere ve hükümetlere büyük sorumluluk yüklemektedir. Hükümetler bu anlayışla kamu projelerinde BIM'i zorunlu kılmakta ve verimliliği arttırmayı hedeflemektedir. Başta İngiltere olmak üzere birçok ülkede BIM, kamunun da desteği ile hızla yaygınlaşmaktadır. Ülkemizde de benzer bir anlayışla yerel yönetimler BIM'in kentsel raylı sistem projelerinde uygulanmasına yönelik adımlar atmaktadır. Yerel yönetimlerin bu açılımı ile şartnamelere BIM uygulanmasına yönelik hükümler eklenmiş ancak BIM uygulamalarının şartnamenin geneline yayılmadığı gözlemlenmektedir. Bu durum uygulamada belirsizliklere ve uyuşmazlıklara yol açtığı gibi, BIM'in uygulanmasından elde edilecek faydalarını da azaltmaktadır. Özellikle firmaların veya yöneticilerin gelenekselci yaklaşımları ve bürokratik sınırlamalar yüzünden gelişimin engelleniyor olması sektörün BIM ile elde edeceği faydayı olumsuz yönde etkilemektedir. Benzer sorunlarla yüz yüze gelen birçok ülkede merkezi hükümet adımları ve teşvikleri ile engeller kaldırılırken, ülkemizde ekonominin lokomotifini olan inşaat sektörünün gelişiminde yeterli desteğin verildiğinin söylenmesi zordur.

Mevzuatta bu kapsamda boşluklar bulunmasının yanı sıra ulusal stratejilerin belirlenmesinde de inşaat sektörünün dijitalleşmesine gerekli özen gösterilmemektedir. Uluslararası alanda saygın üniversitelerde uzun yıllardır bu alanlarda çalışmalar yapılmakta olup, bu çalışmalar sektörün gelişmesinde önemli yer tutmasına karşılık ülkemizde yapılan akademik çalışmalar yetersiz kalmaktadır.

Blozinciri ve akıllı sözleşme teknolojisi başta Avrupa Birliği Ülkeleri olmak üzere birçok ülkede hükümet stratejisi olarak benimsenmekte ve özellikle yolsuzlukla mücadele, kayıt dışılığın engellenmesi ve şeffaf kamu yönetimi politikaları çerçevesinde yapılan çalışmalar teşvik edilmektedir. Önde gelen yazılım şirketlerinin bu alanda yaptığı yatırımlarla kullanım alanı git gide genişleyen akıllı sözleşmelerin dijital kimlik, bankacılık işlemleri, vergi işlemleri, sigortacılık, emlak kiralama/satın alma, tedarik zinciri, fikri mülkiyet hakları ve sağlık uygulamaları gibi önemli alanlarda kullanılmasına yönelik çalışmalar ağırlıkta olmak üzere farklı alanlarda çalışmaların sürdürüldüğü görülmüştür.

Tez kapsamında yapılan araştırmalarda 21. yy'ın yeni nesil teknolojilerinden olan BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonunun sektörün önde gelen karar vericileri tarafından tartışıldığı ve uygulanmasına yönelik somut adımlar atıldığı görülmüştür. Bu kapsamda yapılan çalışmaların odak noktasında dijitalleşme ve veri odaklı yeni dünya düzeninin yansımaları görülmektedir. Özellikle 5G teknolojisiyle sensörlerin inşaat sektöründe yaygın bir kullanıma sahip olacağı beklenmekte olup, sensör verilerini yönetmek ve yeterli verimi almak için BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonunun önemi birçok araştırmada vurgulanmaktadır. GPS, lazer tarama, büyük veri, üç boyutlu yazıcı ve nesnelerin interneti gibi teknolojilerin de araştırmacılar tarafından vurgulandığı görülmüştür. IoT teknolojisinin ilerlemesiyle “Merkezi Olmayan Otonom Kuruluşların” kurulabileceği fikri işletme ve bakım için verimliliği en üst seviyeye çıkaracak uygulamaların geliştirilebileceğinin önemli bir kurgu sunmaktadır. Tüm bu teknolojilerin altyapısının kurulacağı ağ olarak ise araştırmacılar fikir birliğinde olup, bu ağın Blozinciri ağı olduğu savunulmaktadır. Zaman damgalı değiştirilemez kayıtların tutulduğu, şeffaf ve izlenebilir Blozincir ağı sayesinde veri paylaşım etkinliği ve izlenebilirlik artacak, paydaşlar arasında işbirliği ve güven pekiştirilecektir. Teorik olarak benzer temellere dayanan BIM ve akıllı sözleşmenin entegrasyonunun teknik altyapısına yönelik öneriler ile birlikte genel bir iş akış modeli

verilmiş ve bu iş akışı modeli temel alınarak kentsel raylı sistem projeleri özelinde yürütülen süreçlerde uygulanması tez kapsamında tartışılmıştır.

Yapılan araştırmalar ve tanımlanan süreçler ışığında kentsel raylı sistem projelerinin BIM ve akıllı sözleşme entegrasyonuna geçiş süreci için öneriler aşağıda listelenmiştir:

- BIM dünyada hızla ilerlemekte ancak ülkemizde yeterli olgunluğa erişememiştir. Kamu projelerinde BIM uygulanmasına yönelik yerel yönetimlerin kentsel raylı sistem projeleri sözleşmelerinde hükümlerin bulunduğu gibi merkezi hükümet ve yerel yönetimlerin diğer işlerinde de BIM uygulanmasına yönelik çalışmalara acilen başlanmalıdır. Hükümetin ve yerel yönetimlerin tüm alt kuruluşlarıyla birlikte şeffaflık ve işbirliği ilkeleri altında BIM stratejileri yayınlamalı, tüm kamu kuruluşları arasında kolektif bilinçte ilerleme gerçekleştirmesi gerekmektedir.
- Ülkemizde kentsel raylı sistem ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Firmalar yürüttükleri çalışmalarla bilgi birimi elde etmekte ancak bu birikimler kişi veya kurum özelinde saklı kalmaktadır. İşveren pozisyonundaki kurumun geçmiş tecrübelerinden elde ettiği tüm verileri analiz ederek yaşanan sorunları çözmeye yönelik proaktif çalışmalar yapmalı ve bundan sonra yapılacak tüm işlerde verilerin dijitalleşmesine yönelik adımlar atmalıdır. BIM modelleri tecrübelerin kayıt altına alınmasında ve paylaşımında görsel desteği ile birlikte kullanılmaya elverişlidir. Proje yaşam döngüsü boyunca yaşanan tüm sorunların kayıt altına alındığı gelecek projelere destek olabilecek modeller üretilmeli ve bu sorunlarla tekrar karşılaşmamak adına algoritmalar yardımıyla kurallar oluşturulmalıdır. Bu altyapının oluşturulması erken dönemde harekete geçemeyen Türk İnşaat Sektörü'nün yeni teknoloji devrimine hazır olmasını sağlayacaktır.
- Kentsel raylı sistem projelerinin fizibilite aşamasından başlayarak tamamen şeffaf ve izlenebilir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Fizibilite çalışmalarının veri odaklı çalışmalar olduğu göz önüne alınarak kentin ihtiyaçlarının canlı verilerle tespit edilebileceği senaryolar üzerinden uygulamaların geliştirilmesi teşvik edilmelidir. Güzergâhın belirlenmesinde yerel yönetimlerin tüm birimleri aktif görev almalı jeolojik karakteristikler ve

önemli altyapılar gibi yapım sürecini ilgilendiren konulara destek olabilmek adına tüm birimler BIM modellerini üreterek verilerin tek bir yerde toplanmasını sağlamalıdır. İşletme firmasının enerji analizleri gibi kritik konularda nesnelerin interneti ve sensör teknolojilerinden yararlanılarak canlı verileri karar vericilere sağlaması gerekmektedir. Diğer birimlerin de benzer teknolojilerden yararlanarak gerçekçi verileri herkese açık bir şekilde sağlaması sürecin yönetimine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Tez kapsamında önerilen sistemin altyapısını oluşturacak bu veri akışı algoritmaların karar verici olması hedefinde ilk adım olacaktır.

- Kentsel raylı sistem projelerinin ihale projelerinin BIM ile hazırlanması zaman ve maliyet hesaplarının doğruluğunu arttıracığı gibi, yapım süreçlerinden elde edilen verilerle desteklenmesi sayesinde verimliliğin arttırılmasına katkı sağlayacaktır. Tüm bu verilerin dijitalleşmesiyle makine öğrenmesi ve yapay zeka algoritmalarının karar vericilere destek olması günümüz teknolojisinde mümkündür. Tez kapsamında önerilen sürecin uygulanması takdirinde ihale projelerinin kalitesi artacak, ihaleye girecek firmaların değerlendirilmesinde bürokrasi azalacak, kötü niyetli yaklaşımlar engellenecek ve mevcut düzende devam eden en düşük fiyat sisteminin yerini algoritmaların çok yönlü değerlendirilmesi neticesinde karar verdiği sistem alacaktır. Blokzincir ağından yürütülen tüm bu süreçler şeffaf ve izlenebilir olacak, kamuoyu desteği arttırılacaktır. Kamunun bu kapsamda stratejilerini oluşturması ve sözleşmelerinin algoritmaların denetimine elverişli hale gelmesine yönelik çalışmaların yapılması gerekmektedir.
- Kentsel raylı sistem projelerinin tasarım, yapım ve işletme aşamalarında çoğu zaman üçüncü kuruluşların verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Altyapı, yol, kamulaştırma alanları, şehir mobilyaları, trafik istatistikleri, bölgesel ve zamansal nüfus bilgileri, jeolojik koşullar, çevre binalar, imar planları gibi verilerin güncel ve doğru olması büyük önem arz etmektedir. Tüm bu veriler çeşitli kamu kurum ve kuruluşlarından alınabilen veriler olmasına karşılık verilere ulaşmada pratikte zorluklar yaşanmaktadır. Verilerin ulaşabilir olmasına yönelik altyapı, yerel yönetimler ve merkezi hükümet tarafından açık veri politikaları çerçevesinde kurulmalıdır. Blokzincir ağına geçiş sürecinde bu

aşama büyük bir adım olacak olup, akıllı sözleşmelerin uygulanmasındaki en büyük bariyerlerden biri kaldırılmış olacaktır.

- Birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de artan nüfusa bağlı ulaşım problemlerinin çözülmesi için kentsel raylı sistem yatırımlarına ağırlık verilmektedir. Projelerin yüklenici firmalarının farklı olmasına karşılık işveren konumundaki idare çoğu zaman aynı olmaktadır. Merkezi hükümet ve yerel yönetimler tarafından yürütülen bu projelerin kritik öneme sahip ve yüksek maliyetli alımlarının aynı kalite standartında gitmesine yönelik işletme firmasıyla birlikte ortak bir bilinçte hareket edilmesi gerekmektedir. Malzeme onaylarında devam eden bürokrasiyi ve maliyet yükünü azaltacak bu yaklaşım sayesinde verimliliğin arttırılacağı öngörülmektedir. İşverenin yönetiminde olacak bir akıllı nesne kütüphanesi sayesinde metro tasarım ve yapım sürecinde kullanılan tüm malzeme ve ekipmanlar tek bir veritabanında, kalite standartlarını sağladığının kontrolü yapılmış bir şekilde yer alacaktır. Kütüphaneye girmek için kalite standartlarını sağlaması gereken firmalar işverenin onay mekanizmasından geçerek bu veritabanına dahil olmakta böylece yapımda malzeme onayı kaynaklı sorunlar ortadana kalkacaktır. Ayrıca işverenin işletme firmasından temin ettiği enerji tüketim ve arıza kayıtlarının bu sisteme entegrasi ile malzeme ve ekipmanların değerlendirilmesinde işletme aşamasına yönelik verimliliği arttıracak bir yaklaşım benimsenebilecektir. Akıllı sözleşmelerin BIM ile entegrasyonunda önemli bir yeri olan akıllı nesnelerin işveren yönetimindeki kütüphanede bulunması protokollerin tanımlanması sürecine hazır olunmasını sağlayacaktır.

Tez kapsamında varılan sonuçlar ve öneriler yukarıda özetlenmiştir. Bu çalışma teorik bir yaklaşımla, gelecekte yapılacak pratik çalışmalara kaynak olmak amacıyla olup, başta bu alanda çalışan araştırmacılara ve sonrasında kentsel raylı sistem projelerini yürüten kamu kurum ve kuruluşlarındaki karar vericilere inşaat sektöründe gerçekleşmesi beklenen dijital devrime adapte olmalarına yönelik başlangıç noktası sunulmaya çalışılmıştır.

Önerilen süreçler kentsel raylı sistem projelerindeki riskler ve deneyimler göz önüne alınarak kurgulanmış olup, bu süreçlerin uygulanması neticesinde kentsel raylı sistem projelerinde şeffaflık, izlenebilirlik ve işbirliğinin esas alındığı veri ve algoritma odaklı bir yönetim anlayışının benimseneceği ve bu sayede; verimliliğin artacağı,

maliyetlerin düşeceği, insan kaynaklı hataların ve insiyatiflerin azalacağı, kamuoyu desteğinin artacağı, veri ve bilgi kayıplarının azalacağı, kamu kaynaklarının doğru yönetileceği, bürokrasinin azalacağı, iş ve işçi sağlığı ile haklarının korunacağı, çevreye daha duyarlı kentsel raylı sistem inşaatlarının yapılacağı savunulmaktadır.

Tezin savunduğu süreçlerin mevcut koşullarda gerçekleşmesinin önünde engel olarak sadece mevzuat ve teknolojik imkânlar değil ayrıca yeniliğe direnen gelenekselci görüşlerin olacağı kabul edilmektedir. Ancak teknolojinin hızlı ilerlemesi ve dünyada değişen proje yönetim anlayışları sayesinde geçiş sürecinin hızlanacağı savunulmaktadır. Bu çerçevede tez kapsamında teorik olarak anlatılan süreçlerin uygulanmasına yönelik çalışmalar yürütülecek ve bu çalışmalar kentsel raylı sistem projelerini yürüten kurumlara aktarılacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Özdemir, M.** (2017). Neolitik Dönem Anadolu Mimarisinden Bir Kesit: Çayönü. *Tarih ve Gelecek Dergisi*, (3-3), 248-265.
- [2] **Url-1** <<https://www.kulturportali.gov.tr/portal/gobeklitepe>>, erişim tarihi 20.09.2019.
- [3] **Agarwal, R., Chandrasekaran, S. & Sridhar, M.** (2016). *Imagining construction's digital future*. McKinsey and Company. Erişim adresi <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/imagining-constructions-digital-future>
- [4] **Donovan, S.** (2009). The Case for 4% Mortgages. *Harvard Business Review*. Erişim adresi <https://hbr.org/2009/02/the-case-for-governmentbacked>
- [5] **Url-2** <<https://bim-level2.org/en/about/>>, erişim tarihi 01.11.2019.
- [6] **HM Government** (2015). Level 3 Building Information Modeling – Strategic Plan. *Digital Built Britain*. Erişim adresi https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/410096/bis-15-155-digital-built-britain-level-3-strategy.pdf
- [7] **Borrmann, A., König, M., Koch, C. & Beetz, J.** (2018). *Building Information Modeling Technology Foundations and Industry Practice*. Switzerland: Springer. Erişim adresi <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3>
- [8] **Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. & Liston, K.** (2008). *BIM Handbook*. USA: Wiley.
- [9] **Penzes, B.** (2018). *Blockchain Technology in the Construction Industry*. DOI: 10.13140/RG.2.2.14164.45443.

- [10]. **Innovation 2050.** (2017). *A Digital Future for the Infrastructure Industry*. Balfour Beatty. Erişim adresi <https://www.balfourbeatty.com/how-we-work/public-policy/innovation-2050-a-digital-future-for-the-infrastructure-industry/>
- [11] **Iannettoni, M. D., Lynch, W.R., Parekh, K. R., ve McLaughlin, K.A.** (2010). Kaizen Method for Esophagectomy Patients: Improved Quality Control, Outcomes, and Decreased Costs. *The Annals of Thoracic Surgery*, Volume 91, Issue 4, 1011 – 1018.
- [12] **Engelbart, D. C.** (1962). Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework. *SRI Summary Report AFOSR-3223*.
- [13] **Eastman, C. M.** (1975). The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design.
- [14] **Aish, R.** (1986). Building Modelling The Key To Integrated Construction CAD. Erişim adresi <https://www.researchgate.net/publication/320347623>
- [15] **Van Nederveen, G.A.** (1992). Modelling Multiple Views on Buildings. *Automation in Construction*, Volume 1, Issue 3, pp 215-224. Erişim adresi [https://doi.org/10.1016/0926-5805\(92\)90014-B](https://doi.org/10.1016/0926-5805(92)90014-B)
- [16] **The British Standards Institution** (2013). Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling. *PAS 1192-2:2013 Incorporating Corrigendum No. 1*.
- [17] **Url-3** <<https://www.bsigroup.com/tr-TR/Yapi-Bilgi-Modellemesi-BIM/>>, erişim tarihi 10.10.2019.
- [18] **Url-4** <<https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-building-information-modelling-bim>>, erişim tarihi 10.10.2019.
- [19] **Url-5** <<https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/digitales-bauen.html>>, erişim tarihi 10.10.2019.
- [20] **Acceleration Committee.** (2014). New Zealand BIM Handbook. Erişim adresi www.buildingvalue.co.nz/BIM-in-NZ
- [21] **Url-6** <<https://www.autodesk.com/solutions/bim>>, erişim tarihi 10.10.2019.

- [22] **Changali, S., Mohammad, A. & van Nieuwland, M.** (2015). The construction productivity imperative. *McKinsey Productivity Sciences Center*. Erişim adresi <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/the-construction-productivity-imperative>
- [23] **Url-7** <<https://bimdictionary.com/>>, erişim tarihi 10.10.2019.
- [24] **The British Standards Institution.** (2019). Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling, Part 1: Concepts and principles. BS EN ISO 19650-1:2018 BRITISH STANDARD.
- [25] **The British Standards Institution.** (2019). Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling, Part 2: Delivery phase of the assets. BS EN ISO 19650-2:2018 BRITISH STANDARD.
- [26] **Url-8** <https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Parametric_modelling>, erişim tarihi 10.10.2019.
- [27] **Lee, G., Sacks, R. & Eastman, C. M.** (2006). Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modelling system. *Automation in Construction*, 15, pp. 758 – 776.
- [28] **Xia, J. & Peng, M.** (2012). The Parametric Design of Shanghai Tower's Form and Façade. *CTBUH 2012 9th World Congress*, Shanghai.
- [29] **Chen, S., Lok, K. F. & Jeng, T.** (2016). Smart BIM Object For Design Intelligence. *CAADRIA 2016*.
- [30] **Alaloul, W. S., Liew, M. S. & Zawawi, N.** (2016). Identification of coordination factors affecting building projects performance. *Alexandria Engineering Journal*, Volume 55, Issue 3, pp. 2689-2698. Erişim adresi <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.06.010>
- [31] **Akpınar, H.** (2014). *Data: Veri Madenciliği Veri Analizi*. 1st edn. Papatya Yayıncılık, İstanbul.

- [32] **Çağltay, N.** (2010). *İş Zekası ve Veri Ambarı Sistemleri*. 1st edn. ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- [33] **National BIM Report 2019.** (2019) Erişim adresi <https://www.thenbs.com/knowledge/national-bim-report-2019>
- [34] **Sheina, S., Seraya, E., Krikunov, V. & Saltykov, N.** (2019). 4D BIM for Construction Planning and Environmental Planning. *E3S Web of Conferences*.
- [35] **Smith, P.** (2015). Project cost management with 5D BIM. *29th World Congress International Project Management Association (IPMA) 2015*, IPMA WC2015, 28-30 September – 1 October 2015.
- [36] **3D Modeling.** (t.y.). *Vikipedi*. Erişim: 12 Ekim 2019, https://en.wikipedia.org/wiki/3D_modeling
- [37] **International Standard.** (2014). Asset management — Overview, principles and terminology. ISO 55000:2014(E).
- [38] **Eroğlu, E., Ataizi, M., Yüksel, A. ve Yüksel, A. H.** (2015). *Etkili İletişim Teknikleri*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.
- [39] **El Hawaray, A. N. & Nassar, A. H.,** (2016). The Effect Of Building Information Modeling (BIM) On Construction Claims. *International Journal Of Scientific & Technology Research Volume 5*, Issue 12.
- [40] **Url-9** <<https://www.thenbs.com/knowledge/clash-detection-in-bim>>
- [41] **Patel, K. M. & Patel, T. D.** (2018). Application of Building Information Modeling in Construction Management with Clash Detection. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research Volume 5*, Issue 8.
- [42] **Agarwal, R., Chandrasekaran, S. & Sridhar, M.** (2016). Imagining construction's digital future. *Capital Projects and Infrastructure*. McKinsey Productivity Sciences Center. Singapore. Erişim adresi <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/imagining-constructions-digital-future>

- [43] **Gant, H. L.** (1919). *Work, Wages, and Profits*. New York: The Engineering Magazine Co.
- [44] **Zhang, J.P. & Hu, Z. Z.** (2010). BIM- and 4D-Based Integrated Solution of Analysis and Management for Conflicts and Structural Safety Problems During Construction: 1. Principles and Methodologies. *Automation in Construction* 20. pp. 155–166.
- [45] **Kang, L. S., Kim, S. K., Moo, H. S. & Kim, H. S.** (2013). Development of a 4D Object-Based System for Visualizing The Risk Information of Construction Projects. *Automation in Construction* 31. 186-203.
- [46] **Zhou, Y., Ding, L. Y., & Chen, L. J.** (2013). Application of 4D Visualization Technology for Safety Management in Metro Construction. *Automation in Construction* 34. 25-36.
- [47] **Akbıyıklı, R.** (2009). *Mühendislik Ekonomisi Temel Prensipleri ve Uygulamaları*. Birsen Yayınevi. İstanbul.
- [48] **Polat, G.** (1999). *Yüklenici İnşaat Firmalarının Teklif Hazırlama ve Maliyet Yönetimi Sistemlerinin Değerlendirilmesi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [49] **Mitchell, D.** (2012). 5D Creating Cost Certainty and Better Buildings. *RICS Cobra Conference*, Las Vegas.
- [50] **Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., van Woerden, F. & others.** (2018). *What a Waste 2.0*. Urban Development Series. World Bank Group. Available at <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2174>
- [51] **Url-10** <https://ec.europa.eu/environment/waste/construction_demolition.htm> , erişim tarihi 15.10.2019.
- [52] **EU Construction and Demolition Waste Protocol and Guidelines.** (2018). Erişim adresi https://ec.europa.eu/growth/content/eu-construction-and-demolition-waste-protocol-0_en
- [53] **EU Construction & Demolition Waste Management Protocol.** (2016). Erişim adresi <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/20509/attachments/1/translations/en/renditions/native>

- [54] **Url-11** <<https://www.iea.org/topics/energyefficiency/buildings/>>, erişim tarihi 15.10.2019.
- [55] **Url-12** <<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings/energy-performance-buildings-directive>>, erişim tarihi 15.10.2019
- [56] **Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.** (2019). COM(2019) 285 final. Erişim adresi https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/recommendation_en.pdf
- [57] **Url-13** <<https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/Revit-DocumentPresent/files/GUID-586B9574-64DA-47BC-B8EC-DEF2D565928F-htm.html>>
- [58] **Yan, H. & Damian, P.** (2008). Benefits and Barriers of Buildings Information Modelling. *12th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*. Beijing.
- [59] **Barlish, K.** (2011). *How To Measure the Benefits of BIM A Case Study Approach*. (Master's thesis).
- [60] **Azhar, S.** (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*. pp. 241-252.
- [61] **Mesároš, P. & Mandičák, T.** (2017). Exploitation and Benefits of BIM in Construction Project Management. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. pp. 245
- [62] **Bensalah, M., Elouadi, A. & Mharzi, H.** (2018). Overview: The Opportunity of BIM in Railway. *Smart and Sustainable Built Environment*.
- [63] **Olbina, S. & Elliott, J. W.** (2019). Contributing Project Characteristics and Realized Benefits of Successful BIM Implementation: A Comparison of Complex and Simple Buildings. *Buildings* 2019, 9, 175. Erişim adresi <https://www.mdpi.com/2075-5309/9/8/175>

- [64] **PricewaterhouseCoopers.** (2018). BIM Level 2 Benefits Measurement: Application of PwC's BIM Level 2 Benefits Measurement Methodology to Public Sector Capital Assets.
- [65] **Blanco, J. L., Fuchs. S., Parsons. M. & Ribeirinho, M. J.** (2018). *Artificial intelligence: Construction Technology's Next Frontier*. Capital Projects & Infrastructure. McKinsey & Company. Erişim adresi <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/artificial-intelligence-construction-technologys-next-frontier>
- [66] **Nomer, H. N.** (2012). *Borçlar Hukuku Genel Hükümler (12. Bası)*. İstanbul: Beta Yayıncılık.
- [67] **Ercoskun Şenol, K.** (2016). Sözleşmenin İçeriğini Belirleme Özgürlüğü ve Bunun Genel Sınırı: TBK M. 27. *İstanbul Üniversitesi Hukuk Fakültesi Mecmuası* (C. LXXIV, S. 2). 709-737.
- [68] **Keser Berber, L.** (2019). Biyometrik İmza Ve Türk Borçlar Kanunu'ndaki Yazılı Şekil Şartı İle Hukuk Muhakemeleri Kanunundaki İmza Açısından Yeri. *İstanbul Bilgi Üniversitesi Bilişim ve Teknoloji Hukuku Enstitüsü*.
- [69] **Yavuz, C.** (2014). *Borçlar Hukuku Dersleri (Özel Hükümler)*. İstanbul: Beta Yayıncılık. 13. Baskı.
- [70] **6098 sayılı Türk Borçlar Kanunu (2012). T.C. Resmi Gazete, 27836, 04 Şubat 2011.**
- [71] **Dougherty, J. M.** (2015). *Claims, Disputes and Litigation Involving BIM*. New York: Routledge.
- [72] **Construction Industry Council (2013).** Building Information Model (BIM) Protocol. CIC/BIM Pro first edition 2013.
- [73] **CanBIM (2014).** *AEC(CAN) BIM Protocol Implementing Canadian BIM Standards for the Architectural, Engineering and Construction Industry Based on International Collaboration*. Erişim adresi <https://www.canbim.com/canbim-documents>

- [74] **Kassem, M., Succar, B. & Dawood, N.** (2015). Building Information Modeling: Analyzing Noteworthy Publications of Eight Countries Using a Knowledge Content Taxonomy. *Building Information Modeling: Applications and Practices*. Chapter: 13. American Society of Civil Engineers.
- [75] **Kassem, M., Iqbal, N., Kelly, G., Lockley, S. & Dawood, N.** (2014). Building Information Modelling: Protocols for Collaborative Design Processes. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, Vol. 19. pp. 126-149. Erişim adresi <http://www.itcon.org/2014/7>
- [76] **G202-2013 Project BIM Protocol**. <https://www.aiacontracts.org/contract-documents/19016-project-bim-protocol>
- [77] **Construction Industry Council**. (2018). Building Information Modelling (BIM) Protocol Second Edition.
- [78] **The NBS**. (2019). National BIM Report 2019.
- [79] **The Joint Contracts Tribunal** (2016). Building Information Modelling (BIM), Collaborative and Integrated Team Working Practice Note. Erişim Adresi https://www.jctltd.co.uk/docs/BIM_Practice_Note_0116.pdf
- [80] **Mossey, D. & others** (2016). Enabling BIM Through Procurement and Contracts. *A Research Report by the Centre of Construction Law and Dispute Resolution*. King's College London.
- [81] **Yılmaz, M.** (2016) Elektronik İmzalı Belgelerin Karşılaştırılmal Hukukta ve İdarî Yargılama Hukukunda Delil Niteliği. *Marmara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Hukuk Araştırmaları Dergisi*, (22-3), 3435-3486.
- [82] **Winfield, M. & Rock, S.** (2018). *The Winfield Rock Report Overcoming the Legal and Contractual Barriers of BIM*. UK BIM Alliance.
- [83] **Url-14**<<https://cadbimcenter.erd.c.dren.mil/default.aspx?p=a&t=1&i=24>>, erişim tarihi 20.10.2019.
- [84] **Url-15** < www.tdk.gov.tr>, erişim tarihi 20.10.2019.
- [85] **Url-16**<<https://www.etimolojiturkce.com/kelime/kontrat>>, erişim tarihi 20.10.2019.

- [86] **Bozkurt, N.** (2002). Ticaretin Felsefesi, Tarihçesi ve Etikle Olan Sıkı Bağına İlişkin Bazı Saptamalar. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Dergisi* (2). Erişim adresi <http://acikerisim.ticaret.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/11467/194/M00030.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [87] **Smith, A.** (2006) *Milletlerin Zenginliği*. İstanbul: Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları (11.basım). s. 16.
- [88] **Werdigier, J.** (2010, 20 Mayıs). John Shepherd-Barron, Developer of the A.T.M. Dies at 84. The New York Times. Erişim adresi <https://www.nytimes.com/2010/05/21/business/global/21barron.html>
- [89] **Szabo, Nick.** (1997). *Formalizing and Securing Relationships on Public Networks*. Available at <https://nakamotoinstitute.org/formalizing-securing-relationships/>
- [90] **Url-17** <<https://www.wikitarih.com/yazinin-icadi/>>, erişim tarihi 20.10.2019.
- [91] **Url-18** <<https://wearesocial.com/blog/2019/01/digital-2019-global-internet-use-accelerates>>, erişim tarihi 20.10.2019.
- [92] **Usta, A. & Doğantekin, S.** (2019). Blockchain 101_V2. Bankalararası Kart Merkezi
- [93] **Hukuk, Düzenlemeler ve Kamu İlişkileri Çalışma Grubu** (2019). *Blokzincir Teknolojisi Terminoloji Çalışması*. Hukuk, Düzenlemeler ve Kamu İlişkileri Çalışma Grubu. Türkiye Bilişim Vakfı. Erişim adresi https://bctr.org/dokumanlar/Blokzincir_Teknoloji_Terminoloji.pdf
- [94] **Url-19** <<https://www.cbinsights.com/research/industries-disrupted-blockchain/>>, erişim tarihi 20.10.2019.
- [95] **Nakamoto, S.** (2008). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. Satoshi Nakamoto Institute. Erişim Adresi <https://nakamotoinstitute.org/bitcoin/>
- [96] **Url-20** <<https://docs.ethhub.io/ethereum-roadmap/ethereum-2.0/proof-of-stake/>>, erişim tarihi 21.10.2019.
- [97] **Castro, M. & Liskov, B.** (1999). Practical Byzantine Fault Tolerance. *Proceedings of the Third Symposium on Operating Systems Design and Implementation*.

- [98] **Szabo, N.** (1994). *Smart Contracts*. Erişim adresi <http://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/smart.contracts.html>
- [99] **Szabo, N.** (1995). *Smart Contracts Glossary*. Erişim adresi <https://nakamotoinstitute.org/smart-contracts-glossary/>
- [100] **Molina-Jimenez, C., Sfyarakis, I., Solaiman, E., Ng, I., Wong, W. W., Chun. A. & Crowcroft, J.** (2018). Implementation of Smart Contracts Using Hybrid Architectures with On- and Off-Blockchain Components. Tools for Enforcement of Smart Contracts Project.
- [101] **Url-21** <<https://www.ethereum.org/use/#1-use-an-application-built-on-ethereum>>, erişim tarihi 25.10.2019.
- [102] **Gopie, N.** (2018. 2 Temmuz). What Are Smart Contracts on Blockchain. IBM. Erişim adresi <https://www.ibm.com/blogs/blockchain/2018/07/what-are-smart-contracts-on-blockchain/>
- [103] **Url-22** <<https://www.sap.com/insights/what-is-blockchain.html>>, erişim tarihi 25.10.2019.
- [104] **Url-23** <<https://www2.deloitte.com/tr/en/pages/finance/articles/cfo-insights-getting-smart-contracts.html>>, erişim tarihi 25.10.2019.
- [105] **Url-24** <<http://usblogs.pwc.com/emerging-technology/how-smart-contracts-automate-digital-business/>>, erişim tarihi 25.10.2019.
- [106] **Url-25** <<https://cloud.ibm.com/docs/services/blockchain?topic=blockchain-get-started-ibp>>, erişim tarihi 25.10.2019.
- [107] **Url- 26** <<https://www.hyperledger.org/>>, erişim tarihi 25.10.2019.
- [108] **Url-27** <<https://www.hyperledger.org/members>>, erişim tarihi 25.10.2019.
- [109] **Url-28** <<https://www.hyperledger.org/projects>>, erişim tarihi 25.10.2019.
- [110] **Cocco, S. & Singh, G.** (2018. 18 Mart). Top 6 technical advantages of Hyperledger Fabric for blockchain networks. IBM. Erişim adresi <https://developer.ibm.com/articles/top-technical-advantages-of-hyperledger-fabric-for-blockchain-networks/>
- [111] **Url-29** <<https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/european-countries-join-blockchain-partnership>>, erişim tarihi 15.12.2019.
- [112] **Url-30** <<https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/blockchain-technologies>>, erişim tarihi 15.12.2019.

- [113] **Url-31** <<https://www.smartdubai.ae/>>, erişim tarihi 15.12.2019.
- [114] **Url-32** <<https://bitaccess.ca/blog/government-of-canada-exploring-the-potential-of-blockchain-technology/>>, erişim tarihi 15.12.2019.
- [115] **Url-33** <<https://www.gob.mx/innovamx/articulos/modelo-de-gobernanza-red-blockchain-mexico>>, erişim tarihi 15.12.2019.
- [116] **U.S. Department of Defense.** (2019, 12 Temmuz). DoD Digital Modernization Strategy.
- [117] **U.S. Patent & Trademark Office.** (2018. 22 Mart). Methods and Systems For A Digital Trust Architecture
- [118] **U.S. The Department of Homeland Security.** (2018. 4 Aralık). DHS S&T Announces New Collaborative Blockchain Innovation Solution. Erişim adresi <https://www.dhs.gov/science-and-technology/news/2018/12/04/news-release-st-seeks-collaborative-blockchain-innovations>
- [119] **Url-34** <<https://www.azleg.gov/legtext/53leg/1r/bills/hb2417p.pdf>>, erişim tarihi 15.12.2019.
- [120] **Url-35** <<https://e-estonia.com/solutions/>>, erişim tarihi 15.12.2019.
- [121] **Shang, Q. & Price, A.** (2019). A Blockchain-Based Land Titling Project In The Republic Of Georgia: Rebuilding Public Trust and Lessons for Future Pilot Projects. *Innovations Technology Governance Globalization*, Vol. 12, Number 3/4. pp. 72-78. Erişim adresi https://www.mitpressjournals.org/action/showCitFormats?doi=10.1162/inov_a_00276
- [122] **Dijital Kimlik Raporu** (2019). Türkiye Bilişim Vakfı. Erişim adresi https://bctr.org/dokumanlar/Dijital_Kimlik.pdf
- [123] **TÜBİTAK BİLGEM** (2019). *eKimlik ve Dijital Kimlik*. [PowerPoint slaytı]. Erişim adresi <https://blokzincir.bilgem.tubitak.gov.tr/bz-calistay/bzcalistay2/documents/sunum/Oktay%20Adal%C4%B1er.pdf>
- [124] **Url-36** <<https://www.airlines.iata.org/analysis/dossier-blockchain-of-trust>>, erişim tarihi 17.12.2019.
- [125] **Url-37** <<https://www2.deloitte.com/tr/tr/pages/finance/articles/cfo-insights-getting-smart-contracts.html>>, erişim tarihi 17.12.2019.
- [126] **Url-38** <<https://docs.tradelens.com/>>, erişim tarihi 17.12.2019.

- [127] **Url-39** <<https://medrec.media.mit.edu/>>, erişim tarihi 17.12.2019.
- [128] **Url-40** <<https://medrec.media.mit.edu/technical/>>, erişim tarihi 17.12.2019.
- [129] **McGraw Hill Construction.** (2014). The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets: How Contractors Around the World Are Driving Innovation With Building Information Modeling SmartMarket Report. Erişim Adresi
https://www.icn-solutions.nl/pdf/bim_construction.pdf
- [130] **Day, M.,** (2019. 18 Kasım). Augmented thinking - how AI is coming to AEC. Erişim adresi <https://aecmag.com/component/content/article/59-features/1904-augmented-thinking-how-ai-is-coming-to-aec>
- [131] **Institution of Civil Engineers.** (2018. Aralık). Blockchain Technology In The Construction Industry Digital Transformation for High Productivity. Erişim adresi
<https://www.ice.org.uk/ICEDevelopmentWebPortal/media/Documents/News/Blog/Blockchain-technology-in-Construction-2018-12-17.pdf>
- [132] **Nawari, N., & Ravindran, S.,** (2019). Blockchain Technology and BIM Process: Review and Potential Applications. *Journal of Information Technology in Construction*, Vol. 24, pp. 209-238. Erişim adresi
<https://www.itcon.org/2019/12>
- [133] **Mathews, M., Robles, D. & Bowe, B.,** (2017). BIM+Blockchain: A Solution to the Trust Problem in Collaboration? *CITA BIM Gathering 2017*. Erişim adresi <https://doi.org/10.21427/D73N5K>
- [134] **Wang, J., Wu, P., Wang, X. & Shou, W.** (2017). The outlook of blockchain technology for construction engineering management. *China Academic Journal Electronic Publishing House*, Vol 4(1), pp. 67-75. Erişim adresi <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>
- [135] **Ye, Z., Yin, M., Tang, L. & Jiang, H.** (2018). Cup-of-Water theory: A review on the interaction of BIM, IoT and blockchain during the whole Building lifecycle. Erişim adresi
https://www.researchgate.net/publication/326698301_Cup-of-Water_theory_A_review_on_the_interaction_of_BIM_IoT_and_blockchain_during_the_whole_building_lifecycle

- [136] **Shojaei, A. & others** (2020). An Implementation of Smart Contracts by Integrating BIM and Blockchain. *Proceedings of the Future Technologies Conference (FTC) 2019, Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 1070, pp. 519–527. Erişim adresi https://doi.org/10.1007/978-3-030-32523-7_36
- [137]**Url-41**
 <https://www.hyperledger.org/wpcontent/uploads/2017/08/Hyperledger_Arch_WG_Paper_1_Consensus.pdf>, erişim tarihi 30.10.2019
- [138] **Hukuk Muhakemeleri Kanunu. (2011). T. C. Resmi Gazete, 27836, 04 Şubat 2011.**
- [139] **World Bank Group.** (2018). The Urban Rail Development Handbook.
- [140]**Url-42**
 <<http://micro.com/metro/table.html?feat=CIANCOCONSNOPTLGSSLILSLLSLDPPLAPPYPOUSLRTPTRWGGPCVORUDRDYPDA CWTRM&orderby=LG&sort=DESC&unit=&status=>> Erişim tarihi 18.12.2019
- [141] **Schuetz, J.** (2014). Do Rail Transit Stations Encourage Neighbourhood Retail Activity?. *Urban Studies*, 52(14) 2699 - 2723. Erişim adresi <https://doi.org/10.1177/0042098014549128>
- [142] **Farrell, S., & Topham, G.** (2019. 8 Kasım). Crossrail Faces Further Delays and Will Cost More Than £18bn. *The Guardian*. Erişim adresi <https://www.theguardian.com/uk-news/2019/nov/08/crossrail-faces-further-delays-and-will-cost-more-than-18bn-tfl>
- [143] **Roser, M., Ritchie, H., & Ortiz-Ospina, E.** (2020). World Population Growth. Erişim adresi <https://ourworldindata.org/world-population-growth>
- [144] **Roser, M., Ritchie, H., & Ortiz-Ospina, E.** (2020). World Population Growth. Erişim adresi <https://ourworldindata.org/urbanization>
- [145] **Union Internationale des Transports Publics.** (2018. Eylül). World Metro Figures 2018. Erişim adresi https://www UITP.org/sites/default/files/cck-focus-papers-files/Statistics%20Brief%20-%20World%20metro%20figures%202018V4_WEB.pdf

- [146] **Londra Metrosu** (t.y.) Vikipedi. Erişim tarihi 25.12.2019,
https://tr.wikipedia.org/wiki/Londra_metrosu
- [147] **Evren, G.** (2001). İstanbul Ulaştırmasının Dünü, Bugünü. *Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 413 -2001/3*, sf. 19-24.
- [148] **Url-43**<<http://www.marmaray.gov.tr/icerik/marmaray/Marmaray-Teknik-%C3%96zellikleri/56>>, erişim tarihi 28.12.2019
- [149] **Url-44** < <http://www.metro.istanbul/Home/Tarihce>>, erişim tarihi 28.12.2019
- [150] **Url-45**<<http://istanbulunmetrosu.ibb.gov.tr/Home/rayliSistemler?Lang=tr-TR>>, erişim tarihi 28.12.2019
- [151] **Url-46** <<http://www.ankarametrosu.com.tr/geneltnt.aspx>>, erişim tarihi 28.12.2019
- [152] **Metro İzmir.** (t.y.). İzmir Metro A.Ş. Statejik Planı. Erişim adresi
<<https://www.izmirmetro.com.tr/UploadedFiles/Dosyalar/2020-2024%20STRATEJ%C4%B0K%20PLANI.pdf>>
- [153] **Masomi, M., & Öcalır, E.** (2018). Türkiye’deki Kent İçi Raylı Ulaşım Sistemlerinin Performanslarının Veri Zarflama Analizi ile Karşılaştırılması. *Politeknik Dergisi*, 21(4), sf. 971-975.
Erişim adresi <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/421256>
- [154] **Zou, P., Zhang, G., & Wang, J.** (2014). Identifying Key Risks in Construction Projects: Life Cycle and Stakeholder Perspectives. *International Journal of Construction Management* 9.
DOI: 10.1080/15623599.2009.10773122
- [155] **Flanagan, R., & Norman, G.** 1946- (1993). Risk Management and Construction. Oxford Blackwell Scientific.
- [156] **Alpkökin, P.** (2017) Türk İnşaat Sektöründe Uyuşmazlık Çözüm Kurulu Uygulamaları. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(2), sf. 674-683. Erişim adresi
<http://fbd.beun.edu.tr/index.php/zkufbd/article/download/976/368>
- [157] **Bunni, N.** (2003. 6 Haziran). Risk and Insurance in Construction. Routledge.
- [158] **Ayan, Y.** (2018). *Raylı Sistem Projelerinde Fizibilite Raporlarının Değerlendirilmesi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [159] **Deloitte. & Vodafone.** (2016. Aralık). Akıllı Şehir Yol Haritası. Erişim adresi <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/tr/Documents/public-sector/deloitte-nl-ps-smart-cities-report.pdf>
- [160] **Kamu İhale Kanunu.** (2002). T. C. Resmi Gazete, 24648, 22 Ocak 2002.
- [161] **Türkmen, V.** (2013). *Kamu İdareleri Tarafından Gerçekleştirilen Yapım İhalelerinde Karşılaşılan Uyuşmazlık Kararlarının Değerlendirilmesi.* (Yüksek lisans tezi). Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [162] **The Organisation for Economic Co-operation and Development.** (t.y.). Guidelines For Fighting Bid Rigging In Public Procurement. Erişim adresi <https://www.oecd.org/competition/cartels/42851044.pdf>
- [163] **Yapım İşleri Genel Şartnamesi.** (2009). T.C. Resmi Gazete, 27159, 04 Mart 2009.
- [164] **Karakaş, G.** (2016. 21 Eylül). *Marmaray'da sızıntı ölümü.* Milliyet. Erişim adresi <https://www.milliyet.com.tr/gundem/marmaray-da-sizinti-olumu-2314078>
- [165] **Türkiye İnşaat Malzemesi Sanayicileri Derneği.** (2018). *Türkiye İMSAD Yapı Sektörü Raporu*



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Uğur ÇELİK
Doğum Tarihi ve Yeri : Seyhan - 07.08.1992
E-posta : celiku@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Lisans** : 2018, Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2016-2017 yıllarında EMAY Mühendislik ve Müşavirlik bünyesinde Ataköy-İkitelli Metro Hattı Yapım İşinde Proje Kontrol Mühendisi olarak çalıştı.
- 2017-2020 yılları arasında EMAY Mühendislik ve Müşavirlik bünyesinde Ataköy-İkitelli Metro Hattı Yapım İşinde BIM Yöneticisi olarak çalıştı.
- 2020 yılı itibarıyla EMAY Mühendislik ve Müşavirlik bünyesinde Ümraniye-Ataşehir-Göztepe Metro Hattı Yapım İşinde BIM Yöneticisi olarak çalışmaktadır.